

## IMPACT DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LA PRODUCTION DE PECHE AU NORD DE LA TUNISIE<sup>2</sup>

Ali HARZALLAH ; CHEBIL,L. ; ZAMOURI-LANGAR, N. et CHOUBA, L.

Institut National des Sciences et Technologies de la Mer  
28, rue du 2 mars 1934, 2025 Salammbô, Tunisie

### ملخص

تمت دراسة تأثير الأحوال المناخية على كميات الصيد بأربعة مرفأء في الشمال التونسي، وتهدف هذه الدراسة إلى معرفة إمكانية التنبؤ بكميات الصيد حسب الظروف المناخية. المعطيات المستعملة هي المعطيات الشهرية من سنة 1980 إلى 1992. ولقد قمنا بتحديد العلاقة بين الظروف المناخية وكميات الصيد في نفس الشهر وأيضاً لكميات الصيد بعد شهر أو شهرين. ولقد درسنا هذه العلاقة أولاً بكل مرفأء. أظهرت هذه الدراسة أن الظروف المناخية يمكن أن تكون عاملاً هاماً من عوامل الصيد في الشمال التونسي. أن الرياح الشمالية الغربية عندما تكون شديدة تكون مصحوبة بصيد قليل ولكن يعقبها صيد وفير بعد شهرين. وعندما تقل الرياح يكون الوضع عكس ذلك. استعملت النتائج التي تحصلنا عليها للتنبؤ بكميات الصيد قبل شهر أو شهرين. هذه التنبؤات في مجملها أعطت نتائج طيبة.

### RESUME

Nous avons étudié les impacts des conditions climatiques sur la production de pêche dans quatre ports de la région Nord de Tunisie. Le but de ce travail est d'examiner la possibilité de prédiction de la production de pêche à partir de ces conditions climatiques. Les données utilisées sont mensuelles et sont disponibles pour la période allant de 1980 à 1992. Les relations sont établies en considérant les variables climatiques et la production au même moment et les variables climatiques un mois donné et la production quelques mois plus tard. Les relations sont examinées d'abord en terme de corrélations entre les variables climatiques et les captures pour chacun des quatre ports, ensuite à l'aide d'une analyse en composantes principales incorporant ensemble les variables climatique et la production. Les résultats ont montré que les conditions climatiques constituent des précurseurs importants pour la pêche au Nord de la Tunisie. Un renforcement des vents ouest à nord sont accompagnées, lors d'une situation de mauvais temps, d'une pêche déficitaire mais sont suivies deux mois plus tard d'une pêche excédentaire. Un affaiblissement de ces vents correspond aux situations de pêche inverses. Les relations trouvées sont utilisées dans une prédiction statistique de la production un à deux mois à l'avance. Les résultats ont montré un bon score pour plusieurs types de pêche.

**Mots-clés :** Climat, Production de pêche, Prédiction statistique, Nord de la Tunisie.

### ABSTRACT

We studied impacts of climate conditions on fishery production in four harbours in Northern Tunisia. The objective of the study is to investigate a possible prediction of fish production using climate conditions. Data used are monthly averages and are available for the period 1980-1992. Relationships are established between simultaneous climate variables and production, and between climate variables during one month and the production some months later. Relationships are first examined in terms of correlations between climate variables and production in the four harbours, then using a principal component analysis involving both climate variables and production. Results showed that weather conditions are important precursors of fishery production in Northern Tunisia. A reinforcement of West to North winds are accompanied, under bad weather conditions, by lower than

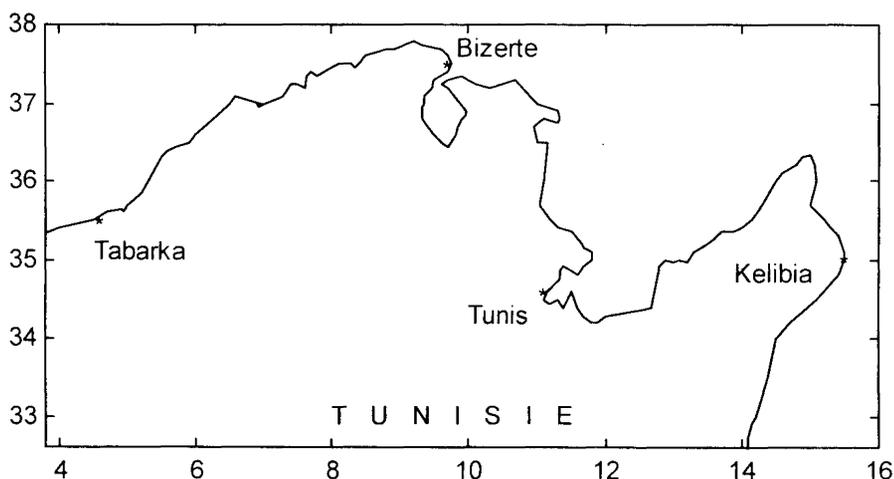
\* Ce travail est dédié à la mémoire du professeur Béchir Tritar.

normal production but are followed two months later by a larger than normal production. A weakening of such winds corresponds to the reverse relationships. One and two months predictions of fish production were tested. Results have shown a highly significant skill for several types of fisheries.

**Keywords :** Climate, Fishery production, Statistical prediction, Northern Tunisia.

## INTRODUCTION

La partie nord de la Tunisie représente 1/3 du territoire maritime tunisien. Cette région dispose de quatre grands ports de pêche : Tabarka, Bizerte, Tunis et Kelibia (Fig.1). La pêche dans cette région demeure pourtant très limitée ; la production de pêche au Nord ne représente qu'environ 10% de la production totale de la Tunisie. Les prospections ont montré que ces régions renferment 1/3 des ressources exploitables en poissons pélagiques de petite taille (sardine, maquereau, anchois, saurel) et des quantités appréciables de thonidés (thon rouge) et d'espadon. On estime le stock exploitable à au moins 13000 tonnes par an, dont on exploite seulement moins de 4000 tonnes par an. Les productions les plus importantes sont issues de la pêche au feu (essentiellement à Bizerte, Tunis et Kelibia) et au chalut (à Tabarka et à Tunis).



**Figure 1 :** Région Nord de la Tunisie et localisation des quatre ports de pêche.

Le secteur de la pêche joue un rôle important dans l'économie nationale du pays. La production est cependant marquée par des fluctuations très importantes d'une année à l'autre. Ces fluctuations sont à relier pour une grande partie aux variations interannuelles des conditions climatiques particulièrement fortes qui modulent les différentes sortes de pêche. Les effets des conditions climatiques sont accentués par le caractère traditionnel de la pêche qui reste fortement tributaire des conditions météorologiques. Il est donc primordial de comprendre les impacts des conditions climatiques sur cette pêche et d'essayer de trouver des précurseurs afin de la rendre plus rentable. Ceci est d'autant plus important que ce genre d'étude est quasiment inexistant pour la Tunisie.

Les variations des facteurs climatiques ont un effet important sur la disponibilité du poisson, en particulier, les espèces pélagiques côtières, et donc sur les captures (Parrish et al., 1983). La circulation atmosphérique interagit avec la circulation océanique et induit des variations de la biomasse. Dans ce type d'interaction la disponibilité du poisson est modulée essentiellement par les caractéristiques hydrologiques de la région. Le phénomène d'upwelling, engendré par des vents parallèles aux côtes, est un exemple important des effets du climat sur la circulation des masses d'eau et sur la disponibilité du poisson. Les côtes péruviennes sont par exemple le siège d'un très fort upwelling modulé par les variations interannuelles de la circulation océanique et atmosphérique tropicale (El Nino). La

dépendance de la disponibilité du poisson des conditions climatiques et ses effets sur l'hydrologie ont été étudiés par plusieurs auteurs (Lasker, 1978 ; Peterman et Bradford, 1987 ; Cury et Roy, 1989). La circulation résiduelle induite par des vents perpendiculaires aux côtes peuvent aussi avoir un effet important sur l'éloignement ou le rapprochement des espèces pélagiques (e.g. sardines) et donc sur leur captures (Kurc, 1969 ; Furnestin, 1941 ; Littay-Mariette, 1990). Les caractéristiques physiques des eaux sont aussi un facteur modulant la disponibilité du poisson. Les apports d'eau douce contribuent à la modification des caractéristiques de l'eau en changeant sa température et notamment en diminuant sa salinité. Certaines espèces de poisson ne pouvant s'accommoder à ces changements, se déplacent vers le large ou vers d'autres régions. Ce phénomène s'observe notamment dans les zones à faible profondeur et dans les lagunes (Cassanet, 1981).

A défaut de disposer des données de l'effort de pêche dans cette région, nous considérons que la capture reflète la disponibilité du poisson au nord de la Tunisie puisqu'elle n'a pas encore atteint la prise maximale équilibrée (Azzouz, 1974) considérée dans les modèles globaux de dynamique des populations marines (Buchella, 1988 ; Laloë, 1987 ; Graham, 1935 ; Schaefer, 1954, 1957). Cette hypothèse est aussi basée sur l'étude de Poitier et Boely (1990) qui ont montré que la capture peut être utilisé dans une étude des effets du climat sur la pêcherie en mer de Java. Par ailleurs, nous avons considéré l'effet de l'environnement sur les captures non seulement au même moment mais aussi les captures quelques mois plus tard, afin de tenir compte du temps de latence entre le forçage atmosphérique et son impact en terme de capture.

## MATERIEL ET METHODES D'ANALYSE

Dans un premier temps un prétraitement des données météorologiques et des données relatives aux captures est effectué. Les variables climatiques dont nous disposons sont, pour chacun des quatre ports, l'intensité ( $P$ ) et la durée de précipitation ( $D$ ), l'évaporation ( $E$ ), l'insolation ( $S$ ), les températures de l'air moyenne ( $T_m$ ), minimale ( $T_i$ ) et maximale ( $T_x$ ), le nombre de jours de beau temps ( $B$ ) et l'intensité ( $I$ ) et direction du vent. Ces données proviennent de l'Institut National de la Météorologie (Tunisie). Les captures sont celles de la pêche au feu ( $F$ ), la pêche côtière ( $C$ ), les pêches au chalut benthique ( $B$ ) et pélagique ( $P$ ), la pêche lagunaire ( $L$ ), la pêche aux coquillages ( $Q$ ) ainsi que le total des captures ( $T$ ). Ces données sont disponibles sous forme de moyennes mensuelles pour la période 1980 à 1992. Elle proviennent de la Direction Générale de la Pêche et de l'Aquaculture (Tunisie). Les données comprennent environ 10% de valeurs manquantes.

Pour étudier les liens entre la variabilité du climat et celle de la capture il est nécessaire de s'affranchir du cycle annuel très important dans la plupart des variables. Le cycle annuel est construit en calculant pour chacun des 12 mois de l'année la moyenne sur le nombre d'années. Les données manquantes sont omises dans ce calcul. Ce cycle est ensuite retranché des séries temporelles. Les séries obtenues sont donc des *anomalies* dont la variabilité est de type interannuelle. Ici, les valeurs manquantes sont remplacées par des zéros ce qui revient à considérer pour ces valeurs, la valeur du cycle annuel correspondant.

Le fort contraste entre saisons d'été et d'hiver en Tunisie caractérise aussi bien les variables climatiques que les différents types de pêche. Nous avons donc étudié séparément ces deux saisons. L'hiver est défini par la période allant d'octobre à mars et l'été par la période allant d'avril à septembre. Pour l'ensemble des saisons, chaque série temporelle a une longueur de  $12 \times 13 = 156$  et pour chacune des saisons d'hiver et d'été  $6 \times 13 = 78$ .

Les séries temporelles ainsi obtenues pour l'ensemble des saisons et pour les saisons d'été et d'hiver ne sont cependant pas utilisables directement pour établir des relations de

variabilité. En effet, des oscillations de très basse fréquence et des tendances existent dans ces séries temporelles. Ce genre de variabilité engendre un biais important dans l'établissement des relations recherchées. Nous avons supprimé cette variabilité basse fréquence par l'application d'un filtre passe haut. Ce filtre est obtenu par une moyenne glissante centrée (1/4, 1/2, 1/4) appliqué plusieurs fois successivement. Les séries basse fréquence obtenues sont alors retranchées des séries initiales. Les séries obtenues après ce prétraitement représentent la variabilité interannuelle à échelle de quelques mois.

Pour identifier les relations entre les variables climatiques et la production de pêche, nous avons effectué, pour chaque port, des corrélations entre chaque type de pêche et les variables climatiques. Les corrélations sont significatives à 95% si elles sont supérieures à 0.2 pour les séries entières et à 0.4 pour les séries limitées aux saisons d'hiver et d'été. Les corrélations sont aussi calculées entre les captures et les variables météorologiques durant le mois ou les deux mois qui précèdent. Ceci est, comme mentionné dans l'introduction, dans le but d'étudier la possibilité de prédiction des captures à partir de variables météorologiques.

Afin d'obtenir un lien entre la production et les situations climatiques représentées non seulement par une variable mais par un ensemble de variables opérant ensemble, nous avons utilisé la méthode d'Analyse en Composantes Principales (ACP, Fukuoka, 1951 ; Lorenz, 1956). Cette méthode permet d'obtenir les principaux modes de variabilité d'un certain nombre de variables. On rappelle ici brièvement cette méthode ainsi que les adaptations effectuées. On note  $V$  la matrice dont les vecteurs sont les variables à analyser. Les vecteurs de  $V$  sont normalisés par leur écart-type pour qu'ils aient un même poids. Les modes principaux, appelés "vecteurs propres" sont obtenus en diagonalisant la matrice de covariance construite par

$$C = V'V. \tag{1}$$

$C$  a une dimension égale au nombre de variables. Le symbole ' fait référence au transposé d'une matrice. La matrice des vecteurs propre,  $E$ , a la même dimension que  $C$ . Les vecteurs propres sont ordonnés selon l'ordre décroissant de leur variance,  $\lambda$ , appelée "valeur propre". Les données normalisées peuvent être reconstruites à partir du produit

$$V = TE', \tag{2}$$

où  $T$  est une matrice contenant l'évolution temporelle de chaque mode et est obtenue par

$$T = VE. \tag{3}$$

Cette inversion est possible du fait que la matrice  $T$  est orthonormale,

$$TT' = I. \tag{4}$$

Si à partir d'un certain ordre,  $\lambda$  est jugée faible, on peut négliger les modes d'ordres supérieurs ; on peut par conséquent obtenir une reconstruction  $V^*$  approchée de  $V$ ,

$$V = T^*E^*, \tag{5}$$

où  $T^*$  et  $E^*$  sont les matrices  $T$  et  $V$  tronqués.

L'application de cette procédure permet de réduire considérablement le nombre de degrés de libertés (égal au nombre de variable x longueur des séries). Dans la présente étude nous avons trouvé que l'essentiel de la variabilité est représenté par le premier et le deuxième mode. Ces deux modes feront l'objet de cette étude. Les vecteurs de la matrice  $V$  sont construits à partir des 8 variables météorologiques ( $P, D, E, S, Tm, Ti, Tx$  et  $B$ ) suivies de l'intensité du vent pour chaque direction (16 variables) suivie de l'intensité du vent total ( $I$  ; une variable) et des différents types de pêche ( $T, F, C, B, P, L$  et  $Q$  ; 8 variables). Le nombre total de variables est de 32. Du fait de la proximité des quatre ports (Fig.1), les mêmes

situations météorologiques à l'échelle synoptique doivent les couvrir. Les quatre ports seront donc traités dans un même ensemble. Pour cela, nous avons mis bout à bout les séries temporelles de chaque variable obtenant ainsi des séries de longueur 624 si on tient compte de toutes les saisons et 312 pour les saisons d'hiver et d'été.

Cette procédure permet d'obtenir les modes de variabilité prépondérants des situations climatiques et des captures. La même procédure permet aussi de mettre en évidence les modes de variabilité des captures et les situations climatiques qui les précèdent d'un à deux mois. Pour cela, on considère lors de la construction de la matrice  $V$ , les séries temporelles des variables climatiques (1 à 25) en avance d'un ou deux mois par rapport à celles des captures (variables 26 à 32).

La méthode de l'ACP permet aussi une prédiction statistique de la capture. On prédit les captures dans chaque port séparément et pour chaque type de pêche. Le nombre de variables est alors de 26 (25 variables météorologiques et une variable de pêche). La procédure suivie consiste à appliquer l'ACP décrite plus haut à une partie des données appelée période d'apprentissage. Ici on applique l'ACP aux huit premières années. Les vecteurs propres  $E$  et les séries temporelles correspondantes  $T$  permettent, comme montré plus haut, de reconstruire les données pour cette période d'apprentissage. Pour prédire les captures on considère les restrictions  $E^\circ$  de  $E$  et  $V^\circ$  de  $V$  aux 25 premières variables. On calcule les séries temporelles  $T^\circ$ , correspondantes aux vecteurs propres  $E^\circ$ ,

$$T^\circ = V^\circ E^\circ \tag{6}$$

La dimension de  $T^\circ$  sera donc de 156x26 pour l'ensemble des saisons et 78x26 pour les saisons d'hiver et d'été. On reconstruit ensuite les données y compris celles de la période à prédire en se limitant aux modes significatifs :

$$V^{\circ*} = T^{\circ*} E^{\circ*} \tag{7}$$

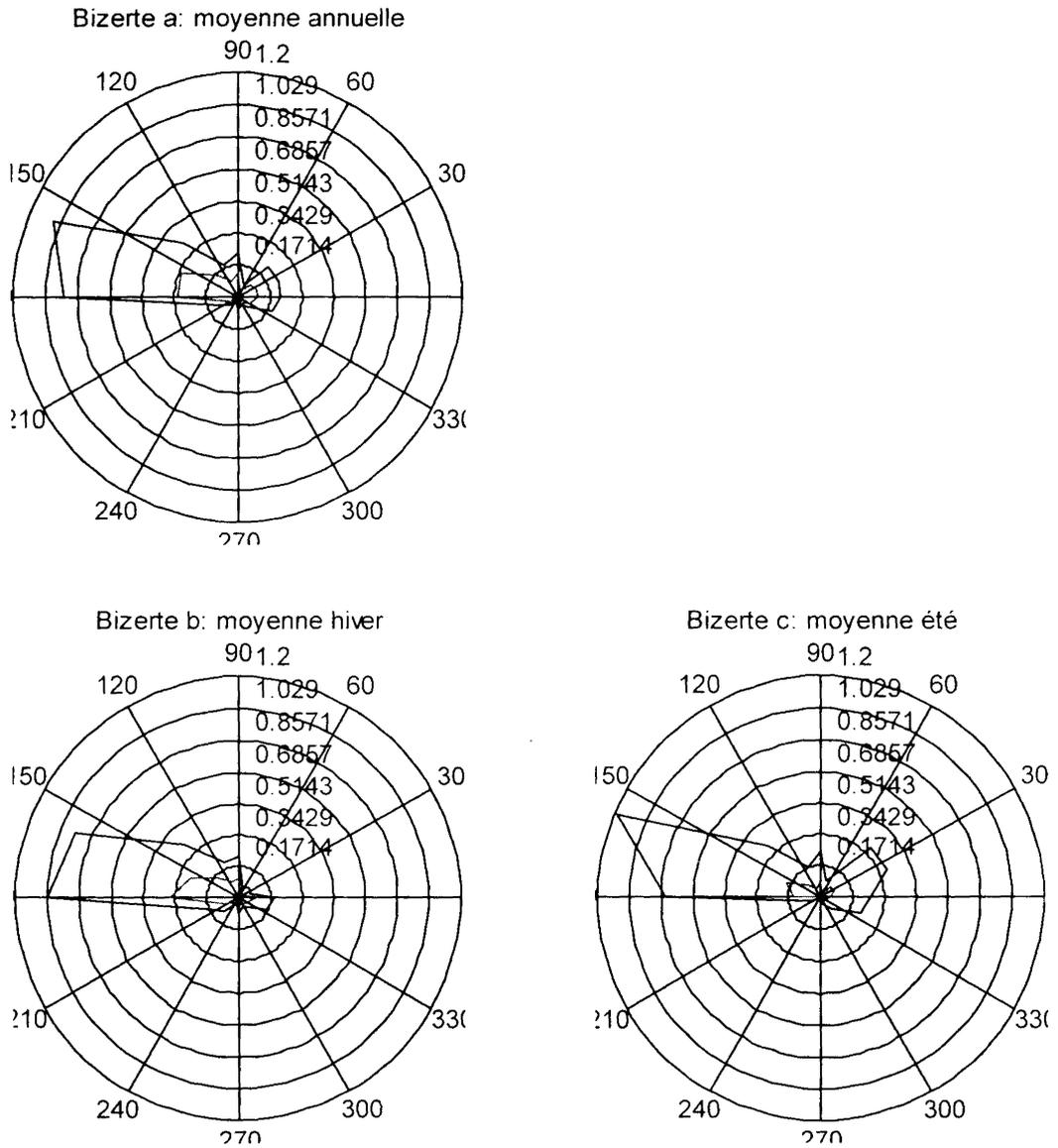
Le nombre de modes à retenir est en pratique de l'ordre de 20 à 22, voisin du nombre total de variables. Un nombre aussi grand de modes est nécessaire pour inclure un maximum de modes. Toutefois, il doit être légèrement plus petit que le nombre de variables pour éviter d'inclure les modes de variance faible pouvant introduire de fortes incertitudes. Le score de la prédiction est mesuré par la corrélation entre la capture observée et prédite.

## RELATIONS PRODUCTION-VARIABLES CLIMATIQUES

Les variables climatiques qui sont déterminantes pour chaque type de pêche et pour chacun des ports sont identifiées en termes de corrélations. Seules les corrélations significatives (probabilité d'erreur de 5%) sont retenues. Les corrélations faisant intervenir les conditions climatiques avec un décalage de trois mois ou plus sont faibles. Seuls les décalages d'un ou de deux mois sont donc considérés dans ce travail. Pour l'ensemble des analyses effectuées, les relations trouvées sont symétriques puisque les variables traitées sont des *anomalies* (écarts par rapport à la moyenne à long terme). Par exemple, une relation qui montre qu'une pluviométrie excédentaire est liée à une pêche excédentaire montre de même qu'une pluviométrie déficitaire est liée à une pêche déficitaire. Pour simplifier, on se limitera dans la plupart des cas à citer l'un ou l'autre des deux aspects d'une relation.

### Tabarka

La pêche à Tabarka est dominée par la pêche aux chaluts. L'ensemble des pêches benthiques et pélagiques contribuent pour 60% à 70% de la production totale de la région tout au long de l'année. L'orientation des vents à Tabarka est en moyenne de secteur W et SW (Fig. 2).



**Figure 2 :** Rose des vents à Tabarka. Les lignes extérieures font référence à l'intensité moyenne du vent en m/s et intérieures à la fréquence moyenne en 2 jours/ mois. a: total ; b: hiver ; c: été.

En hiver l'orientation est la même ; en été elle est de secteurs W et NNE. Les corrélations significatives entre captures et différentes variables météorologiques sont montrées en Tableau I. Les corrélations sans décalage ne montrent pas de valeurs significatives, excepté celle entre la pêche benthique et l'intensité du vent. Cette dernière corrélation est négative ; elle montre que la production diminue par des vents forts et doit traduire principalement la réduction des sorties des chalutiers par temps de vent fort. A deux mois de décalage, des vents forts de secteur NNE précèdent en été une pêche benthique excédentaire et des vents forts de direction opposée, SSW, précèdent en hiver une pêche benthique déficitaire. Les relations trouvées reflètent l'effet du vent sur la circulation des masses d'eau et surtout sur la remontée d'eau dans la région de Tabarka créée par la convergence et la divergence des masses d'eau près des côtes.

**Tableau I :** Distribution des corrélations significatives à 95% entre les captures par différents types de pêches et les différentes variables météorologiques (P et D : intensité et durée de précipitation ; E : évaporation ; S : insolation ; Tm, Ti et Tx : températures moyennes, minimales et maximales ; B : jours de beau temps ; l : intensité du vent ; n, nne etc. sont les directions du vent). 0,1 et 2 sont l'ordre de décalage pour lequel la corrélation est significative. T,F,C,B,P,L,Q sont les différents types de pêches: total, au feu, côtière, benthique, pélagique, lagunaire et aux coquillages. T, H et E font référence à l'ensemble des saisons, l'hiver et l'été. Les corrélations négatives sont indiquées par le signe -.

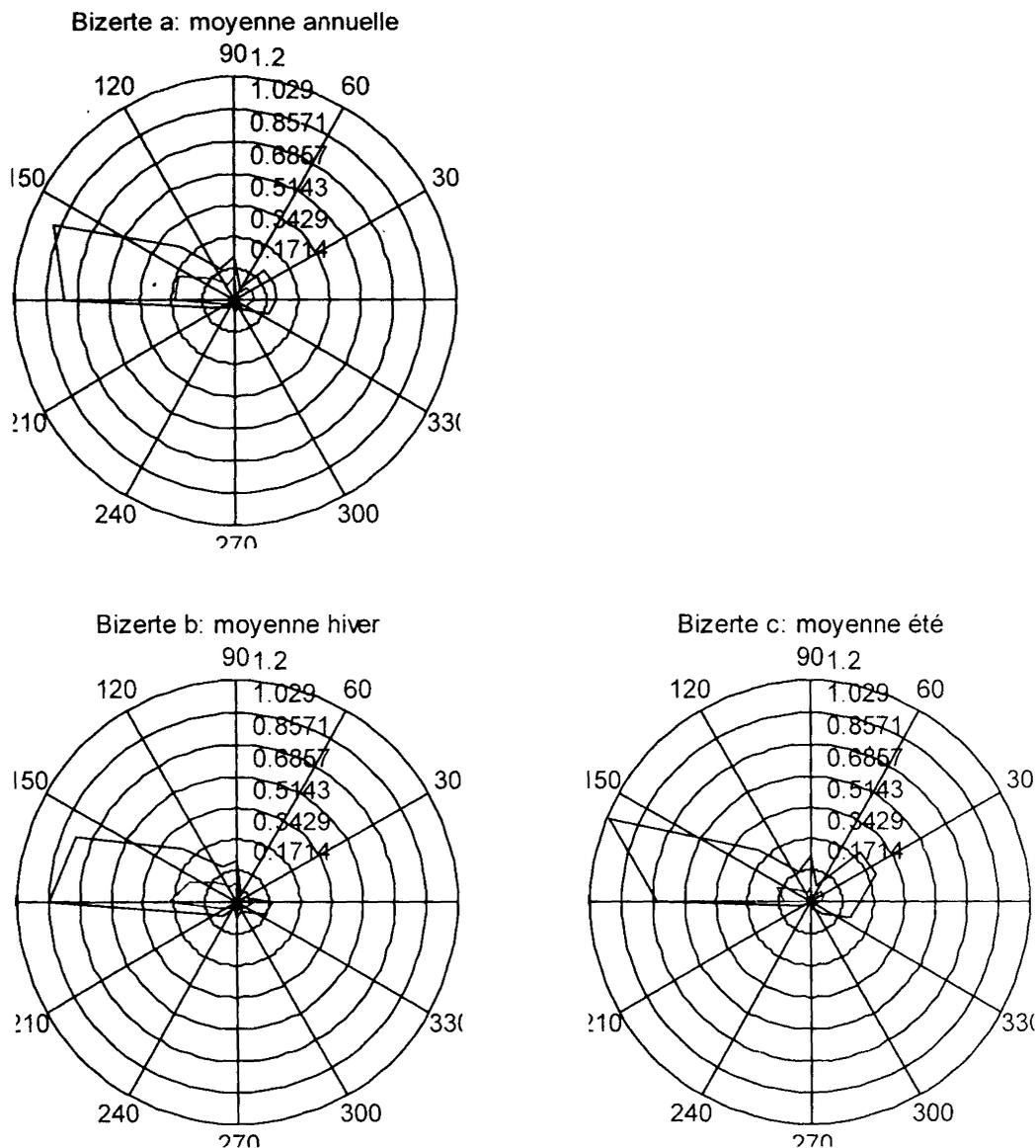
	P	D	E	S	Tm	Ti	Tx	B	n	nne	nc	ene	e	esc	se	sse	s	ssw	sw	wsW	w	wnw	nw	nW	l
T																									
F																									
C	2H									-2H															2H
B										1,2E									-2H						-0T
P																									
L																									
Q																									

Les vents NNE engendrent un transport d'eau vers le large et une remontée d'eau près des côtes et donc des conditions favorables aux poissons. Les vents SSW engendrent les conditions opposées. Le décalage de deux mois pourrait être attribué au temps de latence entre les forçage atmosphérique et la réponse en terme de disponibilité de poisson. D'une manière générale la présence du poisson se fait plus ou moins efficacement et simultanément avec l'upwelling. Binet (1988) a montré que les upwellings intenses le long de la côte ouest africaine sont accompagnés d'un décalage important entre la production primaire et zooplanctonique ; la production de zooplancton est rejetée au large. A l'opposé, un upwelling peu intense conduit à un cycle lent de plusieurs semaines qui permet le développement simultané de phyto et zooplancton.

La pêche côtière montre aussi des relations intéressantes avec les variables météorologiques. En effet, une pêche côtière excédentaire en hiver est précédée deux mois avant par des précipitations abondantes, des vents forts et peu de jours de beau temps (Tab. 1). Il est difficile d'attribuer une telle relation au comportement des pêcheurs côtiers vis à vis des conditions météorologiques vu le décalage de deux mois. Les situations de mauvais temps doivent donc avoir des impacts sur les caractéristiques physiques telles qu'elles favorisent le retour en masse des poissons deux mois plus tard. Notons que l'absence de corrélations significatives entre la pêche côtière et l'intensité du vent selon les différentes directions, n'indique pas une absence complète de telles corrélations. En effets, une corrélation plus faible que le seuil de signification, peut exister. De telles corrélations seront mises en évidence avec l'analyse en ACP.

### Bizerte

La production de pêche à Bizerte provient en grande partie de la pêche au feu. En effet, elle représente en été plus que la moitié de la production totale. Les vents à Bizerte sont essentiellement de secteur W à WNW. Il y a très peu de vent dans les autres directions. Les vents à Bizerte varient très peu en fonction de la saison (Fig. 3).



**Figure 3 :** comme Figure 2 mais pour la rose des vents à Bizerte.

En hiver, la pêche à Bizerte est fortement dépendante des jours cléments (Tab.2). En effet, la production totale ainsi que la production de la pêche au feu augmentent avec de vents faibles, les jours de beau temps et des températures de l'air moyenne et maximale.

**Tableau II :** Comme le tableau I mais pour les corrélations à Bizerte.

	P	D	E	S	Tm	Ti	Tx	B	n	nne	ne	ene	e	ese	se	sse	s	ssw	sw	wsw	w	wnw	nw	nnw	I	
T					0H		0H	0T						2E	0H							-0I				-0II
F					0H			0T	2H0T		2E			-0H												-0II
C										1,2T																-0I
B																										
P																										
L	-1H	-1T																								
Q																										

La lagune de Bizerte est une source importante de pêche pour la région. Une mauvaise pêche dans cette lagune suit une bonne intensité et durée de précipitations avec un décalage d'un à deux mois. Cette relation est plus forte en hiver. Elle peut s'interpréter par la diminution de la salinité des eaux de la lagune engendrée par les fortes précipitations et le déversement des cours d'eau douce. Le poisson fuit la lagune vers la mer pour y retourner dès que les conditions redeviennent normales. Le décalage d'un à deux mois entre la précipitation et la capture résulte du temps que met l'eau douce pour se déverser dans la lagune et le temps de migration du poisson. A l'opposé, une bonne pêche lagunaire suit une précipitation déficitaire. Cette relation traduit une forte présence du poisson dans la lagune suite à des conditions favorables de salinité et d'éléments nutritifs. Le décalage résulte aussi du temps que met la lagune pour retrouver son équilibre et le temps que met le poisson pour revenir à la lagune Cassanet (1981).

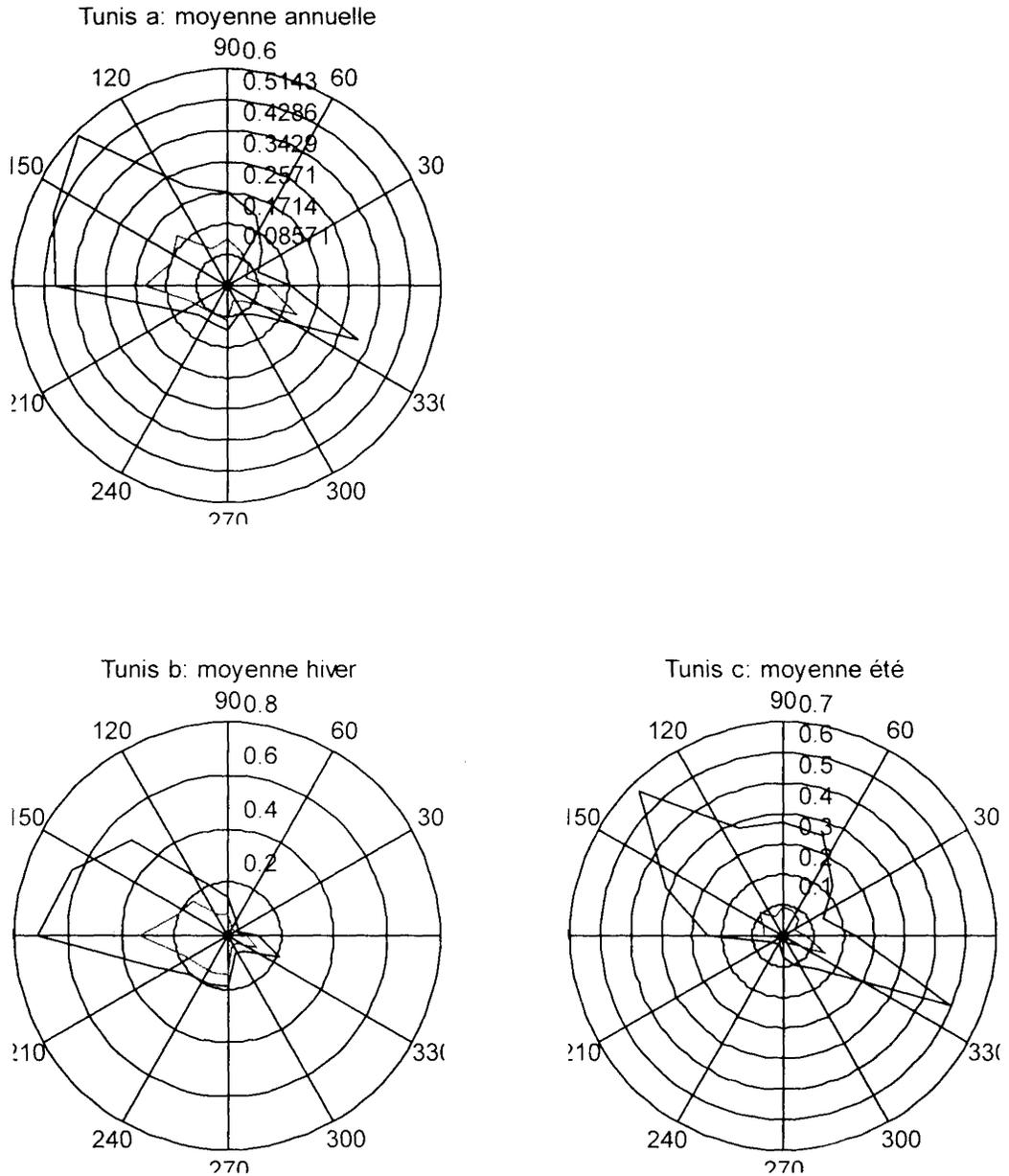
Comme le montre le tableau II, l'effet du vent sur la pêche à Bizerte est très important. En moyenne, les vents de secteur W coïncident avec une pêche déficitaire. Ainsi des vents W réduisent la production totale et des vents WNW réduisent la pêche côtière. Ces relations traduisent l'effet de ces vents sur le transport d'eau vers les côtes et donc la fuite du poisson vers la large. Les vents de secteur E à N augmentent la pêche deux mois plus tard, en particulier les pêches au feu et côtière. Les vents E à S montrent aussi des effets importants sur la production totale et sur la pêche au feu mais les relations trouvées sont complexes. Le fait que le vent à Bizerte soit de dominance W à WNW explique qu'on trouve des relations plus claires pour ces directions que celles faisant intervenir le vent selon d'autres directions.

**Tunis**

La production de pêche à Tunis se compose pour plus de la moitié par celle de la pêche au Chalut. Certains types de pêche sont réglementés dans cette région (e.g. compagnes de coquillages et de chalutages). Les vents à Tunis ont deux orientations opposées NW et SE avec une dominance des vents NW (Fig.4). En été la rose des vents présente la même configuration alors qu'en hiver les vents SE disparaissent. Une précipitation abondante précède d'un mois une production par pêche au chalut benthique excédentaire et, en été, une production totale excédentaire (Tab.3).

**Tableau III :** Comme le tableau I mais pour les corrélations à Tunis.

	P	D	E	S	Tm	Ti	Tx	B	n	nnc	nc	ene	e	ese	se	sse	s	ssw	sw	wsw	w	wnw	nw	nnw	I
T	1E																								
F																									
C																				-2H				2H	
B	1T																								
P																									
L																									
Q						0TH																			-0H



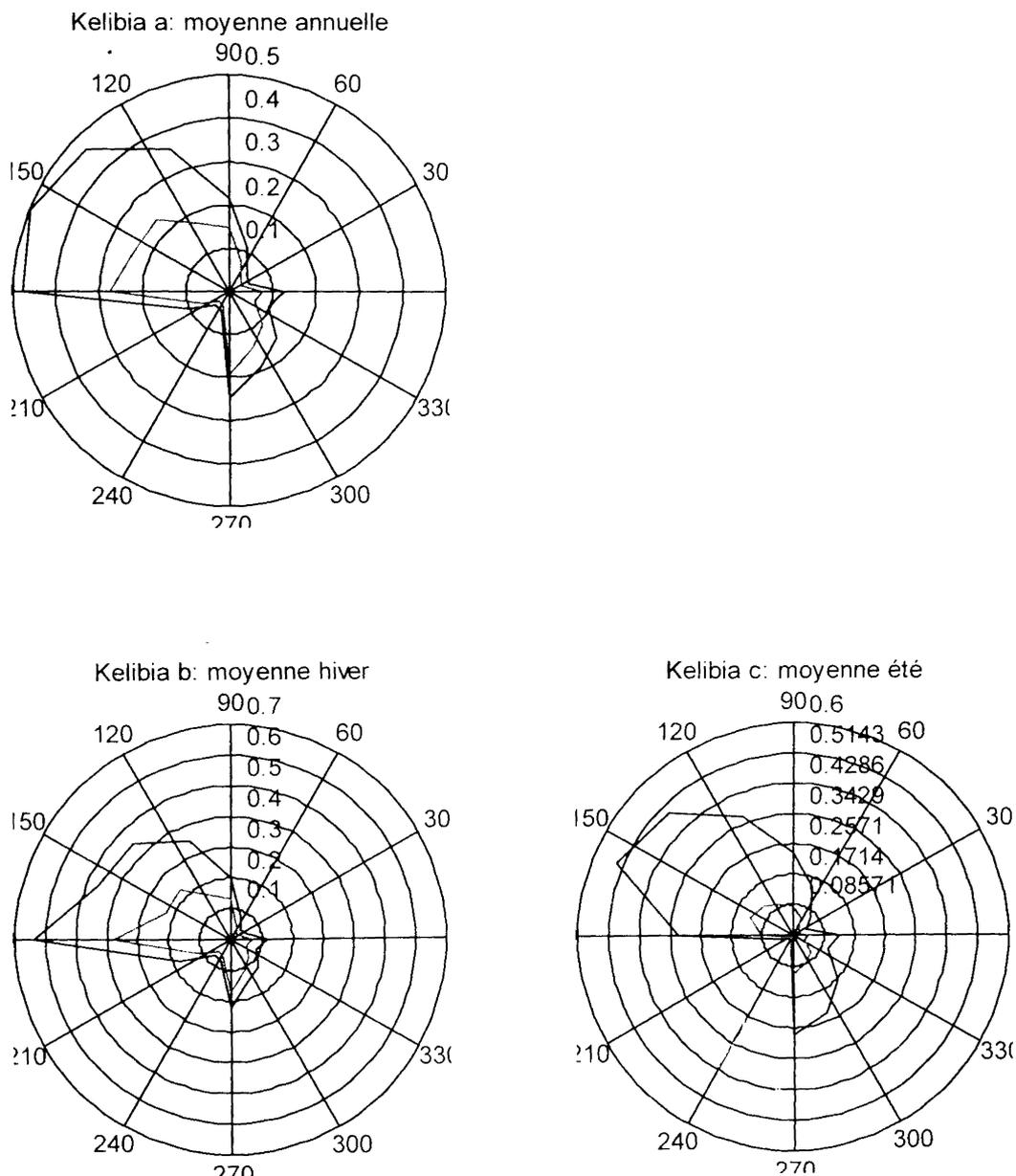
**Figure 4 :** comme figure 2 mais pour la rose des vents à Tunis.

La pêche aux coquillages montre une certaine dépendance des conditions climatiques. Cette pêche augmente en hiver avec l'augmentation des températures minimales et la diminution des vents froids NNW. Ceci peut s'expliquer par la technique de pêche pratiquée qui est celle de la collecte à pied dans l'eau.

En hiver, une bonne pêche côtière est précédée par un affaiblissement des vents WSW et une intensification des vents NNW deux mois à l'avance. Cette relation, difficile à interpréter, pourrait avoir un lien avec la géographie assez complexe de la région.

### Kelibia

La production de pêche à Kelibia est constituée majoritairement par la production de la pêche au feu. Les vents à Kelibia ont une orientation à dominance W à NW ; des vents de secteur sud existent mais sont beaucoup moins forts (Fig. 5).



**Figure 5 :** comme figure 2 mais pour la rose des vents à Kelibia.

La direction du vent change peu avec la saison. Le seul changement notable est une orientation plus à l'ouest en hiver et légèrement plus vers le nord en été. La production est fortement tributaire des jours de beau temps (Tab. 4). Surtout en hiver, la production totale est tributaire des températures de l'air minimales pas trop faibles durant le mois qui précède.

**Tableau IV :** Comme le tableau I mais pour les corrélations à Kelibia.

	P	D	E	S	Tm	Ti	Tx	B	n	nne	ne	ene	e	ese	se	sse	s	ssw	sw	wsw	w	wnw	nw	nnw	I
T						-ITH		OTH																	
F								OTH	IH									-0IH							
C																									
B																									
P									IET	OHT		IH							-IHT				-2E		-2E
L																									
Q																									

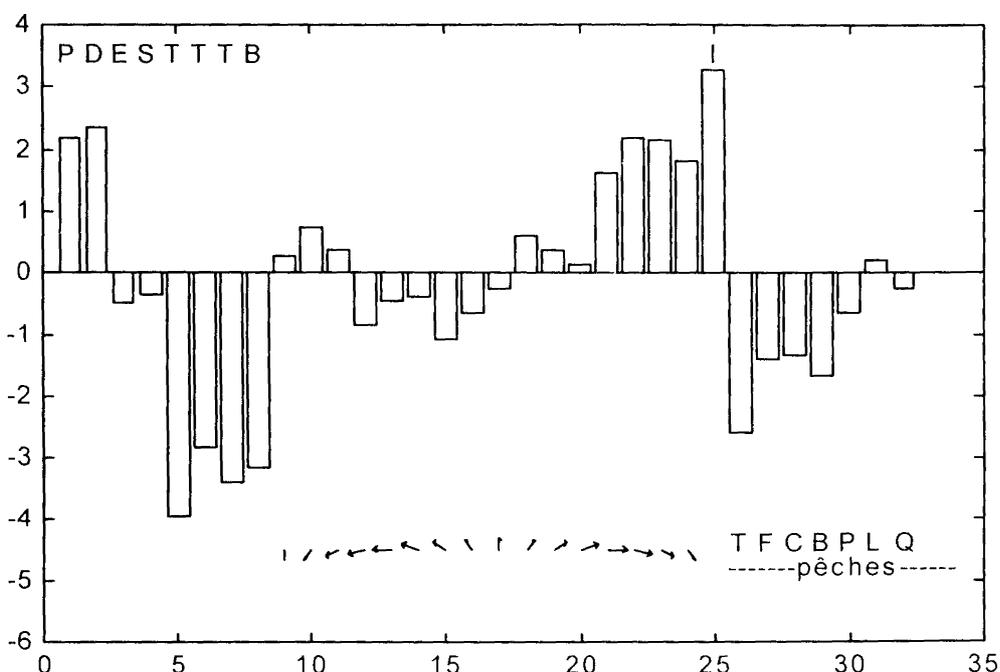
En général, les vents de secteur N à E sont des précurseurs d'une bonne pêche, c'est le cas un mois à l'avance des vents N pour la pêche au feu en hiver et la pêche au chalut pélagique en été. En hiver, les vents ENE sont de même des précurseurs d'une bonne pêche pour le chalutage pélagique. A l'opposé, les vents S à W et N à W sont des précurseurs d'une pêche déficitaire. Ainsi, en hiver et un mois à l'avance, les vents de direction SSW le sont pour la pêche au feu et ceux de direction SW pour la pêche au chalut pélagique. De même deux mois à l'avance et en été, les vents dominants NW le sont aussi pour la pêche pélagique.

De l'étude des relations entre le vent et les captures dans les quatre ports, il ressort des relations générales à la pêche dans la région Nord de la Tunisie : les vents de secteur E à N précèdent en général (mais coïncident dans quelques cas avec) une pêche excédentaire. De même, les vents de secteur W et en particulier les vents de secteur S à W précèdent ou coïncident avec une pêche déficitaire. Les positions géographiques différentes des quatre ports peut expliquer les écarts par rapport à ces relations générales. Comme mentionné plus haut, ces relations découlent des mouvements de masses d'eau forcées par la circulation atmosphérique et du lien avec les mouvements du poisson dans le sens opposé à ces mouvements. Le décalage entre le forçage atmosphérique et la quantité de poisson pêché, peut en partie s'expliquer par le temps de migration du poisson, des changements des caractéristiques hydrologiques et physiques des masses d'eau ainsi que le temps de développement du plancton. Cependant une étude plus détaillée, incorporant la réponse océanique au forçage atmosphérique est nécessaire pour mieux comprendre le mécanisme de ce décalage.

### SITUATIONS METEOROLOGIQUES ET PRODUCTION

Nous étudions dans cette section les relations entre les situations météorologiques qui caractérisent les quatre ports et les captures correspondantes. Les données des quatre ports sont regroupées dans un même ensemble et utilisées dans une ACP. Cette approche permet de trouver les variations des situations météorologiques à l'échelle du nord de la Tunisie et les variations des captures engendrées. L'analyse en ACP permet aussi de s'affranchir du seuil de signification des corrélations ; l'importance d'une relation pour une variable donnée sera proportionnelle à l'importance de ses composantes principales. Il existe une deuxième différence fondamentale entre la détermination des relations par corrélations et par l'ACP. Les corrélations sont des estimations directes de l'importance de la relation variables climatiques et captures alors que l'ACP fournit les modes de variabilité des situations météorologiques et les captures qui leurs sont liées. Une relation mise en évidence par les corrélations peut donc ne pas correspondre à un mode de variabilité important du climat de la région.

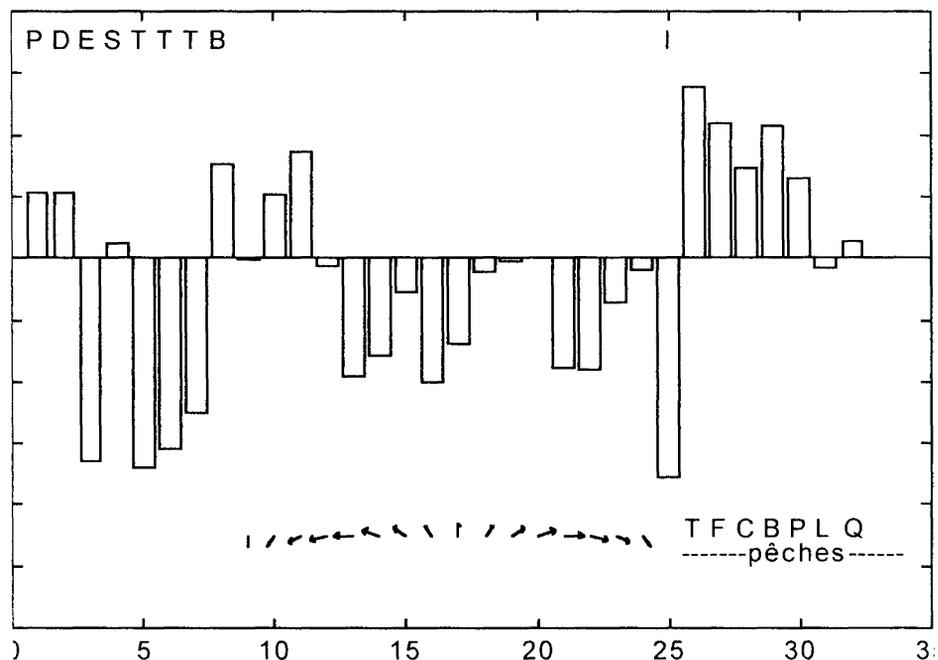
Les décompositions selon l'ACP, avec ou sans décalage, révèlent que les relations climat-captures sont dominées par deux modes de variabilité. Pour l'ACP sans décalage, le premier mode représente 9% de la variance totale. Ce mode, présenté en Fig. 6, met en évidence une situation météorologique caractérisée par des précipitations abondantes, une température de l'air assez basse, un vent de forte intensité, des vents du secteur W à N forts et des vents du secteur E à S faibles.



**Figure 6 :** Premier mode de variabilité des situations météorologiques et des captures pour l'ensemble des saisons. Les abscisses de 1 à 25 représentent les variables climatiques : P et D : intensité et durée de précipitation ; E : évaporation ; S : insolation ; Tm, Ti et Tx : températures moyennes, minimales et maximales ; B : jours de beau temps ; I : intensité du vent ; n, nne etc. sont les directions du vent. T, F, C, B, P, L, Q sont les différents types de pêches: total, au feu, côtière, benthique, pélagique, lagunaire et aux coquillages.

Les captures lors de cette situation météorologique sont déficitaires pour tous les types de pêche. L'ACP pour les saisons d'hiver et d'été montre sensiblement le même mode. L'orientation des vents importants pour les captures (NW-SE) est différente de celle obtenue par les corrélations (majoritairement SW-NE). Ceci peut découler du fait qu'on considère pour l'ACP les quatre ports dans un même ensemble et donc les situations à l'échelle synoptique qui résultent de l'écoulement de l'air à l'échelle de la Méditerranée. Le mode présenté en Fig. 6 représente une situation typique de mauvais temps dans le régime de circulation du NW renforcé par des dépressions éventuelles dans la Méditerranée centrale. Le régime opposé représente l'affaiblissement de ses situations de mauvais temps où, en été, la circulation d' E à SE sous l'effet de l'anticyclone des Açores.

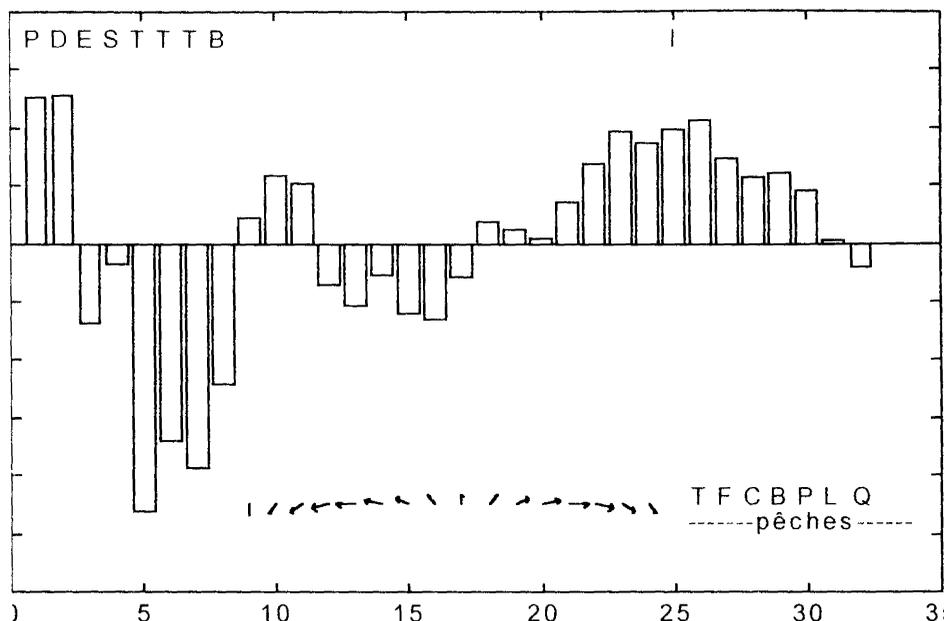
Le deuxième mode prépondérant (7.7 de la variance totale) est présenté en Fig. 7. Ce mode montre une situation météorologique où l'intensité du vent, la température de l'air et l'évaporation jouent un rôle important.



**Figure 7 :** comme figure 6 mais pour le deuxième mode.

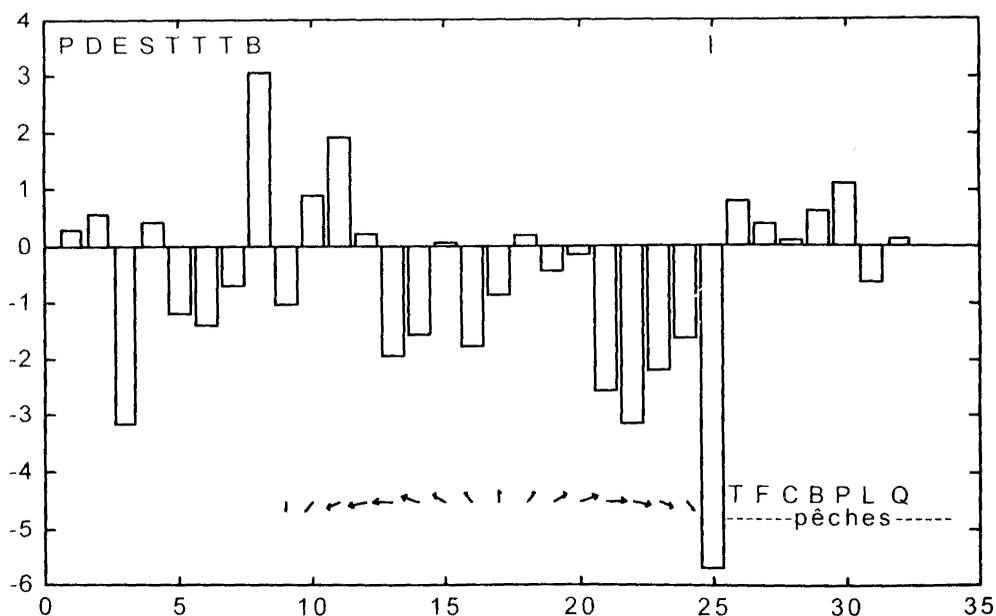
Des vents faibles selon toutes les directions et principalement dans les deux directions prépondérantes W à N et E à S, une température de l'air basse et une évaporation faible sont associées à une bonne capture pour toutes les pêches. L'ACP pour les saisons d'hiver et d'été a fourni des modes similaires à celui de l'ensemble des saisons. Néanmoins l'importance relative de l'intensité du vent, de la température et de l'évaporation est accentuée pour la saison d'hiver et est atténuée pour la saison d'été. Ce régime est probablement associé aux régimes d'hiver des jours froids de circulation anticyclonique sans vents. L'évaporation dans ce type de situation est faible compte tenu du vent faible.

En comparant les deux modes qu'on vient de décrire on s'aperçoit qu'ils sont assez similaires et que ce sont les vents W à N qui sont déterminants pour les captures. Ainsi, une situation climatique caractérisée par des précipitation abondantes, une faible évaporation, des basses températures et des vents E à S faibles est accompagnée d'une pêche déficitaire si les vents W à N sont forts et d'une pêche excédentaire si ces vents sont faibles. Cette situation doit traduire le fait qu'un vent W à N, donc sensiblement parallèle aux côtes nord de la Tunisie, engendre un transport d'eau vers les côtes et agit à l'encontre d'une remontée d'eau ce qui défavorise la pêche. Ceci est d'autant plus important que ces vents font partie du régime de circulation moyenne sur le nord de la Tunisie ; l'impact des vents selon ces directions est donc particulièrement important.



**Figure 8 :** Comme figure 6 mais pour le premier mode de variabilité dans le cas où les situations météorologiques précèdent les captures de deux mois.

L'ACP avec un décalage de deux mois montre que le premier mode pour l'ensemble des saisons ayant 9.2% du total de la variance (Fig. 8) présente un régime de temps similaire à celui obtenu sans décalage, à savoir des précipitations abondantes, une température de l'air basse, des vents forts de secteur W à N et faibles de secteur E à S.

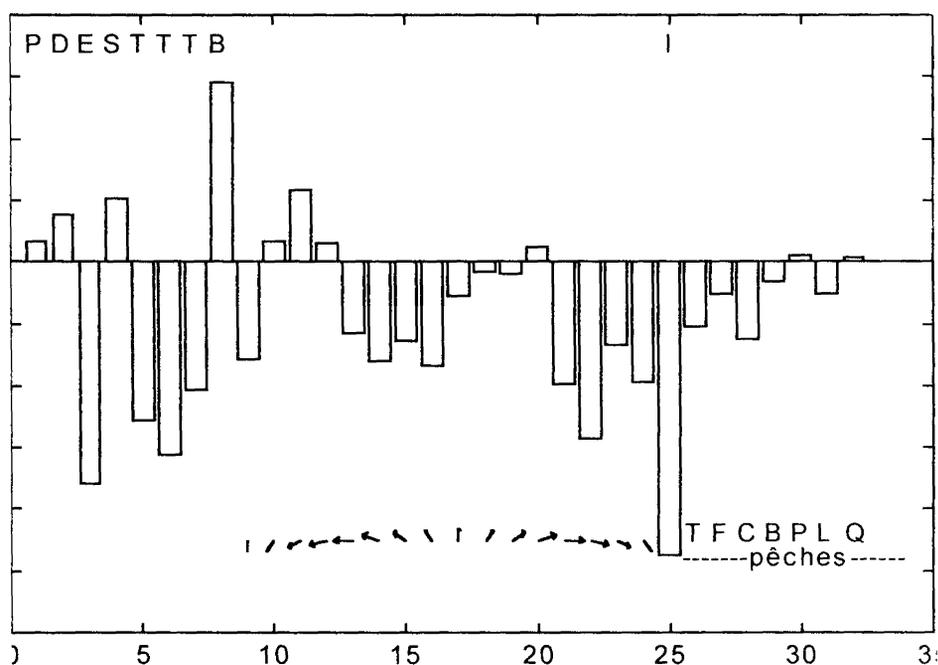


**Figure 9 :** Comme figure 6 mais pour le deuxième mode de variabilité dans le cas où les situations météorologiques précèdent les captures de deux mois.

La production pour tous les types de pêche deux mois plus tard est cependant excédentaire (à l'exception de la pêche aux coquillages qui est légèrement déficitaire). Ceci est à l'opposé de la production déficitaire trouvée pour le même régime de temps dans l'ACP sans décalage. Ce premier mode est quasiment le même pour les saisons d'hiver et d'été.

Le deuxième mode de l'ACP avec un décalage de deux mois (7%, Fig. 9) montre un régime de temps analogue au deuxième mode sans décalage, à savoir des vents faibles dans toutes directions et en particulier dans les deux directions prépondérantes W à N et E à S, une température de l'air basse et une évaporation faible.

Le nombre de jours de beau temps est aussi un facteur important. L'étude saisonnière montre que la ressemblance au deuxième mode sans décalage est plus forte en hiver. Ce mode représentant 8.3% de la variance totale est montré en Fig. 10. En été, seuls les vents W à N forment un facteur important. La capture deux mois plus tard est excédentaire pour l'ensemble des saisons et pour l'été et est légèrement déficitaire en hiver.



**Figure 10 :** Comme figure 6 mais pour l'hiver et pour le deuxième mode de variabilité dans le cas où les situations météorologiques précèdent les captures de deux mois.

Dans cette étude en ACP des régimes de temps et de la capture correspondante, il apparaît un premier régime caractérisé par des précipitations abondantes, une baisse de température et des vents forts de secteur W à N et faibles de secteur S à E. La capture est déficitaire durant ce régime mais excédentaire deux mois plus tard. Le deuxième régime de temps est caractérisé par une dominance de l'effet de l'intensité du vent avec son affaiblissement dans toutes les directions, une baisse de température et une diminution de l'évaporation. La capture est excédentaire durant ce régime mais déficitaire deux mois plus tard en hiver. Le changement de signe des captures dans l'espace de deux mois est difficile à expliquer. Il ne doit pas découler du comportement des pêcheurs vis à vis des conditions

météorologiques vue le décalage de deux mois. Il peut être le résultat de l'effet des conditions climatiques sur la disponibilité du poisson avec un temps de latence d'un à deux mois.

La variabilité à l'échelle de quelques mois des conditions climatiques peut aussi être à l'origine du changement de signe des captures. Pour étudier l'importance de cette variabilité climatique, nous avons effectué une analyse spectrale du premier et deuxième coefficients temporels associés au premier et deuxième mode. Le spectre montre des oscillations de périodes allant des échelles de temps de 2 mois à plusieurs mois. Il n'existe pas cependant de préférence nette pour des périodes d'environ 4 mois, période qui pourrait expliquer le changement de signe à l'échelle de deux mois. Ces résultats suggèrent que la variabilité du climat à cette échelle de temps ne peut expliquer que partiellement la variabilité des captures.

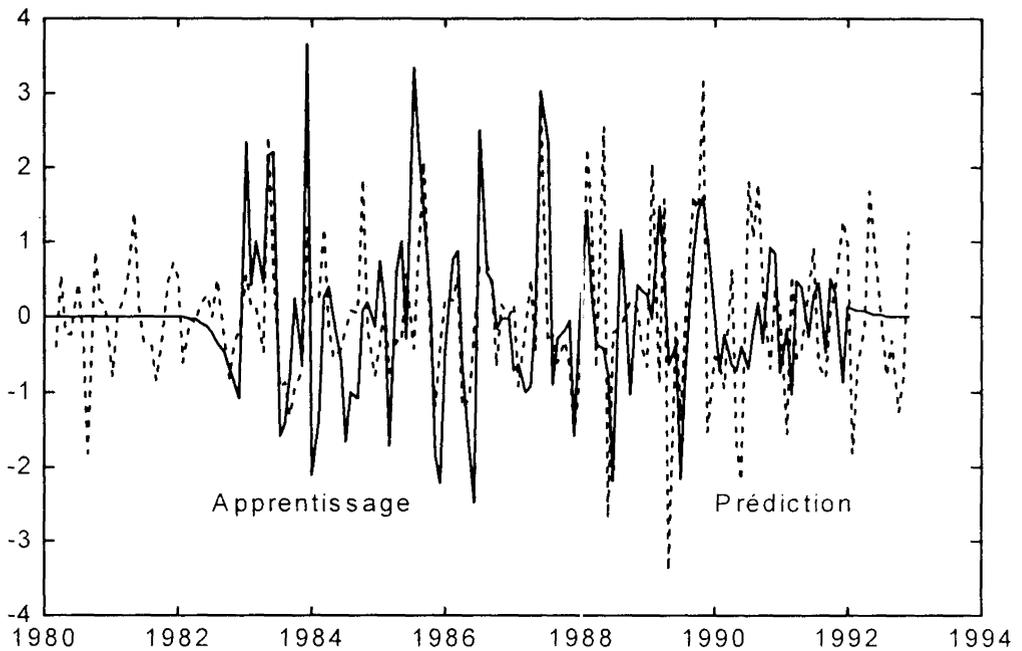
### PREDICTION DES CAPTURES

Une prédiction de la capture par type de pêche et pour chaque port s'avère possible, compte tenu des relations trouvées entre les situations météorologiques et la production de pêche un ou deux mois plus tard. Rappelons que cette prédiction est effectuée sans aucune information sur les données de capture de la période prédite. Le modèle statistique utilisé est trouvé à partir d'une période d'apprentissage qui correspond aux années allant de 1980 à 1987 ; les années prédites sont de 1988 à 1992. Le score est établi par les corrélations entre la capture observée et la capture prédite. On résume dans le tableau V les différentes captures pour lesquelles la prédiction est significative.

**Tableau V** : Identification des pêches pour lesquelles une prédiction d'un (1) et de deux (2) mois est significative. Les trois chiffres font référence successivement à la prédiction en hiver, en toutes saisons et en été.

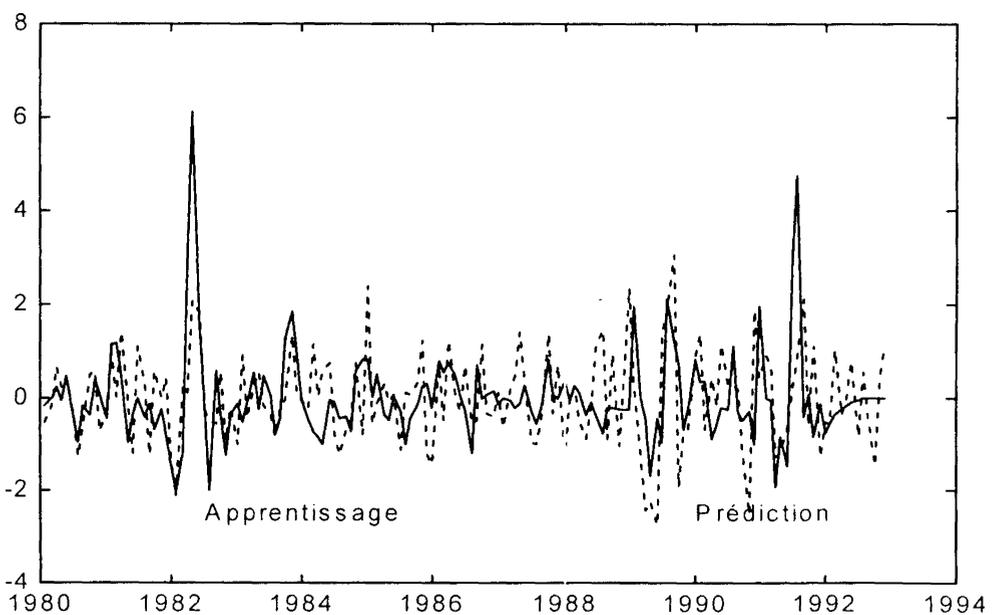
	T	F	C	B	P	L	Q
Tabarka	1 2			2 1.2 2	2 2 2		
Bizerte	2 2	2 2	2	1.2 1		1 1	2
Tunis	1 2					1.2	1
Kelibia	1 1	1 1.2	2	1 1	2 2		

Ce tableau montre une large possibilité de prédiction pour les quatre ports. Comme exemple de cette prédiction la Fig. 11 montre la capture observée et prédite deux mois à l'avance pour la pêche au chalut pélagique à Tabarka.



**Figure 11** : Capture par la pêche au chalut pélagique observée (courbe continue) et prédite (trait discontinu) à Tabarka. La prédiction est faite pour la période allant de 1988 à 1992. La prédiction est basée sur la période d'apprentissage de 1980 à 1987.

On peut noter la bonne correspondance entre la pêche réelle et prédite. De même, Fig. 12 montre la capture observée et prédite un mois à l'avance pour la pêche au chalut benthique à Bizerte. On note aussi la bonne correspondance ; dans les deux cas le coefficient de corrélation entre la pêche prédite et observée est 0.28 significative à 95%.



**Figure 12** : Comme figure 11 mais pour la pêche au chalut benthique à Bizerte.

## CONCLUSION

Dans cette étude nous avons cherché des relations entre les captures et les conditions climatiques au voisinage de quatre ports de pêche au nord de la Tunisie et nous avons utilisé ces relations pour examiner la possibilité d'une prédiction un à deux mois à l'avance. On s'est intéressé aux liens qui peuvent avoir lieu à l'échelle des variations inter annuelles. Pour ceci, les données sont échantillonnées à l'échelle du mois et le cycle annuel moyen est retranché.

Dans un premier temps nous avons calculé les corrélations entre les captures dans chaque port et les variables climatiques et ceci en considérant ces variables soit au même moment que les captures soit en avance de quelques mois. Pour la majorité des types de pêche, nous avons trouvé que les variations des captures d'un mois donné sont précédées par des variations des variables climatiques avec un décalage d'un à deux mois. Les variations de la précipitation sont ainsi des précurseurs importants de la pêche lagunaire à Bizerte avec un mois de décalage. Les vent est le précurseur le plus important des pêches. D'une façon générale, les vents de secteur S à W sont des précurseurs d'un pêche déficitaire alors que les vents de secteur N à E sont des précurseurs d'une pêche excédentaire. Ces relations sont expliquées par leurs effets sur le transport des masses d'eau vers le large ou vers les côtes et donc les conséquences sur le développement planctonique et la disponibilité du poisson.

Dans un second temps, nous nous sommes intéressés à la recherche des effets des situations météorologiques prépondérantes à l'échelle du nord de la Tunisie sur les captures. Les résultats de l'ACP ont mis en évidence deux modes de variabilité prépondérants. Pour les relations simultanées, le premier mode représente des conditions de mauvais temps avec des précipitations abondantes, des températures faibles et des vents S à E faibles et N à W forts. Les captures associées sont déficitaires. Le deuxième mode est similaire au premier mais les vents N à W sont faibles. Les captures associées à ce mode sont excédentaires. les vents N à W semblent donc jouer un rôle fondamental quant à la qualité des captures. Les relations avec un décalage de deux mois montrent des modes où les situations météorologiques sont les mêmes que celles obtenues sans décalage mais où le signe des captures est inversé. Ces relations montrent donc une forte potentialité de prédiction des captures à l'échelle d'un à deux mois.

Ensuite, ces relations sont utilisées pour une prédiction statistique des captures en utilisant une adaptation de l'ACP. Les résultats ont montré une forte possibilité de prédiction pour la plupart des types de pêche. Les meilleures prédictions sont obtenues avec un ou deux mois de décalage selon le type de pêche.

L'interprétation des relations simultanées en l'absence de données sur l'effort est souvent complexe et nécessite la prise en compte du facteur humain. Les relations qui font intervenir les conditions climatiques un mois donné et les captures un ou deux mois plus tard sont toutefois moins assujettis aux facteurs humains, puisque l'échelle de temps des variations des captures est au maximum d'une à deux semaines. Ces relations doivent donc refléter l'impact des conditions climatiques, à l'échelle d'un à deux mois, sur l'hydrologie marine, les caractéristiques physiques des eaux, et sur le comportement du poisson. Les conditions climatiques peuvent aussi avoir une variabilité lente de quelques mois qui peuvent être à l'origine de ces relations. Les résultats trouvés n'excluent pas l'existence de telle variabilité atmosphérique mais ils suggèrent qu'ils ne jouent qu'un rôle partiel dans les relations.

Enfin cette étude a permis de mettre en évidence la possibilité de gestion des captures à l'avance mais elle ouvre aussi la voie à des interrogations sur l'origine du décalage d'un à deux mois entre le forçage atmosphérique et la réponse en terme de capture. Une étude ultérieure est nécessaire pour comprendre les origines d'une telle potentialité de prédiction et les mécanismes des interactions entre l'atmosphère et le milieu marin.

## BIBLIOGRAPHIE

- AZZOUZ A., 1974. Les fonds chalutables de la région nord de la Tunisie. *Bull. Inst. Oceanogr. Pêche, Salammbô*, **3**, 1-4.
- BINET D., 1988. Rôle possible d'une intensification des alizés sur le changement de répartition des sardines et sardinelles le long de la côte ouest africaine. *Aquat. Living. Resour.*, **1**, 115-132.
- BUHELLA M.C., 1987. Evaluation of the exploitation potential of demersal and "poisson bleu" stocks of the tunisian continental platform. Tech. Report N° 06. Publi. of *Tunisian-Germain Fisheries Project*. 30pp.
- CASSANET J., 1981. Etude par télédétection des températures et turbidité des eaux au large de la Loire-Atlantique. Contrat CNEXO/EPHE. Ecole Normale de Montrouge. *Ecole Norm. sup. jeunes filles*, **21**, 200p.
- GRAHAM M., 1935. Modern theory of exploiting a fishery, and application to North Sea trawling. *J. Const. int. Explor. Mer.*, **10**, 264-274.
- CURY P., C. ROY, 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **46**, 670-680.
- FUKUOKA, A., 1951 : A study of 10-day forecastt (a synoptic report), *Geophys. Mag.*, **22**, 177-208.
- FURNESTIN, J., 1939-1941. Contribution à l'étude de la biomasse de la sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum). *Rev. Trav. Off. Pêches*, **35**, 227-385.
- KURC G., 1969. La biologie et la pêche des sardines en relation avec l'hydrologie. *Science et Pêche Bull. Inst. Pêches Marit.*, **178**, 1-14.
- LALOË F., 1987. A simple production model with unaccessed quantity of biomass. *ICES*, 9-16 June 1987.
- LASKER R., 1978. The relation between oceanographic conditions and larval anchovy food in California Current: identification of factors contributing to recruitment failure. *Rapp. P.-v. Réun. Const. int. Explor. Mer*, **178**, 357-387.
- LITTAY-MARIETTE A., 1990. Rendements de la pêche sardinières (*Sardina pilchardus*) et conditions de vent, dans le nord du golfe de Gascogne. *Aquat. Living. Resour.*, **3**, 163-180.
- LORENZ E. N., 1956. Empirical Orthogonal Functions and statistical Weather Prediction. *Sci. Rep.*, **1**, Statistical Forecasting Project. Dept of Meteorology, MIT, 48pp.
- PARRISH R.H., A. BAKUN, D.M. HUBSY, C.S. NELSON, 1983. Comparative climatology of selected environmental processes, in relation to eastern boundary current pelagic fish reproduction. In : G. Sharp, J. Csirke: Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species of neritic fish resources Costa-Rica, 18-29 April 1983. *FAO Fish. Rep.* **291**, 731-777.
- PETERMAN R.M., M. BRADFORD, 1987. Wind speed and mortality rate of a Marine Fish, the Northern Anchovy (*Engraulis mordax*). *Science*, **235**, 354-356.
- POTIER M. AND T. BOELY, 1990. Influence de paramètres de l'environnement sur la pêche à la senne tournante et coulissante en mer de Java. *Aquat. Living. Resour.*, **3**, 193-205.
- SCHAEFER M.B., 1954. Some aspects of the dynamics of population important to the management of the commercial marine fisheries. *Bull. Int. Am. Trop. Tuna Comm.*, **1**, 26-56.
- SCHAEFER M.B., 1957. A study of the dynamics of the fishery for yellow-fin tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Bull. Int. Am. Trop. Tuna Comm.*, **2**, 247-285.