

Diversité et structure de la communauté des copépodes dans le filament d'upwelling de Cap Juby (Côte atlantique marocaine)

Copepods community structure and diversity in the Cape Juby upwelling filament (Atlantic Moroccan coast)

**Siham SALAH^{1,2,*}, Omar ETTAHIRI², Amina BERRAHO², Mohammed RAMDANI³,
Said CHARIB² & Ahmed ERRHIF²**

1. Faculté des Sciences Ain Chock, Département de Biologie, Km 8, Route d'El Jadida, BP 5366, Casablanca, Maroc.

*(siham_salah_sv5@yahoo.fr)

2. Institut National de Recherche Halieutique (INRH), 2 Rue de Tiznit, Casablanca 01, Maroc

3. Institut Scientifique, DZEA, Avenue Ibn Batouta, BP 703, Rabat CP 10106, Maroc

Résumé. La diversité et la structure des copépodes du filament d'upwelling de Cap Juby ont été étudiées pendant un cycle annuel durant l'année 2009 (février, avril, juin et octobre). Cinq stations ont été prospectées sur une radiale côte-large (28°N) de direction Est-Ouest. Deux périodes se distinguent à travers les paramètres physico-chimiques : une période froide (février-avril) témoigne de fortes teneurs en chlorophylle "a" allant de 1 à 4 µg/l et une autre plus chaude (juin-octobre) enregistre de faibles concentrations en chlorophylle "a" allant de 0,08 à 1 µg/l. La biomasse humide du zooplancton varie d'une période à l'autre, avec un maximum en octobre (St.14 : 2098 mg/m³) et un minimum en février (St.14 : 187 mg/m³). Les copépodes constituent le groupe dominant. La structure de leur peuplement observée à l'aide des indices biologiques, diffère entre les eaux côtières et les eaux du large. Un gradient côte-large a été mis en évidence par l'Analyse en Composantes Principales.

Mots-clés : Upwelling, Cap Juby, Copépodes, Structure de communauté.

Abstract. The diversity and structure of the copepods in the Cap Juby upwelling filament were studied during an annual cycle in 2009 (February, April, June and October). Five stations were prospected on a radial coast-large (28°N) of East-West direction. Two periods was designed by the physico chemical parameters. A cold period recorded (February-April), with high levels of chlorophyll "a" (1 to 4 µg/l). Another warmest period recorded (June-October), with the low concentrations of chlorophyll "a" ranging from 0.08 to 1 µg/l. The copepods varies from one period to another, with a maximum in October (St.14 : 2098 mg/m³) and a minimum in February (St. 14 : 187 mg/m³). The copepods constitute the most dominant zooplankton group. The structure of copepods, assessed using biological indices, differs between inshore and offshore waters. A coast-large gradient was observed using a Principal Component Analysis.

Keywords : Upwelling, Cap Juby, Copepods, Community structure.

Abridged English version

In ecology, one of the central problems is the spatial and temporal scales of the structure and dynamics of ecological entities (Wiens 1989; Levin 1992). Many studies have invested in this sense, while using zooplankton as exchange marker, drift or up of water masses. Through this study, the spatial ecology of copepods in the upwelling of Cap Juby filament was discussed. The biological indices calculated for copepods, were used to analyze their structure.

The diversity and structure of the copepods in the Cap Juby upwelling filament were studied during an annual cycle in 2009 (February, April, June and October). Five stations were prospected on a radial coast-large (28°N) of East-West direction. In each station, environmental parameters were identified. Diversity and community structure of the copepods sampled were analyzed using structural indices. The seasonal variation of the zooplankton biomass was tested by the nonparametric Kruskal-Wallis. The principal component analysis (PCA) was used to synthesize the coupling and spatial variation of the physical-chemical and the biological indices of structure parameters.

The copepods organization showed strong dependence of

the coast-large structure. The seasonal variation of the environmental parameters at the Cap Juby upwelling filament has an impact on the diversity and the abundance of copepods therein.

The temperatures change between two periods: a cold period recorded (February-April), with high levels of chlorophyll "a" (1 to 4 µg/l). Another warmest period recorded (June-October), with low concentrations of chlorophyll "a" ranging from 0.08 to 1 µg/l. The biomass of zooplankton varies from one period to another, with a maximum in October (St.14 : 2098 mg/m³) and a minimum in February (St.14 : 187 mg/m³).

Of the 18 groups of zooplankton identified, the copepods are the major fraction. The organization copepods degree in the Cap Juby upwelling filament differs between inshore and offshore waters. Offshore species diversity and regularity are higher and the community is more structured. In the Moroccan waters, Boucher (1987), Somoue (2004) noted that species diversity is higher in offshore waters compared to coastal waters. The community is less structured near the coast under the strong influence of upwelling and less stable hydrological conditions.

The highest species richness was recorded in June and October, where the upwelling season intensifies in the region. This wealth is explained by the upwelling of cold water rich in species of cold deep water introduced and mainly due to the zooplankton biomass increase and copepods density recorded during these two periods.

The structure copepod community is linked, to varying degrees, to the parameters of the area and the environmental conditions. These findings are consistent with other works on different ecosystem: the Alboran Sea (Seguin *et al.*, 1994) and frontal waters of the Benguela current (Binet 1970). Longurst (1967) showed that species richness increases in water mixture by advection or vertical layering of water masses. Closer to the coast, where the upwelling influence is stronger, hydrological conditions are less stable; under these conditions,

the community undergoes more stress and is therefore less structured.

The zooplankton community study showed that copepods are the most abundant group along the Cap Juby upwelling filament. The indices structures of this group showed a coast-large gradient. Similar findings were reported in a later work on the same filament (Salah *et al.* 2013). A coastal strip has been defined by the tracers of water masses (temperature and salinity), satellite images of SST and chlorophyll "a". The spatial extension of the filament does not reach the wide. These results confirmed recent studies that have highlighted the relative contribution of physical and biological processes in the formation and maintenance of the spatial patterns zooplankton (Lewis & Boers 1991; Hill, 1995; Wiafe & Frid 1996; Alvarez- Cadena *et al.* 1998; Smith *et al.* 2001).

INTRODUCTION

Les communautés zooplanctoniques marines forment des structures en tâches bien développées appelées patrons (Swartzman *et al.* 1999 ; Turner *et al.* 1999 ; Franks & Jaffe 2011). Ces structures sont générées et maintenues par des processus physiques (upwelling, tourbillons, filaments...) et par des processus biologiques (migration verticale, prédation, broutage, compétition, reproduction) associés aux comportements individuels (Folt & Burns 1999 ; Rollwagen-Bollens & Landry 2000 ; Bullard & Hay 2002).

En écologie, un des problèmes centraux est celui des échelles spatiales et temporelles de la structure et de la dynamique des entités écologiques (Wiens 1989, Levin 1992). Beaucoup d'études se sont investies dans ce sens, tout en utilisant le zooplancton comme un marqueur d'échange, de dérive ou de remontée de masses d'eaux. A travers cette étude, l'écologie spatiale des copépodes, au niveau du filament d'upwelling de Cap Juby, a été discutée. Les indices biologiques, calculés pour les copépodes, ont été utilisés pour analyser leur structure.

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude

Cinq stations ont été explorées sur une radiale côte-large au niveau de Cap Juby (28°N), dont les profondeurs varient entre 27 et 1190 m (Fig. 1, Tab. 1). Ces stations ont été prospectées en février, avril, juin et en octobre 2009 à bord du navire océanographique "Al Amir Moulay Abdallah".

Dans chaque station et à 5 m de profondeur, les paramètres du milieu ont été relevés. La température a été mesurée à l'aide d'une multisonde CTD (Neil Brown). La concentration en chlorophylle "a" a été dosée par fluorimétrie sur des échantillons d'eau prélevés par des bouteilles en rosette. Le zooplancton a été échantillonné en réalisant des traits obliques entre la surface et le fond, à une profondeur maximale de 100 m à l'aide d'un filet Bongo (60 cm de diamètre, 147 µm de vide de maille), muni d'un débit-mètre. Les prélèvements ont été conservés dans du formol à 5%. La biomasse du zooplancton total a été évaluée par la mesure du poids humide du contenu du filet après filtration. Elle est exprimée en (mg.m⁻³).

L'identification et le comptage du zooplancton sont obtenus sous la loupe binoculaire sur des sous-échantillons fractionnés à l'aide de la boîte de Motoda (Motoda 1959).

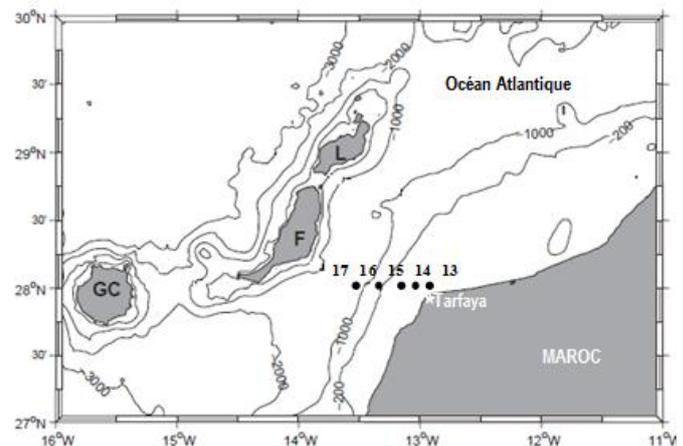


Figure 1. Carte des stations échantillonnées
Figure 1. Sampling area and position of stations

Tableau 1. Coordonnées des stations échantillonnées
Table 1. Coordinates of stations sampled

Stations	Latitude	Longitude	Profondeur (m)	Distance côte-station (Km)
St 13	28°00,14	12°45,51	28	8
St 14	27°59,73	12°56,78	40	26,3
St 15	28°00,20	13°08,85	68	46,6
St 16	28°00,00	13°20,29	396	64,6
St 17	28°00,10	13°31,67	1185	83,5

Calcul des indices biologiques et analyses statistiques

La diversité et la structure de la communauté de copépodes échantillonnés ont été analysées à l'aide des indices suivants:

- La richesse spécifique (S) exprimée par le nombre total d'espèces identifiées dans l'échantillon.
- L'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') (1949) :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

avec S le nombre d'espèces, p_i la fréquence relative de l'espèce i de l'échantillon.

- La régularité ou Eveness (J'), qui se définit par le rapport entre l'indice de diversité H' et la diversité maximale.

$$J' = H' / H'_{\max} = H' / \log_2 S$$

La variation saisonnière de la biomasse du zooplancton a été testée par le test non paramétrique de Kruskal-Wallis (Louis *et al.* 1995). Une valeur de $P < 0,05$ a été retenue comme significative.

L'analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée pour synthétiser et coupler la variation spatiale des paramètres physico-chimiques et biologiques ainsi que les indices de structure. Les variables prises en considération sont : la température de surface, la concentration de la chlorophylle "a" des eaux de surface, le nombre total des copépodes, la richesse spécifique, l'indice de diversité de Shannon et le coefficient de régularité.

RESULTATS

Distribution de la température et de la chlorophylle "a" de surface

La température de surface varie de façon importante d'une période fraîche (février et avril) à une période chaude (de juin à octobre). Durant la période fraîche, la température varie entre 16,4 et 18 °C. Cependant, la période chaude témoigne relativement d'un réchauffement avec des valeurs oscillant entre 20,3 et 23,5 °C. Une tendance à l'augmentation de la température de la côte vers le large est notée pour l'ensemble des périodes (Fig. 2).

La variation des teneurs en chlorophylle "a" de surface, suit inversement celle de la température. En février et en avril, les concentrations varient de 1 à 4 µg/l avec un maximum de 2,5 µg/l et 4,9 µg/l respectivement. En juin et en octobre, les concentrations en chlorophylle "a" ont été moins importantes que dans les périodes précédentes avec des valeurs allant de 0,08 à 1 µg/l (Fig. 2).

Nous remarquons la présence de deux périodes de faibles températures et de fortes concentrations en chlorophylle (février et avril) et deux périodes de températures élevées et de faibles concentrations en chlorophylle "a".

Variation de la biomasse du zooplancton

La distribution de la biomasse humide du zooplancton montre une richesse importante avec une variation non significative selon le test Kruskal-Wallis aussi bien saisonnière, que spatiale.

L'évolution de la biomasse zooplanctonique suit une allure différente de celle de la production primaire (chlorophylle "a"). En février et en avril, des biomasses moyennes sont enregistrées sur toute la radiale. En juin et dans toutes les stations d'étude, on note une nette augmentation de la biomasse des copépodes. Celle-ci atteint son maximum au mois d'octobre et en particulier dans les stations S13, S14 et S15 qui sont proches de la côte (Fig. 3).

Composition et abondance du zooplancton

L'étude qualitative de la communauté zooplanctonique durant les quatre périodes d'étude a mis en évidence différents groupes faunistiques (Fig. 4) : les crustacés

planctoniques (copépodes, cladocères, ostracodes, amphipodes, euphausiacés, mysidacés et isopodes), le plancton gélatineux (méduses, siphonophores, stades larvaires de mollusques et ptéropodes), les tuniciers pélagiques (appendiculaires, salpidés et doliolidés), les vers (annélides polychètes et chaetognathes) et le méroplancton (larves de cirripèdes et larves de décapodes).

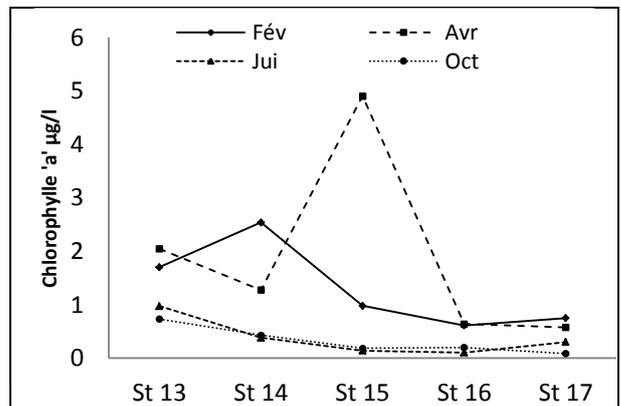
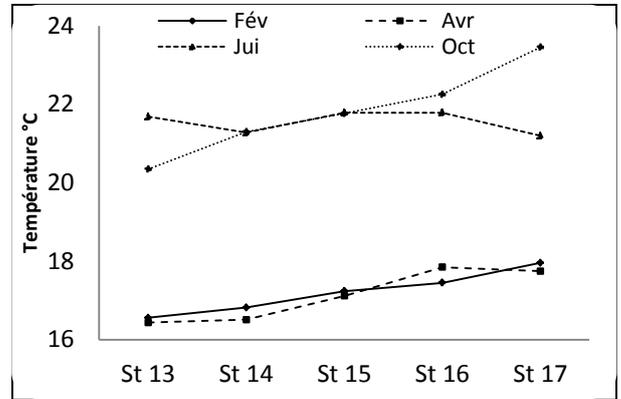


Figure 2. Distribution de la temp. de surface et de la chlorophylle "a"
 Figure 2. Distribution of the surface temperature and chlorophyll-a

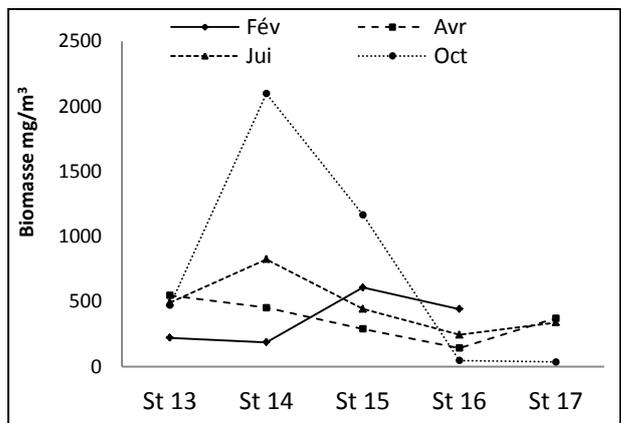


Figure 3. Distribution de la biomasse humide du zooplancton (g/m³)
 Figure 3. Distribution of zooplankton biomass (dry weight) in g/m³

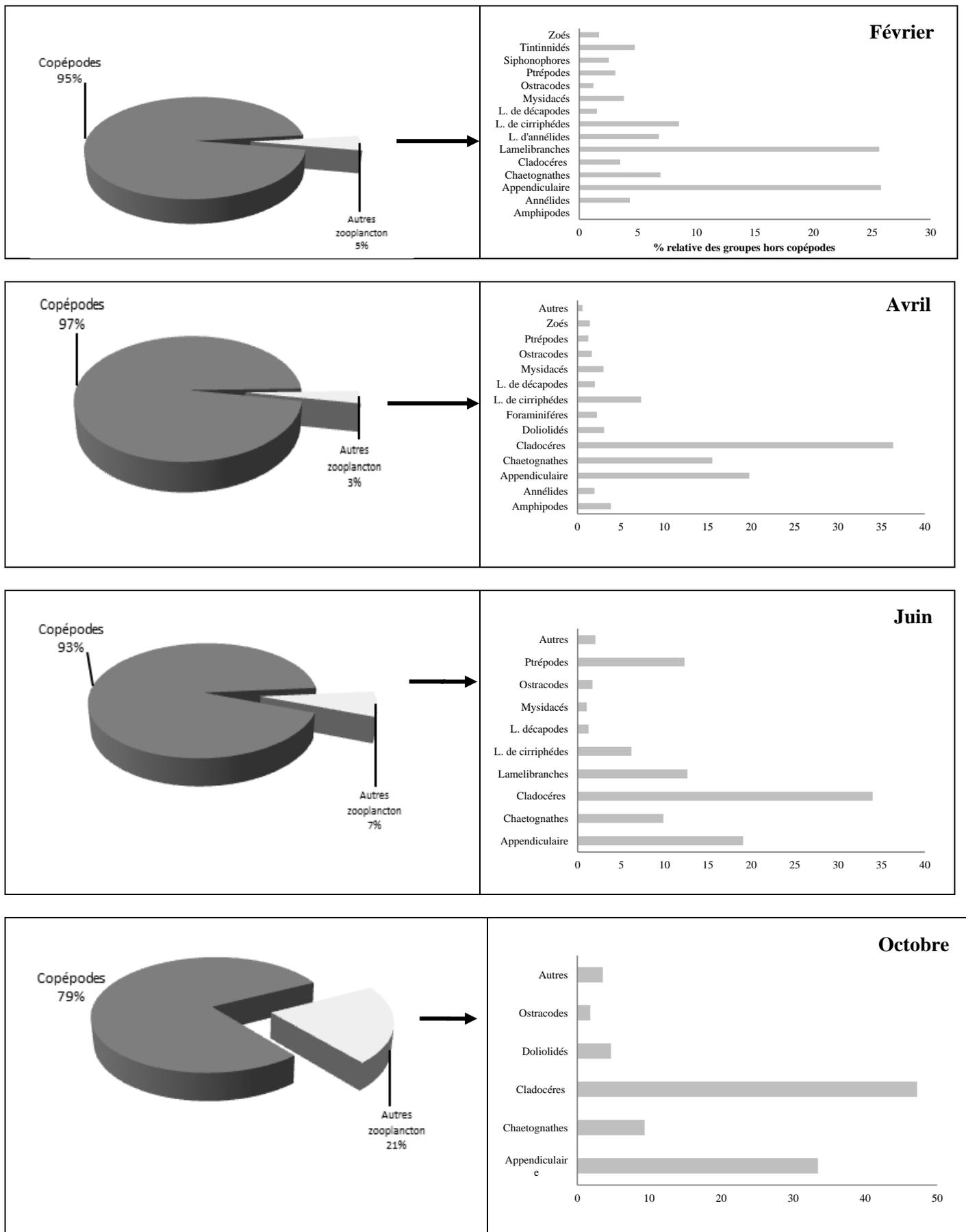


Figure 4. Abondance relative des copépodes et des autres groupes du zooplancton au niveau de Cap Juby.

Figure 4. Relative abundance of copepods and other zooplankton groups at Cap Juby.

Une forte dominance a été enregistrée chez les copépodes avec une abondance relative de 71,25 à 99,16 % par rapport aux autres groupes (Tab. 2). Ainsi, cette étude a été focalisée sur le groupe des copépodes vu leur tendance à dominer le peuplement du zooplancton aux différentes périodes et au niveau de toutes les stations prospectées. Au total, 56 espèces de ce groupe ont été répertoriées (Salah *et al.* 2013).

Tableau 2. Abondance relative des copépodes au niveau des stations prospectées à différentes saisons.

Table 2. Relative abundance of copepods at stations prospected in different seasons.

	St 13	St 14	St 15	St 16	St 17
Février	97,93	92,86	94,77	96,09	-
Avril	99,16	99,14	93,21	95,78	96,97
Juin	84,25	94,99	97,81	92,78	95,65
Octobre	79,43	76,19	71,25	79,81	86,50

La densité des copépodes montre une richesse importante avec une variation saisonnière non significative, et une variation spatiale significative (test de Kruskal-Wallis). En février et en juin, des densités importantes ont été enregistrées le long de la radiale. En avril et principalement en octobre, les densités les plus importantes sont enregistrées dans les stations côtières. Les fortes densités n'ont pas été notées dans les stations situées plus au large (Fig. 5).

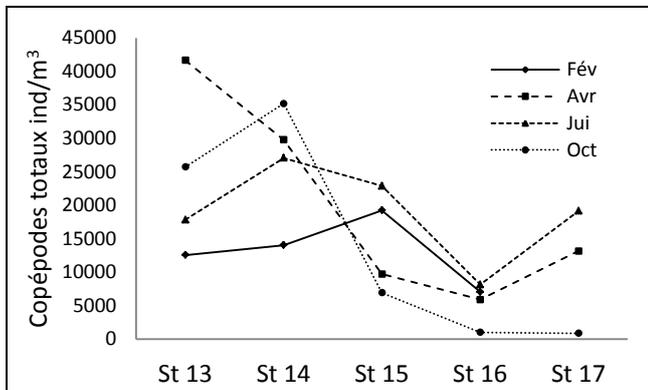


Figure 5. Distribution de la densité des copépodes totaux.
Figure 5. Distribution of the total copepods density.

Diversité et structure des copépodes

D'une manière générale et durant la période d'étude (excepté le mois de juin) un net gradient croissant (côte-large) de la richesse spécifique est enregistré. Le maximum de taxons est rencontré en octobre (à S15) et en juin (à S16) avec respectivement 33 et 34 espèces. Alors qu'en Avril et Février, la richesse spécifique maximale ne dépasse respectivement pas 27 (à S17) et 24 espèces (à S15) (Fig. 6a).

La variabilité spatio-temporelle de la diversité spécifique a révélé que la communauté de copépodes est peu structurée à structurée en terme de répartition des abondances. Au

cours des quatre périodes, l'indice de Shannon varie de 1,5 à 3,3 bits/individu. De février à juin, les valeurs oscillent avec un gradient côte-large stable. En octobre, les faibles valeurs sont observées dans les stations côtières, alors que les fortes sont signalées au large (Fig. 6b).

L'indice d'équitabilité (J') varie entre 0,33 (peuplement peu structuré) et 0,68 (peuplement moyennement structuré). Globalement, l'évolution spatio-temporelle de cet indice suit celle de la diversité spécifique H' . A l'exception du mois d'octobre (pendant lequel on a noté un net gradient croissant côte-large de l'indice d'équitabilité J'), tous les autres mois ont montré une certaine stabilité dans l'évolution de cet indice. Les valeurs faibles de J' (observées dans les stations côtières) témoignent de la dominance de quelques espèces dans le peuplement copépodique étudié (Fig. 6c).

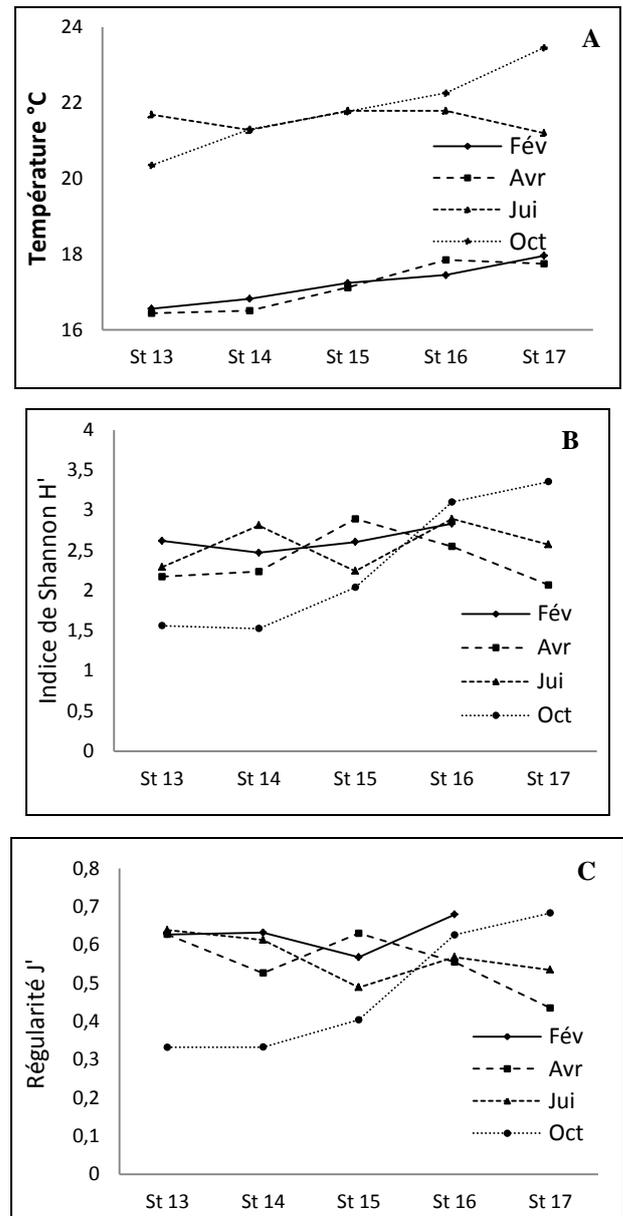


Figure 6. A. Variation spatio-temporelle de la richesse spécifique.
B. Variation de l'indice de diversité de Shannon (H').
C. Variation de la régularité (J').

Figure 6. A. Spatiotemporal variation in species richness.
B. Variation of the Shannon diversity index (H').
C. Variation in evenness coefficient (J').

Analyse statistique des données

L'analyse en composantes principales (ACP) normée a été utilisée pour visualiser la structure de la communauté de copépodes en relation avec quelques paramètres du milieu. Les variables pris en considération sont la température de surface, la concentration de la chlorophylle "a" des eaux de surface, les copépodes totaux, la richesse spécifique, l'indice de diversité de Shannon et le coefficient de régularité (Fig. 7).

Le plan factoriel F1/F2 représente une inertie totale de 80 %. La température, la densité des copépodes ainsi que la richesse spécifiques contribuent à la formation de l'axe F1 avec respectivement 23,4%, 25,5% et 24%. L'indice de diversité de Shannon et le coefficient de régularité contribuent fortement à la formation de l'axe 2 avec respectivement 28,3 et 39,9%. Pour la concentration de la chlorophylle "a", elle contribue équitablement à la formation des axes F1 (14,1%) et F2 (12,6%). Les copépodes et les teneurs en chlorophylle "a" évoluent dans le même sens et

sont corrélées positivement à l'axe 1 dont l'inertie est de 42 %. La température et les indices de structure (richesse spécifique, indice de diversité de Shannon et coefficient de régularité) évoluent dans un sens opposé. Les indices de structure présentent une corrélation négative avec l'axe 1.

La projection des stations d'échantillonnage au cours des quatre périodes d'études sur le plan formé par les deux premiers axes de l'ACP permet de mettre en évidence un gradient côte-large. Les stations 13 et 14 des mois de février, avril et juin s'isolent pour former une zone côtière. Cependant, les stations 13 et 14 du mois d'octobre se groupent séparément. Les stations 15, 16 et 17 s'agglomèrent pour former une zone du large pendant toutes les périodes.

La séparation entre les stations côte-large le long de cet axe est due surtout à la grande différence dans le nombre total des copépodes, la richesse spécifique et la concentration de la chlorophylle "a" entre ces groupes de stations.

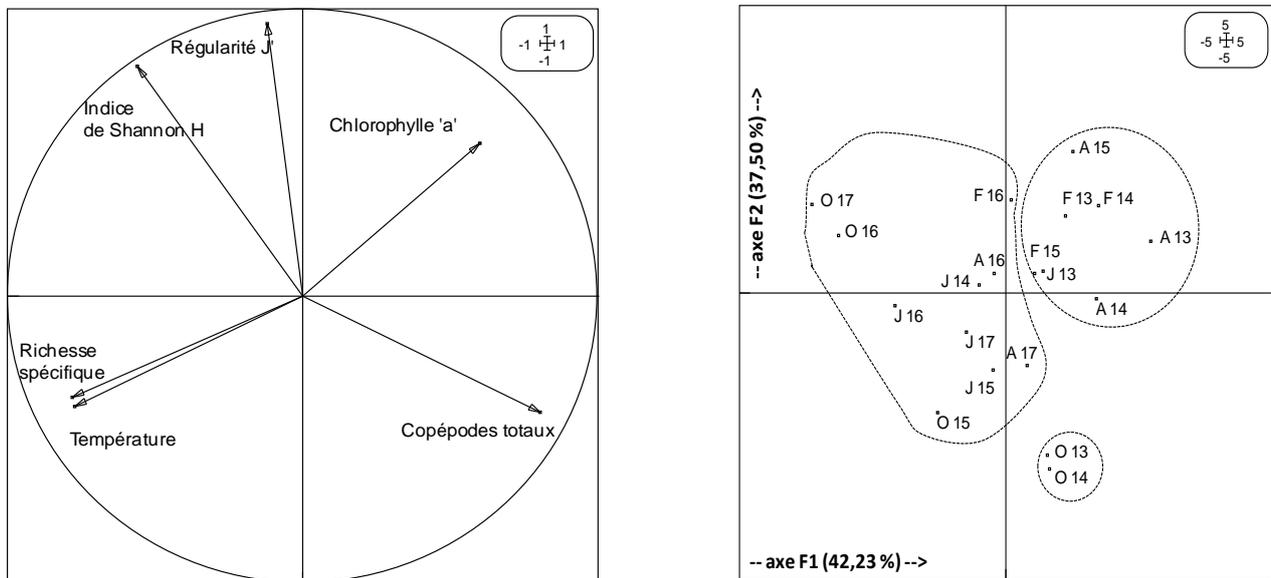


Figure 7. ACP normée des indices de structure et des paramètres physicochimiques et biologiques. (Cercles des corrélations des variables/Projection des stations sur le plan factoriel F1/F2).

Figure 7. Projection of community structure indices and physicochemical and biological parameters in the Principal Component Analysis (PCA) (correlation circles of variables / projection of stations in the factorial plan F1/F2).

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'organisation du zooplancton est une condition nécessaire pour survivre dans le milieu aquatique. Au cours, de cette étude, la structuration des copépodes a montré une forte dépendance de la structure côte-large. Les variations saisonnières des paramètres du milieu au niveau du filament d'upwelling Cap Juby, exercent un impact sur la diversité et l'abondance des copépodes qui s'y trouvent.

Les températures varient entre deux saisons : froide (février-avril) et chaude (juin-octobre). Aussi, les plus fortes concentrations en chlorophylle "a" sont enregistrées en février et avril. Par contre, les faibles concentrations en

chlorophylle "a" sont enregistrées en juin et en octobre, périodes au cours desquelles les plus fortes biomasses en zooplancton, alors qu'une diminution de la biomasse zooplanctonique est observée durant les autres périodes.

Ceci montre une certaine inversion entre le maximum de chlorophylle "a" et celui du zooplancton reflétant le décalage entre les productions primaire et secondaire. En effet, Furnestin (1957, 1976) a noté la même observation au large du Maroc, où un décalage important entre, d'une part, la remise en circulation des sels nutritifs et le développement du phytoplancton dans l'upwelling, au printemps et en été, et d'autre part, le développement maximal des populations herbivores qui n'a lieu qu'à l'automne, lorsque l'intensité des résurgences diminue.

Sur les 18 groupes du zooplancton identifiés, les copépodes constituent la fraction importante avec des pourcentages de 95%, 97%, 93% et 79% respectivement en février, avril, juin et octobre. Cette dominance est compatible avec les plus fortes valeurs citées par Thiriou 1978 ; Belfquih 1980 ; Chiahou & Ramdani 1997 ; Chiahou *et al.* 1998 ; Somoue *et al.* 2005 ; Salah *et al.* 2012). Le degré d'organisation des copépodes dans le filament d'upwelling de Cap Juby diffère entre les eaux côtières et les eaux du large. Au large, la diversité spécifique et la régularité sont plus élevées et la communauté est donc plus structurée. Dans les eaux du plateau marocain, Boucher (1987), Somoue (2004) ont souligné que la diversité spécifique est plus élevée dans les eaux du large par rapport aux eaux côtières. La communauté est donc moins structurée près de la côte sous la forte influence de l'upwelling et face aux conditions hydrologiques moins stables.

Les plus fortes richesses spécifiques sont enregistrées en juin et en octobre, saison où l'upwelling s'intensifie dans cette région. Cette richesse est expliquée par la remontée des eaux froides riches en espèces introduites (espèces d'eaux froides profondes) et liée principalement à l'augmentation de la biomasse zooplanctonique et de la densité des copépodes enregistrée durant ces deux périodes. Ceci a été observé dans les zones d'upwellings côtiers de Californie, où une diversité spécifique faible (richesse élevée) est liée à une augmentation de la biomasse.

La structure de la communauté des copépodes est liée, à des degrés variables, aux paramètres du milieu de la zone et aux conditions de l'environnement. Ces constatations sont en accord avec d'autres travaux, sur différents écosystèmes : la mer d'Alboran (Seguin *et al.* 1994) et les eaux frontales du courant de Benguela où les effets des upwellings sont intenses (Binet 1970). D'ailleurs, Longhurst (1967) a montré que la richesse spécifique augmente dans les eaux de mélange par advection ou par superposition verticale des masses d'eau. Plus près de la côte, où l'influence de l'upwelling est plus forte, les conditions hydrologiques sont moins stables ; dans ces conditions, la communauté subit plus de contraintes et elle est donc moins structurée.

L'étude de la communauté du zooplancton a montré que les copépodes est le groupe le plus abondant le long du filament de Cap Juby. Les indices de structures de ce groupe ont montré un gradient côte-large. Les mêmes constatations ont été rapportées dans un travail ultérieur sur le même filament (Salah *et al.* 2013). Une bande côtière a été définie par les traceurs des masses d'eau (température et salinité), les images satellites de la SST et de la chlorophylle "a". L'extension spatiale du filament n'atteint pas le large. Ces résultats ont confirmé les études récentes qui ont souligné la contribution relative des processus physiques et biologiques dans la formation et le maintien des structures spatiales du zooplancton (Lewis & Boers 1991, Hill 1995, Wiafe & Frid 1996, Alvarez-Cadena *et al.* 1998, Smith *et al.* 2001).

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée au laboratoire d'océanographie biologique de l'Institut National de Recherche Halieutique de Casablanca. Nous remercions toute l'équipe de l'INRH, ceux qui ont contribué à l'échantillonnage du matériel à

bord. Nos remerciements aussi pour Mr. A. ORBI qui était l'initiateur de ce programme de recherche.

REFERENCES

- Alvarez-Cadena J. N., Suarez-Morales E. & Gasca, R. 1998. Copepod assemblages from a reef-related environment in the Mexican Caribbean Sea. *Crustaceana*, 71, 411-433.
- Belfquih M. 1980. *Les copépodes du plateau atlanto-marocain. Un cycle annuel dans les zones d'upwelling*. Thèse Doct. 3ème cycle. Univ. Aix-Marseille I, 126 p.
- Binet D. 1970. *Aperçu sur les variations saisonnières du zooplancton et plus particulièrement des copépodes du plateau continental de Pointe Noire (Congo)*. Doc. Scient. Centre ORSTOM Pointe Noire, Nouvelle série, 8, 109 p.
- Boucher J. 1987. *Déterminisme et dynamique de la répartition spatiale des populations de copépodes des zones de résurgences côtières Nord-est Atlantique et du front liguro-provençal*. Thèse de Doct d'état, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, 174p.
- Bullard S. G. & Hay M. E. 2002. Plankton tethering to assess spatial patterns of predation risk over a coral reef and seagrass bed. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 225, 17-28.
- Chiahou B. & Ramdani M. 1997. Systématique et distribution saisonnière des copépodes pélagiques de la côte atlantique marocaine (région d'El Jadida), *J. Rech. Océanogr.*, 22, 3, 75-80.
- Chiahou B., Ramdani M. and Menioui M. 1998. *Structure biogéographique des copépodes des côtes marocaines*, Rapp. Comm. int. Mer Médit., 2, 406-407.
- Folt C. L. and Burns C.W. 1999. Biological drivers of zooplankton patchiness. *Trends Ecol. Evol.* 14, 300-305.
- Franks P. J. S. & Jaffe J. S. 2001. Microscale distributions of phytoplankton: initial results from a two-dimensionam imaging fluorometer, OSST. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 220, 59-72.
- Furnestin M. L. 1957. Chaetognathes et zooplancton du secteur atlantique marocain. *Rev. Trau. Inst. Pêches marit.*, 21, 356 p.
- Furnestin M. L. 1976. *Les copépodes du plateau continental marocain et du détroit canarien. I. Répartition quantitative*. Cons. int. Explor. Mer, CM 1976/L 8, 5p.
- Hill A. E. 1995. The kinematical principales governing horizontal transport induced by vertical migration in tidal flows. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 75, 3-13.
- Langhurst A.R. 1967. Diversity and trophic structure of zooplankton communities in the California. *Current Deep Sea Res.*, 14, 393-403.
- Levin S. A. 1992. The problem of pattern and scale in ecology, 73, 6, 1943-1967.
- Lewis J. B. & Boers J. J. 1991. Patchiness and composition of coral reef demersal zooplankton. *-J. Plankton Res.* 13, 1273-1289.
- Louis M., Bouchon C. & Bouchon-Navaro Y. 1995. Spatial and temporal variations of mangrove fish assemblages in Martinique (French West Indies). *Hydrobiologia*, 295, 275-284.
- Motoda S. 1959. Devices of simple plankton apparatus. *Memoirs Faculty of Fisheries. Hokkaido University*, 7, 73-94.
- Rollwagen-Bollens G. C. & Landry M. R. 2000. Biological response to iron fertilization in the eastern equatorial pacific (IronEx II). II. Mesozooplankton abundance, biomass, depth distribution and grazing. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 201, 43-56.
- Salah S., Ettahiri O., Berraho A., Benazzouz A., Elkalay K. & Errhif A. 2012. Distribution des copépodes en relation avec la

- dynamique du filament de Cap Ghir (Côte atlantique du Maroc). *Comptes rendus - Biologies* 335, 155-167.
- Seguin G., Errhif A. & Dallot S. 1994. Diversity and structure of pelagic copepod populations in frontal zone of the eastern Alboran Sea. *Hydrobiologia*, 292/293, 369-377.
- Shannon C. & Wiener E. 1949. *The Mathematical Theory of Communications*. Urbana Illinois Press. 125 p.
- Somoue L. 2004. *Structure des communautés planctoniques de l'écosystème pélagique de l'atlantique sud Marocain entre Cap Boujdor et Cap Blanc (26°30-21°N)*. Thèse de doctorat national, spécialité océanographie. 211 p.
- Somoue L., Elkhiafi N., Ramdani M., Lam Hoi T., Berraho A. & Do Chi T. 2005. Abundance and structure of copepod communities along the Atlantic coast of southern Morocco, *Acta adriat.*, 46 (1), 63-76.
- Swartzman G., Brodeur R., Napp J., Walsh D., Hewitt R., Demer D., Hun, G. & Logerwell, E. 1999. Relating spatial distributions of acoustically determined patches of fish and plankton: data viewing, image analysis, and spatial proximity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56, 188-198.
- Thiriou A. 1978. Zooplankton communities in the west African upwelling area. In: R. Boje, M. Tomzak (Editors). *Upwelling Ecosystems*, New York, pp. 32-61.
- Turner S. J., Hewitt J.E., Wilkinson M. R., Morrissy D. J., Thrush S. F., Cummings V. J. & Funnell G. 1999. Seagrass patches and landscapes: the influence of wind-wave dynamics and hierarchical arrangements of spatial structure on macrofaunal seagrass communities. *Estuaries*, 22, 1016-1032.
- Salah S., Errhif A., Berraho A., Benazzouz A., Makaoui A. & Ettahiri O. 2013. Contribution à l'étude de l'influence du filament d'upwelling de Cap Juby (Maroc) sur la distribution des copépodes. *J. Sci. Halieut.* 6, 207-220.
- Smith CL., Hill AE., Foreman MGG. & Pena MA. 2001. Horizontal transport of marine organisms resulting from interactions between diel vertical migration and tidal currents off the west coast of Vancouver Islands. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 58, 736-748.
- Wiafe G. & Frid C. L. J. 1996. Short-term temporal variation in coastal zooplankton communities: the relative importance of physical and biological mechanisms. *J. Plankton Res.* 18: 1485-1501.
- Wiens J. A. 1989. Spatial scaling in ecology. *Funct. Ecol.* 3: 385-397.
- Yousara F., Gaudy R., Moukrim A. & Moncef M. 2004. Variations spatio-temporelles du mésozooplancton de la région d'Agadir (Maroc) entre mai 1999 et décembre 2000, *Mar. Life* 14 (1-2), 3-18.

Manuscrit reçu le 20/06/2012

Version révisée acceptée le 07/07/2014

Version finale reçue le 28/07/2014

Mise en ligne le 12/09/2014