

# 17 • Influence des facteurs hydroclimatiques sur la pêche marocaine de petits pélagiques côtiers

HENRI BELVÈZE

Bureau des produits de la pêche, 175 rue de Chevaleret, 75646 Paris Cedex 13, France.

## RÉSUMÉ

L'histoire des pêcheries pélagiques marocaines ainsi que les différents stocks de sardine situés le long de ces côtes sont présentés. Des généralités sur l'instabilité des stocks mondiaux de sardine ainsi que les mécanismes explicatifs qui ont été proposés sont rappelés. Des facteurs environnementaux tels que la pluviométrie, la température de surface, la vitesse et la direction des vents sont analysés et les fluctuations quantifiées, pour les zones de pêche A et C. Des régressions sont ensuite établies entre l'abondance annuelle et certains de ces facteurs environnementaux. Les effets des changements climatiques à long terme et leur action sur la dynamique des espèces pélagiques côtières sont discutés.

## ABSTRACT

*The history of Moroccan pelagic fisheries and the different sardine stocks located along the coasts are presented. Generalities on instability of world sardine stocks and proposed mechanisms are discussed. Environmental factors like rainfall, sea surface temperatures, wind speed and direction are analysed and their fluctuations are quantified, for fishery zones A and C. Regressions are established between annual abundance and some of these environmental factors. The effects of long term climatic changes and their action on pelagic fish stocks are discussed.*

## INTRODUCTION

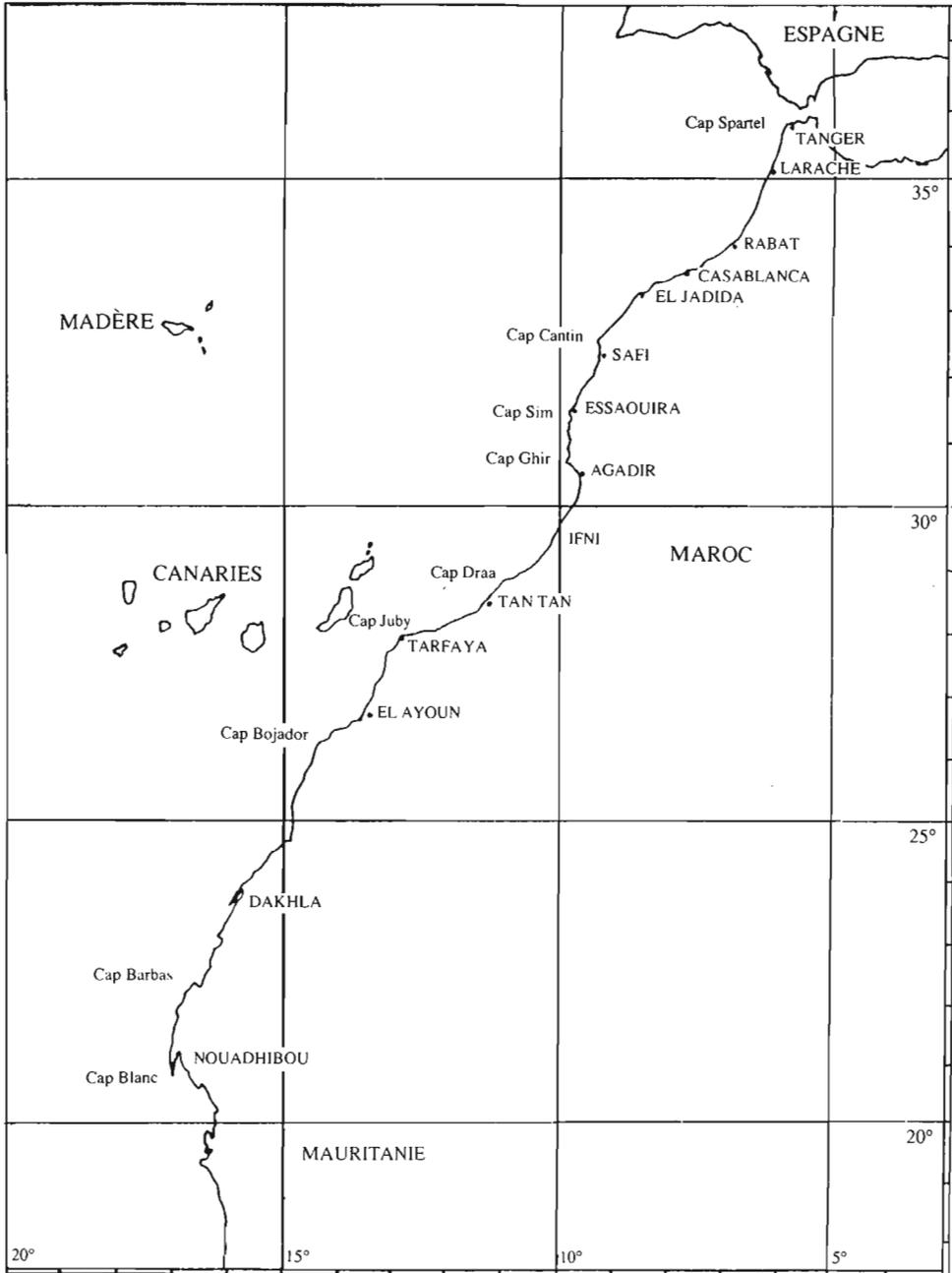
La côte atlantique marocaine a vu se développer une pêche de petits pélagiques à partir des années 1920 sous l'impulsion d'une immigration de patrons de pêche espagnols, portugais et français. Les débuts de l'exploitation concernaient la partie nord du Maroc, à partir des ports de Larache, Casablanca et El Jadida. Au cours des années 1930, la construction des ports artificiels de Safi et Agadir, et l'aménagement de l'ancien port chérifien d'Essaouira permettent le développement rapide d'une flotte de senneurs exploitant principalement la sardine et plus épisodiquement les maquereaux, chinchards et anchois. Ces bateaux à faible rayon d'action ne peuvent suivre ces poissons migrateurs dans leurs déplacements et restent donc fortement tributaires de la disponibilité des ressources dans leur zone d'activité.

D'autres pêcheries se sont développées ultérieurement plus au sud, par l'arrivée de flottes étrangères à grand rayon d'action. Conventionnellement, la zone de pêche des senneurs marocains basés dans les ports de Safi, Essaouira et Agadir est appelée «zone A» (fig. 1). Une deuxième zone de pêche entre Tantan et El Ayoun est appelée «zone B», et la troisième, la plus récente, au sud du Cap Bojador, est appelée «Zone C».

Le programme de recherches intégrées CINECA ainsi

Fig. 1

Situation géographique de la côte nord-ouest africaine et des noms des localités ou des caps mentionnés dans le texte.



que les travaux d'un certain nombre de chercheurs parmi lesquels Fumestin (1950, 1959), Fumestin (1955, 1970), Barkova (1978), Bravo de Laguna *et al.* (1976), Belvèze (1984), ainsi que les rapports du Groupe de Travail de l'Évaluation des Ressources du COPACE (Anonyme 1978, 1980, 1981) ont largement contribué à la connaissance de ces pêcheries.

Un upwelling côtier entre le détroit de Gibraltar et la Mauritanie est à l'origine de la forte productivité biologique de la région. Cet upwelling n'est pas stable mais oscille du nord au sud en fonction des saisons. Les anomalies de températures de surface en été et en hiver, mises en évidence par Parrish *et al.* (1983) montrent bien ce déplacement saisonnier du phénomène (fig. 2).

La population de sardine exploitée dans la zone A se déplace également au rythme des saisons. La zone de reproduction principale se situe au sud de Sidi Ifni, hors de portée des senneurs traditionnels marocains. La ponte a lieu de décembre à avril. L'activité de la pêche dans la zone A est essentiellement estivale, les apports étant quasiment nuls en hiver, ce qui soumet l'industrie de la conserve à de longs temps d'arrêt. La variabilité des captures annuelles est également un handicap pour l'industrie de la transformation: conserve, congélation et farine de poisson, qui faute de garantie d'approvisionnement, hésite à mettre en oeuvre un programme de modernisation à long terme.

Dans la zone C, l'exploitation sardinière a connu une croissance soutenue au début des années 1970 avec la concentration de grands chalutiers usines étrangers à la

zone. Les captures passent de 80 000 tonnes en 1969 à 523 000 tonnes en 1977 suivies d'une diminution rapide les années suivantes. La composition spécifique des captures a également évolué pendant les vingt dernières années. Les chinchards, maquereaux et sardinelles dominaient dans les captures au cours des années 1960; la sardine est devenue progressivement prépondérante au cours des années 1970.

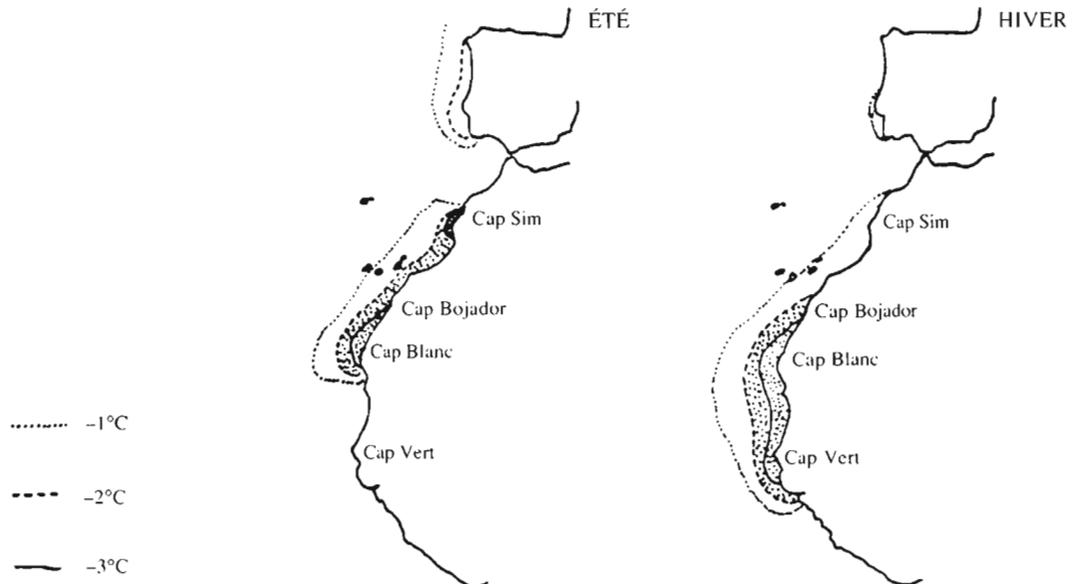
## GÉNÉRALITÉS

L'influence de l'environnement sur les fluctuations de disponibilité et d'abondance des poissons n'est pas un sujet d'étude récent. Dès les premières analyses des pêcheries, l'intervention d'événements hydro-climatiques a été évoquée pour expliquer les variations observées dans les captures. Le Congrès Scientifique Mondial sur la biologie des sardines, qui s'est tenu à Rome en 1959, a fait une large part à l'influence des facteurs biotiques et abiotiques dans l'analyse des causes des grandes fluctuations d'abondance des sardines.

Un examen des fluctuations des captures japonaises de sardine (*Sardinops melanostica*) depuis 500 ans a permis à Uda (1960) de les mettre en relation avec l'alternance de périodes chaudes et de périodes froides, liées aux variations des méandres du «Koroshio», courant chaud s'éloignant ou se rapprochant des côtes pacifiques du Japon (Nakai, 1960; 1962). L'échec du recrutement au cours de plusieurs années successives, causé par les conditions anormales du milieu (éloigne-

Fig. 2

Anomalies des températures de surface en été et en hiver le long de la côte nord-ouest africaine (d'après Parrish *et al.*, 1983).



ment du «Koroshio» entraînant une mortalité massive des larves de sardine) semble avoir joué un rôle majeur dans la chute rapide de l'abondance de la sardine japonaise de 1941 à 1943 pour Kurita (1960) qui estime que la pêche et la prédation des adultes n'ont qu'un rôle mineur. Cette diminution drastique du recrutement est confirmée par Hayashi (1960).

De son côté, Yamanaka (1960) a mis en évidence plusieurs points communs entre les fluctuations de capture des sardines au Japon (*Sardinops melanostica*) et en Californie (*Sardinops caerulea*). Dans les deux pêcheries, à un fort accroissement au cours des années 1930 succède une forte baisse au cours de la décennie 1940, suivie d'une reprise momentanée au début des années 1950. Le taux de mortalité total, qui a augmenté à partir de 1940 dans les deux pays et plus particulièrement au Japon, semble imputable à des causes naturelles plutôt qu'à une pêche intensive.

En Europe, les fluctuations des pêches de sardine (*Sardina pilchardus*), analysées par Riedel (1960), auraient des causes d'ordre biologiques et abiotiques mais, pour cet auteur, le récent développement de la pêche sardinière marocaine ne serait pas lié à une augmentation de l'abondance sur les côtes du Maroc, mais à des facteurs économiques.

Pour Margalef (1960), les sardines appartiennent à un niveau trophique assez bas (espèces phyto et zooplanctonophages). Leur reproduction précoce et leur faible longévité permettent à leurs populations de s'adapter rapidement à des changements de conditions trophiques du milieu. Elles sont caractéristiques des milieux instables, les milieux stables leur étant défavorables car elles y sont mises en compétition avec des espèces mieux adaptées à cette stabilité (plus grande longévité, reproduction plus tardive, niveau trophique plus élevé). La pêche n'intervient dans ces fluctuations naturelles qu'en augmentant l'instabilité des populations par le biais du rajeunissement qu'elle provoque en ne capturant que les classes d'âge adultes, mais la production de plancton et donc la quantité de nourriture disponible constitue la principale cause de fluctuation. En Californie, Radovich (1960) et Marr (1960) ont également souligné le rôle du milieu dans la réduction de la disponibilité et de l'abondance de la sardine ainsi que dans l'échec du recrutement. Pour Ahlstrom (1960), la relation entre le nombre de reproducteurs et l'abondance du recrutement est masquée par l'influence dominante du milieu sur la survie des oeufs et des larves. Les échecs des modèles de gestion classiques appliqués à la plupart des stocks de petits pélagiques fortement exploités, liés à la grande difficulté d'établir une relation stock/recrues pour ces espèces, et d'autre part l'infirmité de nombreuses corrélations entre un facteur d'environnement et l'abondance, au cours des années succédant à la période pour laquelle elles avaient été établies (Gulland, 1978 ; Skud, 1983), ont tempéré les prises de position un tant soit peu manichéennes. L'interdépendance entre les actions de la pêche et de l'environnement a été soulignée par Dickie (1973).

La spectaculaire récupération du stock de sardine japo-

nais qui était totalement effondré de 1964 à 1970 (Tanaka, 1983 ; Hayasi, 1983), l'apparent remplacement de la sardine par l'anchois du nord (*Engraulis mordax*) en Californie (MacCall, 1983), et en Afrique du Sud par *Engraulis capensis* (Crawford *et al.*, 1983), les effondrements successifs du stock d'anchois du Pérou (*Engraulis ringens*) et le développement de stocks de sardine et de chinchard (Valdivia *et al.*, 1983 ; Jordan, 1983) et l'apparent remplacement de l'anchois du Chili par la sardine et le chinchard (Serra, 1983), ont été largement analysés au cours de la consultation d'experts sur les changements d'abondance et de composition spécifique des stocks néritiques au Costa-Rica en avril 1983. Les causes de ces importantes perturbations des différents systèmes écologiques se répartissent plus ou moins également suivant les cas entre l'effet d'une pression de pêche excessive et l'action de l'environnement sur le succès ou l'échec de la reproduction mais aussi sur le taux de mortalité naturelle (MacCall, 1983). Les remplacements d'espèces observés dans de nombreuses pêcheries ont été étudiés par Daan (1980). Excepté pour le hareng et le maquereau de mer du Nord (Jones, 1983), il ne semble pas y avoir de compensation automatique d'une espèce par une autre. Le facteur essentiel de ces changements à grande échelle est un taux d'exploitation trop élevé d'une espèce cible dominante, mais le déclin à long terme de l'ensemble de la biomasse des différentes espèces constituant l'écosystème peut dans certains cas être dû à un affaiblissement progressif des capacités de production biologique du milieu. Jones (1983) suggère que le déclin de la biomasse totale des copépodes en mer du Nord pourrait être à l'origine de l'effondrement du stock de hareng soumis à une forte pression de pêche.

Une étude sur les dépôts d'écailles de sardine, d'anchois et de merlus dans les sédiments anaérobies des bassins de Basse et Haute Californie (Soutar et Isaacs, 1974) a permis de reconstituer l'abondance passée de ces espèces de 1810 à 1970. Elle met en évidence les larges fluctuations du stock de sardine antérieurement au développement d'une pêche intensive, et également la présence simultanée de stocks abondants de sardine anchois et merlu, dont la coexistence jette un doute sur la réalité de remplacement d'une espèce par une autre pour des raisons purement naturelles. L'abondance globale des trois espèces augmente de 1810 à 1895 mais, depuis cette date, un déclin progressif est manifeste.

Les populations de petits pélagiques vivant dans le courant des Canaries ne sont pas à l'abri de telles perturbations, le système d'upwelling côtier étant susceptible de variations équivalentes à celles observées dans les autres régions similaires, et les espèces présentes étant identiques. La preuve en est donnée par l'apparition au début des années 1970 de la «bécasse de mer» (*Macrorhamphosus scolopax*) dans les captures accessoires des sardiniers et des chalutiers marocains (Brêthes, 1975 et 1979). Cette population a envahi rapidement le plateau continental au point de gêner la pêche des autres espèces (sardine à la senne tournante,

merlus et sparidés au chalut de fond) (Villegas et Brêthes, 1976). Une campagne d'évaluation acoustique en 1976 a permis d'estimer sa biomasse à 1,3 million de tonnes entre le cap Juby et le cap Spartel (Lamboeuf *et al.*, 1976). Cette estimation plaçait alors la bécasse de mer au second rang derrière la sardine au point de vue d'abondance de petit pélagique entre le cap Juby et le cap Spartel. Cette espèce a ensuite progressivement disparu des captures accessoires des sardiniers et des chalutiers. Une nouvelle campagne de prospection et d'évaluation acoustique en 1982 n'a permis de trouver qu'un petit stock résiduel dans l'extrême nord du Maroc (Lamboeuf, com. pers.). Cette population, en une dizaine d'années, s'est donc considérablement développée et a périclité en l'absence de toute pêche intensive, ce qui est un indice sérieux de l'instabilité de l'écosystème de cette région.

Au sein des espèces exploitées, la sardine domine largement depuis le début de la pêcherie, mais si l'anchois reste marginal dans les captures, par contre les prises de maquereaux (*Scomber japonicus* et à un degré moindre *S. scombrus*) augmentent progressivement depuis quelques années, particulièrement dans la baie d'Agadir, pouvant laisser penser à un possible remplacement d'espèce dans l'avenir.

L'étude des relations entre l'environnement physique ou biologique et les indices d'abondance est délicate à entreprendre en raison de la multiplicité des facteurs à étudier: manque de connaissance sur les liens existant entre ces facteurs et les paramètres de croissance, de recrutement et de mortalité régissant la dynamique du stock, et absence de données chronologiques précises sur une période de temps suffisamment longue. Les tentatives faites par le passé pour établir des corrélations simples entre les rendements et divers indices du milieu ont échoué en raison de la variabilité des données statistiques. Cependant, d'après Dickie (1973), les recherches récentes pour démontrer les mécanismes pouvant intervenir ont permis de surmonter une partie de ces difficultés, et les résultats confirment les hypothèses précédentes selon lesquelles les fluctuations de l'environnement jouent un grand rôle dans l'abondance des recrutements.

Pour ce type d'approche, Margalef (1960), soulignait déjà la possibilité de tirer certains indices d'années exceptionnelles se répétant dans le temps et faisait remarquer que les pics de capture de *Sardina pilchardus* (Vigo), *Sardinops caerulea* (Californie), *Sardinella aurita* (Israël) et *Sardinella longirostris* (Indes) sont généralement séparés par une période moyenne de sept ans, ces fluctuations à court terme étant interconnectées avec des tendances à long terme. Le fait que certaines corrélations établies entre l'abondance et un facteur d'environnement sur une période de temps donnée se soient révélées mauvaises au cours d'une période ultérieure (Gulland, 1978) ne doit pas faire rejeter a priori la méthode de recherche de corrélations empiriques directes, mais doit nous pousser à réexaminer les données sous un autre angle, en fonction des progrès de nos connaissances sur les mécanismes de productivité bio-

logique et la réversibilité de la hiérarchie entre espèce dominée et espèce dominante sous la pression de la pêche et de l'environnement (Skud, 1983).

## PLUVIOMÉTRIE ET CAPTURES DE PETITS PÉLAGIQUES AU MAROC

### Introduction

Notre attention a été attirée par la concordance entre certaines années où les captures des senneurs dépassaient nettement celles des autres années et une sécheresse anormale retentissant sur l'agriculture. Ceci paraissait justifier un adage habituel des pêcheurs-agriculteurs de la côte atlantique du Maroc: «Ce que la terre nous refuse une année, la mer le donne».

### Les données

*La pluviométrie.* La pluviométrie est un paramètre enregistré par les stations météorologiques côtières depuis 1936 à Agadir et depuis 1955 à Safi et Essaouira. Elle est exprimée en millimètres d'eau tombée par année civile et nous a été communiquée par la Division de Climatologie de la Météorologie Nationale.

La comparaison des hauteurs d'eau tombée au cours de la période 1955-1981 à Safi et Essaouira d'une part et à Agadir d'autre part montre une corrélation positive ( $r=0,71$ ) hautement significative pour un risque inférieur à 1 %. Une régression fonctionnelle entre ces deux séries permet donc d'estimer raisonnablement les hauteurs d'eau tombée à Safi et Essaouira de 1936 à 1954 (données manquantes), à partir des données disponibles à Agadir, et de reconstituer ainsi la pluviométrie totale de la zone depuis 1936. Ces données sont présentées au tableau 1.

L'évolution de la pluviométrie côtière entre Safi et Agadir (fig. 3) montre une succession de minima (année exceptionnellement sèche) qui se reproduisent avec un certain rythme: 1937-1944 (sept ans); 1944-1950 (six ans); 1950-1958 (huit ans); 1958-1966 (huit ans); 1966-1973 (sept ans); 1973-1981 (huit ans).

*Les captures.* Les captures de petits pélagiques par les senneurs marocains se répartissent en quatre espèces d'importance inégale: la sardine (*Sardina pilchardus*) qui est de loin l'espèce dominante; les maquereaux (*Scomber japonicus*) avec un faible pourcentage de l'espèce européenne (*S. scombrus*) apparaissent dans les captures lorsque la température des eaux côtières se réchauffe; les chinchards (*Trachurus trachurus* et *T. picturatus*) dont la première espèce, fondamentalement néritique, constitue la quasi-totalité des captures, et la seconde, plus océanique, n'apparaît qu'épisodiquement dans les débarquements; l'anchois (*Engraulis encrasicolus*) est peu abondant dans les captures, excepté certaines années comme 1970 ou 1977.

Les captures annuelles de petits pélagiques de 1947 à 1981 sont données au tableau 2. La proportion de sardines dans les captures est restée supérieure à 90 % jusqu'en 1975 et se situe depuis à un niveau plus faible. L'évolution des captures se caractérise par une succes-

**Tableau 1**

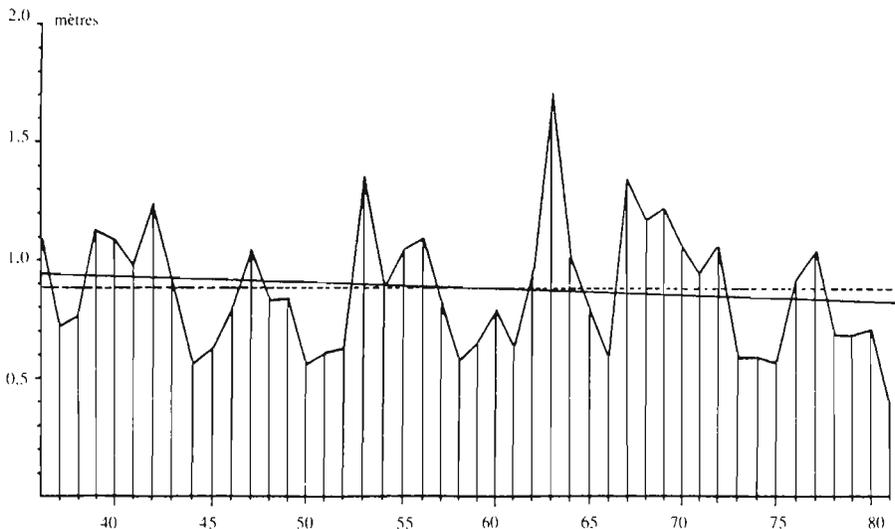
Pluviométrie enregistrée à Agadir et dans la zone Safi et Essaouira (en millimètres).

Les valeurs entre parenthèses ont été estimées à partir des données d'Agadir.

Année	Agadir	Safi et Essaouira	TOTAL	Année	Agadir	Safi et Essaouira	TOTAL
1936	331	(773)	(1104)	1959	117	533	650
1937	179	(531)	(710)	1960	181	611	792
1938	201	(566)	(767)	1961	127	492	619
1939	344	(793)	(1137)	1962	248	721	969
1940	327	(766)	(1093)	1963	610	1039	1709
1941	281	(693)	(974)	1964	286	726	1012
1942	387	(862)	(1249)	1965	224	578	802
1943	253	(649)	(902)	1966	179	383	562
1944	123	(442)	(565)	1967	430	917	1347
1945	149	(483)	(632)	1968	365	799	1164
1946	213	(585)	(798)	1969	267	961	1228
1947	309	(738)	(1047)	1970	361	698	1059
1948	227	(607)	(834)	1971	195	748	943
1949	228	(609)	(837)	1972	243	815	1058
1950	120	(496)	(557)	1973	123	462	585
1951	141	(471)	(612)	1974	175	419	594
1952	147	(480)	(627)	1975	121	440	561
1953	430	(930)	(1360)	1976	195	724	919
1954	244	(634)	(878)	1977	294	748	1042
1955	226	829	1055	1978	233	458	691
1956	387	712	1099	1979	230	454	684
1957	160	644	804	1980	290	469	711
1958	110	459	569				

**Fig. 3**

Pluviométrie enregistrée dans la zone de Safi, Essaouira et Agadir de 1936 à 1981 (en mètres).



sion de paliers plus ou moins stables entrecoupés de maxima. Ces pics sont moins prononcés avant 1960, probablement parce que la capacité individuelle de chargement des bateaux était encore faible et qu'un phénomène de saturation limitait les fortes captures en cas d'abondance exceptionnelle de poissons.

### Résultats

L'activité des senneurs ne s'étant bien développée dans la zone de pêche comprise entre Safi et Agadir qu'après la Seconde Guerre mondiale, nous avons comparé l'évolution des captures et la pluviométrie à partir de 1947. Exception faite des pics successifs, la tendance générale est un accroissement progressif des captures de petits pélagiques de 1947 à 1981, lié au développement de la flotte de pêche, puis en taille des bateaux et à une amélioration de leurs performances (sondeurs, sennes en nylon etc...) et des débouchés commerciaux (farine de poisson).

La comparaison entre l'évolution des captures et la pluviométrie (fig. 4) de 1947 à 1981 met en évidence la correspondance manifeste entre les années de sécheresse exceptionnelle à la côte et les pics de capture. Cette comparaison attire plusieurs remarques: l'hypothèse d'un cycle de sept à huit ans émise en 1975 (Belvèze, 1975) semble se confirmer par une année de grande sécheresse et de capture plus élevée en 1981. Lorsque plusieurs années sèches se succèdent, l'accroissement

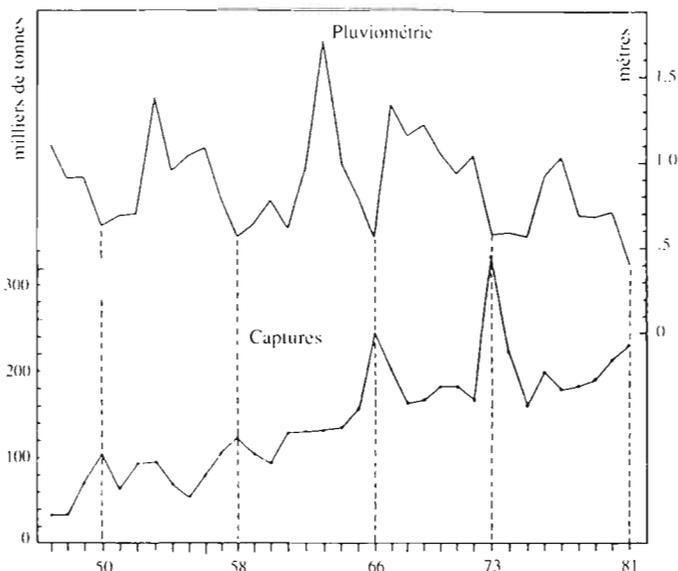
### Tableau 2

Captures annuelles de petits pélagiques dans la zone A

Année	Capture en tonnes	Année	Capture en tonnes
1947	32 960	1965	157 813
1948	35 012	1966	243 325
1949	71 786	1967	204 689
1950	102 750	1968	161 698
1951	65 209	1969	166 514
1952	93 900	1970	182 328
1953	97 397	1971	182 322
1954	70 981	1972	166 102
1955	56 943	1973	336 697
1956	79 789	1974	223 416
1957	106 539	1975	160 845
1958	122 656	1976	198 285
1959	103 795	1977	178 822
1960	94 563	1978	183 400
1961	129 288	1979	190 393
1962	130 438	1980	213 837
1963	131 971	1981	229 574
1964	137 119		

### Fig. 4

Pluviométrie côtière (mètres) et captures de petits pélagiques côtiers (milliers de tonnes) dans la zone A de 1947 à 1981.



## ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES VENTS AU CENTRE DE LA PÊCHERIE MAROCAINE (ZONE A) ET CONSÉQUENCES SUR L'EXPLOITATION

### *Généralités*

Les études de Furnestin (1959), Grall *et al.* (1974), Le Floch (1974), Le Corre et Tréguer (1976) ont montré que la zone d'upwelling qui se développe du printemps à l'automne entre Safi et le cap Juby est divisée en deux zones distinctes séparées par la baie d'Agadir. La zone nord entre Safi et le cap Ghir où les vents dominants soufflent parallèlement à la côte est le siège d'un upwelling particulièrement intense en été entre le cap Sim (Essaouira) et le cap Tafelneh. La dynamique de cet upwelling est directement liée au régime des vents côtiers.

L'enrichissement en sels nutritifs de la couche euphotique lié aux remontées d'eaux profondes (Tréguer et Le Corre, 1979; Minas *et al.*, 1982) est presque aussi important que dans les zones sud où se produit une advection d'eau centrale sud atlantique, grâce à un phénomène actif de régénération des sels nutritifs. La photosynthèse et la production primaire utilisant ces sels minéraux sont donc influencées directement par leur taux de concentration dans la couche euphotique, mais Grall *et al.* (1982) ont montré que les plus fortes productions sont observées après qu'une période de vent fort ait fait monter les eaux profondes en surface; lorsque le vent s'affaiblit, le brassage et la turbidité s'atténuent et permettent une stratification horizontale. Une succession à court terme (de l'ordre du jour ou de la semaine) de vent fort et de vent faible serait le schéma dynamique qui produit la plus forte production primaire.

Nous nous sommes donc penchés sur les données disponibles pour en extraire, non seulement l'évolution à moyen ou à long terme des vents générateurs d'upwelling, mais également de leur variabilité à court terme susceptible d'augmenter la productivité.

### *Les données*

*Choix de la station.* Les données de vent disponibles sur une longue période proviennent d'anémomètres placés à Safi, Essaouira et Agadir. Les enregistrements quotidiens nous ont été communiqués par la Division de Climatologie des Services de la Météorologie Nationale qui les a archivés depuis 1945. La compilation de trois observations journalières sur 35 ans (38.325 données) nous a obligé à nous limiter à un seul port. Nous avons retenu la station d'Essaouira pour l'étude des vents de la région pour les raisons suivantes:

- cette station est située au centre de la zone A, approximativement à équidistance de Safi et d'Agadir dans la région où la principale source d'upwelling a été mise en évidence (cap Sim);
- l'anémomètre se trouve situé sur une tour de douze mètres de hauteur placée en bordure de mer (fortifications du port) et n'a jamais été déplacé depuis son installation;

important de capture a lieu la première année mais pas aux suivantes (cf. 1975). Les années de très forte pluviométrie comme en 1953, 1963 et 1967 ne se traduisent pas par une diminution sensible des captures; il semblerait donc que le phénomène pluviométrie n'ait d'incidence sur les captures qu'en cas de sécheresse importante succédant à une période pluvieuse.

### *Discussion*

Bakun et Parrish (1980) ont souligné le danger de tester une hypothèse lorsque les mêmes données sont utilisées pour formuler cette hypothèse. Nous nous contenterons donc d'exprimer quelques remarques sur la relation possible entre la pluviométrie et les captures de petits pélagiques dans la zone de pêche marocaine, sans la tenir pour une preuve de la réalité d'une théorie.

La pluviométrie peut avoir une action enrichissante en sels minéraux nutritifs du milieu marin par les apports terrigènes des fleuves (Walford, 1946; Ben Tuvia, 1960). Ces apports sont d'autant plus importants que la couverture végétale est pauvre et l'érosion active comme c'est le cas au Maroc. Dans ce cas, une période de pluviométrie abondante entraînerait une augmentation de la productivité primaire et donc des stocks de poissons. Elle se traduirait avec un certain décalage par une augmentation des captures, mais non pas par une année isolée de très forte capture comme c'est le cas ici. Nous avons suggéré (Belvèze, 1975) que la pluviométrie côtière puisse ne pas avoir d'action par elle-même, mais être seulement le révélateur d'un certain type climatique de la zone. Les années sèches seraient alors des années où les vents alizés se seraient maintenus plus longtemps, limitant les précipitations à une brève période hivernale. Il y aurait donc une concordance entre les années sèches et une période d'upwelling plus prolongée dans la zone A, donc d'une meilleure disponibilité du poisson pendant la saison de pêche. On peut se demander pourquoi, lorsque trois années sèches se succèdent, seulement la première voit la disponibilité augmenter considérablement. Est-ce dû à une diminution de la productivité trophique par un affaiblissement des apports terrigènes au cours de la première année sèche? Cela semble peu probable si l'on considère que les plus forts taux de productivité sont trouvés entre le cap Juby et le cap Blanc, là où précisément il n'y a pas de fleuves permanents. Nous savons que la situation d'alizé n'est pas la seule à engendrer la sécheresse au Maroc, mais que des situations de «sirocco» en circulation zonale ou de décharges d'air polaire en circulation méridienne entraînent également un temps sec (Calvet et Le Goff, 1977). Une analyse des vents devait donc mieux cerner ce phénomène que ne le fait la pluviométrie.

- Essaouira se trouve sur une côte plate, légèrement convexe vers le large alors que Safi et Agadir se trouvent dans le fond de baies protégées par des reliefs (falaises du cap Cantin, chaîne montagneuse du cap Ghir) et leurs anémomètres se trouvent placés en retrait de la côte (aéroports);

- un gradient de pression zonal particulièrement important en été s'établit entre Safi et Agadir lorsqu'une dépression thermique se forme dans la plaine du Sous, entraînant un renforcement de l'alizé dans la région d'Essaouira (Richebe, 1980) à l'origine de la source d'upwelling mise en évidence entre le cap Sim et le cap Tafelneh par Le Floch (1974), Grall *et al.* (1974).

*Le vent à Essaouira.* Il est enregistré en vitesse (m/s) et en direction (degré) trois fois par jour: à 6 heures, 12 heures et 18 heures, depuis 1945. La compilation des données brutes a été effectuée par Richebe. Un programme de traitement de ces données lui a permis de recomposer la vitesse et l'azimut moyen des vents sur une base hebdomadaire, mensuelle et annuelle de 1945 à 1980. La côte étant approximativement orientée N/NE-S/SO dans cette zone, les moyennes mensuelles des projections N/NE et E des vents ont été calculées; ce sont les composantes les plus susceptibles d'engendrer un upwelling.

### Résultats

L'évolution du vent en vitesse et en direction sera envisagée successivement sur une base mensuelle (évolution à moyen terme) et sur une base annuelle (évolution à long terme).

*Les variations mensuelles.* Les moyennes mensuelles de la vitesse du vent et de ses composantes nord, nord-est et est pendant la période 1945-1980 sont données au tableau 3 et représentées sur la figure 5.

Le vent moyen augmente progressivement en vitesse du mois de janvier au mois de juillet et diminue rapidement jusqu'au mois de novembre où il est minimum. Sa composante nord est prédominante toute l'année, sauf en janvier et en décembre où la composante nord-est a une vitesse légèrement supérieure. Les composantes nord et nord-est atteignent leur vitesse maximum en août tandis que la composante est, dont les vitesses sont toujours plus faibles, atteint son maximum en juillet. La vitesse des vents moyens et de ses composantes suit un cycle saisonnier avec un minimum en hiver et un maximum en été, ce qui est conforme au schéma hydroclimatique général de cette région. Bien que les vents de secteur nord et nord-est soient largement prédominants toute l'année, leur affaiblissement en hiver et leur renforcement en été contrôlent le développement de l'upwelling.

L'énergie transmise à la surface de l'eau par le déplacement de l'air est proportionnelle au carré de la vitesse du vent, valeur adoptée dans la relation d'Ekman (Knauss, 1978). Bien que la relation dépende en fait de la vitesse du vent et de l'état d'agitation de la mer (et également

Fig. 5

Vitesses moyennes mensuelles, composantes nord, nord-est et est des vents à Essaouira pendant la période 1945-1980 en mètres/seconde.

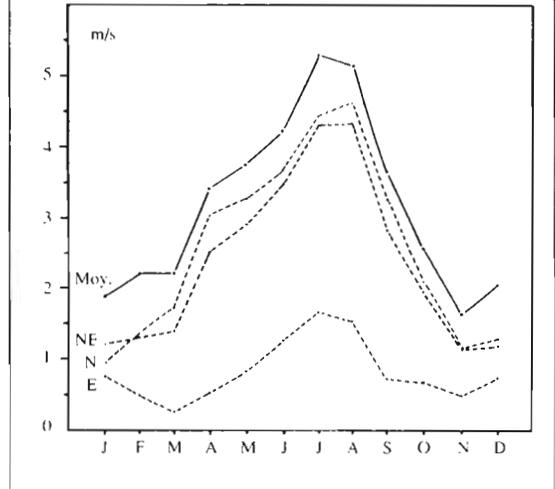


Tableau 3

Vitesses moyennes mensuelles et composantes nord, nord-est et est des vents à Essaouira pendant la période 1945-1980 en mètres/seconde.

Mois	Vitesses moyennes mensuelles	Composantes		
		Nord	Est	Est
Janvier	1.90	0.95	1.21	0.76
Février	2.21	1.35	1.30	0.49
Mars	2.21	1.73	1.40	0.26
Avril	3.42	3.03	2.52	0.53
Mai	3.76	3.27	2.90	0.82
Juin	4.23	3.66	3.48	1.26
Juillet	5.29	4.42	4.30	1.67
Août	5.14	4.61	4.34	1.53
Septembre	3.65	3.25	2.82	0.73
Octobre	2.56	2.08	1.95	0.68
Novembre	1.63	1.16	1.16	0.49
Décembre	2.05	1.28	1.43	0.74

de la hauteur au-dessus de la surface à laquelle est mesurée cette vitesse), nous avons estimé préférable d'utiliser le carré de la vitesse dans l'étude de l'impact du vent sur la pêche.

La figure 6, présente le carré des vitesses moyennes du vent et de ses composantes nord et nord-est à Essaouira en comparaison avec les captures moyennes mensuelles de sardine dans la région Safi et Essaouira, sur la période 1965-1982. Nous n'avons pas utilisé les captures mensuelles d'Essaouira seul, car en fonction du déplacement dans ce port d'une partie de la flotte de pêche de Safi, déplacements épisodiques et irréguliers d'une année à l'autre, les débarquements peuvent varier considérablement pour un mois donné. Le parallélisme entre les deux séries de données est évident. Pendant la période hivernale, les vents de secteur nord-est sont faibles et la pêche est quasiment arrêtée; cette période est d'ailleurs mise à profit par les armateurs et les usiniers pour les travaux d'entretien des senneurs et des conserveries. L'augmentation rapide du vent de type alizé entre mars et mai se traduit par une augmentation des captures qui se poursuit jusqu'au mois de juillet, point culminant de la vitesse moyenne du vent. A partir de septembre, la décroissance rapide de la vitesse du vent est suivie par une chute proportionnellement moins rapide des captures.

Il semble donc y avoir un certain temps de latence entre la croissance et la décroissance du vent, et l'augmentation et le déclin des captures. Cela peut s'expliquer par le mouvement de migration de la sardine qui, en hiver,

est concentrée dans le sud d'Agadir. L'augmentation du vent dans la zone nord engendre un accroissement de productivité induisant l'extension géographique de la population vers le nord. L'apparition de sardines dans la zone Safi et Essaouira ne suit donc pas immédiatement l'augmentation du vent; si l'accroissement de productivité planctonique est presque immédiat, il faut au poisson le temps nécessaire pour parcourir les quelques deux cents milles nautiques qui les séparent de cette zone. Inversement, l'affaiblissement rapide du vent en septembre et octobre est suivi d'une diminution moins rapide des captures, ce qui reflète une certaine inertie dans la relation de cause à effet entre la vitesse du vent et la présence de sardines dans la zone Safi et Essaouira. La comparaison des CPUE (capture par unité d'effort) locales moyennes dans cette zone avec le carré des vitesses moyennes des vents du nord et nord-est (tab. 4) fait encore mieux ressortir ce décalage (fig. 7).

Il est probable que le premier pic, relativement modeste, de la CPUE moyenne en avril, consécutif à une forte augmentation de la vitesse de la composante nord du vent, traduise la concentration, dans la zone de pêche, des sardines qui sont restées hiverner dans la zone A. Le fort accroissement des CPUE en juin et juillet reflète par contre l'arrivée des sardines du sud dans la pêcherie Safi-Essaouira. Le maximum des CPUE correspond au maximum de vitesse des composantes nord et nord-est du vent en août. La diminution des CPUE à partir de septembre est moins rapide que la diminution de vitesse du vent. La migration de retour des sardines vers le sud

Fig. 6

Carré des vitesses moyennes du vent et de ses composantes nord et nord-est à Essaouira et captures mensuelles dans la zone Safi et Essaouira pour la période 1965 à 1982.

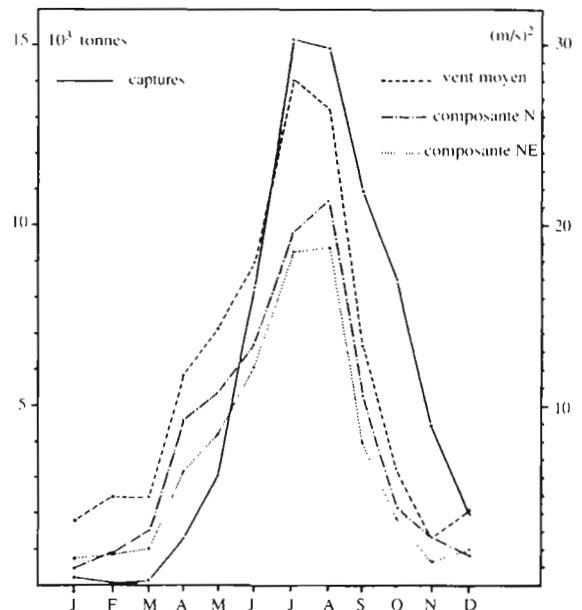


Fig. 7

Carré des vitesses moyennes mensuelles des vents de nord et de nord-est à Essaouira et CPUE locales moyennes dans la zone Safi+Essaouira de 1968 à 1982.

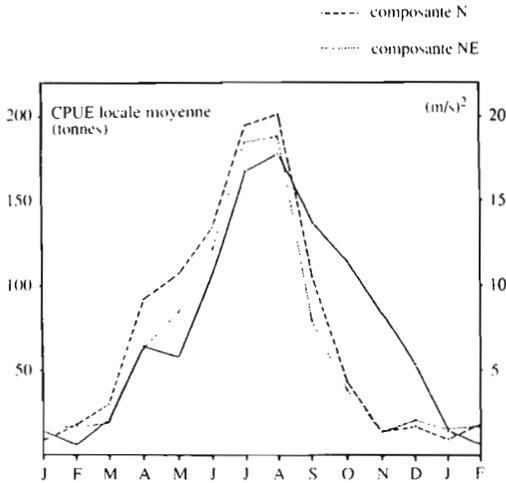


Tableau 4

Captures de sardine, effort nominal et CPUE locale (moyennes mensuelles de la zone Safi et Essaouira) et carré de la vitesse. Moyenne des vents (composantes nord et nord-est).

Mois	Captures (tonnes)	Effort nominal	CPUE (tonnes)	Composante	
				Nord	Nord-Est
Janvier	203	14.27	14.23	0.90	1.46
Février	60	10.13	5.92	1.82	1.69
Mars	142	6.69	21.22	2.99	1.96
Avril	1 297	20.13	64.44	9.18	6.35
Mai	3 053	52.43	58.23	10.69	8.41
Juin	8 268	76.23	108.46	13.40	12.11
Juillet	15 160	90.65	167.24	19.54	18.49
Août	14 910	84.00	177.50	21.25	18.84
Septembre	10 948	79.91	137.01	10.56	7.95
Octobre	8 505	74.49	114.18	4.33	3.80
Novembre	4 471	53.73	83.21	1.35	1.35
Décembre	2 001	37.69	53.1	1.64	2.04

ne s'effectue donc pas massivement dès que l'upwelling s'affaiblit, mais très progressivement. Il est évident que l'upwelling et l'enrichissement trophique qu'il procure à cette zone agit sur la disponibilité locale en sardine par le biais d'une concentration à la côte et surtout d'une migration trophique du poisson hivernant plus au sud. La zone de reproduction massive se situant entre le cap Juby et Sidi Ifni de décembre à avril, il est peu probable que les fluctuations de l'upwelling aient une influence déterminante sur l'abondance totale de la population par la voie du recrutement. Elles peuvent par contre avoir une influence indirecte et inverse sur l'abondance, en augmentant ou en diminuant la disponibilité locale du poisson, c'est-à-dire la fraction du stock total qui migre et devient accessible aux sardiniers marocains, leur permettant aussi des prélèvements plus ou moins importants sur le stock.

*Variations à long terme.* L'évolution du vent moyen à Essaouira de 1945 à 1980 doit être envisagée sous deux aspects: sa vitesse et son orientation. Les valeurs moyennes annuelles de ces deux paramètres, calculées par Richebe, sont reproduites au tableau 5, et présentées figure 8.

Cette figure appelle principalement deux commentaires:

- la vitesse moyenne des vents (en mètre/seconde) à Essaouira tend à diminuer d'une façon générale depuis 1945, tout en manifestant des fluctuations interannuelles d'une certaine amplitude. Ce phénomène est particuliè-

rement marqué depuis 1975, les vitesses moyennes observées étant inférieures à la droite de régression calculée de 1945 à 1980. Le début de cette tendance se situe à la fin des années cinquante et on peut décomposer cette évolution en deux périodes: de 1945 à 1958, une relative stabilité avec des fluctuations importantes; de 1959 à 1980, une décroissance progressive avec des fluctuations moins importantes, sauf entre 1973-1974 et les années suivantes. Devant ces résultats, nous nous sommes inquiétés de la fiabilité des anémomètres, une telle diminution à long terme pouvant être causée par une usure du matériel. Après une enquête auprès des Services de la Météorologie Nationale, il s'avère que les anémomètres ne peuvent pas être mis en cause, leurs dates de révision ou remplacement ne correspondent pas à une augmentation de la vitesse du vent enregistré.

- la direction moyenne des vents a également évolué au cours de cette période de 35 ans. Entre 1945 et 1960, l'azimut moyen des vents oscille entre 340° et 20° (moyenne 5°). Entre 1961 et 1980, l'azimut varie plus largement entre 350° et 60° (moyenne 26°). Il y a donc une légère orientation vers l'est de la moyenne des directions depuis 1960. Il est admis que le transport d'Ekman est globalement perpendiculaire à la direction du vent. A vitesse de vent égale, une orientation vers l'est des vents dominants, alors que le secteur de côte est pratiquement N/NE-S/SO, entraîne donc un affaiblissement de l'upwelling. Calculer un transport

Fig. 8

Vitesse et direction moyennes annuelles du vent à  
Essaouira de 1945 à 1980.

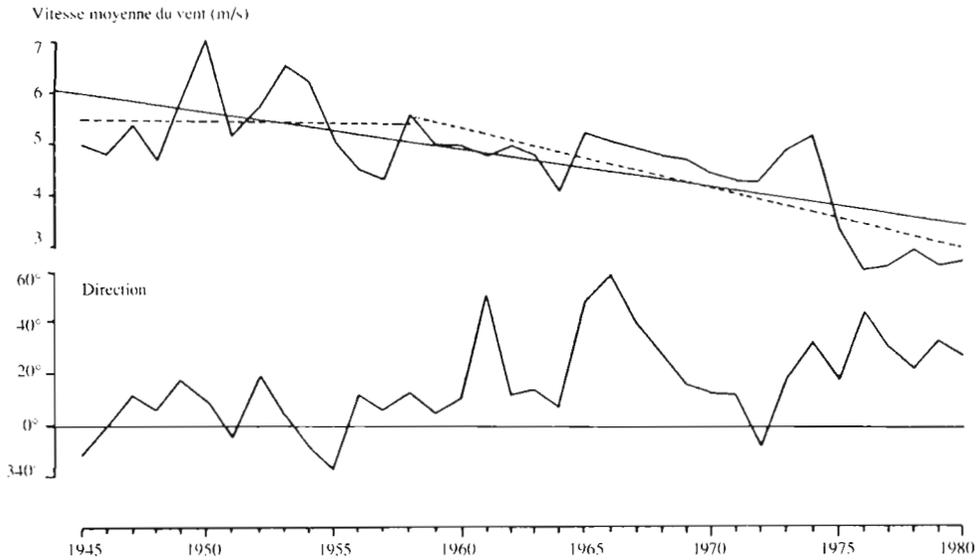


Tableau 5

Vitesse moyenne du vent, variance de la  
moyenne et azimut à Essaouira de 1945 à  
1980 (données de Richebe).

Année	Vitesse moyenne (m/s)	Variance	Azimut (degrés)	Année	Vitesse moyenne (m/s)	Variance	Azimut (degrés)
1945	4.98	4.82	348	1963	4.78	1.68	14
1946	4.78	5.67	360	1964	4.09	1.40	7
1947	5.34	9.68	12	1965	5.21	2.09	48
1948	4.67	9.24	6	1966	5.03	3.22	59
1949	5.85	9.81	18	1967	4.92	1.63	40
1950	7.01	8.16	10	1968	4.77	1.57	28
1951	5.12	3.54	355	1969	4.70	2.10	16
1952	5.69	3.57	20	1970	4.44	2.28	13
1953	6.50	4.44	4	1971	4.29	2.31	12
1954	6.17	3.89	352	1972	4.30	1.65	351
1955	5.03	4.92	343	1973	4.87	4.33	18
1956	4.49	2.36	12	1974	5.18	2.38	33
1957	4.30	1.91	6	1975	3.31	2.25	17
1958	5.56	2.65	13	1976	2.55	1.26	44
1959	5.00	3.29	4	1977	2.65	2.53	30
1960	4.96	2.26	11	1978	2.94	1.96	21
1961	4.78	3.19	51	1979	2.63	1.99	33
1962	4.95	3.45	12	1980	2.77	2.25	27

d'Ekman pour l'ensemble de la zone sur une seule mesure de vent, à la côte et à 12 mètres au-dessus de la surface, ne serait pas représentatif. Nous conserverons donc la mesure de la vitesse du vent élevée au carré comme indice des fluctuations de l'upwelling, en ne perdant pas de vue que cet indice reste ponctuel et que les variations de direction peuvent également jouer un rôle non négligeable. L'indice «carré de la vitesse du vent à Essaouira» reste néanmoins une donnée intéressante à comparer aux indices d'abondance locale de sardine dans la zone A car il se situe au niveau de la source d'upwelling reconnue par les différentes campagnes CINECA. Nous envisagerons plus loin les raisons de cet affaiblissement à long terme de la force des vents.

#### *Relations entre le vent à Essaouira et la disponibilité en sardine dans la zone A.*

Belvèze et Erzini (1983) ont mis en relation successivement le carré de la vitesse moyenne annuelle du vent et la variance de cette moyenne avec les captures de sardines à Safi-Essaouira et avec les CPUE locales dans cette même zone. Les CPUE sont un meilleur indice de l'abondance locale en sardine que les captures mais ne sont disponibles que depuis 1968.

La vitesse moyenne du vent représente l'énergie permettant le «pompage» des sels minéraux en profondeur puisque l'orientation moyenne du vent reste, à 20° près, plus ou moins parallèle à la côte. Nous savons que l'action du vent sur la surface est proportionnelle au carré de sa vitesse. Nous savons d'autre part par les travaux de Grall *et al.* (1982) dans cette zone, que la turbulence limite la production primaire et que celle-ci est plus importante lorsque le vent s'affaiblit après une période de forte activité ayant fait monter les sels nutritifs dans la couche euphotique. La force du vent joue donc un rôle d'enrichissement du milieu et sa variabilité permet une meilleure utilisation par la photosynthèse de ces sels nutritifs. La variance de la moyenne annuelle de la vitesse du vent comme indice de sa variabilité n'est pas très satisfaisante d'un point de vue théorique puisque l'on peut obtenir une variance annuelle élevée avec six mois de vents constamment faibles suivis de six mois de vents constamment forts, ce qui ne correspond évidemment pas aux critères d'une bonne utilisation des sels nutritifs. Belvèze et Erzini, (1983) ont toutefois obtenu une corrélation satisfaisante entre les CPUE locales annuelles et d'une part le carré de la vitesse moyenne du vent ( $r = +0,74^{***}$ )<sup>(1)</sup> et d'autre part la variance de la moyenne ( $r = +0,84^{***}$ ). Une régression multiple entre les CPUE locales et ces deux facteurs donne un coefficient de corrélation élevé ( $r = +0,92^{***}$ ). La vitesse moyenne et la variabilité du vent exprimée par la variance, expliquent ensemble près de 84 % de la variance de l'abondance locale en sardine, c'est-à-dire de sa disponibilité dans la zone

(1) Coefficient significatif: \*\*\* à moins de 1 % de risque, \*\* entre 1 % et 5 % de risque, \* entre 5 % et 10 % de risque.

d'action des sardiniers de Safi et d'Essaouira. Ces deux facteurs météorologiques agissent ensemble dans le même sens, c'est-à-dire en synergie. Ils ne sont pas liés entre eux par une corrélation significative. La concordance entre les différents facteurs et l'abondance locale la même année montre bien qu'il s'agit de la disponibilité en sardines adultes dans la zone de pêche et non d'une augmentation réelle du stock par un recrutement plus important qui ne se ferait sentir que les années suivantes.

Nous avons repris ces données pour étendre l'étude à l'ensemble de la zone A, sur la base des indices effectifs d'abondance (Belvèze, 1984). Au lieu d'utiliser le carré de la vitesse moyenne du vent, nous avons recalculé la moyenne des carrés des vitesses hebdomadaires communiquées par Richebe, et la variance de cette moyenne. Nous avons combiné ces deux données en prenant la racine carrée de leur produit. Enfin, nous avons cherché à exprimer la variabilité de la vitesse du vent à court terme par un autre facteur que la variance au sujet de laquelle nous avons déjà fait des réserves. Sur la base des carrés des vents moyens hebdomadaires, nous avons calculé les différences en valeur absolue entre chaque semaine et la suivante et pris la moyenne de ces différences comme indice de la variabilité annuelle. Cet indice est d'autant plus élevé que le vent a varié fortement en intensité d'une semaine à l'autre au cours de l'année. Comme il n'est pas exprimé en valeur relative, il y a une redondance importante entre lui et la moyenne des carrés de la vitesse du vent. Les deux séries de facteurs sont significativement corrélées ( $r = +0,88^{***}$ ). Les données ainsi calculées sont exposées au tableau 6. L'année 1973, où la CPUE était exceptionnellement élevée, correspond à une vitesse moyenne et à une variance très élevée. En 1974, la vitesse du vent est en moyenne plus forte mais la variance est nettement plus faible et la CPUE est moins élevée. Les années de faible CPUE correspondent à des années où vitesses moyennes et variances sont les plus basses.

Sur la figure 9, nous avons représenté les évolutions respectives des CPUE, de la moyenne des carrés de la vitesse du vent et de la moyenne de ses écarts d'une semaine à l'autre en valeur absolue. L'affaiblissement des CPUE de 1968 à 1973 semble être lié à une diminution de la vitesse moyenne du vent, son indice de variabilité à court terme restant stable. Le fort accroissement de la CPUE en 1973 est lié autant à une augmentation de vitesse que de variabilité à court terme, tandis que l'affaiblissement de 1974 suit la diminution de la variabilité et non de la vitesse moyenne du vent qui reste très élevée. Les deux années de très faibles CPUE (1977 et 1978) correspondent à des valeurs de vitesse et de variabilité équivalentes à celles observées en 1976 ou en 1979 et, dans ce cas, il paraît vraisemblable que les faibles niveaux de biomasse du stock ces années-là aient également joué un rôle.

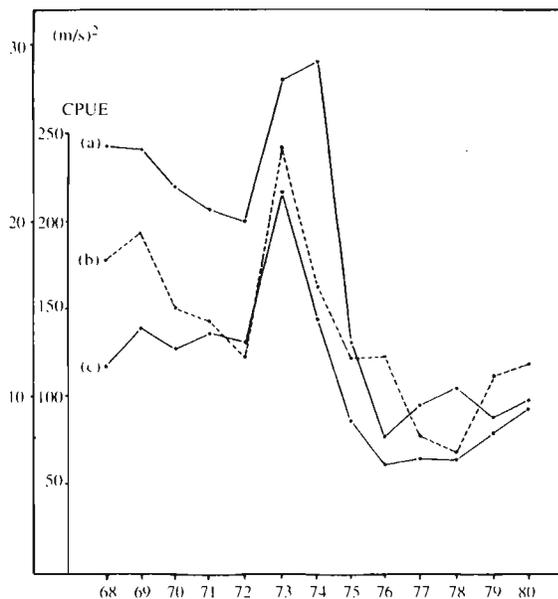
Les relations entre les CPUE annuelles et les paramètres du vent ont été étudiées par régression linéaire, une droite paraissant mieux s'adapter qu'une courbe au nuage de points observés (fig. 10, 11 et 12). Des essais

Fig. 9

(a) Moyenne des carrés de la vitesse du vent à Essaouira.

(b) CPUE dans la zone A.

(c) Moyenne des écarts des carrés de la vitesse du vent d'une semaine à l'autre en valeur absolue, de 1968 à 1980.



de régressions curvilignes ont donné des coefficients de corrélation inférieurs à ceux de la régression linéaire. Deux régressions linéaires multiples ont également été tentées, avec comme variables explicatives la moyenne des carrés des vitesses et sa variance pour l'une et la moyenne des carrés des vitesses et la moyenne des écarts inter-hebdomadaires pour l'autre. Les coefficients de corrélation obtenus et les paramètres de la régression sont exposés au tableau 7, reprenant le symbolisme utilisé au tableau 6.

Ces coefficients n'expliquent que 67 % à 79 % de la variabilité des CPUE par l'action du vent. Il est probable que les fluctuations intrinsèques de l'abondance réelle de la population puissent expliquer le résidu de variation.

Avec les quelques estimations de biomasse à notre disposition (Belvèze, 1984), nous avons essayé de déterminer un taux de disponibilité de la sardine dans la zone A, basé sur les rapports CPUE/Biomasse et Capture/Biomasse. Les données sont exposées au tableau 8 et comparées aux paramètres A, B, C et D évoqués précédemment.

L'indice de disponibilité basé sur le rapport abondance locale (CPUE) divisée par l'abondance générale du stock (biomasse moyenne) décroît de 1971 à 1980 avec un pic en 1973 et reflète donc une évolution comparable à celle des différents paramètres du vent envisagés (fig. 13). Les résultats des régressions linéaires entre ces deux séries d'indices et les paramètres du vent sont

exposés au tableau 9.

Le rapport CPUE/B est plus étroitement corrélé que le rapport Capture/B aux différents paramètres du vent, mais les différents types de mesure de la variabilité sont mieux corrélés à cet indice de disponibilité de la sardine dans la zone A que la vitesse moyenne du vent. Les observations de Grall *et al.* (1982) concernant la productivité de cette zone paraissent donc être confirmées, la variation à court terme du vent a autant, sinon plus, d'importance que la vitesse propre du vent dans les processus d'enrichissement trophique. La tendance à l'affaiblissement simultané de la force et de la variabilité du vent implique donc une tendance à une diminution corrélative de la disponibilité de la sardine dans la zone de pêche traditionnelle marocaine.

#### Discussion et perspectives à long terme pour la zone A

Parrish *et al.* (1981) soulignent que le problème majeur dans la définition des relations entre l'environnement et la biologie des espèces, relations nécessaires pour construire des modèles prédictifs, provient de la trop courte série de données généralement disponibles. Les données sur les pêcheries fournissent le plus souvent un point par an et la période pendant laquelle la série de valeurs peut être considérée comme homogène n'exède normalement pas 10 à 20 ans. Appairer une multitude d'effets possibles du milieu avec une série de 10 à 20 points est statistiquement hasardeux. Par conséquent, il est nécessaire, ou bien de trouver les moyens

**Tableau 6**

Moyennes annuelles des carrés des vitesses hebdomadaires du vent à Essaouira (A), variance de cette moyenne (B), racine carrée du produit de A et B (C), et moyennes des écarts en valeur absolue entre les carrés des vitesses hebdomadaires successives (D) en fonction des CPUE dans la zone A.

ANNEE	A	B	C	D	PUE Zone A
1968	24.25	137.2	57.68	11.68	178.6
1969	24.17	182.5	66.42	13.91	193.6
1970	21.97	254.3	74.75	12.73	150.8
1971	20.71	186.4	62.13	13.60	143.5
1972	20.06	127.1	50.50	13.10	123.2
1973	28.00	528.3	121.63	21.68	241.7
1974	29.17	248.0	85.05	14.45	163.1
1975	13.16	120.7	39.86	8.62	122.2
1976	7.73	39.1	17.38	6.15	123.2
1977	9.51	80.7	27.71	6.48	78.0
1978	10.57	70.1	27.22	6.43	68.8
1979	8.87	88.7	28.05	7.99	112.2
1980	9.88	139.8	37.16	9.40	119.5

**Tableau 7**

Coefficient de corrélation et paramètres de la régression linéaire des CPUE en fonction de A (moyenne des carrés de vitesses hebdomadaires), B (variance de cette moyenne), C (racine carrée du produit A x B) et D (moyenne des écarts en valeur absolue des carrés des vitesses inter-hebdomadaires).

	Coef. Corrélation	Relation
CPUE = f(A)	+0.819***	CPUE = 53.7 + 4.92 A
CPUE = f(B)	+0.819***	CPUE = 88.2 + 0.305 B
CPUE = f(C)	+0.869***	CPUE = 64.9 + 1.402 C
CPUE = f(D)	+0.888***	CPUE = 33.1 + 9.49 D
CPUE = f(A et B)	+0.773***	CPUE = 60.4 + 2.83 A + 0.18 B
CPUE = f(A et D)	+0.794***	CPUE = 33.2 + 1.01 A + 7.90 D

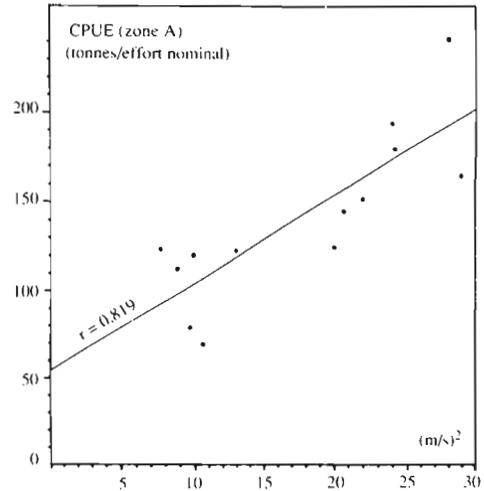
**Tableau 8**

Estimation de biomasse moyenne du stock en milliers de tonnes (B), rapport CPUE/B et capture en milliers de tonnes/B dans la zone A.

ANNEE	B	CPUE/B	C/B
1971	1267	0.113	0.136
1972	1035	0.119	0.154
1973	1212	0.199	0.269
1974	1044	0.156	0.196
1975	pas de données		
1976	979	0.126	0.180
1977	705	0.111	0.145
1978	788	0.087	0.116
1979	1282	0.088	0.127
1980	1159	0.103	0.156

**Fig. 10**

Régression entre la moyenne des carrés de la vitesse du vent à Essaouira et la CPUE annuelle dans la zone A.



**Tableau 9**

Coefficient de corrélation et paramètres de la régression des indices de disponibilité CPUE/B et C/B en fonction de A (moyenne des carrés des vitesses hebdomadaires), B (variance de cette moyenne), C (racine carrée du produit A x B) et D (moyenne des écarts en valeur absolue entre les carrés des vitesses hebdomadaires des semaines successives).

	Coef. Corrélation	Relation
CPUE/B = f(A)	+0.786***	CPUE/B = 0.070 + 0.003 A
CPUE/B = f(B)	+0.884***	CPUE/B = 0.087 + 0.0002 B
CPUE/B = f(C)	+0.882***	CPUE/B = 0.076 + 0.0009 C
CPUE/B = f(D)	+0.841***	CPUE/B = 0.059 + 0.006 D
C/B = f(A)	+0.652*	C/B = 0.107 + 0.0035 A
C/B = f(B)	+0.858***	C/B = 0.120 + 0.0003 B
C/B = f(C)	+0.808***	C/B = 0.108 + 0.0011 C
C/B = f(D)	+0.775**	C/B = 0.087 + 0.007 D

Fig. 11

Régression entre la racine carrée du produit de la moyenne des carrés des vitesses hebdomadaires du vent et de la variance de cette moyenne à Essaouira et la CPUE annuelle (zone A).

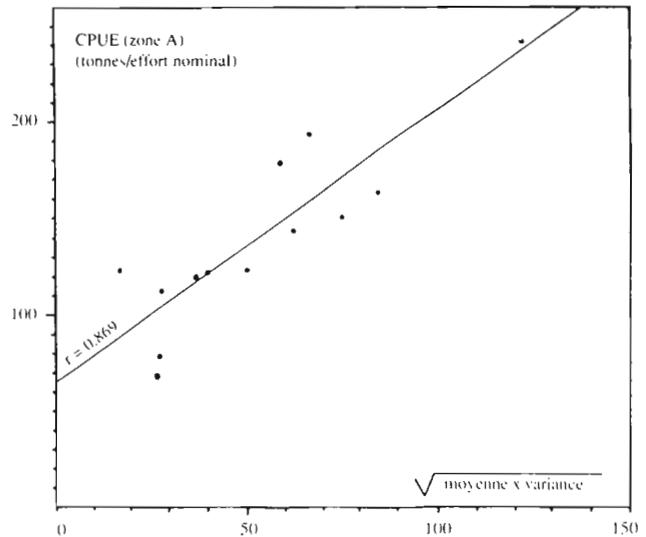
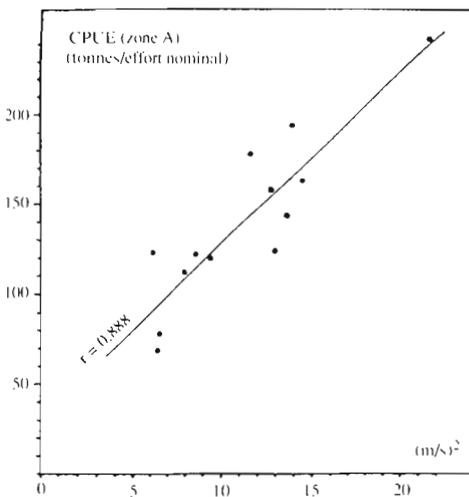


Fig. 12

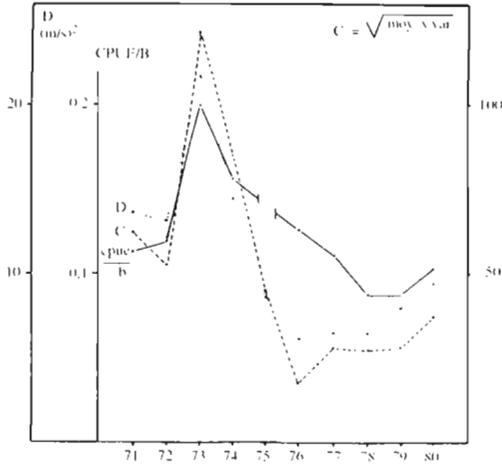
Régression entre la moyenne des écarts en valeur absolue des carrés des vitesses du vent d'une semaine à l'autre à Essaouira et la CPUE annuelle dans la zone A.



de réduire les facteurs d'environnement, soit à un, soit au plus à quelques indices intégrant l'état général du milieu, ou bien d'espérer qu'un ou peut être deux facteurs de l'environnement aient un effet suffisamment dominant pour être distingué à travers le «niveau de bruit» engendré par les autres effets du milieu. Il semblerait donc que dans le cas de la pêcherie A les facteurs vitesse et variabilité à court terme du vent, qui se trouvent bien corrélés avec l'abondance locale en sardine et le taux de disponibilité du poisson dans cette zone, puissent être considérés comme des indices intégrant les autres facteurs (upwelling, productivités primaire et secondaire, etc...). Ces facteurs d'environnement interviennent sur la disponibilité en sardine dans la zone de pêche traditionnelle marocaine et non sur l'abondance du stock par le biais du recrutement puisque la reproduction principale se situe entre Ifni et le Cap Juby. L'extension, en été, de la population de sardine vers le nord est proportionnelle au développement des conditions trophiques engendrées par l'upwelling entre Safi et le cap Ghir. Le «quota» de sardines disponible à chaque saison de pêche dans la zone A est en grande partie conditionné par le niveau de productivité trophique engendré par l'action des vents sur le milieu. De cette observation basée sur une période de treize années pouvons-nous envisager l'avenir de la pêcherie traditionnelle de sardine dans la zone A ? Le fait que nous ayons à notre disposition une série beaucoup plus longue (35 ans) d'observations sur le vent, nous permet de

Fig. 13

Evolution du rapport CPUE/B dans la zone A en comparaison avec la moyenne des écarts des carrés des vitesses du vent d'une semaine à l'autre à Essaouira (D) et la racine carrée du produit de la moyenne des carrés des vitesses du vent et de la variance de cette moyenne (C), de 1971 à 1980.



constater que la tendance générale de l'affaiblissement progressif des alizés a débuté à la fin des années 50, début des années 60. Cette période de 20 ans est-elle conjoncturelle ou est-elle l'amorce d'une période de changement climatique à long terme ? Pour apporter une réponse à cette question il est nécessaire de se pencher sur l'évolution climatique, non seulement du Maroc, mais également de l'ensemble de l'Atlantique nord.

Au niveau régional, une étude approfondie de l'évolution contemporaine de la température au Maroc de 1936 à 1980 (Le Goff, 1982) montre que les températures moyennes dans l'ensemble du pays ont commencé à diminuer en été au début des années 1940. Cette baisse s'est étendue à l'automne vers 1945, au printemps et au début de l'hiver vers 1950. A partir de 1960, la diminution des températures s'étend aux douze mois de l'année et se maintient jusqu'à nos jours. L'auteur analyse en détail ce phénomène et ses conséquences. Le plus fort refroidissement a lieu de mars à juin (-2,6°C en 45 ans). « Cette forte baisse des températures printanières, bien que peu visible au jour le jour, semble avoir déjà apporté des modifications non négligeables sur le cycle végétatif de certaines espèces spontanées et même d'espèces cultivées: récoltes (blé, raisin) souvent un peu plus tardives que par le passé, espèces ornementales en nette régression florale par rapport à un passé encore récent (bougainvillées, certains géraniums, etc...). Il convient

de signaler aussi que les difficultés rencontrées de plus en plus fréquemment dans la production des primeurs ont entraîné de nombreux maraîchers à se doter de serres. Ce phénomène rare il y a quelques décennies est maintenant un fait presque habituel dans certaines zones pour les cultures traditionnelles de légumes». Bien que l'influence océanique ait en partie masqué sur le littoral la baisse générale des températures, l'auteur montre que le phénomène affecte l'ensemble du pays, y compris les zones pré-sahariennes se situant de l'autre côté de la chaîne de l'Atlas. Il conclut qu'étant donné les climats très différents qui existent de part et d'autre de la barrière atlasique, il est probable que la baisse générale des températures soit un phénomène de grande envergure qui dépasse largement le cadre marocain, et envisage diverses hypothèses sur son origine. Une extension de l'air polaire au détriment de l'air tropical, nettement plus marquée à la fin de l'hiver et au printemps, expliquerait le refroidissement général et également la diminution de la pluviométrie au Maroc. Les causes sont probablement d'ordre géoclimatique et liées à un refroidissement général de l'hémisphère nord mis en évidence depuis le début des années 60. La baisse progressive des alizés s'intègre donc également dans ce cadre général.

Les connaissances actuelles en matière d'histoire climatique s'appuient sur une multitude d'observations chronologiques diverses telles que les dates des vendanges, l'étude des cercles d'accroissement sur les sections de tronc d'arbre à grande longévité, l'analyse des mouvements des glaciers qui avancent ou reculent suivant les époques, et la compilation d'événements naturels et humains consignés dans des archives dispersées et incomplètes. Elles font appel non seulement à la patience et à l'obstination des historiens mais également à des techniques modernes telles que la datation par le carbone 14 ou la stratigraphie des pollens fossiles dans les tourbières. Elles résultent donc d'un amoncellement d'études sectorielles diverses dont la synthèse représente un travail considérable. Deux synthèses de ce type retraçant l'évolution climatique des derniers millénaires ont été publiées par Leroy Ladurie (1971) et Lamb (1982), offrant une importante compilation bibliographique. Nous résumons ci-après les conclusions des deux auteurs, le lecteur pouvant trouver dans leurs ouvrages l'argumentation et les références supportant leurs conclusions. La notion de «fixisme» du climat depuis le sixième millénaire avant J.C évoquée il y a une vingtaine d'années est obsolète, ainsi que la notion de période «normale» représentant un climat moyen d'une région donnée. Pendant longtemps, les météorologistes ont choisi comme «normales» les époques trentenaires qui couvrent les années de 1901 à 1931 et de 1931 à 1960 et sur lesquelles ils disposaient d'observations quantitatives suffisamment nombreuses. Or ces groupes de trois décennies étaient précisément les plus chauds qu'on ait connu depuis longtemps et ne se situent donc pas dans une «norme». Avec la fusion des glaces consécutive à la fin du dernier grand âge glaciaire, l'élévation du niveau de la mer fixe

les littoraux à peu près dans leurs contours actuels vers 5 000 ans avant J.C. Après une phase de réchauffement post-glaciaire dite «atlantique» ou «optimale» entre 5 000 et 3 000 ans avant J.C., s'instaure un nouveau refroidissement limité qui introduit nos climats actuels: toutes les zones climatiques se décalent vers le sud (arctique, tempérée, subtropicale, etc...). Le Sahara, qui jusque vers 3 500 avant J.C. recevait encore l'humidité des cyclones méridionaux, se dessèche à nouveau après cette date et simultanément les glaciers avancent un peu dans les Alpes. A partir du Moyen-Age, grâce aux nombreux travaux regroupés par Lamb, nous possédons des certitudes sur une chronologie plus précise du climat. Une période de chaleur analogue à celle que nous avons vécue depuis le début du siècle et appelée «petit optimum médiéval» s'étend de 800 à 1200 de notre ère. Le recul des glaciers est général et favorise la colonisation du Groënland par les Vikings au X<sup>ème</sup> siècle. Cette période se termine au XIII<sup>ème</sup> siècle. Elle est suivie par un léger rafraîchissement qui prépare l'apparition de ce que les météorologistes ont appelé le «petit âge glaciaire», très net au cours du XVII<sup>ème</sup> siècle, il intéresse la période se situant entre 1560 et 1850. Ce n'est pas un bloc homogène; on y trouve des périodes de redoux donnant lieu ensuite à des paroxysmes frais. Les glaciers alpins avancent à nouveau jusqu'à écraser les chalets de Chamonix. Le réchauffement récent qui lui a succédé commence aux années 1850-1860 et culmine pendant la décennie 1940. Toutes les zones climatiques (arctique, tempérée, subtropicale) paraissent se déplacer vers le nord en se contractant autour du pôle Nord. En compensation, l'air antarctique au pôle Sud s'accroît en s'étendant vers le nord. Depuis les années 1950 et surtout 1960, le réchauffement de l'hémisphère nord fait place à nouveau à un certain rafraîchissement, en vertu d'un balancement plus ou moins irrégulier. Les observations de Le Goff (1982) concernant le Maroc sont donc en parfait accord avec l'apparition de ce refroidissement général.

De nombreuses causes sont évoquées pour expliquer les raisons de ces alternances de périodes séculaires de refroidissement et de réchauffement qui ne sont pas sans effet sur les écosystèmes: les taches solaires et leur rythme de onze ans, les variations, même légères de l'axe de rotation de la terre ou de son orbite, les éruptions volcaniques propulsant dans la haute atmosphère des poussières faisant écran au rayonnement solaire etc... Lamb (1982) met essentiellement en cause le «vortex circumpolaire», cet immense flux d'ouest qui balaie les latitudes tempérées, encerclant le globe comme un anneau. Si le flux est réellement annulaire et resserré vers le pôle, alors les anticyclones subtropicaux et chauds se décalant vers le nord induisent une période saisonnière, décennale, séculaire ou même millénaire de réchauffement de l'hémisphère nord. Tout dépend de la durée du phénomène de base qui reste fondamentalement le même, amplitude mise à part, à toutes les échelles du temps. Si, au lieu de se contracter vers le nord, le cortex circumpolaire s'épanouit vers le sud, il repousse vers des latitudes plus méridionales

l'anticyclone des Açores et permet corrélativement la descente vers le sud de l'air arctique, engendrant une période de refroidissement. Ce déplacement vers le sud du vortex circumpolaire de l'hémisphère nord avec tendance au refroidissement des latitudes tempérées s'accompagne d'un décalage vers le sud de toutes les bandes concentriques qui encerclent le globe, elles aussi, comme des anneaux d'ouest en est. Dans ce cas, l'air froid de l'Antarctique est refoulé vers le pôle Sud et les marges du continent polaire s'attédisent. C'est ainsi que, pendant notre «petit âge glaciaire» entre 1670 et 1840, le dégel partiel de la mer de Ross a permis sa colonisation par les manchots et les premières explorations de ses rives. Kelly (1983) signale qu'une compilation récente des températures enregistrées dans l'Antarctique montre un important réchauffement depuis la fin des années 50, ce qui correspond bien au refroidissement observé dans l'hémisphère nord. Les alternances de périodes froides et périodes chaudes correspondent donc à un balancement des zones climatiques à l'échelon mondial, le bilan thermique au niveau de la planète devant rester plus ou moins invariable. En ce qui concerne l'Atlantique, l'océan se comporte de façon corrélative, les phénomènes atmosphériques et maritimes réagissant les uns sur les autres: lorsque le vortex circumpolaire remonte vers le nord, le Gulf Stream en fait autant et vice-versa. Ce que Lamb ne précise pas, c'est la causalité profonde de ces pulsations et qui de l'océan ou de l'atmosphère en est le premier responsable.

Tout «cliométéorologiste» se fait volontiers prévisionniste et c'est là un sujet qui, bien qu'en grande partie spéculatif, intéresse l'avenir de la pêche sardinière marocaine puisque l'affaiblissement des alizés dans cette petite zone du littoral n'est qu'un épiphénomène d'un changement climatique à grande échelle. D'une façon générale, les opinions des climatologues synthétisées par Leroy Ladurie (1971) dans une post-face à son ouvrage et par Lamb (1982) s'accordent à penser que le refroidissement actuel, amorcé entre 1950 et 1960 et faisant suite au réchauffement séculaire enregistré de 1860 à 1950, devrait se poursuivre selon toute probabilité jusque vers 2015 à raison de -0,15°C en moyenne par décennie. Le changement climatique que cela implique aura des retentissements sur les écosystèmes les plus sensibles, c'est-à-dire ceux qui se trouvent aux «frontières» de milieux différents. Un tel écosystème, où les compositions spécifiques de la faune et de la flore peuvent varier considérablement sous l'action de modifications légères du climat par un déplacement de quelques centaines de kilomètres de la «frontière», a été bien étudié en Manche (Southward *et al.*, 1975 ; Southward, 1980) où s'affrontent deux communautés: d'eau «froide» (morue, hareng, haddock, *Sagitta elegans* ou la balane *Balanus balanoides*) et d'eau «chaude» (sardine, merlu, *Sagitta setosa* et la balane *Chtamalus*), qui se trouvent à la limite méridionale ou septentrionale de leur distribution. Les auteurs relient les variations climatiques observées depuis le début du siècle, et spécialement

l'inversion de tendance entre 1950 et 1960, aux fluctuations de ces espèces et montrent qu'un changement de température moyenne de quelques dixièmes de degré suffit à inverser la domination d'une espèce par rapport à une autre. La pêcherie marocaine dans la zone A n'est pas située à une telle «frontière» entre deux écosystèmes; elle est néanmoins placée à la limite nord de la migration estivale du principal stock exploitable, et l'affaiblissement des alizés est un facteur suffisant pour entraîner une réduction drastique de cette migration s'il se prolonge comme tendraient à le laisser croire les prévisions à moyen terme des climatologues. Dans ce cas, le déclin de la pêche à Safi et Essaouira se poursuivra par un déclin analogue à Agadir et l'exploitation devra pour survivre se déplacer plus au sud.

«Les études des effets du climat sur les pêcheries dans le passé peuvent nous aider à mieux comprendre non seulement les processus physiques et biologiques en jeu mais aussi les besoins et la nature des stratégies d'adaptation de la pêcherie pour le futur» (Kelly, 1983).

## UPWELLING ET ABONDANCE DE LA SARDINE ENTRE LE CAP BOJADOR ET LE CAP BLANC (ZONE C)

### *Historique*

Cette zone, située entre 26°N (cap Bojador) et 21°N (cap Blanc) héberge une population de sardine relativement indépendante de celle qui vit dans la zone A-B. Son exploitation a commencé en 1968 en tant que prise secondaire du maquereau, du chinchard et des sardinelles. Les captures ont augmenté considérablement grâce à la mobilité et à la puissance de pêche des flottes qui l'exploitent, mais également grâce à un accroissement rapide du stock signalé par Holzlohner (1975), Krzeptowski (1975, 1976), Domanevski et Barkova (1981), à la suite de plusieurs reproductions massives au début des années 1970. Cet accroissement s'est accompagné d'une colonisation vers le sud étendant les limites méridionales de la population de 23°N à 22°N en 1970 et à 20°N en 1974. Parallèlement, une augmentation de l'upwelling de cette région a été mise en évidence par Sedykh (1978a et b; Arfi, 1985). Les différentes campagnes de prospection acoustique effectuées par Lamboeuf *et al.* (1981, 1982) et Bazigos *et al.* (1980) montrent que la limite sud du peuplement de la sardine a régressé après son extension et qu'elle est revenue en 1981 au niveau où elle était en 1968 (23°N).

### *Données disponibles*

*Abondances.* Les captures sont connues par les déclarations des pays adhérents au COPACE et publiées dans son Bulletin Statistique. L'abondance en nombre et la biomasse en poids obtenues par analyse de cohorte de 1972 à 1979 ont été présentées par Domanevski au groupe de travail sur la sardine du COPACE (Dakar 1980). Trois évaluations de biomasse ont été réalisées de 1979 à 1981 par campagnes de prospection acoustique (Bazigos *et al.*, 1980; Lamboeuf *et al.*, 1982). Ces

différentes données sont présentées tableau 10.

*Indices d'upwelling.* Les variations de l'upwelling ont été analysées par Sedykh (1978a et b) qui a calculé les valeurs du transport d'Ekman par carré de 5 degrés de 1957 à 1977. Cet auteur met en évidence une augmentation importante de l'intensité de l'upwelling au cours des années 1971-1974, suivie d'une diminution en 1975-1976 et d'une nouvelle augmentation en 1977. Il estime que le cycle d'upwelling fort se termine en 1978.

*Anomalies des températures de surface.* Les températures superficielles de l'océan sont relevées par les navires marchands. Les routes maritimes habituelles longent les côtes africaines de l'ouest au sud des îles Canaries, et le nombre d'observations est élevé entre 27°N et 20°N (zone C). Par contre, les observations sont peu nombreuses ou absentes au nord du cap Bojador (zone A et B), les routes maritimes en direction de l'Europe s'écartant nettement de la côte à ce niveau. Les températures relevées sont regroupées par carré de 1 degré de longitude et de latitude. Le grand nombre d'observations (44.151 données de mars 1971 à décembre 1981) nécessitait un traitement par ordinateur qui a été réalisé par MacLain (Pacific Environmental Group, NOAA, NMFS, Monterey, Californie). Les anomalies mensuelles de température de surface représentent la différence entre la température moyenne observée au cours d'un mois donné dans un carré donné et la moyenne des températures observées dans ce carré et pour le même mois au cours des onze années de mesures. Comme le nombre d'observations a varié au cours du temps, la moyenne des moyennes annuelles a été utilisée à la place d'une moyenne générale des observations afin de ne pas donner plus d'importance aux années où les observations sont les plus nombreuses. MacLain a pu ainsi calculer les températures moyennes mensuelles dans six carrés entre 27°N et 20°N que nous avons représentées sur la figure 14.

Le nombre d'observations annuelles dans chaque carré est présenté au tableau 11. Leurs nombres augmentent du nord au sud (maximum entre le cap Barbas et le cap Blanc, minimum au cap Bojador). Le nombre de mesures recueillies a brutalement augmenté en 1977.

### *Résultats*

Nous avons déterminé une moyenne annuelle des anomalies de température de surface sur la base des moyennes mensuelles, en pondérant par le nombre de jours de chaque mois. Ces moyennes annuelles sont présentées au tableau 12, ainsi qu'une moyenne générale regroupant les six carrés géographiques. Les valeurs négatives correspondent à une température inférieure à la moyenne, elles sont le signe d'un renforcement de l'upwelling. Les valeurs positives correspondent à une température supérieure à la moyenne et indiquent un affaiblissement de l'upwelling. En face de chaque carré géographique de la figure 14, nous avons représenté graphiquement la variation des anomalies de température de surface cor-

Fig. 14

Evolution des anomalies de température de surface moyennes annuelles dans chaque carré de un degré hachuré et pour l'ensemble de la zone C, calculées de 1971 à 1981, d'après les données mensuelles de MacLain (voir texte).

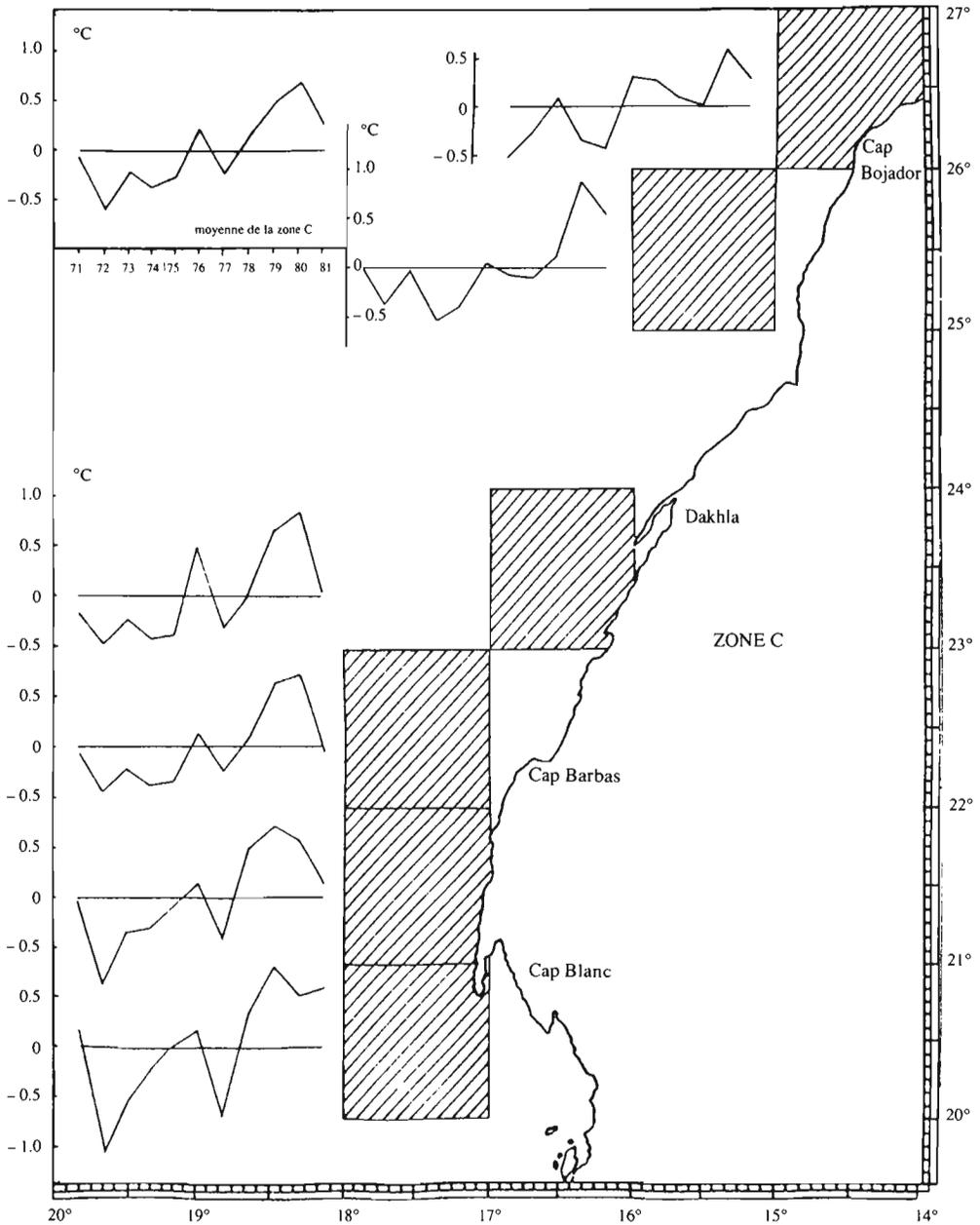
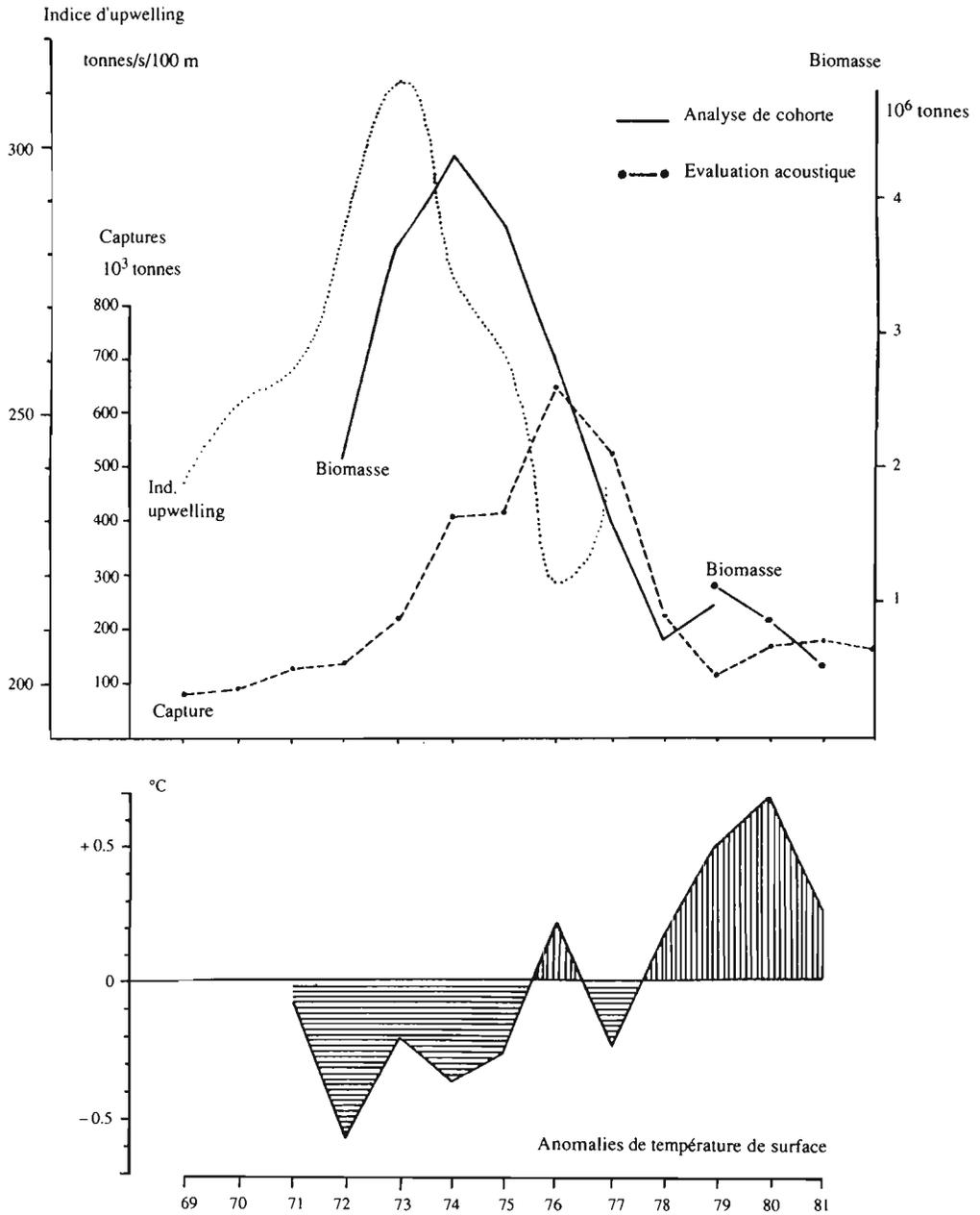


Fig. 15

Comparaison des captures, des biomasses calculées par analyse de cohorte ou évaluées par campagne acoustique, de l'index d'upwelling repris de Sedyk (1979) et des anomalies de température de surface moyennes annuelles calculées d'après les données de MacLain pour la zone C.



respondantes. Les anomalies négatives ont été plus importantes en 1972-1974 dans la partie sud que dans la partie nord de la zone. Elles sont en accord avec les estimations d'upwelling de Sedykh (1978b) et expliquent la colonisation de la zone située entre 23° et 20° nord par la sardine de 1971 à 1974. Le renforcement de l'upwelling en 1977, signalé par Sedykh se traduit également par une anomalie négative de la température de surface, importante dans le sud de la zone et très peu marquée dans le nord. A partir de 1978, les anomalies de températures deviennent fortement positives dans le sud de la zone, ce qui est en accord avec l'estimation de Sedykh concernant la fin d'un cycle d'upwelling anormalement fort. Ce réchauffement est moins prononcé dans la partie nord de la zone et, d'une façon générale, les amplitudes des variations sont plus fortes au sud qu'au nord.

La figure 15 présente les évolutions de l'indice d'upwelling (adapté de Sedykh), de la biomasse et des captures en regard des anomalies moyennes de température de surface sur l'ensemble de la zone. Il y a une bonne concordance entre les indices d'upwelling (transport d'Ekman en tonnes par seconde pour 100 mètres de côte) et les anomalies de température de surface pendant la période de recouvrement de ces deux séries d'observations (1971-1977).

La biomasse du stock évolue parallèlement à l'intensité de l'upwelling mais avec un décalage d'un an ce qui est normal si on fait l'hypothèse que l'upwelling a une action sur le recrutement. Les captures s'accroissent rapidement avec la biomasse. Lorsque celle-ci commence à diminuer en 1975, elles marquent un certain palier, mais augmentent à nouveau en 1976 alors que la biomasse chute rapidement. A partir de 1977, le déclin des captures suit celui de la biomasse. Le fort réchauffement qui se manifeste à partir de 1978, signe d'un affaiblissement de l'upwelling, correspond à de faibles valeurs de biomasse et de capture.

#### Discussion

L'augmentation des captures jusqu'en 1976, alors que la biomasse du stock est déjà en forte diminution, est probablement due à une concentration massive de l'effort de pêche de navires industriels attirés par les rendements élevés enregistrés les années précédentes et écartés d'autres zones de pêche par l'extension des Zones Economiques Exclusives des pays riverains. En 1977 et 1978, les captures représentent un peu plus de 30 % de la biomasse, ce qui est un taux d'exploitation comparable à celui exercé dans les zones A et B. A partir de 1979, le taux d'exploitation tombe en dessous de 20% à la suite de la fermeture par le Maroc de la pêche au nord du 24<sup>ème</sup> parallèle. La biomasse évaluée par les campagnes acoustiques continue néanmoins à décliner jusqu'en 1981 où le taux d'exploitation remonte au-dessus de 30%. Il semble donc que les conditions d'environnement soient la cause principale des grandes fluctuations d'abondance des sardines dans la zone C au cours de cette dernière décennie. L'exploitation a probablement accéléré le déclin naturel de la population mais ne peut

être rendue entièrement responsable de cette évolution. L'affaiblissement de l'upwelling à partir de 1976 dans la partie sud de la zone peut également avoir contribué à un déplacement des sardines vers le nord où les fluctuations sont moins prononcées. Les campagnes acoustiques de 1979 à 1981 (Bazigos *et al.*, 1980; Lamboeuf *et al.*, 1982) mettent en évidence une disparition progressive des sardines entre 20°N et 23°N. L'exploitation n'étant plus autorisée au nord du 24<sup>ème</sup> parallèle depuis 1979, il est difficile de déterminer si cette disparition est liée à une concentration excessive de l'effort de pêche au sud de ce parallèle ou à un déplacement réel de la sardine vers le nord causé par l'affaiblissement de l'upwelling dans le sud. Ces deux facteurs ont pu agir simultanément mais le fait qu'entre Dakhla et le cap Blanc (fig. 14) les anomalies de température soient retombées en 1981 à une valeur proche de la moyenne mettrait plutôt en cause le rôle de l'effort de pêche.

#### CONCLUSION

La pêche traditionnelle marocaine est soumise aux influences des facteurs hydroclimatiques qui prévalent d'une façon générale entre Safi et El Ayoun.

Dans sa zone d'action (zone A), l'abondance locale en sardine est faible en hiver ; elle augmente au printemps avec le renforcement des alizés, culmine en été et suit avec un certain retard le déclin des alizés en automne.

Tableau 10

Abondance (milliards de sardines), biomasse (milliers de tonnes) et captures (milliers de tonnes) dans la zone C de 1969 à 1982.

Année	Abondance		Biomasse		Captures/ Biomasse
	(a)	(b)	(a)	(b)	
1969	-	-	-	-	80
1970	-	-	-	-	89
1971	-	-	-	-	124
1972	58.5	2062	-	-	138
1973	97.9	3632	-	-	220
1974	105.5	4343	-	-	407
1975	80.9	3816	-	-	417
1976	52.2	2828	-	-	647
1977	27.4	1597	-	-	523
1978	12.7	709	-	-	222
1979	31.9	1188	1342	112	112
1980	-	-	878	168	168
1981	-	-	525	185	185
1982	-	-	-	164	164

(a) Analyse de cohorte

(b) Evaluation acoustique

L'upwelling qui se manifeste entre Safi et le cap Ghir est principalement causé par les vents alizés qui soufflent le long de la côte dans ce secteur. Leur vitesse et leur variabilité à court terme conditionnent la productivité planctonique qui attire dans une migration trophique une partie des sardines ayant hiverné au sud dans la zone B. Le balancement saisonnier des alizés provoque un balancement saisonnier identique de l'upwelling qui engendre une évolution analogue de l'abondance locale en sardine. Les alizés culminent en été et s'affaiblissent en hiver, c'est pourquoi la pêche traditionnelle est saisonnière et principalement estivale.

Malgré des variations d'abondance locale de grande amplitude, coïncidant avec les années de sécheresse et de vents alizés plus actifs, la tendance générale à l'affaiblissement des CPUE de sardines dans la zone A est corrélée avec une diminution des alizés en force et en variabilité à court terme à Essaouira, au centre de la pêche. Cette diminution des alizés a commencé à se manifester à la fin des années 1950, début des années 1960; elle correspond à un refroidissement synchrone non seulement du Maroc mais de l'ensemble de l'hémisphère nord. Ce vaste mouvement de décalage des zones climatiques vers le sud entraîne une position moyenne plus méridionale de l'anticyclone des Açores, responsable de la diminution des alizés dans la zone de pêche traditionnelle marocaine. Cette tendance affirmée depuis une vingtaine d'années est liée à une inversion des conditions climatiques à la fin d'une période centenaire de réchauffement.

La conséquence pour la pêche traditionnelle marocaine est un affaiblissement progressif de la disponibilité locale en sardine, qui, si les prévisions climatologiques se confirment, ne pourra que s'aggraver. Cette tendance à long terme impose une nouvelle stratégie à la pêche qui devra s'équiper en bateaux à long rayon d'action pour continuer à approvisionner les industries de transformation situées à Safi, Essaouira et Agadir. La seule alternative est la création de nouveaux ports plus au sud et l'implantation de nouvelles usines de transformation, comme c'est déjà le cas à Tantan.

Plus au sud, dans la zone C, les captures de sardine qui ont augmenté rapidement et ensuite ont décliné encore plus rapidement semblent liées à un accroissement très important de la population de sardine. Cette évolution paraît étroitement corrélée à une intensification de l'upwelling à la fin des années 1960. Son affaiblissement depuis 1968 laisse croire que cette période est actuellement terminée et que le stock est revenu à un niveau équivalent à celui où il était auparavant. Il est néanmoins probable que cette augmentation de l'upwelling de 1968 à 1973 soit liée à l'évolution climatique générale de l'hémisphère nord et se manifestera à nouveau dans les années qui viennent avec de grandes variations d'amplitude inter-annuelles. L'affaiblissement des anomalies positives des températures de surface en 1981 peut laisser penser qu'un nouveau cycle d'upwelling fort commence dans le sud; dans ce cas, il faut s'attendre à une nouvelle augmentation du stock de sardine dans la zone C.

Tableau 11

Nombres annuels d'observations de température de surface recueillies de mars 1971 à décembre 1981 dans les six carrés géographiques de la zone C, (les positions indiquées correspondent à l'angle sud-est de chaque carré)

Année	26°N	25°N	23°N	22°N	21°N	20°N	Total
	14°W	15°W	16°W	17°W	17°W	17°W	
1971	111	154	203	401	414	342	1625
1972	139	232	316	599	672	695	2653
1973	141	246	308	548	569	554	2366
1974	95	161	199	591	666	484	2196
1975	79	125	150	389	470	310	1523
1976	58	108	189	348	299	396	1398
1977	71	62	856	737	375	2851	4952
1978	54	90	1273	612	381	2782	5192
1979	72	85	699	1602	1650	260	4368
1980	54	97	2281	4427	2508	546	9913
1981	45	62	2289	3131	2061	377	7965
TOTAL							
	919	1422	8763	13385	10065	9597	44151

Tableau 12

Anomalies de température de surface en degré Celcius, par carré géographique, et moyenne générale pour la zone C, (les positions indiquées sont celles de l'angle sud-est du carré).

Année	26°N	25°N	23°N	22°N	21°N	20°N	Moyenne
	14°W	15°W	16°W	17°W	17°W	17°W	
1971	-0.52	0.04	-0.17	-0.02	-0.03	0.16	-0.09
1972	-0.29	-0.38	-0.47	-0.43	-0.87	-1.07	-0.59
1973	-0.08	-0.04	-0.24	-0.21	-0.36	-0.56	-0.22
1974	-0.33	-0.54	-0.42	-0.36	-0.31	-0.25	-0.37
1975	-0.42	-0.37	-0.38	-0.32	-0.08	0.02	-0.27
1976	0.30	0.02	0.47	0.14	0.14	0.16	0.21
1977	0.27	-0.08	-0.31	-0.24	-0.41	-0.69	-0.24
1978	0.10	-0.1	0.01	0.10	0.50	0.33	0.16
1979	0.01	0.11	0.65	0.63	0.71	0.80	0.49
1980	0.56	0.85	0.84	0.73	0.57	0.51	0.68
1981	0.26	0.52	0.04	-0.05	0.13	0.59	0.25

## BIBLIOGRAPHIE

- Ahlstrom, E.H. 1960. Fluctuation and fishing. Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines. FAO III: 1353-1371
- Anonyme. 1978. Rapport du Groupe de Travail «ad-hoc» sur la sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) COPACE/PACE SERIES/78/7.
- Anonyme. 1980. Rapport de la deuxième réunion du Groupe de Travail sur la sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) COPACE/PACE SERIES/79/15.
- Anonyme. 1981. Rapports des Groupes de Travail sur les merlus, les céphalopodes, les sardines, les poissons pélagiques côtiers, les poissons démersaux côtiers et les balistes. In: Rapport de la cinquième session du Groupe de Travail de l'Evaluation des Ressources. FID/R 244:21-115 FAO, Rome.
- Arfi, R. 1985. Variabilité inter-annuelle d'un indice d'intensité des remontées d'eaux dans le secteur du cap Blanc (Mauritanie). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42:1969-1978.
- Bakun, A. and R.H.Parrish. 1980. Environmental inputs to fishery population models for eastern boundary currents regions, in: G.D. Sharp (ed.). Workshop on the effects of environmental variation on the survival of larval pelagic fishes, I.O.C Workshop Report N° 28: 67-104.
- Barkova, N.A. 1978. Particularités de la répartition et état des stocks de sardine (*Sardina pilchardus*) dans la région de l'Afrique du Nord-ouest. In: Rapport du Groupe de Travail «ad hoc» sur les poissons pélagiques côtiers de la Mauritanie au Libéria (26°N à 5°N) COPACE/PACE/Séries/78/10.
- Bazigos, G.P. Bencherif, S. Burczynski, J. Coppola, R. Lamboeuf, et Rami M. 1980. La biomasse de la sardine marocaine en 1979 (résultats préliminaires de prospections acoustiques effectuées en Mai et Novembre 1979), Trav. Doc. Dev. Pêche Maroc (27): 28p.
- Belvéze H. 1974. L'état des stocks de la sardine marocaine à la fin de l'année 1973. Trav. Doc. Dev. Pêche Maroc (6): 17 p.
- Belvéze H. 1975. Pluviométrie et pêche de la sardine au Maroc depuis 1936; mise en évidence de cycles parallèles. Trav. Doc. Dev. Pêche Maroc (10): 8 p.
- Belvéze H. 1984. Biologie et dynamique des populations de sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum) peuplant les côtes atlantiques marocaines, et propositions pour un aménagement des pêcheries. Thèse Doc. Etat, Univ. Bretagne Occidentale, 532 p.
- Belvéze, H. and K. Erzini. 1983. The influence of hydroclimatic factors on the availability of the sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum) in the Moroccan atlantic fishery. In: G.D. Sharp and J. Csirke (eds.) Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources, FAO, Fish. Rep. 291 (2): 285-327.
- Ben Tuvia A. 1960. Fluctuations in the stock of *Sardinella aurita* and its dependence on temperature and rain. Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines, FAO III: 1193-1203
- Bravo De Laguna, J. Fernandez, M.A.R. and Santana, J.C., 1976. The spanish fishery on sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) off West Africa. ICES CM 1976/J: 13.
- Brêthes J.C. 1975. Premières observations sur la biologie et la biométrie de la «bécasse de mer» des eaux atlantiques marocaines. Trav. Doc. Dev. Pêche Maroc (15): 37 p.
- Brêthes J.C. 1979. Contribution à l'étude des populations de *Macrorhamphosus scolopax* (L. 1758) et *Macrorhamphosus gracilis* (Lowe 1839) des côtes atlantiques marocaines. Bull. Inst. Pêches Maroc (24): 4-62.
- Calvet C. et Y. Le Goff. 1977. Régimes pluviométriques au Maroc. Note d'information technique n° 6, Imp. Météo, Nle Casablanca.
- Crawford R.J.M., P.A. Shelton and L. Hutchings. 1983. Aspects of variability of some neritic stocks in the southern Benguela system. In: G.D. Sharp and J. Csirke (eds.) Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources, FAO, Fish. Rep. 291 (2): 407-448.
- Daan N. 1980. A review of replacement of depleted stocks by other species and mechanisms underlying such replacement. Rapp. P.-v. Réunion. Cons. int. Explor. Mer, 177: 405-421
- Dickie L.M. 1973. Interaction between fishery management and environmental protection. J. Fish. Res. Board Can., 30 (12): 2496-2506.
- Domanevsky L.N. et N.A. Barkova. 1981. Etat du stock de sardine *Sardina pilchardus* Walb. Clupeiforme, *clupeidae*, dans la région de l'Afrique du Nord-Ouest. In: contributions soviétiques à l'évaluation des ressources halieutiques dans la région du COPACE. COPACE/Tech/81/31: 19-30
- Fumestini J. 1950. Premières observations sur la biologie de la sardine marocaine, *Sardina pilchardus* Walb. Mémoire N° 14 de l'Office des Pêches Maritimes, série spéciale: Biologie des clupeidés
- Fumestini J. 1959. L'hydrologie du Maroc Atlantique de 1949 à 1953 Rev. Trav. Inst. Scient. Techn. Pêche Mar. 23 (1): 5-77
- Fumestini M.L. 1955. La ponte de la sardine et de l'anchois dans les eaux marocaines au cours des années 1951 et 1952. Rapp. P.V. Réunion. Cons. int. Explor. Mer, 137 (8): 26-8
- Fumestini M.L. 1970.- Rapport sur le plancton. Rapp. P.V. Réunion. Cons. int. Explor. Mer, 159: 90-110
- Grall J.R., P. Laborde, P. Le Corre, J. Neveux, P. Tréguer and A. Thiriot. 1974. Caractéristiques trophiques et production planctonique dans la région sud de l'Atlantique marocain. CINECA-CHARCOT I et III. Tethys, 6 (1-2): 11-28.
- Grall J.R., P. Le Corre et P. Tréguer. 1982. Short term variability of primary production in coastal upwelling off Morocco. Rapp. P.-v. Réunion. Cons. int. Explor. Mer, 180: 221-227.
- Gulland J.A. 1978. Problems and progress in oceanography relevant to fisheries. FAO Fish. Rep., 206 (supplement 1): 9-21.
- Gulland J.A. 1978. Fishery management: New Strategies for New Conditions. Trans. Amer. Fish. Soc., 107 (1): 1-11
- Hayashi S. 1960. Recent fluctuations in the sardine stock of the East coast of Honshu. Proc. World. Sci. Meeting Biol. Sardines, FAO, III: 989-1001.
- Hayasi S. 1983. Some explanation for changes in abundance of major neritic pelagic stocks in the North western Pacific ocean. In: G.D. Sharp and J. Csirke (eds.) Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources, FAO, Fish. Rep., 291 (2): 37-56.
- Holzlohner S. 1975. On the recent stock development of *Sardina pilchardus* Walb. off spanish sahara. ICES CM 1975/J: 13
- Jones R. 1983. The decline in herring and mackerel and the associated increase in other species in the North Sea. In: G.D. Sharp and J. Csirke (eds.) Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources, FAO, Fish. Rep., 291 (2): 507-520.
- Jordan R.S. 1983. Variabilidad de los recursos pelagicos en el Pacifico Sudeste. In: G.D. Sharp and J. Csirke (eds.), Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources, FAO, Fish. Rep., 291 (2): 113-130.
- Kelly P.M. 1983. Climatic change: past lessons and future prospects. In: G.D. Sharp and J. Csirke (eds.) Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources, FAO, Fish. Rep., 291 (3).
- Knauss J.A. 1978. Introduction to physical oceanography. Prentice-Hall inc. edit., Englewood Cliffs.
- Krzeptowski M. 1975. Sardine in polish catches in the spanish sahara region during the years 1971-1974. ICES CM 1975/J: 18 pelagic fish committ.

- Krzeptowski M. 1976. Estimations of some parameters of the sardine population in the Sahara Coastal Division. *FAO Fish. Rep.*, 183: 77-81
- Kurita S. 1960. Causes of fluctuations in the sardine population off Japan. *Proc. World Sci. Meeting Biol Sardines*, *FAO*, III: 913-935.
- Lamb H.H. 1982. *Climate History and the modern World*. Methuen edit., London and New York, 386 p.
- Lamboeuf M., A.Stepnowski et J.C.Brethes. 1976. Estimation acoustique quantitative de l'abondance des bécasses de mer entre cap Jubé et cap Spartel. *Trav. Doc. Dev. Pêche Maroc*, (19).
- Lamboeuf M., J.Burczynski, S.Bencherifi and M.Chbani. 1981. Campagne de prospection des stocks pélagiques du cap Cantin (Maroc) au cap Timiris (Mauritanie) en juillet 1980 (résultats préliminaires). *Trav. Doc. Dev. Pêches Maroc*, (28): 26p.
- Lamboeuf M., J.Burczynski, S.Bencherifi, M.Chbani and A. Elminowicz. 1982. Evaluation acoustique de la biomasse des stocks de sardine au Maroc de 1979 à 1981, Combinaison des estimations du sonar et du sondeur vertical. *Contrib. 92 Symposium on Fisheries acoustics*, Bergen.
- Le Corre P. et P. Tréguer. 1976. Contribution à l'étude des sels nutritifs et de la matière organique dissoute dans l'eau de mer. caractéristiques chimiques du Golfe de Gascogne et des upwellings côtiers de l'Afrique du Nord-Ouest. Thèse Doc. Etat, Univ. Brest, 490 p.
- Le Floch J. 1974. Quelques aspects de la dynamique et de l'hydrologie des couches superficielles dans l'ouest marocain, Campagne CINECA-CHARCOT I et III. *Tethys*, 6 (1-2): 53-68.
- Le Goff M.Y. 1982. Evolution contemporaine de la température au Maroc, 1936-1980. Notice d'information technique n° 8 Imp. Météo. Nle Casablanca.
- Leroy Ladurie E. 1971. *Histoire du climat depuis l'an Mil*. Flammarion edit. Paris, réédit. 1983, 2 volumes.
- MacCall A.D. 1983. Variability of pelagic fish stocks off California. *In: G.D. Sharp and J. Csirke (eds.)*, *Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources*, *FAO, Fish. Rep.*, 291 (2): 101-112.
- Margalef R. 1960. Fluctuation in abundance and availability caused by biotic factors. *Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines*, *FAO*, III: 1265-1285.
- Marr J. 1960. The causes of major variations in the catch of the Pacific sardine. (*Sardinops caerulea*) *Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines*, *FAO*, III: 667-791
- 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. Réunion. Cons. int. Explor. Mer*, 180: 148-183.
- Nakai Z. 1960. Fluctuations in abundance and availability of sardine populations caused by abiotic factors. *Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines*, *FAO*, III: 1327-1352
- Nakai Z. 1962. Studies relevant to mechanisms underlying the fluctuation in the catch of the Japanese sardine (*sardinops melanostica*), *Jap. J. Ichthy* 9.
- Parrish R.H., C.S.Nelson and A.Bakun. 1981. Transport mechanisms and reproductive success of fishes in the California Current. *Biological Oceanography*, vol. 1 num 2 Crane, Russak et Cie inc.
- Parrish R.H., A.Bakun, D.M.Husby and C.S.Nelson. 1983. Comparative climatology of selected environmental process in relation to eastern boundary current. *In: G.D. Sharp and J. Csirke (eds.)*, *Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources*, *FAO, Fish. Rep.*, 291 (3): 731-778.
- Radovich J. 1960. Some causes of fluctuations in catches of the Pacific sardine (*Sardinops caerulea*). *Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines*, *FAO*, III: 1081-1104.
- Riedel D. 1960. Sardine production off the Atlantic coast of Europe and Morocco since 1920. *Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines*, *FAO*, III: 877-911.
- Richebe B. 1980. Influence des paramètres hydrologiques et météorologiques sur les phénomènes d'upwelling au Maroc. *Rapport I.S.P.M. Casablanca*, Avril 1980 (dactylographié).
- Sedykh K.A. 1978a. The coastal upwelling off the Northwest Africa. *ICES CM/C 12*, Hydrography committee.
- Sedykh K.A. 1978b. Etude de l'upwelling près de la côte de l'Afrique du Nord-Ouest par l'Institut Atlantique de Recherches Scientifiques de la pêche et de l'océanographie (Atlas N.I.R.O.). *In: Rapport du Groupe de Travail «ad hoc» sur les poissons pélagiques côtiers ouest africains de la Mauritanie au Libéria (26°N - 5°N) COPACE/PACE/Séries/78/10*: 93-99.
- Serra J.R. 1983. Changes in Abundance of pelagic resources along Chilean coast. *In: G.D. Sharp and J. Csirke (eds.)* *Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources*, *FAO, Fish. Rep.*, 291 (2): 255-284.
- Skud B.E. 1983. Interaction of Pelagic Fishes and the Relation between Environmental Factors and Abundance. *In: G.D. Sharp and J. Csirke (eds.)*, *Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources*, *FAO, Fish. Rep.*, 291 (3): 1133-1140.
- Soutar A and J.D.Isaacs. 1974. Abundance of pelagic fish during the 19th and 20th centuries as recorded in anaerobic sediment off the California. *Fish. Bull., U.S.*, 72 (2): 257-273.
- Southward A.J. 1980. The western English Channel, an inconstant ecosystem ? *Nature*, 285 (5764): 361-366.
- Southward A.J., E.I.Butler and L.Pennyquick. 1975. Recent cyclic changes in climate and in abundance of marine life. *Nature* 253 (5494): 714-717.
- Tanaka S. 1983. Variation of pelagic fish stocks in waters around Japan. *In: G.D. Sharp and J. Csirke (eds.)* *Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources*, *FAO, Fish. Rep.*, 291 (2): 17-36.
- Tréguer P. and Le Corre P. 1979. The ratios of nitrate, phosphates and silicate during uptake and regeneration phases of the Moroccan upwelling regime. *Deep-Sea Res.*, 26: 163-184.
- Uda M. 1960. The fluctuation of the sardine fishery in oriental waters. *Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines*, *FAO*, III: 937-947.
- Valdivia J., I.Tsukayama, S.Zuta and H.Santander. 1983. Changes in the pelagic ecosystem of the Peru Current in relation to the environmental milieu and the fisheries. *In: G.D. Sharp and J. Csirke (eds.)*, *Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources*, *FAO, Fish. Rep.*, 291 (3).
- Villegas L. et J.C.Brêthes. 1976. Distribution et abondance relative de la bécasse de mer dans l'Atlantique marocain. *Trav. Doc. Dev. Pêche Maroc* (17).
- Walfors L. 1946. Correlation between fluctuation in abundance of the pacific sardine and salinity of sea water. *J. Mar. Res.*, VI (1): 48-53.
- Yamanaka I. 1960. Comparative study of the population size of Japanese and California sardine. *Proc. World Sci. Meeting Biol. Sardines*, *FAO*, III: 1151-1191.