

# Table des matières

## Avant-propos

## Table des matières

Introduction générale	01
<b>Chapitre I : Matériel et méthodes</b>	<b>06</b>
1. Présentation de la Baie d'Annaba	06
2. Prélèvements et méthodes d'analyses chimiques	10
2.1. <i>Echantillonnage et choix des stations</i>	10
2.2. <i>Analyse des récoltes zooplanctoniques</i>	10
2.3. <i>Expression des résultats</i>	11
3. Analyses hydrologiques	12
4. Biomasse du zooplancton	12
4.1. <i>Biomasse en poids sec</i>	12
4.2. <i>Biomasse en carbone</i>	13
5. Analyses statistiques	13
6. Aperçu sur l'environnement physico-chimique lors du suivi du zooplancton	14

## RESULTATS

<b>Chapitre II : Le zooplancton total</b>	<b>18</b>
1. Composition et abondance du zooplancton	18
1.1. <i>Noctiluca scintillans</i>	23
1.2. <i>Copépodes et Cladocères</i>	24
1.3. <i>Le méroplancton</i>	27
1.4. <i>Cnidaires : Méduses et siphonophores</i>	29
1.5. <i>Appendiculaires et Chaetognathes</i>	30
1.6. <i>Dolioles et Salpes</i>	32
1.7. <i>Divers</i>	33
2. Biomasse du zooplancton.	33

<b>Chapitre III : Les Copépodes</b>	<b>35</b>
1. Composition des Copépodes	35
2. Abondance des Copépodes	36
2.1. Principaux taxons	36
3. Diversité et structure démographique	43
4. Analyses statistiques	44
<b>Discussion</b>	<b>48</b>
<b>Conclusion</b>	<b>53</b>
<b>Références</b>	<b>55</b>
<b>Résumés</b>	<b>62</b>
<b>Annexe</b>	<b>65</b>

# **INTRODUCTION**

## Introduction

Les zones côtières constituent des espaces d'interface entre la mer, la terre et l'atmosphère. Ces zones sont très productives bien qu'elles ne représentent que 7% de la surface des mers (Walsh, 1988; Nixon, 2003). Situées à l'embouchure des rivières, ces zones côtières agissent comme de véritables fronts hydrologiques, et sont caractérisées par d'importantes concentrations en nutriments et une forte production primaire (Levin *et al.*, 2015; Newton *et al.*, 2012) et présentent un intérêt biologique majeur. Leur niveau de production secondaire est très élevé, et sont peuplées par des communautés animales le plus souvent composées d'espèces à croissance rapide et à forte productivité (Gaudy *et al.*, 2003). De plus, elles constituent un lieu de passage obligatoire pour de nombreux organismes marins à un moment particulier de leur cycle biologique (Day *et al.*, 1989), ce qui contribue encore à accroître l'importance de la biomasse présente. L'ensemble de ces caractéristiques place les zones marines côtières situées à l'embouchure des fleuves parmi les écosystèmes les plus productifs de la planète (Béthoux *et al.*, 1998; Durrieu de Madron *et al.*, 2011) et explique l'intense exploitation dont elles font l'objet dans le monde entier. Dans le contexte socio-économique actuel, avec l'émergence d'une conscience collective de la nécessité d'une gestion rationnelle des ressources vivantes marines, mieux comprendre leur fonctionnement est devenu une priorité. Les apports continentaux s'y superposent aux éléments nutritifs déjà présents dans le milieu marin et influencent de façon considérable la productivité et le fonctionnement de ces écosystèmes (Bosc *et al.*, 2004 ; Montagna *et al.*, 2002). De plus, les crues conjoncturelles injectent également de fortes quantités de matière organique particulière et divers particules d'origine terrestre. Son influence sur la dynamique temporelle des communautés marines à l'embouchure peut s'avérer primordiale, notamment dans le cas de mers semi-ouvertes ou oligotrophes comme la Méditerranée (Caddy, 2000 ; Durrieu de Madron *et al.*, 2011; Margalef, 1985).

Plus en amont, au niveau du bassin versant alimentant la zone côtière, la surexploitation des eaux souterraines, le drainage des zones humides, la construction des barrages, la déforestation et l'érosion des sols agricoles (Vörösmarty & Sahagian, 2000), occasionnent d'importantes influences sur ces systèmes côtiers déjà fragiles du fait de leurs faibles profondeurs. En dépit de ces perturbations, la relation directe entre les apports hydriques de nutriments fluviaux et de la productivité biologique des écosystèmes marins est universellement bien établit (Estrada, 1996 ; Tsai *et al.*, 1997,

Daskalov, 1999 ; Lloret *et al.*, 2004). En tant que zones de transitions entre le continent et la mer ouverte, les zones côtières forment des écosystèmes particuliers, caractérisés par d'intenses échanges et transformations chimiques, physiques et biologiques (Telesh, 2004). Elles constituent donc de véritables zones filtres (Lisitzin, 1999; Conley *et al.*, 2000 ; Canton *et al.*, 2012; Hallas and Huettel, 2013) en piégeant les nutriments et les contaminants et par les transformations biologiques de la matière introduite à la côte. Sur un autre plan écologique, des relations directes entre l'importance des apports en eaux douces et les nutriments qui s'en issus et la production biologique littorale sont maintenant bien établis (Deegan *et al.*, 1986; Budgen *et al.*, 1982; El-Sayed et van Gert, 1995; Estrada, 1996; Tsai *et al.*, 1997; Postel *et al.*, 1998; Daskalov, 1999). L'environnement côtier peut donc être hautement contrôlé par les enrichissements en nutriments d'origines fluviale et estuarienne.

Pour comprendre la dynamique des écosystèmes côtiers, il est important d'étudier la structure et la fonction du compartiment zooplanctonique (Gaudy *et al.*, 2003). Les premières études sur la structure spatiale du zooplancton remontent à la fin du 19<sup>e</sup> siècle (Hensen 1884). Elles se sont multipliées depuis les années 1960 (Cassie, 1963 ; Frontier, 1973 ; Fasham *et al.*, 1974 ; Lewis, 1978). En raison de leur proéminence dans les eaux océanique et côtière et à leur distribution géographique, les organismes zooplanctoniques forment des indicateurs biologiques importants dans l'environnement marin. En effet, les communautés zooplanctoniques sont souvent le plus fidèle moyen de caractériser des masses d'eaux d'origine différente (Seguin, 1973 ; Furnestin, 1977) et d'évaluer les influences océaniques et côtières de l'environnement (Webber *et al.*, 2005 ; Suárez-Morales *et al.*, 1999). En effet les communautés zooplanctoniques sont très sensibles et très réactives aux perturbations de l'environnement (Harris *et al.* 2000). Dans la plupart des cas, une modification des populations zooplanctoniques reflète un changement des conditions hydroclimatiques. Pour cette raison, de nombreux auteurs ont suggéré d'utiliser le zooplancton comme indicateur du changement global (Beaugrand *et al.*, 2002 ; Fernandez de Puelles *et al.*, 2004 ; Mackas *et al.*, 2004). Le zooplancton, de part son importance dans la chaîne trophique et sa sensibilité aux modifications climatiques, est depuis peu utilisé pour évaluer l'impact du changement global sur l'écosystème marin (Hays *et al.*, 2005).

Les peuplements zooplanctoniques jouent un rôle pivot dans les réseaux trophiques de l'écosystème marin en véhiculent la matière organique vers les niveaux trophiques

supérieurs. L'importance du plancton au point de vue de l'économie générale de la mer a été reconnue pratiquement déjà par les pêcheurs italiens du Moyen Age : «qui dit poissons, dit plancton». De simples praticiens ont décelé ainsi, depuis des siècles, les relations étroites qui existent entre l'abondance du plancton et le rendement des pêches qui les faisaient vivre. Toutefois l'importance du plancton au point de vue alimentaire ne se limite pas aux poissons, mais intéresse l'ensemble de la biocénose marine (non autotrophes), qu'elles soient des formes benthiques, nectoniques ou pélagiques (Moriarty et O'Brien, 2013; Kimmel *et al.*, 2015). De part l'indication hydrologique qu'apporte le zooplancton, quelques taxons zooplanctoniques marins constituent aussi des sources nutritives pour beaucoup de poissons d'aquaculture (Barnabé, 1986). En effet, dans le bassin algérien et dans presque la totalité de la Méditerranée, les anchois et la sardine se nourrissent principalement de copépodes et, dans une moindre mesure, les cladocères et les appendiculaires (Sharif *et al.*, 2016 ; Bacha and Amara, 2009; Morote *et al.*, 2010).

Concernant la biomasse du zooplancton, Champalbert (1996) souligne le manque sensible de données de biomasse du zooplancton Méditerranéen. Par ailleurs, la plupart des recherches ont été effectuées dans différents régions avec des objectifs spécifiques et diverses stratégies, types de filets et la taille des mailles, et différentes profondeurs d'échantillonnage. En général, Les valeurs les plus élevées de la biomasse sont rencontrées dans les régions frontales ou zones d'upwelling saisonnier, où le mélange de l'eau apporte des nutriments à la surface (Siokou-Frangou *et al.*, 2010). Dans les eaux chaudes et oligotrophes, les études sur la dynamique du zooplancton sont rares ou inexistantes (Fernández de Puelles *et al.*, 2003).

Malgré ce rôle clé, le zooplancton des côtes algériennes est peu connu. Ainsi, l'estimation de l'abondance et la biomasse du zooplancton sont essentielles pour comprendre la circulation des aliments et de l'énergie et la productivité marine. Malgré les nombreuses recherches de ces dernières décennies, la dynamique du zooplancton dans la mer Méditerranée reste encore peu connue (Siokou-Frangou *et al.*, 2010) et les recherches exploratoires de base restent encore nécessaires.

La baie d'Annaba est une zone côtière singulière en Algérie du fait qu'elle bénéficie des apports de deux importantes rivières-estuaires (Seybouse et Mafragh ; Ounissi *et al.*, 2014). La baie est également exposée à des problèmes de pollutions (Ounissi et Frehi, 1999; Ounissi *et al.*, 2008) induite par les rejets domestiques et industriels directs. Les

rejets industriels (à partir d'une grande usine d'engrais : FERTIAL) fournissent chaque jour plus de 1 million de m<sup>3</sup> d'eau chaude chargée de phosphate et d'ammonium. En raison de la forte urbanisation autour de la baie (plus de 1 million d'habitants), les apports domestiques directes et non traitées (près de 0,3 million de m<sup>3</sup> par jour d'eaux usées chargées de phosphate d'ammonium) ont augmenté de façon spectaculaire ([Frehi et al., 2007](#); [Ounissi et al., 2014](#)). Les panaches des rivières sont relativement limités à seulement quelques kilomètres, mais en période des crues, la zone de dilution peut atteindre l'entrée de la baie dans la partie nord-ouest, comme l'a indiqué [Ounissi et al. \(1998\)](#). L'entrée de la baie d'Annaba est soumis à l'intrusion de l'eau de l'Atlantique modifiée (MAW), qui peut renouveler et diffuser les apports terrestres.

Si le phytoplancton, les caractéristiques physiques et chimiques de la baie ont été relativement bien traités ([Ounissi et Frehi, 1999](#); [Frehi et al., 2007](#); [Ounissi et al., 2014](#)), il n'y a que deux études sur le zooplancton : zooplancton de surface en condition d'eutrophisation de la baie par [Ounissi et al. \(1998\)](#) et la structure de copépodes de la baie d'Annaba et de la côte tunisienne adjacente étudié par [Khélifi-Touhami et al. \(2007\)](#). Dans l'ensemble, depuis les travaux pionniers de [Rose \(1925\)](#) et [Bernard \(1955\)](#) qui étaient limités au zooplancton d'Alger, très peu d'études ont été réalisées. Plus récemment, [Riandey et al. \(2005\)](#) a étudié l'effet des caractéristiques hydrodynamiques sur la dynamique du zooplancton dans le bassin algérien (dans le cadre du programme-cadre interdisciplinaire, fin Juillet et début Août 1997). En outre, [Hafferssas and Seridji \(2010\)](#) ont étudié les communautés des copépodes du bassin algérien dans le contexte de la campagne Mediprod VI de Juin 1990. Il n'existe cependant pas de données sur l'abondance annuelle du zooplancton, la biomasse, la diversité et la composition des espèces. De plus, ces études présentent de différences dans le matériel d'échantillonnage, la période de prélèvement, la profondeur d'échantillonnage et les méthodes d'estimation de la biomasse du zooplancton.

L'objectif de ce travail est de :

- (i) analyser la composition et l'abondance du zooplancton de la baie soumise aux influences des apports estuariens,
- (ii) comparer les résultats avec ceux réalisés il y a 20 et 10 ans dans le but de déceler de possibles changements des populations et de leur environnement,
- (iii) évaluer pour la première fois la biomasse du zooplancton côtier sur plusieurs cycles annuels.

Après une introduction qui situe l'importance du plancton côtier, justifie son étude dans la baie d'Annaba et précise les objectifs attendus, ce travail est structuré en trois chapitres. Le chapitre I présente la baie d'Annaba avec son contexte environnemental. Il donne également les méthodes de collecte, de traitement, d'analyse des récoltes zooplanctoniques et d'estimation de la biomasse du zooplancton total. Ce chapitre s'achève avec une brève description des analyses statistiques utilisées.

Le chapitre II donne la composition globale et spécifique du zooplancton et fournit également des données de biomasses du zooplancton total.

Le chapitre III traite avec plus de détail les Copépodes, groupe le plus abondant et le plus diversifié du zooplancton. Il y décrit la variabilité saisonnière des principales espèces, des modifications de leur structure et de leur diversité dans les aires côtières étudiées.

La thèse s'achève par une discussion générale qui pondère les résultats et explique leurs significations au plan local et régional méditerranéen. Enfin, les principales conclusions auxquelles ce travail est aboutit sont fournies et hiérarchisées selon les résultats.

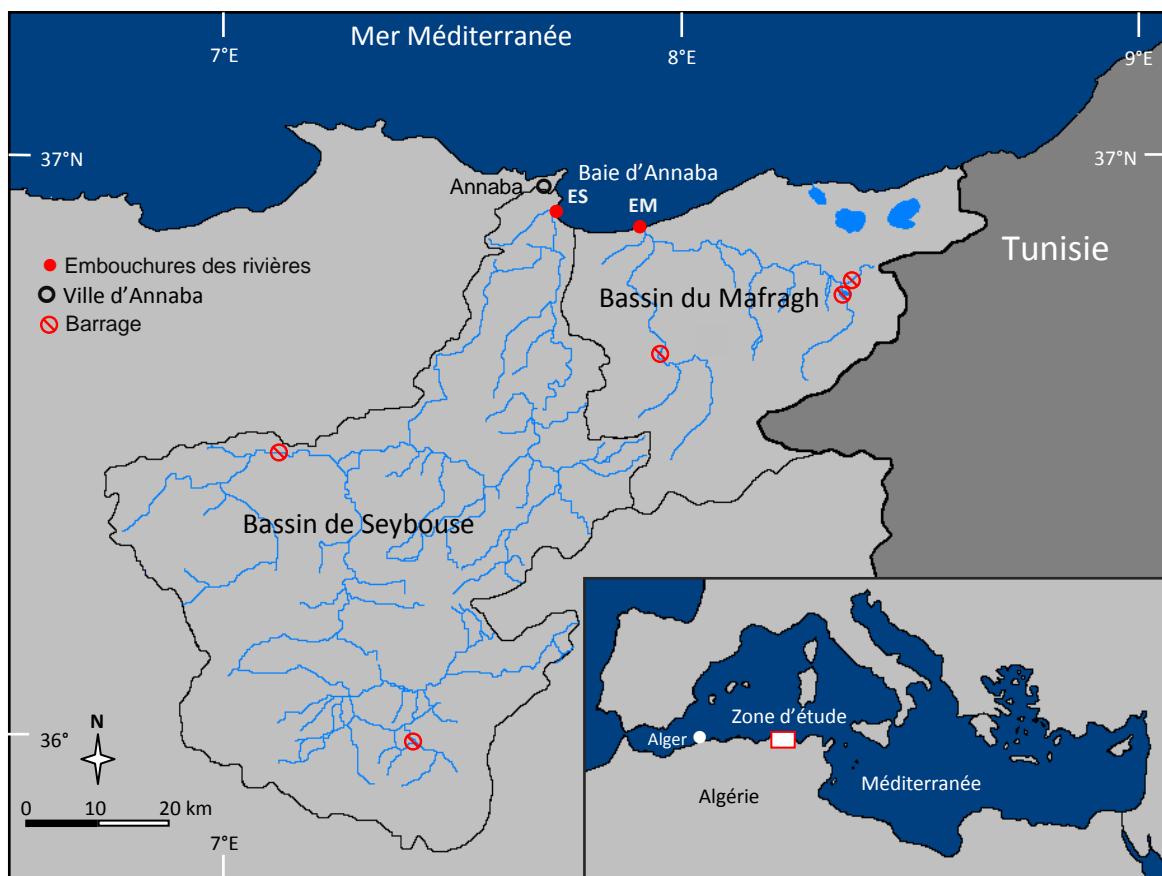
# **CHAPITRE I**

# **MILIEU ET METHODES**

## Chapitre I : Milieu et méthodes

### 1. Présentation de la Baie d'Annaba

La baie d'Annaba s'étend sur un large plateau continental allant, depuis la côte, jusqu'à 40 km et reçoit les apports à l'Est par la rivière-estuaire du Mafragh et à l'Ouest par la rivière-estuaire de Seybouse (Fig. 1). Les eaux du large y pénètrent, à travers une veine du courant atlantique modifié (Modified Atlantic Water : MAW) permettent un certain renouvellement des eaux intérieures de la baie (Ounissi *et al.*, 1998). Ces avantages océanographiques sont contrastés par les rejets industriels (Fertial en particulier) et domestiques de la ville d'Annaba, fortement urbanisée avec près d'un million d'habitants. Si les influences naturelles (apports continentaux, courant permanent) ont pour effet le renouvellement hydrologique et la fertilisation du milieu (Fréhi, 1995 ; Ounissi et Fréhi, 1999; Gouiez, 2006; Ziouch, 2007; Ziouch, 2014), les rejets urbains et industriels ramènent à la côte Ouest des masses considérables de sels nutritifs et de matières organiques (Saker, 2007; Khammar, 2007; Laabed *et al.*, 2006 ; Ounissi *et al.*, 2007).



**Figure 1.** Baie d'Annaba et ses bassins versants. ES : embouchure de Seybouse ; EM : embouchure de Mafragh.

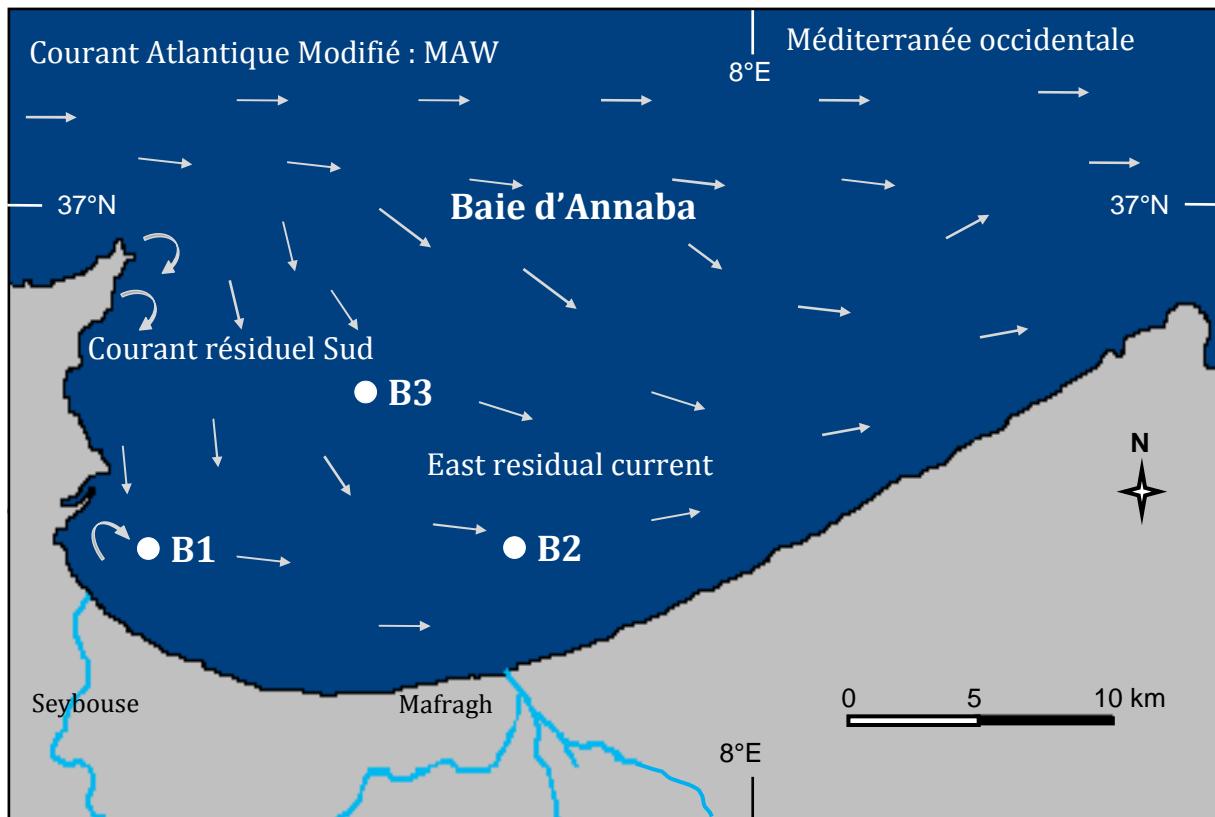
La zone Est de la baie n'est pas totalement épargnée de ces influences anthropiques mais semble plutôt sous la dépendance des relations d'échanges avec l'estuaire du Mafragh. En effet, le panache du Mafragh lors des crues s'étend sur plusieurs dizaines de kilomètres carrés entraînant d'importantes quantités de sédiments, de matières en suspension, de sels nutritifs et de divers contaminants terrestres. En période d'ouverture de l'estuaire (Fig. 3), la frange côtière est renouvelée et enrichie par les flux estuariens au gré d'une marée biquotidienne, permettant un échange de 20 millions de m<sup>3</sup> par jour (Khélifi-Touhami *et al.*, 2006). En phase de fermeture de l'estuaire (qui dure selon la pluviométrie, quelques jours à quelques mois), la côte n'est soumise qu'aux conditions atmosphériques, courant atlantique modifié et aux apports par les sources émergées du massif dunaire.

Le secteur Sud Ouest de la baie est sous la triple influence des apports de Seybouse, des rejets industriels (Fertial : grand complexe de production de fertilisants) et des rejets urbains de la ville d'Annaba et de ses agglomérations. Si les apports diffus de Seybouse enrichissent ce secteur (Aounallah, 2015) et alimentent la baie en nutriments et en sédiments, les rejets urbains (Khammar, 2007) et industriels (Saker, 2007) se déversant directement sans traitement sont susceptibles de provoquer des situations d'eutrophisation qui perdurent presque toute l'année (Fréhi *et al.*, 2007 ; Ounissi *et al.*, 1998).

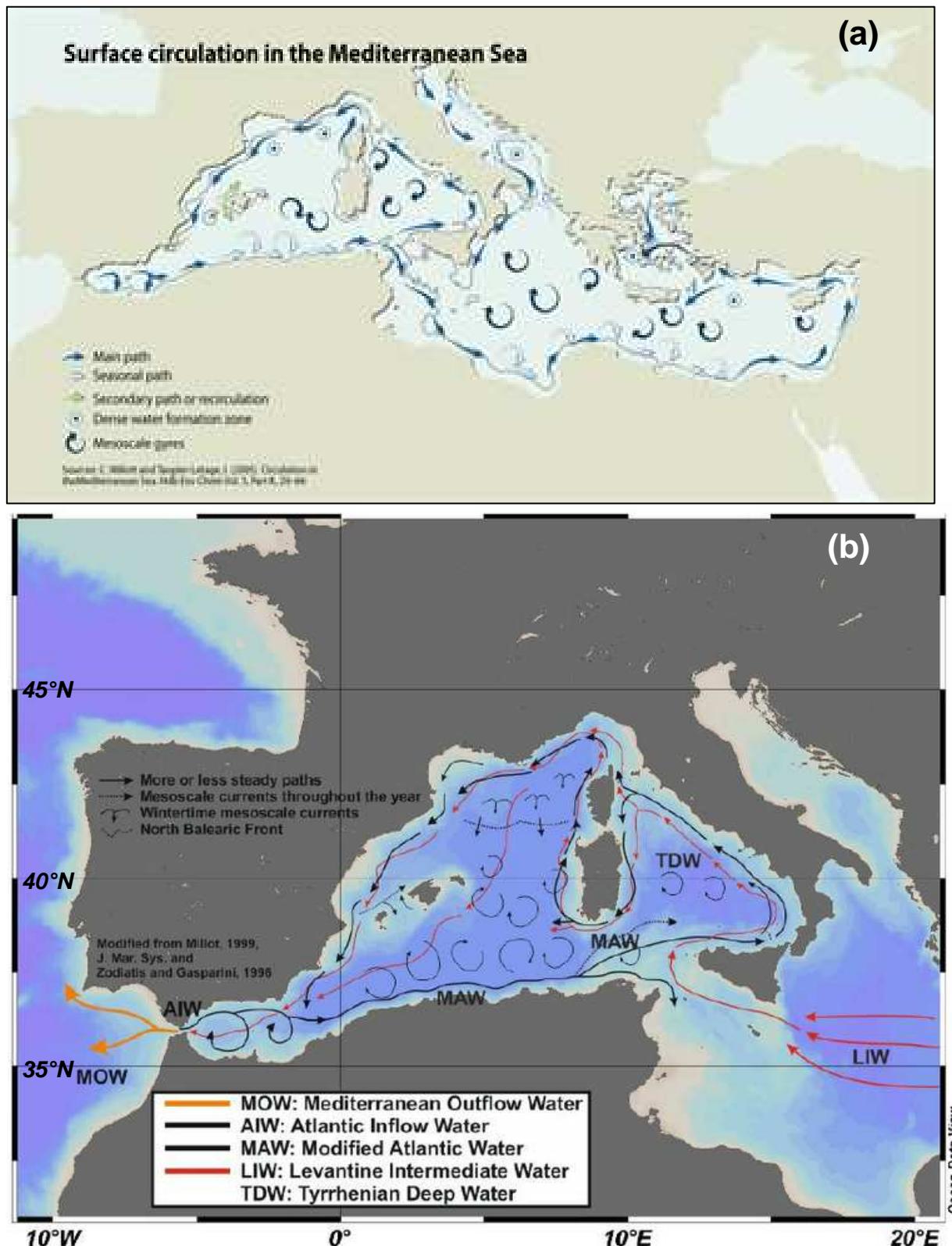
Le régime des courants côtiers affectant la baie d'Annaba a été étudié par le LCHF (1976) en utilisant des moyens de mesure différents et en exploitant les renseignements extraits des instructions nautiques. Les résultats de l'étude signalent l'existence d'un courant général dirigé vers l'Est (orientation 100°-120°), pouvant atteindre 0,5 à 1,25 m/s et passant à quelques milles au large (Fig. 2). Il s'agit du courant atlantique modifié (MAW) décrit dans plusieurs travaux de Millot (cf Millot, 1999; Millot et Taupier Letage, 2005) et schématisé à la figure 3. Il existe un autre courant résiduaire de 0,25 à 0,75 m/s qui circule plus près de la côte entre le cap de Garde et l'Oued Mafragh, prenant une direction Sud (150°-180°) et qui pourrait s'annuler au cours des tempêtes d'Est (LCHF, 1976).

Prés des côtes, de longs tourbillons apparaissent prenant une direction Est (90°-100°) avec une faible vitesse variant de 0,10 à 0,25 m/s. En revanche, en période de crues ou par tempête d'Est, les eaux coulent vers le Nord (LCHF, 1976 ; Ounissi *et al.*, 1998).

D'autre part, la baie d'Annaba est battue par les vents Nord à Nord Ouest de la fin de l'automne jusqu'à la fin du printemps et par un vent d'Est en été. La côte Sud Est particulièrement exposée aux vents du Nord, est sujette à de forts transports et accumulations sédimentaires.



**Figure 2. (a) :** Circulation de surface affectant la baie d'Annaba (d'après LCHF, 1976 ; Ounissi *et al.*, 1998). B1, B2 et B3 : stations échantillonnées dans la présente étude.



**Figure 3.** (a) : Circulation de surface en Méditerranée (d'après [Millot et Taupier Letage, 2005](#)) et (b) : différents courants (y compris le courant atlantique modifié: MAW) affectant la Méditerranée occidentale (d'après [Millot, 1999](#)).

## 2. Prélèvements et méthodes d'analyses chimiques

### 2.1. Echantillonnage et choix des stations

Le zooplancton de la région côtière a été récolté dans 3 stations différemment soumises aux influences des apports terrigènes stations sont placées ([Tableau 1](#)) selon un plan d'échantillonnage à station B1 est située dans Le panache de Seybouse, cependant que située dans le panache de Mafragh. La station B3 située au centre plutôt sous l'action des branches résiduaires du Courant Modifié. Le positionnement, la distance à l'embouchure, la nature du fond de l'ensemble de ces stations sont indiquées au ([B1, B2 et B3](#)) ([Fig. 2 et 3](#)). Les choix raisonné. La la station B2 est de la baie est Atlantique profondeur et la tableau 1.

**Tableau 1.** Caractéristiques géographiques des stations marines étudiées.

	Positionnement (latitude, longitude)	Profondeur (m)	Nature du fond (descriptive)	Distance aux embouchures (km)
Station B1	N 36°51.856' E07°47.130'	06	Rocheux-vaseux	1, 2
Station B2	N36°51.925' E07°58.122'	19	Rocheux-vaseux	3
Station B3	N36°54.411' E07°58.036'	40	vaseux	7

### 2.2. Analyse des récoltes zooplanctoniques

Les échantillons sont conservés à bord dans une solution de formol à 4% et colorés au rose Bengal. Le tri est effectué dans une cuve de Dollfuss sous microscopique de routine (Olympus CH 20) au grossissement G x 3,2 et G x 10. Lorsque c'est nécessaire pour l'identification, les spécimens sont isolés, posés sur une goutte glycérinée entre lame et lamelle et observés au grossissement G x 40 ou même G x 100. Le comptage est réalisé sur 3 sous fractions représentant 20-50% du volume de la récolte, selon la densité du zooplancton. L'identification jusqu'à l'espèce a concerné les copépodes, les cladocères, les Siphonophores et les méduses. Quand cela était possible, l'identification s'étendait partiellement à d'autres groupes habituellement faiblement représentés.

Les ouvrages utilisés pour l'identification sont:

[Russell \(1977, 1981\)](#) ; [Tregouboff et Rose \(1978\)](#) ; [Bjornberg \(1981\)](#) ; [Malt \(1983\)](#) ; [Pagès et al. \(1992a, 1992b\)](#) ; [Bradford \(1994\)](#) ; [Williams et Wallace \(1975\)](#) ; [Bowman et al. \(1971\)](#) ; [Boxshall \(1977\)](#). S'ajoutent à ces ouvrages de base plusieurs publications et plusieurs sites web :

<http://copepodes.obs-banyuls.fr/en>;  
<http://www.imas.utas.edu.au/zooplankton/image-key/copepoda>);  
<http://marinebio.org/oceans/zooplankton>;  
<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=104683> (World Register of Marine Species);  
<http://www.biodiversitylibrary.org/>;  
<http://species-identification.org/index.php> (Marine Species identification portal);  
<http://naturalhistory.si.edu/> (Smithsonian National Museum of Natural History);  
<http://www.eol.org/> (Encyclopedia of Life).

### 2.3. Expression des résultats

La densité ( $d$ ) du zooplancton est donnée (nombre d'individus par  $\text{m}^3$  ou ind.  $\text{m}^{-3}$ ) par l'équation suivante.

$$d = (n \cdot V_{re}/v_{se})/(s \times l)$$

avec  $n$  la moyenne du nombre d'individus comptés sur les 3 fractions,

$V_{re}$  le volume récolté (en mètre cube),

$v_{se}$  le volume de la fraction (en millilitre),

$s$  la surface d'ouverture du filet ( $0,25 \text{ m}^2$ ),

$l$  la longueur du trait en mètre.

La dominance  $D$  ou fréquence relative correspond au rapport entre le nombre d'individus  $n$  d'un groupe ou espèce donné et le nombre total d'individus  $N$  correspondant.

$$D = n \times 100/N$$

L'indice de diversité de Shannon  $H'$  est une application aux communautés naturelles de la théorie de l'information élaborée par [Shannon et Weaver \(1949\)](#) et établie pour les télécommunications. L'indice de diversité de Shannon représente l'entropie du système ( $H'$ ) et se calcule de la façon suivante :

$$H' = -\sum pi \log_2 pi$$

Avec  $pi$  la fréquence relative pour l'espèce  $i$ .

Bien que couramment utilisé, cet indice présente une certaine sensibilité aux espèces rares et il donne aussi une image instantanée sur la structure des peuplements.

### 3. Analyses hydrologiques

Les paramètres de qualité générale des eaux tels que la salinité, la température les sels nutritifs (nitrates :  $\text{NO}_3^-$ ; nitrites :  $\text{NO}_2^-$ ; ammonium :  $\text{NH}_4^+$ ; phosphates :  $\text{PO}_4^{3-}$ ; l'azote inorganique dissous : NID) ; l'azote organique dissous (NOD) et la biomasse chlorophyllienne phytoplanctonique (Chl *a*) ont été dosés sur des échantillons d'eaux de surface et de fond conformément au protocoles d'analyses de [Parsons et al., \(1989\)](#) ; [Aminot et Chaussepied \(1983\)](#) ; [Lorenzen \(1967\)](#), comme présentés au [tableau 3](#).

Les eaux de fond sont prélevées à l'aide d'une bouteille à renversement type Niskin. Les méthodes d'analyses de ces éléments chimiques et biochimiques sont succinctement résumées dans le [tableau 3](#). La température et la salinité ont été relevées par un multiparamètre de type WTW197i.

L'ensemble de ces paramètres chimiques et biochimiques renseignent sur la qualité générale des eaux et sont toujours considérés dans les programmes de surveillance des environnements côtiers.

**Tableau 2.** Résumé des méthodes d'analyses des éléments chimiques et biochimiques.

Eléments	Méthodes	Références
Azote ammoniacal ( $\text{NH}_3^+$ + $\text{NH}_4^+$ )	Dosage spectrophotométrique ( $\lambda = 630 \text{ nm}$ )	<a href="#">Parsons et al. (1989)</a>
Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )	Dosage spectrophotométrique ( $\lambda = 543 \text{ nm}$ )	<a href="#">Parsons et al. (1989)</a>
Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )	Réduction des nitrates en nitrites et dosage spectrophotométrique des nitrites ( $\lambda = 543 \text{ nm}$ )	<a href="#">Parsons et al. (1989)</a>
Phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	Dosage spectrophotométrique : ( $\lambda = 885 \text{ nm}$ )	<a href="#">Aminot et Chaussepied (1983)</a>
Azote Organique Dissous (NOD)	Minéralisation en milieu basique et dosage indirecte de l'équivalent en nitrates Dosage spectrophotométrique : ( $\lambda = 885 \text{ nm}$ )	<a href="#">Parsons et al. (1989)</a>
Chlorophylle <i>a</i> (Chl <i>a</i> )	Méthode spectrophotométrique	<a href="#">Lorenzen (1967)</a>

### 4. Biomasse du zooplancton

#### 4.1. Biomasse en poids sec

Au total, 72 échantillons de zooplancton ont été recueillis mensuellement de janvier 2009 à mars 2011 dans les trois sites marins. Le filet largué jusqu'au près du fond et tiré jusqu'à la surface selon un trait vertical. Le filet et ensuite rincé doucement et les collectes ont été transférées dans des bouteilles en plastique. Deux sous-échantillons de 30 ml (6 à 15% du volume total de la récolte) ont été immédiatement filtrés sur des

filtres en verre préalablement séchés à 500°C pendant 2 h pour en éliminer toute forme organique et ensuite pré-pesés pour la mesure de poids sec du zooplancton. Ces filtres ont été séchés à 60°C pendant 48 heures et ensuite pesés. Pour chaque filtre, le poids sec du zooplancton a été obtenu en soustrayant le poids final du filtre (filtre + échantillon de zooplancton) du poids initial du filtre et les résultats ont été exprimés en poids sec (mg PS m<sup>-3</sup>) en fonction du volume d'échantillon (200-500 ml) et le volume d'eau de mer qui a été filtré à travers le filet WP<sub>2</sub> (3-12 m<sup>3</sup> selon la station). Le reste de l'échantillon a été fixé par addition de formaldéhyde à une concentration finale de 4% pour être analysé numériquement.

#### 4.2. Biomasse en carbone

Comme pour la détermination du poids sec, 2 sous-échantillons de 30 ml (6 à 15% du volume total de l'échantillon) sont immédiatement filtrés sur des filtres en verre pré-pesés, grillés (500 ° C pendant 2 h) et analysés en tant que carbone particulaire. Le dosage du carbone particulaire selon la méthode de Le Corre est décrit dans le manuel de [Aminot et Chaussepied \(1983\)](#). La méthode est aussi décrite en détail par [Strickland et Parsons \(1968\)](#) ; elle permet d'évaluer la matière organique particulière dans l'eau de mer sous la forme d'équivalents en carbone. La matière organique recueillie sur un filtre en fibres de verre est oxydée par le mélange sulfochromique. L'oxydant en excès est dosé en retour par une solution de Fe(II). L'étalonnage est réalisé à partir de solutions de glucose. On obtient donc des équivalents en carbone de glucose. La simplicité peut la faire préférer aux méthodes plus précises basées sur la combustion de la matière organique (analyseur infrarouge et analyseur CHN) mais nécessitant un matériel plus sophistiqué.

### 5. Analyses statistiques

La Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) est une technique d'analyse multidimensionnelle utilisée pour trouver des ressemblances possibles entre les espèces de copépodes selon leurs abondances dans les différentes stations en 2009 et 2010 et le regroupement (clusters) des contingents similaires. La distance 1-coefficient de corrélation de Pearson ( $d = 1 - r$ ) a été utilisée pour comparer l'abondance des espèces de 63 échantillons avec CHA. Cette distance  $d$  varie entre 0 et 2 et compare le rapport de

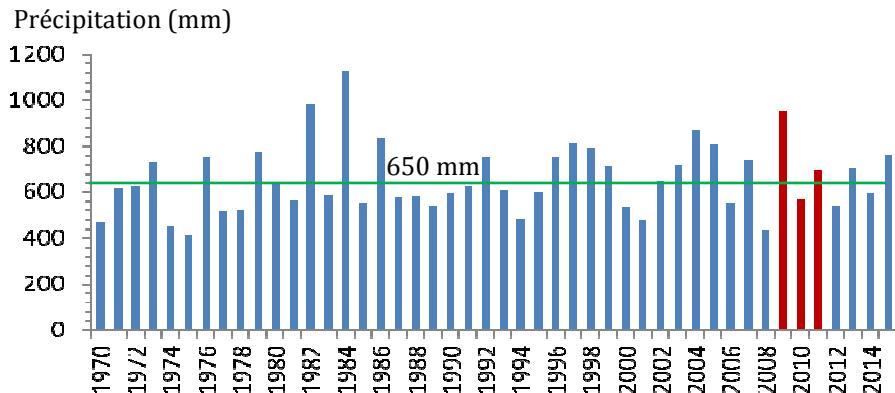
la covariance et l'écart type de deux objets (espèces) (Kaufman and Rousseeuw, 1990). Le Logiciel statistique Statistica 8 a été utilisé pour réaliser la CHA.

La CHA a été appliquée à la matrice de données construite à partir de 13 colonnes (abondance des principales espèces de copépodes) qui correspond à 63 lignes : 33 échantillons des trois stations pour 2009 et 30 échantillons des trois stations pour 2010. L'analyse factorielle des correspondances (AFC) est une technique de statistique multidimensionnelle utilisée pour déterminer les co-variations entre les taxons zooplanctoniques et leur environnement physico-chimique. L'AFC présente plusieurs avantages par rapport aux autres techniques multidimensionnelles telles que l'analyse en composantes principales (ACP) et elle est plus appropriée aux données collectées selon un plan d'échantillonnage à choix raisonné. La présentation des variables et des objets ensemble dans un même graphique, facilite l'interprétation des nuages de points et des associations possibles. Non seulement l'AFC est une double ACP sur les variables (colonnes) et les objets (lignes), mais permet également une comparaison des lignes ou des colonnes avec une distance de Khi-deux qui pondère bien les données. En outre, la normalisation des données (qui déforme souvent la réalité) n'est pas aussi nécessaire comme pour l'ACP (Dervin, 1988).

Ainsi, une analyse de correspondance a été utilisée pour déterminer les co-variations possibles de l'abondance totale de zooplancton ; la biomasse du zooplancton total; l'abondance des copépodes ; la diversité de copépodes; l'abondance de 10 principales espèces de copépodes; et les paramètres de l'environnement (température, salinité et Chl *a*) dans les stations marines durant 2009 et 2010. Le logiciel de statistique Statistica 8 a été utilisé pour effectuer cette analyse de correspondances.

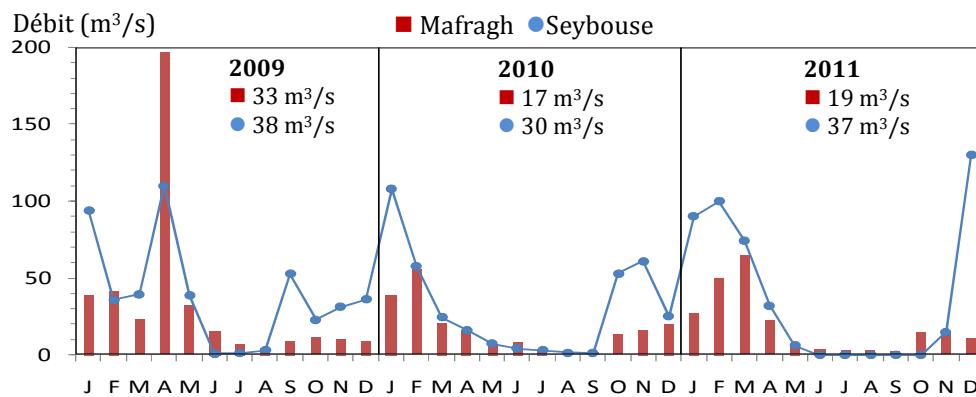
## 6. Aperçu sur l'environnement physico-chimique lors du suivi du zooplancton

La pluviométrie directe et indirecte et le flux d'eau douce introduit à la mer à travers les embouchures de rivières sont des facteurs hydrologiques déterminant pour la productivité marine côtière. La précipitation interannuelle à long terme (1970-2015) sur la région d'Annaba est donnée à la [figure 4](#). La précipitation moyenne sur la région est de l'ordre de 650mm en deçà de laquelle on considère que l'année est sèche et au-delà, l'année est humide. On remarque sur la [figure 4](#) que l'année 2009 est exceptionnellement pluvieuse et que l'année 2010 est considérée comme sèche.



**Figure 4.** Précipitation dans la région d'Annaba (d'après l'office national de météorologie, station météorologique d'Annaba) pour la période 1970-2015. La ligne verte désigne la précipitation moyenne en deçà de laquelle on considère que l'année est sèche et au-delà, l'année est humide. L'année 2009 est exceptionnellement pluvieuse et l'année 2010 est sèche.

Le débit moyen annuel pour chaque année est également donné. Aussi, les mois d'été juin-août sont exceptionnellement secs durant lesquels l'embouchure de Mafragh est franchement fermée et celle de Seybouse est traversée par un flux d'eau presque nul.



**Figure 5.** Débit aux embouchures des rivières Seybouse et Mafragh pour la période 2009-2011. Le débit moyen annuel pour chaque est également donné. Aussi, les mois d'été juin-août sont exceptionnellement secs durant lesquels l'embouchure de Mafragh est franchement fermée et celle de Seybouse est traversée par un flux d'eau presque nul.

Contrairement à ce l'on attendait, le débit moyen de Mafragh est toujours supérieur à celui de Seybouse. Ensemble les 2 rivières déversent dans la baie chaque année entre 1545-2270 millions de m<sup>3</sup> d'eau douce. Bien que les apports d'eau douce de Seybouse représentent 31-44% du volume total des estuaires, ils véhiculent de grandes quantités d'ammonium (NH<sub>4</sub>) et phosphate (PO<sub>4</sub>), contrairement aux apports du Mafragh qui en sont faiblement chargés. Au cours de l'année pluvieuse 2009 (Tableau 3 et Fig. 4), les

concentrations des éléments nutritifs ont augmenté, particulièrement les silicates ( $\text{SiO}_4$ ) et l'ammonium des eaux de Seybouse.

**Tableau 3.** Précipitation sur les bassins de Seybouse et Mafragh et moyenne ( $\pm$  erreur standard) des données hydrologiques des eaux de Seybouse et Mafragh qui ont alimenté la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars de 2011. ND: non déterminé. Q : flux d'eau à l'embouchure. P : précipitation sur le bassin. \* : moyenne de janvier, février et mars.

	Embouchure de Seybouse			Embouchure de Mafragh		
	2009	2010	2011*	2009	2010	2011*
P (mm)	870	518	248	700	575	261
Q ( $10^6 \text{ m}^3 \text{ an}^{-1}$ )	1170	630	381	1103	915	832
$\text{NH}_4$ ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	179.4	68.0	39.2	10.6	6.7	6.6
	( $\pm 20.7$ )	( $\pm 10.4$ )	( $\pm 6.02$ )	( $\pm 1.8$ )	( $\pm 1.7$ )	( $\pm 4.05$ )
$\text{NO}_3$ ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	33.9	31.4	41.6	17.9	16.3	6.7
	( $\pm 3.7$ )	( $\pm 5.5$ )	( $\pm 9.01$ )	( $\pm 5.5$ )	( $\pm 2.8$ )	( $\pm 1.0$ )
NID ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	224	109.2	85.0	33.6	26.3	17
	( $\pm 20$ )	( $\pm 10.5$ )	( $\pm 15$ )	( $\pm 6.5$ )	( $\pm 2.8$ )	( $\pm 3.93$ )
NOD ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	ND	18.0	9.9	ND	19.2	12.9
		( $\pm 7.2$ )	( $\pm 1.07$ )		( $\pm 6.0$ )	( $\pm 1.26$ )
$\text{PO}_4$ ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	5.0	5.1	5.6	2.5	1.7	4.2
	( $\pm 0.7$ )	( $\pm 0.6$ )	( $\pm 2.0$ )	( $\pm 0.6$ )	( $\pm 0.2$ )	( $\pm 1.22$ )
$\text{SiO}_4$ ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	104	66.1	54.6	55.5	50.6	46.8
	( $\pm 12$ )	( $\pm 4.4$ )	( $\pm 4.9$ )	( $\pm 9$ )	( $\pm 8.2$ )	( $\pm 7.01$ )

Les données hydrologiques concomitantes aux prélèvements de zooplancton sont fournies au tableau 4. Comme le montre le [tableau 4](#), la température moyenne de surface dans la baie varie entre 19°C dans la station de surface à 21,4°C dans le panache de Seybouse. En profondeur la température moyenne a varié entre 18,2 à 19,7°C.

Les valeurs moyennes de la salinité de surface fluctuent entre 31,8 à la station B1 en 2009 et 36,6 à la station B3 en 2010. Dans la couche du fond les valeurs de salinité atteignent un minimum de 35,4 en 2009 et un maximum de 36,8 à la station B3 en 2010. En raison des apports important d'eau douce durant l'année 2009 par les deux rivières ([Tableau 4](#)), leurs panaches ont spatialement été étendus dans l'ensemble de la baie en hiver et au printemps. Les concentrations des éléments nutritifs étaient toujours plus élevées dans les panaches, en particulier dans le panache de Seybouse où les concentrations étaient deux fois plus élevées que celles de la station B3.

Paradoxalement, les teneurs d'azote organique dissous (NOD) et nitrate ( $\text{NO}_3$ ) sont faibles par année humide (2009) par rapport à l'année sèche 2010 ([Tableau 4](#)). La baie d'Annaba recèle des teneurs élevées de Chlorophylle *a*, allant de 0,8 à 3  $\mu\text{g l}^{-1}$  dans la couche du fond et de 0,93 à 2,75  $\mu\text{g l}^{-1}$  dans les eaux de surface. La biomasse de

phytoplancton suit la même distribution que celle des nutriments inorganiques dissous, avec des valeurs maximales dans les panaches au cours de l'année pluvieuse de 2009.

**Tableau 4.** Valeurs moyennes ( $\pm$  erreur standard) des données hydrologiques dans les stations étudiées de la baie d'Annaba au cours de la période janvier 2009-mars de 2011. \* : moyenne de janvier, février et mars.

		Station B1			Station B2			Station B3		
		2009	2010	2011*	2009	2010	2011*	2009	2010	2011*
Température (°C)	Surface	20.0 ( $\pm$ 1.5)	21.4 ( $\pm$ 1.4)	17.1 ( $\pm$ 0.7)	19.4 ( $\pm$ 1.5)	20.2 ( $\pm$ 1.4)	16.7 ( $\pm$ 1.0)	19.0 ( $\pm$ 1.4)	20.4 ( $\pm$ 1.5)	17.3 ( $\pm$ 0.9)
	Fond	19.7 ( $\pm$ 1.4)	19.7 ( $\pm$ 1.4)	16.4 ( $\pm$ 1.0)	19.0 ( $\pm$ 1.3)	19.8 ( $\pm$ 1.5)	16.9 ( $\pm$ 0.7)	18.2 ( $\pm$ 1.1)	18.7 ( $\pm$ 1.5)	16.1 ( $\pm$ 1.2)
Salinité (pss)	Surface	31.8 ( $\pm$ 1.8)	35.1 ( $\pm$ 0.6)	34.8 ( $\pm$ 0.6)	34.1 ( $\pm$ 1.1)	36.4 ( $\pm$ 0.2)	34.6 ( $\pm$ 0.5)	36.5 ( $\pm$ 0.2)	36.6 ( $\pm$ 0.2)	34.6 ( $\pm$ 1.2)
	Fond	35.4 ( $\pm$ 1.0)	36.4 ( $\pm$ 0.2)	35.1 ( $\pm$ 0.5)	36.2 ( $\pm$ 0.3)	36.7 ( $\pm$ 0.2)	34.7 ( $\pm$ 1.3)	36.6 ( $\pm$ 0.2)	36.8 ( $\pm$ 0.2)	35.9 ( $\pm$ 0.5)
PO <sub>4</sub> ( $\mu$ mol l <sup>-1</sup> )	Surface	4.40 ( $\pm$ 1.5)	1.29 ( $\pm$ 0.2)	0.7 ( $\pm$ 0.1)	2.6 ( $\pm$ 0.8)	0.95 ( $\pm$ 0.2)	0.20 ( $\pm$ 0.1)	2.52 ( $\pm$ 0.6)	0.44 ( $\pm$ 0.1)	0.27 ( $\pm$ 0.1)
	Fond	3.88 ( $\pm$ 1.4)	1.38 ( $\pm$ 0.3)	0.7 ( $\pm$ 0.3)	2.7 ( $\pm$ 0.9)	1.26 ( $\pm$ 0.2)	0.27 ( $\pm$ 0.1)	1.73 ( $\pm$ 0.5)	0.39 ( $\pm$ 0.1)	0.25 ( $\pm$ 0.1)
NH <sub>4</sub> ( $\mu$ mol l <sup>-1</sup> )	Surface	6.00 ( $\pm$ 0.9)	1.10 ( $\pm$ 0.5)	16.7 ( $\pm$ 6.7)	3.6 ( $\pm$ 0.7)	0.3 ( $\pm$ 0.2)	22.7 ( $\pm$ 16)	2.7 ( $\pm$ 0.5)	0.0 ( $\pm$ 0.0)	3.9 ( $\pm$ 1.4)
	Fond	5.50 ( $\pm$ 1.3)	0.60 ( $\pm$ 0.6)	27.3 ( $\pm$ 17)	6.0 ( $\pm$ 1.6)	0.3 ( $\pm$ 0.3)	26.7 ( $\pm$ 22.5)	2.9 ( $\pm$ 0.6)	0.1 ( $\pm$ 0.1)	3.8 ( $\pm$ 2.2)
NO <sub>3</sub> ( $\mu$ mol l <sup>-1</sup> )	Surface	3.01 ( $\pm$ 1.4)	5.35 ( $\pm$ 0.8)	12.5 ( $\pm$ 7.1)	1.1 ( $\pm$ 0.4)	3.17 ( $\pm$ 1.2)	7.49 ( $\pm$ 4.2)	1.3 ( $\pm$ 0.3)	2.70 ( $\pm$ 1.5)	5.91 ( $\pm$ 3.5)
	Fond	2.54 ( $\pm$ 1.5)	3.74 ( $\pm$ 0.6)	7.1 ( $\pm$ 2.4)	1.47 ( $\pm$ 0.6)	2.84 ( $\pm$ 0.9)	6.30 ( $\pm$ 3.3)	1.9 ( $\pm$ 0.8)	2.54 ( $\pm$ 1.3)	5.07 ( $\pm$ 2.4)
NID ( $\mu$ mol l <sup>-1</sup> )	Surface	10.6 ( $\pm$ 2.9)	6.57 ( $\pm$ 1.0)	29.3 ( $\pm$ 11)	5.55 ( $\pm$ 1.0)	3.50 ( $\pm$ 1.2)	30.2 ( $\pm$ 13)	4.47 ( $\pm$ 0.8)	2.73 ( $\pm$ 1.5)	9.80 ( $\pm$ 2.1)
	Fond	8.92 ( $\pm$ 2.0)	4.41 ( $\pm$ 0.7)	34.4 ( $\pm$ 15)	8.29 ( $\pm$ 1.9)	3.18 ( $\pm$ 0.9)	33.1 ( $\pm$ 20)	5.25 ( $\pm$ 1.1)	2.63 ( $\pm$ 1.4)	8.90 ( $\pm$ 1.4)
NOD ( $\mu$ mol l <sup>-1</sup> )	Surface	5.13 ( $\pm$ 1.0)	7.39 ( $\pm$ 1.3)	4.72 ( $\pm$ 2.1)	4.14 ( $\pm$ 0.9)	7.34 ( $\pm$ 0.9)	4.66 ( $\pm$ 1.4)	4.16 ( $\pm$ 0.9)	4.09 ( $\pm$ 0.6)	3.73 ( $\pm$ 0.9)
	Fond	5.24 ( $\pm$ 1.1)	8.11 ( $\pm$ 1.9)	6.52 ( $\pm$ 1.1)	3.22 ( $\pm$ 0.7)	6.07 ( $\pm$ 0.8)	3.95 ( $\pm$ 1.8)	3.97 ( $\pm$ 0.9)	4.29 ( $\pm$ 0.8)	4.27 ( $\pm$ 1.0)
Si(OH) <sub>4</sub> ( $\mu$ mol l <sup>-1</sup> )	Surface	6.02 ( $\pm$ 1.1)	5.96 ( $\pm$ 1.2)	12.6 ( $\pm$ 5.3)	3.85 ( $\pm$ 0.9)	4.37 ( $\pm$ 0.5)	2.23 ( $\pm$ 0.9)	2.87 ( $\pm$ 0.6)	3.68 ( $\pm$ 0.5)	3.40 ( $\pm$ 0.7)
	Fond	5.63 ( $\pm$ 0.8)	5.28 ( $\pm$ 1.0)	5.00 ( $\pm$ 0.9)	3.21 ( $\pm$ 0.9)	3.79 ( $\pm$ 0.5)	2.90 ( $\pm$ 0.6)	4.70 ( $\pm$ 0.8)	4.04 ( $\pm$ 0.7)	3.86 ( $\pm$ 0.3)
Chl a ( $\mu$ g l <sup>-1</sup> )	Surface	4.2 ( $\pm$ 0.8)	2.75 ( $\pm$ 0.7)	0.93 ( $\pm$ 0.5)	2.5 ( $\pm$ 0.5)	1.51 ( $\pm$ 0.6)	1.91 ( $\pm$ 0.4)	1.8 ( $\pm$ 0.2)	1.65 ( $\pm$ 0.4)	2.00 ( $\pm$ 0.6)
	Fond	4.5 ( $\pm$ 0.9)	3.00 ( $\pm$ 0.9)	1.16 ( $\pm$ 0.2)	2.8 ( $\pm$ 0.3)	1.35 ( $\pm$ 0.3)	1.60 ( $\pm$ 0.5)	1.9 ( $\pm$ 0.5)	1.73 ( $\pm$ 0.2)	0.80 ( $\pm$ 0.4)

# **CHAPITRE II**

# **LE ZOOPLANCTON**

# **TOTAL**

## 1. Composition et abondance du zooplancton

La liste des taxons identifiés dans la baie d'Annaba est consignée dans le tableau 5. Le peuplement zooplanctonique est composé essentiellement des copépodes qui représentent le groupe le plus important en effectif et en diversité avec 73 espèces. Ces crustacés sont suivis par les Cladocères qui sont représentés par 7 espèces. Les Tuniciers regroupant les Appendiculaires, les Salpes et les Dolioles. Les Cnidaires représentés par les Méduses et les Siphonophores regroupent respectivement 7 et 5 espèces. Le plancton temporaire (méroplancton) est composé essentiellement des larves de Cirripèdes, Mollusques, Décapodes et Echinodermes. L'ichtyoplancton est formé par les œufs et larves de l'Anchois d'Europe et des Sardines.

L'abondance du zooplancton total sans *Noctiluca scintillans* (dénommé ZT-N) a largement fluctué au cours des saisons, les années et les sites, comme on peut le constater sur la figure 6. Les densités moyennes annuelles variaient entre 700-1,000 ind.  $m^{-3}$  à la station B3 et 1,900-2,000 ind.  $m^{-3}$  aux stations sous l'influence des panaches estuariens. A la station B3, ouverte à l'intrusion d'eau néritique externe, l'abondance maximale a été rencontrée durant mai-août 2009, principalement dû à une augmentation des Copépodes et Cladocères. Le ZT-N abonde tout au long de l'année dans le secteur intérieur de la baie (Fig. 6), avec un pic en saison chaude (juillet-septembre). Les Cladocères et les Copépodes sont les composants les plus abondants au cours de cette période chaude. Cependant, exceptionnellement de faibles densités (100-300 ind.  $m^{-3}$ ) ont été enregistrées dans les panaches estuariens (Fig. 6) à cause des crues de rivières (novembre 2010 et février de 2009) susceptibles de transporter la totalité de la couche d'eau jusqu'à l'entrée de la baie.

*N. scintillans* suit un cycle saisonnier régulier, avec des valeurs plus élevées au printemps (Fig. 6), mais elle était presque absente dans les échantillons d'été et d'automne. Ce dinoflagellé hétérotrophe est très abondant et domine le peuplement zooplanctonique dans le panache de l'estuaires de Seybouse, atteignant des proportions de 61-78% du zooplancton total avec un maximum en avril (17 980 ind.  $m^{-3}$  en 2009 et 42 170 ind.  $m^{-3}$  en 2010). Dans le panache du Mafragh, sa proportion est moins prononcée : 16% en 2009, 41% en 2010 et début 2011. Cette espèce n'est pas rare dans

la station B3 reculée vers le large, mais représente en moyenne 20 à 30% du zooplancton total.

**Tableau 5.** Liste des espèces identifiées dans la baie d'Annaba de janvier 2009-mars 2011. \* : espèces nouvelles pour la baie d'Annaba. \*\* : espèces nouvelles pour la Méditerranée.

---

**PROTOZOA****PHYTOFLAGELLATA****Dinoflagellata**

*Noctiluca scintillans* (Macartney) Kofoid and Swezy, 1921

**ZOOFLAGELLATA****Foraminifera**

*Globigerina bulloides* d'Orbigny, 1826

*Globigerina* spp.

**Radiolaria**

*Arachnosphera myriacantha* Haeckel, 1860

**CNIDARIA****SIPHONOPHORA**

*Abylopsis eschscholtzii* (Huxley, 1859)

*Eudoxoides spiralis* (Bigelow, 1911)

*Lensia subtilis* (Chun, 1886)

*Muggiaea atlantica* Cunningham, 1892

*Muggiaea kochi* (Will, 1844)

**MEDUSAE**

*Aglaura hemistoma* Péron & Lesueur, 1810

*Obelia* spp.

*Nausithoe punctata* Kölliker, 1853

*Paraphyllina intermedia* Maas, 1903

*Pelagia noctiluca* (Forsskål, 1775)

*Persa incolorata* McCrady, 1857

*Rhopalonema funerarium* Vanhöffen, 1902

**ANNELIDA**

*Magelona papillicornis* McIntosh, 1878

*Nereis* sp.

*Sabellaria* sp.

*Polydora* spp.

*Nephtys* sp.

**MOLLUSCA**

Gastropods and bivalve larvae (indéterminé)

Pteropoda (indéterminé)

**ARTHROPODA**

## BRANCHIOPODA

**Cladocera**

- Evadne nordmanni* Lovén, 1836  
*Evadne spinifera* Müller P.E., 1867  
*Pleopis polyphaemoides* (Leuckart, 1859)  
*Pseudevadne tergestina* (Claus, 1877)  
*Penilia avirostris* Dana, 1849  
*Podon intermedius* Lilljeborg, 1853  
*Podon leuckartii* (Sars G. O., 1862)

## OSTRACODA (indéterminé)

## COPEPODA

**Calanoida**

- Acartia (Acartiura) clausi* Giesbrecht, 1889  
*Acartia (Acartia) danae* Giesbrecht, 1889  
*Acartia (Acartiura) discaudata* (Giesbrecht, 1881)  
*Acartia (Acartia) negligens* Dana, 1849  
*Calocalanus pavo* (Dana, 1852)  
*Calocalanus plumatus* Shmeleva, 1965\*  
*Calocalanus plumulosus* (Claus, 1863)  
*Calocalanus styliremis* Giesbrecht, 1888  
*Calocalanus tenuis* Farran, 1926  
*Candacia armata* Boeck, 1872  
*Candacia bipinnata* (Giesbrecht, 1889)  
*Candacia varicans* (Giesbrecht, 1893)  
*Calanus helgolandicus* (Claus, 1863)  
*Candacia simplex* (Giesbrecht, 1889)  
*Centropages chierchiae* Giesbrecht, 1889  
*Centropages kroyeri* Giesbrecht, 1893  
*Centropages ponticus* Karavaev, 1895\*  
*Centropages typicus* Krøyer, 1849  
*Centropages violaceus* (Claus, 1863)  
*Clausocalanus furcatus* (Brady, 1883)  
*Clausocalanus jobei* Frost & Fleminger, 1968  
*Clausocalanus lividus* Frost & Fleminger, 1968  
*Clausocalanus paululus* Farran, 1926  
*Clausocalanus pergens* Farran, 1926  
*Ctenocalanus vanus* Giesbrecht, 1888  
*Diaixis hibernica* (Scott A., 1896)\*  
*Labidocera wollastoni* (Lubbock, 1857)  
*Lucicutia flavigornis* (Claus, 1863)  
*Mecynocera clausi* Thompson I.C., 1888  
*Monstrilla longicornis* Thompson I.C., 1890\*  
*Nannocalanus minor* (Claus, 1863)  
*Paracalanus indicus* Wolfenden, 1905

- 
- Paracalanus nanus* Sars G.O., 1925  
*Paracartia grani* Sars G.O., 1904  
*Paracartia latisetosa* (Krichagin, 1873)  
*Pleuromamma abdominalis* (Lubbock, 1856)  
*Pleuromamma borealis* Dahl F., 1893  
*Pleuromamma piseki* Farran, 1929\*  
*Pleuromamma xiphias* (Giesbrecht, 1889)  
*Pseudodiaptomus arabicus* Walter, 1998\*\*  
*Pseudodiaptomus australiensis* Walter, 1987\*\*  
*Scolecithrix bradyi* Giesbrecht, 1888\*  
*Scolecithrix danae* (Lubbock, 1856)\*  
*Spinocalanus magnus* Wolfenden, 1904\*  
*Temora stylifera* (Dana, 1849)

### **Cyclopoida**

- Oithona linearis* Giesbrecht, 1891  
*Oithona nana* Giesbrecht, 1893  
*Oithona plumifera* Baird, 1843  
*Oithona similis* Claus, 1866

### **Poecilostomatoida**

- Agetus flaccus* (Giesbrecht, 1891)  
*Agetus limbatus* (Brady, 1883)  
*Agetus typicus* Krøyer, 1849  
*Copilia lata* Giesbrecht, 1891  
*Corycaeus crassiusculus* Dana, 1849  
*Corycaeus speciosus* Dana, 1849  
*Farranula curta* (Farran, 1911)\*  
*Farranula rostrata* (Claus, 1863)  
*Oncaeа media* Giesbrecht, 1891  
*Oncaeа mediterranea* (Claus, 1863)  
*Oncaeа venusta* Philippi, 1843  
*Oncaeа* spp.  
*Onchocorycaeus latus* (Dana, 1849)  
*Onchocorycaeus ovalis* (Claus, 1863)  
*Sapphirina opalina* Dana, 1849  
*Urocorycaeus laetus* (Dana, 1849)

### **Harpacticoida**

- Distioculus minor* (Scott T., 1894)  
*Clytemnestra scutellata* Dana, 1847  
*Euterpina acutifrons* (Dana, 1847)  
*Goniopsyllus rostratus* Brady, 1883  
*Macrosetella gracilis* (Dana, 1847)  
*Microsetella norvegica* (Boeck, 1865)  
*Microsetella rosea* (Dana, 1847)

**Monstrilloida**

*Cymbasoma longispinosum* (Bourne, 1890)\*

*Monstrilla* sp.

## CIRRIPEDIA

Larves (indéterminé)

## PERACARIDA

**Amphipoda**

Indéterminé

## EUCARIDA

**Euphausiacea**

Larves (indéterminé)

**Decapoda**

*Eriphia verrucosa* (Forsskål, 1775) Rathke, 1837

*Palaemon elegans* Rathke, 1837

*Porcellana* spp.

*Necora puber* (Linnaeus, 1767)

*Processa* spp.

**CHAETHOGNATHA**

*Sagitta bipunctata* Quoy & Gaimard, 1827

*Sagitta enflata* Grassi, 1881

*Sagitta serratodentata* Krohn, 1853

**ECHINODERMATA**

## ECHINIDA

Larves (indéterminé)

## OPHIURIDA

Larves (indéterminé)

**TUNICATA**

## APPENDICULARIA

*Fritillaria pellucida* (Busch, 1851)

## THALIACEA

**Doliolida**

*Dolioletta gegenbauri* (Uljanin, 1884)

*Doliolum nationalis* Borgert, 1893

**Salpidae**

*Thalia democratica* (Forsskål, 1775)

**VERTEBRATA**

Anchois d'Europe (*Engraulis encrasicolus* L.) œufs et larves de Clupéidés

### 1.1. *Noctiluca scintillans*

*Noctiluca scintillans* est classée parmi les végétaux flagellés (dinophyta) mais dépourvue de pigments photosynthétiques, l'espèce hétérotrophe se nourrissant par prédation phagotrophique se classe ainsi en tant qu'animal planctonique.

- **Position systématique**

Embranchement : Dinophyta

Classe : Dinophyceae

Ordre : Noctilucales

Famille : Noctilucaceae

Genre : *Noctiluca*

Espèce : *scintillans*

- **Taille**

200 à 2000 µm de diamètre, le plus souvent de 500 à 600 µm.



Photographies de *Noctiluca scintillans*.

- **Description**

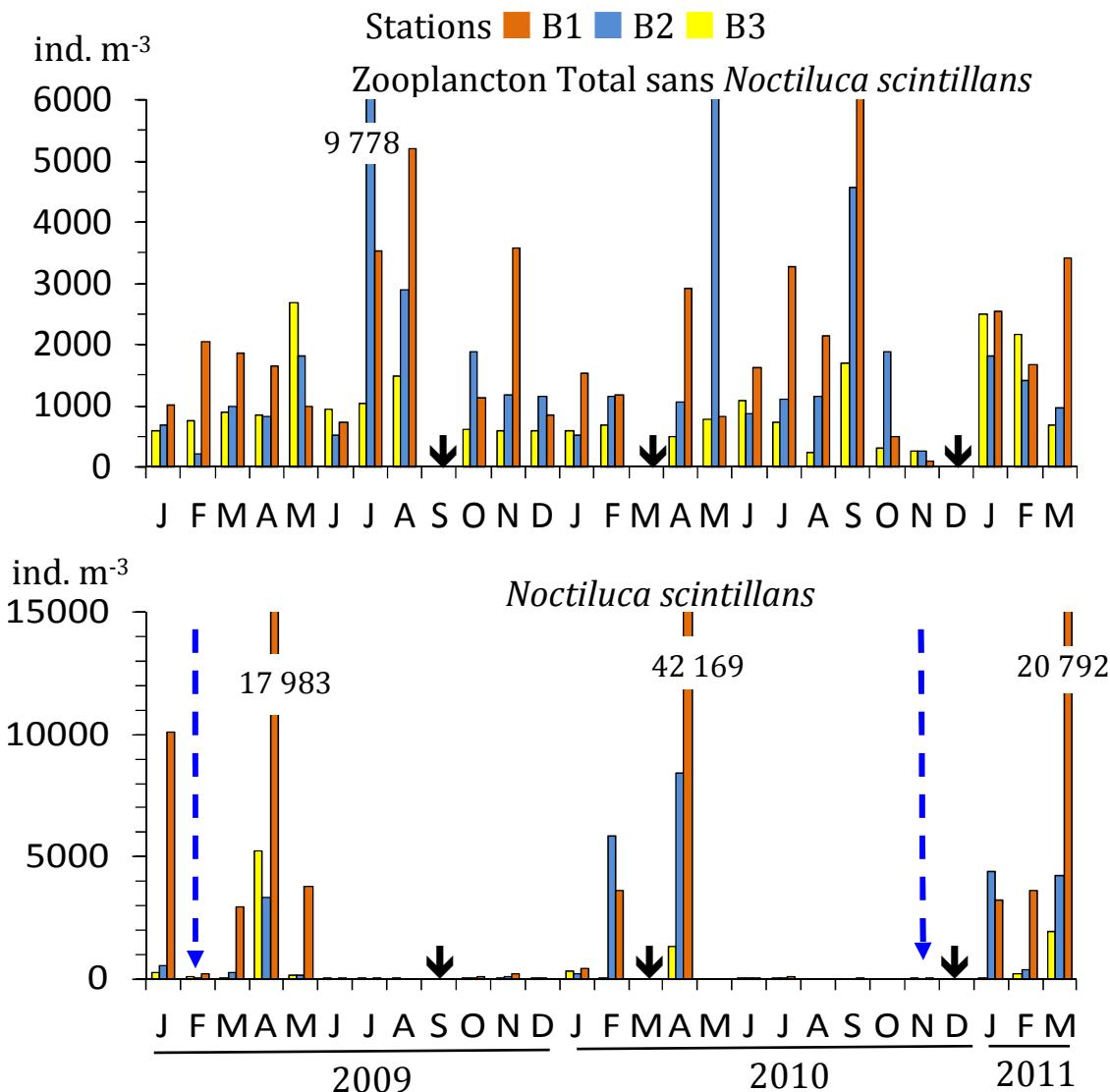
*Noctiluca scintillans* est un Dinoflagellé hétérotrophe (phagotropes) non photosynthétique, sans chloroplastes et le cytoplasme est essentiellement incolore.

*Noctiluca scintillans* est principalement un prédateur. Cette espèce cosmopolite est phagotrophique, se nourrissant de phytoplancton (principalement diatomées et autres dinoflagellés), de détritus, de protozoaires, de copépodes et d'œufs de poisson (Elbrächter and Qi, 1998).

- **Distribution**

Sa distribution le long de la colonne d'eau semble généralement assez homogène.

Elle est distribuée dans le monde entier dans les eaux froides et chaudes, étant commun dans les régions néritiques et côtières. Survient surtout à proximité des embouchures de rivières à la suite de fortes pluies. Peut persister toute l'année, mais plus abondantes pendant les saisons chaudes des mers tempérées.

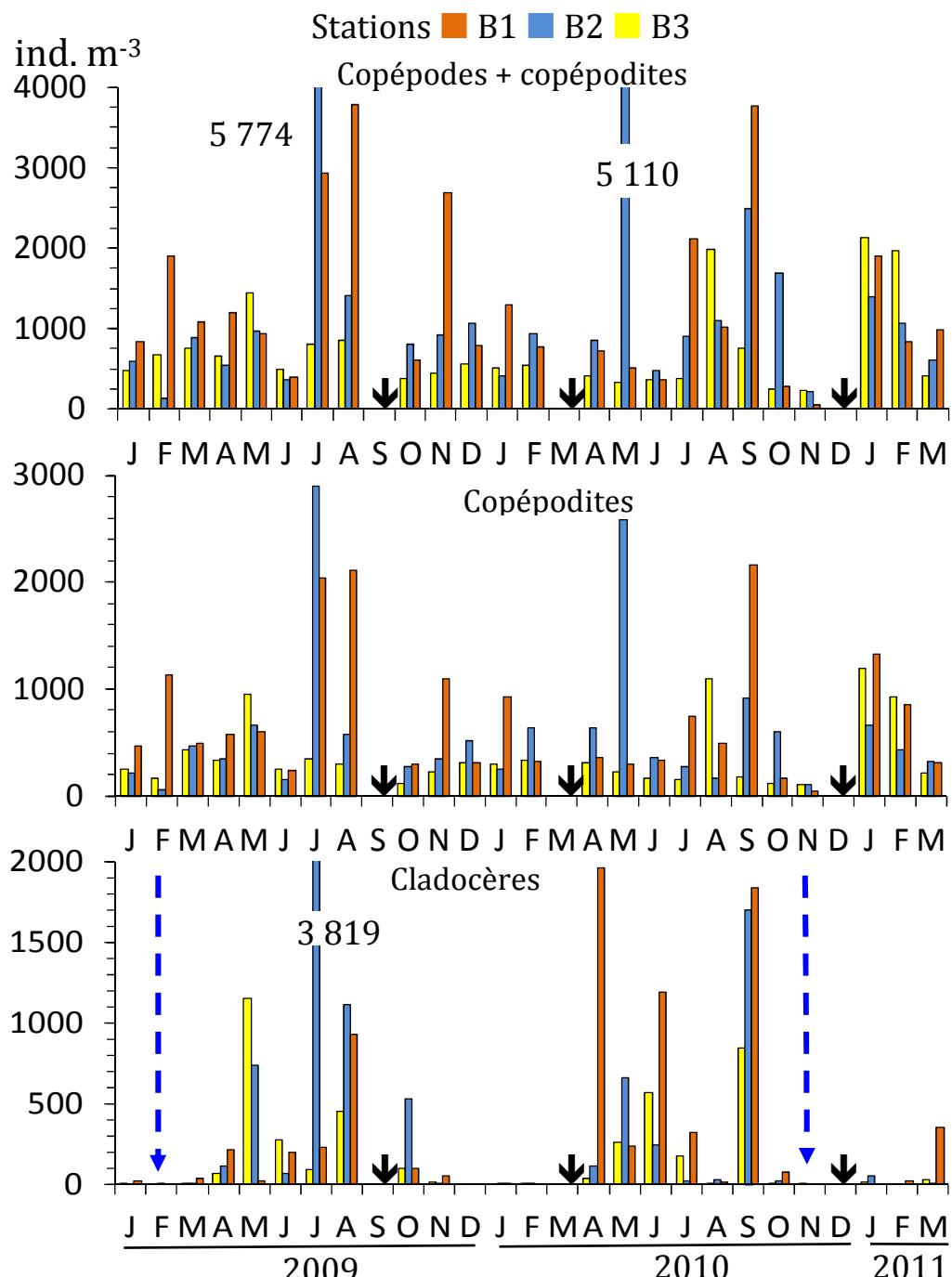


**Figure 6.** Variations de l'abondance (ind. m<sup>-3</sup>) du zooplancton total sans *Noctiluca scintillans* (ZT-N) et de *Noctiluca scintillans* récoltés dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba durant la période de janvier 2009-mars 2011. ↓ : non échantillonnés. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.

## 1.2. Copépodes et Cladocères

En excluant *Noctiluca scintillans*, les Copépodes et les Cladocères sont les groupes les plus abondants en 2009 et en 2010, représentant 82 à 90% du zooplancton total. Ces deux groupes suivent un cycle saisonnier bien claire. Les Copépodes constituent le groupe le plus abondant, représentant 54-76% de l'abondance totale. Sa contribution au ZT-N augmente pendant l'hiver lorsque l'abondance des Cladocères et les divers groupes diminuent (Fig. 7). Les Copépodes abondent en particulier dans les panaches

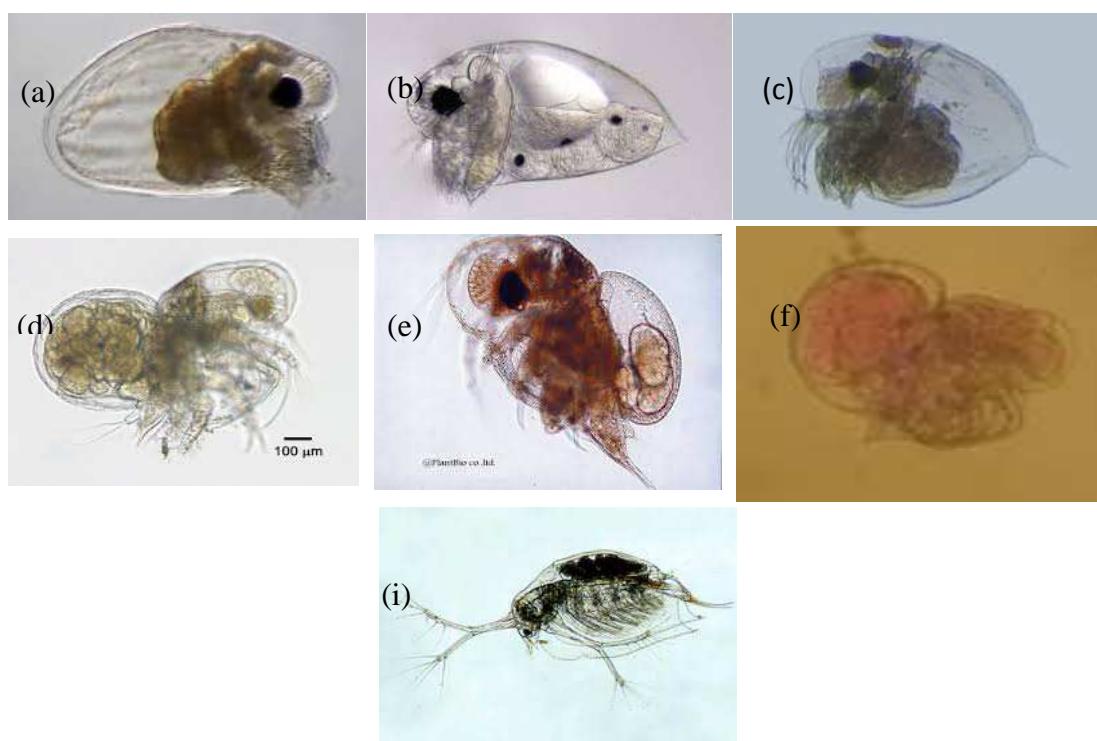
des estuaires (1 100-1 560 ind.  $m^{-3}$ ) et sont deux ou trois fois plus abondants que dans les eaux externes au niveau de la station B3 (Fig. 7). Cependant, au début de 2011, les populations de Copépodes forment des effectifs importants dans tous les échantillons et développent des densités exceptionnellement élevées à la station B3.



**Figure 7.** Variations de l'abondance (ind.  $m^{-3}$ ) des Copépodes, copépodites et Cladocères récoltés dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba durant la période janvier 2009-mars 2011.  $\downarrow$  : non échantillonnés. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.

Il semblerait qu'il s'agit de partage d'habitats conformément aux conditions hydrologiques souvent plus changeantes en zone côtières à la suite de la faible inertie du milieu. Il s'agirait plutôt d'un contrôle physique qui s'opère à ce niveau spatial, fortement résilient. Leur abondance maximale est notée en juillet-août 2009 et septembre 2010 (Fig. 7).

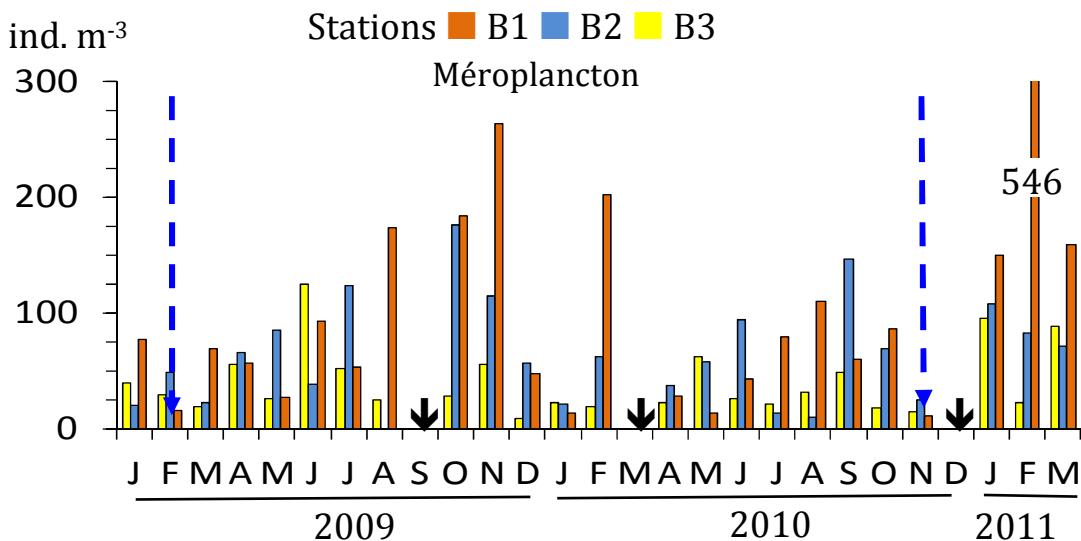
La baie d'Annaba est peuplée par 7 espèces de Cladocères (Tableau 5) dont *Pleopis polyphemoides*, *Pseudevadne tergestina*, *Evadne spinifera* et *Penilia avirostris* sont les espèces les plus abondantes en particulier pendant la période chaude (mai-octobre). A l'inverse, les espèces *Podon leuckartii*, *Podon intermedius* et *Evadne nordmanni* sont rares et apparaissent sporadiquement en fin d'hiver et au printemps. Les Cladocères forment le deuxième groupe le plus abondant du TZ-N (8-30%) formant des densités élevées en saison chaude (Fig. 7). En raison de la pullulation des femelles parthénogénétiques de *Pseudevadne tergestina* et dans une moindre mesure celles de *Penilia avirostris*, la densité de Cladocères atteint 3 820 ind. m<sup>-3</sup> en juillet 2009 dans la station B2. Le bloom de septembre 2010 affecte cependant la baie entière.



**Figure 8.** Photographies des espèces de Cladocères récoltées dans la baie d'Annaba en 2009-2011. (a) : *Pseudevadne tergestina*, (b) : *Evadne nordmanni*, (c) : *Evadne spinifera*, (d) : *Podon intermedius*, (e) : *Podon leuckartii*, (f) : *Pleopis polyphemoides*, (g) : *Penilia avirostris*.

### 1.3. Le méroplancton

Le méroplancton représente moins de 5% du ZT-N mais les œufs de poissons bien que peu abondants sont échantillonnés de façon continue d'avril à octobre (Fig. 9).



**Figure 9.** Variations de l'abondance (ind. m<sup>-3</sup>) du méroplancton récolté dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba durant la période janvier 2009-mars 2011. : non échantillonnés. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.

Le groupe dénommé méroplancton comprend en plus des œufs et larves de Poissons, les larves de Polychètes, Cirripèdes, Décapodes, Euphausiacés et Echinides.

- *Larves de Polychètes*

Les larves de Polychètes sont récoltées dans toutes les stations avec de faibles fractions ne dépassent pas 5% sauf en février 2010 et 2011 à la station B1 où leur effectif représente environ 14 à 22 % au sein du méroplancton.

- *Larves de Mollusques*

Ces organismes sont toujours présents mais sont très peu fréquent dans les récoltes et au sein du méroplancton (2 à 8%). La plus forte densité est observée à la station B2 en février 2009 (43 ind. m<sup>-3</sup>) avec une proportion atteignant 21% du total du méroplancton.

- *Larves de Cirripèdes*

Les larves de Cirripèdes sont présentes en très faibles densités et disparaissent même dans plusieurs récoltes. Les fréquences les plus élevées atteignant un maximum de 12-

13% du méroplancton en octobre 2010 et 2011 à la station B1. Ces larves temporairement pélagiques se développent lorsque le milieu pélagique est riche en protistes (phytoplancton, Tintinnides, bactéries).

- *Larve de Décapodes*

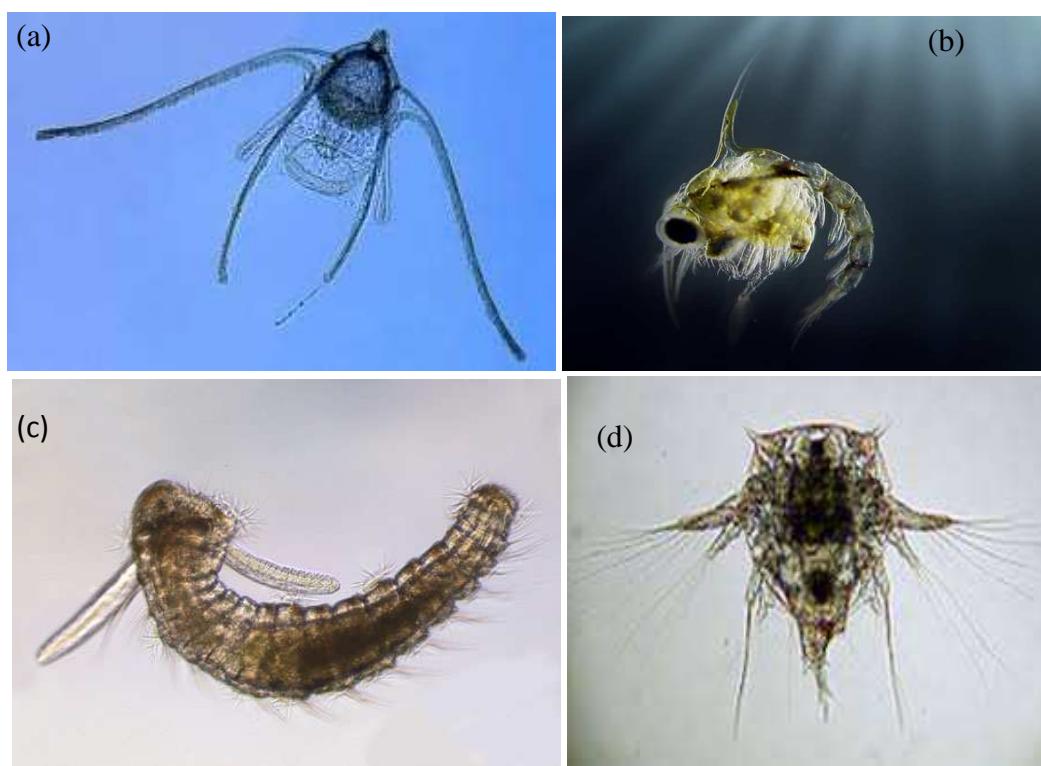
Ces formes temporairement planctoniques (Fig. 10) sont présentes avec de faibles proportions. La plus forte densité est observée en mars 2011 à la station B3 mais ne forme que 2% du méroplancton.

- *Larves d'Echinides*

Ces formes temporairement planctoniques sont présentes avec de faibles densités. Les plus fortes densités sont observées en octobre 2010 à la station B1 avec une proportion maximale de 3% du méroplancton.

- *Larve d'Euphausiacés*

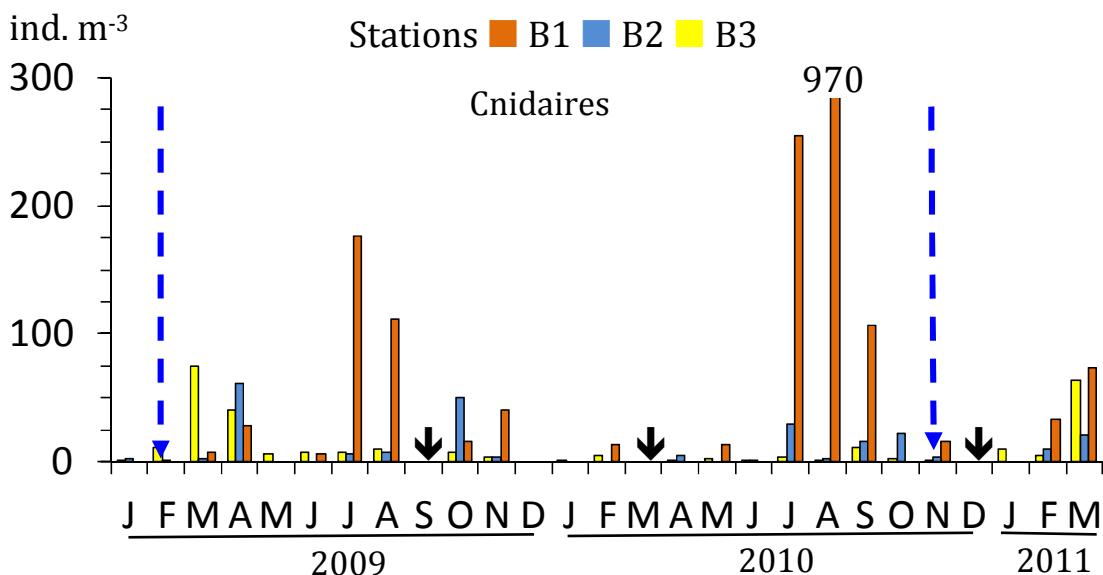
Les larves de ces Crustacés (dénommés Krill) sont plutôt néritiques et océaniques et sont rarement côtières. Elles sont en conséquence rarement récoltées dans la baie. Leur plus forte proportion (3%) est observée en mars 2011 à la station B3 plutôt néritique.



**Figure 10.** Photographies (a) : larve d'Echinidé, (b) : larve de Décapode, (c) : larve de Polychète Spionidé, (d) : larve de Cirripède récoltées dans la baie d'Annaba en janvier 2009- mars 2011.

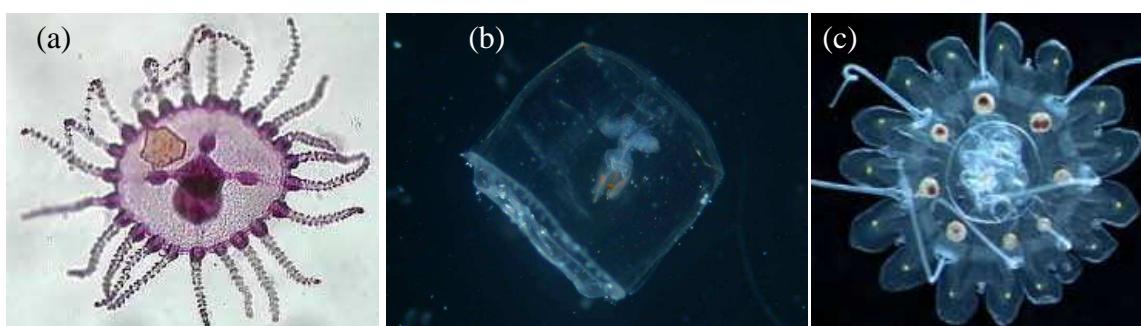
#### 1.4. Cnidaires : Méduses et siphonophores

Ce groupe formé par les Méduses et les Siphonophores était toujours récolté dans la station B3 ouverte aux courants du large (Fig. 11), mais avec de très faibles densités (5-25 ind.  $m^{-3}$ ). Ces Cnidaires présentent généralement une fréquence moyenne de l'ordre de 1-8%.



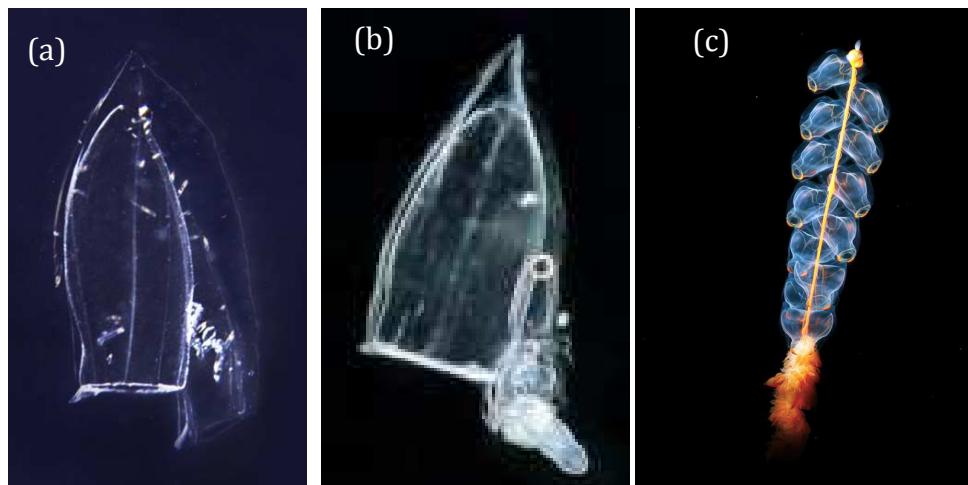
**Figure 11.** Variations de l'abondance (ind.  $m^{-3}$ ) des Cnidaires récoltés dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011.  $\blacktriangledown$  : non échantillonnés. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.

Parmi les Méduses (Fig. 11) *Aglaura hemistoma* et *Obelia* sp. sont les plus souvent récoltées. *Aglaura hemistoma* est la plus abondante en été où son maximum de densité est observé à la station B1 (panache de Seybouse).



**Figure 12.** Photographies quelques Méduses récoltées dans la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011. (a) : *Obelia* sp., (b) : *Aglaura hemistoma*, (c) : *Nausithoe punctata*.

Les espèces de siphonophores représentent une faible proportion et sont composées essentiellement des siphonophores Calycophores *Muggiae kochi* et *Muggiae atlantica* (Fig. 13). Ces Cnidaires coloniaux et carnivore sont récoltés presque exclusivement à la station B3 ouverte aux intrusions des eaux du large.

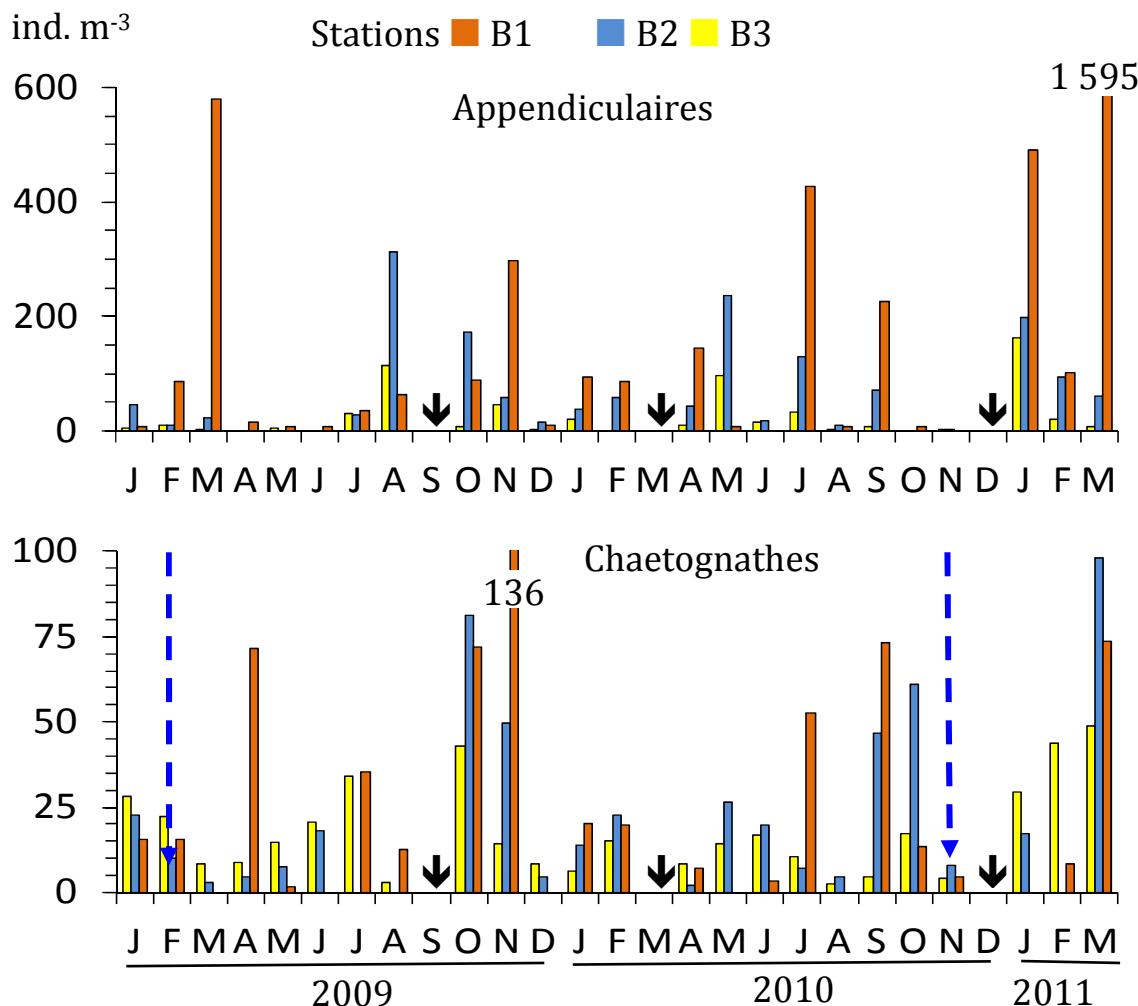


**Figure 13.** Photographies des Siphonophores récoltées dans le golfe d'Annaba en 2009-2011. (a) : *Mugiae atlantica* ; (b) : *Mugiae kochi* ; (c) : colonie d'un siphonophore Calycophore.

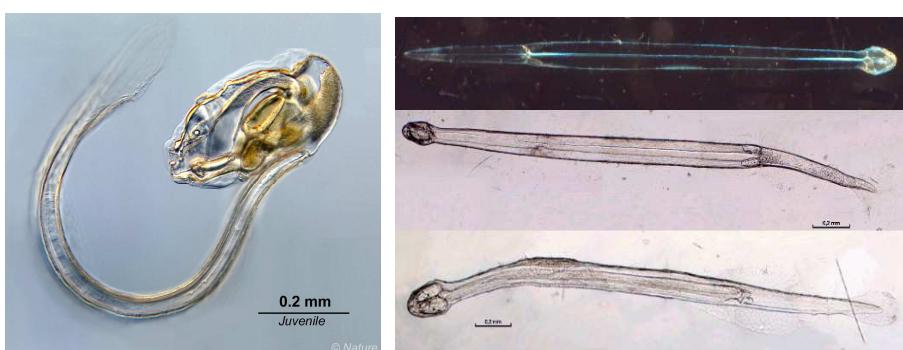
### 1.5. Appendiculaires et Chaetognathes

Les appendiculaires sont cosmopolites, présents à toutes les latitudes dans tous les océans et les mers, et à toutes les profondeurs. Ces Tuniciers ont été collectés tout au long de l'année et représentent 2-5% de l'abondance du TZ-N. Ces Tuniciers formés essentiellement par le genre *Oikopleura* étaient un peu plus abondantes dans la station B1, surtout en hiver et au printemps (Fig. 14).

Les Chaetognathes sont des redoutables carnivores se nourrissant de Copépodes surtout. Ces formes holoplanctoniques ont été recueillies dans tous les échantillons mais étaient abondantes en automne et en hiver, surtout dans la station B3, mais avec seulement 2,2% de l'abondance du TZ-N (Fig. 14).



**Figure 14.** Variations de l'abondance ( $\text{ind. m}^{-3}$ ) des Appendiculaires et les Chaetognathes récoltés dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011.  $\downarrow$  : non échantillonnés. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.



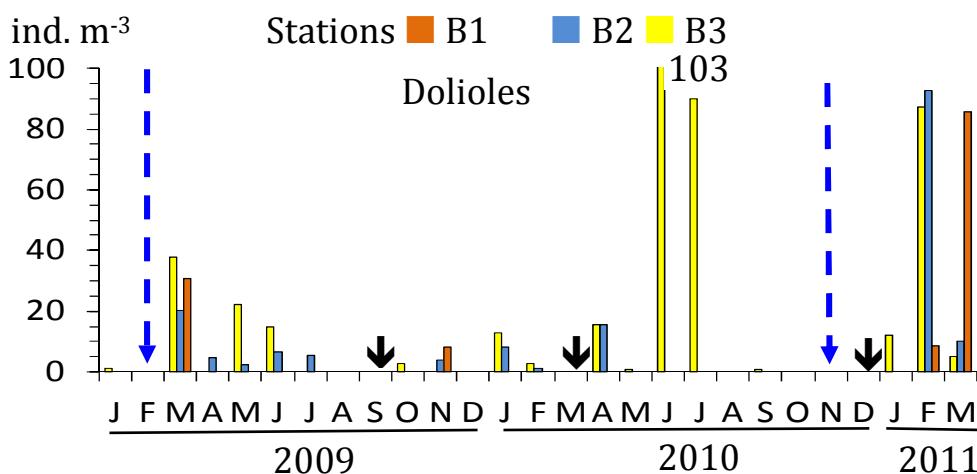
**Figure 15.** Photographies d'un spécimen d'Appendiculaire (à gauche) et de spécimens de Chaetognathes (à droite) récoltées dans la baie d'Annaba, janvier 2009-mars 2011.

### 1.6. Dolioles et Salpes

Les Dolioles et les salpes étaient rares et apparaissent sporadiquement dans les panaches estuariens mais sont présents régulièrement entre l'hiver et l'été à la station B3 (1,5%) ouverte aux courants du large entre. Les Dolioles peuplent la Baie durant toutes les saisons et leurs densités augmentent brusquement en été 2010 (103 ind.  $m^{-3}$ ). En cette saison chaude de l'année, ce plancton gélatinéux peut former une fraction importante du zooplancton total. Dans le reste de l'année, les effectifs sont faibles.

Il faut remarquer qu'au sein des Dolioles, *Doliolum nationalis* et dans une moindre mesure *Dolioletta gegenbauri* représentent l'essentiel de ce plancton colonial gélatinéux.

Les salpes sont représentées essentiellement par *Thalia democratica* (Fig. 16).



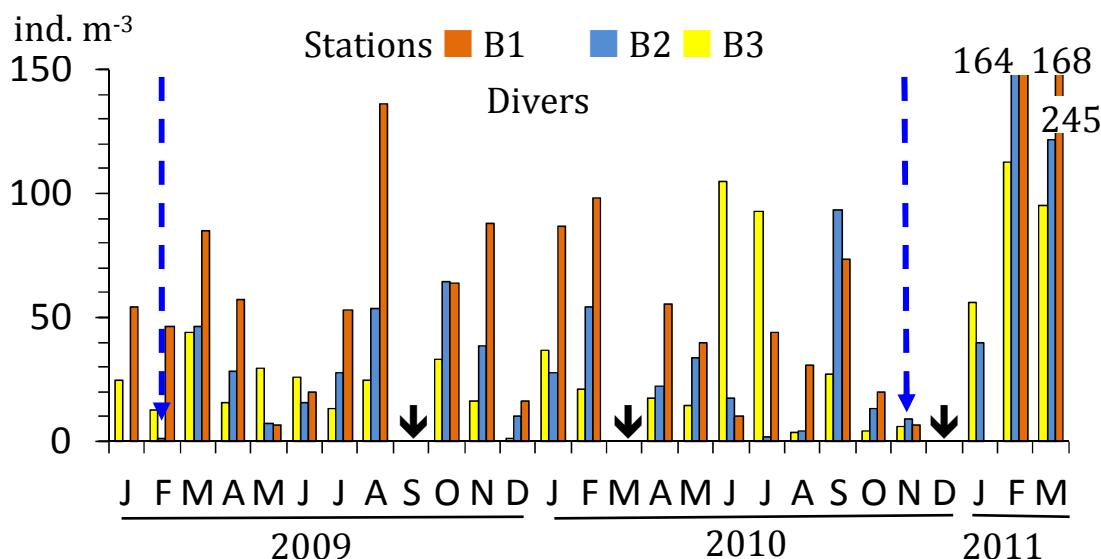
**Figure 16.** Variations de l'abondance (ind.  $m^{-3}$ ) des Dolioles et du groupe Divers récoltés dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba durant la période janvier 2009-mars 2011. : non échantillonnés. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.



**Figure 17.** Photographies de *Thalia democratica* (à gauche : colonie en haut et spécimen isolé en bas) et de *Doliolum nationalis* (à droite) récoltés dans la baie d'Annaba, janvier 2009-mars 2011.

### 1.7. Divers

Le groupe divers comprend les formes peu fréquentes dans les récoltes du zooplancton (Fig. 18). Il est constitué des Amphipodes, Radiolaires, Euphausiacés, Foraminifères, et Mysidacés qui représentent collectivement moins de 3% du TZ-N. Ce groupe est généralement toujours collecté en très faible nombre (30-60 ind.  $m^{-3}$  en moyenne).

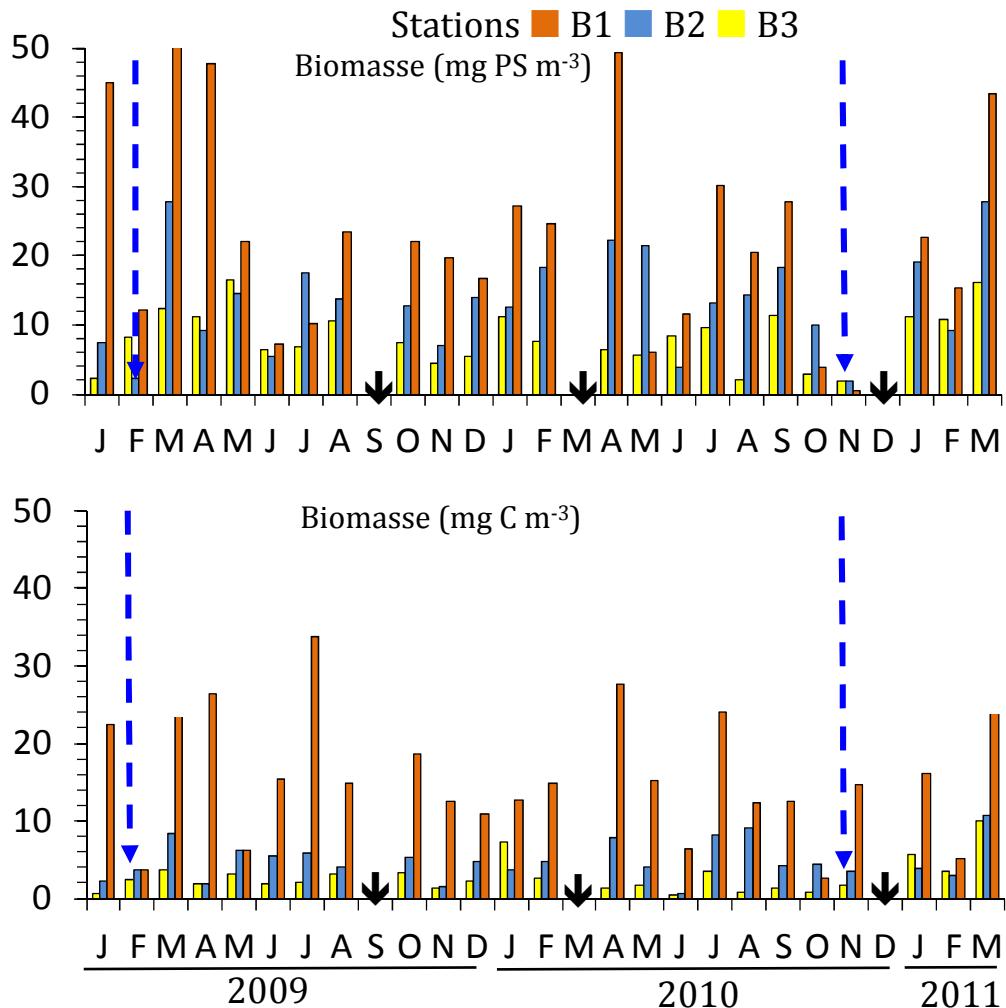


**Figure 18.** Variations de l'abondance du groupe Divers (ind.  $m^{-3}$ ) récolté dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba durant la période janvier 2009-mars 2011. ↓ : non échantillonnés. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.

## 2. Biomasse du zooplancton

Dans la baie d'Annaba la biomasse du zooplancton (Fig. 19) a varié entre les valeurs moyennes (6,7-8,3 mg PS  $m^{-3}$ ). La variation saisonnière de l'abondance du zooplancton total diffère du modèle général de la biomasse (Fig. 19) qui atteint le maximum au printemps 2009 et Septembre 2010. Il existe cependant une corrélation significative entre l'abondance du zooplancton total et de la biomasse: 0,68; 0,62 et 0,61, respectivement, dans les stations B1, B2 et B3 ( $n = 24$ ;  $p < 0,05$ ). La biomasse du zooplancton, d'autre part, était la plus élevée au niveau de la station B1 en avril 2009 et 2010 et en Mars 2011 en raison de la floraison de *Noctiluca scintillans* et de la contamination possible avec la re-suspension de détritus et de phytoplancton, habituellement abondants dans cette époque de l'année (Fig. 19). La couche d'eau peu profonde dans ce secteur côtier peut encourager la re-suspension de détritus, de

diverses particules et de phytoplancton, en particulier les colonies de diatomées telles que les espèces *Chaetoceros*.



**Figure 19.** Variations de la biomasse du zooplancton (en haut mg PS m⁻³ et mg C m⁻³ en bas) récolté dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba durant la période d'étude (janvier 2009-mars 2011).  $\downarrow$  : non échantillonnes. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.

Parallèlement aux estimations de la biomasse en poids sec (PS), la biomasse en carbone (C) des récoltes zooplanctoniques a été évaluée sur plusieurs sous-échantillons et l'équivalence PS carbone est approximée. Le rapport PS/C a varié entre 1,5 et 3. Mais en moyenne  $PS = 2C$ . Cette équivalence a été retenue et généralisée sur l'ensemble des récoltes. On constate sur la figure 19 que les valeurs de biomasses en carbone sont la moitié de celle en PS.

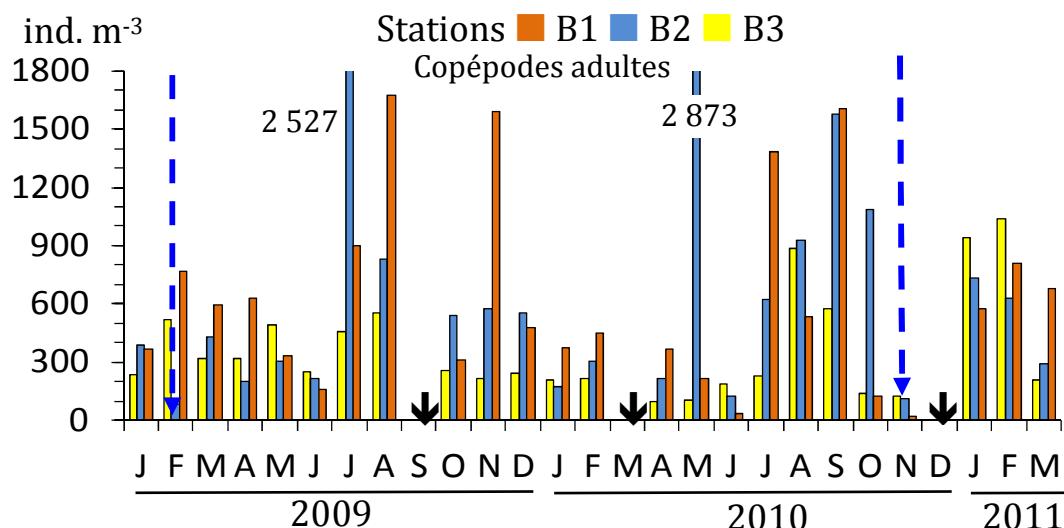
# **CHAPITRE III**

# **LES COPEPODES**

## Chapitre III : Les Copépodes

### 1. Composition des Copépodes

L'abondance moyenne des copépodes adultes a varié entre 368-670 ind. m<sup>-3</sup> avec des densités élevées aux stations panaches (Fig. 20). Au total 73 espèces de copépodes ont été identifiés, mais seulement 10 espèces représentent 80-90% de l'abondance totale des Copépodes et sont les plus présentes tout au long de l'année. Il s'agit de *Paracalanus indicus* (20,5-35,4%), *Oithona similis* (10-19,6%), *Euterpina acutifrons* (4,9-22,6%), *Centropages ponticus* (6,6-18,5%), *Oncaea venusta* (3-12,5%), *Oithona plumifera* (3,8-7,9%), *Clausocalanus furcatus* (1-7,6%), *Oithona nana* (2,7-5,8%), *Temora stylifera* (1,8-2,7%) et *Acartia (Acartia) negligens* (0,6-1,5%). Ces espèces principales sont présentées successivement en annexe.



**Figure 20.** Variations de l'abondance (ind. m<sup>-3</sup>) des Copépodes récoltés dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba durant la période janvier 2009-mars 2011. ↴ : non échantillonnés. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.

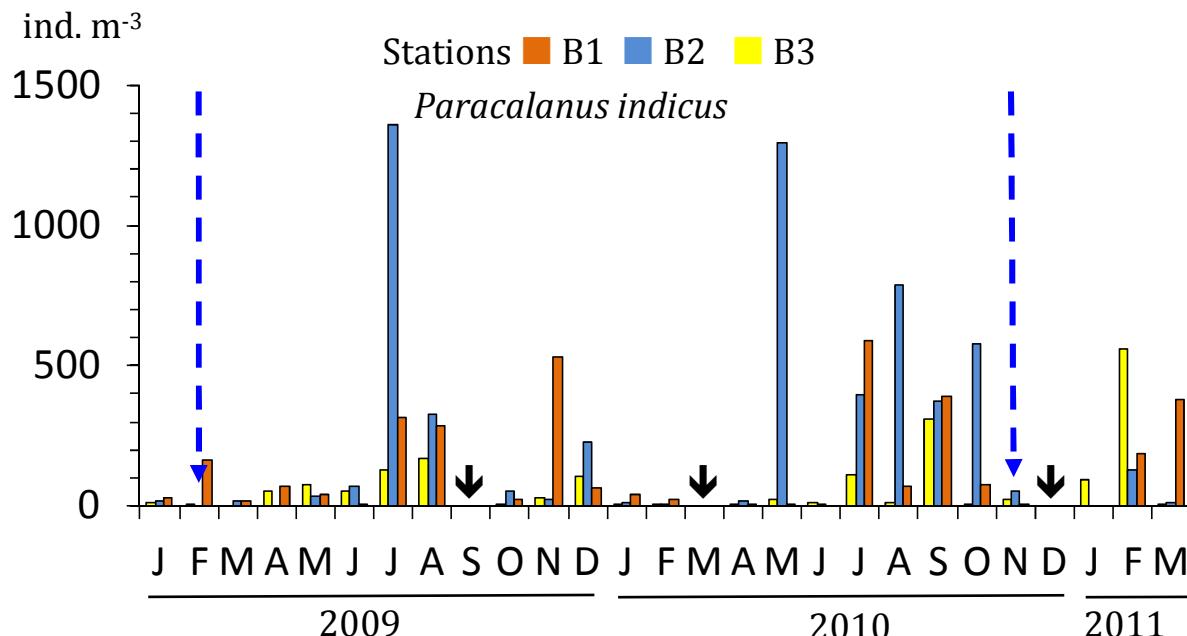
Pendant la fin d'automne et l'hiver, coïncidant avec la période de mélange et des entrées des eaux du large, on note la présence des espèces de Copépodes de diverses affinités écologiques: océanique, mésopelagique et bathypélagique telles que, *Calanus helgolandicus*, *Nannocalanus minor*, *Spinocalanus magnus*, *Scolecithrix danae*, *Diaixis hibernica*, *Sapphirina opalina*, *Pleuromamma abdominalis*, *P. borealis*, *P. xiphias*, *P. piseki*, *P. gracilis*, *Centropages violaceus*, *C. chierchiae*, *Lucicutia flavigornis*, *Cymbasoma longispinosum*, *Ctenocalanus vanus*, *Acartia danae*, *Candacia varicans*, *Agetus typicus*, *Urocorycaeus laetus*, *Onchocorycaeus latus* et *Clausocalanus pergens*.

Les deux espèces *Pseudodiaptomus arabicus* et *Pseudodiaptomus australiensis* ont été rencontrées pour la première fois dans la baie d'Annaba au cours de l'année 2010 et sont inconnues dans la mer Méditerranée. Les femelles de *Pseudodiaptomus australiensis* (1-3 individus) ont été observées en mai et juin (station B1), en juillet et août (station B3). Leurs jeunes copépodites femelles ont été récoltés en septembre. Pour *Pseudodiaptomus arabicus* 4 femelles ont été rencontrées en septembre dans les stations côtières B1 et B2.

## 2. Abondance des Copépodes

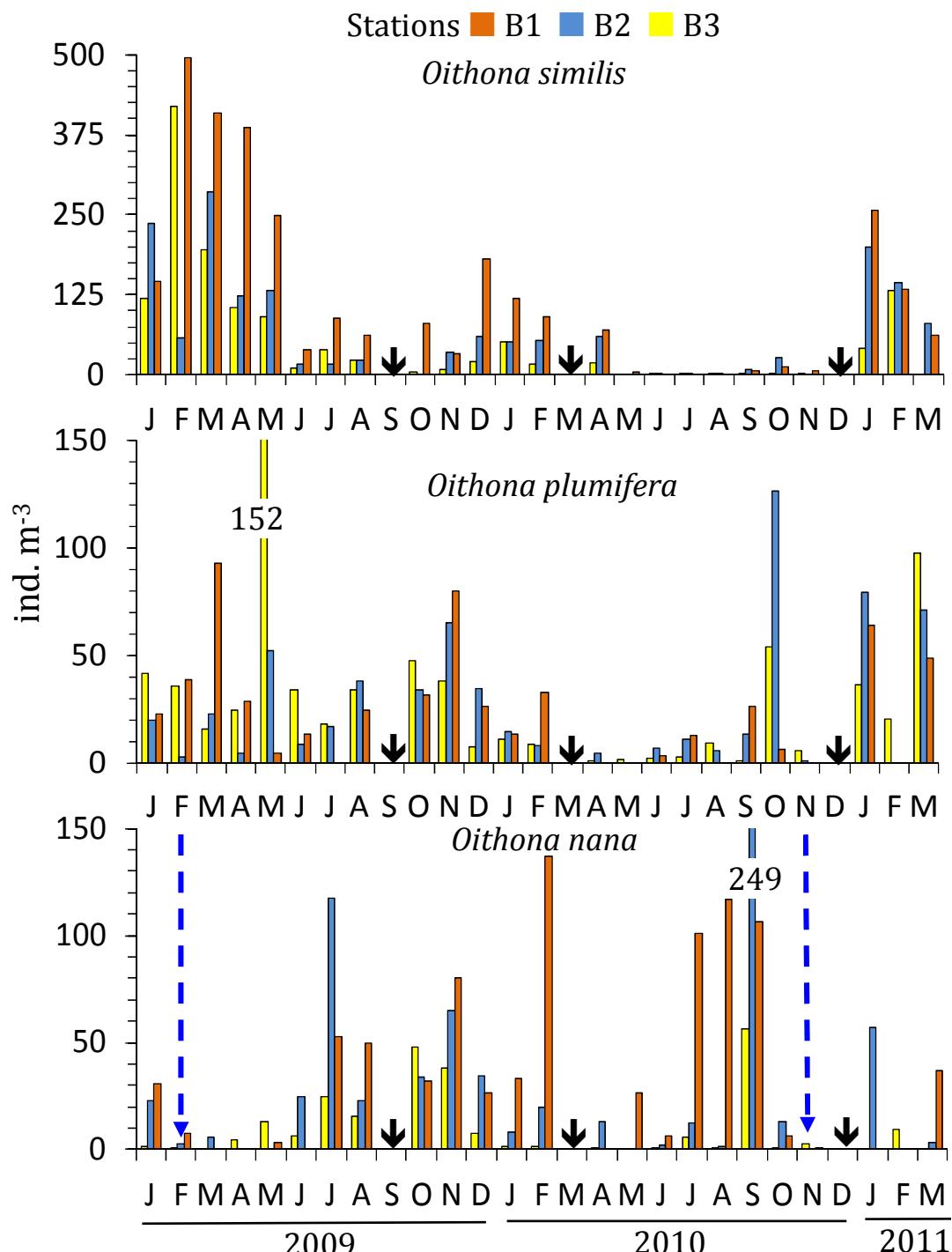
### 2.1. Principaux taxons

Les diverses espèces sont présentes en densités et proportion très variables. *Paracalanus indicus* est l'espèce la plus abondante (27,4 %) et domine le peuplement de copépodes en été-automne. Elle a été particulièrement abondante dans le secteur intérieur de la baie d'Annaba, directement soumis aux apports d'eaux estuariennes. Contrairement à *Oithona similis*, *P. indicus* est peu abondant en hiver. A la station B2 l'espèce développe des effectifs importants durant la fin été-automne et atteint 1 360 ind. m<sup>-3</sup> et 1 293 ind. m<sup>-3</sup> en juillet 2009 et en mai 2010 respectivement (Fig. 21).



**Figure 21.** Variations de l'abondance de *paracalanus indicus* (ind. m<sup>-3</sup>) récoltée dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011. ↓ : non échantillonnés. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.

Les espèces d'Oithonidés *Oithona similis*, *Oithona plumifera* et *Oithona nana* représentaient 40-70% de l'abondance totale de copépodes pendant l'hiver et le printemps 2009 (Fig. 22). *Oithona similis* est toujours présente dans l'ensemble des stations mais plutôt plus fréquente en hiver.



**Figure 22.** Variations de l'abondance (ind. m<sup>-3</sup>) des principales espèces d'Oithonidés (*Oithona similis*, *Oithona nana* et *Oithona plumifera*) récoltées dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011. ↓ : non échantillonnés. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.

On note en effet une diminution au printemps et une très faible densité en été. Les effectifs les plus élevés sont enregistrés en hiver et au printemps 2009 où la dominance au sein du peuplement de Copépode variait entre 10-19,6% (Fig. 22). Alors que la population s'affaiblit numériquement (< 1%) en aout 2010 dans la station B2 en été et en automne, elle présente des effectifs nettement plus élevés à la station B1, comme on peut le constater sur la figure 22.

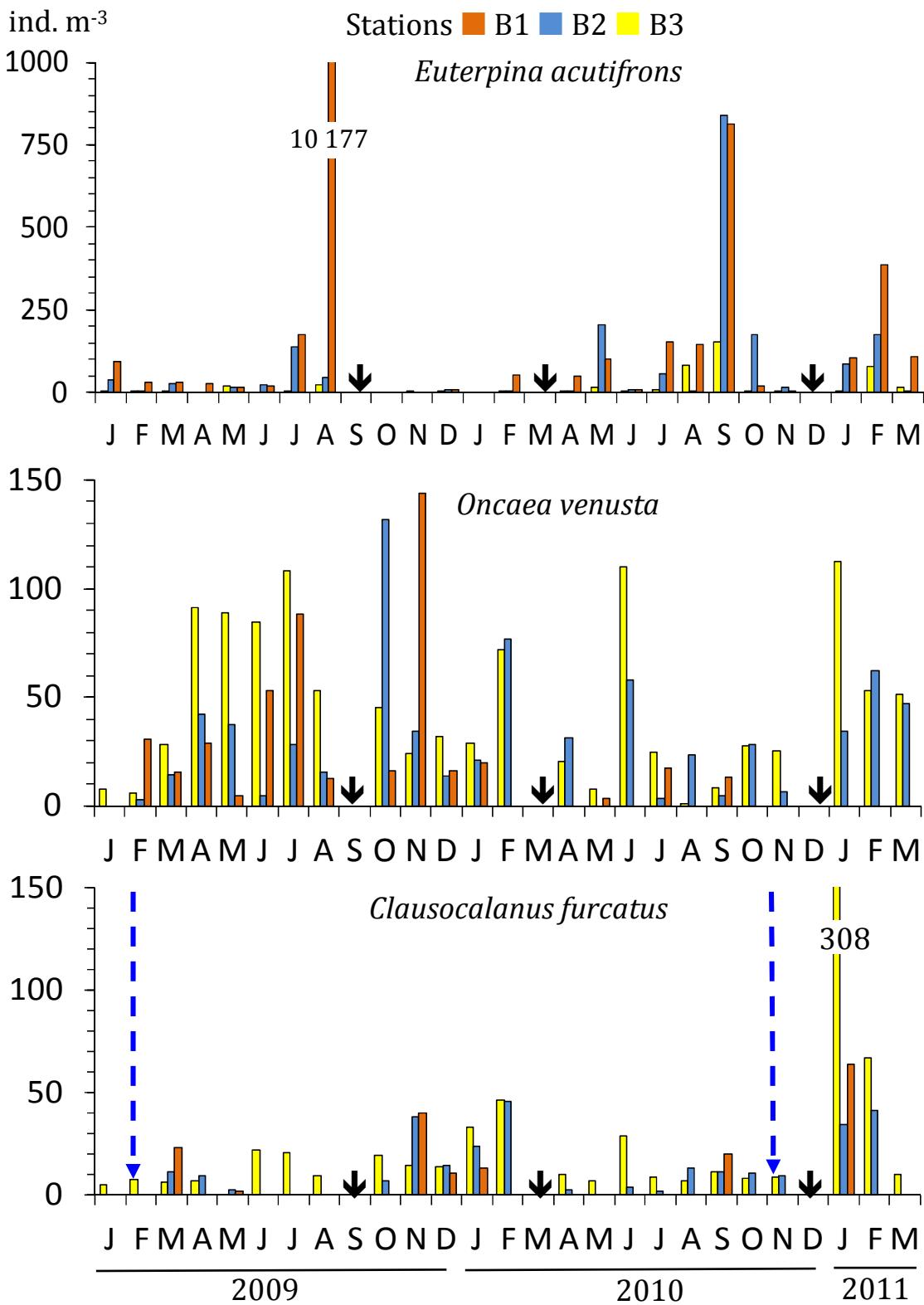
*Oithona nana* est rencontrée tout au long de l'année avec un maximum au printemps-été, et a développé de fortes densités dans la station panache de Seybouse.

*Oithona plumifera* est toujours présente dans l'ensemble des stations (Fig. 22), mais souvent plus fréquente à la station B3. Sa plus faible densité (1,33 ind. m<sup>-3</sup>) est observée en novembre 2010 à la station B2. Son effectif chute en période chaude, de mars à septembre 2010.

Le petit Harpacticoïde *Euterpina acutifrons* est une espèce opportuniste pullulant en milieux eutrophes. Elle est présente dans l'ensemble des récoltes mais abonde surtout à la station panache de Seybouse durant la période chaude où elle atteint 22% (Fig. 23) de l'abondance totale de copépodes.

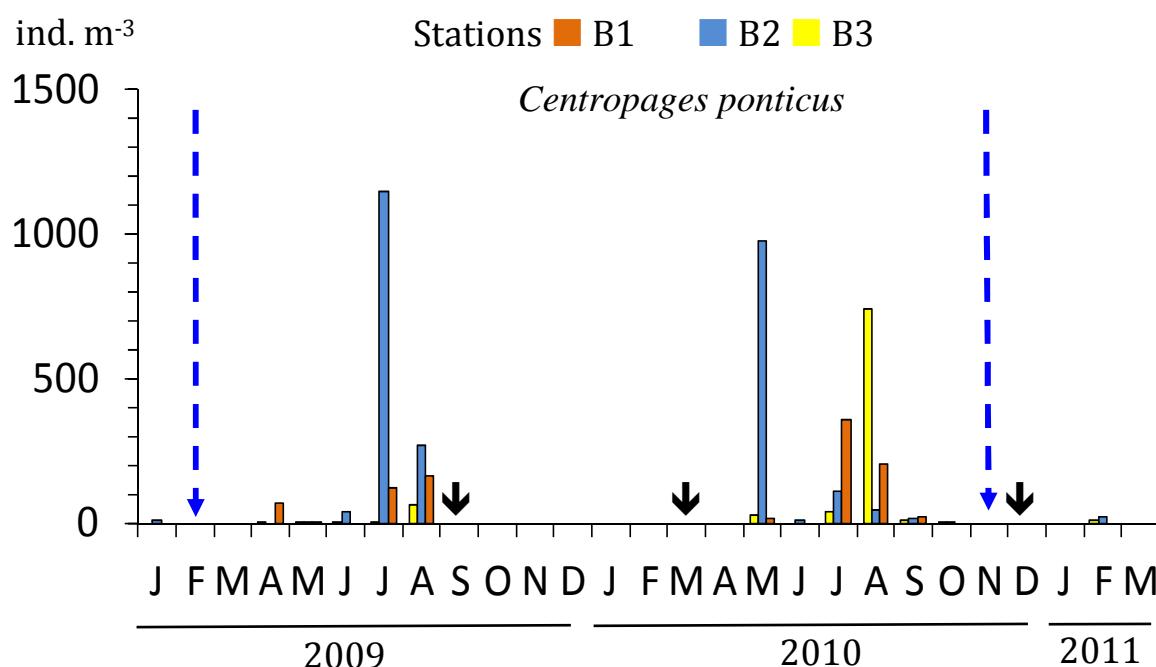
A la différence de l'Harpacticoïde *E. acutifrons*, le Cyclopoïde *Oncaeа venusta* colonise préférentiellement le secteur ouvert où l'espèce forme 12,5% du peuplement de Copépodes. *Oncaeа venusta* est toujours présente en tout secteur de la baie et atteint son maximum d'effectif en novembre 2009 à la station B1 (144 ind. m<sup>-3</sup>, Fig. 23). En février l'espèce disparait dans le secteur côtier (B1 et B2).

Dans la baie d'Annaba le Calanoïde *Clausocalanus furcatus* n'est pas rare. *Clausocalanus furcatus* abonde particulièrement en janvier avec une densité maximale observée à la station B3 où l'on peut compter jusqu'à 308 ind. m<sup>-3</sup> (Fig. 23) pour une dominance de 7,6%. En mai 2009 on note une diminution des effectifs avec une fréquence de l'ordre de 0,5 % à la station B1.



**Figure 23.** Variations de l'abondance (ind. m<sup>-3</sup>) d'*Euterpina acutifrons*, *Oncaeа venusta* et *Clausocalanus furcatus* récoltées dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011. ↓ : non échantillonnes. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.

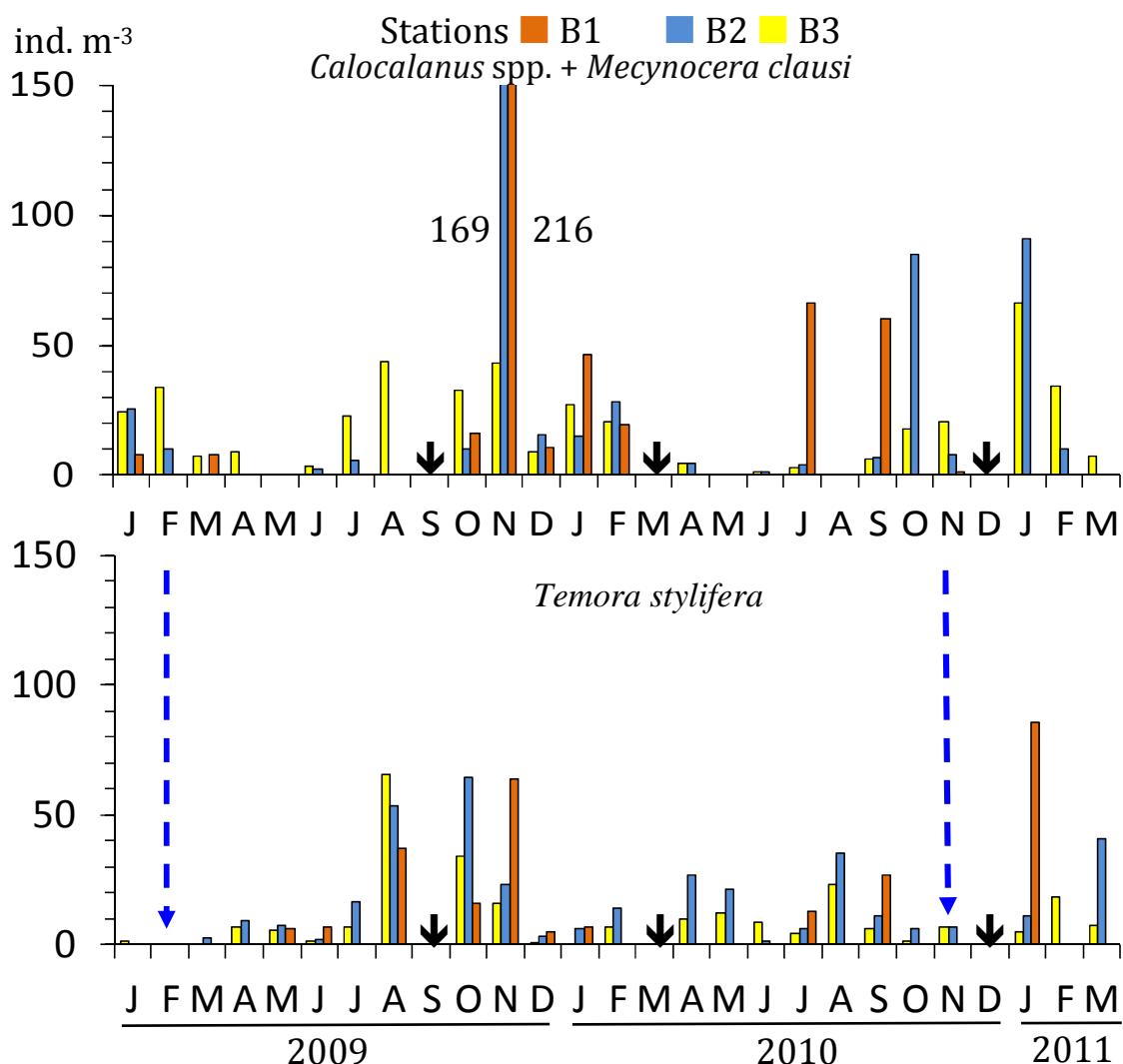
*Centropages ponticus* est le copépode le plus abondant pendant la saison chaude et atteint son maximum d'effectif en juillet 2009 à la station B2 (1 148 ind. m<sup>-3</sup>). En cette époque chaude, l'espèce forme 18,5% du peuplement de Copépodes. En revanche, durant la période froide cette espèce diminue pour atteindre un minimum d'abondance dans toutes les stations. Il est difficile de distinguer *Centropages ponticus* de son congénère *Centropages kroëry* et on l'a effectivement confondu dans les travaux antérieurs. Ces deux espèces n'ont cependant pas les mêmes préférences d'habitats, car *Centropages ponticus* est mieux adaptée aux faibles salinités alors que *Centropages kroëry* préfère plutôt les eaux franchement marines.



**Figure 24.** Variations de l'abondance (ind. m<sup>-3</sup>) de *Centropages ponticus* récoltée dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011. ↓ : non échantillonnés. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.

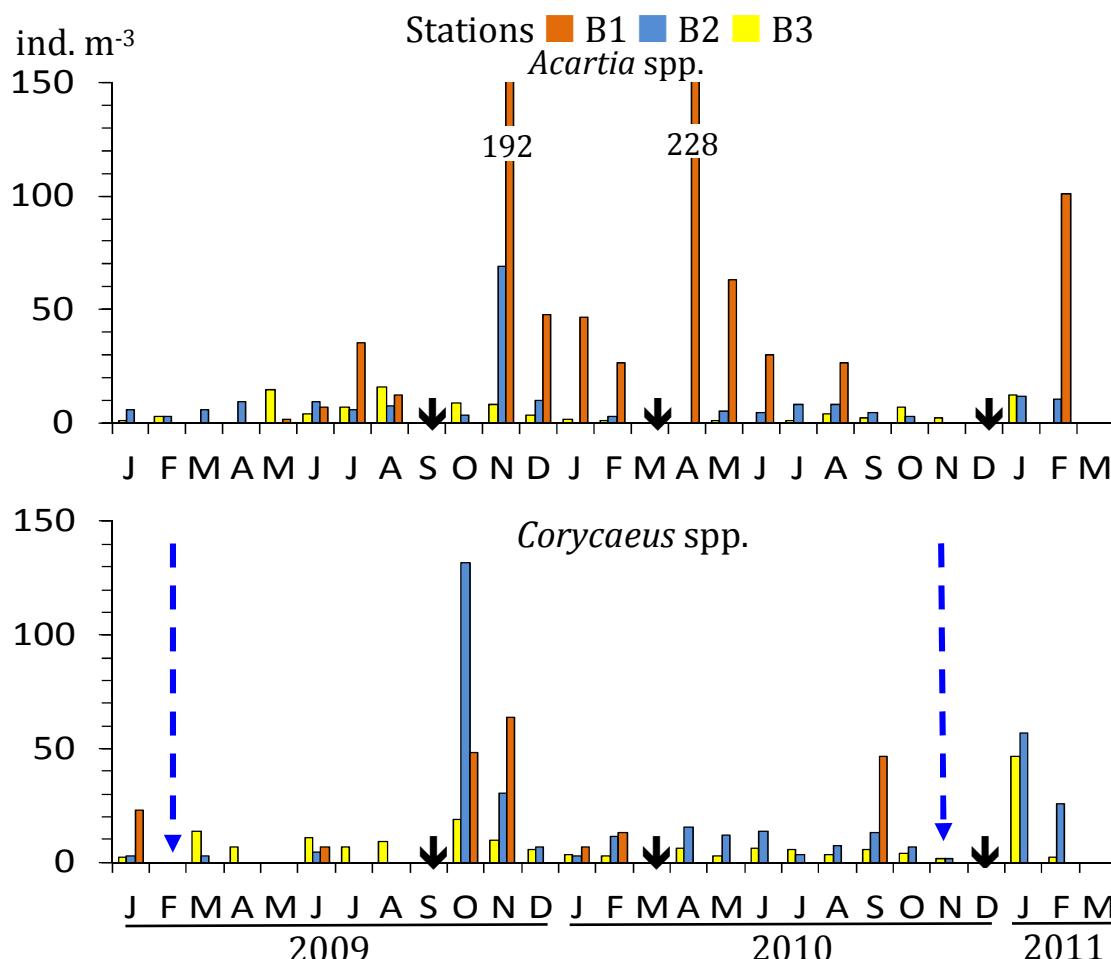
La famille des Calocalanidés est formée par 6 espèces mais apparaissent souvent sporadiquement. En revanche, ces espèces plutôt océaniques, constituent 3-4% de l'abondance totale de copépodes (Fig. 25) en période de brassage des eaux, en automne-début d'hiver. *Calocalanus pavo* est la plus abondante parmi les Calocalanidés et apparaît même avec des effectifs importants (103-112 ind.  $m^{-3}$ ) dans les stations côtières en novembre 2009 (Fig. 25). *Mecynocera clausi* est comme *Calocalanus pavo*, espèce océanique entraînée à l'intérieur de la baie par les courants du large qui se déploient dans la baie en hiver surtout.

*Temora stylifera* est présente dans toutes les stations mais avec de faibles densités. Elle atteint son maximum d'effectif en janvier 2011 à la station B1 (85 ind.  $m^{-3}$ , Fig. 25) et n'y constitue que 2,7% l'ensemble du peuplement de Copépodes.



**Figure 25.** Variations de l'abondance (ind.  $m^{-3}$ ) de *Calocalanus spp.* et *Temora stylifera* récoltées dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011.  $\downarrow$  : non échantillonnés. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.

Dans la baie d'Annaba les espèces de la famille des Acartiidae sont peu abondantes. Paradoxalement *Acartia (Acartiura) clausi*, commune des eaux côtières eutrophes se faisait rare au cours de la période d'étude. En revanche, *Acartia negligens* est observée presque dans toutes les récoltes mais avec des effectifs réduits. *Acartia danae* à caractère océanique, est présente dans les récoltes d'automne-hiver à la station B3, ouverte aux courants externes.

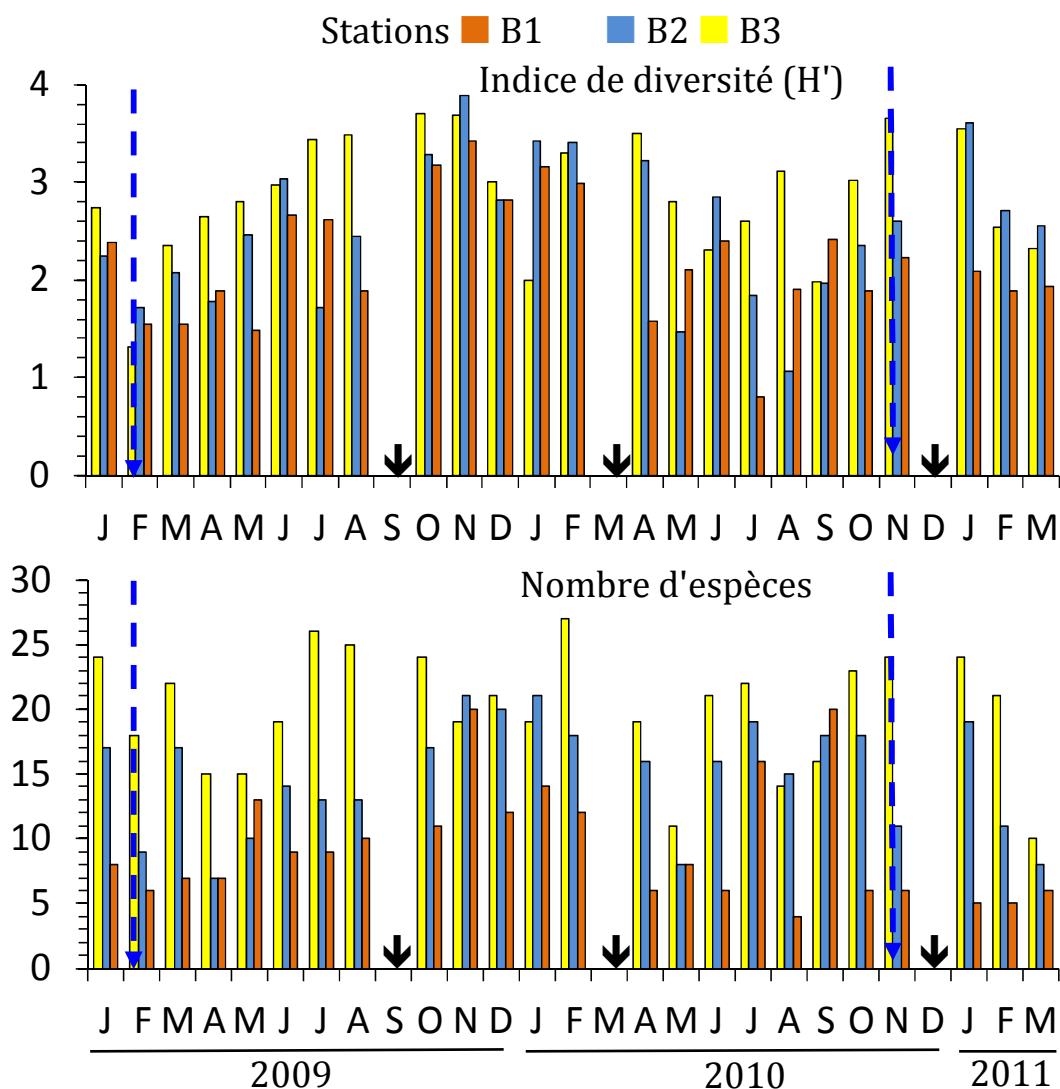


**Figure 26.** Variations de l'abondance (ind. m<sup>-3</sup>) des taxons *Acartia* spp. et *Corycaeus* spp. récoltés dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011. ▼: non échantillonnés. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.

La famille des *Corycaedae* est formée par 9 espèces présentes avec de faibles abondances. Cependant, *Onchocorycaeus ovalis*, *Farranula curta* et *Farranula rostrata* ne sont pas rares et forment ensemble des effectifs allant à 132 ind. m<sup>-3</sup> en octobre 2009 à la station B2 (Fig. 26). Curieusement l'abondance des *Corycaeus* est souvent associée à celle des *Oncaeidae*. Il semble que leurs caractères trophiques en tant que grands prédateurs carnassiers expliquent cette coïncidence d'occurrence. Ces prédateurs sont présents dans la plupart des échantillons mais sans aucune tendance saisonnière.

### 3. Diversité et structure démographique

L'indice de diversité de Shannon-Wiener ( $H'$ ) a largement varié tout au long de l'année, avec des valeurs élevées en automne et en hiver. Exceptionnellement, à la fin de l'hiver-printemps 2009, l'indice de diversité a diminué en raison de la forte dominance de *Oithona similis*, constituant 65-84% en février, 61-69% en mars et 32-61% en avril. De même, en raison de l'abondance numérique de *Paracalanus indicus*, la communauté des copépodes se trouve déséquilibrée en été (juillet-août 2010), où la diversité a diminué à 0,8-1,9 dans le secteur côtier (Fig. 27).



**Figure 27.** Variations de l'indice de diversité de Shannon ( $H'$ ) et du nombre d'espèces de Copépodes récoltées dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011. ♡ : non échantillonnés. Les flèches verticales bleues désignent les périodes de crues de rivières.

La communauté de copépodes se restructure en période froide (octobre- février) où l'indice de diversité et le nombre d'espèces atteignent leur maximum. En outre, le

secteur néritique (station B3) abrite un peuplement toujours plus structuré avec des diversités plus élevées (Fig. 27). Durant la période de mélange en novembre 2009, plus de 20 espèces coexistent (avec des densités modérées), ce qui a fait haussé la diversité du peuplement de Copépodes. Les principales composantes de la communauté étaient *Paracalanus nanus*, *Paracalanus indicus*, *Temora stylifera*, *Calocalanus pavo*, *Calocalanus styliremis*, *Calocalanus plumatus*, *Clausocalanus furcatus*, *Oithona plumifera*, *Oithona similis*, *Acartia clausi*, *Acartia negligens*, *Oncaeaa venusta*, *Corycaeus typicus*, *Corycaeus ovalis*, *Farranula curta* et *Nannocalanus minor*.

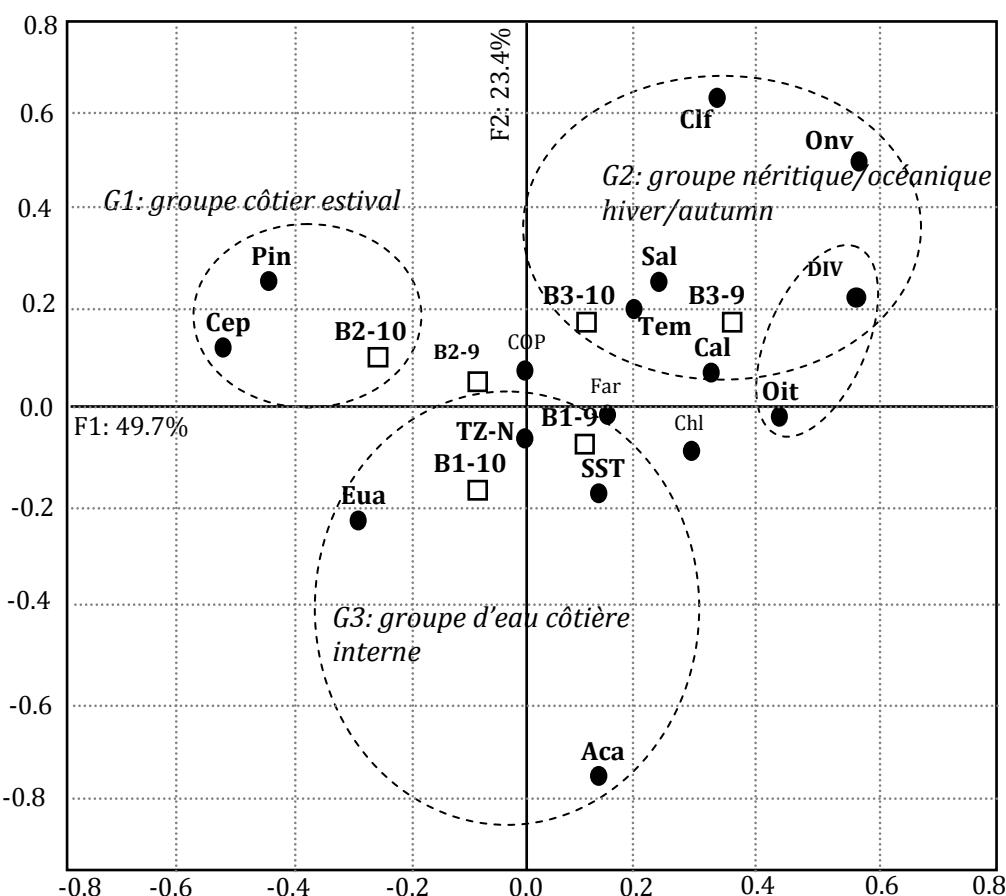
Il faut souligner que la station B3 ouverte aux intrusions du large était 2 fois et 3 fois plus riche en espèces que les stations côtières B2 et B3 (Fig. 27), respectivement.

#### 4. Analyses statistiques

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) fournit la co-variation entre la distribution spatio-temporelle de l'abondance du zooplancton, la biomasse et les espèces de copépodes en relation avec leurs paramètres environnementaux majeurs (Fig. 28). Selon le plan factoriel (F1 × F2), qui explique 72,7% de l'inertie totale, le zooplancton et ses principales espèces de copépodes planctoniques sont séparés en trois groupes principaux. L'axe F1 sépare le groupe côtier d'été principalement composé de *Paracalanus indicus* (Pin) et *Centropages ponticus* (Cep) du groupe neritic-océanique d'automne-hiver. Ce groupe est composé des espèces dénommées divers (DIV) en plus de *Oithona* spp. (Oit), surtout *Oithona plumifera* et *Oithona similis*, qui ont une certaine affinité pour les eaux néritiques où elles paraissent avec un nombre durant la saison froide. Les DIV incluent les espèces océaniques et profondes qui apparaissent surtout en période de mélange et sont transportées par les courants du large qui affectent la baie à la fin du printemps et en hiver. Ces DIV incluent en particulier : *Calanus helgolandicus*, *Nannocalanus minor*, *Spinocalanus magnus*, *Scolecithrix danae*, *Diaixis hibernica*, *Sapphirina opalina*, *Pleuromamma abdominalis*, *P. borealis*, *P. xiphias*, *P. piseki*, *P. gracilis*, *Centropages violaceus*, *C. chierchiai*, *Lucicutia flavigornis*, *Cymbasoma longispinosum*, *Ctenocalanus vanus*, *Acartia danae*, *Candacia varicans*, *Agetus typicus*, *Urocorycaeus laetus*, *Onchocorycaeus latus* et *Clausocalanus pergens*.

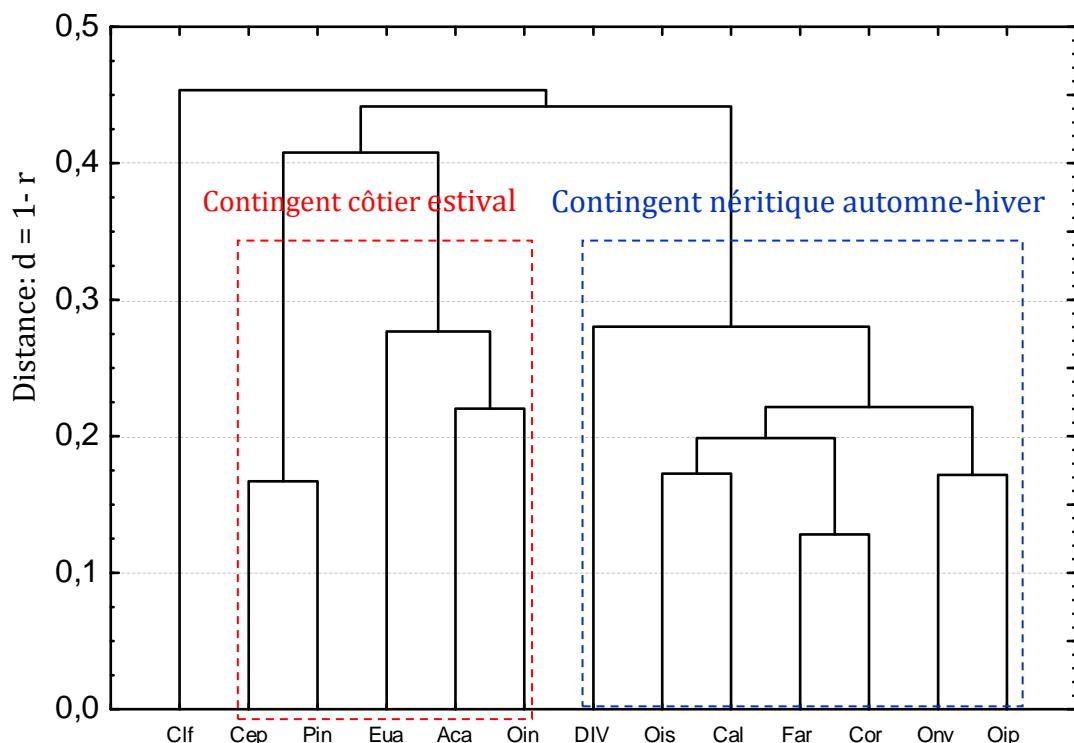
Le premier groupe dominant dans le panache de l'estuaire du Mafragh (B2-10, B2-9 est mal projeté sur les deux axes), alors que le deuxième groupe colonise principalement le secteur ouvert (B3-9 et B3-10) à l'intrusion de l'eau atlantique modifiée.

D'après le deuxième facteur F2, *Clausocalanus furcatus* (Clf), *Oncaea venusta* (Onv), et *Calocalanus* spp., en plus des espèces DIV qui habitent plutôt la zone ouverte et plus salée (Sal) et les eaux froides (Tem), sont séparés de *Euterpina acutifrons* (Eut) et *Acartia* spp. (Aca: *Acartia clausi* + *Acartia discaudata* + *Acartia negligens*), typiques du secteur côtier eutrophisé (panache de Seybouse: B1-9 et B1-10). Le G2, plus diversifié (C-H ': indice de diversité des copépodes) et riche en espèces (NCP: nombre d'espèces de copépodes) est plutôt lié à au secteur ouvert (B3, Fig. 28). En plus, *Euterpina acutifrons* et *Acartia* spp., indicateurs d'eutrophisation, le G3 comprend l'abondance du zooplancton total (TZA) et de la biomasse (ZB), qui caractérisent le panache de Seybouse. Globalement, il semble que l'axe F1 de la AFC peut correspondre à un facteur temporel séparant le groupe automne-hiver, alors que l'axe F2 peut constituer un facteur spatial qui sépare le secteur côtier productif (B1-B2) du secteur ouvert (B3) où le zooplancton y moins abondant, de faible biomasse mais avec une grande diversité et de richesse spécifiques.



**Figure 28.** Plan factoriel F1 x F de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) montrant la ségrégation spatio-temporelle du zooplancton et de son environnement (G1, G2 et G3) colonisant la baie d'Annaba durant la période d'étude. Voir texte pour les différentes abréviations.

La classification hiérarchique de 13 espèces principales de copépodes montre deux groupes principaux (Fig. 29). Le premier groupe comprend les espèces côtières internes d'été, constitué de *Centropages ponticus*, *Paracalanus indicus*, *Euterpina acutifrons* et *Oithona nana*. Ce groupe de la période chaude et de stratification des eaux habite le secteur intérieur eutrophe de la baie. Le deuxième groupe, comprend les espèces néritiques (*Oithona similis*, *Oocaea venusta*, *Oithona plumifera*, *Calocalanus* spp., *Corycaeus* spp. et *Frarranula rostrata*) et d'autres espèces océaniques (Div ou divers, Fig. 29) qui se développent en période froide de mélange des eaux (fin automne-hiver). Ce groupe est enrichi par les taxons supplémentaires par intrusion avec l'eau atlantique modifiée qui permet la cohabitation d'un grand nombre d'espèces (30-35 espèces).



**Figure 29.** Dendrogramme de la classification hiérarchique ascendante basée sur une matrice de distance ( $d = 1-r$ ) des abondances des espèces dans les trois stations étudiées de la baie d'Annaba, 2009-2010. Clf : *Clausocalanus furcatus* ; Cep : *Centropages ponticus*; Pin : *Paracalanus indicus* ; Eua : *Euterpina acutifrons* ; Oin : *Oithona nana* ; DIV : espèces divers ; Ois *Oithona similis* ; Cal : *Calocalanus* spp. ; Far : *Faranula* spp. ; Cor : *Corycaeus* spp. ; Onv : *Oncea venusta* ; Oip : *Oithona plumifera*.

En plus, le secteur intérieur est peu profond, très variable et fragile en raison des fluctuations des apports d'eau douce et des eaux estuariennes. Les populations habitant ce secteur sont adaptées aux différents modèles nutritionnels, avec des espèces herbivore (*Paracalanus indicus* et *Centropages ponticus*), omnivores (*Oithona nana* et

*Acartia* spp.) et détritivores (*Euterpina acutifrons*). En revanche, les conditions plus stables des eaux extérieures permettent le développement d'une communauté de Copépodes plus mature composée principalement d'espèces carnivores (*Oncaeа venusta*, *Faranula* spp., *Corycaeus* spp. et omnivores/carnivores telles que *Oithona similis* et *Oithona plumifera*). Les espèces dénommées Div comprennent des formes carnivores comme *Candacia varicans* par exemple, bien que d'autres espèces à différents comportements alimentaires peuvent y faire partie.

# **DISCUSSION**

## Discussion

### 1. Caractères du zooplancton de la baie d'Annaba

Au cours des deux dernières décennies, le développement intense du littoral a occasionné d'importants changements écologiques dans la zone côtière de la baie d'Annaba. Particulièrement le secteur ouest de la baie est affecté par d'importants rejets urbains et industriels, de part les apports de Seybouse fortement chargés de matières dissoute et particulaires (Ounissi *et al.*, 2014). L'extension des plumes estuariens sont souvent relativement limitées (5-10 km), mais la zone de dilution lors des crues peut influencer des régions plus éloignées, pour atteindre la partie Nord-Ouest de la baie. Ounissi *et al.* (1998) rapportent que le secteur intérieur était presque défauné et que le zooplancton a été transporté jusqu'à l'entrée de la baie d'Annaba, situé à 12 km de l'embouchure de Seybouse, qui est habituellement ouvert pour l'intrusion des eaux océaniques. Pendant cet événement, 30 copépodes adultes  $m^{-3}$  dans le panache de l'estuaire et 40 500 copépodes  $m^{-3}$  dans la limite du panache ont été signalés, avec des abondances jamais rencontré auparavant. Les apports en eau douce de Seybouse a déclenché une crue en novembre 2010 et a entraîné des effets similaires, où la biomasse et l'abondance du zooplancton ont diminué pour atteindre des valeurs très faibles. Les valeurs les plus élevées de l'abondance et de la biomasse du zooplancton ont été rencontrées dans la zone peu profonde près de la côte, surtout pendant l'année humide 2009, où les apports de nutriments des estuaires Seybouse et Mafragh ont du supporté une forte biomasse du phytoplancton qui a fourni une grande masse nutritionnelle pour le zooplancton. Des résultats comparables ont été signalés dans plusieurs sites méditerranéens, dans le golfe de Tunis (Daly Yahia *et al.*, 2004), le Nord de l'Adriatique (Benović *et al.*, 1984), la baie d'Izmit, la mer de Marmara (Isinibilir *et al.*, 2008) et la baie d'Annaba (Ounissi *et al.*, 1998). Comparée à d'autres sites côtiers de la Méditerranée, la biomasse du zooplancton de la baie d'Annaba peut être considérée parmi les plus élevées (6,70-25,37 mg PS  $m^{-3}$ ). Dans l'ensemble de la Méditerranée Champalbert (1996) rapporte que la biomasse varie entre 2-20 mg PS  $m^{-3}$  et les sites ayant plus de 20 mg PS  $m^{-3}$  sont considérés comme très productifs. Des valeurs similaires (2,1-14,4 mg PS  $m^{-3}$ , moyenne 7 mg PS  $m^{-3}$ ) pour la zone épipélagique dans la mer ouverte ont été signalées par Siokou-Frangou *et al.* (2010) et dans la mer Adriatique (6,6-18,5 mg PS  $m^{-3}$ : Benović *et al.*, 1984). De même, la biomasse du zooplancton d'une zone côtière ouverte d'Alger (Riandey *et al.*, 2005) est sensiblement comparable (4-9,6

mg PS m<sup>-3</sup>) aux valeurs de la présente étude (station B3 : 6,7-8,3 mg PS m<sup>-3</sup>) ainsi que celle du plateau continental des Baléares (7,40 mg PS m<sup>-3</sup>, Fernández de Puelles *et al.*, 2003). Les valeurs élevées de la biomasse du zooplancton pourraient être dues à la prolifération des espèces zooplanctoniques tolérant l'alimentation non-sélective, comme les copépodes *Oithona similis* (Nishibe *et al.*, 2010) et *Euterpina acutifrons* (Sautour and Castel, 1993) ou le dinoflagellé *Noctiluca scintillans* pouvant même utiliser les détritus en tant que fraction plus ou moins importante de leur alimentation (Fonda Umani *et al.*, 2004).

Dans la baie d'Annaba *Noctiluca scintillans* atteint des valeurs maximales pendant la fin de l'hiver-printemps, mais après ce pic printanier, la densité retombe très vite à des valeurs faibles durant l'été-automne. Sur le même site, Ounissi *et al.* (1998) ont rapporté un bloom (près de 1 million ind. m<sup>-3</sup>) en avril 1992 et un bloom moins prononcé en février 1992, mais il était faible dans la zone plus influencée par des eaux néritique externe. *Noctiluca scintillans* est un dinoflagellé phagotrophe possédant un grand spectre de nourriture et se nourrit en effet de phytoplancton, détritus, protozoaires, copépodes et même des œufs de poisson (Nakamura, 1998; Quevedo *et al.*, 1999). Ces facultés trophiques lui permet de se développer en masse et provoquer des blooms dans de nombreuses régions de l'océan mondial (Mikaelyan *et al.*, 2014). Ces conditions nutritionnelles sont offertes dans le secteur intérieur de la baie d'Annaba, très dépendants des apports continentaux. Ounissi *et al.* (1998) rapportent que le microzooplancton tels que les Tintinnides et les nauplii de copépodes se développent abondamment toute l'année, avec des densités pouvant atteindre 11 000-50 000 ind. m<sup>-3</sup> en février-avril, alors que la biomasse du phytoplancton s'élevait à 10,5 mg Chl a. m<sup>-3</sup>.

## 2. La communauté de copépodes

La faune de copépodes de la baie d'Annaba est composée de 143 espèces (Khélifi-Touhami *et al.*, 2007) à laquelle nous ajoutons dix nouvelles espèces pour la baie et deux nouvelles espèces pour la mer Méditerranée (*Pseudodiaptomus australiensis* et *Pseudodiaptomus arabicus*). La présence de stades copépodite V de *Pseudodiaptomus australiensis* suggère que l'espèce survit et se reproduit dans la baie d'Annaba mais sans développer toutefois une population abondante, contrairement à *Pseudodiaptomus marinus* introduit récemment dans la mer du Nord (Brylinski *et al.*, 2012) et en Méditerranée (Sabia *et al.*, 2015). Parmi les dix nouvelles espèces pour la baie

*Farrantula curta* a probablement été auparavant confondue avec *Farrantula rostrata* et *Centropages ponticus* était probablement confondue avec *Centropages kröyeri*. L'apparition de plusieurs espèces rares (*Spinocalanus magnus*, *Scolecithrix bradyi*, *Scolecithrix danae*, *Pleuromamma piseki*, *Monstrilla longicornis*, *Diaixis hibernica* et *Calocalanus plumatus*) ayant une répartition océanique et profonde ([Razouls et al., 2005-2015](#)), peut être expliquée principalement par l'effort supplémentaire d'échantillonnage. La présence des espèces démersales tropicales et côtières, telles que *Pseudodiaptomus australiensis* et *Pseudodiaptomus arabicus* ([Walter, 1987; 1998](#)) dans les eaux côtières intérieures de la baie d'Annaba peut être expliquée par les décharges des eaux de ballastes de bateaux Egyptiens ou asiatiques.

*Oithona* spp. constituent 40-70% de l'abondance des copépodes pendant l'hiver et le printemps 2009. Ce taxon euryhalin, eurytherme et omnivore et adapté dans un large gamme d'habitats ([Fransz et al., 1991](#)) est probablement le plus abondant des copépodes des mers et océans ([Gallienne & Robins, 2001](#)). Relativement à son abondance en 1992 (340-1 430 ind. m<sup>-3</sup> en période chaude ; [Ounissi et al., 1998](#)), *Oithona nana* a fortement diminué et a été remplacée par *Oithona similis*, qui se répand dans toute la baie ([tableau 6](#)). Dans la mer Noire, l'espèce indigène *Oithona nana* a complètement disparu depuis les années 1970 et a été remplacée par *Oithona davisae* non indigène, qui occupe la même niche ([Gubanova et al., 2014](#)). Dans le même contexte, [Gubanova et al. \(2014\)](#) ont remarqué que *Acartia margalefi* et *Paracartia latisetosa* ont disparu, et que *Acartia tonsa* soit installée dans la mer Noire depuis les années 2000. La restructuration des peuplements de copépodes de la baie d'Annaba s'est également traduite par la chute de l'abondance d'*Acartia clausi* et *Acartia discaudata* par rapport aux données de 1992. *A. discaudata* a été particulièrement nombreuse au printemps 1992, atteignant 700 ind. m<sup>-3</sup>. Conjointement *Acartia negligens* est devenus plus abondante ([tableau 6](#)) dans les récoltes de cette étude.

L'autre changement perceptible de la composition des copépodes c'est la domination importante du *Paracalanus indicus* durant la période chaude et sa proportion a augmenté dans la baie ([tableau 6](#)) depuis son premier enregistrement en 1992 dans la baie ([Ounissi et al., 1998](#)). Cette espèce côtière et néritique n'a pas suffisamment été étudiée aussi bien en Méditerranée que pour l'océan mondial. Elle a souvent été confondue avec *Paracalanus parvus* et *Paracalanus quasimodo* ([Khélifi-Touhami et al., 2007](#)). Plus récemment, l'analyse de la diversité génétique de *Paracalanus parvus* de

tous les océans a été effectuée par [Cornils & Held \(2014\)](#). Selon ces auteurs, *Paracalanus indicus* est vraiment répandue à l'échelle océanique et ont révélé que *Paracalanus parvus* est restreint probablement de l'Atlantique Nord-Est.

La communauté des copépodes de la baie d'Annaba diffère aussi des autres baies et golfes méditerranéens semblables par la présence de *Centropages ponticus*, qui développe des populations intenses pendant la période chaude. Dans la mer de Marmara, cette espèce est présente tout au long de l'année, mais son abondance augmente à la fin de l'hiver-printemps ([Isinibilir, 2009](#)).

**Tableau 6.** Comparaison de la composition des espèces principales de Copépodes (fréquence relative en%) dans la baie d' Annaba au cours des deux dernières décennies (1992-2011). a: [Ounissi et al. \(1998\)](#); b: [Khélifi-Touhami et al. \(2007\)](#); c: Ounissi, données non publiées; d: cette étude. +: présence; F: Février, Mr: Mars; A: Avril; M: Mai; Jn: Juin; J: Juillet; Au: Aout.

	1992 <sup>a</sup>	2002 <sup>b</sup>	2003 <sup>b</sup>	2006 <sup>c</sup>	2006 <sup>c</sup>	
	F-Mr-A	Jn-J-Au	F-Mr	Mr-A	Mr	Jn
<i>Paracalanus indicus</i>	1.0	0.0	2.0	9.0	16.4	46.5
<i>Oithona similis</i>	6.4	0.0	7.0	17.0	9.4	1.3
<i>Oithona nana</i>	3.5	52.1	0.0	9.0	+	0.2
<i>Acartia clausi</i>	5.3	0.5	0.0	0.0	0.2	2.8
<i>Acartia discaudata</i>	17.3	0.6	0.0	2.0	+	0.1
<i>Acartia negligens</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
<i>Euterpina acutifrons</i>	43.7	25	3.0	3.0	0.6	0.6
<i>Clausocalanus furcatus</i>	1.9	0.9	12.0	3.0	45.8	13.1
Somme de la fréquence	79	80	24.0	43.0	72.5	64.8
Copépodes (ind. m <sup>-3</sup> )	448	2883	210	299	644	434

**Suite tableau 6**

	2009 <sup>d</sup>		2010 <sup>d</sup>		2011 <sup>d</sup>
	F-Mr-A	Jn-J-Au	F-A	Jn-J-Au	F-Mr
<i>Paracalanus indicus</i>	3.8	33.3	4.1	37.4	20.4
<i>Oithona similis</i>	62.2	4.6	18.2	0.8	15.9
<i>Oithona nana</i>	1.1	4.9	3.7	1.3	0.5
<i>Acartia clausi</i>	1.0	1.3	0.0	0.6	0.0
<i>Acartia discaudata</i>	0.6	0.2	0.0	0.0	0.4
<i>Acartia negligens</i>	0.4	0.6	0.6	2.0	5.0
<i>Euterpina acutifrons</i>	1.4	4.4	1.8	5.2	11.2
<i>Clausocalanus furcatus</i>	2.1	2.5	12.0	5.3	4.4
Somme de la fréquence	72.6	51.7	40.3	52.6	58.0
Copépodes (ind. m <sup>-3</sup> )	311	864	207	363	542

Concernant la répartition spatio-temporelle de la communauté de copépodes, l'analyse de correspondance détermine le groupe côtier d'été (*Paracalanus indicus*, *Centropages ponticus*, *Euterpina acutifrons*, *Oithona nana* et *Acartia* spp.) et le groupe automne-hiver

(constitué principalement d'espèces carnivores: *Oncaea venusta*, *Farranula* spp., *Corycaeus* spp. et omnivores ou carnivores *Oithona similis*, *Oithona plumifera* et *Can-dacia varicans*) qui ont les mêmes préférences spatiales. Le groupe côtier d'été est plus abondant et moins diversifié et habite les régions côtières intérieures, alors que le groupe automne-hiver, avec une abondance relativement faible et diversité et richesse élevées, est plutôt associé aux eaux néritiques. En plus, à la fin de l'automne-hiver, le mélange des eaux induit des interactions importantes entre le plancton néritique, océanique et profond ([Siokou-Frangou et al., 2010](#)) pouvant affecter la distribution des copépodes. Dans ces conditions hydrodynamiques, plusieurs espèces (appartenant au groupe automne-hiver) communes aux eaux océaniques et profondes ([cf Scotto di Carlo et al., 1984; Raybaud et al., 2008](#)) pénètrent dans la baie.

# **CONCLUSIONS**

## Conclusions

Cette étude montre que le zooplancton de la baie d'Annaba paraît spatialement très hétérogène et sous l'influence de trois effets hydrologiques :

(i) Le panache de l'estuaire du Seybouse très productif et faiblement diversifié permet le développement d'espèces opportunistes qui supportent les fluctuations de ce secteur à faible inertie.

(ii) Les apports de l'estuaire du Mafragh produisent des eaux quasi-vierges. En plus, contrairement au secteur d'ouest, la côte adjacente à l'estuaire du Mafragh est fortement exposée aux vents et tempêtes. Sous ces conditions hydro-climatiques, le zooplancton est à la fois moyennement productif avec la cohabitation des espèces néritiques et opportuniste.

(iii) Le courant résiduel du courant atlantique modifie affectant le centre et le nord de la baie joue un rôle majeur dans la diversité, l'abondance et la composition du zooplancton de cette région. Le zooplancton de cette région plus stable et bien renouvelée est moins abondant et moins productif, mais très diversifié. Le nombre d'espèces de copépodes de cette région est 2-3 fois plus élevé que celui des zones proches de l'estuaire de Seybouse et Mafragh, et contrairement, l'abondance du zooplancton est deux fois plus faible. La baie centrale est principalement habitée par les espèces de copépodes néritiques *Oithona similis*, *Oithona plumifera*, *Oncaea venusta*, *Calocalanus* spp. et *Corycaeus* spp. En plus, pendant la fin automne-hiver le mélange des eaux induit des interactions importantes entre le plancton néritique, océanique et profond. En conditions de mélange plusieurs espèces océaniques et profondes pénètrent la baie.

- Par rapport à la biomasse zooplanctonique dans d'autres parties de la région méditerranéenne, la baie d' Annaba peut être considérée comme modérée à riches mais la biomasse augmente au cours de l'année pluvieuse.
- *Noctiluca scintillans* est un élément essentiel du zooplancton même dans le secteur ouvert par suite de sa stratégie de nutrition flexible.
- La spécificité du zooplancton de la d'Annaba c'est aussi la prédominance de *Paracalanus indicus*, la diminution de *Acartia discaudata* et *Acartia Clausi*, remplacées par ailleurs par *Acartia negligens*.

- L'abondance de *Oithona nana* a remarquablement chuté avec une augmentation significative de *Oithona similis*, devenue prédominante au sein de Copépodes.
- Les Copépodes *Pseudodiaptomus australiensis* et *Pseudodiaptomus arabicus* sont signalées comme espèces nouvelles pour la Méditerranée. En outre, la présence de stades copépodite V de *Pseudodiaptomus australiensis* suggère que cette espèce survit et se reproduit vraiment dans la baie mais sans pour autant développer une population abondante.

# **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES

- Aminot, A., Chaussepied, M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, Brest.
- Aounallah, O., 2015. Distribution and fluxes of biogeochemical variables in the Seybouse River Estuary, SW Mediterranean. *Advances in Environmental Biology*, 9 (11), 101-108.
- Bacha, M., Amara, R., 2009. Spatial, temporal and ontogenetic variation in diet of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) on the Algerian coast (SW Mediterranean). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 85(2), 257-264.
- Barnabé G., 1986. Les collectes de zooplancton. In : Aquaculture, 1. Barnabé G., Lavoisier, Paris : 260- 269.
- Benović, A., Fonda Umani, S., Malej, A., Specchi, M., 1984. Net-zooplankton biomass of the Adriatic Sea. *Marine Biology*, 79, 209-218.
- Bernard, M.F., 1955. Etude préliminaire quantitative de la répartition saisonnière du zooplancton de la baie d'Alger. I. Année 1950-1951. *Bulletin de l'Institut océanographique*, Monaco, 52 (1065), 1-28.
- Béthoux, J.P., Morin, P., Chaumery, C., Connan, O., Gentili, B., Ruiz-Pino, D., 1998. Nutrients in the Mediterranean Sea, mass balance and statistical analysis of levels with respect to environmental change. *Marine Chemistry* 63 (1-2), 155-169.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4203\(98\)00059-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4203(98)00059-0).
- Bjornberg, T. K. S., 1981. Copepoda. In Boltovskoy, D. (ed.), *Atlas del Zooplankton del Atlantico Sudoccidental*, INIDEP, Mar del Plata: 587-679.
- Bosc, E., Bricaud, A., Antoine, D., 2004. Seasonal and interannual variability in algal biomass and primary production in the Mediterranean Sea, as derived from 4 years of SeaWiFS observations. *Global Biogeochemical Cycles*, 18(1).
- Bowman, C. M., Dahlberg, J. E., Ikemura, T., Konisky, J., Nomura, M., 1971. Specific inactivation of 16S ribosomal RNA induced by colicin E3 in vivo. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 68(5), 964-968.
- Boxshall, G. A., 1979. The Planktonic Copepods of the Northeastern Atlantic Ocean, Harpacticoida, Siphonostomatoida and Mormonilloida. *British Museum (Natural History)*.
- Bradford-Grieve, J.M., 1994. The marine fauna of New Zealand: Pelagic Calanoid Copepoda: Families Megacalanidae, Calanidae, Paracalanidae, Mecynoceridae, Eucalanidae, Spinocalanidae, Clausocalanidae. *New Zealand Oceanogr*, 102: 1-160.
- Bradford-Grieve, J.M., 1999. The marine fauna of New Zealand: Pelagic Calanoid Copepoda: Bathypontiidae, Arietellidae, Augaptilidae, Heterorhabdidae, Lucicutiidae, Metridinidae, Phyllopodidae, Centropagidae, Pseudodiaptomidae, Temoridae, Candaciidae, Pontellidae, Sulcanidae, Acartiidae, Tortanidae. *New Zealand National Institute of Water and Atmospheric Research*, 111: 1-268.
- Brylinski, J.M., Antajan, E., Raud, T., Vincent, D., 2012. First record of the Asian copepod *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913 (Copepoda: Calanoida: Pseudodiaptomidae) in the southern bight of the North Sea along the coast of France. *Aquatic Invasions*, 7 (4), 577-584.
- Budgen, G.L., Hargrave, B.T., Sinclair, M.M., Tang, C.J., Therriault, J.C., Yeats, P.A., 1982. Freshwater runoff effects in the marine environment: the Gulf of St Lawrence example. *Canadian Technical Reports on Fisheries and Aquatic Sciences*, 1078: 1-89.
- Caddy, J.F., 2000. Marine catchment basin effects versus impacts of fisheries on semi-enclosed seas. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 57(3), 628-640.

- Canton, M., Anschutz, P., Poirier, D., Chassagne, R., Deborde, J., Savoye, N., 2012. The buffering capacity of a small estuary on nutrient fluxes originating from its catchment (Leyre estuary, SW France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 99, 171-181. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2011.12.030>.
- Cassie, R. M., 1963. Microdistribution of plankton. *Oceanography and marine biology: an annual review*. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 1, 223-252.
- Champalbert, G., 1996. Characteristics of zooplankton standing stock and communities in the Western Mediterranean Sea: relation to hydrology. *Scientia Marina*, 60 (2), 97-113.
- Conley, D. J., Stålnacke, P., Pitkänen, H., Wilander, A., 2000. The transport and retention of dissolved silicate by rivers in Sweden and Finland. *Limnology and Oceanography*, 45 (8), 1850-1853. <http://dx.doi.org/10.4319/lo.2000.45.8.1850>.
- Cornils, A., Held, C., 2014. Evidence of cryptic and pseudocryptic speciation in the *Paracalanus parvus* species complex (Crustacea, Copepoda, Calanoida). *Frontiers in Zoology*, 11, 19.
- Daly Yahia, M.N., Souissi, M., Daly Yahia-Kéfi, O., 2004. Spatial and temporal structure of planktonic copepods in the Bay of Tunis (Southwestern Mediterranean Sea). *Zoological Studies*, 43 (2), 366-375.
- Daskalov, G., 1999. Relating fish recruitment to stock biomass and physical environment in the Black Sea using generalized additive models. *Fisheries Research*, 41: 1-23.
- Day, R. W., Quinn, G. P., 1989. Comparisons of treatments after an analysis of variance in ecology. *Ecological monographs*, 59(4), 433-463.
- Deegan, L.A., Day, J.W., Gosselink, J.G., Yáñez-Arancibia, A., Soberón, G., Sánchez-Gil, P., 1986. Relationships among physical characteristics, vegetation distribution and fisheries yield in Gulf of Mexico estuaries. In: D.A. Wolfe. (Eds.). *Estuarine Variability*. Academic Press, New York.
- Dervin, C., 1988. Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle des correspondances? FAO, ITCF-INAPG, Paris.
- Durrieu de Madron et al., 2011. Marine ecosystems' responses to climatic and anthropogenic forcing in the Mediterranean. *Progress in Oceanography*, 91, 97-166.
- Elbrächter, M., Qi, Z. (1998). Aspects of *Noctiluca* (Dinophyceae) population dynamics. *Physiological ecology of harmful algal blooms* (DM Anderson, AD Cembella, GM Hallegraeff, eds), Springer, Berlin, Heidelberg, 315-335.
- El-Sayed, S., Van Dijken, G. L., 1995. The southeastern Mediterranean ecosystem revisited: Thirty years after the construction of the Aswan High Dam. *Qarterdeck*, 3(1), 4-7.
- Estrada, M., 1996. Primary production in the northwestern Mediterranean. *Scientia Marina*, 60(2), 55-64.
- Fasham, M.J.R., Angel, M.V., Roe, H.S.J., 1974. An investigation of the spatial pattern of zooplankton using the Longhurst-Hardy plankton recorder. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 16(2), 93-112.
- Fernandez De Puelles M.L.F., Pinot, J.-M., Valencia, J., 2003. Seasonal and interannual variability of zooplankton community in waters off Mallorca Island (Balearic Sea, Western Mediterranean): 1994-1999. *Oceanologica Acta*, 26, 673-686.
- Fernandez De Puelles, M.L.F., Valencia, J., Vicente, L. 2004. Zooplankton variability and climatic anomalies from 1994 to 2001 in the Balearic Sea (Western Mediterranean). *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 61(4), 492-500.
- Fonda Umani, S., Beran, A., Parlato, S., Virgilio, D., Zollet, T. et al., 2004. *Noctiluca scintillans* Macartney in the Northern Adriatic Sea: long-term dynamics, relationships with

- temperature and eutrophication, and role in the food web. *Journal of Plankton Research*, 26(5), 545-561.
- Fransz, H.G., Colebrook, J.M., Gamble, J.C., Krause, M., 1991. The zooplankton of the North Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 28, 1-52.
- Frehi, H., Couté, A., Mascarell, G., Perrette-Gallet, C., Ayada, M. et al., 2007. Dinoflagellés toxiques et/ou responsables de blooms dans la baie d'Annaba (Algérie). *Comptes Rendus Biologie*, 330, 615-628.
- Frehi, H. 1995. Etude de la structure et du fonctionnement du système phytoplanctonique dans un écosystème marin côtier : Eutrophisation de la Baie d'Annaba. Thèse de magister, Université d'Annaba. Algérie, 160p.
- Frontier, S., 1973. Etude statistique de la dispersion du zooplancton. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 12(3), 229-262.
- Furnestin, M.L., 1977. Les dents de chaetognathes au microscope électronique à balayage. Relations avec la nutrition. *Rapp. P.-v. Réun. Commn int. Explor. scient. Mer Médit*, 24, 141-142.
- Gallienne, C.P., Robins, D.B., 2001. Is *Oithona* the most important copepod in the world's oceans? *Journal of Plankton Research*, 23, 1421-1432.
- Gaudy, R., Youssara, F., Diaz, F., Raimbault, P., 2003. Biomass, metabolism and nutrition of zooplankton in the Gulf of Lions (NW Mediterranean). *Oceanologica Acta*, 26, 357-372.
- Gouiez, H., Ounissi, M., Laabed, S., Saker, I., Haridi, H., Khelifi-touhami, M., Djorfi, S. 2006. Apports en phosphates et en azote minéral de oued Seybouse au littoral d'Annaba (Algérie) 8eme Conférence Internationale des Limnologues d'Expression Française "CILEF 2006".
- Gubanova, A., Altukhov, D., Stefanova, K., Arashkevich, E., Kamburska, L. et al., 2014. Species composition of Black Sea marine planktonic copepods. *Journal of Marine Systems*, 135, 44-52.
- Hafferssas, A., Seridji, R., 2010. Relationships between the hydrodynamics and changes in copepod structure on the Algerian coast. *Zoological Studies*, 49 (3), 353-366.
- Hallas, M.K., Huettel, M., 2013. Bar-built estuary as a buffer for riverine silicate discharge to the coastal ocean. *Cont. Shelf Res.*, 55, 76-85.
- Harris, R.P., Wiebe, P., Lenz, J., Skjoldal, H.R., Huntley, M. (Eds), 2000. ICES zooplankton methodology manual. Academic Press, San Diego.
- Hays, G. C., Richardson, A. J., Robinson, C., 2005. Climate change and marine plankton. *Trends in ecology & evolution*, 20(6), 337-344.
- Hensen.V., 1884. Ueber die Bestimmung der Planktons oder des im Meer triebenden Materials an Pflanzen und Tieren. Bericht der Commission zur Wissenschaftlichen Untersuchungen der Deutschen Meere, 5(2).
- Isinibilir, M., Kideys, A.E., Ahmet, N., Tarkan, A.N., Yilmaz, I.N., 2008. Annual cycle of zooplankton abundance and species composition in Izmit Bay (the northeastern Marmara Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78, 739-747.
- Isinibilir, M., 2009. Annual crustacean zooplankton succession (Copepoda and Cladocera) in the upper layer of Ahirkapi coastal waters (Northeastern Sea of Marmara). *Crustaceana*, 82(6), 669-678.
- Kaufman, L., Rousseeuw, P. J., 1990. Partitioning around medoids (program pam). Finding groups in data: an introduction to cluster analysis, 68-125.

- Khammar, H., 2007. Caractères chimiques des effluents urbains introduits au littoral d'Annaba. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, 46p.
- Khélifi-Touhami, M., Semroud, R., Hamdi, H., Ounissi, M., Haridi, A. et al., 2007. The planktonic copepod communities from the southern Mediterranean Sea (Algeria, Tunisia) with a re-description of *Paracalanus indicus* Wolfenden 1905 (Copepoda: Calanoida). Cahiers de Biologie Marine, 48, 327-337.
- Khélifi-Touhami, M., Ounissi, M., Saker, I., Haridi, A., Djorfi, S. et al., 2006. The hydrology of the Mafragh estuary (Algeria): transport of inorganic nitrogen and phosphorus to the adjacent coast. Journal of Food, Agriculture and Environment, 4 (2), 340-346.
- Kimmel, D.G., McGlaughon, B. D., Leonard, J., Paerl, H. W., Taylor, J. C., Cira, E. K., Wetz, M. S., 2015. Mesozooplankton abundance in relation to the chlorophyll maximum in the Neuse River Estuary, North Carolina, USA: Implications for trophic dynamics. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 157, 59-68.
- Laabed, S. 2006. Transport de phosphate et d'azote par les rejets urbains et industriels au littoral d'annaba. Mémoire de Magister, université Badji Mokhtar-Annaba, Algérie, 40p.
- Landry, M.R., 1983. The development of marine calanoid copepods with comment on the isochronal rule. Limnol. Oceanogr, 28(4), 614-624.
- Laboratoire Central d'Hydraulique de France (LCHF), 1976. Extension du port d'Annaba: synthèse de l'étude générale des conditions naturelles dans le golfe d'Annaba. LCHF, Maisons-Alfort, 50p.
- Levin, L.A., Liu, K.K., Emeis, K.C., Breitburg, D.L., Cloern, J. et al., 2015. Comparative biogeochemistry-ecosystem-human interactions on dynamic continental margins. Journal of Marine Systems, 141, 3-17.
- Lewis, W. M. , 1978. Comparison of temporal and spatial variation in the zooplankton of a lake by means of variance components. Ecology, 59(4), 666-671.
- Lindley, J.A., 1990. Distribution of overwintering calanoid copepod eggs in sea-bed sediments around southern Britain. Marine Biology, 104(2), 209-217.
- Lisitzin, A. P., 1999. The continental-ocean boundary as a marginal filter in the World Oceans. In Biogeochemical cycling and sediment ecology (pp. 69-103). Springer Netherlands.
- Lloret, J., Palomera, I., Salat, J., Solé, I. ,2004. Impact of freshwater input and wind on landings of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in shelf waters surrounding the Ebre (Ebro) River delta (north-western Mediterranean). Fisheries Oceanography, 13(2), 102-110.
- Lorenzen, C.J., 1967. Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations. Limnology and oceanography, 12 (2), 343-346.
- Mackas, D.L., Greve, W., Edwards, M., Chiba, S., Tadokoro, K., Eloire, D., Head, E., 2012. Changing zooplankton seasonality in a changing ocean: comparing time series of zooplankton phenology. Progress in Oceanography, 97, 31-62.
- Malt, S.J.,1983). Polymorphism and pore signature patterns in the copepod genus *Oncaea* (Cyclopoida). Journal of the marine biological Association of the United Kingdom, 63(02), 449-466.
- Margalef, R., 1985. Western Mediterranean. Pergamon Press, Oxford.
- Mikaelyan, A.S., Malej, A., Shiganova, T.A., Turk, V., Sivkovitch, A.E. et al., 2014. Populations of the red tide forming dinoflagellate *Noctiluca scintillans* (Macartney): A comparison between the Black Sea and the northern Adriatic Sea. Harmful Algae, 33, 29-40.

- Millot, C., Taupier-Letage, I., 2005. Circulation in the Mediterranean sea. In *The Mediterranean Sea* (pp. 29-66). Springer Berlin Heidelberg.
- Millot, C., 1999. Circulation in the western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems*, 20(1), 423-442.
- Montagna, P.A., Alber, M., Doering, P., Connor, M.S., 2002. Freshwater inflow: Science, policy and management. *Estuaries*, 25: 1243-1245.
- Moriarty, R., O'Brien, T.D., 2013. Distribution of mesozooplankton biomass in the global ocean. *Earth System Science Data*, 5(1), 45.
- Morote, E., Olivar, M. P., Villate, F., & Uriarte, I., 2010. A comparison of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) larvae feeding in the Northwest Mediterranean: influence of prey availability and ontogeny. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, fsp302.
- Nakamura, Y., 1998. Biomass, feeding and production of *Noctiluca scintillans* in the Seto Inland Sea, Japan. *Journal of Plankton Research*, 20, 2213-2222.
- Newton, A., Carruthers, T.J.B., Icely, J., 2012. The coastal syn-dromes and hotspots on the coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 96, 39-47.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2011.07.012>.
- Nishibe, Y., Kobari, T., Ota, T., 2010. Feeding by the cyclopoid copepod *Oithona similis* on the microplankton assemblage in the Oyashio region during spring. *Plankton and Benthos Research*, 5, 74-78.
- Nixon, S., 2003. Advertising cultures: gender, commerce, creativity. Sage.
- Ounissi, M., Frehi, H., Khelifi-Touhami, M., 1998. Composition et abondance du zooplancton en situation d'eutrophisation dans un secteur côtier du golfe d'Annaba (Algérie). *Annales de l'Institut Océanographique*, 74, 13-28.
- Ounissi, M., 2007. Devenir et incidences des flux de matières continentales enrichissantes et polluantes dans le littoral d'Annaba. Bilan final du projet de recherche ONEDD. MATE/05/04: 11p.
- Ounissi, M., Khammar, H., Ziouch, O., Saker, I., Haridi, A., 2008. Apports d'azote et de phosphate au littoral d'Annaba par les effluents urbains, industriels et par la rivière Seybouse (Algérie). p. 181-186. In: International Conference on Rapid Urbanization and Land Use Conflicts in Coastal Cities, vol. 13. INOC, Izmir, Turkey.
- Ounissi, M., Ziouch, O.R., Aounallah, O., 2014. Variability of the dissolved nutrient (N, P, Si) concentrations in the Bay of Annaba in relation to the inputs of the Seybouse and Mafragh estuaries. *Marine Pollution Bulletin*, 80, 234-244.
- Ounissi, M., Frehi, H., 1999. Variabilité du microphytoplancton et des Tintinnida (Protozoaires Ciliés) d'un secteur eutrophe du golfe d'Annaba (Méditerranée sud-occidentale). *Cahiers de biologie marine*, 40(2), 141-153.
- Pagès F, Gili, J.M., Bouillon, J., 1992. Planktonic cnidarians of the Benguela current. *Sci Mar*, 56(Suppl 1):144.
- Pagès F, Gili, J.M., Bouillon J., 1992. Medusae (Hydrozoa, Scyphozoa, Cubozoa) of the Benguela Current (South eastern Atlantic). *Sci Mar* 56:1-64.
- Parsons, T.R., Maita, Y., Lalli, C.M., 1989. A Manual of chemical and biological methods for sea water analysis. Pergamon Press, Oxford.
- Postel, S.L., Morrison, J.I., Gleick, P.H., 1998. Allocating fresh water to aquatic ecosystems: the case of the Colorado River delta. *Water International*, 23: 119-125.

- Quevedo, M., Gonzalez-Quiros, R., Anadon, R., 1999. Evidence of heavy predation by *Noctiluca scintillans* on *Acartia clausi* (Copepoda) eggs off the central Cantabrian coast (NW Spain). *Oceanologica Acta*, 22 (1), 127-131.
- Raybaud, V., Nival, P., Mousseau, L., Gubanova, A., Altukhov, D. et al., 2008. Short term changes in zooplankton community during the summer-autumn transition in the open NW Mediterranean Sea: species composition, abundance and diversity. *Biogeosciences*, 5, 1765-1782.
- Razouls, C., de Bovée, F., Kouwenberg, J., Desreumaux, N., 2005-2015. Diversity and Geographic Distribution of Marine Planktonic Copepods. Available at <http://copepodes.obs-banyuls.fr/en> (Accessed June 15, 2015).
- Riandey, V., Champalbert, G., Carlotti, F., Taupier-Letage, I., Thibault-Botha, D., 2005. Zooplankton distribution related to the hydrodynamic features in the Algerian Basin (western Mediterranean Sea) in summer 1997. *Deep-Sea Research I*, 52, 2029-2048.
- Rose, M., 1925. Le plancton de la baie d'Alger. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord*, 16, 8-304.
- Russel, F. S. (1977). Scyphomedusae of the North Atlantic (order: Coronatae). *Fiches d'Identification du Zooplancton* (Denmark).
- Russel, F.S.,1981. Trachymedusae: Family: Rhopalonematidae [Aglantha, Colobonema, Crossota, Homoeonema, Pantachogon, Rhopalonema]. *Fiches d'Identification du Zooplancton* (Denmark). no. 165.
- Sabia, L., Zagami, G., Mazzocchi, M. G., Zambianchi, E., Uttieri, M., 2015. Spreading factors of a globally invading coastal copepod. *Mediterranean Marine Science*, 16 (2), 460-471.
- Saker, I. 2007. Caractères chimiques des effluents industriels directs introduits au littoral d'Annaba. *Mémoire de Magister*, Univ. Annaba. 38p.
- Sautour, B., Castel, J., 1993. Feeding behaviour of the coastal copepod *Euterpina acutifrons* on small particles. *Cahiers de Biologie Marine*, 34, 239-251.
- Scotto di Carlo, B., Ianora, A., Fresi, E., Hure, J., 1984. Vertical zonation patterns of Mediterranean copepods from the surface to 3000 m at a fixed station in the Tyrrhenian Sea. *Journal of Plankton Research*, 6, 1031-1056.
- Seguin, G., 1973. Cycles comparés du zooplancton dans l'ouest africain et la méditerranée sud-occidentale: Etude systématique, quantitative et écologie.
- Shannon, C.E., Weaver, W., 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana. 125 p.
- Sharif, J., Cuvilliers, P., Bacha, M., Khalaf G., Amara R., Étude du régime alimentaire de l'anchois européen (*Engraulis encrasicolus*) en Atlantique nord-est et en Méditerranée. 2016. Lebanese Science Journal, 17(1): 75-90.
- Siokou-Frangou, I., Christaki, U., Mazzocchi, M. G., Montresor, M., Ribera d'Alcalá, M., 2010. Plankton in the open Mediterranean Sea: a review. *Biogeosciences*, 7, 1543-1586.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R., 1968. Determination of dissolved oxygen. A Practical Handbook of Seawater Analysis. *Fisheries Research Board of Canada, Bulletin*, 167, 71-75.
- Suárez-Morales, E., Segura-Puertas, L., Gasca, R., 1999. A survey of the reef-related medusa (Cnidaria) community in the western Caribbean Sea. *Gulf and Caribbean Research*, 11(1), 23-31.
- Telesh, I.V., 2004. Plankton of the Baltic estuarine ecosystems with emphasis on Neva Estuary: a review of present knowledge and research perspectives. *Marine Pollution Bulletin*, 49: 206-219.

- Trégouboff, G., Rose M., 1978. Manuel de planctonologie méditerranéenne tome I et II. CNRS, Paris.
- Tsai, C.F., Chen, P.Y., Chen, C.P., Lee, M.A., Shiah, G.Y., Lee, K.T., 1997. Fluctuation in abundance of larval anchovy and environmental conditions in coastal waters off south western Taiwan as associated with the El Niño southern oscillation. *Fish Oceanography*, 6, 238-249.
- Uye, S., Iwai, Y., Kasahara, S., 1983. Growth and production of the inshore marine copepod *Pseudodiaptomus marinus* in the central part of the Inland Sea of Japan. *Marine Biology*, 73(1), 91-98.
- Uye, S.I., 1985. Resting egg production as a life history strategy of marine planktonic copepods. *Bulletin of Marine Science*, 37(2), 440-449.
- Viitasalo, M., Katajisto, T., 1994. Mesozooplankton resting eggs in the Baltic Sea: identification and vertical distribution in laminated and mixed sediments. *Marine Biology*, 120(3), 455-466.
- Vörösmarty, C. J., Sahagian, D., 2000. Anthropogenic disturbance of the terrestrial water cycle. *BioScience*, 50(9), 753-765.
- Walsh, J.J., 1988. On the nature of continental shelves. Academic Press, San Diego.
- Walter, T.C., 1987. Review of the taxonomy and distribution of the demersal copepod genus *Pseudodiaptomus* (Calanoida: Pseudodiaptomidae) from southern Indo-west Pacific waters. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 38 (3), 363-396.
- Walter, T.C., 1998. A redescription of *Pseudodiaptomus salinus* (Giesbrecht, 1896) and a new species from the Arabian Sea (Copepoda, Calanoida, Pseudodiaptomidae). *Journal of Marine Systems*, 15, 451-456.
- Webber, M., Edwards-Myers, E., Campbell, C., Webber, D., 2005). Phytoplankton and zooplankton as indicators of water quality in Discovery Bay, Jamaica. *Hydrobiologia*, 545(1), 177-193.
- Williams, R., Wallace, M. A., 1975. Continuous plankton records: A plankton atlas of the North Atlantic and North Sea: Supplement 1-the genus *Clausocalanus* (Crustacea: Copepoda, Calanoida) in 1965. *Bulletin Marine Ecology*, 8, 167-184.
- Ziouch, O.R., 2007. Hydrologie et biogéochimique du système estuarien du Mafrag et de ses panaches littorales. Département des Sciences de la Mer. Université de Badji Mokhtar. Annaba (Algérie) 54p, 23 – 29.
- Ziouch, O.R., 2014. Nutrient distribution in the Bay of Annaba under the influence of the Seybouse and the Mafragh estuaries inputs (South-Western Mediterranean). Département des Sciences de la Mer. Université de Badji Mokhtar. Annaba (Algérie).

#### Références des sites web

- <http://copepodes.obs-banyuls.fr/en>; <http://www.imas.utas.edu.au/zooplankton/image-key/copepoda>;
- <http://marinebio.org/oceans/zooplankton>;
- <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=104683> (World Register of Marine Species);
- <http://www.biodiversitylibrary.org/>;
- <http://species-identification.org/index.php> (Marine Species identification portal);
- <http://naturalhistory.si.edu/> (Smithsonian National Museum of Natural History);
- <http://www.eol.org/> (Encyclopedia of Life).

# **RESUMES**

## Résumé

La baie d'Annaba reçoit les apports à partir de deux estuaires auxquels il faut ajouter les rejets urbains et industriels de la ville d'Annaba, tandis que les eaux néritiques externes jouent un rôle majeur dans le renouvellement de la baie. Le but de cette étude était d'analyser la composition, l'abondance et la biomasse du zooplancton et de comparer les résultats avec les études antérieures pour révéler de possibles changements des populations et de leur environnement. Le zooplancton de la Baie d'Annaba a été récolté chaque mois de janvier 2009 à mars 2011 dans 3 stations différemment soumises aux influences des apports de rivières et aux courants du large. L'abondance et la biomasse du zooplancton ont oscillé entre 1,200-6,000 ind.  $m^{-3}$  et 6,70-25,70 mg PS  $m^{-3}$ , respectivement. Les apports en éléments nutritifs au cours de l'année humide de 2009 seraient responsables de l'augmentation de l'abondance et la biomasse de zooplancton. Au sein du zooplancton (sans *Noctiluca scintillans*) les Copépodes dominent à 54-75,9% et sont composés principalement de *Paracalanus indicus*, *Oithona similis*, *Euterpina acutifrons*, et *Oncaeae venusta*. *Oithona similis* et *Paracalanus indicus* dominaient successivement la communauté de copépodes en automne-hiver et au printemps-été. En hiver au printemps, la contribution de *Noctiluca scintillans* au sein du zooplancton atteint 30-90%, alors que les Cladocères apparaissaient avec des grandes densités pendant la période chaude. La spécificité du zooplancton de la d'Annaba c'est la prédominance de *Paracalanus indicus*, la diminution de *Acartia discaudata* et *Acartia Clausi*, remplacées par ailleurs par *Acartia negligens*. L'abondance de *Oithona nana* a remarquablement chuté avec une augmentation significative de *Oithona similis*, devenue prédominante au sein des Copépodes. Parmi les 73 espèces de copépodes identifiées, *Pseudodiaptomus australiensis* et *Pseudodiaptomus arabicus* sont signalés pour la première fois en Méditerranée. En outre, la présence de jeunes stades de *Pseudodiaptomus australiensis* suggère que l'espèce survit et se reproduit dans la baie mais sans pour autant développer une population abondante.

## Abstract

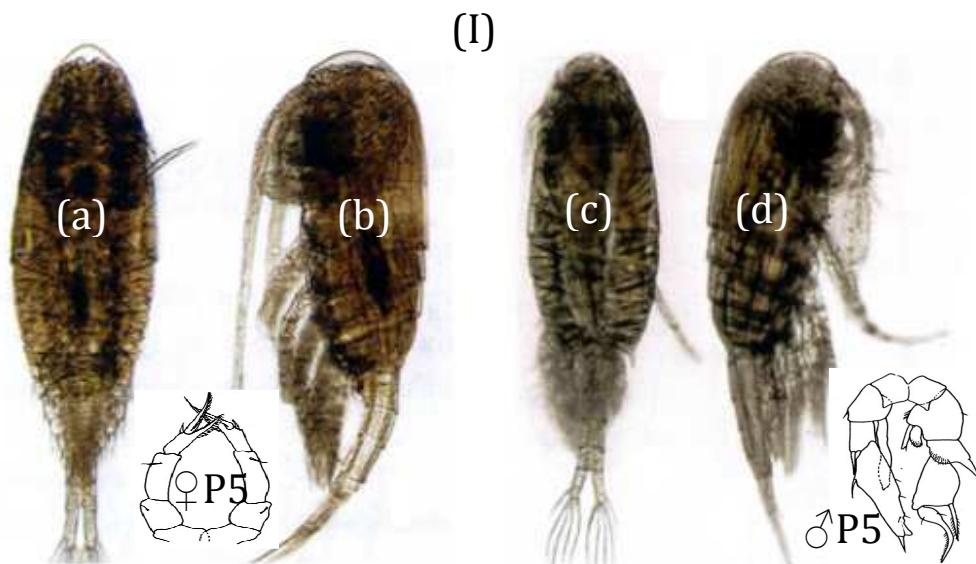
Zooplankton samples were collected in Annaba Bay from January 2009-March 2011 at three coastal sites differently affected by estuarine plumes and external currents. Aim of this survey was to analyze zooplankton composition, abundance and biomass and compare the results with previous studies to reveal possible populations and environmental changes. The mean zooplankton abundance varied between 1,200-6,000 ind. m<sup>-3</sup> and biomass 6.70-25.70 mg DW m<sup>-3</sup>, according to the site. Copepods constituted the main fraction of zooplankton community, and *Oithona similis* and *Paracalanus indicus* successively dominated during autumn-winter and spring-summer. The dinoflagellate *Noctiluca scintillans* was one of the major zooplankton components, and developed high numbers during February-April, becoming common in neritic and coastal regions. The singularity of the zooplankton from Annaba Bay is the prevalence of *Paracalanus indicus* throughout the entire bay and the decrease in *Acartia (Acartiura) discaudata* and *Acartia (Acartiura) clausi* (with respect to previous years), possibly replaced by *Acartia negligens*. Additionally, *Oithona nana* abundance markedly decreased with the large development of *Oithona similis*. Annaba Bay also differs from other similar Mediterranean coastal areas by the large development of *Centropages ponticus* populations during the warm period. Among the identified copepod species, the alien species *Pseudodiaptomus australiensis* and *Pseudodiaptomus arabicus* are reported for the first time in the Mediterranean Sea. The occurrence of young stages of *Pseudodiaptomus australiensis* suggests that this species survives and reproduces in Annaba Bay, but so far without developing an abundant population.

## الملخص

في العقدين الماضيين، وأدى إلى حدوث تغييرات في المنطقة الساحلية لخليج عنابة من قبل مختلف ومكثفة التنمية الساحلية. وهناك أيضا تحويل المغذيات كبير من اثنين من مصبات الأنهار الهمة والتحويل المباشر من الأسر والنفايات خارجي التدخل سوف تلعب دورا رئيسيا في تجديد المنطقة. والعوالق الحيوانية من *neritic* الصناعية، في حين أن المياه عنابة خليج، الجزائر، تم جمعها شهريا من يناير 2009 إلى مارس 2011 في ثلاث محطات الساحلية، قدمت بشكل مختلف لمصبات الأنهار أعمدة والتيارات الخارجية. وفرة العوالق الحيوانية والكتلة الحيوية تقلبت بين 1,200-6,000 م<sup>3</sup>، على التوالي. زادت مدخلات المغذيات عالية مصبات DW دائرة الهجرة والجنسية. م-3 و 6,70 حتى 70 ملغم الأنهر خلال العام الرطب من عام 2009 وفرة العوالق الحيوانية والكتلة الحيوية. هيمنت مجذافيات المجتمع العوالق إنديكس، *Paracalanus* في 54 حتى 9,75٪، وكانت تتتألف أساسا من (*Noctiluca scintillans* (بدون إنديكس، *Oithona similis*، *acutifrons Euterpina*، *Oncaeae venusta*. يتم الإبلاغ عن الأنواع الغربية لأول مرة في البحر الأبيض *P. arabicus* *Pseudodiaptomus australiensis* وإنديكس تهيمن على التوالي المجتمع الكوبيبودا خلال الخريف والشتاء والربيع والصيف. خلال *P. O. similis* و *O. similis* إلى العوالق الحيوانية 30-90٪، في حين ظهرت قشريات *N. scintillans* فصل الشتاء والربيع، وصلت مساهمة الكلادوسيران بأعداد كبيرة خلال الفترة الحارة.

# **ANNEXE**

### 1. *Pseudodiaptomus arabicus*

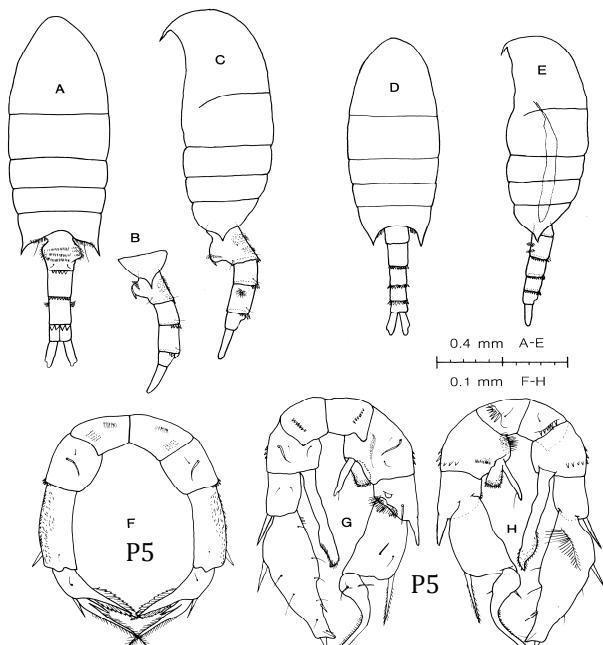


- **Position systématique**

Embranchement : Arthropoda  
 Sous-embranchement : Crustacea  
 Classe : Maxillopoda  
 Sous-classe : Copepoda  
 Ordre : Calanoida  
 Famille : Pseudodiaptomidae  
 Genre : *Pseudodiaptomus*  
 Espèce : *arabicus*

- **Taille**

La femelle: 1,2-1,7 mm.  
 Le mâle : 1,1-1,45 mm.



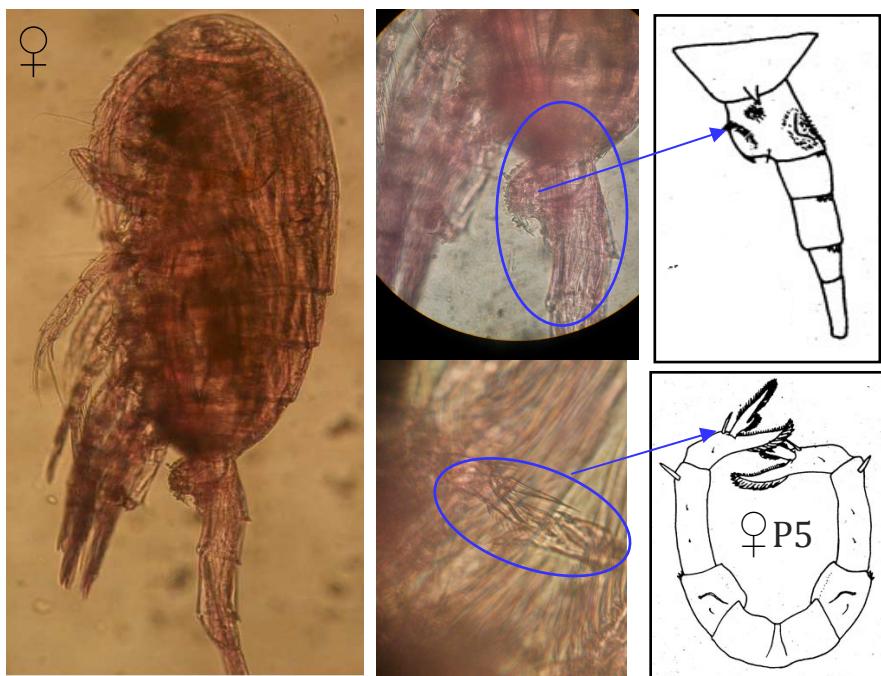
- **Description**

Les principaux caractères diagnostiques qui distinguent *P. arabicus* sont les suivants.  
 Femelle: (1) Ur1-2 avec rangée d'échelle postérieure dorsale, Ur2 presque égale en longueur à Re3. (2) P5 Re1 avec épines le long des marges latérales.  
 Male : (1) P5 droit Re1 court, un tiers de la longueur de Re2.  
 (2) Right Re2 Soit la moitié de la longueur de Re3, Gauche Re1 Se ne parvient pas à la base de Re2.

- **Distribution**

Kuwait, La mer rouge, la mer arabe, Le golfe du Pakistan et L'océan indien.

2. *Pseudodiaptomus australiensis*



**Figure II :** Photographies et dessin de *Pseudodiaptomus australiensis* femelle récoltée dans la baie d'Annaba en 2009-mars 2011.

• **Position systématique**

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : Crustacea

Classe : Maxillopoda

Sous-classe : Copepoda

Ordre : Calanoida

Famille : Pseudodiaptomidae

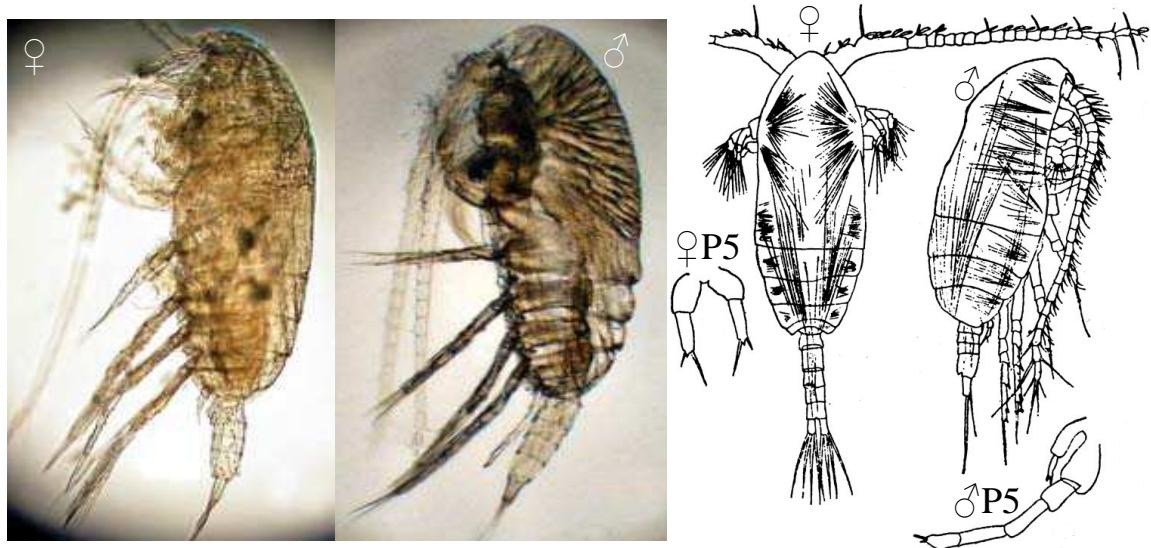
Genre : *Pseudodiaptomus*

Espèce : *australiensis*

• **Distribution**

Golfe de Thaïlande, Malaisie-Indonésie-Philippines, Australie, la mer de Tasman, Nouvelle-Zélande, Nouvelle-Calédonie et l'est du Pacifique.

### 3. *Paracalanus indicus*



**Figure III** : Photographies et dessins de *Paracalanus indicus* ♀ et ♂ récoltés dans la baie d'Annaba en 2009- mars 2011.

- **Position systématique**

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : Crustacea

Classe : Maxillopoda

Sous-classe : Copepoda

Ordre : Calanoida

Famille : Paracalanidae

Genre : *Paracalanus*

Espèce : *indicus*

- **Taille**

La Femelle : 0,85-0,95 mm.

Le mâle : 0,85-1,02 mm.

- **Écologie**

Espèce herbivore.

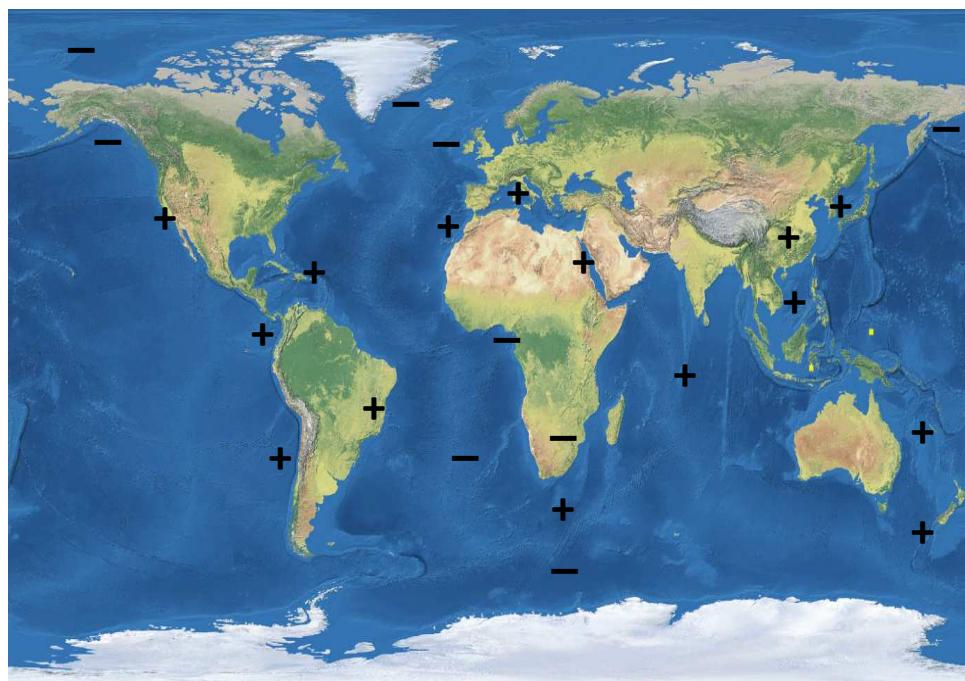
Proies commun pour les poissons planctonophages dans les estuaires peu profonds. Une des plusieurs espèces néritiques qui sont couramment parasitées par les protistes.

- **Distribution**

Épipélagique, Côtier.

Trouvé dans les eaux tropicales et subtropicales de l'Atlantique, du Pacifique et de l'océan Indien, ont également trouvé dans les eaux antarctiques.

Commune dans les eaux côtières autour de l'Australie, y compris la Tasmanie.

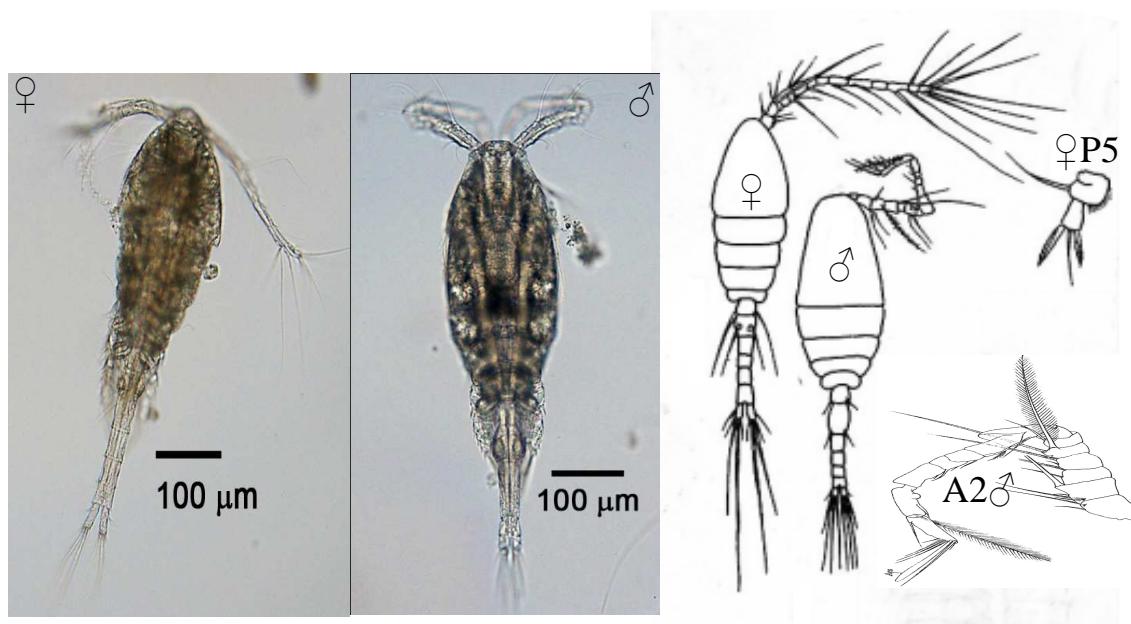


**Figure IV:** Carte de distribution de *Paracalanus indicus*.

[+] Présence de *Paracalanus indicus*

[–] Absence de *Paracalanus indicus*

#### 4. *Oithona similis*



**Figure V :** Photographies et dessins d'*Oithona similis* récoltées dans la baie d'Annaba en 2009-mars 2011.

- **Position systématique**

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : Crustacea

Classe : Maxillopoda

Sous-classe : Copepoda

Ordre : Cyclopoida

Famille : Oithonidae

Genre : *Oithona*

Espèce : *similis*

- **Distribution**

Épipélagique.

Connu dans tous les bassins océaniques, le Pacifique: subarctique, Californie, dans l'est du Pacifique équatorial, subantarctique.

- **Taille**

La Femelle : 0,7-1,0 mm.

Le mâle : 0,6-0,7 mm.

- **Écologie**

Espèce carnivore.

4. *Oithona nana*



**Figure VI :** Photographies d'*Oithona nana* récoltées dans la baie d'Annaba en 2009-mars 2011.

• **Position systématique**

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : Crustacea

Classe : Maxillopoda

Sous-classe : Copepoda

Ordre : Cyclopoida

Famille : Oithonidae

Genre : *Oithona*

Espèce : *nana*

• **Distribution**

Néritiques, épipélagique.

Pacifique, Atlantique et l'océan Indien, Méditerranée et la mer Rouge.

• **Taille**

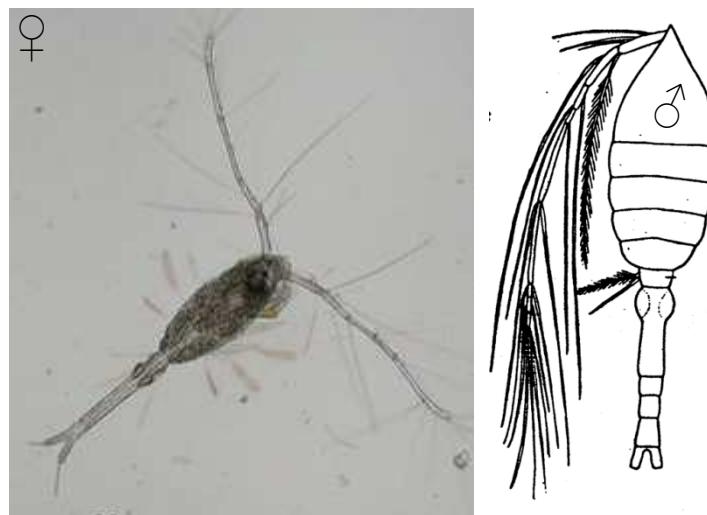
La Femelle : 0,4-0,6 mm.

Le mâle : 0,4-0,6 mm.

• **Écologie**

Espèce carnivore.

## 5. *Oithona plumifera*



**Figure VII :** Photographie et dessin d'*Oithona plumifera* récoltée dans la baie d'Annaba en 2009-mars 2011.

- **Position systématique**

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : Crustacea

Classe : Maxillopoda

Sous-classe : Copepoda

Ordre : Cyclopoida

Famille : Oithonidae

Genre : *Oithona*

Espèce : *plumifera*

- **Distribution**

Epi-mésopélagique.

Abondant dans le monde entier, mais absent de l'Arctique et également sous-arctique.

- **Taille**

La Femelle : 1,1-1,5 mm.

Le mal : 0,6-1,0 mm.

- **Écologie**

Espèce carnivore/omnivore.

## 6. *Euterpina acutifrons*

- **Position systématique**

Embranchement : Arthropoda  
Sous-embranchement : Crustacea  
Classe : Maxillopoda  
Sous-classe : Copepoda  
Ordre : Harpacticoida  
Famille : Euterpinidae  
Genre : *Euterpina*  
Espèce : *acutifrons*

- **Taille**

La Femelle : 0,50-0,75 mm.  
Le mâle : 0,50-0,56 mm



**Figure VIII :** Photographie d'*Euterpina acutifrons* femelle ovigère récoltée la baie d'Annaba en 2009- mars 2011.

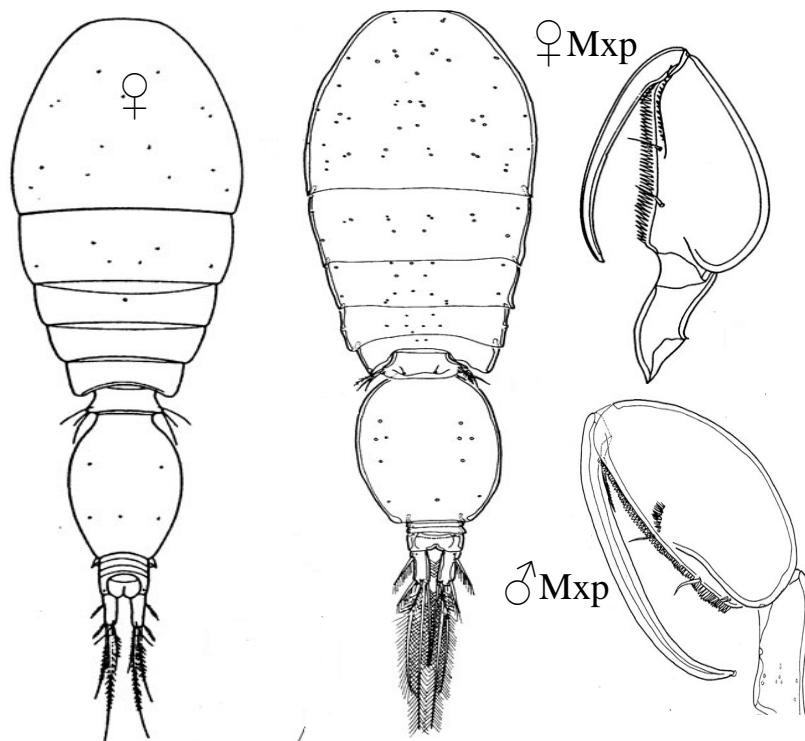
- **Distribution**

Épipélagique, cosmopolite, côtier et néritique.  
Trouvé dans les eaux tropicales et subtropicales de tous les océans.  
Dans la mer méditerranée, mer noir, mer rouge.  
Cette espèce n'est pas trouvés dans l'océan Arctique ou de l'Antarctique.

- **Écologie**

Peut tolérer une large gamme de salinité.  
Espèce herbivore mais aussi omnivore caractéristique des eaux eutrophes côtières.  
Femelle porte un seul sac d'œuf.

7. *Oncaeа venusta*



**Figure IX** : Dessins d'*Oncaeа venusta* récoltées dans le golfe d'Annaba en 2009-mars 2011.

• **Position systématique**

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : Crustacea

Classe : Maxillopoda

Sous-classe : Copepoda

Ordre : Poecilostomatoida

Famille : Oncaeidae

Genre : *Oncaeа*

Espèce : *venusta*.

• **Taille**

La Femelle : 1,01 – 1,30 mm.

Le mâle : 0,91 – 0,98 mm.

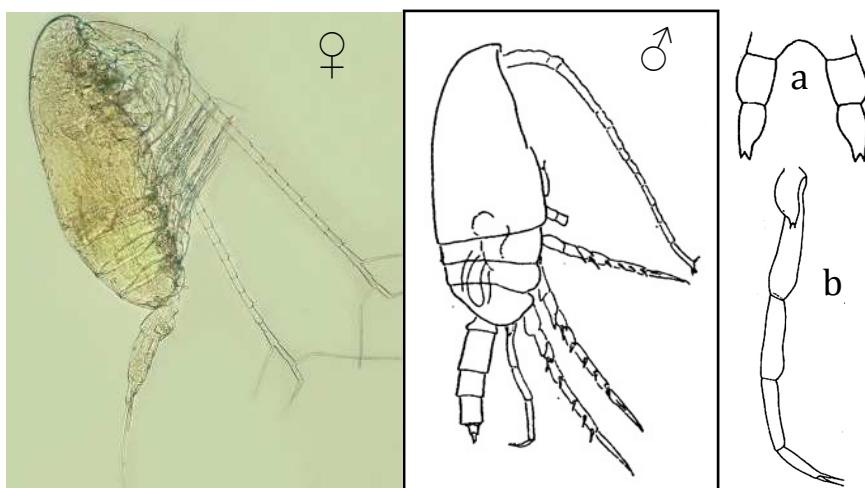
• **Écologie**

Espèce carnivore, côtière, épipélagique

• **Distribution**

Mer méditerranée, mer noir, mers de la Chine, Vietnam et Le Pacifique: subarctique et subantarctique.

## 8. *Clausocalanus furcatus*



**Figure X :** Photographie et dessin de *Clausocalanus furcatus*, a: P5♀, b: P5♂ récoltée dans la baie d'Annaba en 2009-mars 2011.

### • Position systématique

Embranchement : Arthropoda  
 Sous-embranchement : Crustacea  
 Classe : Maxillopoda  
 Sous-classe : Copepoda  
 Ordre : Calanoida  
 Famille : Clausocalanidae  
 Genre : *Clausocalanus*  
 Espèce : *furcatus*

### • Taille

La Femelle : 0,94 – 1,31 mm.  
 Le mâle : 0,70 – 0,92 mm.

### • Description

Le prosome a une forme presque ovoïde parfaite. Seulement 3 segments thoraciques sont visibles. A1 aussi longue ou légèrement plus longue que le prosome. Le rostre est court et bifurqué. La P5 est petite, symétrique et uniramée. L'Urosome a quatre segments et une forme d'un cylindre régulier. La Furca est plus courte que le segment précédent. Basipode de la P3 avec une forme en calice. La P5 est 3-segmentés, distale et bifurqué. Le troisième segment de P5 est plus court que les 2 segments précédents. Le pore génital a une forme typique est grand et bien visible.

### • Distribution

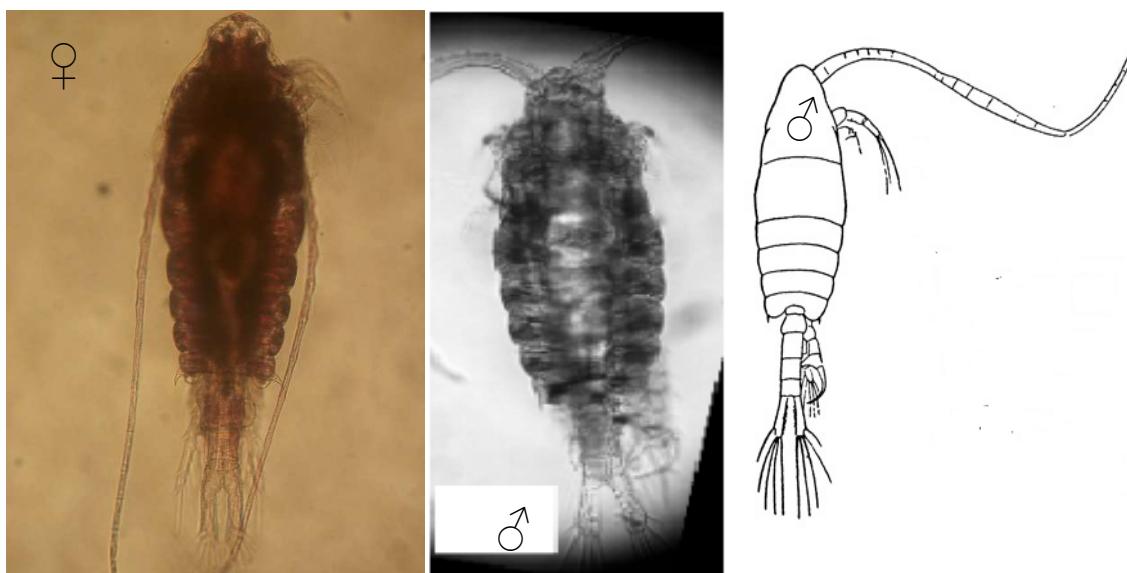
Épipélagique.

Trouvé dans les eaux tropicales et subtropicales des océans Pacifique, Indien et Atlantique. Mer méditerranée, mer noir, Australie.

### • Ecologie

Espèce herbivore et filtreur, se nourrit, se reproduit et se développe à de faibles concentrations de phytoplancton.

**9. *Centropages ponticus***



**Figure XI :** Photographies et dessin du *Centropages ponticus* récoltées dans la baie d'Annaba en 2009-2011.

• **Position systématique**

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : Crustacea

Classe : Maxillopoda

Sous-classe : Copepoda

Ordre : Calanoida

Famille : Centropagidae

Genre : *Centropages*

Espèce : *ponticus*

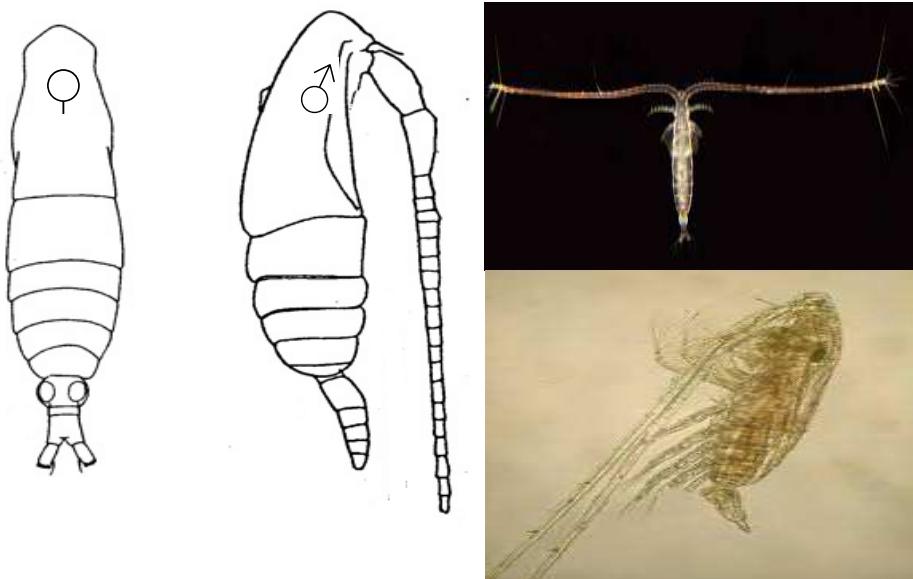
• **Distribution**

Trouvé dans la mer méditerranée, mer noir et la mer rouge.

• **Ecologie**

Fréquente en eaux côtières, l'espèce est homnivore.

## 10. *Mecynocera clausi*



**Figure XII :** Photographies et dessins de *Mecynocera clausi* vue dorsal et latéral récoltée dans la baie d'Annaba en 2009-mars 2011.

- **Position systématique**

**Embranchement** Arthropoda

**Sous-embranchement** Crustacea

**Classe** Maxillopoda

**Sous-classe** Copepoda

**Ordre** Calanoida

**Famille** Mecynoceridae

**Genre** *Mecynocera*

**Espèce** *clausi*

- **Distribution**

Épipélagique.

Principalement océanique, peut se trouver dans les zones estuariennes et côtières.

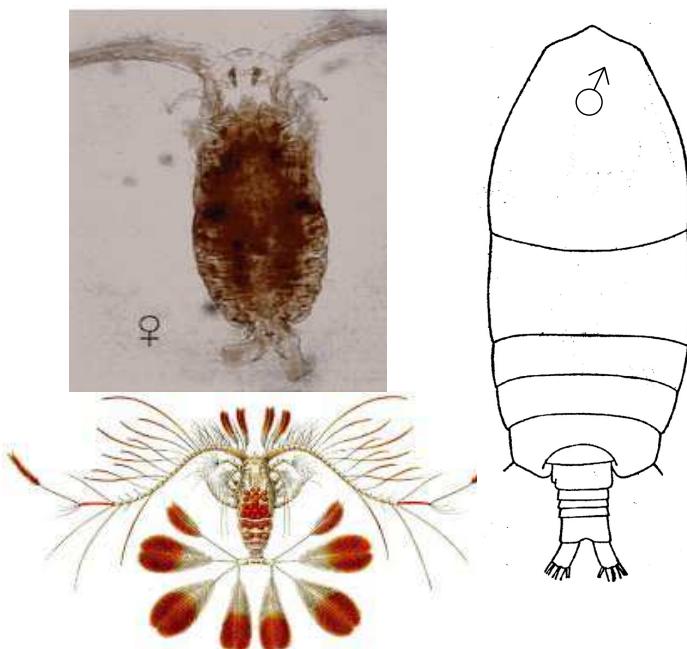
Répartition mondiale: répandue dans les eaux tropicales, subtropicales et tempérées de tous les océans.

Également dans les eaux sous-antarctiques.

- **Écologie**

C'est une espèce herbivore.

## 11. *Calocalanus pavo*



**Figure XIII :** Photographie et dessins de *Calocalanus pavo* récoltée dans la baie d'Annaba en 2009-mars 2011.

- **Position systématique**

**Embranchement** Arthropoda

**Sous-embranchement** Crustacea

**Classe** Maxillopoda

**Sous-classe** Copepoda

**Ordre** Calanoida

**Famille** Paracalanidae

**Genre** *Calocalanus*

**Espèce** *pavo*

- **Écologie**

Filtreur Herbivore.

Trouvé principalement dans la colonne d'eau supérieure.

Atteindre la maturité en huit jours.

Élément de proie préférée pour plusieurs familles de larves de poissons tropicaux.

- **Taille**

Femelle : 0,88 – 1,20mm.

Mâle : 1,04 mm.

- **Distribution**

Épipélagique et bathypélagique.

Côtiers et océaniques.

Très répandu dans les eaux tropicales, subtropicales et tempérées dans tous les océans.

- **Ecologie**

Fréquente en eaux océaniques mais aussi néritiques, l'espèce est herbivore filtreur.

12. *Temora stylifera*

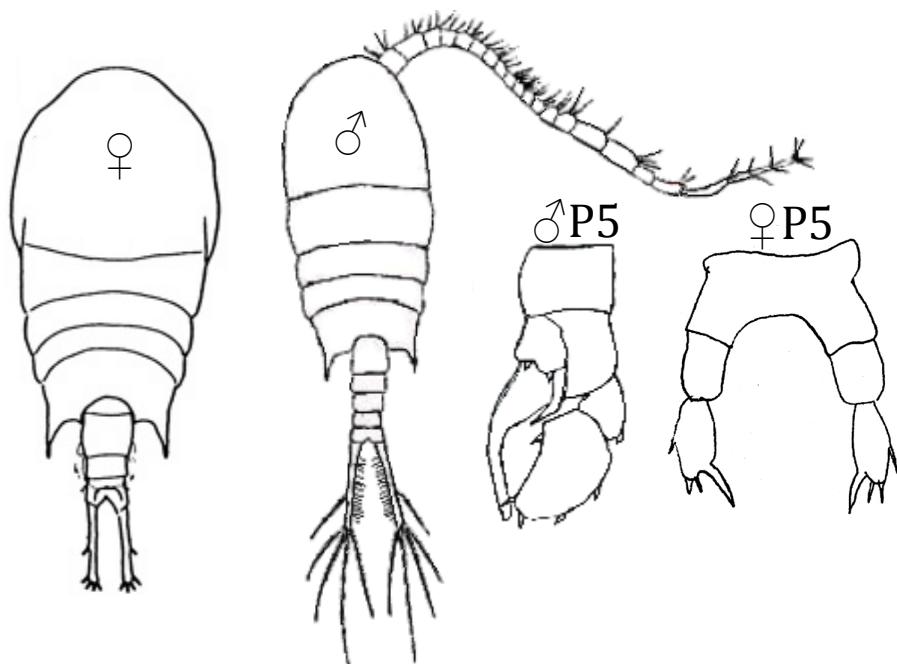


Figure XIV: Dessins de *Temora stylifera* récoltée dans le golfe d'Annaba en 2009-mars 2011.

• **Position systématique**

**Embranchement** Arthropoda

**Sous-embranchement** Crustacea

**Classe** Maxillopoda

**Sous-classe** Copepoda

**Ordre** Calanoida

**Famille** Temoridae

**Genre** *Temora*

**Espèce** *stylifera*

• **Taille**

La Femelle : 1,4-1,9mm.

Le mâle : 1,4-1,5 mm.

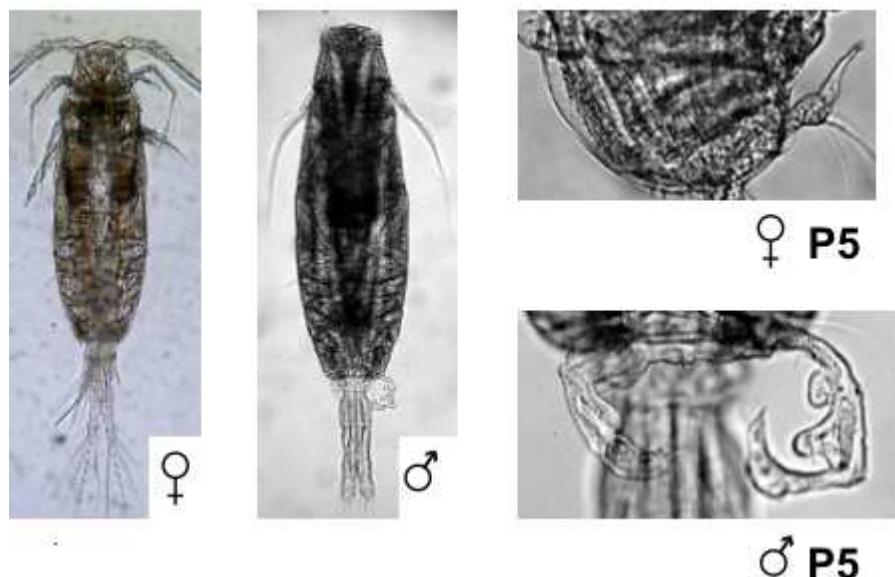
• **Distribution**

Mer méditerranée, mer noir, mer indien, mers de la Chine, Vietnam.

Pacifique Ouest et Atlantique Centre-Ouest.

• **Écologie** : Espèces omnivores.

### 13. *Acartia (Acartiura) clausi*



**Figure XV :** Photographies d'*Acartia (Acartiura) clausi* récoltée dans d'Annaba en 2009-mars 2011.

**Écologie :** Espèces omnivores..

- **Position systématique**

**Embranchement** Arthropoda

**Sous-embranchement** Crustacea

**Classe** Maxillopoda

**Sous-classe** Copepoda

**Ordre** Calanoida

**Famille** Acartiidae

**Genre** *Acartia*

**Espèce** *clausi*

- **Description**

Antenne nettement plus longue que la tête, mais plus courte que le prosome et l'urosome. Dessus de la tête tout à fait plate ou légèrement triangulaire. Prosome avec une forme typique mince et 4 segments thoraciques visibles. Plus courte que le prosome A1, avec des soies assez longues et espacées. Urosome avec 5 segments. Furca assez courte, approximativement aussi longue qu'un segment d'urosome. Soies furcale assez robuste avec une forme typique de ventilateur. Pas de Rostrum. P5 asymétrique, uniramée et en forme de griffe. La partie droite de la P5 se termine par 2 épines courtes. Les deuxième et troisième segments de la P5 gauche avec une bosse.

- **Taille**

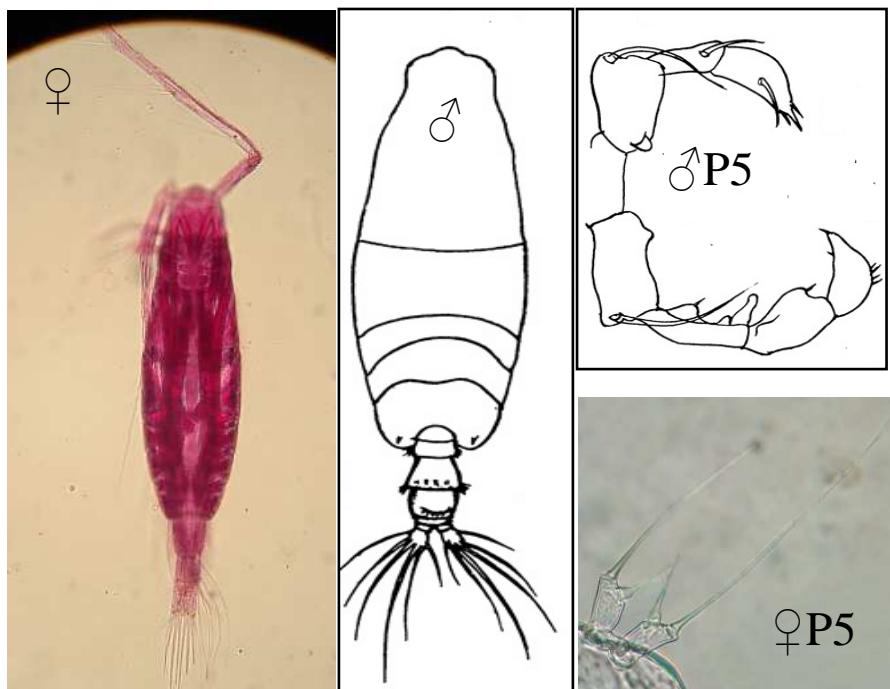
Femelle : 0,81–1,47 mm.

Mâle : 0,71 –1,31 mm.

- **distribution**

Espèce très fréquente et très abondante dans les eaux peu profondes, dans la mer Méditerranéenne et dans l'océan Atlantique oriental.

#### 14. *Acartia (Acartia) negligens*



**Figure XVI :** Photographies et dessins d' *Acartia (Acartia) negligens* récoltée dans la baie d'Annaba en 2009-mars 2011.

- **Position systématique**

**Embranchement** Arthropoda

**Sous-embranchement** Crustacea

**Classe** Maxillopoda

**Sous-classe** Copepoda

**Ordre** Calanoida

**Famille** Acartiidae

**Genre** *Acartia (Acartia)*

**Espèce** *negligens*

- **Description**

Chez la femelle, les coins du dernier segment de prosome avec au moins une petite épine; 1er antennes atteignent la fin du rami caudale. Chez le mâle, l'urosome avec 5 segments; Les premières antennes atteignent la fin du 2ème segment de prosome.

- **Taille**

Femelle : 1,04–1,27 mm.

Mâle : 0,8–1,02 mm.

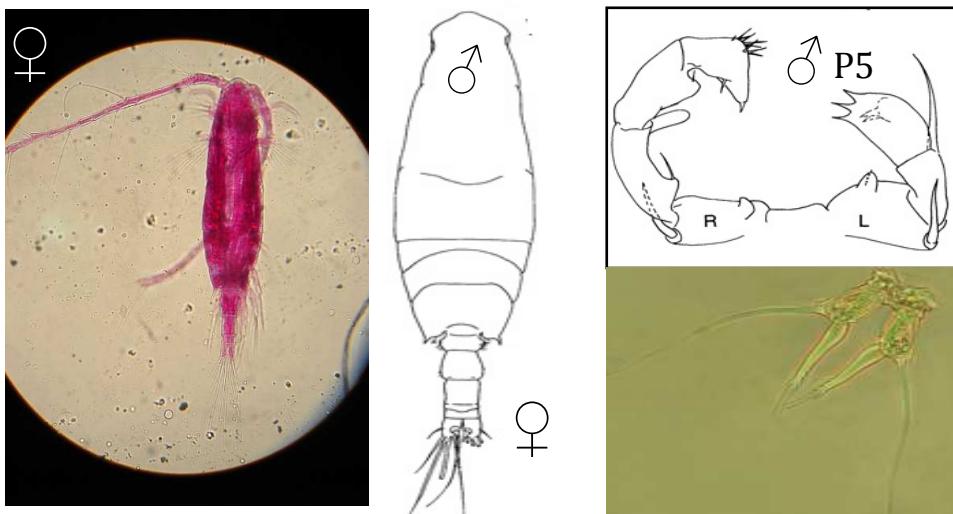
- **distribution**

L'une des espèces de *Acartia* habitant principalement les eaux océaniques ouvertes. Épipélagique, mésopélagique et Cosmopolite.

- **Écologie**

Espèce omnivore.

### 15. *Acartia (Acartia) danae*



**Figure XVII :** Photographie d' *Acartia (Acartia) negligens* récoltées dans la baie d'Annaba d'Annaba en 2009-mars 2011.

#### • Position systématique

**Embranchement** Arthropoda

**Sous-embranchement** Crustacea

**Classe** Maxillopoda

**Sous-classe** Copepoda

**Ordre** Calanoida

**Famille** Acartiidae

**Genre** *Acartia (Acartia)*

**Espèce** *danae*

#### • Description

Femelle : Prosome postérieur qui se termine par des points symétriques. Urosome sans épines, mais avec de fins poils dorsaux. A1 s'étend jusqu'à la bordure postérieure de la rame caudale; son premier segment avec une forte et lourde épine. B2 de P5 plus long que le large. Epine terminale deux fois plus longue que son segment; soies plumeuses 3 fois plus longues que l'épine.

#### • Taille

Femelle : 1,08–1,27 mm.

Male : 0,73–0,80 mm.

#### • Ecologie

Très fréquente dans les estuaires, ce qui indique une forte tolérance aux fluctuations de la salinité et de la température. Capable de se reproduire toute l'année, avec des générations qui se chevauchent, si la nourriture est suffisante. Le développement est à peu près constant tout au long de la vie.

#### • Distribution

Espèce commune épipélagique trouvée dans les estuaires, eaux côtières du littoral et océaniques, dans les eaux tropicales et subtropicales de l'Atlantique, du Pacifique et de l'océan Indien.

**16. *Farranula rostrata***



**Figure XVIII :** Photographies de *Farranula rostrata* récoltées dans le golfe d'Annaba en 2009-mars 2011.

• **Position systématique**

**Embranchement** Arthropoda

**Sous-embranchement** Crustacea

**Classe** Maxillopoda

**Sous-classe** Copepoda

**Ordre** Cyclopoida

**Famille** Corycaeidae

**Genre** *Farranula*

**Espèce** *rostrata*

• **Taille**

La Femelle : 0,70-0,87 mm.

Le mâle : 0,61-0,78 mm.

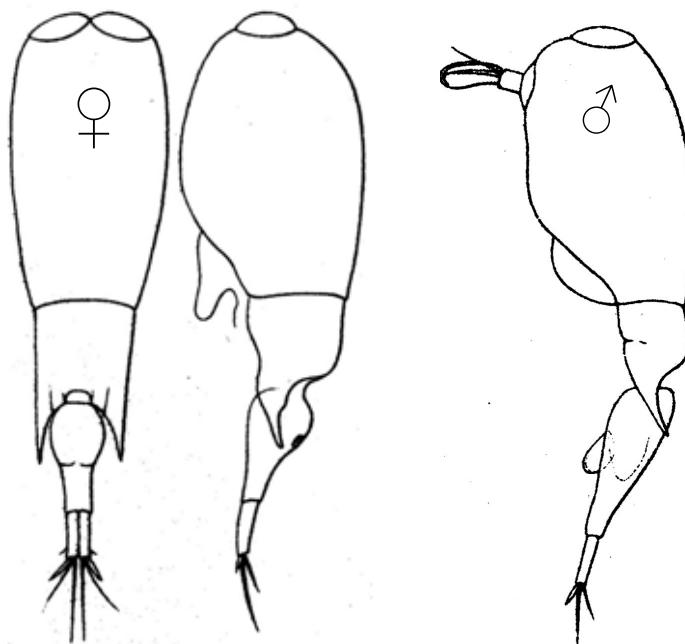
• **Distribution**

Abondante dans le monde entier, mais absente en Arctique, au nord-est du pacifique et également sous-arctique.

• **Ecologie**

Fréquente en eaux côtières, l'espèce est carnivore.

**17. *Farranula curta***



**Figure XIX :** Dessins de *Faranula curta* vue dorsal et latéral récoltées dans la baie d'Annaba en 2009-mars 2011.

• **Position systématique**

**Embranchement** Arthropoda

**Sous-embranchement** Crustacea

**Classe** Maxillopoda

**Sous-classe** Copepoda

**Ordre** Cyclopoida

**Famille** Corycaeidae

**Genre** *Farranula*

**Espèce** *curta*

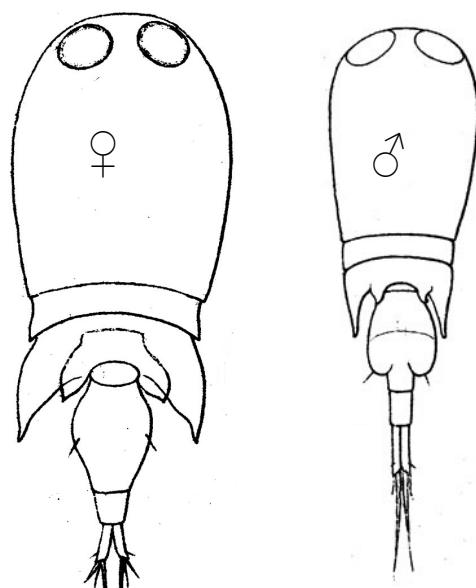
• **Description**

Femme avec urosome moins de 3 fois plus long que CR qui sont environ 3 fois plus long que large en vue dorsale. L'uroosome du mâle environ 3 fois aussi longue que CR, qui sont environ 3 fois plus longue que large en vue dorsale.

• **Distribution**

Abondante dans le monde entier, mais absente de l'Arctique, au nord-est du pacifique et également sous-arctique.

**18. *Onchocorycaeus ovalis***



**Figure XX :** Dessins d'*Onchocorycaeus ovalis* récoltée dans la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011.

• **Position systématique**

**Embranchement** Arthropoda

**Sous-embranchement** Crustacea

**Classe** Maxillopoda

**Sous-classe** Copepoda

**Ordre** Poecilostomatoida

**Famille** Corycaeidae

**Genre** *Onchocorycaeus*

**Espèce** *ovalis*

• **Taille**

Femelle : 1,60–1,65 mm.

Mâle 1,30–1,40 mm.

## Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Baie d'Annaba et ses bassins versants. ES: embouchure de Seybouse ; EM : embouchure de Mafragh.	6
2	Circulation de surface affectant la baie d'Annaba (d'après LCHF, 1976 ; Ounissi <i>et al.</i> , 1998). B1, B2 et B3 : stations échantillonnées dans la présente étude.	8
3	(a) : Circulation de surface en Méditerranée (d'après Millot <i>et al.</i> , 2005) et (b) : différents courants (y compris le courant atlantique modifié : MAW) affectant la Méditerranée occidentale (d'après Millot, 1999).	9
4	Précipitation dans la région d'Annaba (d'après l'office national de météorologie, station météorologique d'Annaba) pour la période 1970-2015. La ligne verte désigne la précipitation moyenne en deçà de laquelle on considère que l'année est sèche et au-delà, l'année est sèche. L'année 2009 est exceptionnellement pluvieuse et l'année 2010 est sèche.	15
5	Débit aux embouchures des rivières Seybouse et Mafragh pour la période janvier 2009-janvier 2011. Le débit moyen annuel pour chaque est également donné. Aussi, les mois d'été juin-août sont exceptionnellement secs durant lesquels l'embouchure de Mafragh est franchement fermé et celle de Seybouse est traversé par un flux d'eau presque nul.	15
6	Variations de l'abondance (ind. m <sup>-3</sup> ) du zooplancton total sans <i>Noctiluca scintillans</i> (ZT-N) et de <i>Noctiluca scintillans</i> récoltés dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba durant la période de janvier 2009-mars 2011.	24
7	Variations de l'abondance (ind. m <sup>-3</sup> ) des Copépodes, copépodites et Cladocères récoltés dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba durant la période janvier 2009-mars 2011.	25
8	Photographies des Cladocères récoltés dans la baie d'Annaba en 2009-2011.	26
9	Variations de l'abondance (ind. m <sup>-3</sup> ) du méroplancton récolté dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba durant la période janvier 2009-mars 2011.	27
10	Photographies (a) : larve d'Echinide, (b) : larve de Décapode, (c) : larve de Polychète Spionidé, (d) larve de Cirripède récoltées dans la baie d'Annaba en janvier 2009- mars 2011.	28
11	Variations de l'abondance (ind. m <sup>-3</sup> ) des Cnidaires récoltés dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba durant la période de janvier 2009-mars 2011.	29
12	Photographies des Méduses récoltées dans la baie d'Annaba entre janvier 2009- mars 2011.	29
13	Photographies des Siphonophores récoltées dans le golfe d'Annaba en 2009-2011.	30
14	Variations de l'abondance (ind. m <sup>-3</sup> ) des Appendiculaires et les Chaetognathes récoltés dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba durant la période janvier 2009-mars 2011.	31
15	Photographies d'un spécimen d'Appendiculaire (à gauche) et de spécimens de Chaetognathes (à droite) récoltées dans la baie d'Annaba, janvier 2009-mars 2011.	31
16	Variations de l'abondance (ind. m <sup>-3</sup> ) des Dolioles et du groupe Divers récoltés dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba durant la période janvier 2009- mars 2011.	32
17	Photographies de <i>Thalia democratica</i> (à gauche : colonie en haut et spécimen isolé en bas) et de <i>Doliolum nationalis</i> (à droite) récoltés dans la baie d'Annaba, janvier 2009-mars 2011.	32
18	Variations de l'abondance du groupe Divers (ind. m <sup>-3</sup> ) récolté dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba durant la période janvier 2009-mars 2011.	33
19	Variations de la biomasse du zooplancton (mg PS m <sup>-3</sup> ) récolté dans les trois stations	34

	(B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba de janvier 2009-mars 2011.	
20	Variations de l'abondance (ind. m <sup>-3</sup> ) des Copépodes récoltés dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba durant la période janvier 2009-mars 2011.	35
21	Variations de l'abondance de <i>paracalanus indicus</i> (ind. m <sup>-3</sup> ) récoltée dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011.	36
22	Variations de l'abondance (ind. m <sup>-3</sup> ) des principales espèces d'Oithonodés ( <i>Oithona similis</i> , <i>Oithona nana</i> et <i>Oithona plumifera</i> ) récoltées dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011.	37
23	Variations de l'abondance (ind. m <sup>-3</sup> ) d' <i>Euterpina acutifrons</i> , <i>Oncaeae venusta</i> et <i>Clausocalanus furcatus</i> récoltées dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011.	39
24	Variations de l'abondance (ind. m <sup>-3</sup> ) de <i>Centropages ponticus</i> récoltée dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011.	40
25	Variations de l'abondance (ind. m <sup>-3</sup> ) de <i>Calocalanus</i> spp. et <i>Temora stylifera</i> récoltées dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011.	41
26	Variations de l'abondance (ind. m <sup>-3</sup> ) des taxons <i>Acartia</i> spp. et <i>Corycaeus</i> spp. récoltés dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011.	42
27	Variations de l'indice de diversité de Shannon (H') et du nombre d'espèces de Copépodes récoltées dans les trois stations (B1, B2 et B3) de la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars 2011.	43
28	Plan factoriel F1 x F de l'analyse des correspondances montrant la ségrégation spatio-temporelle du zooplancton et de son environnement (G1, G2 et G3) colonisant la baie d'Annaba durant la période d'étude. Voir texte pour les différentes abréviations.	45
29	Dendrogramme de la classification hiérarchique ascendante basée sur une matrice de distance (d = 1-r) des abondances des espèces dans les trois stations étudiées de la baie d'Annaba, 2009-2010.	46

**Liste des tableaux**

N°	Titre	Page
1	Caractéristiques géographiques des stations marines étudiées.	10
2	Résumé des méthodes d'analyses des éléments chimiques et biochimiques.	12
3	Précipitation sur les bassins de Seybouse et Mafragh et moyenne ( $\pm$ erreur standard) des données hydrologiques des eaux de Seybouse et Mafragh qui ont alimenté la baie d'Annaba entre janvier 2009-mars de 2011.	16
4	Valeurs moyennes ( $\pm$ erreur standard) des données hydrologiques dans les stations étudiées de la baie d' Annaba au cours de la période janvier 2009-mars de 2011.	17
5	Liste des espèces identifiées dans la baie d'Annaba de janvier 2009-mars 2011.	19
6	Comparaison de la composition des espèces principales de copépodes (fréquence relative en%) dans la baie d' Annaba au cours des deux dernières décennies (1992-2011).	51

# ARTICLE

## Net-zooplankton abundance and biomass from Annaba Bay (SW Mediterranean Sea) under estuarine influences

M. OUNISSI, H. LASKRI and M. KHÉLIFI-TOUHAMI

Department of Marine Science, University of Badji Mokhtar, Po Box 12, Sidi-Ammar, Annaba 23000, Algeria

Corresponding author: Ounissi\_mk@yahoo.com

Handling Editor: Maria Mazzocchi

Received: 27 August 2015; Accepted: 17 May 2016; Published on line: 19 July 2016

### Abstract

Zooplankton samples were collected in Annaba Bay (Algeria) from January 2009-March 2011 at three coastal sites differently affected by estuarine plumes and external currents. Aim of this survey was to analyze zooplankton composition, abundance and biomass and compare the results with previous studies to reveal possible populations and environmental changes. The mean zooplankton abundance varied between 1,200-6,000 ind. m<sup>-3</sup> and biomass 6.70-25.70 mg DW m<sup>-3</sup>, according to the site. Copepods constituted the main fraction of zooplankton community, and *Oithona similis* and *Paracalanus indicus* successively dominated during autumn-winter and spring-summer. The dinoflagellate *Noctiluca scintillans* was one of the major zooplankton components, and developed high numbers during February-April, becoming common in neritic and coastal regions. The singularity of the zooplankton from Annaba Bay is the prevalence of *P. indicus* throughout the entire bay and the decrease in *Acartia (Acartiura) discaudata* and *Acartia (Acartiura) clausi* (with respect to previous years), possibly replaced by *A. negligeans*. Additionally, *Oithona nana* abundance markedly decreased with the large development of *Centropages ponticus* populations during the warm period. Among the identified copepod species, the alien species *Pseudodiaptomus australiensis* and *P. arabicus* are reported for the first time in the Mediterranean Sea. The occurrence of copepodid V stages of *P. australiensis* suggests that this species survives and reproduces in Annaba Bay, but so far without developing an abundant population.

**Keywords:** Zooplankton, copepods, biomass, alien species, coastal waters, estuaries, Annaba Bay, SW Mediterranean Sea.

### Introduction

Coastal marine areas are of important ecological, economic and social interest and are very sensitive to anthropogenic activities (Newton *et al.*, 2012; Levin *et al.*, 2015). Fluctuations of rivers and sewage discharge into coastal zone induce high temporal and spatial variability of environmental factors and food conditions (Macias *et al.*, 2014), which controls the metabolism, feeding behavior and production of the planktonic populations (Gaudy *et al.*, 2003). Studies on the dynamic of Mediterranean zooplankton are sparse or lacking (Berline *et al.*, 2012; Fernández de Puelles *et al.*, 2003), and still far from being understood (Siokou-Frangou *et al.*, 2010), and basic exploratory research is still needed. Concerning the zooplankton biomass, only few reviews were performed in the western and the eastern basins, and comparisons remain uneasy because of the lack of standardized sampling methods and data treatment (Siokou-Frangou, *et al.*, 2010). Moreover, most investigations were carried out in various areas with specific objectives and various strategies, types of nets and mesh sizes, and different sampling depths.

Since the pioneering works of Rose (1925) and Bernard (1955), which were limited to the zooplankton from Algiers, very few studies have been performed in Algerian coastal waters, and very little is known regarding the zooplankton community (Khélifi-Touhami *et al.*, 2007). More recently, Riandey *et al.* (2005) studied the impact of hydrodynamic features on the zooplankton dynamics in the Algerian Basin, while Hafferssas & Seridji (2010) explored the copepod communities of the Algerian basin. Although there have been several studies on the phytoplankton, physical and chemical characteristics of Annaba Bay (Ounissi & Frehi, 1999; Frehi *et al.*, 2007; Ounissi *et al.*, 2014), there have only been two studies of the surface zooplankton from this area by Ounissi *et al.* (1998) and Khélifi-Touhami *et al.* (2007), who examined the copepod structure of Annaba Bay and the adjacent Tunisian coast. The study of Ounissi *et al.* (1998) describes the surface zooplankton of the inner bay and provides the first zooplankton data concerning the eastern Algerian coasts. There are, however, no data on the annual distribution of zooplankton abundance, biomass, diversity and species composition. Among the published studies, there are differences in the sampling equipment, time of collection, and sampling depth of zooplankton

abundance and biomass, which makes any comparison difficult.

Annaba Bay is a singular coastal area (southwestern Mediterranean Sea) that receives large diffusive inputs from the Seybouse and Mafragh estuaries (Ounissi *et al.*, 2014) and has also been subjected to severe pollution problems (Ounissi & Frehi, 1999; Ounissi *et al.*, 2008) induced by direct domestic and industrial wastes. The estuaries' plumes are relatively limited to only several kilometers, but under the flooding period, the dilution zone due to their freshwater input can reach the entrance of the bay in the north western part, as reported by Ounissi *et al.* (1998). From the marine side, the entrance of Annaba Bay is submitted to the Modified Atlantic Water (MAW) intrusion, which may renew and disseminate the estuarine and land inputs (Ounissi & Frehi, 1999).

The objectives of the present study are (i) to analyze the zooplankton composition and abundance of Annaba Bay, under estuarine influences and (ii) to compare our findings with previous studies on the zooplankton structure of the bay that were conducted 20 and 10 years ago in order to reveal possible populations and environmental change. This study provide for the first time both complete annual cycle of zooplankton in the northeastern Algerian coasts and information about the zooplankton biomass. In addition, this study may facilitate the comparison between different Mediterranean coastal areas, as the zooplankton was sampled by WP2 net (200  $\mu\text{m}$  mesh size) and its biomass was expressed in dry weight, following the methods mostly used for marine zooplankton studies (Harris *et al.*, 2000).

## Materials and Methods

### Site description

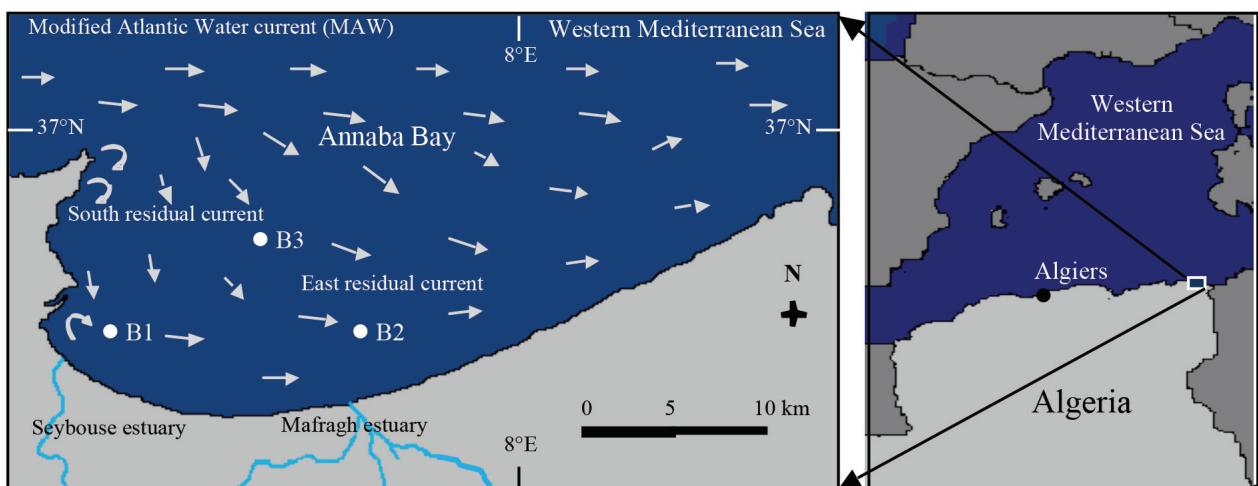
In the South-western Mediterranean Sea, Annaba Bay is characterized by the presence of two important estuaries with an enlarged catchment that covers approxi-

mately 10,000  $\text{km}^2$  (Fig. 1). The Mafragh estuary' waters act as fertilizer (Ounissi *et al.*, 2014), in contrast to the Seybouse inputs, which cause severe pollution problems (Ounissi & Frehi, 1999; Frehi *et al.*, 2007) in the southwest area of the bay (Fig. 1). The particularity of the bay is also expressed by the direct domestic and industrial wastes, which deliver together into the bay more than 1.2 million  $\text{m}^3$  of wastewater/day, strongly charged with phosphate and ammonium (Frehi *et al.*, 2007; Ounissi *et al.*, 2014). From the marine side, external waters penetrate the bay and move eastward as a branch of the Modified Atlantic Water (MAW), with average velocity of 20-35  $\text{cm s}^{-1}$  for surface waters (Ounissi & Frehi, 1999). In the inner part of the bay, the residual current moves southward and allows some water renewal throughout the year. These contrasting continental and marine influences may allow the existence of various biological contingencies and ecological affinities.

Sampling was conducted at three sites (B1, B2, and B3) that are differently submitted to the estuarine plumes and the MAW influences (Fig. 1). Site B1 located in the eastern sector (innermost bay: 10 m depth) is influenced by the Seybouse estuary plume. Site B2 is located in western sector (inner bay: 20 m depth) but it is submitted to the Mafragh estuary plume. Site B3 (50 m depth) located in the central bay is under the influence of the MAW (Fig. 1).

### Hydrological data and plankton collection

Zooplankton samples were collected from the near bottom to the surface using a standard WP2 net (mesh size 200  $\mu\text{m}$ ). A total of 72 net-zooplankton samples were collected monthly from January 2009 to March 2011 at the three marine sites. Due to bad weather in the Annaba Bay, we were unable to collect three samples: September 2009 and March and December 2010. The net was rinsed gently, the samples were transferred into



**Fig. 1:** Map of Annaba Bay showing the sampling stations (B1, B2 and B3) and the general circulation affecting the area.

plastic bottles, and two subsamples of 30 ml (6 to 15% of the total sample volume) were immediately filtered on pre-combusted (500°C for 2 h) and pre-weighed Whatman GF/C glass filters for zooplankton dry weight measurements. These filters were dried at 60°C for 48 h and then weighed. For each filter, the zooplankton dry weight was obtained by subtracting the final filter weight (filter + zooplankton sample) from the initial weight of the filter, and the results were expressed as dry weight (mg DW m<sup>-3</sup>) according to the sample volume (200-500 ml) and the volume of seawater that was filtered through the WP2 net (3-12 m<sup>3</sup> depending on the station). The remaining sample was fixed by the addition of borax-buffered formaldehyde to a final concentration of 4%. The samples for taxonomic composition were sub-sampled (1/4-1/2 of the entire sample) depending on the density of individuals in the total sample, and three sub-samples were examined. Copepods and cladocerans were identified to the species level. All of the other taxa were identified to the lowest possible level. Rare species were identified from the entire sample. The abundances were expressed as the number of individuals per cubic meter (ind. m<sup>-3</sup>), and the Shannon index of diversity (Shannon & Weaver, 1949) was used to estimate the copepod community diversity. The number of copepod species (richness) of each sample was also counted.

Prior to each WP2 vertical haul, surface water samples from marine sites for nutrients and chlorophyll *a* analyses were collected in 1.5-liter polyethylene bottles and processed within two days of collection. In addition to surface water sampling, bottom waters were sampled using a Niskin bottle. In the laboratory, after the filtration of the sample through Whatman GF/C glass filters (0.45 µm porosity), the concentrations of nutrients nitrite (NO<sub>2</sub>), nitrate (NO<sub>3</sub>), ammonium (NH<sub>4</sub>), phosphate (PO<sub>4</sub>), silicate (SiO<sub>4</sub>) and of chlorophyll *a* (Chl *a*) were analyzed following the methods described by Parsons *et al.* (1989). Because of the large influence of the estuarine plumes on the adjacent coastal zone, the same nutrients were also analyzed from samples that were taken at the two estuaries' outlets. Chlorophyll *a* was determined following Lorenzen's method (Lorenzen, 1967) after filtering 1.5 liters of the sample through 0.45-µm membrane filters (Whatman GF/C). Water salinity and temperature measurements were taken with the multiparameter probe Cond WTW 197i at the marine sites and estuaries' outlet sites. The precipitation data come from Annaba meteorological station for Seybouse basin and from El-kala meteorological station for Mafragh basin.

#### Statistical analysis

A correspondence analysis (CA) multivariate technique was used to determine any possible co-variation between the total zooplankton abundance and biomass; the total copepods abundance, diversity and richness; 10

main copepod taxa abundance; and the environmental framework (temperature, salinity and Chlorophyll *a*) at the marine sites during 2009 and 2010. The contingency table that was analyzed with CA is a matrix of the annual averages of the above mentioned zooplankton and copepods data and their main environmental variables observed in 6 spatiotemporal situations (objects) representing the three coastal sites over two years of survey (2009 and 2010). The CA has several advantages compared to other multivariate techniques: (1) it compares rows or columns using the Chi-square distance, which offers a superior method of weighting the individual data; (2) it presents the variables and objects together in a biplot graphic, which facilitates the interpretation of the cloud points and their associations; and (3) the data do not need to be normalized, a procedure that can distort reality (Dervin, 1988). The statistical software Statistica 2008 was used to perform the CA.

## Results

### Environmental variables

Table 1 provides the estuary freshwater and nutrient discharges into Annaba Bay. Together, the estuaries discharged annually into the bay 1,545-2,270 million m<sup>3</sup> of freshwater. Although the Seybouse freshwater inputs represented 31-44% of the total delivery from the estuaries, they were heavily loaded with ammonium (NH<sub>4</sub>) and phosphate (PO<sub>4</sub>), in contrast to the Mafragh inputs, which reflect near-pristine water. During the rainy year of 2009 (Table 1), all of the nutrient levels increased, particularly silicates (SiO<sub>4</sub>) and NH<sub>4</sub> of Seybouse waters.

As shown in Table 2, the average surface temperature in the bay varied from 19°C in the outer coastal station to 21.4 °C in the Seybouse plume, and the bottom layer had an average temperature of 18.2-19.7°C. The surface salinity average values ranged between 31.8 at station B1 during 2009 and 36.6 at station B3 during 2010. In the bottom layer, the salinity values reached a minimum of 35.4 during 2009 and a maximum of 36.8 at station B3 in 2010. Because of the large estuarine freshwater inputs during 2009 (Table 2), the estuaries' plumes were spatially extended in the bay in winter and spring. The nutrient levels were always higher in the estuarine plumes, particularly the Seybouse plume, in which levels were 2-fold higher than those of the outer station B3. Paradoxically, the levels of dissolved organic nitrogen (DON) and nitrate (NO<sub>3</sub>) were low in the wet year of 2009 compared to the values of the dry year 2010 (Table 2). Annaba Bay showed high levels of Chlorophyll *a*, ranging from 0.8 to 3 µg L<sup>-1</sup> in the bottom layer and 0.93 to 2.75 µg L<sup>-1</sup> in surface waters. These phytoplankton biomasses have the same distribution of inorganic dissolved nutrients, with maximum values in the estuarine plumes' stations during the wet year of 2009.

**Table 1.** Precipitation over the Seybouse and Mafragh basins and average ( $\pm$  standard error) hydrological data at the Seybouse and Mafragh estuaries' mouths that fed Annaba Bay, January 2009–March 2011.

	Seybouse estuary's outlet			Mafragh estuary's outlet		
	2009	2010	2011*	2009	2010	2011*
Precipitation (mm) over the basin	870	518	248	700	575	261
Discharge ( $10^6 \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$ )	1170	630	381	1103	915	832
$\text{NH}_4^+$ ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	179.4	68.0	39.2	10.6	6.7	6.6
	( $\pm 20.7$ )	( $\pm 10.4$ )	( $\pm 6.02$ )	( $\pm 1.8$ )	( $\pm 1.7$ )	( $\pm 4.05$ )
$\text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	33.9	31.4	41.6	17.9	16.3	6.7
	( $\pm 3.7$ )	( $\pm 5.5$ )	( $\pm 9.01$ )	( $\pm 5.5$ )	( $\pm 2.8$ )	( $\pm 1.0$ )
$\text{DIN}$ ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	224	109.2	85.0	33.6	26.3	17
	( $\pm 20$ )	( $\pm 10.5$ )	( $\pm 15$ )	( $\pm 6.5$ )	( $\pm 2.8$ )	( $\pm 3.93$ )
$\text{DON}$ ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	ND	18.0	9.9	ND	19.2	12.9
		( $\pm 7.2$ )	( $\pm 1.07$ )		( $\pm 6.0$ )	( $\pm 1.26$ )
$\text{PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	5.0	5.1	5.6	2.5	1.7	4.2
	( $\pm 0.7$ )	( $\pm 0.6$ )	( $\pm 2.0$ )	( $\pm 0.6$ )	( $\pm 0.2$ )	( $\pm 1.22$ )
$\text{SiO}_4^{4-}$ ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	104	66.1	54.6	55.5	50.6	46.8
	( $\pm 12$ )	( $\pm 4.4$ )	( $\pm 4.9$ )	( $\pm 9$ )	( $\pm 8.2$ )	( $\pm 7.01$ )

\*: average of January, February and March.

ND: not determined.

### Zooplankton abundance and biomass

The list of identified taxa from Annaba Bay is given in Table 3. The total zooplankton abundance, without the dinoflagellate *Noctiluca scintillans* (hereafter referred to as TZ-N), fluctuated largely between seasons, years and sites, as shown in figure 2. The annual average densities varied from 700-1,000 ind.  $\text{m}^{-3}$  at the outer site and 1,900-2,000 ind.  $\text{m}^{-3}$  at the inner sites under the influence of estuaries' plumes. At the outer site, opened to external water intrusion, the maximum abundance was encountered during May-August 2009, due mainly to increased copepods and cladocerans. TZ-N was abundant throughout the year in the inner bay sector (Fig. 2), peaking in the warm season (July-September). The cladocerans and copepods were the most abundant components during this warm and dry period. However, exceptionally low densities (100-300 ind.  $\text{m}^{-3}$ ) were recorded at the estuaries' plumes (Fig. 2) due to the riverine floods, which may bring the whole water layer (and its plankton) up to the outer waters during November 2010 and February 2009.

*N. scintillans* followed regular seasonal cycle, with the highest values in spring (Fig. 2), but was almost absent in samples during summer and autumn. *N. scintillans* was a major component in the Seybouse estuary's plume, forming 61 to 78% of the total zooplankton, and peaked in April (17,980 ind.  $\text{m}^{-3}$  in 2009 and 42,170 ind.  $\text{m}^{-3}$  in 2010). At the Mafragh plume, its fraction was less important: 16% in 2009, 41% in 2010 and 68% in early 2011. The species was not rare in the outer site but represents on average 20 to 30% of the total zooplankton.

Excluding *N. scintillans*, copepods and cladocerans were the most abundant groups in both 2009 and 2010, representing 82 to 90% of the total zooplankton,

and showed clear seasonality. Copepods were the most abundant group, representing 54-76% of the total abundance, and their contribution to TZ-N increased during winter and spring (60-92%), when cladocerans and other group abundances decrease. The copepod abundances increased in estuaries' plumes (1,100-1,560 ind.  $\text{m}^{-3}$ ) and were two- or three-fold higher than in the outer waters at site B3 (Fig. 2). However, during early 2011, copepod populations were abundant in all samples, reaching exceptionally high densities at the site B3. Their maximum abundance was encountered in July-August 2009 and September 2010 (Fig. 2).

In Annaba Bay, the seven known marine Mediterranean cladocerans species (Table 3) were registered in the samples, but *Podon leuckartii*, *Podon intermedius* and *Evadne nordmanni* were rare and appeared sporadically in late winter and spring. *Pleopis polyphemoides*, *Pseudevadne tergestina*, *Evadne spinifera* and *Penilia avirostris* were the most abundant species particularly during the warm period (May-October). Cladocerans were the second most abundant group within TZ-N (8-30%), and reached high densities in the warm season (Fig. 2). Due to the blooming of the parthenogenetic females of *P. tergestina* and, to a lesser degree *P. avirostris*, very elevated densities of cladocerans occurred in July 2009 at site B2 (3,820 ind.  $\text{m}^{-3}$ ). The bloom of September 2010 spreading in all stations, however, was related to *P. avirostris*.

The meroplankton amounted to less than 5%, with fish eggs continuously sampled from April to October. The cnidarian group was always recorded at the outer site but with very low densities (5-25 ind.  $\text{m}^{-3}$ ). This group was mainly composed of siphonophores and the cosmopolitan hydromedusa *Aglaura hemistoma* which was in particular linked to the Seybouse estuary plume

**Table 2.** Average values ( $\pm$  standard error) of the hydrological data at the studied stations of Annaba Bay, January 2009-March 2011.

		Station B1			Station B2			Station B3		
		2009	2010	2011*	2009	2010	2011*	2009	2010	2011*
Temperature (°C)	Surface	20.0	21.4	17.1	19.4	20.2	16.7	19.0	20.4	17.3
		( $\pm$ 1.5)	( $\pm$ 1.4)	( $\pm$ 0.7)	( $\pm$ 1.5)	( $\pm$ 1.4)	( $\pm$ 1.0)	( $\pm$ 1.4)	( $\pm$ 1.5)	( $\pm$ 0.9)
	Bottom	19.7	19.7	16.4	19.0	19.8	16.9	18.2	18.7	16.1
		( $\pm$ 1.4)	( $\pm$ 1.4)	( $\pm$ 1.0)	( $\pm$ 1.3)	( $\pm$ 1.5)	( $\pm$ 0.7)	( $\pm$ 1.1)	( $\pm$ 1.5)	( $\pm$ 1.2)
Salinity (psu)	Surface	31.8	35.1	34.8	34.1	36.4	34.6	36.5	36.6	34.6
		( $\pm$ 1.8)	( $\pm$ 0.6)	( $\pm$ 0.6)	( $\pm$ 1.1)	( $\pm$ 0.2)	( $\pm$ 0.5)	( $\pm$ 0.2)	( $\pm$ 0.2)	( $\pm$ 1.2)
	Bottom	35.4	36.4	35.1	36.2	36.7	34.7	36.6	36.8	35.9
		( $\pm$ 1.0)	( $\pm$ 0.2)	( $\pm$ 0.5)	( $\pm$ 0.3)	( $\pm$ 0.2)	( $\pm$ 1.3)	( $\pm$ 0.2)	( $\pm$ 0.2)	( $\pm$ 0.5)
PO <sub>4</sub> ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	Surface	4.40	1.29	0.7	2.6	0.95	0.20	2.52	0.44	0.27
		( $\pm$ 1.5)	( $\pm$ 0.2)	( $\pm$ 0.1)	( $\pm$ 0.8)	( $\pm$ 0.2)	( $\pm$ 0.1)	( $\pm$ 0.6)	( $\pm$ 0.1)	( $\pm$ 0.1)
	Bottom	3.88	1.38	0.7	2.7	1.26	0.27	1.73	0.39	0.25
		( $\pm$ 1.4)	( $\pm$ 0.3)	( $\pm$ 0.3)	( $\pm$ 0.9)	( $\pm$ 0.2)	( $\pm$ 0.1)	( $\pm$ 0.5)	( $\pm$ 0.1)	( $\pm$ 0.1)
NH <sub>4</sub> ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	Surface	6.00	1.10	16.7	3.6	0.3	22.7	2.7	0.0	3.9
		( $\pm$ 0.9)	( $\pm$ 0.5)	( $\pm$ 6.7)	( $\pm$ 0.7)	( $\pm$ 0.2)	( $\pm$ 16)	( $\pm$ 0.5)	( $\pm$ 0.0)	( $\pm$ 1.4)
	Bottom	5.50	0.60	27.3	6.0	0.3	26.7	2.9	0.1	3.8
		( $\pm$ 1.3)	( $\pm$ 0.6)	( $\pm$ 17)	( $\pm$ 1.6)	( $\pm$ 0.3)	( $\pm$ 22.5)	( $\pm$ 0.6)	( $\pm$ 0.1)	( $\pm$ 2.2)
NO <sub>3</sub> ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	Surface	3.01	5.35	12.5	1.1	3.17	7.49	1.3	2.70	5.91
		( $\pm$ 1.4)	( $\pm$ 0.8)	( $\pm$ 7.1)	( $\pm$ 0.4)	( $\pm$ 1.2)	( $\pm$ 4.2)	( $\pm$ 0.3)	( $\pm$ 1.5)	( $\pm$ 3.5)
	Bottom	2.54	3.74	7.1	1.47	2.84	6.30	1.9	2.54	5.07
		( $\pm$ 1.5)	( $\pm$ 0.6)	( $\pm$ 2.4)	( $\pm$ 0.6)	( $\pm$ 0.9)	( $\pm$ 3.3)	( $\pm$ 0.8)	( $\pm$ 1.3)	( $\pm$ 2.4)
DIN ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	Surface	10.6	6.57	29.3	5.55	3.50	30.2	4.47	2.73	9.80
		( $\pm$ 2.9)	( $\pm$ 1.0)	( $\pm$ 11)	( $\pm$ 1.0)	( $\pm$ 1.2)	( $\pm$ 13)	( $\pm$ 0.8)	( $\pm$ 1.5)	( $\pm$ 2.1)
	Bottom	8.92	4.41	34.4	8.29	3.18	33.1	5.25	2.63	8.90
		( $\pm$ 2.0)	( $\pm$ 0.7)	( $\pm$ 15)	( $\pm$ 1.9)	( $\pm$ 0.9)	( $\pm$ 20)	( $\pm$ 1.1)	( $\pm$ 1.4)	( $\pm$ 1.4)
DON ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	Surface	5.13	7.39	4.72	4.14	7.34	4.66	4.16	4.09	3.73
		( $\pm$ 1.0)	( $\pm$ 1.3)	( $\pm$ 2.1)	( $\pm$ 0.9)	( $\pm$ 0.9)	( $\pm$ 1.4)	( $\pm$ 0.9)	( $\pm$ 0.6)	( $\pm$ 0.9)
	Bottom	5.24	8.11	6.52	3.22	6.07	3.95	3.97	4.29	4.27
		( $\pm$ 1.1)	( $\pm$ 1.9)	( $\pm$ 1.1)	( $\pm$ 0.7)	( $\pm$ 0.8)	( $\pm$ 1.8)	( $\pm$ 0.9)	( $\pm$ 0.8)	( $\pm$ 1.0)
Si(OH) <sub>4</sub> ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	Surface	6.02	5.96	12.6	3.85	4.37	2.23	2.87	3.68	3.40
		( $\pm$ 1.1)	( $\pm$ 1.2)	( $\pm$ 5.3)	( $\pm$ 0.9)	( $\pm$ 0.5)	( $\pm$ 0.9)	( $\pm$ 0.6)	( $\pm$ 0.5)	( $\pm$ 0.7)
	Bottom	5.63	5.28	5.00	3.21	3.79	2.90	4.70	4.04	3.86
		( $\pm$ 0.8)	( $\pm$ 1.0)	( $\pm$ 0.9)	( $\pm$ 0.9)	( $\pm$ 0.5)	( $\pm$ 0.6)	( $\pm$ 0.8)	( $\pm$ 0.7)	( $\pm$ 0.3)
Chl a ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Surface	4.2	2.75	0.93	2.5	1.51	1.91	1.8	1.65	2.00
		( $\pm$ 0.8)	( $\pm$ 0.7)	( $\pm$ 0.5)	( $\pm$ 0.5)	( $\pm$ 0.6)	( $\pm$ 0.4)	( $\pm$ 0.2)	( $\pm$ 0.4)	( $\pm$ 0.6)
	Bottom	4.5	3.00	1.16	2.8	1.35	1.60	1.9	1.73	0.80
		( $\pm$ 0.9)	( $\pm$ 0.9)	( $\pm$ 0.2)	( $\pm$ 0.3)	( $\pm$ 0.3)	( $\pm$ 0.5)	( $\pm$ 0.5)	( $\pm$ 0.2)	( $\pm$ 0.4)

\*: average of January, February and March.

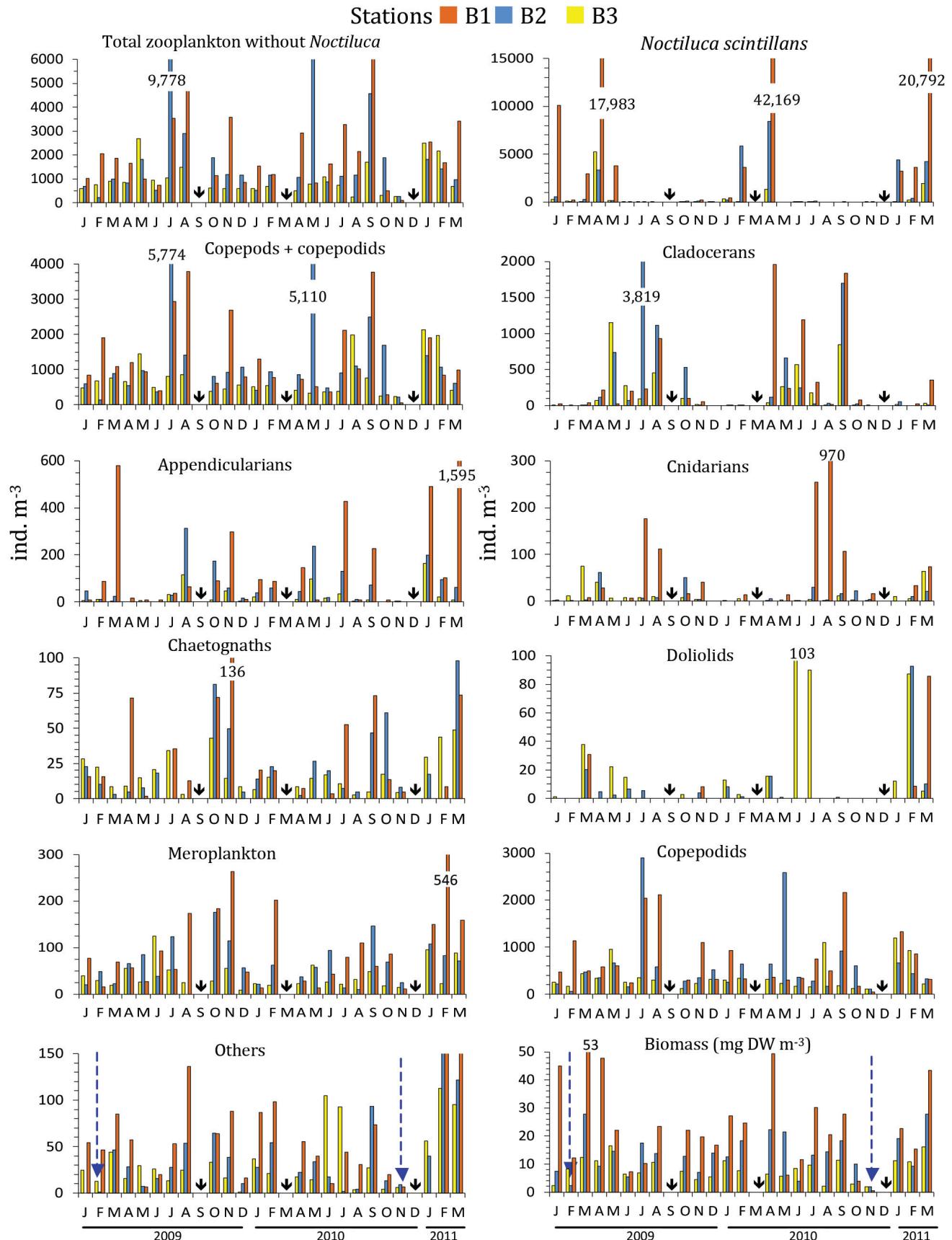
(Fig. 2). The appendicularians were collected throughout the year and represented 2-5% of TZ-N abundance, but was rather more abundant at site B1, particularly in winter and spring (Fig. 2). The chaetognaths that were collected in all samples were more abundant in autumn and winter, especially at the outer site B3, which constituted 2.2% of the TZ-N abundance (Fig. 2). Doliolids and salps (*Doliolum nationalis*, *Dolioletta gegenbauri*, and *Thalia democratica*) were rare and appeared sporadically at the estuaries' plumes but were more present at the outer site (1.5%) from winter to summer. Other taxonomic groups (amphipods, radiolarians, euphausiids, foraminifera, and mysids) collectively represented less than 3% of the TZ-N and generally showed very low numbers (30-60 ind.  $\text{m}^{-3}$  on average).

In Annaba Bay, the zooplankton biomass (Fig. 2) varied between medium values (6.7-8.3 mg DW  $\text{m}^{-3}$ ) at the outer site to high values in the estuaries' plumes (12-25.40 mg DW  $\text{m}^{-3}$ ). The seasonal variation of total

zooplankton abundances was different from the general pattern of the biomasses (Fig. 2), which peaked in spring 2009 and September 2010. There is however a significant correlation between the total zooplankton abundance and biomasses: 0.68; 0.62 and 0.61, respectively, at stations B1, B2 and B3 ( $n = 24$ ;  $p < 0.05$ ). The zooplankton biomass, on the other hand, was the highest at site B1 during April 2009 and 2010 and during March 2011 due to the blooming of *N. scintillans* and to possible contamination with detritus re-suspension and phytoplankton, which increases habitually in this period of the year (Fig. 2). The shallow water layer in this area may allow detritus and phytoplankton re-suspension, in particular the colonial diatoms such as *Chaetoceros* species.

### The copepod community

The mean copepod abundances (excluding copepodids) ranged from 368 to 670 ind.  $\text{m}^{-3}$  with elevated values at inner sites, as shown in Figure 3. Seventy-three



**Fig. 2:** Variation in the zooplankton and its main component abundances (ind.  $m^{-3}$ ) and biomass collected from the three stations (B1, B2 and B3) of Annaba Bay from January 2009–March 2011. ↓: not sampled. Vertical dashed arrows designated the river's flood periods.

copepod species were identified, but only 10 species accounted for 80-90% of the total copepod abundance. *Paracalanus indicus* (20.5-35.4%), *Oithona similis* (10-19.6%), *Euterpina acutifrons* (4.9-22.6%), *Centropages ponticus* (6.6-18.5%), *Oncaea venusta* (3-12.5%), *Oithona plumifera* (3.8-7.9%), *Clausocalanus furcatus* (1-7.6%), *Oithona nana* (2.7-5.8%), *Temora stylifera* (1.8-2.7%) and *Acartia* (*Acartia*) *negligens* (0.6-1.5%) were the most common species throughout the year. *P. indicus* and *O. similis* as the most abundant species (27.4 and 14.5%, respectively), dominated the copepod community successively in winter-spring and summer-autumn and were especially abundant in the inner bay sector, which is directly submitted to estuarine water exchange. In contrast to *O. similis*, *P. indicus* displayed winter minima and late summer-autumn maxima, reaching 1,360 ind. m<sup>-3</sup> and 1,293 ind. m<sup>-3</sup> in July 2009 and May 2010 at site B2, respectively (Fig. 3). *O. similis*, *O. plumifera* and *O. nana* made up 40-70% of the copepod community abundance during winter and spring 2009 (Fig. 3). *O. nana* occurred in the plankton throughout the year with maximum in spring-summer, and had the highest densities at the inner site B1, in contrast to *O. plumifera* which was more abundant during autumn-winter.

The small harpacticoid *E. acutifrons* appeared in relatively high abundance during the warm period, especially at the inner site B1, where it constituted on average 22% of the total copepod abundances. Other dominant species in the outer site included the cyclopoid *O. venusta* (12.5%) and the calanoid *C. furcatus* (7.6%), which occurred throughout the year but with no clear seasonal pattern. *Centropages ponticus* was the most abundant copepod during the warm season. The Calocalanidae, which comprised 6 species (Table 3), appeared sporadically during autumn and early winter (Fig. 3), constituting 3-4% of the total copepod abundances. *Calocalanus pavo* was the most abundant among the calocalanid species, reaching 103-112 ind. m<sup>-3</sup> at the inner sites during November 2009. *T. stylifera* was collected in all seasons but with very low densities, particularly during winter-spring. Species of the Acartiidae family attained low abundances, and paradoxically, *Acartia* (*Acartiura*) *clausi* was rare during the study period. *A. negligens* was present in almost all of the samples with low frequencies and *A. danae* occurred in late autumn-winter at the outer site. The family Corycaeidae contributed with 9 species (Table 3) that occurred sporadically at very low abundances. However, *Onchocorycaeus ovalis*, *Farranula curta* and *F. rostrata* were present in most of the samples with no seasonal pattern.

During late autumn and winter, coinciding with the mixing period, the external input from open sea waters brought several mesopelagic/bathypelagic and oceanic species, such as *Calanus helgolandicus*, *Nannocalanus minor*, *Spinocalanus magnus*, *Scolecithrix danae*, *Diaxias hibernica*, *Sapphirina opalina*, *Pleuromamma ab-*

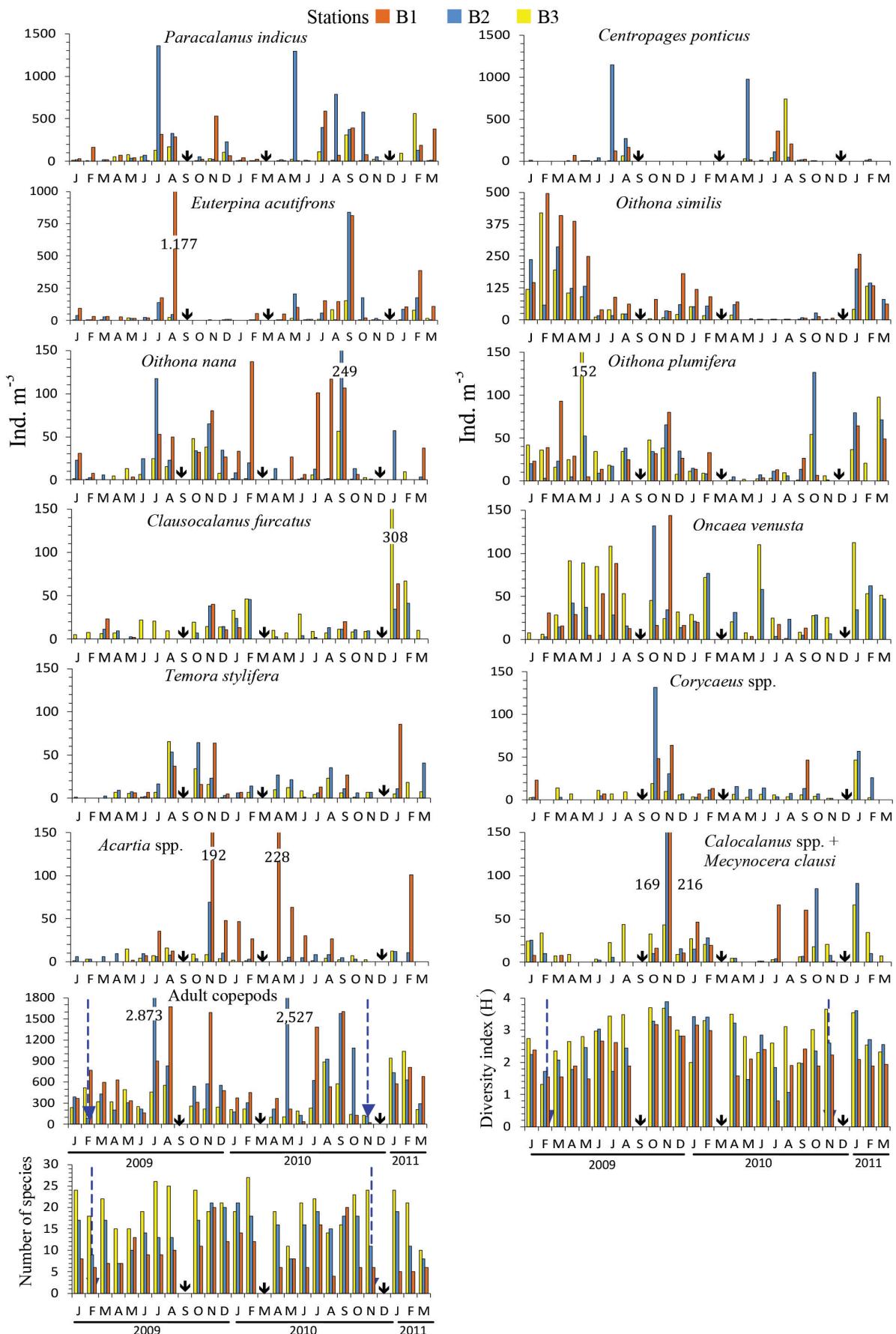
*dominalis*, *P. borealis*, *P. xiphias*, *P. piseki*, *P. gracilis*, *Centropages violaceus*, *C. chierchiai*, *Lucicutia flavicornis*, *Cymbasoma longispinosum*, *Ctenocalanus vanus*, *Acartia danae*, *Candacia varicans*, *Agetus typicus*, *Urocorycaeus laetus*, *Onchocorycaeus latus* and *Clausocalanus pergens*. These immigrants and rare species (< 1%, named DIV or diverse species) did not spread in the whole bay but were mainly limited to the outer station influenced by the open sea.

The species *Pseudodiaptomus arabicus* and *P. australiensis* were encountered during the year 2010 for the first time in Annaba Bay and are unknown in the Mediterranean Sea. *P. australiensis* females were observed (1-3 individuals) during May and June (station B1) and July and August (station B3) and as female copepodids during September. For *P. arabicus* 4 females were encountered in September at the inner stations B1 and B2.

The Shannon-Wiener diversity index (H') varied largely throughout the year, with high values during autumn and winter. Exceptionally, during late winter-spring 2009, the diversity index decreased to its lowest values because of the high density of *O. similis*, which dominated the copepod community at 65-84% in February, 61-69% in March and 32-61% in April. Due to the numerical abundance of *P. indicus*, the copepod community was also unstructured during July-August 2010, and the diversity decreased to 0.8-1.9 at the inner sites (Fig. 3). The copepod community was well structured from October 2009 to February 2010, where the diversity index and the number of species peaked. In addition, the outer site, which is well exposed to external neritic and oceanic species intrusion, had high diversity values for both 2009 and 2010 (Fig. 3). During the mixing period in November 2009, more than 20 species co-occurred (with moderate densities), which led to exceptionally high diversity values. The principal components of the community were *Paracalanus nanus*, *P. indicus*, *T. stylifera*, *Calocalanus pavo*, *C. styliremis*, *C. plumatus*, *Clausocalanus furcatus*, *Oithona plumifera*, *O. similis*, *A. clausi*, *A. negligens*, *O. venusta*, *Corycaeus typicus*, *C. ovalis*, *Farranula curta*, and *Nannocalanus minor*. As shown in Figure 3, site B3 was 2-fold richer in species than was station B2 and approximately 3-fold richer than station B1.

### Statistical analysis

Data analysis with a correspondence analysis (CA) provides the co-variation between the spatiotemporal distribution of the zooplankton abundances and biomasses and the copepod species in relation to their major environmental parameters (Fig. 4). According to the factorial plan (F1 × F2), which brings 72.7% of the total inertia, the zooplankton and its main component copepod taxa are segregated into three major groups. The axis F1 segregates the summer coastal group mainly composed of *Paracalanus indicus* (Pin) and *Centropages ponticus*



**Fig. 3:** Variation in the adult copepods and main species' abundances (ind.  $m^{-3}$ ) and the copepod diversity index ( $H'$ ) and richness at the three stations (B1, B2 and B3) of Annaba Bay from January 2009-March 2011.  $\downarrow$ : not sampled. Vertical dashed arrows designated the river' flood periods.

**Table 3.** List of the identified zooplankton taxa that were collected from Annaba Bay, January 2009-March 2011.

<b>PROTOZOA</b>	<i>Calocalanus plumulosus</i> (Claus, 1863)	<b>Harpacticoida</b>
<b>PHYTOFLAGELLATA</b>	<i>Calocalanus styliremis</i> Giesbrecht, 1888	<i>Distioculus minor</i> (Scott T., 1894)
<b>Dinoflagellata</b>	<i>Calocalanus tenuis</i> Farran, 1926	<i>Clytemnestra scutellata</i> Dana, 1847
<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Kofoid and Swezy, 1921	<i>Candacia armata</i> Boeck, 1872	<i>Euterpinia acutifrons</i> (Dana, 1847)
<b>ZOOFLAGELLATA</b>	<i>Candacia bipinnata</i> (Giesbrecht, 1889)	<i>Goniopeltis rostratus</i> Brady, 1883
<b>Foraminifera</b>	<i>Candacia varicans</i> (Giesbrecht, 1893)	<i>Macrosetella gracilis</i> (Dana, 1847)
<i>Globigerina bulloides</i> d'Orbigny, 1826	<i>Calanus helgolandicus</i> (Claus, 1863)	<i>Microsetella norvegica</i> (Boeck, 1865)
<i>Globigerina</i> spp.	<i>Candacia simplex</i> (Giesbrecht, 1889)	<i>Microsetella rosea</i> (Dana, 1847)
<b>Radiolaria</b>	<i>Centropages chierchiae</i> Giesbrecht, 1889	<b>Monstrilloida</b>
<i>Arachnosphera myriacantha</i> Haeckel, 1860	<i>Centropages kroyeri</i> Giesbrecht, 1893	<i>Cymbasoma longispinosum</i> (Bourne, 1890)*
<b>CNIDARIA</b>	<i>Centropages ponticus</i> Karavaev, 1895*	<i>Monstrilla</i> sp.
<b>SIPHONOPHORA</b>	<i>Centropages typicus</i> Krøyer, 1849	<b>CIRRIPEDIA</b>
<i>Abylopsis eschscholtzii</i> (Huxley, 1859)	<i>Centropages violaceus</i> (Claus, 1863)	Undetermined larvae
<i>Eudoxoides spiralis</i> (Bigelow, 1911)	<i>Clausocalanus furcatus</i> (Brady, 1883)	<b>PERACARIDA</b>
<i>Lensia subtilis</i> (Chun, 1886)	<i>Clausocalanus jobei</i> Frost & Fleminger, 1968	<b>Amphipoda</b>
<i>Muggiaea atlantica</i> Cunningham, 1892	<i>Clausocalanus lividus</i> Frost & Fleminger, 1968	Undetermined
<i>Muggiaea kochi</i> (Will, 1844)	<i>Clausocalanus paululus</i> Farran, 1926	<b>EUCARIDA</b>
<b>MEDUSAE</b>	<i>Clausocalanus pergens</i> Farran, 1926	<b>Euphausiacea</b>
<i>Aglaura hemistoma</i> Péron & Lesueur, 1810	<i>Ctenocalanus vanus</i> Giesbrecht, 1888	Undetermined larvae
<i>Obelia</i> spp.	<i>Diaixis hibernica</i> (Scott A., 1896)*	<b>Decapoda</b>
<i>Nautilus punctata</i> Kölliker, 1853	<i>Labidocera wollastonii</i> (Lubbock, 1857)	<i>Eriphia verrucosa</i> (Forsskål, 1775)
<i>Paraphyllina intermedia</i> Maas, 1903	<i>Lucicutia flavigaster</i> (Claus, 1863)	Rathke, 1837
<i>Pelagia noctiluca</i> (Forsskål, 1775)	<i>Mecynocera clausi</i> Thompson I.C., 1888	<i>Palaemon elegans</i> Rathke, 1837
<i>Persa incolorata</i> McCrady, 1857	<i>Monstrilla longicornis</i> Thompson I.C., 1890*	<i>Porcellana</i> spp.
<i>Rhopalonema funerarium</i> Vanhöffen, 1902	<i>Nannocalanus minor</i> (Claus, 1863)	<i>Necora puber</i> (Linnaeus, 1767)
<b>ANNELIDA</b>	<i>Paracalanus indicus</i> Wolfenden, 1905	<i>Processa</i> spp.
<i>Magelona papillicornis</i> McIntosh, 1878	<i>Paracalanus nanus</i> Sars G.O., 1925	<b>CHAETHOGNATHA</b>
<i>Nereis</i> sp.	<i>Paracartia grani</i> Sars G.O., 1904	<i>Sagitta bipunctata</i> Quoy & Gaimard, 1827
<i>Sabellaria</i> sp.	<i>Paracartia latisetosa</i> (Krichagin, 1873)	<i>Sagitta enflata</i> Grassi, 1881
<i>Polydora</i> spp.	<i>Pleuromamma abdominalis</i> (Lubbock, 1856)	<i>Sagitta serratodentata</i> Krohn, 1853
<i>Nephtys</i> sp.	<i>Pleuromamma borealis</i> Dahl F., 1893	<b>ECHINODERMATA</b>
<b>MOLLUSCA</b>	<i>Pleuromamma piseki</i> Farran, 1929*	<b>ECHINIDA</b>
Gastropods and bivalve larvae	<i>Pleuromamma xiphias</i> (Giesbrecht, 1889)	Undetermined larvae
Pteropoda	<i>Pseudodiaptomus arabicus</i> Walter, 1998**	<b>OPHIURIDA</b>
<b>ARTHROPODA</b>	<i>Pseudodiaptomus australiensis</i> Walter, 1987**	Undetermined larvae
<b>BRANCHIOPODA</b>	<i>Scolecithrix bradyi</i> Giesbrecht, 1888*	<b>TUNICATA</b>
<b>Cladocera</b>	<i>Scolecithrix danae</i> (Lubbock, 1856)*	<b>APPENDICULARIA</b>
<i>Evadne nordmanni</i> Lovén, 1836	<i>Spinocalanus magnus</i> Wolfenden, 1904*	<i>Fritillaria pellucida</i> (Busch, 1851)
<i>Evadne spinifera</i> Müller P.E., 1867	<i>Temora stylifera</i> (Dana, 1849)	<b>THALIACEA</b>
<i>Pleopis polyphaenoides</i> (Leuckart, 1859)	<b>Cyclopoida</b>	<b>Doliolida</b>
<i>Pseudevadne tergestina</i> (Claus, 1877)	<i>Oithona linearis</i> Giesbrecht, 1891	<i>Dolioletta gegenbauri</i> (Ulanin, 1884)
<i>Penilia avirostris</i> Dana, 1849	<i>Oithona nana</i> Giesbrecht, 1893	<i>Doliolum nationalis</i> Borgert, 1893
<i>Podon intermedius</i> Lilljeborg, 1853	<i>Oithona plumifera</i> Baird, 1843	<b>Salpidae</b>
<i>Podon leuckartii</i> (Sars G. O., 1862)	<i>Oithona similis</i> Claus, 1866	<i>Thalia democratica</i> (Forsskål, 1775)
<b>OSTRACODA</b> (undetermined)	<b>Poecilostomatoida</b>	<b>VERTEBRATA</b>
<b>COPEPODA</b>	<i>Agetus flaccus</i> (Giesbrecht, 1891)	Anchovy ( <i>Engraulis encrasicolus</i> L.)
<b>Calanoida</b>	<i>Agetus limbatus</i> (Brady, 1883)	eggs and clupeid eggs and larvae
<i>Acartia (Acartiura) clausi</i> Giesbrecht, 1889	<i>Agetus typicus</i> Krøyer, 1849	
<i>Acartia (Acartiura) danae</i> Giesbrecht, 1889	<i>Copilia lata</i> Giesbrecht, 1891	
<i>Acartia (Acartiura) discaudata</i> (Giesbrecht, 1881)	<i>Corycaeus crassiusculus</i> Dana, 1849	
<i>Acartia (Acartiura) negligens</i> Dana, 1849	<i>Corycaeus speciosus</i> Dana, 1849	
<i>Calocalanus pavo</i> (Dana, 1852)	<i>Farranula curta</i> (Farran, 1911)*	
<i>Calocalanus plumatus</i> Shmeleva, 1965*	<i>Farranula rostrata</i> (Claus, 1863)	
	<i>Oncaeа media</i> Giesbrecht, 1891	
	<i>Oncaeа mediterranea</i> (Claus, 1863)	
	<i>Oncaeа venusta</i> Philippi, 1843	
	<i>Oncaeа</i> spp.	
	<i>Onchocorycaeus latus</i> (Dana, 1849)	
	<i>Onchocorycaeus ovalis</i> (Claus, 1863)	
	<i>Sapphirina opalina</i> Dana, 1849	
	<i>Urocorycaeus laetus</i> (Dana, 1849)	

\*\*: new species for the Mediterranean Sea.

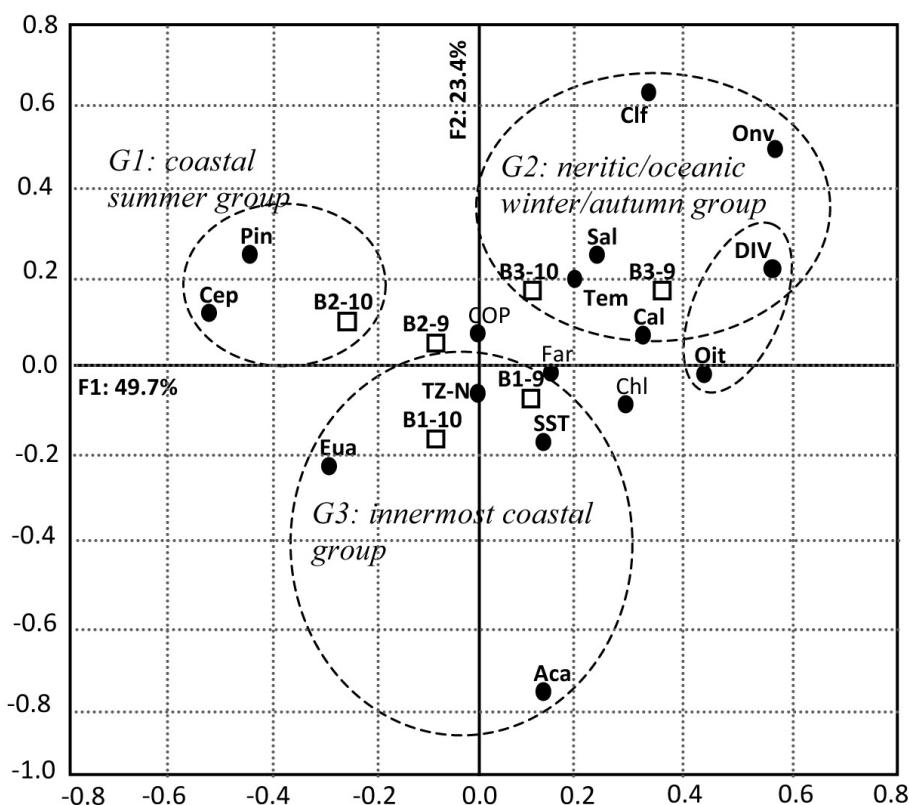
\*: unknown species for Annaba Bay.

(Cep) from the neritic-oceanic/autumn-winter group, regrouping species of DIV community. *Oithona* spp. (Oit), mainly *Oithona plumifera* and *O. similis*, belong also to this group, which has some affinity to neritic water and appeared with high numbers during the cold season. The first group dominates at the area of the Mafragh estuary's plume (B2-10, B2-9 are badly projected on both axes), while the second group mainly inhabits the open site to MAW intrusion (B3-9 and B3-10). According to the second factor F2, *Clausocalanus furcatus* (Clf), *Oncaea venusta* (Onv), and *Calocalanus* spp., in addition to DIV species that rather inhabit the more saline (Sal) and cold (Tem) waters of the opened area, are separated from *Euterpina acutifrons* (Eut) and *Acartia* spp. (Aca: *A. clausi* + *A. discaudata* + *A. negligens*), which are typical of the innermost and eutrophicated sector (the Seybouse plume: B1-9 and B1-10). The G2, more diversified (C-H': copepod H' index diversity) and richer in species (NCP: number of copepod species), is associated with the outer site B3 (Fig. 4). In addition to *E. acutifrons* and *Acartia* spp., indicators of eutrophic areas, the G3 included high zooplankton (TZA) abundances and biomass (ZB), which characterizes the Seybouse plume. Overall, it appears from the CA that axis F1 may correspond to a temporal factor segregating the autumn-winter group from the summer coastal one, while the axis F2 may represent a spatial factor separating the inner coastal productive sector from the outer waters with relatively low zooplankton abundance and biomass, high diversity and richness.

## Discussion

### Features of zooplankton biomass and abundance

In the two last decades, changes in the coastal area of Annaba Bay were induced by various and intensive coastal development. The western sector of the bay is particularly heavily impacted by the direct input of untreated household and industrial wastes, despite the diffusive nutrient and particulate matter deliveries from the Seybouse estuary (Ounissi *et al.*, 2014). In contrast, the eastern sector has the advantage of the Mafragh estuary's near-pristine water inputs (Khélifi-Touhami *et al.*, 2006; Ounissi *et al.*, 2014). The plumes of the estuarine flow are usually relatively limited (5-10 km), but the dilution area during flooding events can influence more distant areas, reaching the northwestern part of the bay. In one such event, Ounissi *et al.* (1998) reported that the inner sector was nearly defaunated and that the zooplankton was transported around the entrance of Annaba Bay, located 12 km from the Seybouse mouth, which is usually opened to oceanic water intrusion. During this event, 30 adult copepods  $m^{-3}$  at the estuary plume and 40,500 copepods  $m^{-3}$  at the boundary plume have been reported, with abundances never encountered before. During our research, the flooding of November 2010 due to the Seybouse freshwater discharge has led to comparable effects, where the zooplankton biomass and abundance decreased to their lowest values.



**Fig. 4:** Correspondence analysis (F1 x F2 factorial plane) showing the three segregated groups (G1; G2 and G3) of zooplankton data that were collected from Annaba Bay. Variable symbols are as indicated in Statistical analysis section.

The highest zooplankton abundances and biomass in the Annaba Bay were encountered in the shallow area close to the coast, particularly during the wet year of 2009, where the inputs of nutrients from Seybouse and Mafragh estuaries have sustained a high phytoplankton biomass, which supplied large nutritional base for the zooplankton. Comparable findings in some similar Mediterranean coastal waters have been reported in Tunis Bay (Daly Yahia *et al.*, 2004), North Adriatic (Benović *et al.*, 1984), Izmit Bay, Marmara Sea (Isinibilir *et al.*, 2008) and Annaba Bay (Ounissi *et al.*, 1998). Compared to the zooplankton biomass from other parts of the Mediterranean, Annaba Bay can be considered among the moderate to richest bays (6.70-25.37 mg DW m<sup>-3</sup>). The review of zooplankton biomass in the W Mediterranean Sea of Champalbert (1996) reported that biomasses from the whole Mediterranean varied from 2-20 mg DW m<sup>-3</sup>, and values over 20 mg DW m<sup>-3</sup> are considered highly productive zones. Similar biomass values (2.1-14.4 mg DW m<sup>-3</sup>, mean 7 mg DW m<sup>-3</sup>) for the epipelagic zone in the open sea have been reported by Siokou-Frangou *et al.* (2010) and in the Adriatic Sea (6.6-18.5 mg DW m<sup>-3</sup>; Benović *et al.*, 1984). The study of zooplankton biomass from an open coastal zone of Algiers, Algeria (Riandey *et al.*, 2005), was remarkably comparable (4-9.6 mg DW m<sup>-3</sup>) to our findings for the outer site B3 (6.7-8.3 mg DW m<sup>-3</sup>), as well as the biomasses from the neritic zone of the Balearic Sea (7.40 mg DW m<sup>-3</sup>, Fernández de Puelles *et al.*, 2003). The elevated values of zooplankton biomass might be due to the proliferation of tolerant non-selective feeding zooplankton species, such as copepods *Oithona similis* (Nishibe *et al.*, 2010) and *Euterpina acutifrons* (Sautour and Castel, 1993) or the dinoflagellate *Noctiluca scintillans*, which can use even detritus as a greater or smaller fraction of their diet (Fonda Umani *et al.*, 2004).

In Annaba Bay, *N. scintillans* peaked during late winter-spring, but almost disappeared in samples during summer-autumn. At the same site, Ounissi *et al.* (1998) reported a high red bloom (nearly 1 million ind. m<sup>-3</sup>) in April 1992 and a smaller bloom in February 1992, but it was weakly represented at the area more influenced by external neritic water intrusion. *N. scintillans*, as a phagotrophic dinoflagellate, has a broad food spectrum, feeding on phytoplankton, detritus, protozoans, and copepod and fish eggs (Nakamura, 1998; Quevedo *et al.*, 1999), which allows it to be flexible in nutrition strategy and produce mass development events, including red tides in many areas of the world ocean (Mikaelyan *et al.*, 2014). Such nutritional environment spreads largely over the inner sector of Annaba Bay, which is under the strong influence of continental inputs; Ounissi *et al.* (1998) reported that the small zooplankton such as tintinnids and copepods nauplii developed high abundances throughout the year, reaching 11,000-50,000 ind. m<sup>-3</sup> in February-April period, despite the high phytoplankton biomass (Chlorophyll *a*: 10.5 mg. m<sup>-3</sup>).

### The copepod community

Based on scarce earlier data, the copepod fauna from the Annaba region consisted of 143 species (Khélifi-Touhami *et al.*, 2007), to which we have now added ten new species for the area and two new species (*Pseudiatoptomus australiensis* and *Pseudiatoptomus arabicus*) for the Mediterranean Sea. The occurrence of copepodid V stages of *P. australiensis* suggests that the species survives and reproduces in Annaba Bay but does not develop an abundant population, contrary to results reported for *Pseudodiaptomus marinus* recently introduced in the North Sea (Brylinski *et al.*, 2012) and the Mediterranean Sea (Italian waters; Sabia *et al.*, 2015). Among the ten new species, *Farranula curta* was presumably previously confused with *Farranula rostrata*, *Centropages ponticus* was presumably confused with *Centropages kroyeri*. The discovery of several rare species (*Spinocalanus magnus*, *Scolecithrix bradyi*, *S. danae*, *Pleuromamma piseki*, *Monstrilla longicornis*, *Diaixis hibernica*, and *Calocalanus plumatus*), which are considered to have a more oceanic and deep water distribution (Razouls *et al.*, 2005-2015) may be mainly due to the increased sampling effort, during more than two successive annual cycles. The presence of tropical and coastal demersal species, such as *P. australiensis* and *P. arabicus* (Walter, 1987; 1998), in the inner coastal waters of Annaba Bay may be caused by discharge of ballast water from international shipping. This way of transport is a spreading factor of globally invading coastal copepods (Brylinski *et al.*, 2012; De Olazabal & Tirelli, 2011; Rajakaruna *et al.*, 2012; Sabia *et al.*, 2014).

*Oithona* spp. constituted 40-70% of the copepod community abundance during winter and spring 2009. *Oithona* as a eurythermal, euryhaline, omnivorous and thus is adapted to a wide range of habitats (Fransz *et al.*, 1991) is probably the most abundant copepod in the world (Gallienne & Robins, 2001). Compared to its abundance in 1992 (340-1430 ind. m<sup>-3</sup> in the warm period; Ounissi *et al.*, 1998), *Oithona nana* has decreased and seems to be replaced by *Oithona similis*, which spreads throughout the entire bay (Table 4). In the Black Sea, the native species *O. nana* has disappeared completely since the 1970s and has been replaced by the non-indigenous *Oithona davisae*, which occupied the same niche (Gubanova *et al.*, 2014). In the same context, Gubanova *et al.* (2014) reported that *Acartia margalefi* and *Paracartia latisetosa* have disappeared, and *Acartia tonsa* became established in the Black Sea during the 2000s. Comparable restructuration occurred in the Annaba Bay copepod community, where *Acartia clausi* and *Acartia discaudata* abundances have decreased sharply since 1992 (*A. discaudata* was particularly numerous during spring 1992, reaching 700 ind. m<sup>-3</sup>), and the species *Acartia negligens* became more abundant (Table 4). The other change in copepod community composition is that the large dominance of

**Table 4.** Comparison of the main copepod species composition (relative frequency in%) from Annaba Bay of several samplings during the two last decades (1992-2011).

	1992 <sup>a</sup>	2002 <sup>b</sup>	2003 <sup>b</sup>	2006 <sup>c</sup>	2006 <sup>c</sup>		2009 <sup>d</sup>		2010 <sup>d</sup>		2011 <sup>d</sup>
	F-Mr-A	Jn-J-Au	F-Mr	Mr-A	Mr	Jn	F-Mr-A	Jn-J-Au	F-A	Jn-J-Au	F-Mr
<i>Paracalanus indicus</i>	1.0	0.0	2.0	9.0	16.4	46.5	3.8	33.3	4.1	37.4	20.4
<i>Oithona similis</i>	6.4	0.0	7.0	17.0	9.4	1.3	62.2	4.6	18.2	0.8	15.9
<i>Oithona nana</i>	3.5	52.1	0.0	9.0	+	0.2	1.1	4.9	3.7	1.3	0.5
<i>Acartia clausi</i>	5.3	0.5	0.0	0.0	0.2	2.8	1.0	1.3	0.0	0.6	0.0
<i>Acartia discaudata</i>	17.3	0.6	0.0	2.0	+	0.1	0.6	0.2	0.0	0.0	0.4
<i>Acartia negligens</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.6	2.0	5.0
<i>Euterpinia acutifrons</i>	43.7	25	3.0	3.0	0.6	0.6	1.4	4.4	1.8	5.2	11.2
<i>Clausocalanus furcatus</i>	1.9	0.9	12.0	3.0	45.8	13.1	2.1	2.5	12.0	5.3	4.4
Sum of the frequency (%)	79	80	24.0	43.0	72.5	64.8	72.6	51.7	40.3	52.6	58.0
Total copepods (ind. m <sup>-3</sup> )	448	2883	210	299	644	434	311	864	207	363	542

a: Ounissi et al. (1998); b: Khélifi-Touhami et al. (2007); c: Ounissi, unpublished data; d: present study.

+: presence; F: February, Mr: March; A: April; M: May; Jn: June; J: July; Au: August.

*Paracalanus indicus* during the warm period and its proportion increased in Annaba Bay (Table 4) since its first record in the area and the Mediterranean Sea (Ounissi et al., 1998). This coastal and neritic species has been particularly scarcely studied both in the Mediterranean Sea and worldwide, and has often been confused with congeners *Paracalanus parvus* and *Paracalanus quasimodo* (Khélifi-Touhami et al., 2007). More recently, genetic diversity analyses of *P. parvus* complex from all oceans were performed by Cornils & Held (2014). The authors stated that only *P. indicus* is truly widespread on an oceanic scale and revealed that *P. parvus* is restricted probably to the Northeast Atlantic. The copepod community of Annaba Bay also differs from other similar Mediterranean bays and gulfs by the presence of *Centropages ponticus*, which develop intense populations during the warm period, particularly in the inner eastern sector. In Marmara Sea, this warm water species occurred, however, throughout the year, but its abundance increased during late winter-spring (Isinbilir, 2009).

Concerning the spatiotemporal distribution of the copepod community, the correspondence analysis determined the summer coastal group (*P. indicus*, *C. ponticus*, *E. acutifrons*, *O. nana* and *Acartia*) and the autumn-winter group (composed mainly of carnivorous species: *Oncaeа venusta*, *Farranula* spp., *Corycaeus* spp. and the omnivorous or carnivorous *O. similis* and *O. plumifera*, and *Canadacia varicans*), which have different spatial preferences. The summer coastal group is more abundant and less diversified and preferably inhabits the inner coastal regions, while the autumn-winter group, with a relatively low abundance and high diversity and richness, is rather associated with the neritic waters. Copepod species of autumn-winter group have some affinity to the more saline and cold waters of this area, as previously determined by the correspondence analysis. Raybaud et al. (2008) revealed that the structure of the copepod community (offshore Nice,

France) can change largely with a slight decrease in water salinity and found a large correlation between water salinity and the community structure. In addition, during late autumn-winter, water mixing induces important interactions between neritic, oceanic and deep plankton (Siokou-Frangou et al., 2010), which can change the distribution of copepod community. In such hydrodynamic conditions, several species (belonging to autumn-winter group) that are common to oceanic and deep waters (e.g., Scotto di Carlo et al., 1984; Raybaud et al., 2008) enter the bay. The copepod community richness and diversity increase to the highest values with the contribution of these immigrants.

## Conclusions

- In this study, the zooplankton of Annaba Bay seems to be spatially very heterogeneous and is under three contrasting hydrological influences:
  - (i) The Seybouse estuary plume is highly productive and weakly diversified and allows the dominance of some opportunistic species, which tolerate the fluctuation and the weak resilience of this innermost coastal sector.
  - (ii) The Mafragh estuary inputs produce near-pristine waters. In addition, in contrast to the confining western sector, the Mafragh estuary adjacent coast is heavily exposed to wind stress and storm events and, to a lesser degree, external water intrusion. The zooplankton under these influences is both moderately productive and abundant but more diversified than the western sector. Thus, this area allows for the inhabitation of neritic species and opportunistic species.
  - (iii) The MAW residual current entering in the north central bay plays a major role in the diversity, abundance and composition of the zooplankton from this area. The zooplankton from this more stable and well-renewed area is less abundant and less productive but highly diversified. The number of copepod species of this area is three-

fold and two-fold higher than that of the areas close to the Seybouse and Mafragh estuarine effects, respectively, and in contrast, its zooplankton abundance is two-fold lower. The central bay is then mainly inhabited by the copepod neritic species *Oithona similis*, *O. plumifera*, *Oncaea venusta*, *Calocalanus* spp., and *Corycaeus* spp. In addition, during late autumn-winter, water mixing induces important interactions between neritic, oceanic and deep plankton, which can bring several species that are common to oceanic and deep waters into the bay.

- Compared to the zooplankton biomass from other parts of the Mediterranean, Annaba Bay can be considered among the moderate to the richest bays, and the biomass enhances during the wet year.
- *N. scintillans* was a major zooplankton component even at the open sector and, with its flexible nutrition strategy, can produce mass development events during February-April, being common in neritic and coastal regions.
- The particularity of the zooplankton from Annaba Bay is in the dominance of *P. indicus* throughout the entire bay and the decrease in *Acartia discaudata* and *A. clausi*, which seem to be replaced by *A. negligeans*. In addition, *O. nana* abundance markedly decreased with the large development of *O. similis*.
- The presence of two new alien species (*P. australiensis* and *P. arabicus*) for the Mediterranean Sea was also determined. Moreover, the occurrence of copepodid V stages of *P. australiensis* suggests that this species survives and truly reproduces in Annaba Bay but without developing an abundant population.

## Acknowledgements

This study was funded by the Algerian Minister of Higher Education and Scientific Research under the CNEPRU research project (D00L03UN230120120003). We wish to thank the editor and the anonymous reviewers, whose comments and suggestions have clearly improved our manuscript.

## References

- Benović, A., Fonda Umani, S., Malej, A., Specchi, M., 1984. Net-zooplankton biomass of the Adriatic Sea. *Marine Biology*, 79, 209-218.
- Berline, L., Siokou-Frangou, I., Marasović, I., Vidjak, O., de Puelles, M.L.F. *et al.*, 2012. Intercomparison of six Mediterranean zooplankton time series. *Progress in Oceanography*, 97-100, 76-91.
- Bernard, M.F., 1955. Etude préliminaire quantitative de la répartition saisonnière du zooplankton de la baie d'Alger. I. Année 1950-1951. *Bulletin de l'Institut océanographique, Monaco*, 52 (1065), 1-28.
- Brylinski, J.M., Antajan, E., Raud, T., Vincent, D., 2012. First record of the Asian copepod *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913 (Copepoda: Calanoida: Pseudodiaptomidae) in the southern bight of the North Sea along the coast of France. *Aquatic Invasions*, 7 (4), 577-584.
- Champalbert, G., 1996. Characteristics of zooplankton standing stock and communities in the Western Mediterranean Sea: relation to hydrology. *Scientia Marina*, 60 (2), 97-113.
- Cornils, A., Held, C., 2014. Evidence of cryptic and pseudocryptic speciation in the *Paracalanus parvus* species complex (Crustacea, Copepoda, Calanoida). *Frontiers in Zoology*, 11, 19.
- Daly Yahia, M.N., Souissi, M., Daly Yahia-Kéfi, O., 2004. Spatial and temporal structure of planktonic copepods in the Bay of Tunis (Southwestern Mediterranean Sea). *Zoological Studies*, 43 (2), 366-375.
- De Olazabal, A., Tirelli, V., 2011. First record of the egg-carrying calanoid copepod *Pseudodiaptomus marinus* in the Adriatic Sea. *Marine Biodiversity Records*, 4, 1-4.
- Dervin, C., 1988. *Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle des correspondances?* FAO, ITCF-INAPG, Paris.
- Durrieu de Madron *et al.*, 2011. Marine ecosystems' responses to climatic and anthropogenic forcing in the Mediterranean. *Progress in Oceanography*, 91, 97-166.
- De Puelles M.L.F., Pinot, J.-M., Valencia, J., 2003. Seasonal and interannual variability of zooplankton community in waters off Mallorca Island (Balearic Sea, Western Mediterranean): 1994-1999. *Oceanologica Acta*, 26, 673-686.
- Fonda Umani, S., Beran, A., Parlato, S., Virgilio, D., Zollet, T. *et al.*, 2004. *Noctiluca scintillans* Macartney in the Northern Adriatic Sea: long-term dynamics, relationships with temperature and eutrophication, and role in the food web. *Journal of Plankton Research*, 26(5), 545-561.
- Fransz, H.G., Colebrook, J.M., Gamble, J.C., Krause, M., 1991. The zooplankton of the North Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 28, 1-52.
- Frehi, H., Couté, A., Mascarell, G., Perrette-Gallet, C., Ayada, M. *et al.*, 2007. Dinoflagellés toxiques et/ou responsables de blooms dans la baie d'Annaba (Algérie). *Comptes Rendus Biologie*, 330, 615-628.
- Gallienne, C.P., Robins, D.B., 2001. Is *Oithona* the most important copepod in the world's oceans? *Journal of Plankton Research*, 23, 1421-1432.
- Gaudy, R., Youssara, F., Diaz, F., Raimbault, P., 2003. Biomass, metabolism and nutrition of zooplankton in the Gulf of Lions (NW Mediterranean). *Oceanologica Acta*, 26, 357-372.
- Gubanova, A., Altukhov, D., Stefanova, K., Arashkevich, E., Kamburska, L. *et al.*, 2014. Species composition of Black Sea marine planktonic copepods. *Journal of Marine Systems*, 135, 44-52.
- Hafferssas, A., Seridji, R., 2010. Relationships between the hydrodynamics and changes in copepod structure on the Algerian coast. *Zoological Studies*, 49 (3), 353-366.
- Harris, R.P., Wiebe, P., Lenz, J., Skjoldal, H.R., Huntley, M. (Eds), 2000. *ICES zooplankton methodology manual*. Academic Press, San Diego.
- Isinibilir, M., Kideys, A.E., Ahmet, N., Tarkan, A.N., Yilmaz, I.N., 2008. Annual cycle of zooplankton abundance and species composition in Izmit Bay (the northeastern Marmara Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78, 739-747.
- Isinibilir, M., 2009. Annual crustacean zooplankton succession (Copepoda and Cladocera) in the upper layer of Ahirkapi coastal waters (Northeastern Sea of Marmara). *Crustaceana*, 82(6), 669-678.

- Khélifi-Touhami, M., Ounissi, M., Saker, I., Haridi, A., Djorfi, S. *et al.*, 2006. The hydrology of the Mafragh estuary (Algeria): transport of inorganic nitrogen and phosphorus to the adjacent coast. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 4 (2), 340-346.
- Khélifi-Touhami, M., Semroud, R., Hamdi, H., Ounissi, M., Haridi, A. *et al.*, 2007. The planktonic copepod communities from the southern Mediterranean Sea (Algeria, Tunisia) with a re-description of *Paracalanus indicus* Wolfenden 1905 (Copepoda: Calanoida). *Cahiers de Biologie Marine*, 48, 327-337.
- Levin, L.A., Liu, K.K., Emeis, K.C., Breitburg, D.L., Cloern, J. *et al.*, 2015. Comparative biogeochemistry-ecosystem-human interactions on dynamic continental margins. *Journal of Marine Systems*, 141, 3-17.
- Lorenzen, C.J., 1967. Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 12, 343.
- Macias, D., Garcia-Gorriz, E., Piroddi, C., Stips, A., 2014. Biogeochemical control of marine productivity in the Mediterranean Sea during the last 50 years. *Global Biogeochemical Cycles*, 28 (8), 897-907.
- Mikaelyan, A.S., Malej, A., Shiganova, T.A., Turk, V., Sivkovich, A.E. *et al.*, 2014. Populations of the red tide forming dinoflagellate *Noctiluca scintillans* (Macartney): A comparison between the Black Sea and the northern Adriatic Sea. *Harmful Algae*, 33, 29-40.
- Nakamura, Y., 1998. Biomass, feeding and production of *Noctiluca scintillans* in the Seto Inland Sea, Japan. *Journal of Plankton Research*, 20, 2213-2222.
- Newton, A., Carruthers, T.J.B., Icely, J., 2012. The coastal syndromes and hotspots on the coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 96, 39-47.
- Nishibe, Y., Kobari, T., Ota, T., 2010. Feeding by the cyclopoid copepod *Oithona similis* on the microplankton assemblage in the Oyashio region during spring. *Plankton and Benthos Research*, 5, 74-78.
- Ounissi, M., Frehi, H., Khelifi-Touhami, M., 1998. Composition et abondance du zooplancton en situation d'eutrophisation dans un secteur côtier du golfe d'Annaba (Algérie). *Annales de l'Institut Océanographique*, 74, 13-28.
- Ounissi, M., Frehi, H., 1999. Variability of microphytoplankton and Tintinnida (ciliated protozoa) in an eutrophic sector of the Annaba Gulf (SW Mediterranean). *Cahiers de Biologie Marine*, 40 (2), 141-153.
- Ounissi, M., Khammar, H., Ziouch, O., Saker, I., Haridi, A. *et al.*, 2008. Apports d'azote et de phosphate au littoral d'Annaba par les effluents urbains, industriels et par la rivière Seybouse (Algérie). p. 181-186. In: *International Conference on Rapid Urbanization and Land Use Conflicts in Coastal Cities*, vol. 13. INOC, Izmir, Turkey.
- Ounissi, M., Ziouch, O.R., Aounallah, O., 2014. Variability of the dissolved nutrient (N, P, Si) concentrations in the Bay of Annaba in relation to the inputs of the Seybouse and Mafragh estuaries. *Marine Pollution Bulletin*, 80, 234-244.
- Parsons, T.R., Maita, Y., Lalli, C.M., 1989. *A Manual of chemical and biological methods for sea water analysis*. Pergamon Press, Oxford.
- Quevedo, M., Gonzalez-Quiros, R., Anadon, R., 1999. Evidence of heavy predation by *Noctiluca scintillans* on *Acartia clausi* (Copepoda) eggs off the central Cantabrian coast (NW Spain). *Oceanologica Acta*, 22 (1), 127-131.
- Rajakaruna, H., Strasser, C., Lewis, M., 2012. Identifying non-invasive habitats for marine copepods using temperature-dependent  $R_0$ . *Biological Invasions*, 14, 633-647.
- Raybaud, V., Nival, P., Mousseau, L., Gubanova, A., Altukhov, D. *et al.*, 2008. Short term changes in zooplankton community during the summer-autumn transition in the open NW Mediterranean Sea: species composition, abundance and diversity. *Biogeosciences*, 5, 1765-1782.
- Razouls, C., de Bovée, F., Kouwenberg, J., Desreumaux, N., 2005-2015. Diversity and Geographic Distribution of Marine Planktonic Copepods. Available at <http://copepodes.obs-banyuls.fr/en> (Accessed June 15, 2015).
- Riandey, V., Champalbert, G., Carlotti, F., Taupier-Letage, I., Thibault-Botha, D., 2005. Zooplankton distribution related to the hydrodynamic features in the Algerian Basin (western Mediterranean Sea) in summer 1997. *Deep-Sea Research I*, 52, 2029-2048.
- Rose, M., 1925. Le plancton de la baie d'Alger. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord*, 16, 8-304.
- Sabia, L., Uttieri, M., Schmitt, F.G., Zagami, G., Zambianchi, E. *et al.*, 2014. *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913, a new invasive copepod in Lake Faro (Sicily): observations on the swimming behaviour and the sex-dependent responses to food. *Zoological Studies*, 53, 49.
- Sabia, L., Zagami, G., Mazzocchi, M. G., Zambianchi, E., Uttieri, M., 2015. Spreading factors of a globally invading coastal copepod. *Mediterranean Marine Science*, 16 (2), 460-471.
- Sautour, B., Castel, J., 1993. Feeding behaviour of the coastal copepod *Euterpina acutifrons* on small particles. *Cahiers de Biologie Marine*, 34, 239-251.
- Scotto di Carlo, B., Ianora, A., Fresi, E., Hure, J., 1984. Vertical zonation patterns of Mediterranean copepods from the surface to 3000 m at a fixed station in the Tyrrhenian Sea. *Journal of Plankton Research*, 6, 1031-1056.
- Shannon, C.E., Weaver, W., 1949. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana. 125 p
- Siokou-Frangou, I., Christaki, U., Mazzocchi, M. G., Montresor, M., Ribera d'Alcalá, M. *et al.*, 2010. Plankton in the open Mediterranean Sea: a review. *Biogeosciences*, 7, 1543-1586.
- Walter, T.C., 1987. Review of the taxonomy and distribution of the demersal copepod genus *Pseudodiaptomus* (Calanoida: Pseudodiaptomidae) from southern Indo-west Pacific waters. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 38 (3), 363-396.
- Walter, T.C., 1998. A redescription of *Pseudodiaptomus salinus* (Giesbrecht, 1896) and a new species from the Arabian Sea (Copepoda, Calanoida, Pseudodiaptomidae). *Journal of Marine Systems*, 15, 451-456.