

## Principales caractéristiques océanographiques de la côte atlantique marocaine de 1994 à 1998

Ahmed Makaoui, Abdellatif Orbi, Jamila Larissi,  
Soukaina Zizah et Karim Hilmi

Institut National de recherche Halieutique, 2 rue Tiznit, 20000 casablanca (Maroc).

**Résumé** L'évolution de l'écosystème pélagique de la côte atlantique marocaine est influencée en grande partie par la variabilité spatio-temporelle du phénomène d'"upwelling". L'étude océanographique d'un tel écosystème réalisée de 1994 à 1998 pendant les saisons d'hiver et d'été nous a permis de localiser les centres actifs des zones de résurgence et leur variabilité saisonnière (hiver - été), de suivre l'évolution de sa production et de subdiviser le littoral atlantique marocain en quatre zones principalement alimentées par les remontées d'eau profondes, froides et riches en matières minérales nécessaires pour le démarrage de la production primaire: deux zones situées au Nord de Cap Juby (28°N) (zones 1 et 2) qui sont caractérisées par une activité estivale de la résurgence et deux zones situées au Sud dont l'une (zone 3) est active pendant les deux saisons avec une intensité variable et l'autre (zone 4), très riche en matières minérales (phosphates), est une zone frontale très influencée par l'existence quasi permanente de la résurgence et par la propagation des eaux du type ECSA (Eaux Centrales Sud Atlantiques) vers le Nord.

**Mots clés:** Hydrologie, Upwelling, Ecosystème pélagique, Centres actifs, ECNA/ECSA.

### Main oceanographical features of the Atlantic Moroccan coast from 1994 to 1998

**Abstract** The pelagic ecosystem of Moroccan Atlantic coast is mainly influenced by the upwelling phenomenon in both space and time. The oceanographic study of such ecosystem carried out from 1994 to 1998 during summer and winter seasons, allowed us to identify active areas by upwelling. From its seasonal variability we could follow the evolution of production and divide the Moroccan Atlantic coast in four zones mainly fed by the upwelled cold water, enriched in nutrients which are necessary for the development of primary production: two areas located north of Cape Juby (28°N) (zones 1 and 2), are characterised by more activity of the upwelling in summer. Two other zones are situated in the south: one is active permanently by the upwelling with a variable intensity and the other one (zone 4) highly concentrated in nutrients (phosphates) is a frontal zone not only influenced by a permanent upwelling activity but also by the propagation of the SACW (South Atlantic Central Water) northward.

**Key words:** Hydrology, Upwelling, pelagic ecosystem, active centers, ECNA/ECSA.

### INTRODUCTION

La côte Atlantique marocaine est caractérisée par la résurgence des eaux profondes qui assure un apport en éléments minéraux pour favoriser la photosynthèse dans les eaux superficielles et par suite, une production de tout le réseau trophique. En effet, la situation géographique de la côte marocaine qui donne le privilège d'être parmi les cinq zones connues dans le monde (Fig.1) qui subissent l'influence du phénomène d'upwelling du moment qu'elle renferme les conditions nécessaires à la naissance et au maintien de mouvements ascendants :

-l'orientation convenable par rapport à la côte des vents dominants et leur stabilité ;

-la localisation en dehors des latitudes équatoriales (car la force de Coriolis ne doit pas être négligeable) (Smith 1984). Ces deux conditions restent cependant insuffisantes; plusieurs facteurs (hydrologique et physique) jouent un rôle primordial pour la subsistance de la productivité de l'écosystème pélagique. Le milieu marin, se caractérise par l'interaction simultanée de deux systèmes qui s'interagissent (fig.2). L'un des systèmes superficiels, très

productif et riche en matières organiques (système pélagique) par son exposition permanente à la lumière (photosynthèse), exporte son excès de production par sédimentation vers l'autre système situé en dessous, riche en matières minérales grâce au processus de la minéralisation. Pour qu'un tel système puisse résister à un épuisement total de la productivité, il a besoin d'un facteur dynamique qui favorise une remontée en surface des eaux profondes. C'est le rôle que joue le phénomène d'upwelling. Mais, il serait hasardeux de corrélérer directement une production primaire élevée et pêche abondante, car la nourriture disponible contrôle le stock de poisson probablement seulement lors de la phase larvaire (Jacques & Treguer, 1986).

### Qu'est ce qu'un upwelling côtier?

Un upwelling côtier est un système dynamique qui, sous l'action du vent, crée un flux vertical ascendant à la côte (Fig.3). Il apporte sur le plateau continental des eaux d'origine subsuperficielle. Ce sont les sels nutritifs apportés dans la couche euphotique qui vont permettre de développer et de maintenir une forte production biologique dans la zone côtière (Roy 1991).

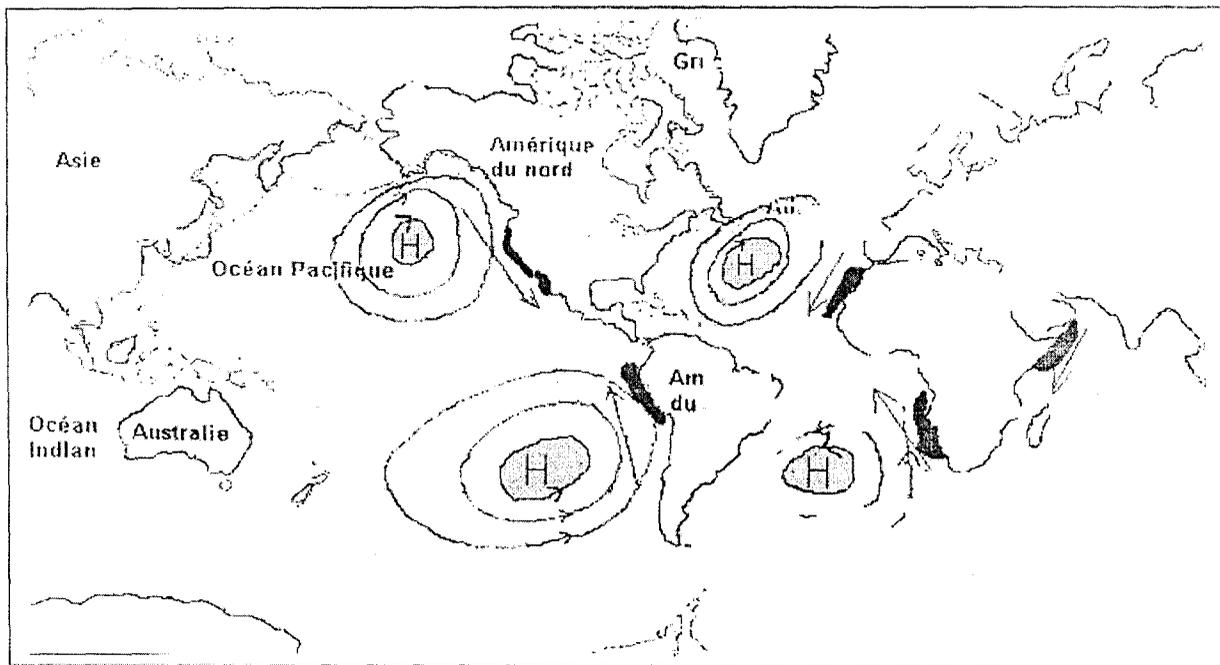


Figure 1 : Les grandes régions d'upwelling côtier et la position des anticyclones.

Ainsi, à partir de la différence de la température mesurée entre la côte et le large, Wooster *et al.* (1976) ont pu localiser les principales zones d'upwelling entre les latitudes 10° et 40°N. Concernant la côte atlantique marocaine comprise dans cette zone par sa situation entre les latitudes 21° et 35°N, l'upwelling est saisonnier au nord de 26°30'N et se manifeste entre le mois de mars et août, au sud jusqu'à la latitude 21°N, il est quasiment permanent avec une forte activité en printemps (Nykjaer & Van Camp 1994, Roy 1991). Cependant, la localisation de ces zones de remontée reste très influencée par la circulation océanique le long de la côte.

marocain, ces courants sont dus essentiellement à deux courants d'air : d'une part, les Alizés dominants particulièrement du nord-est et, d'autre part, les vents périodiques (et surtout en hiver) de direction ouest et sud-ouest dont la force et la durée dépendent du cyclone de l'ouest (Bernikov, 1991).

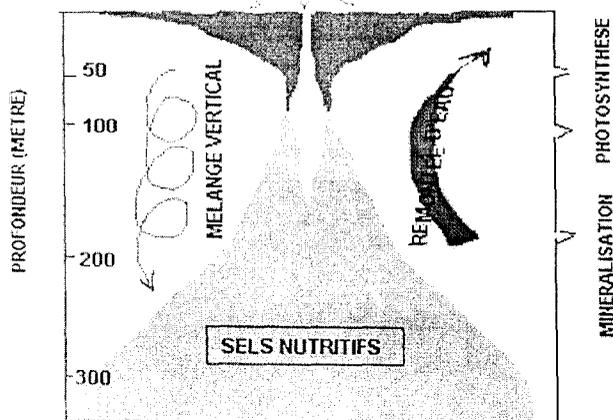


Figure 2. Répartition verticale de la lumière et des sels nutritifs (Jacques et Tréguer, 1986)

### Circulation des eaux marines

La force d'entraînement du vent est principalement à l'origine des courants de surface. Au niveau du littoral

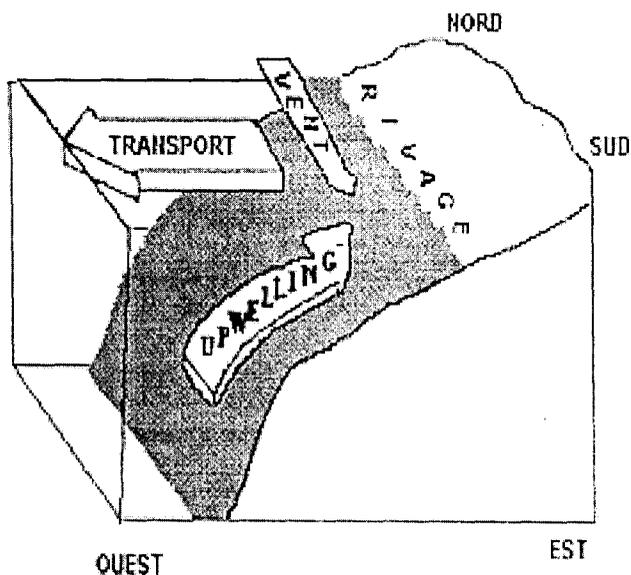


Figure 3. Schéma du processus d'upwelling produit par les vents Alizés dans l'hémisphère nord.

La circulation en surface de la zone nord-ouest africaine est caractérisée essentiellement par 4 systèmes d'écoulement (Mittelstaedt, 1987):

- Les courant côtier sur le plateau continental;
- Le courant de Canaries au nord;
- Le gyre cyclonique entre 15 et 22°N ;
- Le contre courant nord équatorial

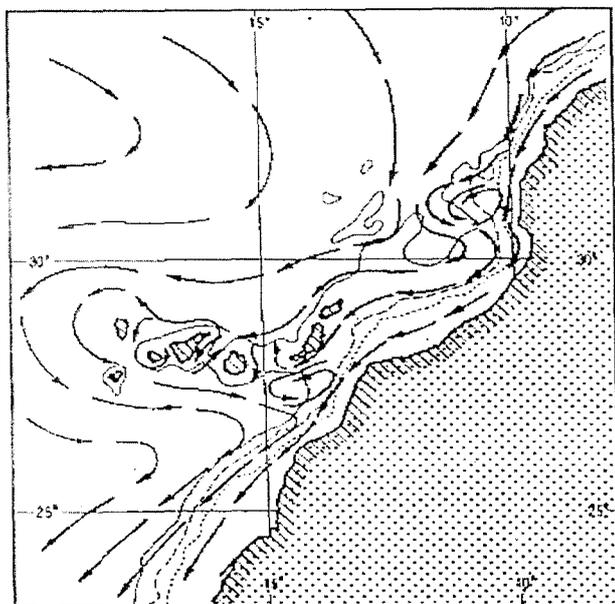


Figure 4. Circulation de surface entre 23°N et 35°N (d'après Mittelstaedt, 1987)

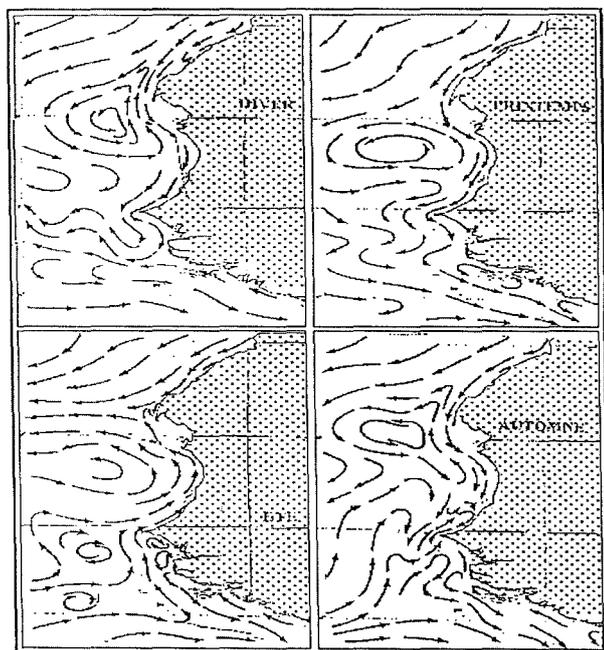


Figure 5. Circulation de surface au sud de 25°N (d'après Mittelstaedt, 1987)

- Au niveau de la côte marocaine, le courant dominant en surface est le courant des Canaries. Il longe les côtes marocaines jusqu'aux environs du Cap Blanc où les eaux ainsi transportées se retrouvent mélangées avec des eaux plus chaudes remontant la côte sénégal-mauritanienne (Fig.4 et 5). La largeur de ce courant peut atteindre 1000 Km et son débit est estimé à 16 millions m<sup>3</sup>/s (Orbi *et al* 1998). Au nord de 30°N, Minas *et al.* (1982) rapportent qu'un courant côtier s'écoule en été vers le nord au niveau du centre d'upwelling.

Pour la circulation subsuperficielle et profonde, Mittelstaedt (1982) a suggéré que la probabilité de trouver un flux subsuperficiel nord, au large du plateau s'amenuise entre

les latitudes 20°N et 25°N. L'enfoncement du courant profond se poursuit au fur et à mesure qu'il se dirige vers le nord: entre 400 à 500 m vers les latitudes 25°N et entre 500 à 1000 m entre les latitudes 30 et 34°N.

## MATERIEL ET METHODES

Dans le cadre de la coopération entre l'institut Russe AtlantNIRO et l'INRH en matière de recherche scientifique, un programme conjoint a été entrepris au niveau de la côte atlantique marocaine depuis janvier 1994 selon le calendrier du tableau 1.

Durant ces campagnes, la prospection océanographique le long de la côte consistait en un réseau de stations réparties en plusieurs radiales perpendiculaires à la côte dont la figure 6 en présente un exemple durant l'été 1995. Les paramètres océanographiques sont collectés et déterminés par les méthodes suivantes:

Tableau I - Calendrier des campagnes de prospections et d'étude.

Dates	Nombre de stations	Nombre de radiales	Zone couverte
Jan - Fé 94	96	23	21-34° N
Fév - Mar 94	113	23	21-32° 30' N
Juillet 94	90	25	21-35° N
Janvier 95	114	26	21-35° N
Juil- Ao 95	90	23	21-34° N
Jan - Fé 96	*	*	*
Juin 96	48	11	21-31° N
Jan - Fé 97	95	24	21-32° 30' N
Juil- Ao 97	94	18	21-34° N
Fév - Mar 98	79	26	21-32° 30' N
Eté 1998	79	26	21-32° 30' N

**Paramètres physiques.** (Température, salinité et densité) : sont collectés à l'aide d'une multisonde (Neil Brown) connectée directement à un ordinateur qui permet à l'opérateur d'enregistrer les données simultanément. Cette multisonde est rattachée à une rosette de 24 bouteilles permettant la collecte des échantillons d'eau.

**Paramètres chimiques** (phosphates et oxygène dissous): les phosphates sont analysés par la méthode spectrophotométrique et l'oxygène dissous par la méthode volumétrique classique de Winkler (Aminot & Chaussepied, 1983).

**Paramètres biologiques** (chlorophylle a et production primaire) :

La chlorophylle "a" est dosée par le biais d'un fluorimètre et la production primaire journalière est déterminée par la méthode du <sup>14</sup>C, avec une incubation simulée *in-situ* de la lumière du jour et ce, durant une demi-journée (O'Reilly et Thomas, 1979).

**RESULTATS ET DISCUSSIONS**

**Variabilité saisonnière de la résurgence**

La résurgence est détectée par l'apparition de taches d'eau froide qui sont souvent plaquées à la côte. Les isothermes forment, à partir du centre de remontée, un panache caractéristique dont l'axe suit la dérive des eaux de surface (Walsh *et al* 1971). Les résultats sont présentés selon les années et les saisons.

**Evolution hivernale**

L'évolution des isothermes superficielles le long de la côte a mis en évidence trois taches d'eaux froides dont deux sont nettement plus fraîches (Fig.7a).

En effet, pendant cette saison, la température a été de l'ordre de 15°C au niveau de deux zones respectivement comprise entre Cap Cantin - Cap Ghir et Cap Boujdor - Dakhla où cette dernière présente un front thermique très marqué au niveau de 26°N.

Au niveau de la troisième tache d'eau froide située entre Cap Draa et Cap Juby et qui n'est pas très visible sur la figure 7a, la température est de l'ordre de 15,5°C. La résurgence dans ces zones a mis en évidence des concentrations importantes de phosphates (0,8 et 0,7 µatg/l) en surface respectivement au niveau de CapCantin et Cap Boujdor. De même, de fortes concentrations qui dépassent 1

µatg/l, ont été enregistrées entre Cap Blanc et Cap Barbas et qui sont dues probablement à l'influence des eaux Centrales Sud Atlantiques (ECSA) connues par leur richesse en matière minérale (Fig. 8a). On remarque une tache froide, moins salée qui apparaît au nord du large de Dakhla (24 ON) pendant l'hiver 1995

Ce résultat persiste en 1997 et s'est manifesté par l'absence de la résurgence au nord (zone 1 et 2) et par la faible activité au sud (Fig. 7c). Les teneurs en phosphates les plus importantes durant cette saison se localisent au niveau de Laâyoune et le nord de Cap Cantin (Fig. 8c), dues respectivement à l'influence du complexes chimiques de Boukraâ et des rejets de Jorf Lasfar et au niveau du Cap. Blanc, ils sont dus aux résurgences et à l'apport des ECSA.

Pendant l'année 1998, les remontées d'eau froide ont été détectées respectivement sur la radiale 31°30 et 28°N avec des températures relativement élevées (respectivement 17 et 17,8°C) (Fig.7d). Par contre, au niveau de la zone située au sud du Cap Boujdor, l'upwelling a connu deux phases pendant le déroulement de la mission :

Une première phase où l'upwelling est actif sur les zones situées au sud de Boujdor et il était de deux types: un upwelling détecté au niveau du talus continental de la zone comprise entre Dakhla et Cap Barbas. Un upwelling côtier situé au niveau de la zone 4.

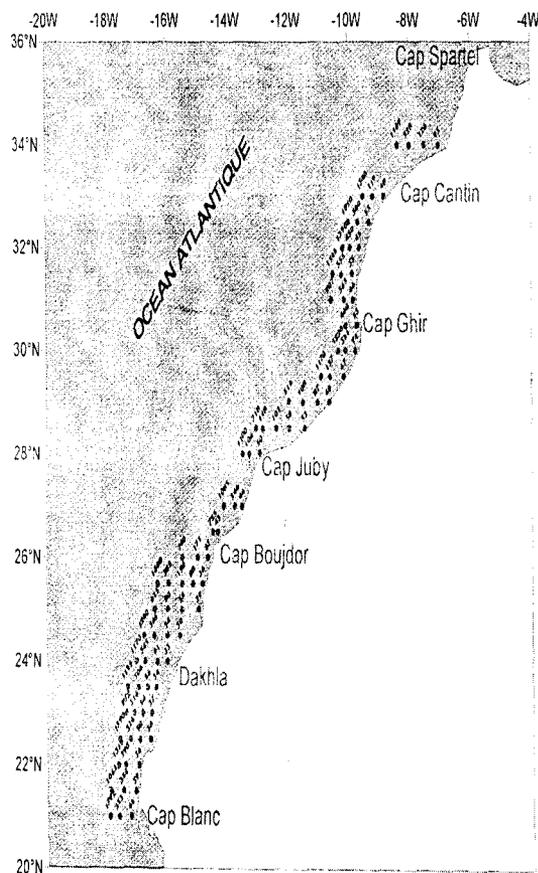


Figure 6. Exemple de réseau des stations océanographiques (été 1995).

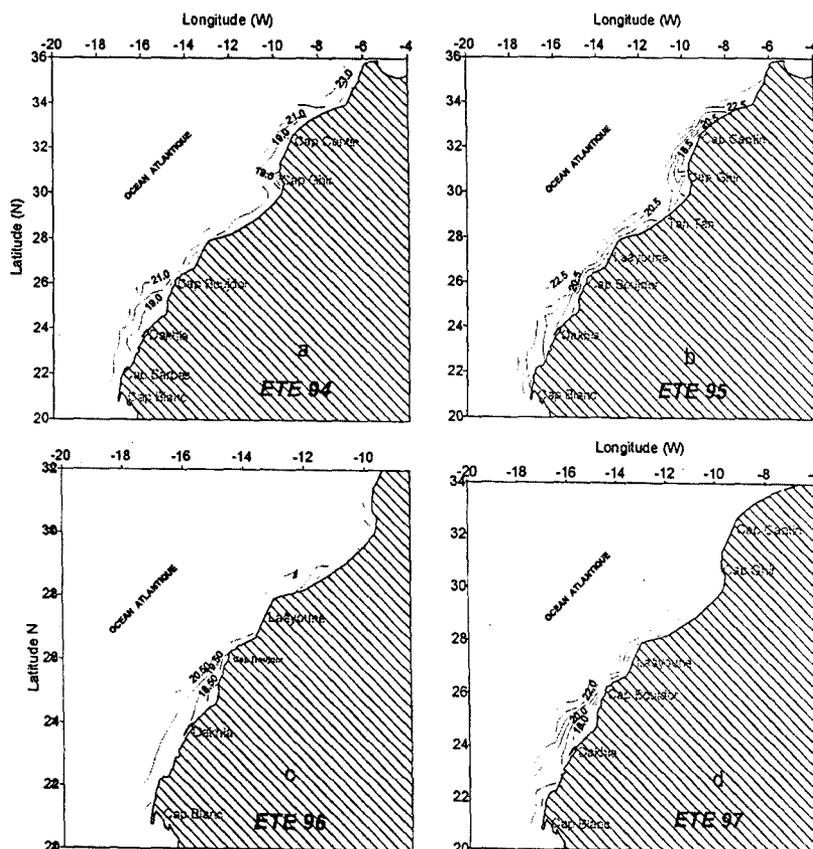


Figure 7. Distribution des isothermes en surface pendant la saison hivernale.

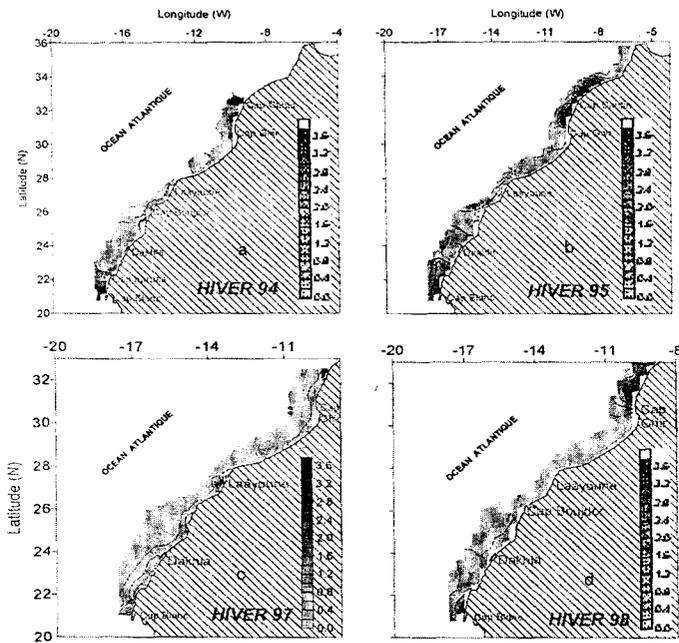


Figure 8. Distribution des phosphates en surface ( $\mu\text{g/l}$ ) pendant la saison hivernale.

Une deuxième phase de relaxation observée au cours de la prospection caractérisée par la disparition des taches d'eau froides aussi bien au large qu'à la côte, réalisée au cours de la prospection (Fig.7d). Les concentrations en phosphates ont connues un épuisement considérable (Fig.8d).

#### Evolution estivale.

Par rapport à la saison d'hiver, cette saison montre une légère augmentation des températures et surtout au niveau des zones de remontée (15,1 °C et 16,6 °C respectivement au Cap Cantin et à la radiale 25°N) (Fig.9a). Cependant, l'apport en phosphates au niveau de la zone 1 coïncide parfaitement avec la zone de remontée. Tandis qu'au niveau des zones 3 (Cap Boujdor - Dakhla) et zone 4 (Cap Barbas et Cap Blanc), où la remontée n'était enregistrée qu'entre Boujdor et Dakhla, les teneurs en phosphate, étaient relativement faibles (Fig.10a).

En 1995, la zone d'El jorf Lasfar montre une concentration en phosphates anormalement élevée jus qu'à atteindre une valeur de 8.44  $\mu\text{g/l}$  (Fig.10b) (cette valeur est par la suite éliminée pour éviter son influence sur la distribution de surface). La zone 4 (Cap Barbas -Cap Blanc) a enregistré q'un gradient thermique côte large (supérieur à 2°C) qui montre une activité assez importante de l'upwelling (Fig.9b).

L'image satellitaire prise pendant la période de la prospection océanographique en été 1996 (Fig. 11) montre une activité assez importante de la résurgence. Cela est confirmée par les températures les plus froides (15.8°C) réalisées au cours de la mission dans la zone 1 au nord de Cap Ghir (31 ON) et elles sont voisines de 17°C au niveau des zones 3 et 4 (Fig.10c). Les grandes teneurs en phosphates se situent au niveau de Cap Boujdor et Cap Barbas sur la radiale 22°N avec un maximum de 0.9  $\mu\text{g/l}$ . (Fig. 10c).

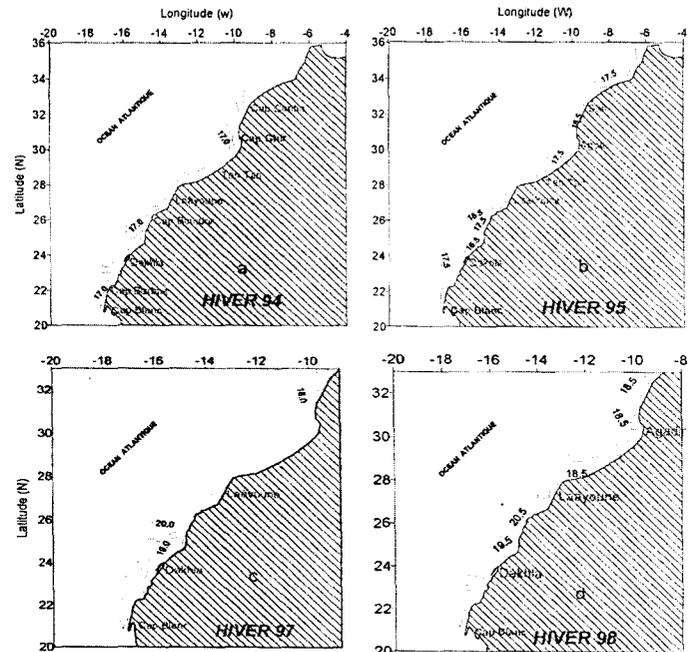


Figure 9. Distribution des isothermes en surface (°C) pendant la saison estivale.

Pendant l'année 1997, on note une augmentation importante de la température sur toute la côte atlantique marocaine (Fig.9d). En ce qui concerne la distribution des concentrations en surface des phosphates, le nord de Safi (à proximité de Jorf Lasfar) enregistre toujours un maximum de l'ordre de 4,5  $\mu\text{g/l}$ . De fortes valeurs sont enregistrées dans la région extrême sud (Cap Blanc) (Fig.10d).

#### Profils verticaux et origine de l'eau de remontée

A leur arrivée en surface, les caractéristiques des eaux dépendent de deux phénomènes : la nature des eaux sources, elles mêmes conditionnées par leur niveau d'origine déterminé par la distribution verticale des paramètres physico-chimiques qui ne seront pas présentées dans ce travail.

Les quatre zones alimentées par la remontée des eaux froides

qui ont été trouvées sont les suivantes (Fig.12) :

- zone 1 comprise entre Cap Cantin et Cap Ghir
- zone 2 comprise entre Cap Draa et Cap July
- zone 3 comprise entre Cap Boujdor et Dakhla
- zone 4 comprise entre Cap Barbas et Cap Blanc

Des anomalies en concentration en phosphates ont été observées au niveau des zones 1 et 3 qui sont dues à l'existence des rejets permanents d'acide phosphorique par de nombreuses usines situées au voisinage de Jorf Lasfar et à l'activité de transit des phosphates au niveau du port de Laâyoune.

#### Zone 1 : Cap Cantin - Cap Ghir

Au niveau de cette zone, le plateau continental a une largeur variant de 15 à 25 mille et tend à s'approfondir de Safi (50 m) jusqu'au Cap Ghir où il atteint 200 m (Bernikov, spatiale du phénomène d'upwelling. Cependant,

la résurgence a eu lieu pendant les deux saisons mais toujours avec une activité importante durant la période estivale se manifestant par un gradient côte-large plus important. En effet, les distributions verticales de la température et des phosphates au niveau de la radiale 31°30N en 1994 et 32°30N en 1995 montrent, l'existence de la résurgence aussi bien en été qu'en hiver où l'origine de l'eau de remontée a une immersion voisine de 200 m et apporte en surface des eaux froides de températures comprises entre 15 et 15,5 °C et riches en phosphates.

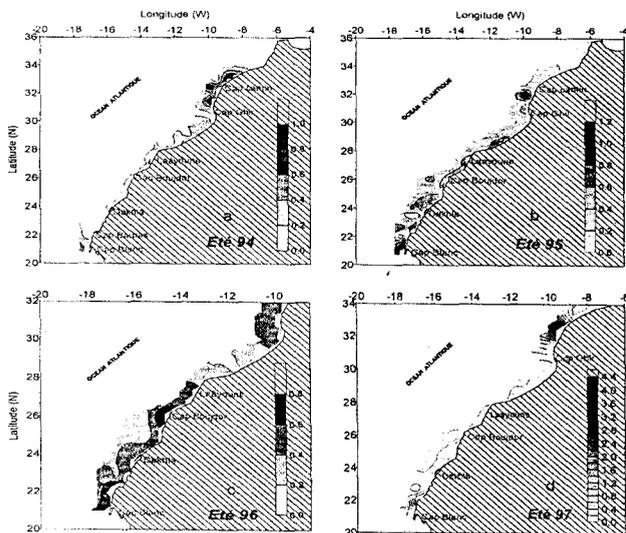


Figure 10. Distribution des phosphates.

### Zone 2 : Cap Draa - Cap Juby

Le plateau continental est plus large, peu profond et sa pente est plus faible que celle de la zone 1. L'orientation de la côte s'infléchit nettement vers l'ouest (Orbi & Nemaoui, 1992). La distribution verticale des paramètres physico-chimiques n'est pas comparable à celle de la zone 1. Au niveau de Cap Draâ, le plateau continental présente une masse d'eau fraîche qui correspond à celle du large à une profondeur qui dépasse les 250 m. Les concentrations des phosphates, piégées au niveau du plateau continental, sont plus importantes que celles de l'origine de la remontée qui ne dépasse même pas 150 m et apporte des températures de l'ordre de 16,1°C (cas 8 de l'été 1995). Et à l'exception de l'été 1997, cette situation est enregistrée surtout durant la période estivale. En comparaison avec les travaux de Le Corre et Treguer (1976), cette richesse en matière minérale est due à une régénération de sels nutritifs par reminéralisation de la matière organique. D'après Grall *et al* 1982 : Pour la résurgence des deux zones 1 et 2, actives seulement durant l'été, une pulsation journalière des alizés a été mise en évidence. Si l'action des vents est suffisante pour assurer, en permanence, la remontée de l'eau profonde sur le plateau continental, l'affleurement de cette eau en surface implique que l'intensité du vent dépasse un certain seuil.

### Zone 3 : Cap Boujdor - Dakhla :

Cette zone a un upwelling plus intense que celui des zones 1 et 2. Cruzado (1972) a montré que les eaux de la remontée atteignent le plateau continental et la surface au niveau de la latitude 25°N. De là, les eaux circulent vers le

sud-ouest et rencontrent les eaux chaudes du large créant ainsi un front thermique au niveau de Cap Boujdor. Durant la période hivernale, la distribution verticale des paramètres physico-chimiques montrent une évolution qui met en évidence une remontée d'eau prenant naissance des profondeurs 250 m au niveau de Cap Boujdor pendant l'hiver 1994 (26°N10).

Depuis l'année 1995, l'activité de la résurgence du Cap Boujdor a connu une régression qui s'est manifestée par une anomalie de température marquée pendant l'hiver 1997 où la température des eaux de remontée s'est élevée à 19°C. Cette situation a été aussi enregistrée pendant la saison d'été qui s'est manifestée par une activité faible en 1996 où l'origine de la remontée n'a pas dépassé l'immersion 150 m. Cela s'est répercuté sur la faiblesse des teneurs en phosphates dans cette zone.

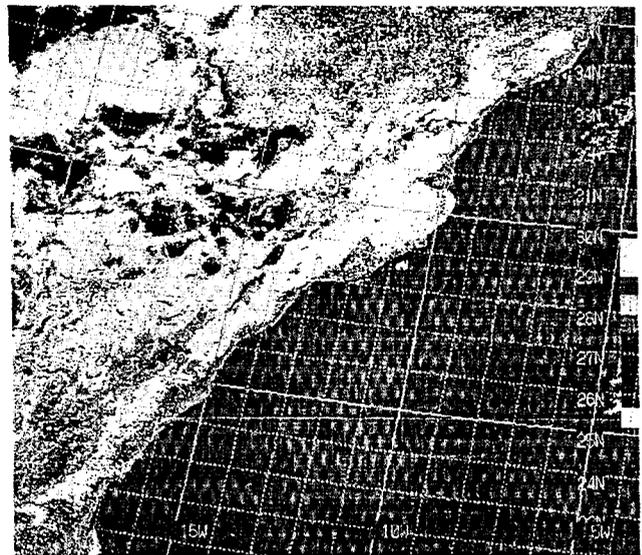


Figure 11. Distribution de la température de surface (SST) d'une image NOAA (06/22/1996) prise à bord du N/R "ATLANTNIRO"

### Zone 4 : Cap Barbas - Cap Blanc

Barton *et al.* (1977) ont décrit l'évolution de la distribution superficielle de la température et ils ont montré que pendant la période des vents intenses, le centre de l'upwelling migre vers le talus continental et y reste jusqu'à la relaxation des vents alizés. De même, Coste et Minas (1982) ont montré que la variation de l'intensité et de la direction des vents permet de définir une succession de périodes de remontée d'eau intense ou modérée (variant de 4 à 9 jours) séparées par des périodes sans remontée d'eau (de 2 à 5 jours) auxquelles correspondent des situations hydrologiques et des distributions de sels nutritifs caractéristiques. Pendant la période de notre étude, il n'a pas été enregistré d'activité de la résurgence aussi importante que celle des années 1970. Pendant l'hiver des années 1994 et 1995, l'origine de la remontée a une immersion qui ne dépasse pas 75m. Cependant, la richesse en phosphates qui dépasse 1,5µatg/l est loin d'être causée uniquement par la résurgence. En effet, Coste et Minas (1982) ont conclu qu'au niveau de cette zone, la plus grande partie de l'assimilation des sels nutritifs a certainement lieu au cours de la dérive de ces eaux de remontée vers un secteur situé au large et plus au sud.

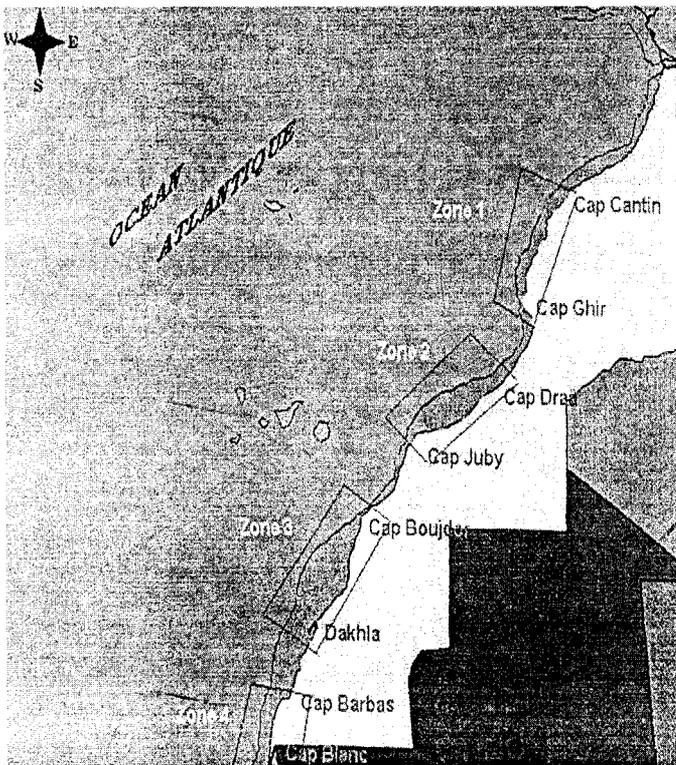


Figure 12. Situation des zones d'upwelling et délimitation du plateau continental.

l'apport des ECSN (riche en sels nutritifs) assuré par le contre courant du sud.

### Evolution des paramètres biologique.

Le phytoplancton représente une partie non négligeable de la flore algale et son étude s'avère nécessaire pour une bonne compréhension du fonctionnement des écosystèmes marins. D'où l'intérêt de sa quantification par la mesure de la chlorophylle 'a' de surface.

#### Evolution de la chlorophylle 'a' de surface

##### Hiver

En 1994, les fortes concentrations de surface sont observées pratiquement le long de la côte atlantique marocaine où elle est comprise entre 1 et 5 mg/m<sup>3</sup> (Fig.14). Au niveau de Dakhla on note une richesse aussi bien au niveau de la côte qu'au large (3 mg/m<sup>3</sup>).

En 1995, la concentration observée entre Cap Blanc et Cap Barbas en 1994, est cette fois-ci plus étendue ayant sa limite supérieure plus vers le nord. D'un point de vue étendue spatiale, la région entre Dakhla et Cap Boujdor est considérée la plus grande de cette année, avec une valeur maximale au niveau de Cap Boujdor dépassant 4mg/m<sup>3</sup>.

En 1997, la richesse chlorophyllienne a sa limite supérieure située à partir du nord de Dakhla où elle atteint son maximum de 5 mg/m<sup>3</sup>. Par contre, faible teneur en chlorophylle sont enregistrées au niveau du Cap Boujdor de l'ordre de 0,5 mg/m<sup>3</sup>, et également au niveau de cap Ghir où elle ne dépasse guère 1 mg/m<sup>3</sup>. Quant à l'hiver 1998, le maximum observé se trouve au niveau de Cap Barbas et cap Blanc (supérieur à 7 mg/m<sup>3</sup>).

##### Eté

De manière générale, les taux en chlorophylle pendant la saison chaude sont plus élevés que celle de la saison froide (Fig.15), et l'évolution générale de la biomasse phytoplantonique est assez comparable de 1994 à 1998 pendant les saisons d'été. Ainsi la distribution spatiale de la richesse chlorophyllienne est plus étendue le long du plateau continental par rapport à la saison d'hiver.

#### Evolution de la production primaire

##### Hiver

La zone nord (zones 1 et 2) est nettement moins productive que la zone sud (zone 3 et 4). Comme le montre de la figure 14 à 15, les teneurs de la production primaire ne dépassent pas souvent 1 gC/m<sup>2</sup>/jour. Cela est dû à la faible activité de l'upwelling pendant cette saison à l'exception de l'année 1994. L'activité de la production primaire est plus importante au sud de cap Boujdor qu'au nord de celui-ci.

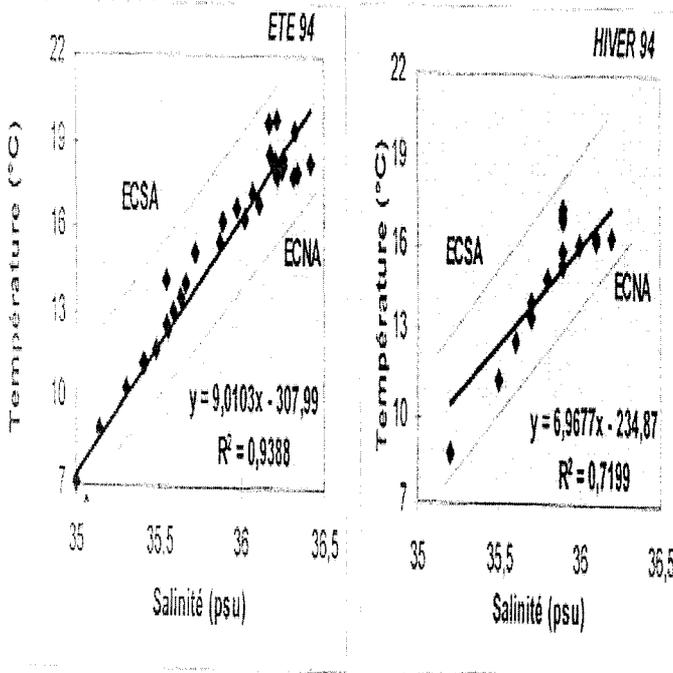


Figure 13 : Diagramme T-S de la radiale 21°N.

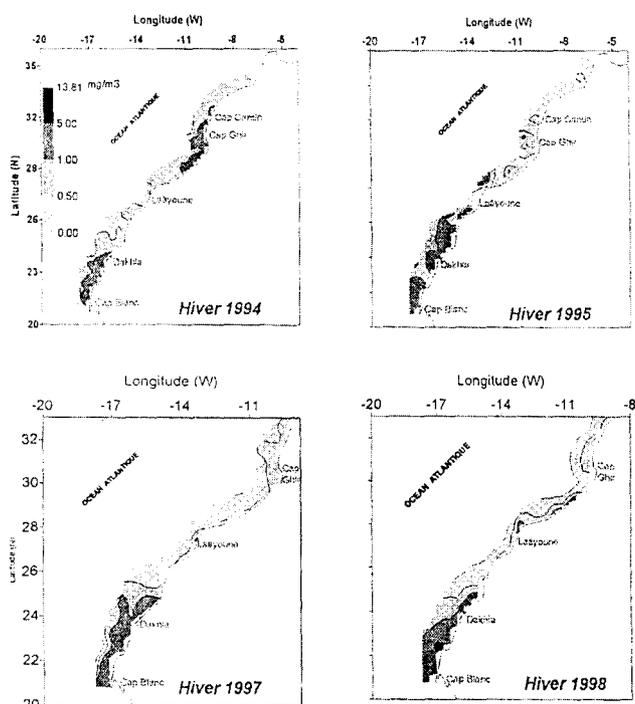


Figure 14. Distribution hivernale de la chlorophylle a de surface en  $mg/m^3$

Les maximums de la productivité se localisent légèrement au sud des centres actifs de la remontée et coïncident rarement. Par contre, la haute production rencontrée au niveau de la zone 4 est une conséquence, d'une part, de l'activité de la remontée, et d'autre part de l'apport des ECSA (Tableau n°II).

Tableau II- Moyenne de la production primaire en  $g/Cm^2/jour$  durant les saisons d'hiver

Zone	hiver 94	hiver 95	hiver 97	hiver 98	Moy. zonale
1. C.Cantin.C.Ghir	0,76	0,73	0,53	0,61	0,66
2. C Draâ-CJuby	1,18	0,93	0,47	1,00	0,90
3. C Bojdor-Dakhla	1,75	1,67	1,42	1,44	1,57
4. C Barbas-Blanc	1,52	1,77	2,66	2,35	2,08
<b>Bilan Total</b>	<b>5,21</b>	<b>5,11</b>	<b>5,08</b>	<b>5,41</b>	

#### Eté

Pendant la saison d'été et à la différence de la saison d'hiver, la richesse en production primaire s'étale sur toute la côte atlantique marocaine. En effet, les maximums apparaissent aussi bien au nord (zone 1 et 2) qu'au sud et peuvent dépasser  $6 gC/m^2/jour$  (cas de l'année 1998 au niveau du Cap Ghir). Ceci est une conséquence de l'activité d'upwelling le long de toute la côte atlantique pendant cette saison. Il est à signaler que les maximums enregistrés en saison d'été sont plus importants que ceux en saison

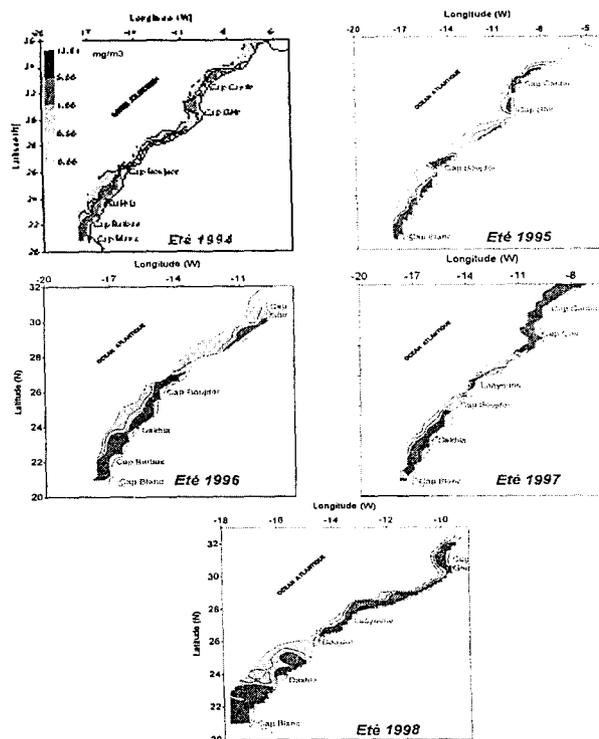


Figure 15. Distribution estivale de la chlorophylle a de surface en  $mg/m^3$

hivernale du fait que le bloom phytoplanctonique démarre en printemps et atteint son maximum pendant l'été. Les teneurs en chlorophylle enregistrées au niveau du Cap Boujdor sont de l'ordre de  $0,5 mg/m^3$  et également au niveau de Cap Ghir où elles ne dépassent guère  $1 mg/m^3$ . Quant à l'hiver 1998, le maximum observé se trouve au niveau de Cap Barbas et cap Blanc (supérieur à  $7 mg/m^3$ ) (tableau III).

Tableau III- Moyenne de la production primaire en  $g/Cm^2/jour$  durant les saisons d'été

Zone	Eté 94	Eté 95	Eté 96	Eté 97	Eté 98	Moy. zonale
1 C. Cantin-C.Ghir	1,72	1,49	1,22	2,69	2,57	1,94
2. C Draâ-C Juby	1,83	0,86	0,59	1,70	1,54	1,30
3. C Bdor-Dakhla	2,14	1,19	2,54	1,85	2,51	2,05
4. C Barbas-Blanc	3,02	2,17	3,24	1,45	2,61	2,50
<b>Bilan Total</b>	<b>8,70</b>	<b>5,71</b>	<b>7,59</b>	<b>7,69</b>	<b>9,23</b>	

D'une manière générale, les taux en chlorophylle pendant la saison chaude sont plus élevés que ceux de la saison froide (Fig.15), et l'évolution générale de la biomasse phytoplanctonique est assez comparable de 1994 à 1998 pendant les saisons d'été (tableau n°IV). Ainsi la distribution spatiale de la richesse chlorophyllienne est plus étendue le long du plateau continental par rapport à la saison d'hiver.

Tableau n°IV. Bilan annuel de la production primaire gC/m<sup>2</sup>/an

	1994	1995	1996	1997	1998
Bilan annuel	2538,58	1973,81	2771,20	2329,91	2671,08

**CONCLUSION**

Sur la base des données collectées durant la période 1994 - 1998 il nous a été possible, non seulement de localiser les différentes zones alimentées par la résurgence côtière au niveau de la côte atlantique marocaine, mais aussi de déterminer leurs caractéristiques principales:

Zone 1 (Cap Cantin-Cap Ghir) et Zone 2 (Cap Draa-Cap Juby) :

L'activité de la résurgence est plus importante en été qu'en hiver. Les immersions de l'origine de la remontée sont respectivement 200 et 75 m. Les eaux profondes atteignent la surface seulement au niveau de la zone 1. Ce qui nous a poussé à penser à un type de remontée présenté par un modèle simple à une cellule (Fig.16a, Anonyme, 1975). Au niveau de la zone 2, l'existence des différentes couches d'eau au niveau du plateau continental (cas de l'hiver 1994) peut être expliquée par le schémas d'un modèle de remontée à deux cellules (Fig.16b, Anonyme, 1975).

Pendant la saison d'hiver, l'activité de la résurgence de ces deux zones a connu une régression significative après les années 1994 et 1995 qui s'est répercuté bien évidemment sur la richesse chlorophyllienne qui s'est manifesté plus en saison chaude surtout pendant les années 1996, 1997 et 1998. Il est à noter par ailleurs que le maximum enregistré durant la période d'étude est celui de Cap Draa (23 mg/m<sup>3</sup>) en saison chaude coïncidant avec l'existence des poches de régénération en éléments nutritifs. Le caractère saisonnier de l'activité de résurgence a influé également la production primaire où elle est plus importante en saison chaude que froide.

Zone 3 (Cap Boujdor-Dakhla)

Depuis l'automne 1995 jusqu'à l'hiver 1998 une anomalie de température a marqué cette zone qui se caractérise par l'existence de deux types de remontée : une remontée côtière localisée au niveau du Cap Boujdor et une remontée située à la limite du talus continental de part et d'autre de Dakhla.

L'origine de la remontée la plus profonde était de l'ordre de 250 m enregistrée au niveau de Cap Boujdor, pendant l'hiver 1994. Ce qui montre la force et la variabilité de la résurgence de cette zone par rapport aux deux premières zones.

Ce type de remontée se répercute sur le taux de concentration des organismes chlorophylliens, qui a connu des valeurs importantes aussi bien en saison estivale qu'hivernale. Cette richesse concerne en particulier la région de Dakhla, avec deux zones de richesse, l'une située au large et l'autre à la côte (1994, 1996 et 1997).

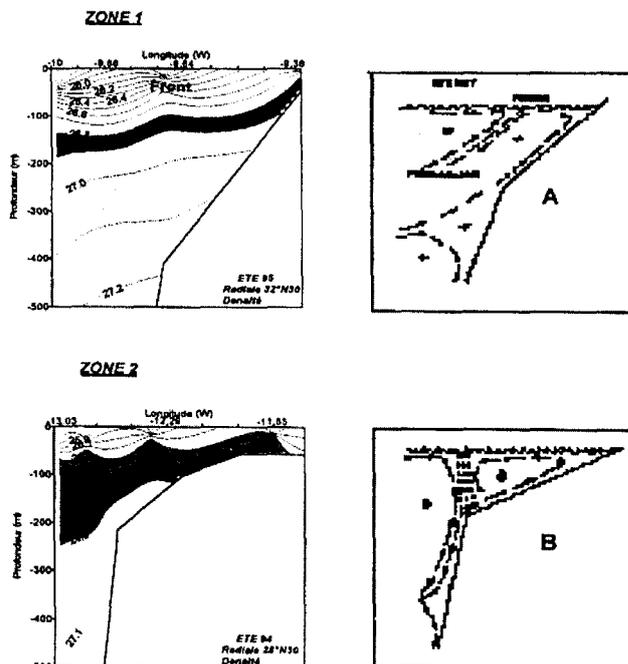


Figure 16. Modèles types d'upwelling côtier appliqué au niveau des zones 1 et 2 (Anonyme, 1975)

Ainsi, la côte atlantique marocaine, peut être assimilée à un modèle où la théorie de la triade de Bakun (Bakun & Orbi, 1996) peut être applicable (Fig.17):

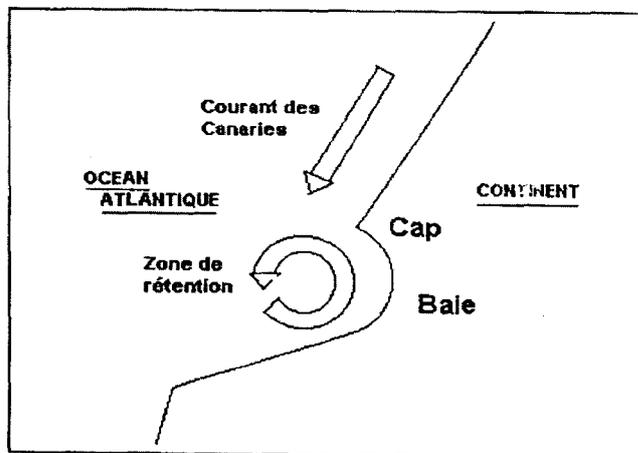


Figure 17-Modèle théorique de la triade de Bakun appliqué à la côte atlantique marocaine (Bakun et Orbi, 1996).

La zone 1 est une zone où le processus d'enrichissement est très actif. La zone 2 caractérisée par la rétention et la stabilité de la colonne d'eau, bénéficie de la richesse de la première zone.

Aussi la zone sud de la zone 3 (25°N), caractérisée par un plateau large et peu profond est enrichie par l'upwelling du Cap Boujdor.

Zone 4 : C'est la zone la plus perturbée de la côte. Elle est influencée, d'une part, par l'apport des ECSA, très marqué en hiver par la richesse en phosphates et, d'autre part, par l'existence quasi permanente de la résurgence. Cette zone est suffisamment située au sud pour pouvoir bénéficier de l'apport des ECSA, assuré par le sous courant orienté vers le nord et longeant le talus continental. C'est pour cela que

cette zone se manifeste par une hétérogénéité de la colonne d'eau. Elle est caractérisée également par des concentrations très élevées en pigments chlorophylliens et en production primaire, où le maximum est atteint au cours de l'année 1998 en saison hivernale, ce qui lui confère le privilège d'être la zone la plus productive.

Toutefois, La résurgence côtière marocaine dépend énormément de la situation météorologique. En effet, le

climat au Maroc connaît beaucoup de variations au cours de l'année qui se répercute sur l'intensité et la direction des vents alizés. Ainsi une variabilité éolienne au cours de l'année a probablement une grande influence sur la régénération de la matière minérale au niveau de la résurgence surtout des deux zones 1 et 2 puisqu'elles sont alimentées par les ECNAS relativement pauvres en sels nutritifs par rapport aux ECSA.

## Références

- Anonyme, 1975. Modèles types d'upwellings côtiers, SCOR WORKING, Groupe 36.
- Aminot A. et Chaussepied, 1983. *Manuel des Analyses Chimiques en Milieu Marin*, 19p.
- Bakun A. et A. Orbi, 1996. *New concepts for understanding variability in small pelagic fisheries*. Atelier sur les ressources pélagiques côtières de l'upwelling du nord-ouest africain: suivi et prédiction, Casablanca, 15-17 avril 1996.
- Barton E.D., A. Huyer et R.L., Smith, 1977. Temporal variation observed in the hydrographic regime near Gabo Corveiro in the Northwest African upwelling region, February to April 1974. *Deep-sea Res.*, 24 :7-23.
- Berkaloff A., J. Bouguet, P. N. Favard et J.-C. Lacroix. Biologie et physiologie cellulaire, Chloroplastes, peroxydase, Division cellulaire, Tome III, 181p.
- Bernikov R., 1991. Synthèse des travaux de recherches océanographiques réalisés le long de la côte atlantique marocaine par l'Atlantniro" p24.
- Cruzado A., 1972. Coastal upwelling between cap Bojador and point Dunford. *Téthys* 16:133-142
- Cruzado A., 1975. Is wind stress the main driving force of coastal upwelling ? Comm. N°12, Third Int. Symp. Upwelling Ecosystem, Kiel, 25 - 28 August 1975.
- Coste B., H.J. Minas, M. Minas, Y. Collos et Slawyk G., 1975. *Oxygen and ammonia distribution in the upwelling area off Cape Blanc* (Results from the CINECA-Charcot Vessel cruise). Comm. no11, thirteenth int. Symp. Upwelling Ecosystems, Kiel, 25-28 August 1975.
- Coste B. & H.J. Minas, 1982. Analyse des facteurs régissant la distribution des sels nutritifs dans la zone de remontée d'eau des côtes mauritaniennes. *Oceanol. Acta*. 1982.5.3.315-324.
- Friederich G.E. & L.A. Codispoti, 1979. On some factors influencing dissolved silicon distribution over the North-West african shelf. *J. mar. Res.*, 37 :337-353.
- Furnestin J., 1959. Hydrologie du Maroc atlantique. *Rev. Trav. Inst. Pêches Mar.*, 23 : 5 - 78
- Groupes Medipro, 1974 b Résultats de la campagne CINECA 5-J -Charcot II (15mars - 29 avril 1971). Pibl. CNEXO, ser. Res. Camp. Mer, 7 :138pp
- Grall J.R., P. Lecorre et P. Tréguer, 1982. Short-term variability of primary production in coastal upwelling off Morocco. *Rapp. P.V. Réun. Cons. int. Explor. Mer*, 221-227. 1982. Volume 180.
- Jacques G. et Tréguer P., 1986. Ecosystèmes pélagiques marins, Collection d'écologie 19, ed. Masson.
- Lecorre 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 Golf de Gascogne et des upwellings côtiers de l'Afrique du Nord-Ouest. Thèse Doct. Etat, Univ. Brest, 490p.
- Minas H.J., Minas M. and Coste B., 1978. Rôle de l'oxygène dans le système production-régénération des résurgences côtières NW-africaine. Pap. no69. Symposium on the canary current: Upwelling and Living Resources, Las Palmas.
- Minas H.J., L.A. Codispoti and R.C. Dugdale, 1982. Nutrient and primary production in the upwelling region off Northwest Africa. *Rapp. P.-v. Reun. cons. int. Explor. Mer*, 180: 148-183.
- Mittelstaedt E., 1987. The Surface Water off Northwest Africa "A description of The Regional Oceanography". Final report on the author's work during his stay at the Joint Research Centre (ISPRA) as visiting scientist.
- Nykjaer L. and L. Van Camp, 1994. Interannual variabilities of upwelling indices along the Northwest African coast. *Géobios*, Marisy 1992, pp. 175-179.
- Orbi A. & M. Nemmoqui 1992. Fluctuations des vents et variabilité de l'upwelling le long de la côte atlantique marocaine. *Trav. & Doc. N° 75, Inst. Scie. Pêc. Mart.*
- Orbi A., S. Zizah, J. Larissi, A. Makaoqui et K. Hilmi 1998. Principales caractéristiques de la côte atlantique marocaine. *Travaux & Documents en cours de l'INRH*.
- O'Reilly J.- A. and Thomas J.- P, 1979. A Manual for the Measurement of Total Daily Primary Productivity on MARMAP and OCEAN PULSE Cruises using <sup>14</sup>C Simulated in situ Sunlight Incubation. *Ocean Pulse Technical Manual No.1 Report No. SHL 79-06* (February 1979), 104p
- Ramade F., 1984 *Eléments d'écologie, écologie fondamentale*. Ed. MacGraw Hill. 396p
- Roy C., 1991. Les upwellings : le cadre physique des pêcheries côtières ouest-Africaines. *Pêcheries ouest-Africaines*. Ed. ORSTOM, p38-66
- Smith SL, 1984. Biological indications of active upwelling in the northwestern indian ocean in 1964 and 1979 and a comparison with peru and northwest Africa. In *marine science of the NW Indian Ocean and adjacent waters*. *Deep-sea Res.* 31, 951-967.
- Walsh J.J., J.C. Kelley, R.C. Dugdale & B.W. Frost, 1971 Gross features of the peruvian upwelling system with special reference to possible diel variation. *Inv. Pes.*, 35.