

## Le plancton (phytoplancton, zooplancton et ichtyoplancton) de la côte atlantique sud marocaine (Cap Boujdor-Cap Blanc)

*The plankton (phytoplankton, zooplankton and ichthyoplankton) in the south moroccan atlantic coast (Cape Boujdor-Cape Blanc)*

Laila SOMOUE<sup>1\*</sup>, Amina Berraho<sup>1</sup>, Omar ETTAHIRI<sup>1</sup>, Najat ELKHIATI<sup>3</sup>,  
Mohammed RAMDANI<sup>4</sup>, Jamila LARISSI<sup>1</sup>, Ahmed MAKAOUI<sup>1</sup> & Hoai Tang LAM<sup>2</sup>

1. Institut National de Recherche Halieutique, Boulevard Sidi Abderrahmane, 20030, Casablanca, Maroc. \*(s\_laila2005@yahoo.fr)
2. Université Montpellier II, Lab. Ecosystèmes lagunaires, CNRS-UMII 5119, Place E. Bataillon, 34095 Montpellier France.
3. Faculté des Sciences Ain Chock, Département de Biologie, Km 8, Route d'El Jadida, BP 5366, Casablanca, Maroc.
4. Institut Scientifique, DZEA, Avenue Ibn Batouta, BP 703, Rabat CP 10106, Maroc.

**Résumé.** Dans les écosystèmes marins, influencés par les mouvements dynamiques des masses d'eau, notamment les upwellings, les interactions entre les paramètres hydrologiques et biologiques sont d'une grande utilité pour les études de leur fonctionnement. La région sud de la côte Atlantique marocaine, comprise entre Cap Blanc (21°N) et Cap Boujdor (26°30'N), fait partie de ces écosystèmes. Elle est le siège d'un upwelling permanent. Deux campagnes océanographiques ont été réalisées dans cette zone à bord du navire de recherche russe AtlantNiro en mars et juillet de l'année 1998. Les répartitions des peuplements phytoplanctoniques et zooplanctoniques ont révélé une variabilité spatio-temporelle. Celle-ci est corrélée à la variabilité des paramètres hydrologiques. Les traitements statistiques multivariés ont confirmé l'influence de l'upwelling sur les peuplements planctoniques. Ainsi, les teneurs élevées en phosphates et les températures froides ont favorisé la croissance et le développement des communautés planctoniques. Par conséquent, ces dernières, sont faiblement diversifiées. De plus, les aires de fortes productivités biologiques coïncident avec les aires de fortes concentrations de l'ichtyoplancton (oeufs et larves de poissons) surtout des petits pélagiques (sardine, sardinelles, anchois et maquereau).

**Mots-clés:** Atlantique Sud marocain, Phytoplancton, Zooplancton, Œufs et larves de poissons pélagiques.

**Abstract.** In pelagic ecosystems influenced by the upwelling, interactions between hydrological and biological components are complex. The south Moroccan Atlantic coast, between Cape Blanc (21°N) and Cape Boujdor (26° 30'N) is considered a permanent upwelling area. Two cruises were carried out in this area aboard the Russian research AtlantNiro in late winter (March) and summer (July) of 1998. Study structure and abundance of phytoplankton and zooplankton revealed space-time fluctuations related to the hydrological parameters influenced by upwelling currents. A synthetic review of the results obtained from the multivariate analysis confirmed the influence of the upwelling on composition, structure and abundance of the phytoplankton and the zooplankton. A strong upwelling with high levels of phosphate and cold temperatures favors the development of plankton in terms of abundance. However, in terms of diversity, is inversely strong upwelling on the structure of plankton communities. Such areas of high productivity coincide with plankton densities eggs and larvae of the main pelagic fishes (sardine, sardinella, anchovy and mackerel).

**Keywords:** South Moroccan Atlantic, Phtoplankton, Zooplankton, Eggs and larvae of pelagic fishes.

### Abridged English version

The primary productivity and the Copepod species diversity of the Eastern Atlantic Boundary Upwelling Ecosystems, between Cape Blanc (21°N) and Cape Boujdor (26°30'N), are studied and compared with the aim of better understanding their functioning through winter and summer periods. Quantitative approach is used in which only the dominant species are considered. Radial and stations are compared in regard to their species composition and dominant species richness. The data are interpreted, focusing on latitudinal, zonal and depth gradients of diversity. This analysis of the Moroccan Atlantic pelagic ecosystems and their sub-divisions does not provide support for the expected wasp-waist food web structure and functioning, with a single or several species of small pelagic fish primarily channeling the energy flow from lower to higher. Results show more primary productivity in southern part of the studied area than in the northern part.

In boundary upwelling ecosystems, interactions between hydrological and biological components are complex. The south Moroccan Atlantic coast, is considered a permanent

upwelling area and highly productive in chlorophyll. Two cruises were carried out in this area aboard the Russian research AtlantNiro in late winter (March) and summer (July) of 1998. Study structure and abundance of phytoplankton and zooplankton revealed space-time fluctuations related to the hydrological parameters influenced by the permanent upwelling currents.

Algae assemblage is dominated by *Chaetoceros sp*, *Thalassiosira sp*, *Leptocylindrus danicus* *Leptocylindrus minimus* *Protoperidinium sp*, *Pseudonitzschia seriata*, and *Gymnodinium sp*. These taxa are characteristics of cold waters.

Strong upwelling promotes the development of different phytoplankton and zooplankton compartments, expressed by species richness and abundance. However, in terms of distribution of taxonomic abundances, strong upwelling is inversely on the structure of plankton communities. Copepod community which constitutes the dominant fraction of the total zooplankton (87% in winter and 74% in summer) is stable with a diversified and balanced distribution of abundances between populations in winter.

During summer, this community becomes relatively more disturbed, less diverse in species and less structured. *Calanus helgolandicus*, *Paracalanus parvus*, *Acartia clausi* and *Corycaeus typicus* dominate almost zooplanktonic populations. This result is related to the strong intensity of upwelling in summer, allowing plankton blooms in favor of some populations, which explains the low diversity indices during the warm season. In the north Atlantic Moroccan coasts, where the activity is seasonal upwelling, Chiahou & Ramdani (1996) cited a low diversity in the hot season in relation to the important activity resurgence. The distribution of ichthyoplankton depends on the phytoplankton and zooplankton, given their diet of plankton. Indeed, small pelagic fishes are characteristic resource of upwelling ecosystems and prefer water enriched in plankton.

In winter period, the projected densities of eggs in the diagram phytoplankton / zooplankton shows that the spawning of sardine, anchovy and mackerel is concentrated in areas of low chlorophyll and varying densities of

zooplankton (1 – 140 ind. m<sup>-3</sup>). During summer period, eggs of sardine and mackerel are observed in areas of low abundance of chlorophyll and zooplankton. Spawning anchovy is absent in this period. By lying against sardinella is restricted to limited ranges of chlorophyll a and zooplankton in winter unlike the summer when spawning sardinella is intense and linked to a wide range of chlorophyll.

A synthetic review of the results obtained from the PCA from the hydrological and biological data relating to winter and summer periods confirmed the influence of the upwelling on composition, structure and abundance of the phytoplankton and the zooplankton. A strong upwelling with high levels of phosphate and cold temperatures favor the development of plankton in terms of abundance. However, in terms of diversity, is inversely strong upwelling on the structure of plankton communities. Such area of high productivity coincide with plankton densities eggs and larvae of the main pelagic fishes (sardine, sardinella, anchovy and mackerel).

## INTRODUCTION

La côte nord-ouest africaine compte parmi les écosystèmes pélagiques où la production halieutique est très élevée (Berraho 2007). Celle ci est liée aux courants ascendants permanents (upwelling) qui sont à l'origine de l'enrichissement de la zone en éléments nutritifs (Makaoui *et al.* 2005). Ces ressources favorisent la croissance des peuplements phytoplanctoniques. Par conséquent, cette zone est caractérisée par d'importantes ressources halieutiques.

La production des petits pélagiques côtiers (sardines, sardinelles, anchois et maquereau) représentent 80% des ressources halieutiques marocaines. Toutefois, la variabilité de ces ressources à différentes échelles spatio-temporelles, engendre des conséquences d'ordres économique et social. Les récentes investigations ont confirmé les interrelations qui existent entre les différentes composantes de la chaîne trophique pélagique (peuplements phyto- et zooplanctoniques, œufs et larves de poissons ainsi que les adultes). Par conséquent, il est impératif de prendre en considération la phase planctonique des petits pélagiques (œufs et larves) en relation avec les paramètres environnementaux afin d'aboutir, au sein des pêcheries, à des plans d'aménagements adéquats: le succès ou l'échec du recrutement des poissons pélagiques est largement conditionné par la phase planctonique de leurs cycles de vie.

## MATERIEL ET METHODES

La zone d'étude s'étend entre Cap Blanc (21°N) et Cap Boujdor (26°30'N). Les prélèvements hydrologiques et planctoniques ont été réalisés en deux périodes: fin de la période hivernale (du 06 au 23 mars) et en période estivale (du 08 au 26 juillet) de l'année 1998. Ils ont été réalisés à bord du navire de recherche russe AtlantNiro. Le réseau d'échantillonnage est composé de 43 stations réparties sur 12 radiales (Fig. 1).

## Paramètres hydrologiques

Les paramètres hydrologiques ont été analysés à partir de l'utilisation d'une multisonde de type Neil Brown, couplée à une rosette de 24 bouteilles. La température et la salinité sont mesurées par une CTD. L'oxygène dissous est mesuré par la méthode volumétrique de Winkler. Le dosage des phosphates a été obtenu par l'utilisation de la technique spectrophotométrique décrite par Aminot et Chaussepier (1983). La chlorophylle a a été dosée par la méthode fluorimétrique.

## Peuplements phyto- et zooplanctoniques

Les échantillons d'eau pour l'étude du phytoplancton ont été prélevés à l'aide des bouteilles Neskings qui sont disposées en rosette autour de la CTD. Vingt et un stations ont été échantillonnées à trois niveaux de profondeurs (surface, 10 et 25 m de profondeur). Le zooplancton et l'ichtyoplancton ont été collectés à l'aide d'un filet Bongo (20 cm de diamètre) à deux filets différenciés par des vides de mailles respectifs de 168µm et de 417µm. Le volume d'eau filtré a été mesuré par un débitmètre.

Le dénombrement du phytoplancton, exprimé en cellules. l<sup>-1</sup>, est réalisé par la méthode d'Utermohl (1958). La méthode de Bourdillon (1963) est la technique usitée pour les peuplements zooplanctoniques dont les abondances sont exprimées en individus.m<sup>-3</sup>.

L'étude de l'ichtyoplancton concerne l'identification et le comptage des œufs et des larves des principales espèces pélagiques suivantes : la sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum 1792) ; les sardinelles *Sardinella aurita* (Valenciennes 1847) et *S. maderensis* (Lowe 1828), l'anchois *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus 1758) et le maquereau *Scomber japonicus* (Houttuyn 1780). Leurs densités sont exprimées en nombre d'individus.10m<sup>-2</sup>.

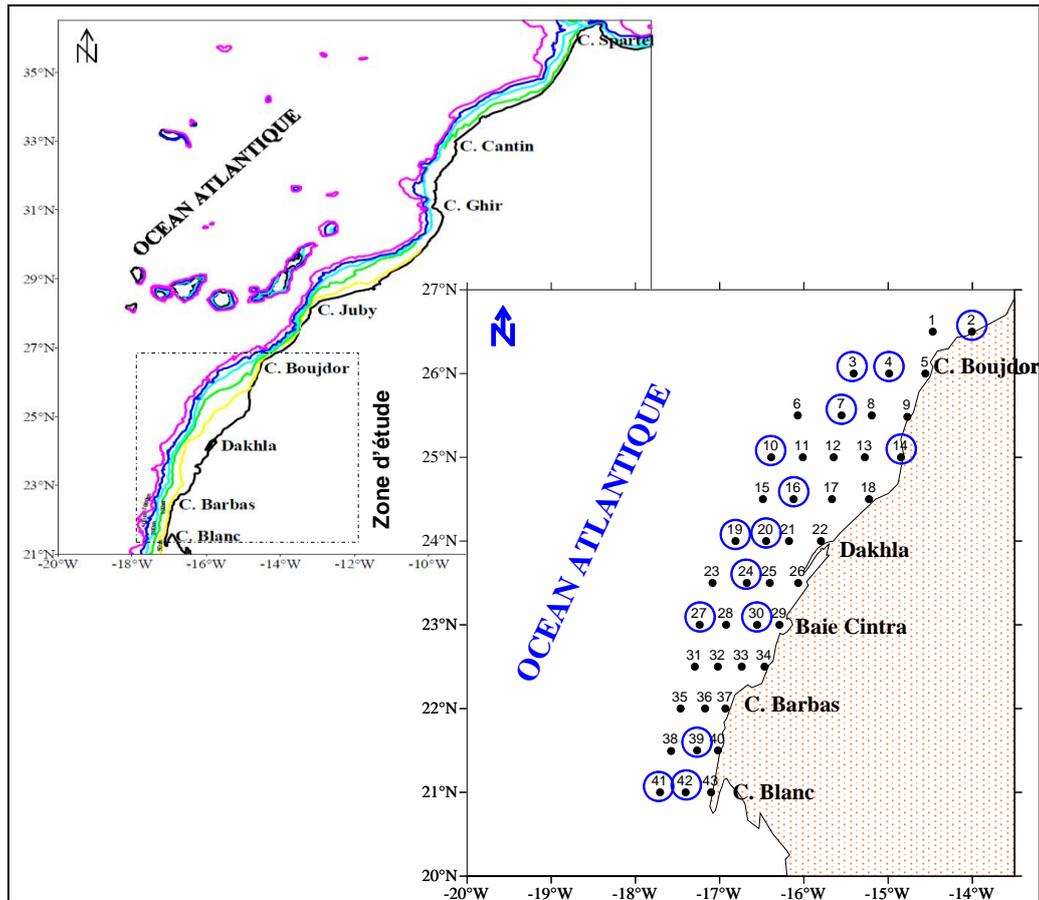


Figure 1: Stations hydrologiques issues des périodes hivernale et estivale de l'année 1998. Les ronds correspondent aux stations biologiques et hydrologiques communes échantillonnées au cours des deux périodes d'échantillonnage

Figure 1. Hydrological Network stations sampled in winter and summer 1998. circles presents common biological and hydrological stations sampled during the two sampling periods.

### Calcul des indices hydrologiques

Des indices standardisés ont été calculés en rapport avec la topographie de la côte et les paramètres physiques. Les deux premiers ont des valeurs comprises entre 0 et 1.

- Distance à la côte ( $D_c$ ): rapport entre la distance réelle de la station à la côte sur la radiale et la largeur du plateau continental à l'isobathe 200m;

- Profondeur de la station par rapport à la profondeur maximale de la radiale ( $F_p$ );

- Indice de l'intensité de l'upwelling local ou l'indice d'homogénéité ( $U_i$ ): correspond à la moyenne relative à la température et les éléments nutritifs (surtout les teneurs en phosphates). Ces deux indices définissent l'intensité thermique (UTC) et l'indice de concentrations en phosphates (UPO) :

$$UTC = \frac{\text{Température à la profondeur maximale de la station (}^{\circ}\text{C)}}{\text{Température en surface (}^{\circ}\text{C)}}$$

$$UPO = \frac{\text{Teneur en phosphates en surface (}\mu\text{gat. l}^{-1}\text{)}}{\text{Teneur en phosphates à la profondeur maximale de la station (}\mu\text{gat. l}^{-1}\text{)}}$$

Ainsi,  $U_i$  (indice d'homogénéité) est défini comme suit:  $U_i = (UTC + UPO) / 2$ ;  $U_i$  augmente quand la stratification de la colonne d'eau est faible et l'activité de l'upwelling est élevée.

### Richesse et diversité spécifiques

La richesse spécifique ( $S$ ) est le nombre d'espèces recensées dans une station de prélèvement.

La diversité des populations au sein d'une communauté a été calculée par l'utilisation de l'indice de la diversité spécifique de Shannon et Wiever (1949) ( $H'$ ).  $H' = -\sum P_i \text{Log}_2 P_i$  ( $P_i = n_i/N$ ; avec  $n_i$ : effectif de l'espèce  $i$  dans l'échantillon et  $N$ : effectif total).

### Relation entre les paramètres biotiques et abiotiques

L'Analyse en Composant Principal (ACP) a été utilisée pour étudier l'influence des paramètres environnementaux sur les peuplements phyto- et zooplanctoniques (Ibanez 1973, Hafferssas 2010).

Afin d'homogénéiser les résultats, seules les données hydrologiques et biologiques issues de stations communes aux deux périodes d'échantillonnage ont été utilisées (Cf. Matériel et Méthodes). Les abondances phyto- et zooplanctoniques et les données hydrologiques ont été normalisées par une transformation de type logarithmique (Tab. 1).

Afin de déceler les liens entre la disponibilité de nourriture dans le milieu et la distribution des œufs et larves de poissons, les abondances de ces derniers ont été projetées sur le plan I- II. Celui ci ayant déjà sélectionné les

peuplements planctoniques. Pour ce faire, le logiciel Surfer 8 a été utilisé.

Tableau 1. Variables environnementales et biologiques sélectionnées

Table 1. Selected environmental and biological variables.

	Code	Unité
<b>Variables environnementales</b>		
Indice de distance de la station	Dc	-
Indice de profondeur de la station	Fp	-
Indice de l'intensité d'upwelling	Ui	-
Température	TC	°C
Salinité	SA	psu
Oxygène dissous	O2	ml. l <sup>-1</sup>
Phosphates	PO	µgat. l <sup>-1</sup>
Chlorophylle <i>a</i>	Chla	µg. l <sup>-1</sup>
<b>Variables biologiques</b>		
Densité moyenne des diatomées	Qd	×10 <sup>2</sup> Cellules. l <sup>-1</sup>
Densité moyenne des dinoflagellés	Qf	×10 <sup>2</sup> Cellules. l <sup>-1</sup>
Densité totale du zooplancton	Qz	Ind. m <sup>-3</sup>
Densité des copépodes	Qc	Ind. m <sup>-3</sup>
Richesse spécifique des diatomées	Rd	-
Richesse spécifique des dinoflagellés	Rf	-
Nombre de grands groupes du zooplancton	Rz	-
Richesse spécifique des copépodes	Rc	-
Indice de diversité des diatomées	Hd	Bits.ind <sup>-1</sup>
Indice de diversité des dinoflagellés	Hf	Bits.ind <sup>-1</sup>
Indice de diversité des copépodes	Hc	Bits.ind <sup>-1</sup>

## RESULTATS

### Hydrologie

La distribution des températures de surface varient entre un minimum de 18,1°C et un maximum de 20,6°C en période de mars, avec un écart thermique de 2,5°C. Ce dernier atteint 5,7°C en mois de juillet ce qui indique une activité intense de l'upwelling en cette période (les marges sont de 15,7°C et de 21,4°C). Un gradient côte – large est bien marqué surtout entre cap Boujdor et Dakhla où se localise la résurgence (Fig. 2A).

La salinité de surface ne présente pas de différences entre les deux périodes d'investigations ; les valeurs sont comprises entre 36,12 psu et 36,62 psu. En juillet, un gradient côte - large est visible le long de la zone d'étude. Durant le mois de mars, c'est un gradient nord - sud qui est mis en évidence avec des salinités faibles dans la région de cap Blanc (Fig. 2B).

Durant la période hivernale, les concentrations en surface des phosphates, varient entre 0,03 µgat. l<sup>-1</sup> et 0,8 µgat. l<sup>-1</sup>. En période estivale, les concentrations maximales atteignent 1,17 µgat. l<sup>-1</sup>. Les fortes teneurs se localisent près de la côte, surtout en été, et coïncident avec les faibles températures. En hiver, la partie sud de la zone étudiée présente une forte richesse en phosphates (Fig. 3A). Au contraire, en été, les eaux côtières sont moins oxygénées. Ce résultat est dû à la forte activité de l'upwelling. En hiver, un gradient croissant nord – sud est bien marqué. Les teneurs en oxygène dissous, en hiver et en été, sont respectivement de 4,17 ml. l<sup>-1</sup> - 6,78 ml. l<sup>-1</sup> et de 4,25 ml. l<sup>-1</sup> - 5,96 ml. l<sup>-1</sup> (Fig. 3B).

En surface, les concentrations en chlorophylle *a* varient de 0,06 µg. l<sup>-1</sup> à 7,23 µg. l<sup>-1</sup> en hiver et de 0,06 µg. l<sup>-1</sup> à 3,43 µg. l<sup>-1</sup> en été. Les fortes concentrations sont surtout

localisées au sud de la zone d'investigation durant les deux saisons de prélèvement. Le long de la côte, les valeurs atteignent des concentrations intermédiaires (0,87 µg. l<sup>-1</sup> en hiver et 1,13 µg. l<sup>-1</sup> en été) (Fig. 4).

### Répartition des peuplements phytoplanctoniques

Les peuplements phytoplanctoniques se répartissent au sein de cinq groupes : les diatomées; les dinoflagellés; les silicoflagellés; les euglenophycés et les coccolithophoridés.

En hiver, une dominance des diatomées est notée au sein des trois strates échantillonnées (70,6% en surface, 81% à 10 m et 91% à 25 m). En été, ce groupe est fortement dominant (plus de 98%).

En surface, durant le mois de mars, comme pour la chlorophylle *a*, le phytoplancton est fortement concentré entre le Cap Barbas et Cap Blanc. De même, en juillet, de fortes densités sont prélevées le long de la zone d'étude (Fig. 5). Les densités maximales atteignent 209800 cell. l<sup>-1</sup> (mars) et 266 900 cell. l<sup>-1</sup> (juillet). Les taxons : *Chaetoceros spp.*, *Thalassiosira spp.*, *Leptocylindrus minimus*, *Protoperdinium sp.*, *Pseudonitzshia seriata*, *Leptocylindrus danicus* et *Gymnodinium spp.*, dominent le peuplement algal durant les deux périodes d'étude.

### Répartition des peuplements zooplanctoniques

Dix sept groupes zoologiques ont été identifiés. Les copépodes y représentent le groupe dominant: 87 % (hiver) et 74 % (été). Durant les deux saisons de prélèvements, la distribution de leurs abondances, par rapport aux populations phytoplanctoniques, est caractérisée par un schéma inverse. En effet, durant la saison printanière, le long de la bande côtière, les densités zooplanctoniques varient entre 4 ind. m<sup>-3</sup> et 202 ind. m<sup>-3</sup>. Lors de la saison estivale, les densités sont au dessous de 50 ind. m<sup>-3</sup>. Néanmoins, une forte abondance (148 ind. m<sup>-3</sup>) a été localisée près du cap Barbas (Fig.6). La faune de copépodes est principalement dominé par les populations de *Calanus helgolandicus*, *Paracalanus parvus*, *Acartia clausi* et *Corycaeus typicus*.

### Relation avec les paramètres du milieu

#### Durant la période printanière (mars 1998)

Les deux premiers axes factoriels, sélectionnés à partir de l'Analyse en Composantes Principales, expriment 73,5% de l'inertie totale. L'axe I est corrélé à la température (TC) et la salinité (SA). Elles sont opposées aux Phosphates (PO), à la chlorophylle *a* (Chla) et à l'indice d'intensité d'upwelling (Ui). L'oxygène dissous (O2) est inversement corrélé aux indices de profondeur (Fp) et de distance (Dc) (Fig. 7).

Sur le plan des axes I et II, certains variables du milieu (Chla, Ui et PO) sont explicatives des abondances zoo et phytoplanctoniques. En effet, les teneurs élevées des Phosphates ainsi qu'une remontée intense des eaux froides, favorisent une forte croissance des diatomées (Qd et Rd) des dinoflagellés (Qf et Rf). Par conséquent, il s'en suit de fortes abondances zooplanctoniques (Qz et Rz) et surtout celles des copépodes (Qc et Rc).

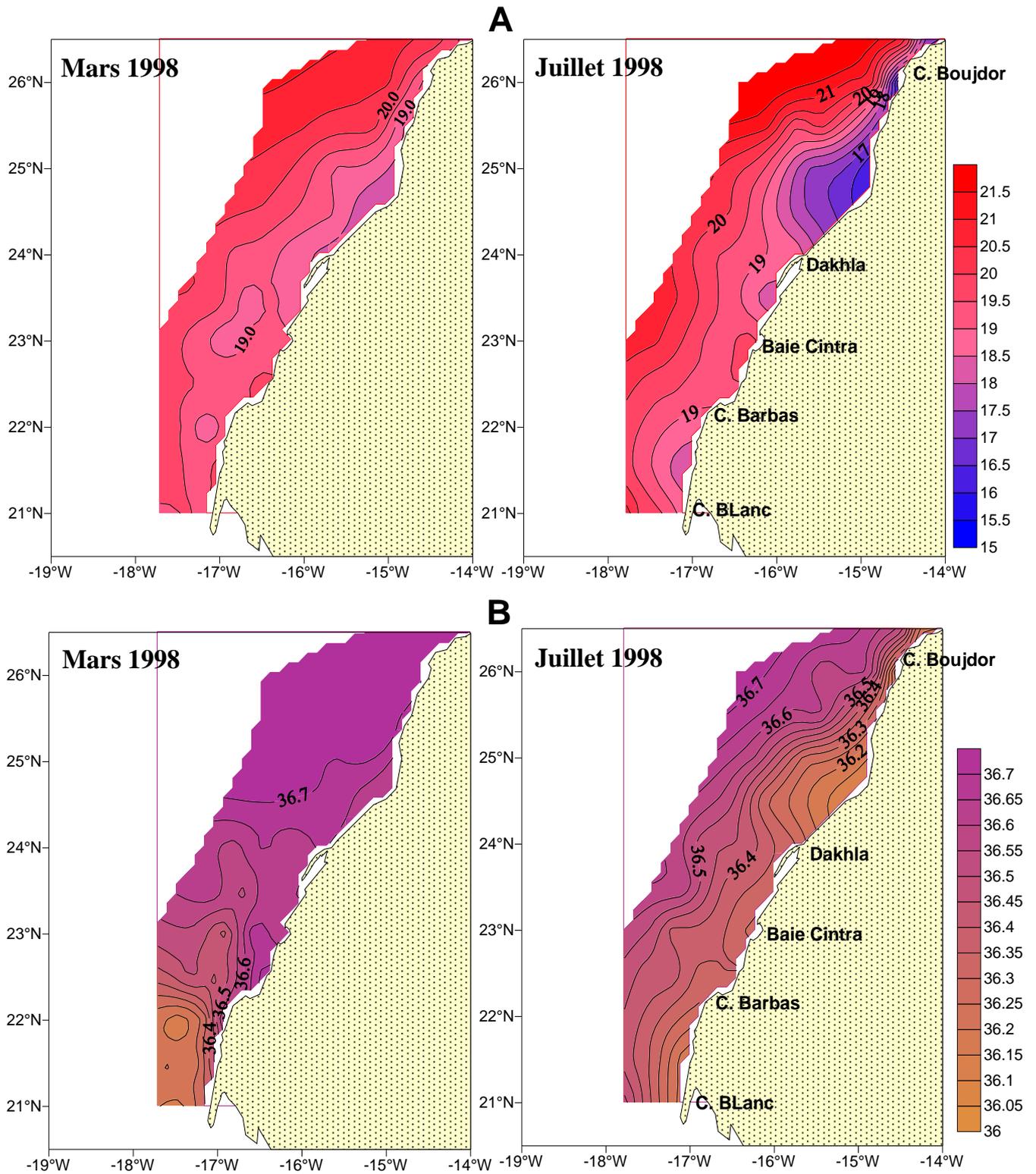


Figure 2. A. Distribution de la température de surface (°C). B. Distribution de la salinité de surface (psu) en hiver et en été 1998.

Figure 2. A. Distribution of surface temperature (°C). B. Distribution of surface salinity (psu) in winter and summer 1998.

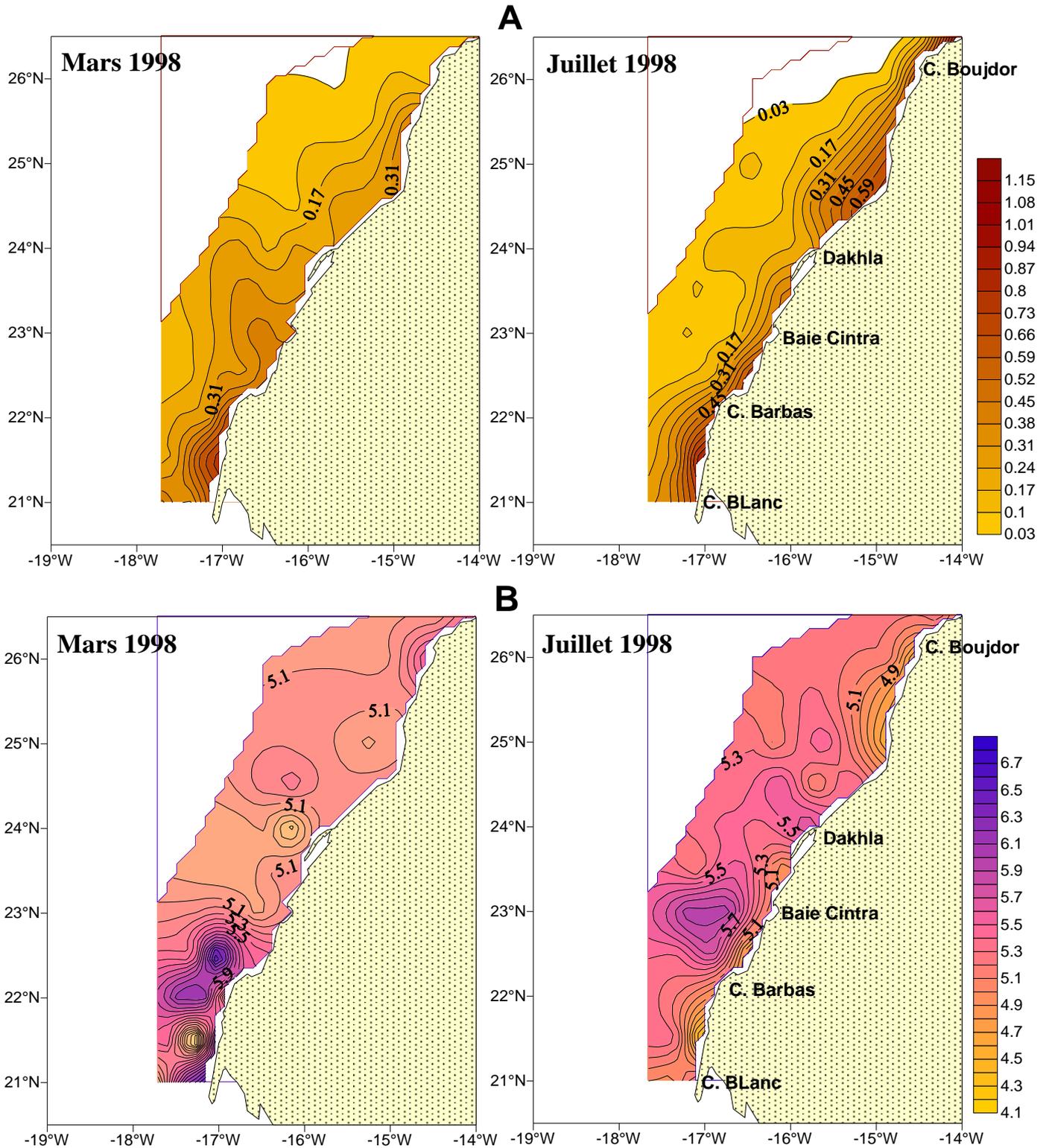


Figure 3. A. Distribution des teneurs en phosphate ( $\mu\text{gat. l}^{-1}$ ). B. Distribution des teneurs en oxygène dissous ( $\text{ml. l}^{-1}$ ) en hiver et en été 1998.

Figure 3.A. Distribution of phosphate contents ( $\mu\text{gat. l}^{-1}$ ); B. Distribution of dissolved oxygen ( $\text{ml. l}^{-1}$ ) in winter and summer 1998.

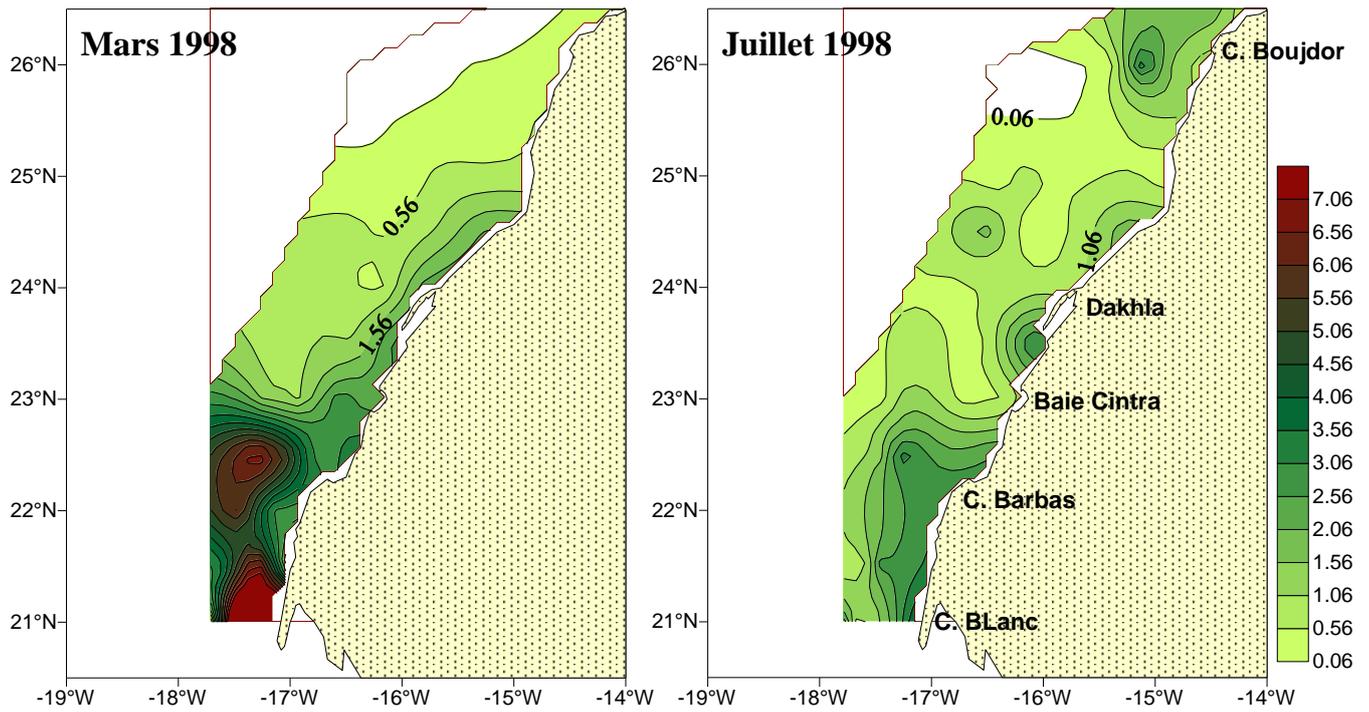


Figure 4. Distribution des teneurs en chlorophylle  $a$  ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) de surface en hiver et en été 1998.

Figure 4. Distribution of surface chlorophyll  $a$  ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) in winter and summer 1998.

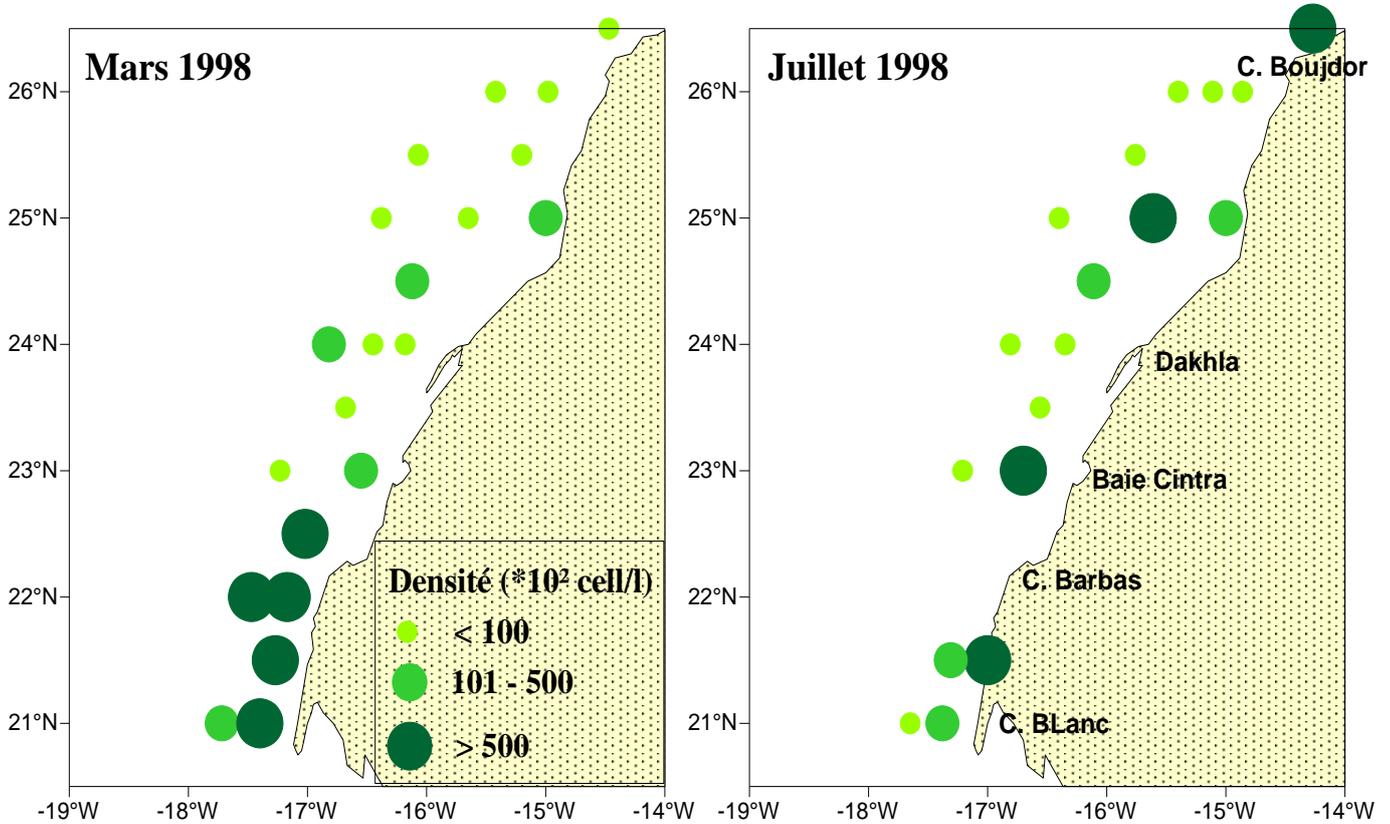


Figure 5. Distribution des densités phytoplanctoniques totales en surface ( $\times 10^2$  Cellules  $\text{l}^{-1}$ ) en hiver et en été 1998.

Figure 5. Distribution of surface phytoplankton total densities in winter and summer 1998.

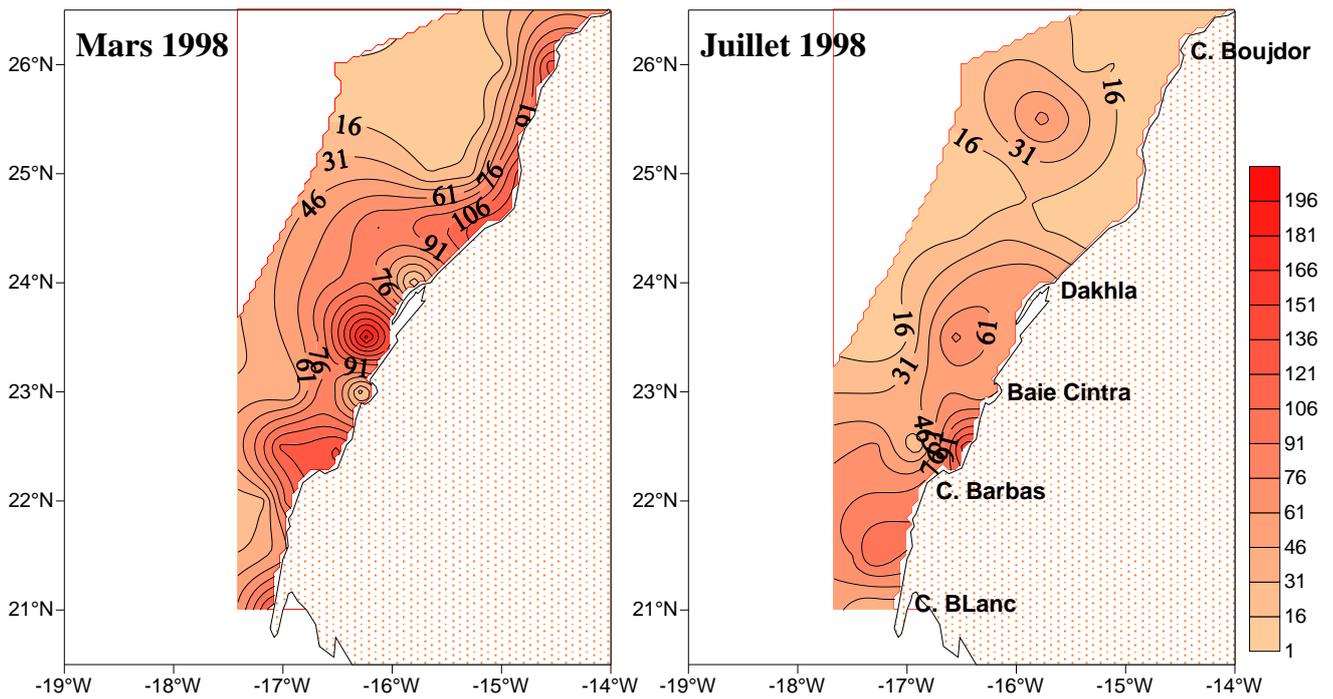


Figure 6. Distribution des abondances zooplanctoniques totales (ind. m<sup>-3</sup>) en hiver et en été 1998

Figure 6. Distribution of total zooplankton abundances (ind. m<sup>-3</sup>) in winter and summer 1998.

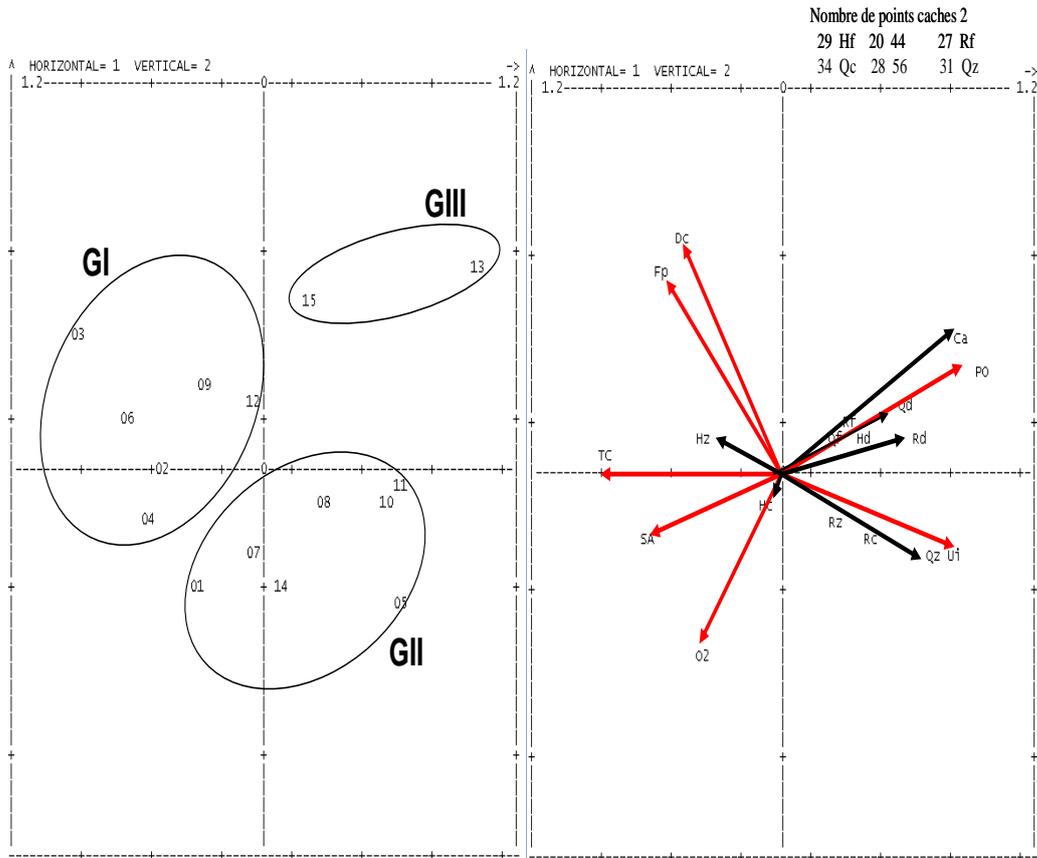


Figure 7. Projection des stations et des variables hydrologiques et biologiques dans le plan des axes I-II (Mars 1998).

Figure 7. Projection of stations and hydrological-biological variables in the plane of the axes I-II (March 1998).

D'après la figure 7, des groupements de stations ont été identifiés qui se caractérisent selon un gradient de profondeur et leur position par rapport à la côte :

- Le groupement I correspond à des stations profondes (Stations 3, 6, 9 et 12) ou peu profondes (Stations 2 et 4). Ces stations sont caractérisées par une faible intensité de l'upwelling ( $U_i < \text{à la valeur moyenne de } 0,51$ ). En outre, les températures et les salinités sont élevées ( $20,6^\circ\text{C}$  et  $36,9$  psu, respectivement). Au contraire, les teneurs de la chlorophylle a et en phosphates ne dépassent pas respectivement  $0,18 \mu\text{g. l}^{-1}$  et  $0,19 \mu\text{gat. l}^{-1}$ . Ces stations sont fortement oxygénées (jusqu'à  $5,21 \text{ ml. l}^{-1}$ ). Ce groupement est relié aux faibles abondances des peuplements de diatomées (moins de  $6,5.10^2 \text{ cell. l}^{-1}$ ) et des dinoflagellés (moins de  $2,15.10^2 \text{ cell. l}^{-1}$ ).

- Le groupement II comprend les stations côtières peu profondes (Stations 1, 5, 7, 8, 10, 11 et 14). Elles sont caractérisées par des salinités (de  $36,5$  à  $36,7$  psu) et des températures peu élevées (de  $18,2$  à  $20,3^\circ\text{C}$ ). Ce groupement est soumis à un fort upwelling ( $U_i$  de  $0,57$  à  $0,90$ ), caractérisé par d'importantes concentrations en phosphate ( $0,44 \mu\text{gat. l}^{-1}$ ) et en chlorophylle a (de  $0,69$  à  $2,18 \mu\text{g. l}^{-1}$ ). De même, le peuplement phytoplanctonique est abondant (de  $5,21.10^2$  à  $8,59.10^2 \text{ cell. l}^{-1}$ ) et la faune zooplanctonique est peu concentrée (de  $6,5$  à  $7,6 \text{ ind. m}^{-3}$ ) (Cf. Paragraphe 3 Résultats).

- Le groupement III est associé à des stations intermédiaires (St. 13) et du large (St. 15). Celles-ci ont des caractéristiques légèrement différentes. La première présente des caractéristiques très proches à celles du groupement II (intensité de l'upwelling, la température, la salinité, la chlorophylle a et les teneurs en phosphates ainsi qu'un peuplement planctonique à richesse spécifique et abondance importantes). La station 15 présente des valeurs moyennes des différents indices hydrologiques étudiés et des abondances et richesses spécifiques planctoniques faibles à moyennes.

### **Durant la période estivale (juillet 1998)**

Les deux premiers axes I et II détiennent plus de 69 % de l'inertie totale. L'axe I est corrélé positivement à la température (TC) et à la salinité (SA) et négativement corrélé aux phosphates (PO), à la chlorophylle a (Chla) et à l'intensité de l'upwelling ( $U_i$ ). Ce dernier est explicatif de l'axe II où y projeté également les teneurs en oxygène ( $O_2$ ). Les abondances et les richesses spécifiques des peuplements de diatomées, des dinoflagellés et des copépodes sont reliées aux variables  $U_i$ , Chla et PO. A l'opposé, les concentrations zooplanctoniques totales sont surtout proches des variables TC et SA (Fig. 8).

En été, trois ensembles de stations sont mis en évidence (Fig. 8) :

- le groupement I rassemble des stations profondes localisées au large (Stations 2, 3, 6, 9 et 15) où les températures (jusqu'à  $21,4^\circ\text{C}$ ) et la salinité ( $36,6$  psu) sont élevées. L'intensité d'upwelling est faible (en moyenne  $U_i$

varie entre  $0,36$  à  $0,59$ ). Il en est de même pour les concentrations chlorophylliennes (inférieur à la moyenne de  $1,13 \mu\text{g. l}^{-1}$ ) et en phosphates (PO varie en moyenne entre  $0,04$  et  $0,06 \mu\text{gat. l}^{-1}$ ). Au sein de ce groupement I, les fortes teneurs en oxygène dissous (jusqu'à  $5,22 \text{ ml. l}^{-1}$ ) sont associées à un peuplement phytoplanctonique relativement diversifié (de  $1,97$  à  $3,42 \text{ bits. Ind}^{-1}$ ) et abondant (de  $3,54.10^2$  à  $5,44.10^2 \text{ cell. l}^{-1}$ ).

- Le groupement II regroupe les stations peu profondes et ayant une localisation intermédiaire entre la côte et le large (Stations 1, 13 et 14). La salinité y est faible ( $36,1$  psu) et l'indice d'upwelling se situe au dessus du niveau moyen ( $U_i = 0,60$ ). Ces valeurs reflètent une température basse (inférieur à la moyenne  $19,2^\circ\text{C}$ ) et des teneurs élevées en phosphates ( $0,52 \mu\text{gat. l}^{-1}$ ) correspondant à de fortes concentrations en chlorophylle a ( $3,43 \mu\text{g. l}^{-1}$ ). Ces variables environnementales sont reliées à d'importantes abondances phytoplanctoniques et particulièrement à celles des diatomées ( $9,80.10^2 \text{ cell. l}^{-1}$ ).

- Le groupement III regroupe les stations côtières (Stations 4, 7, 10 et 11) et les stations à localisation intermédiaire (St. 8) et celle du large (St. 12). Les températures, salinités et l'oxygène dissous sont relativement élevées (TC :  $20,18^\circ\text{C}$  ; SA :  $36,3$  psu et  $O_2$  :  $5,96 \text{ ml. l}^{-1}$ ). Les phosphates et la chlorophylle a sont généralement faibles (PO :  $0,11 \mu\text{gat. l}^{-1}$ ). L'upwelling est faible dans les stations 4 et 8, ce qui explique les abondances réduites des diatomées ( $Q_d$  :  $0,51$  à  $1,53.10^2 \text{ cell. l}^{-1}$ ) mais élevée du zooplancton ( $Q_z$  :  $5,90$  à  $6,06 \text{ ind. m}^{-3}$ ). Néanmoins, l'intense upwelling ( $U_i > 0,91$ ) décrit au sein des autres stations (Stations 7 et 10) entraîne un niveau élevé de richesse et de diversité spécifiques en liaison avec d'importantes abondances phyto et zooplanctoniques ( $Q_d$  :  $5,89$  à  $6,95.10^2 \text{ cell. l}^{-1}$  ;  $Q_z$  :  $4,5$  à  $5 \text{ ind. m}^{-3}$ ).

### **Répartition de l'ichtyoplancton en relation avec les faunes phyto et zooplanctonique**

Durant la saison printanière, en relation avec les densités des œufs, la ponte de la sardine, de l'anchois et du maquereau est concentrée dans des zones de faibles teneurs en chlorophylle a et de fortes variabilités de densités zooplanctoniques (de  $1$  à  $140 \text{ ind. m}^{-3}$ ) (Fig. 9).

En saison estivale, les œufs de sardine et de maquereau sont concentrés dans les aires de faibles richesses en chlorophylle a et en zooplancton. En cette période, la ponte de l'anchois est absente. Par contre, celle des sardinelles est reliée uniquement à certaines concentrations chlorophylliennes et zooplanctoniques. Au contraire, durant la saison hivernale la ponte des sardinelles est intense. Elle est liée à une large concentration en chlorophylle a (Fig. 9).

En ce qui concerne les larves, la période printanière est caractérisée par une faible présence larvaire. En période estivale, à l'exception des larves du maquereau, les larves des autres espèces présentent une répartition fortement corrélée aux concentrations chlorophylliennes (Fig. 10).

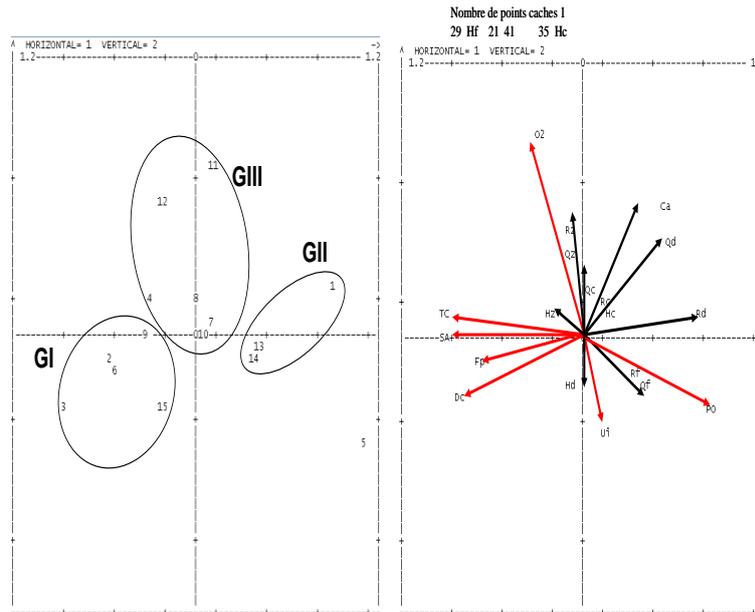


Figure 8. Projection des stations et des variables hydrologiques et biologiques dans le plan axes I-II (Juillet 1998).  
 Figure 8. Projection of stations and hydrological-biological variables in the plane of the axes I-II (July 1998)

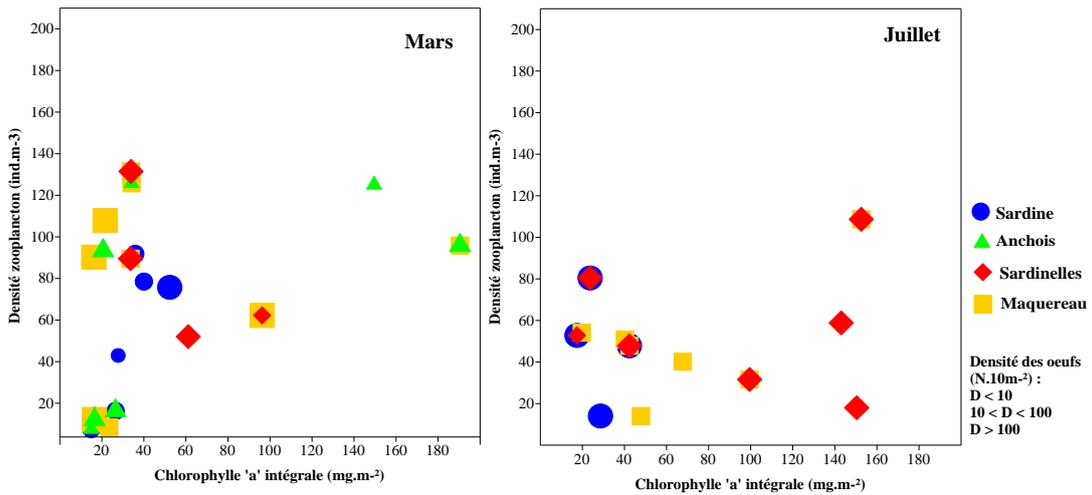


Figure 9. Relation des abondances des œufs des petits pélagiques avec les données chlorophylle a - zooplancton (hiver et été).  
 Figure 9. Abundances relationship of small pelagic eggs with chlorophyll a - zooplankton data (winter and summer).

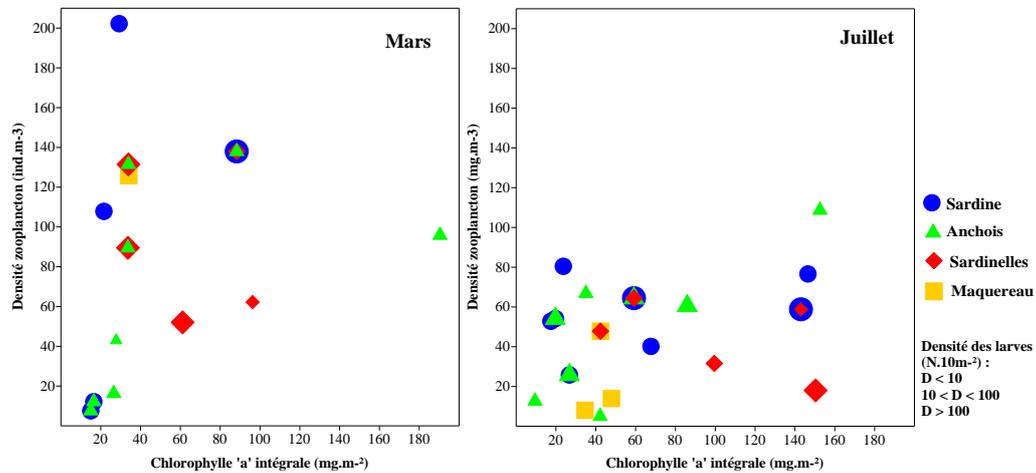


Figure 10. Relation des larves des petits pélagiques avec les données chlorophylle a - zooplancton (hiver et été).  
 Figure 10. Relationship of small pelagic larvae with chlorophyll a - zooplankton data (winter and summer).

## DISCUSSION ET CONCLUSION

Du Cap Boujdor à Dakhla (26°N - 23°30'N) et entre les Caps Barbas et Blanc (22°N - 21°N), les remontées d'eaux profondes sont intenses en période estivale. Les travaux antérieurs ont montré que l'upwelling localisé dans la zone sud des côtes marocaines, joue un rôle important dans la production halieutique (Binet 1991; Makaoui *et al.* 2005; Nieto *et al.* 2012). Par conséquent, les peuplements planctoniques sont fortement abondants (Binet 1991). La zone Cap Barbas - Cap Blanc est une zone frontale où se rencontrent les Eaux Centrales Sud Atlantique (ECSA), chaudes et riches en sels nutritifs et les Eaux Centrales Nord Atlantiques (ECNA) (Minas *et al.* 1982 ; Binet 1991 ; Makaoui *et al.* 2005), d'où la richesse de ses peuplements phyto et zooplanctoniques.

Les investigations réalisées durant la période d'étude ont montré que l'intensité de l'upwelling est fortement reliée aux teneurs élevées en phosphates et en chlorophylle a ainsi qu'à des faibles températures et salinités. Certaines observations étayaient nos conclusions (Daly & Smith, 1993). De même, les fortes densités phytoplanctoniques et surtout des diatomées (plus de 80% du total) ont été signalées à proximité des côtes sud marocaines (Somoue *et al.* 2003). Le peuplement algal est dominé par les espèces de *Chaetoceros spp.*, *Thalassiosira spp.*, *Leptocylindrus minimus*, *Protoperdinium sp.*, *Pseudonitzschia seriata*, *Leptocylindrus danicus* et *Gymnodinium spp.* Celles-ci sont considérées comme étant accompagnatrices des eaux d'upwelling (Elghrib *et al.* 2012). Ce dernier favorise le développement des différentes composantes planctoniques (Tilman *et al.* 1982 ; Tilstone *et al.* 2000).

La faune de copépodes, fraction dominante du zooplancton total (87% en hiver et 74% en été) est diversifiée et équilibrée durant la saison hivernale. En été, la communauté est moins diversifiée et déséquilibrée. Les espèces telles que *Calanus helgolandicus*, *Paracalanus parvus*, *Acartia clausi* et *Corycaeus typicus*, en sont dominantes. Ces résultats sont en relation avec l'intensité de l'upwelling; plus élevée en été qu'en hiver (Chiahou & Ramdani 1996 ; Somoue *et al.* 2005).

D'après certains auteurs (Binet *et al.* 1991; Rodriguez *et al.* 1999, 2001), l'indice annuel d'upwelling est un indicateur de la richesse trophique dans le milieu. Celui-ci est susceptible de favoriser la survie des larves et, par ailleurs, un bon recrutement. Les petits pélagiques représentent une ressource caractéristique des écosystèmes productifs. Ils préfèrent les eaux enrichies en plancton. Les poissons pélagiques pondent dans les aires de fortes productions biologiques. Ces dernières assurent une ressource adéquate pour leurs larves et juvéniles (Blaxter & Hunter 1982 ; Ettahiri *et al.* 2003). Les densités maximales des larves de sardine coïncident avec celles des densités phytoplanctoniques (Elghrib *et al.* 2011).

Au cours des périodes d'investigations de l'année 1998, les œufs et larves des principaux petits pélagiques étudiés (Cf. Matériel et Méthodes) ont colonisé les zones de fortes concentrations phyto et zooplanctoniques. Celles-ci, d'après nos analyses statistiques, sont corrélées aux aires de remontées d'eaux froides.

Durant la saison hivernale, la distribution des œufs et larves dans les diagrammes bivariés montre leur

concentration dans des aires où les teneurs en chlorophylle a sont faibles et les abondances du zooplancton varient dans une large gamme. La situation inverse est observée en été. Ceci est en relation avec la variabilité temporelle des composantes planctoniques qui est due au décalage entre le développement du phytoplancton et celui du zooplancton. Toutefois à une échelle spécifique, la distribution des œufs et larves ne s'opère pas dans les mêmes gammes de chlorophylle a et de zooplancton pour toutes les espèces considérées. Ceci indique que les zones de ponte et de développements larvaires présentent des spécificités propres à chaque espèce, avec d'éventuels chevauchements. Chez la plupart des petits pélagiques dont la ponte est fractionnée, la reproduction est étalée sur toute l'année avec des périodes de ponte plus intenses, propres à chaque espèce (Berraho 2007). Aussi, en période principale de ponte, l'espèce cherche-t-elle les conditions environnementales les plus favorables pour limiter les pertes, tandis que lors des pontes secondaires ou de faibles intensités, les œufs et larves sont plus dispersés dans l'espace.

## REFERENCES

- Aminot A., M. Chaussepied: 1983. *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. Centre national pour l'exploitation des océans, CNEXO, Paris, 395 p.
- Berraho A.:2007. *Relations spatialisées entre milieu et ichtyoplancton des petits pélagiques de la côte Atlantique Marocaine (Zones centrale et sud)*. Thèse Doctorat, Univ. Mohammed V, Rabat, 161 p.
- Binet D.: 1991. Dynamique du plancton dans les eaux côtières ouest-africaines: écosystèmes équilibrés et déséquilibrés. *Pêcheries ouest-africaines*. Ed. ORSTOM, 117-136.
- Binet D., Marchal E., O. Pezennec: 1991. Sardinella aurita de la Côte d'Ivoire et du Ghana: fluctuations halieutiques et changements climatiques. *Pêcheries ouest-africaines*, Ed. ORSTOM, 320-342.
- Blaxter J.H.S., J.R. Hunter: 1982. The biology of clupeoid fishes. *Adv. Mar. Biol.*, 20, 1-223.
- Bourdillon A. 1963. Essais comparés de divers filets à plancton. *Comm. Int. Explor. Sci. Mer Médit.*, Rap. et P.V, 17, 2, 455-461.
- Chiahou B., M. Ramdani 1996: Observations sur les variations de la densité et de la biomasse des copépodes pélagiques des côtes atlantiques marocaines (région d'El Jadida) au cours d'un cycle annuel. *Mar. Life*, 6, 1-2, 21-25.
- Daly K. I. & W.O. Smith: 1993. Physical-biological interactions influencing marine plankton production. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 24, 555-585.
- Elghrib H., Berraho A., Somoue L. Elkhiahi N., Bourhim N., Salah S., Ramdani M., O.Ettahiri: 2011. Distribution des larves de la sardine *Sardina pilchardus* et de l'anchois *Engraulis encrasicolus* en relation avec la répartition phytoplanctonique dans l'Atlantique marocain. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 136, 1-4, 77-89.
- Elghrib H., Somoue L., Elkhiahi N., Berraho A., Makaoui A., Bourhim N., Salah S., O.Ettahiri: 2012. Distribution du phytoplancton dans les zones d'upwelling de la côte atlantique marocaine située entre les latitudes 32°30'N et 24°N. *C. R. Biologie*, 335, 541-554.
- Ettahiri O., Berraho A., Vidy G., Ramdani M., T. Do chi: 2003. Observation on the spawning of *Sardina* and *Sardinella* off the south Moroccan Atlantic coast (21 - 26°N). *Fish. Resea.*, 60, 207-222
- Makaoui A., Orbi A., Hilmi K., Zizah S., Larissi J., M. Talbi:

2005. L'upwelling de la côte Atlantique du Maroc entre 1994 et 1998. *C. R. Geoscience*, 337, 1518-1524.
- Minas H.J, Codispoti L.A., R.C. Dugdale: 1982. Nutrient and primary production in the upwelling region of Northwest Africa. *Rapport Cons. Int. Explor. Mer*, 180: 148 – 183.
- Nieto, K., Demarcq H., S, Mc Clatchie: 2012. Mesoscale frontal structures in the Canary Upwelling System: new front and filament detection algorithms applied to spatial and temporal patterns, *Remote Sensing of Environment*, 123, 339–346
- Rodriguez. J.M., Hernandez-Leon S., E.D.Barton:, 1999. Mesoscale distribution of fish larvae in relation to an upwelling filament off Northwest Africa. *Deep-Sea. Res.*, 46: 1969-1984.
- Rodriguez. J.M., Barton. E.D., Eve. L., S. Hernandez-Leon:, 2001. Mesozooplankton and ichthyoplankton distribution around Gran Canaria, an oceanic island in the NE Atlantic. *Deep-Sea Res.*, 48: 2161– 2183.
- Somoue L., Elkhiaati N., Vaquer A., Ramdani M., Ettahiri O., Makaoui A., A.Berraho: 2003. Contribution à l'étude des diatomées dans l'écosystème pélagique côtier au sud de l'Atlantique marocain (21°N - 26°30'N). *J. Rech. Océanog.* 28:1-13.
- Somoue L., Elkhiaati N., Ramdani M., Lam Haoi T., Ettahiri O., Berraho A., T. Do Chi: 2005. Abundance and structure of copepod communities along the Atlantic coast of southern Morocco. *Acta Adriatica*, 46, 1: 63-76.
- Tilman D., Kilham S., & P. Kilham: 1982. Phytoplankton community ecology: The Role of Limiting Nutrient. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 13: 349–72.
- Tilstone G.H., Miguez B.M, Figueiras F.G., E.G. Fermin: 2000. Diatom dynamics in ecosystem affected by upwelling: coupling between species succession, circulation and biogeochemical processes. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 205: 23-41.
- Utermohl H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton methodik, *Mitt Internat. Verein. Theor Angew Limnol.*, 9, 1: 1-38.

Manuscrit reçu le 26.02.2013

Version révisée acceptée le 15.07.2013

Version finale reçue le 23.10.2014

Mise en ligne le 24.10.2014