

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل  
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER  
EN SCIENCES DE LA MER

Sujet:

**Impact des conditions du milieu sur la distribution  
des populations zooplanctoniques (bassin Algérien et  
mer Méditerranée)**

Présenté par :

**DJERIDI Housseem**

Soutenu le 13 /10/2012 devant le jury suivant:

Melle ILLOUL H.

Melle AIT AMEUR N.

Mr DRICHE M.

Mme CHAO N.

ENSSMAL

ENSSMAL

ENSSMAL

ENSSMAL

Présidente

Promotrice

Examinateur

Examinatrice

Promotion : 2011/2012

# ***SOMMAIRE***

<b>Figure I. 1.</b> Distribution verticale d'un copépode et d'un euphausiacé entre la surface et 700 m, le jour et la nuit, dans la zone frontal Almería-oran (d'après Andersan et al., 2004). .....	<b>6</b>
<b>Figure I. 2.</b> Ecart de la température de l'eau de surface de la mer Méditerranée entre 1982 et 2003 (d'après European Environment Agency, 2007). .....	<b>11</b>
<b>Figure II. 1.</b> Circulation de l'eau de surface d'origine Atlantique (AW) dans le Bassin Occidental de la Méditerranée (d'après Millot & Taupier-Letage 2005).....	<b>15</b>
<b>Figure II. 2.</b> Schéma d'une instabilité du courant Algérien composée en surface d'un méandre créant un tourbillon anticyclonique au niveau de la couche superficielle et d'un tourbillon cyclonique de cisaillement, et montrant en profondeur le développement du tourbillon anticyclonique (Obaton et al. 2000) .....	<b>16</b>
<b>Figure II. 3.</b> Images satellitaires du 28 Février 1998. (a) L'image (NOAA/AVHRR) de la température de surface; les températures augmentent du bleu au rouge. (b) Image (Modular Optoelectronic Scanner, MOS) de la distribution de la concentration en chlorophylle; la concentration augmente du bleu au rouge. L'image MOS est fournie par le DLR/Institute of Space Sensor Technology. (Taupier-Letage et al. 2003).....	<b>19</b>
<b>Figure II. 4.</b> Section d'un tourbillon Algérien anticyclonique (été 1997): (a) température (°C), (b) salinité, (c) concentration en chlorophylle (mg.m <sup>-3</sup> ) et densité (lignes épaisses).....	<b>20</b>
<b>Figure IV. 1.</b> Stations de prélèvement, (les codes des stations, et les noms géographiques principaux utilisés dans le texte. ....	<b>35</b>
<b>Figure IV. 2.</b> Série chronologique de BAL de l'abondance moyenne annuelle pour les groupes disponibles, la somme cumulative des anomalies annuelles d'abondance, la somme cumulative d'anomalies de la température, la température d'hiver.....	<b>36</b>
<b>Figure IV. 3.</b> Série chronologique de très basse fréquence de l'abondance moyenne annuelle pour les groupes disponibles, la somme cumulative des anomalies annuelles d'abondance, la somme cumulative d'anomalies de la température, la température d'hiver; .....	<b>37</b>
<b>Figure IV. 4.</b> Série chronologique de NPL de l'abondance moyenne annuelle pour les groupes disponibles, la somme cumulative des anomalies annuelles d'abondance, la somme cumulative d'anomalies de la température, la température d'hiver .....	<b>38</b>
<b>Figure IV. 5.</b> TRI série chronologique de l'abondance moyenne annuelle pour les groupes disponibles, la somme cumulative des anomalies annuelles d'abondance, la somme cumulative d'anomalies de la température, la température d'hiver.....	<b>40</b>
<b>Figure IV. 6.</b> Série chronologique de SPL de l'abondance moyenne annuelle pour les groupes disponibles, la somme cumulative des anomalies annuelles d'abondance, la somme cumulative d'anomalies de la température, la température d'hiver.....	<b>41</b>
<b>Figure IV. 7.</b> série chronologique d'ATH de l'abondance moyenne annuelle pour les groupes disponibles, la somme cumulative des anomalies annuelles d'abondance, la somme cumulative d'anomalies de la température, la température d'hiver.....	<b>42</b>

## Sommaire

---

### Liste de figures

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
---------------------------	----------

### Chapitre I

<b>I. Le zooplancton et l'écosystème aquatique .....</b>	<b>3</b>
<b>I.1. Définition et généralités .....</b>	<b>4</b>
<b>I.2. Échelle de distribution de zooplancton .....</b>	<b>4</b>
<b>I.3. Impact des facteurs environnementaux sur le plancton.....</b>	<b>5</b>
<b>I.3.1. Echapper aux prédateurs en migrant (migration verticales) .....</b>	<b>5</b>
<b>I.3.2. Migration verticale journalière du plancton et son facteur régulateur, la lumière .....</b>	<b>6</b>
<b>I.4. Autre facteurs régulateurs du plancton .....</b>	<b>7</b>
<b>I.4.1. Hydrodynamisme .....</b>	<b>8</b>
<b>I.4.2. Pluies.....</b>	<b>8</b>
<b>I.4.3. Nutriments.....</b>	<b>9</b>
<b>I.5. Impacts des facteurs anthropiques sur la dynamique planctonique.....</b>	<b>10</b>
<b>I.5.1. Eutrophisation.....</b>	<b>10</b>
<b>I.5.2. Changement climatique .....</b>	<b>10</b>
<b>I.5.3. Température.....</b>	<b>11</b>
<b>I.5.4. Nourriture .....</b>	<b>12</b>
<b>I.5.5. Facteurs chimiques.....</b>	<b>13</b>
<b>I.5.6. Facteurs physique.....</b>	<b>13</b>

### Chapitre II

<b>II. Schéma général de circulation de surface et processus mésoéchelle dans le Bassin Occidental .....</b>	<b>14</b>
<b>II.1. Le milieu trophique dans le Bassin Occidental.....</b>	<b>16</b>
<b>II.1.1. La production à l'échelle du Bassin Occidental et le cycle saisonnier .....</b>	<b>16</b>
<b>II.1.2. Effet des processus de moyenne échelle sur la production marine.....</b>	<b>17</b>
<b>II.2. Circulation superficielle dans le bassin algérien : .....</b>	<b>20</b>

### Chapitre III

<b>II. L'hydrologie de la méditerranée et les peuplements zooplanctonique dans le bassin algérien.....</b>	<b>22</b>
<b>III.1. Classement bathymetrique des formes zooplanctoniques en méditerranée .....</b>	<b>23</b>
<b>III.1.1. Groupement superficiel.....</b>	<b>23</b>
<b>III.1.2. Groupement mésoplanctonique .....</b>	<b>24</b>
<b>III.1.3. Groupement bathyplanclonique .....</b>	<b>25</b>

## Sommaire

---

<b>III.2. Répartition de la biomasse des peuplements zooplanctoniques le long des cotes algériennes.....</b>	<b>26</b>
<b>III.2.1. Affinités biogéographiques et répartition verticale.....</b>	<b>26</b>
<b>III.2.1.1. Espèce indicatrices d'eau atlantique :.....</b>	<b>26</b>
<b>III.2.1.2. Affinité côtière et néritique : .....</b>	<b>28</b>
<b>III.3. L'impact des conditions hydrologiques sur le zooplancton.....</b>	<b>29</b>
<b>III.3.1. Le rapport entre les paramètres .....</b>	<b>30</b>
<b>III.3.2. Assemblages des Copépodes et leurs rapports avec les configurations hydrologiques et hydrodynamiques .....</b>	<b>32</b>

## Chapitre IV

<b>IV. L'étude chronologique .....</b>	<b>35</b>
<b>IV.1. Arrangement environnemental de série chronologique de zooplancton .....</b>	<b>35</b>
<b>IV.1.2. La Villefranche .....</b>	<b>37</b>
<b>IV.1.3. Naples .....</b>	<b>38</b>
<b>IV.1.4. Golf de Triest .....</b>	<b>39</b>
<b>IV.1.5. Stončica .....</b>	<b>40</b>
<b>IV.1.6. Athènes.....</b>	<b>42</b>
<b>IV.2. Discussion .....</b>	<b>43</b>
<b>IV.2.1. Les Baléares .....</b>	<b>43</b>
<b>IV.2.2. Villefranche sur mer.....</b>	<b>43</b>
<b>IV.2.3. Naples.....</b>	<b>44</b>
<b>IV.2.4. Trieste .....</b>	<b>45</b>
<b>IV.2.5. Stončica .....</b>	<b>45</b>
<b>IV.2.6. Athènes.....</b>	<b>46</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>47</b>

## Références bibliographiques

# ***INTRODUCTION***

### Introduction

L'atmosphérique et l'océan sont étroitement liés, l'océan jouant un rôle important de régulateur des profils météorologiques et climatiques régionaux et globaux. On reconnaît que les teneurs croissantes en gaz à effet de serre anthropique contribuent à l'augmentation de la moyenne des températures atmosphériques de la planète depuis le milieu du XXe siècle. L'augmentation de teneurs atmosphériques en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) accroît également l'acidité de l'océan. Le changement climatique et l'acidification des océans présentent des menaces sérieuses pour les écosystèmes marins et affecteront en fin de compte le bien être de l'homme. Il s'agit par exemple de l'impact de la montée du niveau de la mer, et de modification de la biodiversité et des stocks halieutiques. De quels problèmes s'agit-il ?

Les changements climatiques sont largement reconnus mais leurs impacts sont encore incertains, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) de l'ONU averti que si les émissions de gaz à effet de serre se poursuivent à un niveau égal ou supérieur au niveau actuel, le réchauffement sera plus important. De nombreuses modifications du système climatique global se produiront au cours du XXIe siècle et, selon les prévisions, devraient être plus importantes que celles observées pendant le XXe siècle. Ces changements pourraient dépasser la variabilité multidécennale naturelle et entraîner des modifications permanentes des écosystèmes.

Toute une série d'impacts sur le milieu marin sont attribués au changement climatique, soit directement (modification de la température de la mer) soit indirectement (modification de la saisonnalité, de la distribution et de l'abondance des espèces). Il est difficile de prévoir l'impact des futures tendances climatiques sur les écosystèmes marins, du fait de plusieurs incertitudes dont celles des scénarios sur les futures émissions de gaz à effet de serre. Il est également nécessaire de mieux comprendre la réaction des écosystèmes marins aux changements.

De nombreux travaux ont suggéré d'utiliser le zooplancton comme indicateur du changement global car son cycle vital est par nature étroitement couplé aux processus physiques. Un premier objectif de la communauté scientifique est d'étudier l'influence des forçages environnementaux (climatiques, anthropiques) sur l'évolution de la diversité zooplanctonique. Le présent travail a pour objectif de faire une recherche bibliographique concernant l'impact des changements climatiques sur la distribution des populations zooplanctoniques dans le bassin algérien et l'ensemble la mer méditerranée.

En mer Méditerranée, plusieurs études ont été réalisées sur la dynamique, la distribution et les variations spatio-temporelles du zooplancton (Youssara et Gaudy, 2001; Fernández de Puellas et al., 2003; Riandey et al., 2005; Fernández de Puellas et al., 2007; Saiz et al., 2007; Alcaraz et al., 2007; Molinero et al., 2008). Des études temporelles limitées ont été menées sur le zooplancton dans certaines régions de la mer Méditerranée. Les études du compartiment zooplanctonique dans les côtes algériennes ont commencées par des travaux descriptifs et qualitatifs et certains quantitatifs occasionnels et ponctuels (Illoul.H, Kerzabi.F., 1984, Kerzabi., 2004, Hafferssas., 1996,...).

Des études récentes ont étudié l'impact de l'hydrologie sur la distribution du zooplancton (Seridji et Hafferssas., 2010). Mais il n'y a aucune étude qui aborde l'impact des conditions de milieu (température, salinité, pH, chlorophylle...) sur la distribution spatial et temporelle du zooplancton car pour cela il faut l'utilisation de la même stratégie d'échantillonnage et la même méthode d'analyse et un suivi à long terme de la distribution du zooplancton. En Méditerranée, le suivi à long terme et sur plusieurs années de la distribution des copépodes à notre connaissance est très peu étudié, digne d'intérêt et est limité à la rive Nord (Kouwenberg et Razouls, 1990; Mazzochi et Ribera d'Alcalà, 1995) et à la mer Adriatique (Regener, 1985; Baranovic et al., 1993) et à la mer Egée (Epaminondas, 1998). Il faut signaler qu'au niveau de la région Est de la Méditerranée, les études relatives à la systématique et à l'écologie numérique des peuplements zooplanctoniques, se font de plus en plus rares surtout quand il s'agit de prendre en considération l'ensemble du compartiment zooplanctonique.

Ce travail est organisé comme suit :

- Le premier chapitre, généralité, présente les différents facteurs influençant la distribution du zooplancton.
- Le deuxième chapitre expose les caractéristiques hydrologiques de la Méditerranée et du bassin algérien.
- Le troisième chapitre aborde la distribution du zooplancton dans le bassin algérien en fonction de l'hydrologie de site.
- Le quatrième chapitre présente une série chronologique de la distribution du zooplancton de 1957 à 2006 dans six stations de la Méditerranée.
- Et enfin, une conclusion générale et des perspectives sont proposées.

# ***CHAPITRE I***

## I. Le zooplancton et l'écosystème aquatique

Le zooplancton occupe une place clé dans l'écosystème marin car il est à l'interface entre les autotrophes et les grands hétérotrophes. En effet il puise sa nourriture au sein du producteur primaire qu'est le phytoplancton et permet ainsi le flux de matières vers les échelons supérieurs de la chaîne trophique (Banse, 1995 ; Levinsen et Nielsen, 2002). De plus le zooplancton exerce un contrôle de type « top-down », sur les producteurs primaires et participe activement au flux biogéochimiques des éléments par la reminéralisation de la matière organique (Banse, 1995).

D'autre part les communautés zooplanctoniques sont fortement soumises aux processus physiques dans la colonne d'eau et constituent ainsi de véritables indicateurs biologiques des changements climatiques (Fromentin et Planque, 1996 ; Beaugrand et al, 2002 et 2003 ; Luz Fernandez des Puellas et al, 2004). En effet le zooplancton a un très fort taux de renouvellement, et les variations d'abondance et de structure des communautés en réponse aux changements environnementaux sont rapidement perceptibles (Harris et al., 2000). Dans le contexte actuel de prise de conscience du réchauffement climatique, où l'on observe une augmentation de température de la couche superficielle des océans ainsi que des changements dans la répartition des espèces (Beaugrand et al, 2002), il est très important d'étudier les changements de structure au sein des communautés zooplanctoniques sur le long terme.

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 (Harris et al, 2005).

L'échelle spatiale a une forte influence sur l'importance que prennent les processus abiotiques et biotiques par rapport à la distribution du zooplancton. En ce sens, les processus abiotiques expliquent majoritairement l'hétérogénéité lorsque l'on considère une grande échelle spatiale tandis que ce sont les processus biotiques qui prennent le dessus à plus petite échelle spatiale.

La structure spatio-temporelle est fonction des mouvements du zooplancton. Ces mouvements peuvent être passifs ou actifs. Les mouvements passifs du plancton sont causés par la circulation de l'eau et varient avec la stabilité de la colonne d'eau. La combinaison courants et vents de même que les périodes de brassage des eaux sont les principaux responsables de ce premier type de mouvements. Dans la littérature, le terme migration est utilisé pour décrire le déplacement actif et cyclique du zooplancton en réponse aux pressions de l'environnement dans lequel il évolue.

### **I.1. Définition et généralités**

Le zooplancton est du plancton animal, dont leur alimentation est composée de la matière organique issue de végétaux ou d'autres animaux. Le zooplancton est donc constitué par l'ensemble des organismes herbivores et/ou carnivores (Bougis, 1974). Ces organismes sont donc hétérotrophes. Ils peuvent être soit unicellulaires appelés protozooplancton, soit pluricellulaires appelés métazooplancton. Le zooplancton marin est constitué par des organismes animaux errants dans les eaux et dotés d'organes locomoteurs ne leur permettant pas de résister à la force d'entraînement par les courants.

Le zooplancton, maillon essentiel dans la chaîne trophique marine entre la production primaire et les niveaux trophiques supérieurs comme les poissons, occupe une place clé dans l'écosystème marin car il est à l'interface entre les autotrophes et les grands hétérotrophes (Voarino, 2006). Cet emplacement du zooplancton dans la chaîne trophique, favorise ainsi le développement des larves et des juvéniles des crustacés et des poissons aux niveaux des écosystèmes marins (Ribeiro et al, 2006). En effet, il puise sa nourriture à partir des producteurs primaires permettant ainsi de faire transiter le flux de la matière vers des niveaux supérieurs de la chaîne trophique (Banse, 1995; Levinsen et Nielsen, 2002).

Le métazooplancton peut avoir, selon la saison ou l'écosystème, les protozoaires ciliés comme principale source de nourriture, à la place du phytoplancton qui peut s'avérer inadéquat (Sorokin et al., 1996). Plusieurs auteurs ont souligné l'importance de l'impact des copépodes sur les protozoaires ciliés en milieu marin (Stockner et Capuzzo, 1990) et en milieu lacustre (Dobberfuhl et al., 1997). D'autres études ont montré l'effet de la prédation exercé par les copépodes cyclopoïdes sur les protozoaires ciliés (Wiackowski et al., 1994). Cet effet peut, cependant, être modifié par le comportement de la proie, par sa morphologie et aussi par la présence simultanée d'autres proies (Whickham, 1995). En mer Méditerranée, plusieurs études ont été réalisées sur la dynamique, la distribution et les variations spatiotemporelles du zooplancton (Youssara et Gaudy, 2001). Beaucoup d'études se sont focalisées sur la dynamique et la composition du zooplancton.

### **I.2. Échelle de distribution de zooplancton**

La distribution spatiale du zooplancton est gérée par un ensemble de facteurs abiotiques et biotiques. La dominance de l'effet de l'un de ces deux groupes de facteurs par rapport à l'autre sur la distribution du zooplancton dépend principalement de l'échelle spatiale considérée. Le zooplancton est un cas particulier puisqu'il dispose en quelque sorte de deux niveaux d'échelle

pour étudier un même processus dû à ses deux différents modes de locomotion. En effet le zooplancton peut se déplacer de façon active par natation dans la colonne d'eau en réponse aux pressions du milieu (migration journalière verticale et horizontale) sur une relativement courte distance alors qu'il peut tout simplement être transporté de façon passive avec les mouvements de la masse d'eau sur longue et courte distance. Ainsi la règle générale est qu'à petite échelle spatiale, les processus biotiques tels que la présence de prédateurs, sont responsables de l'agrégation du zooplancton (Ringelberg, 1993a; Burks *et al.*, 2002). À plus grande échelle, ce sont les facteurs abiotiques tels que le vent et les courants qui prennent le dessus pour façonner la répartition spatiale du zooplancton (Masson *et al.*, 2004).

### **I.3. Impact des facteurs environnementaux sur le plancton**

Le zooplancton est sensible aux variations d'un grand nombre de facteurs environnementaux y compris la température de l'eau, la lumière, la chimie (particulièrement le pH, l'oxygène, la salinité, les contaminants toxiques), la disponibilité de nourriture (algues, bactéries) ainsi que la prédation de la part des poissons et des invertébrés. Il est généralement opportun d'avoir le plus de renseignements possibles sur ces variables mais il est clair que cela s'avérera souvent irréalisable. Certaines variables sont relativement simples à mesurer (par ex. la température) mais d'autres sont plus difficiles (par ex. l'intensité de la prédation des poissons ainsi que les contaminants toxiques). Bon nombre de facteurs environnementaux nuisent aux zooplanctons uniquement à des niveaux extrêmes (par ex. les contaminants toxiques, la salinité, l'oxygène).

#### **I.3.1. Echapper aux prédateurs en migrant (migration verticales)**

La migration n'est pas l'apanage du zooplancton ou du micronecton. Certains groupes phytoplanctoniques sont mobiles et modifient rapidement la profondeur où ils vivent, ce qui l'avantage dans les eaux stratifiées estivales.

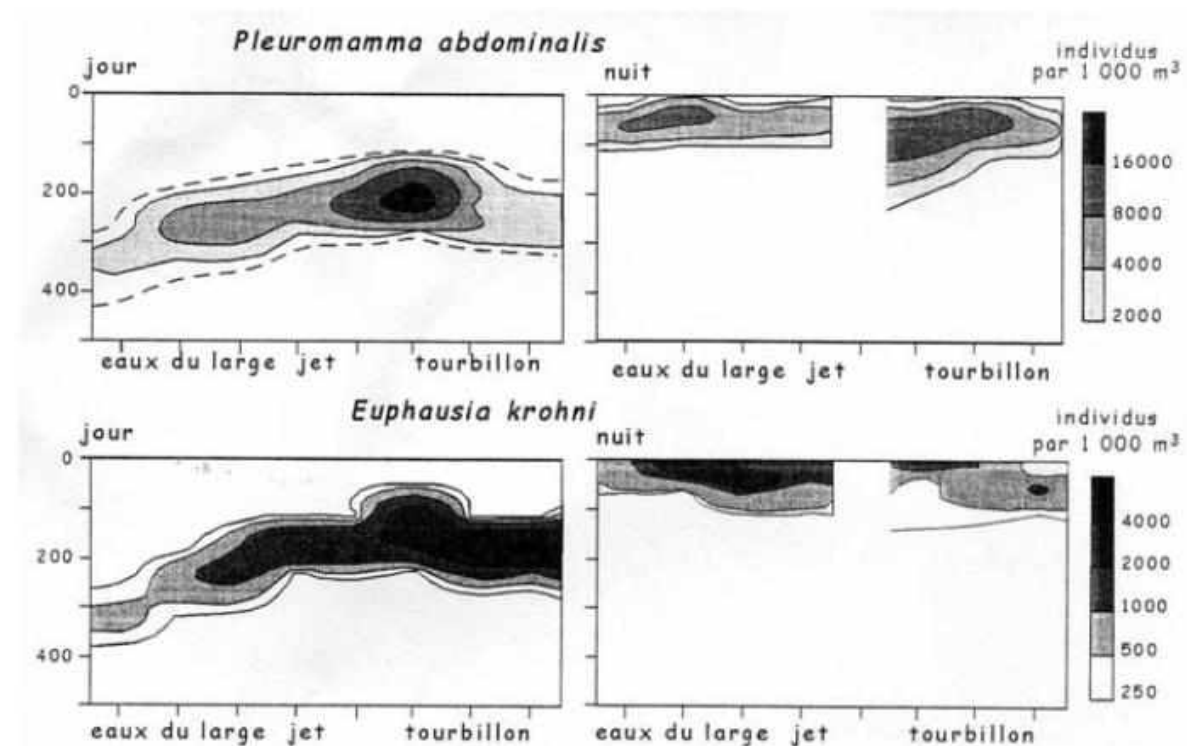
De nombreuses espèces zooplanctoniques descendent dans les profondeurs durant la journée pour échapper à leurs prédateurs et remontent la nuit pour chasser leur proies. Ces migrations verticales journalières, observées aussi bien dans des lacs qu'en mer, atteignent parfois 200 m de « dénivelé » pour des organismes centimétriques. Les espèces effectuant ces migrations nyctémérales (en fonction de l'alternance jour-nuit) appartiennent à de nombreux groupes : Les déplacements se situent entre 10 et 50 m/h, à l'exception des euphausiacés aux capacités natatoires plus marquées pour lesquels la vitesse ascensionnelle est de trois à cinq fois supérieure ; cela leur vaut d'être rangés dans une catégorie différente, le necton. Trois types

de comportement migratoire existent : population migrant en unité compacte, migration asynchrone et migration d'une partie seulement de la population.

Dans la zone frontale entre Almería et Oran sur les dix-huit espèces étudiées, sept seulement effectuent des migrations ontogéniques notables : quatre copépodes, un euphausiacé, un chétognathe et un crustacé péneïdé ;(figure I.1)

Quant au zooplancton profond il se nourrit en utilisant la matière organique qui, élaborée dans les eaux de surface, rejoint le niveau où il vit sous forme dissoute (mouvement d'eau) ou sous forme de particules et de pelotes fécales (sédimentation). Mais il peut également se déplacer vers le niveau de production superficielle.

Si les migrations verticales de zooplancton ont toujours fasciné les océanographes, beaucoup reste à découvrir sur leur déterminisme et sur l'efficacité de ce mécanisme sur le flux verticaux de matière organique dans l'océan. (in Guy. J 2006)



**figure I. 1.** Distribution verticale d'un copépode et d'un euphausiacé entre la surface et 700 m, le jour et la nuit, dans la zone frontale Almería-Oran (d'après Andersan et al., 2004).

### I.3.2. Migration verticale journalière du plancton et son facteur régulateur, la lumière

La migration vertical du plancton consiste en la montée, le soir, vers la surface de la mer, où ils séjourneront pendant la nuit, d'éléments planctoniques venant de profondeur ; mais avant le lever du soleil se produit le phénomène inverse, la descente en profondeur, pouvant atteindre,

pour certaines planctontes, jusqu'à 400 ou 500 m. on peut distinguer ainsi le plancton diurne et le plancton nocturne, ce dernier beaucoup plus riche, caractérisée par la présence à coté de stade larvaires méroplanctonique, bien plus abondants que le jour, cède nombreux représentants vagiles du benthos tels que les Vers Annélides Polychètes errant, les Cumacés, divers autre Crustacés nageants, etc., comme l'ont montré notamment les résultats des pêches de nuit, effectuées par Fage et Legendre, à Banyuls et à Concarneau.

On savait pratiquement depuis longtemps que cette migration verticale journalière du plancton était subordonnée à l'intensité de l'insolation, puisque la descente du plancton, rapide par les matinées claire, était beaucoup plus lent et tardive par les journées nuageuses, sans soleil. Cette constatation empirique a été confirmé d'ailleurs expérimentalement par Rose (1925), d'après lequel la lumière semble être le facteur le plus important, en provoquant et en dirigeant les mouvements propre des planctonte et en réglant la natation.

C'est également la lumière qui règle la composition et la distribution du plancton dans quatre zones, en lesquelles on divise le domaine abyssal océanique. En effet, la phaoplancton de 0 à 100 m est une zone polyphote, zone de la pénétration maximum de lumière dans la mer, dans laquelle prospèrent surtout les organismes de nature végétale, pourvus de chromatophores et réalisant la photosynthèse. La zone du knéphancton, de 100 à 400-500 m est une zone mésophote, faiblement éclairée, et sa limite inférieure semble être également celle de tous les organismes de nature végétale normalement autotrophes. La zone scotoplancton de 400 à 1500 m est oligotrophes. Dans laquelle pénètrent encore les derniers rayons de lumière, susceptible d'influencer une plaque photographique, tandis que la zone nyctoplancton, au-delà de 1500 m, est une zone aphote où règne, théoriquement, la nuit complète.

#### **I.4. Autre facteurs régulateurs du plancton**

Le plancton caractérisant l'ensemble des organismes errant au gré des courants, la présence de celui-ci dépend donc des phénomènes hydrologiques. Pour comprendre les migrations de copépodes par exemple, il faut s'intéresser à la courantologie et principalement aux courants froids. En milieu lotique, c'est la vitesse du courant et l'hydromorphologie du cours d'eau qui conditionnent la répartition du plancton, mais en général, les densités de plancton sont plus faibles qu'en milieu marin. En milieu lentique, la circulation d'eau étant faible voire nulle, la répartition des espèces planctoniques sera plutôt liée à d'autres paramètres.

La climatologie a un rôle important sur le plancton. Les pluies peuvent provoquer différents effets : dessalures en surface (milieu marin), lessivage des sols et de ce fait apports de matières en suspension, influençant la turbidité et de sels minéraux. Généralement, ceci se

traduit par l'apparition de zooplanctons détritivores et décomposeurs comme les rotifères. D'autres parts, une forte pluviométrie liée à la chaleur peut favoriser l'apparition des dinoflagellés. Il existe également des modifications saisonnières : photopériode\*, intensité lumineuse, température, pluviométrie.

#### I.4.1. Hydrodynamisme

L'importance de l'hydrodynamique sur la structure et le fonctionnement de communautés planctoniques se traduit à partir de 3 phénomènes :

- (1) des mouvements hydrodynamiques locaux,
- (2) un hydrodynamisme dû à une topographie particulière
- (3) une activité hydrodynamique qui découle de phénomènes climatiques à échelle globale.

Concernant les mouvements locaux, ils s'illustrent notamment dans l'étude de Jouffre *et al.* (1991) dans laquelle ils mettent en évidence le changement de la structure zooplanctonique en réponse aux échanges de flux d'eau entre l'étang et la mer. Il a été également montré que les canyons sous-marins étaient le siège de mouvements d'eau qui favorisaient la production biologique (Granata *et al.*, 1999) devenant ainsi des zones privilégiées pour de nombreux organismes allant du micronecton (Macquart-Moulin et Patrìti, 1996) aux Cétacés (David, 2000). Pour finir, le mouvement des masses d'eau peut découler de grands phénomènes climatiques. La Méditerranée est, entre autres, influencée par l'Oscillation de l'Atlantique Nord (NAO) qui résulte de la différence de pressions atmosphériques entre les Açores et l'Islande. Selon qu'elle soit positive ou négative, elle apporte un climat respectivement plus sec ou plus humide sur la Méditerranée. En relation avec ce phénomène, a été démontrée la variabilité de la communauté zooplanctonique en termes d'abondance (de Puellas et Molinero, 2007). Par exemple, avec un indice de l'Oscillation Nord Atlantique positif, l'abondance de *Centropages typicus* est plus élevée et présente un pic marqué au printemps. A l'inverse, lorsque l'indice est négatif, le pic printanier est absent et l'abondance annuelle est faible (Molinero *et al.*, 2005).

#### I.4.2. Pluies

Le climat méditerranéen se caractérise par un hiver doux et humide et un été chaud et sec. Concernant notre site d'étude, le régime pluvieux peut se traduire par deux périodes de fortes précipitations en automne et au printemps. Les pluies jouent un rôle capital dans la dynamique planctonique puisqu'elles apportent une quantité non négligeable de nutriments et participent à l'initiation des floraisons phytoplanctoniques automnal et printanier (Zingone *et al.*, 1995 ;

Jamet *et al.*, 2005). Cette croissance phytoplanctonique a pour conséquence une croissance zooplanctonique et une forte production bactérienne (Del Negro *et al.*, 2001).

### I.4.3. Nutriments

Les nutriments essentiels pour le développement planctonique et en particulier pour le compartiment bactérien et phytoplanctonique sont le phosphore, l'azote et le silicium. En Méditerranée, le phosphore est l'élément le plus souvent limitant (Krom *et al.*, 1991). Les évènements climatiques et la courantologie interviennent dans l'apport et la distribution des nutriments dans le milieu. Les communautés phytoplanctoniques et bactériennes sont directement influencées par la quantité de nutriments disponibles dans le milieu. Concernant le phosphore, Thingstad *et al.* (1998) ont montré que le phytoplancton est en compétition avec les bactéries. En effet, le stress nutritif entraîne une excrétion massive de carbone organique dissous par le phytoplancton. Ce surplus de carbone favorise la croissance bactérienne. Les bactéries ayant un rapport surface/volume plus important que les organismes phytoplanctoniques, elles ont une affinité plus importante pour le phosphore et entrent donc directement en compétition avec le phytoplancton pour cette ressource. C'est la pression de prédation venant des niveaux trophiques supérieurs qui va permettre de favoriser l'une ou l'autre des communautés. Sommer *et al.* (2004), ont montré que les Copépodes contribuent indirectement à la diminution de la quantité d'azote biodisponible par leur prédation sur les ciliés favorisant la communauté de nanophytoplancton responsable de l'épuisement de l'azote. Plus les nutriments seront en faibles quantités, plus les petites espèces seront favorisées. En période de stratification estivale, durant laquelle les nutriments sont en quantités très faibles, Marty *et al.* (2002) ont montré que les Flagellés et le picoplancton étaient dominants. Concernant le silicium, les Diatomées dépendent directement de ce nutriment puisqu'elles forment leur frustule à partir de cet élément.

Des concentrations insuffisantes de certains oligo-éléments peuvent également limiter le développement planctonique. C'est notamment le cas du fer, dont les concentrations en Méditerranée occidentale ont montré d'importantes variations saisonnières, atteignant des valeurs en dessous des limites de détection dans les eaux de surface pour les fractions dissoutes et particulaires (Sarhou et Jeandel, 2001).

## I.5. Impacts des facteurs anthropiques sur la dynamique planctonique

### I.5.1. Eutrophisation

Comme il a été montré dans le paragraphe précédent, la disponibilité des nutriments influe sur la structure des communautés planctoniques. La problématique des milieux anthropisés et notamment des milieux côtiers méditerranéens considère, entre autres, le changement des ratios azote : phosphore : silicium. Entre 1960 et 2000, les apports de phosphates et de nitrates ont été multipliés par 3 en Méditerranée ce qui a eu pour conséquence de multiplier par 2,7 la production biologique avec des floraisons phytoplanctoniques de plus en plus fréquentes (Béthoux *et al.*, 2002). Le bilan siliceux montre que les apports en mer ont une tendance à la diminution du fait de l'eutrophisation des cours d'eau dans lesquels l'acide orthosilicique est mobilisé (Tréguer *et al.*, 1995). Une des conséquences est notamment la diminution de l'épaisseur des frustules des Diatomées (Pondaven *et al.*, 1999). En définitive, les apports anthropiques induisent une surproduction biologique en apportant plus de phosphore et d'azote. Néanmoins, le manque d'acide orthosilicique induit des changements dans la structure des communautés favorisant ainsi les floraisons des organismes non-siliceux (Humborg *et al.*, 1997). De plus, l'enrichissement des eaux en nutriments aurait pour conséquence, au niveau du réseau trophique méditerranéen, un changement de taille de la communauté dominante initialement picoplanctonique vers une communauté microplanctonique (Vidal et Duarte, 2000) influençant directement la composition des prédateurs zooplanctoniques.

En Méditerranée, le suivi des concentrations de chlorophylle par satellite a montré une tendance à l'eutrophisation accrue au niveau des zones côtières à proximité des grandes villes et au niveau des deltas fluviaux. Quelques zones rares au large peuvent également être le siège de développements algaux importants lors d'upwellings d'eaux profondes chargées de nutriments (UNEP/FAO/WHO, 1996).

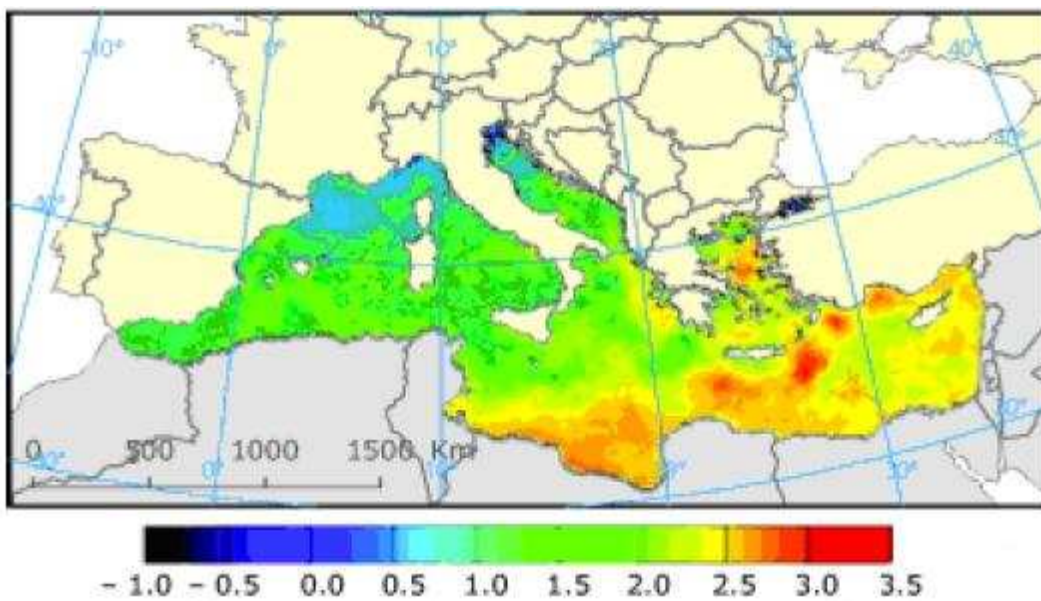
### I.5.2. Changement climatique

Hays *et al.* (2005) ont montré que le plancton était l'un des indicateurs des changements climatiques les plus fiables du fait (1) qu'il n'est pas exploité par l'homme, (2) du cycle de vie court qui permet le suivi de l'évolution de la taille de la population, (3) de la dépendance du plancton face à la température et aux courants qui fait que le moindre changement de ces paramètres se traduit sur la distribution planctonique et (4) de la non linéarité de la réponse biologique qui met en évidence les perturbations quelles qu'elles soient, même les plus

discrètes. C'est ainsi qu'en Méditerranée, Goffart *et al.* (2002) ont montré une diminution drastique de la biomasse phytoplanctonique accompagnée de la disparition de la floraison phytoplanctonique printanière typique de la Méditerranée en réponse, notamment, à des eaux plus chaudes. Au niveau de l'abondance zooplanctonique, une diminution nette a été observée les années les plus chaudes (de Puelles *et al.*, 2007).

Le changement climatique a deux conséquences majeures en Méditerranée :

- (1) une diminution des précipitations de 12 mm.an-1 depuis 1978 dans la partie Est de la méditerranée (Sarris *et al.*, 2007)
- (2) une augmentation globale de la température de l'eau de surface avec une augmentation maximum de 3,5° C entre 1982 et 2003 en Méditerranée orientale (Figure I. 2)



**figure I. 2.** Ecart de la température de l'eau de surface de la mer Méditerranée entre 1982 et 2003 (d'après European Environment Agency, 2007).

### I.5.3. Température

Aux facteurs de lumière est étroitement liée la température, à laquelle Loeb et son école attribuaient même le rôle prépondérant dans la distribution et les variations du plancton marin. En effet, les observations annuelles continues de la faune pélagique, indiquent que la richesse du plancton de surface, tant au point de vue quantitatif que qualitatif, est en proportion inverse par rapport au degré de cette dernière. Ainsi, par exemple, d'après les observations de près de 50 ans, faites à la station zoologique de Villefranche-sur-Mer, pendant les mois les plus chauds de l'année, ceux de juin, juillet, août et septembre, quand les moyennes décennales des températures sont de 21 à 24,5° C, le plancton de surface est

pauvre, réduit aux Copépodes, Cladocères, Dinoflagellés, Acanthaires, aux rares stades larvaires de Crustacés et à quelques Cténophores pérennants. Le plancton devient de plus en plus abondant et varie à partir du mois d'Octobre, avec la température décennale moyenne de 19,4°C et atteint son maximum pendant les mois les plus froids, c'est-à-dire en Décembre avec 14,5°, Janvier 13,5°, Février 12,8°, Mars 13° et Avril 14°. Ainsi, dès que la température dépasse 20°C le plancton de surface s'appauvrit et devient presque uniforme. Le plancton présente ainsi des variations saisonnières en rapport étroit avec la température; sa plus grande abondance se situe aux environs de 13 à 14°C et coïncide presque entièrement avec la température des couches profondes de la Méditerranée, laquelle est d'environ de 13°C dans ses plus grandes profondeurs explorées (13,1°C à 4200 m). Cette action, en quelque sorte nocive, de la température a été mise en évidence expérimentalement également par Rose (1926), qui a constaté que la température de 20°C provoque une descente rapide du plancton vers le fond du récipient qui le contient. (in Trégouboff. G, Rose. M., 1957)

#### I.5.4. Nourriture

Le facteur important qui influe sur la richesse du plancton est la nourriture, laquelle doit se trouver nécessairement dans la mer sous des formes qui puissent convenir à tous les planctontes quelles que soient les modalités de leur nutrition. Or, les divers sels minéraux dissous dans la mer ne sont pas assimilables, tels quels, pour la plus grande partie des éléments du plancton. Ici interviennent, en premier lieu, dans l'économie générale de la mer, les diverses Bactéries marines, dites « chémi-synthétiques », lesquelles, en réalisant diverses réactions chimiques, sont capables de se nourrir directement de certains sels minéraux entrant dans la composition de l'eau de mer. Elles apparaissent ainsi comme les premiers « mangeurs » marins, les protophages, et sont, en conséquence, autotrophes. Sont autotrophes également les éléments du phytoplancton, pourvus de chromoplastes, réalisant la photosynthèse, et qui peuvent assimiler en même temps, à l'aide de la lumière et de leurs pigments, les diverses matières se trouvant en suspension dans la mer. Confinés principalement dans la zone polyphote, désignée pour cette raison sous le nom de « pâturage » marin, ils apparaissent ainsi, avec les Bactéries, comme des « producteurs » de la nourriture primordiale pour tous les autres organismes marins, qui, eux, sont des consommateurs hétérotrophes à divers degrés.

De cet énoncé schématique du mécanisme de la production de la nourriture dans la mer, il ressort qu'une grande partie des planctontes est tributaire du phytoplancton, que leur abondance, leurs distributions et variations sont en rapport étroit avec celles de ce dernier. Or,

le développement de ce dernier, sa « production », est liée en grosse partie aux caractères chimiques de l'eau de mer, c'est-à-dire à la quantité des sels minéraux qu'elle contient, et notamment à celles des phosphates et des nitrates, considérés comme les plus indispensables pour la vie organique.

#### **I.5.5. Facteurs chimiques**

Les quantités de phosphates et de nitrates sont bien moindres dans la Méditerranée, mer fermée, que dans les mers ouvertes, telle que, par exemple, l'Océan Atlantique.

Cette pénurie de phosphates et de nitrate est la cause initiale de la pauvreté relative, au point de vue quantitatifs, du plancton méditerranéen en général. Comme autres facteurs chimiques qui influent sur l'abondance du plancton on doit signaler la salinité de l'eau, sa teneur en oxygène et autres gaz dissous, le pH, les quantités de diverses substances minérales autres que les phosphates et les nitrates, ainsi que celles des matières organiques qui s'y trouvent également et soit proviennent d'apports extérieurs terrestres ou atmosphériques, soit résultent de l'excès de leur production par des organismes vivants ou sont représentées par des cadavres de ces derniers, décomposés par les bactéries.

#### **I.5.6. Facteurs physique**

Les propriétés physiques de l'eau de mer, telles que la densité, la viscosité, en relation avec la température, peuvent jouer également un rôle dans la distribution du plancton parce qu'elles déterminent les échanges, réguliers à certaines saisons de l'année et notamment en hiver, entre les couches profondes et superficielles de la mer. D'autres échanges semblables sont dus aux facteurs d'ordre météorologique et mécanique et se manifestent par des courants marins locaux, purement occasionnels, verticaux ascendants ou horizontaux, s'étalant à la surface de la mer, et qui modifient en conséquence la composition du plancton de surface.

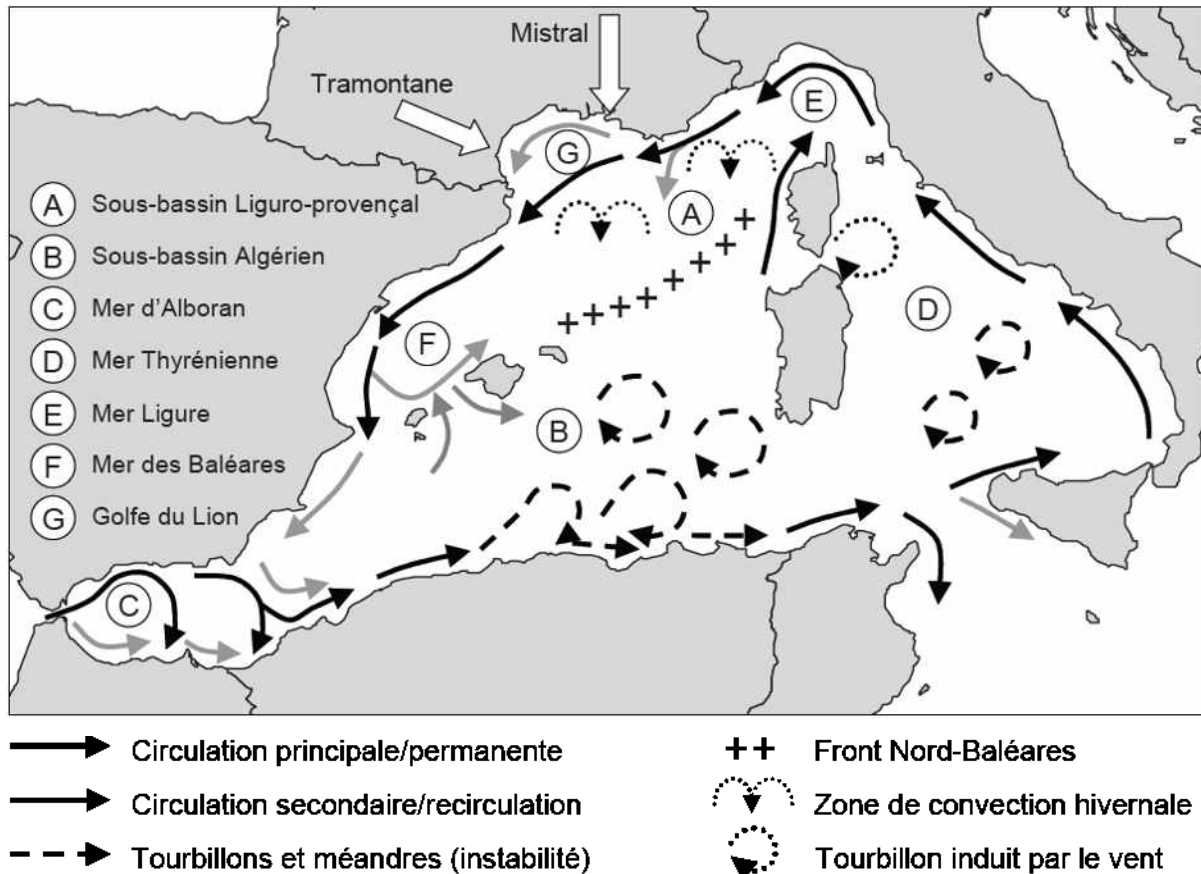
# ***CHAPITRE II***

## II. Schéma général de circulation de surface et processus mésoéchelle dans le Bassin Occidental

La Méditerranée est une mer semi-fermée, caractérisée par une évaporation supérieure aux précipitations et aux apports d'eau douce par les rivières. Cette perte est compensée par une entrée d'eau de surface en provenance de l'Atlantique (« Atlantic Water », AW), caractérisée par une température de  $\sim 16^{\circ}\text{C}$  et une salinité de  $\sim 36$  quand elle entre à Gibraltar. Tout au long de son parcours en Méditerranée, l'AW est continuellement modifiée sous l'influence atmosphérique et par les interactions avec les autres masses d'eau, et sa salinité augmente jusqu'à  $\sim 38$  psu. Au cours d'un cycle annuel, l'AW qui entre est alternativement plus ou moins chaude que les eaux résidentes. La Méditerranée agit donc comme une machine à transformer l'AW. A l'échelle du Bassin Occidental, comme dans le Bassin Oriental (Millot & Taupier-Letage 2005), la circulation de surface suit un circuit antihoraire le long de la pente continentale (Figure II.1).

L'AW nouvellement entrée par Gibraltar se dirige le long des côtes espagnoles avant de décrire un premier circuit dans l'Ouest de la mer d'Alboran et un deuxième plus variable dans l'Est. Un courant puissant, le « jet Almeria-Oran », donne ensuite naissance au courant Algérien. Il coule le long de la pente continentale à proximité des côtes en raison de la faible étendue du plateau continental. Ce courant de plusieurs dizaines de kilomètres de  $30\text{-}50\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  (maximums enregistrés de  $60\text{-}80\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ) est relativement étroit ( $30\text{-}50\text{ km}$ ) et profond ( $200\text{-}400\text{ m}$ ) à la longitude de  $0^{\circ}$  (Benzohra & Millot 1995a, Viudez et al. 1996). Il devient plus large et moins profond au cours de sa progression vers l'Est. Ce courant est instable et génère des méandres qui évoluent en tourbillons côtiers de  $50\text{-}100\text{ km}$  de diamètre,  $100\text{-}1000\text{ m}$  de profondeur, et de durée de vie de quelques semaines à quelques mois (Millot et al. 1997). Cependant, environ une à deux fois par an, un méandre plus important se développe jusqu'à atteindre  $100\text{-}200\text{ km}$  de diamètre, en créant à l'intérieur un tourbillon anticyclonique. Le méandre et le tourbillon de la couche de surface sont superposés à un tourbillon dans la couche sous-jacente (Obaton et al. 2000, Figure II.2), dont l'extension verticale peut atteindre le fond (environ  $3000\text{ m}$ , Millot & Taupier-Letage 2005). Cette dynamique tourbillonnaire induit des phénomènes secondaires de submésoéchelle, tels que les tourbillons cycloniques de cisaillement submésoéchelle ( $\sim 10\text{-}30\text{ km}$ ) et des filaments (Taupier-Letage & Millot 1988, Taupier-Letage et al. 2003). Les tourbillons sont advectés vers l'Est par le courant Algérien à la vitesse  $3\text{-}5\text{ km}$  par jour. En raison de leurs dimensions horizontales et verticales, les gros tourbillons ne peuvent franchir le canal de Sardaigne. Ils se séparent alors du courant Algérien

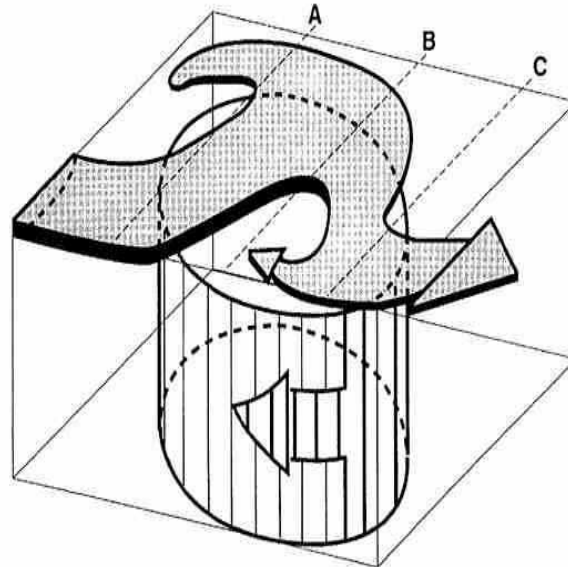
pour dériver au large. En général, les tourbillons dont la durée de vie est la plus longue (jusqu'à 3 ans observés ; Puillat et al. 2002) décrivent alors un circuit antihoraire à l'intérieur de la partie Est du sous-bassin Algérien. En raison du parcours des tourbillons, l'AW récente est potentiellement distribuée dans l'ensemble du sous-bassin Algérien. Celui-ci est donc considéré comme un réservoir d'AW.



**Figure II. 1.** Circulation de l'eau de surface d'origine Atlantique (AW) dans le Bassin Occidental de la Méditerranée (d'après Millot & Taupier-Letage 2005)

Après avoir franchi le canal de Corse, la veine d'AW Tyrrhénienne rejoint la veine Ouest Corse pour donner naissance au courant Nord. Au large des côtes françaises, ce courant Nord est caractérisé par une vitesse maximum de  $\sim 50 \text{ cm.s}^{-1}$ , d'une largeur de quelques dizaines de kilomètres et d'une profondeur de  $\sim 150\text{m}$  le long de la pente. Contrairement au courant Algérien, le courant Nord présente une variabilité saisonnière marquée. En hiver, il est plus intense, plus profond et plus étroit, avec une forte activité mésoéchelle qui se manifeste par des méandres dont l'amplitude et la longueur d'onde peuvent atteindre 60-80km (Taupier-Letage & Millot 1986, Millot 1987). Les méandres peuvent déplacer le bord externe du courant Nord de plus de 40km au large en quelques jours (Conan & Millot 1995, Conan 1996, Stemmann et al. 2008). Cependant l'évolution de ces méandres en tourbillons n'a été observée qu'exceptionnellement (Pascual et al. 2002). Dans la partie Nord du Bassin Occidental, la

période hivernale est également associée à la formation d'eau dense par convection profonde. Elle est engendrée par les épisodes répétés de vents froids et secs en provenance du Nord (Mistral et Tramontane), à l'origine d'une évaporation intense et de la coulée des eaux de surface entraînant un mélange avec les eaux sous-jacentes (Schott & Leaman 1991).



**Figure II. 2.** Schéma d'une instabilité du courant Algérien composée en surface d'un méandre créant un tourbillon anticyclonique au niveau de la couche superficielle et d'un tourbillon cyclonique de cisaillement, et montrant en profondeur le développement du tourbillon anticyclonique (Obaton et al. 2000)

## II.1. Le milieu trophique dans le Bassin Occidental

### II.1.1. La production à l'échelle du Bassin Occidental et le cycle saisonnier

La Méditerranée est connue pour son caractère globalement oligotrophe en particulier parce qu'elle ne présente pas de zone d'upwelling majeure comme sur les côtes est de l'Atlantique et du Pacifique, par exemple. La production primaire la plus importante du Bassin Occidental est localisée dans la partie Nord (Morel & André 1991, Bosc et al. 2004). L'origine de cette production est la mise à disposition des nutriments dans la couche euphotique suite à l'intense mélange vertical hivernal. La floraison de printemps intervient dès que sont réunies les conditions de lumière et de stratification de la colonne d'eau. Cette floraison a été largement étudiée à partir des données *in situ* (Claustre et al. 1989, Andersen & Prieur 2000, Marty & Chiaverini 2002) ou à l'aide de modèles numériques (Lévy et al. 1998, 1999, 2000, Tusseau-Vuillemin et al. 1998). Morel & André (1991) ont décrit les variations spatiales et saisonnières de la production primaire en faisant également mention d'une floraison en automne, d'intensité plus faible que la précédente. La production contrastée entre le Nord et le

Sud du Bassin Occidental se reflète sur les niveaux trophiques supérieurs. Le front Nord Baléares est considéré par Casanova (1974) comme une séparation biologique au niveau de laquelle un changement important se produit dans la faune d'Euphausiacés. C'est le cas du krill *Meganyctiphanes norvegica*, qui est retrouvé dans les contenus stomacaux de nombreux prédateurs marins comme le thon, les oiseaux marins et le rorqual commun dans la partie Nord.

A l'échelle du Bassin Occidental, la floraison intervient en hiver dans la partie Sud (janvier-février) alors qu'elle se produit au printemps dans la partie Nord (mars-avril). Dans la partie Sud (sous-bassin Algérien), des conditions oligotrophiques dominent en été au niveau des tourbillons anticycloniques du large et de la côte, en raison de l'enfoncement de la nutricline. En hiver, le mélange de la couche de surface et les forts mouvements verticaux causés par les vents plus forts sont favorables au développement de la chlorophylle (Puillat 2000, Taupier-Letage et al 2003). Dans la partie Nord, le Golfe du Lion présente des concentrations relativement élevées pendant toute l'année. A l'inverse on observe que le courant Nord se caractérise par des concentrations faibles en chlorophylle avec un contraste particulièrement important avec l'ensemble de la partie Nord pendant la floraison printanière.

Les concentrations interannuelles en chlorophylle présentent une variabilité spatiale importante et varient également d'une année à l'autre (Bosc 2002). La figure 2.4 illustre cette variabilité avec des concentrations de chlorophylle plus élevées sur une plus grande zone de la partie Nord en 1999 par rapport à 1998. L'intensité du mélange hivernal, permettant la mise à disposition d'une quantité plus ou moins importante de nutriments pour la floraison printanière, est la principale raison de cette variabilité interannuelle de concentration en chlorophylle.

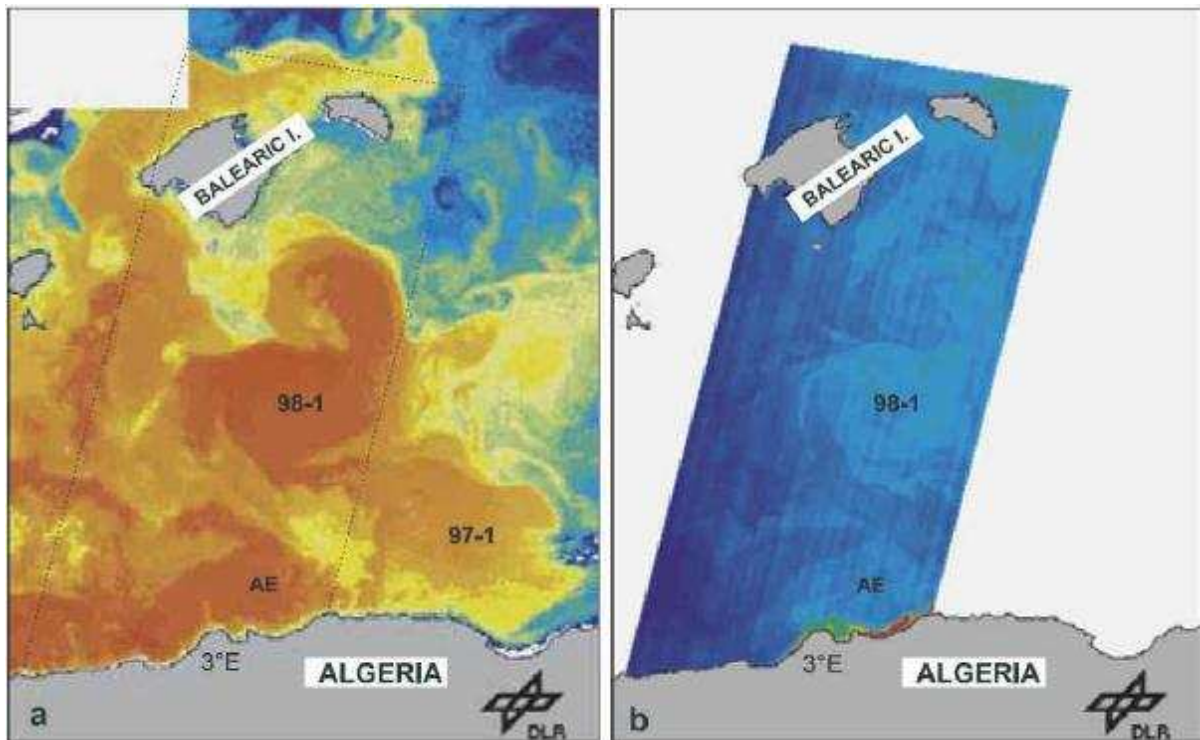
### II.1.2. Effet des processus de moyenne échelle sur la production marine

Bien que la floraison en Méditerranée Occidentale suit un cycle saisonnier dont la variabilité est principalement causée par le mélange hivernal, la dynamique de moyenne échelle peut moduler sa distribution et son intensité (Conan 1996, Lévy et al. 1999, 2000).

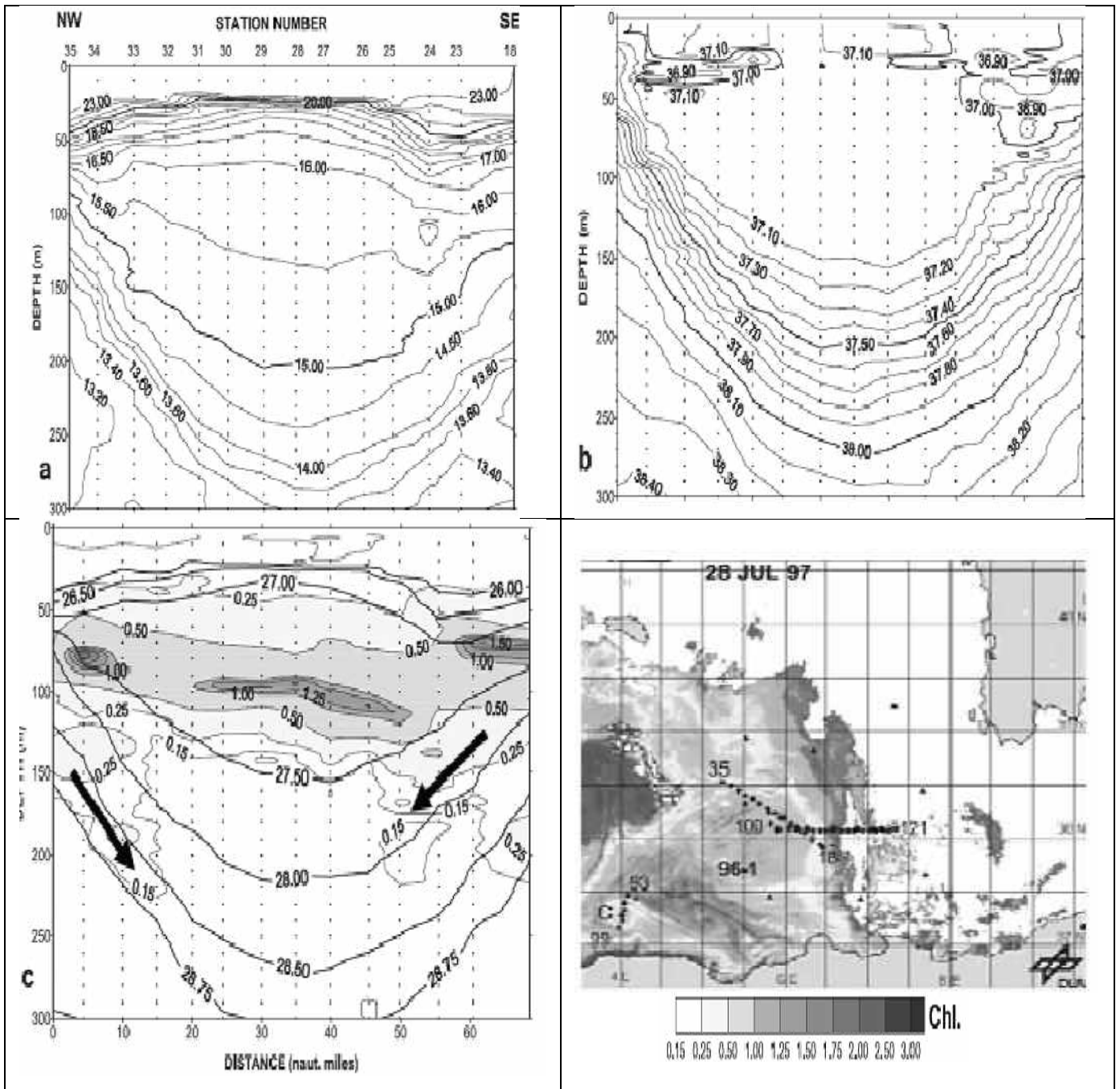
L'approche par la modélisation a permis d'examiner la réponse de la production primaire à cette dynamique mésoéchelle (Lévy 1996). Les instabilités mésoéchelle peuvent prolonger la durée de la floraison en réapprovisionnement la couche de surface en sels nutritifs au fur et à mesure de leur consommation.

Les zones frontales et les instabilités mésoéchelle générées par la circulation influencent la distribution et l'abondance des organismes (Gorsky et al. 2002, Stemmann et al. 2008 pour les agrégats et particules). D'importantes concentrations de larves de poissons sont ainsi localisées au niveau du bord externe du courant Nord en mer des Baléares (Sabatés et al. 2007). L'activité mésoéchelle joue un rôle important sur la position du bord du courant, et par conséquent sur la distribution des larves. De fortes biomasses de zooplancton, et en particulier du krill, sont enregistrées au niveau de la zone frontale formée par le courant Nord en mer Ligure (McGehee et al. 2004, Warren et al. 2004, Molinero et al. 2007). L'association entre le krill et les rorquals communs en mer Ligure a d'ailleurs été attribuée au front créé par le bord du courant Nord (Relini et al. 1992, 1994, Orsi Relini et al. 1992). Les cachalots ont également été observés en association avec des zones frontales dans la partie Nord du Bassin Occidental (Gannier & Praca 2007),

Dans le sous-bassin Algérien, (figure II.3 et II.4) les tourbillons conditionnent la situation biologique, comme le montre la correspondance des signatures de température et de couleur de l'océan par l'imagerie satellitaire sur la figure (Taupier-Letage 1988, Arnone et al. 1990, Taupier Letage et al. 2003). La section d'un tourbillon Algérien pendant la période estivale montre la distribution de la chlorophylle à l'intérieur du tourbillon. Elle présente un maximum profond de concentration en chlorophylle avec une séparation spatiale entre le centre et la périphérie. Elle présente aussi une subduction, c'est-à-dire un enfoncement de la chlorophylle le long des isopycnes vers la zone centrale. Au niveau de la côte Algérienne, les tourbillons correspondent à des zones significativement plus pauvres en surface, en contraste avec la zone du courant Algérien plus productive. Puillat (2000) attribue cette différence au courant Algérien qui contourne et isole le tourbillon côtier avec le méandre. Les phénomènes secondaires tels que les tourbillons cycloniques de cisaillement, les filaments et les cellules d'upwelling permettent d'atteindre localement et épisodiquement des valeurs de concentration en chlorophylle particulièrement élevées pour le sous-bassin Algérien (Puillat 2000, Taupier-Letage et al. 2003). Cette variabilité spatio-temporelle de la distribution et de l'abondance de l'échelon primaire semble avoir une influence sur les communautés zooplanctoniques associées (Riandey et al. 2005). Des observations de la mégafaune du sous-bassin Algérien (cétacés, requins, tortues) a été reliée à la structuration mésoéchelle de l'environnement physique et biologique (Viale & Frontier 1994).



**Figure II. 3.** Images satellitaires du 28 Février 1998. (a) L'image (NOAA/AVHRR) de la température de surface; les températures augmentent du bleu au rouge. (b) Image (Modular Optoelectronic Scanner, MOS) de la distribution de la concentration en chlorophylle; la concentration augmente du bleu au rouge. L'image MOS est fournie par le DLR/Institute of Space Sensor Technology. (Taupier-Letage et al. 2003).



**Figure II. 4.** Section d'un tourbillon Algérien anticyclonique (été 1997): (a) température (°C), (b) salinité, (c) concentration en chlorophylle (mg.m<sup>-3</sup>) et densité (lignes épaisses).

L'entraînement de la chlorophylle en profondeur montre la subduction de la couche du maximum profond de jusqu'à plus de 150m, du bord vers le centre du tourbillon (symbolisé par les flèches). (Taupier-Letage et al. 2003)

**II.2. Circulation superficielle dans le bassin algérien :**

Région la plus occidentale de Méditerranée, la mer d'Alboran bord le détroit de Gibraltar. Le « jet » atlantique génère un premier gyre anticyclonique permanent, entre l'Espagne et le Maroc. La plus part du temps, il est suivi d'un deuxième, tournant également dans le sens des

aiguilles d'une montre entre l'Espagne et l'Algérie. Le diamètre de ces gyres est proche de la largeur de la mer d'Alboran, soit une centaine de kilomètres. Les vents dominants provoquent généralement une remontée d'eau le long des côtes sud d'Espagne qui concerne le premier gyre. Cette fertilisation rompt avec l'oligotrophie habituelle de la veine atlantique et de la partie centrale d'un gyre anticyclonique. Sous l'effet de la force de Coriolis, le courant se rapproche des côtes algériennes qu'il longe la direction de l'est. Parfois, un troisième gyre, plus ou moins organisé, est présent.

Le jet atlantique interagit avec les eaux méditerranéennes de surface pour former la veine d'eau atlantique modifiée qui entame un long parcours cyclonique dans le bassin occidental. Ce courant algérien est large de quelque dizaine de kilomètre, épais de 100 à 200 m ; sa vitesse atteint quelque dizaine de cm/s. il suit généralement la pente et génère de petits tourbillon de 10 à 100 km vivant quelque semaine à quelque mois. De temps à autre, ce courant se détache formant un méandre croissant jusqu'à 50 à 100 km ; il peut alors se détacher formant en tourbillon anticyclonique de 100 à 200 km de diamètre et concerner toute l'épaisseur de l'eau méditerranéenne. Si leur taille atteint 250 km, deux suffise à couvrir tout le bassin. On peut observer simultanément plusieurs tourbillons d'âge différent. La présence du seuil siculo-tunisien les cantonne au bassin algérien. Certains tourbillons océaniques persistent durant trois ans, circulant dans ce bassin en suivant un circuit cyclonique. Le bassin algérien fonctionne donc comme un réservoir où l'eau superficielle atlantique s'accumule avant de s'écouler soit vers le nord soit vers le bassin oriental. Cette zone tampon découple les entrées et sorties d'eau de la Méditerranée occidentale. (*in Guy. J., 2006*).

# ***CHPITRE III***

### III. L'hydrologie de la méditerranée et la distribution des peuplements zooplanctonique

Selon les campagnes océanographiques multidisciplinaires (1990, 1998, 2000, 2004, et 2008), le bassin algérien est caractérisé par une zone frontale (la concentration de chlorophylle *a* en surface est supérieure à 1 mg/m<sup>3</sup>). Celle-ci est située entre 1° et 4°E. Elle résulte de l'affrontement entre l'eau atlantique modifiée (MAW) et l'eau méditerranéenne de surface (MSW). Le front est caractérisé par un gradient halin horizontal séparant la zone côtière (*S* = 36,6) de celle de large (36,8). Les écosystèmes atlantiques et méditerranéens sont connus par leurs oligotrophie (chlorophylle en surface moins de 1 mg/m<sup>3</sup>). *temora stylifera* et *Euterpina acutifrons* sont dominants. Les petites espèces comme *Paracalanus parvus* et *Clausocalanus sp* dominent les communautés du front. Au sein du système oligotrophe méditerranéen, les carnivores comme *Oithona*, *oncaea*, et *Pontella* dominent les peuplements omnivores et herbivores (*Temora stylifera*, *Euterspina acutifrons*); la prédation est caractéristique des systèmes oligotrophes. L'ensemble des espèces, apparaissent d'une importance capitale pour les études relatives aux effets des structures hydrologiques sur les communautés mesozooplanctonique (in Hafferssas, Seridji 2010).

La faune zooplanctonique identifiée dans le bassin algérien ne comprend pas de forme endémique et est commune aux autres régions de Méditerranée occidentale (Hafferssas 1996). Ceci s'expliquerait par la contiguïté du bassin algérien avec ces autres secteurs. Ils sont en effet tous inclus dans la province atlanto-méditerranéenne (Casanova, 1977 ; Seridji, 1989).

Une analyse des composantes principale faite en 2004 par Kerzabi lors de la campagne Mediproduct V a mis en évidence l'influence de facteurs biologiques (comportements migratoire et nutritif, compétition) et de facteurs du milieu (température, salinité et teneurs en chlorophylle) sur la répartition des peuplements zooplanctonique du bassin algérien. La complexité de l'influence de ces derniers a déjà été évoquée par Funestein, 1979, Hafferssas, (1996)). De ce fait une communauté profonde se superpose à la faune épipélagique superficielle, la présence en surface de cette faune est due principalement aux migrations verticales, mais également à certains phénomènes hydrodynamiques (résurgences, homothermie). L'entraînement par ces processus pourrait expliquer la présence en surface d'espèces eurybathes tels *E. elongatus*, *E. crassus*, *C. helgolandicus* ou *R. nasutus*. Ces espèces se raréfient dans la couche épipélagique en période de stratification estivale ainsi qu'au large où les mouvements verticaux des masses d'eaux semblent moins marqués. La communauté d'espèces mésopélagique migratrices (*Scolecithricelle dentata*, *Heterorhabdus papilliger*, *Euchaeta sp.*, *Pleuromamma sp.*, *Nematoscelis megalops*, *Conchoecia sp.*, *Solmissus*

*albescens*, *Solmundella bitentaculata*, etc.) mise en évidence aux sites nocturnes tant au point de vue qualitatif que quantitatif est conforme à celles décrites dans le bassin occidental par Scotto di Carlo & al. (1984 et 1991). Ainsi ces peuplements contribuent à un enrichissement des peuplements superficiels nocturnes.

### III.1. Classement bathymétrique des formes zooplanctoniques en méditerranée

Casanova.J.P, 1970 a situé de la manière suivante les trois grands ensembles écologiques établis d'après la profondeur :

De 0 à 200-300 m, c'est le domaine des communautés de surface ou épiplanctoniques, aux espèces nombreuses et variées ; de 200-300 à 600-800 m, zone moins riche que la précédente, se place le mésoplancton ; au-dessous de 600-800 m vit le bathyplancton.

En fait, il faut distinguer plusieurs catégories à l'intérieur de ces ensembles. Il a essayé de les définir par le comportement des formes qui les caractérisent.

#### III.1.1. Groupement superficiel

Ce groupement recouvre en réalité plusieurs communautés car, selon que l'on est en milieu néritique ou océanique, en zone diluée ou non diluée,

##### Ensemble de surface

Il est composé d'espèces qui, bien que peuplant les 200 à 300 premiers mètres, se concentrent le plus souvent en surface, et qui sont peu ou pas affectées par des variations nyctémérales. C'est le cas des cladocères *Evadne spinifera*, *E. tergestina* et *Penilia auirostris*, de nombreux copépodes dont *Nannocalanus minor*, *Paracalanus parvus*, *Clausocalanus arcuicornis*, *C. furcatus*, *Temora stylifera*, *Centropages typicus* et *Acartia clausi*, des chaetognathes *Sagitta serosa*, *S. inflata* et *S. bipunctata*, des méduses *Rhopalonema uelatum*, *Nansithoe punctata*, *Pelagia noctiluca*, *Aglaura hemistoma* et *Pandea conica*, des siphonophores *Chelophyes appendiculata*, *Abylopsis tetragona*, *Eudoxoides spiralis*, *Muggiaea atlantica*, *Lensia fowleri*, *Bassia bassensis*, *Hippopodius hippopus*, *Sulculeolaria biloba* et *Diphyes dispar*, des thaliacés *Doliolum nationalis*, *D. denticulatum*, *Salpa fusiformis* et *Thalia democratica*, et des appendiculaires *Oikopleura dioica*, *O. albicans* et *Fritillariapellucida*.

##### Ensemble de subsurface

Il regroupe, d'une part les organismes qui se tiennent généralement sous la surface le jour et qui la rejoignent la nuit (ou vice-versa), d'autre part ceux, moins nombreux qui, vivant normalement dans l'Atlantique à des profondeurs supérieures, ne peuvent résister, après leur

passage en Méditerranée, qu'en restant dans la zone d'influence du courant atlantique. Parmi les premiers, on peut citer les copépodes suivants, à rythme nyctéméral classique. *Pleuromamma gracilis*, *Heterorhabdus papilliger*, *Scolecithicella dentata*, *Lucicutia [lauicornis]*, *Euchaeta marina* et *Chiridius poppei*, et les ptéropodes *Creseis acicula*, *C. virgula* et *Spiratella trochiformis*. A rythme inversé, c'est-à-dire quittant la surface la nuit pour gagner les couches subsuperficielles. Parmi les seconds, se placent l'euphausiacé *Thysanoessa gregaria*, assez abondant, le chaetognathe *Pteropoda rosagitta draco* et le siphonophore *Chuniphyes multidentata*, beaucoup plus rares. Dans le sud du bassin, certaines de ces espèces, parmi les plus passives, telles que *Penilia avi-Tostris*, *Abylopsis telcagona* et *Doliolum nationalis*, se trouvent parfois entraînées à de grandes profondeurs par la plongée des eaux algéro-atlantiques, mais cela n'est qu'un accident dû à l'hydrologie locale et ne modifie pas leur caractère épiplanctonique. Ces communautés s'enrichissent d'une part la nuit par la montée de formes profondes, et d'autre part en période froide, lorsque la température, uniforme de la surface au fond, permet l'établissement de certaines d'entre elles dans les couches superficielles. Leur cas sera envisagé plus loin.

### III.1.2. Groupement mésoplanctonique

Les espèces qui le constituent ont généralement une taille supérieure à celles de surface mais n'ont pas toutes le même comportement. Certaines font de cette zone un « refuge » diurne à partir duquel elles migrent massivement la nuit en surface ou, parfois, vers les niveaux inférieurs ; d'autres y demeurent constamment et, parmi elles, se trouvent les hôtes des eaux Intermédiaires, en provenance de la Méditerranée orientale, et qui sont plus ou moins liés à ces formations ; d'autres enfin appartiennent au bathyplancton et parviennent dans ces parages au terme de leur ascension nocturne.

#### Espèces gagnant la surface la nuit

Parmi les plus typiques, on peut citer les euphausiacés, *Nematoscelis atlantica*, *Nyctiphanes couchii*, *Euphausia brevis*, *E. hemiggiba*, *Thysanopoda aequalis*, *T. subaequalis*, *Stylocheiron longicocne* et *S. suhmii*, les ptéropodes *Spiratella inflata*, *Styliola subula* et *Cavolinia inflexa*, les copépodes *Neocalanus gracilis*, *Euchaeta acuta* et *Pleuromamma abdominalis*, et les chaetognathes *Sagitta minima* et *S. atlantica*.

#### Espèces à migrations faibles ou nulles

Elles sont nombreuses et les plus caractéristiques sont les copépodes *Eucalanus monachus*, *Euchirella messinensis*, *E. rostrata*, *Euchaeta spinosa*. *Heterorhabdus spinifrons* et *H. abyssalis*, les chaetognathes *Sagitta neodecipiens* et *Krohnitta subtilis*, les méduses *Solmissus*

*albescens* et *Solmaris flai/escens*, le siphonophore *Rosacea cymbiformis* et le tunicier *Pyrosoma atlanticum*.

### III.1.3. Groupement bathyplanclonique

Il comprend les organismes vivant aux alentours de 600 à 800 m et au-dessous. On peut les ranger en deux catégories : d'une part ceux qui effectuent des remontées nocturnes ou saisonnières plus ou moins importantes, les amenant parfois en surface, d'autre part ceux qui ne semblent pas affectés par de tels mouvements.

#### Espèces à déplacements verticaux

Elles sont représentées surtout par les grands crustacés, euphausiacés et décapodes, *Meganyctiphanes norvegica*, *Stylocheiron maximum*, *Gennadas elegans*, *Acanthephyra multispina* et *Sergestes*, les amphipodes *Vibilia armata*, *Scina crassicornis*, *Euprimno macropus* et *Phrosina semilunata*, les copépodes *Eucalanus elongatus* et *Rhincalanus nasutus*, les ptéropodes *Cavolinia inflexa*, *Euclio pyramidata*, *E. cuspidata* et *Cymbulia peroni*, les chaetognathes *Sagitta lyra* et *S. hexaptera*, ainsi que la plupart des poissons, *Cyclothone braueri* et *C. microdon pygmaea* étant les plus caractéristiques,

#### Espèces sans déplacements sensibles

Moins nombreuses que les précédentes, elles rassemblent les copépodes *Gaetanus kruppi*, *Lucicutia lucida* et *L. longiserrata*, le mysidacé *Eucopia hanseni* et les méduses *Periphylla hyacinthina* et *Bythotiara murrayi*.

#### Espèces eurybathes

Il s'agit surtout des ostracodes *Conchoecia haddoni*, *C. curta*, *C. spinirostris* et *C. elegans*, assez abondants depuis la surface jusqu'à plus de 2 000 m, des euphausiacés *Euphausia krohnii*, *Stylocheiron abbreviatum*, *S. longicorne* et *Nematoscelis megalops*, dont la distribution diurne va de 200 à 400 m jusqu'aux grandes profondeurs, du siphonophore *Lensia conoidea* et, peut-être, de l'appendiculaire *Megalocercus abyssorum*.

### III.2. Répartition de la biomasse des peuplements zooplanctoniques le long des côtes algériennes

Au sein du front, les fortes concentrations chlorophylliennes ont favorisées la croissance et le développement des petites espèces pionnières (*P. parvus*, *C. furcatus*, *C. arcuicornis*). Celles-ci détiennent d'importantes contributions au sein de la biomasse zooplanctonique totale et au sein de la fraction de taille 100 - 300  $\mu\text{m}$ . En effet, l'Analyse en Composantes Principales a montré des corrélations significatives avec les biomasses chlorophylliennes disponibles au sein de la couche épipélagique (0-200 m). En outre, ces populations ont un comportement typiquement phytophage; leurs abondances représentent plus de 90 % des abondances zooplanctoniques.

Les deux écosystèmes oligotrophes, sont caractérisés par de faibles biomasses et les autres fractions de tailles (> 300  $\mu\text{m}$ ) prédominent. Les populations relativement abondantes (moins de 30 Ind.m<sup>-3</sup>) ont surtout un comportement carnivore ou omnivore. Près de la côte, la signalisation des espèces telles *Pleuromamma abdominanlis* et *Mecynocera clausi* est liée au passage du courant Atlantique. Celui-ci, a été identifié par des salinités de surface inférieures à 36.6. En outre, plus à l'ouest, la mention des populations bathypélagiques serait le signe des remontées des eaux profondes en surface. Celles-ci sont corroborées par les données satellitaires.

En dehors de la zone productive, des gradients décroissants côte-large ont été signalés. Ainsi, les concentrations pondérales régressent de 6 à 2 mg.m<sup>-3</sup>. (Hafferssas et Seridji, 2010).

#### III.2.1. Affinités biogéographiques et répartition verticale

##### III.2.1.1. Espèce indicatrices d'eau atlantique :

De nombreux auteurs ont reconnu en méditerranée occidentale d'espèces dite atlantiques. Ces organismes font l'objet d'un transport quasi-continu par le courant atlantique et s'adaptent en méditerranée avec plus ou moins de difficultés (Hafferssas, 1996).

##### Copépodes

Parmi les espèces considérés par Furnestin(1965), Seguin (1972, 1973) et par Hafferssas (1996) comme indicatrice de courant, il ya 14 espèce rencontrées en baie de Bousmail (Ait Hamouda, 2002 ) :

<i>Calanoides carianus</i>	<i>Pleuromamma borealis</i>	<i>Centropages cherchiae</i>
<i>Subeucalanus crassus</i>	<i>P. abdominalis</i>	<i>C.violaceus</i>
<i>Mesocalanus tenuicornis</i>	<i>P. piseki</i>	<i>Acartia danae</i>
<i>Paracandacia simplex</i>	<i>C.ethiopica</i>	<i>Pontellopsis regalis</i>

*Calocalanus pavo*

*Candacia bipinnata*

*Calanoides carianus* : espèce atlantique rare en méditerranée (Masuti, 1942 ; Rose & Vissière, 1952). C'est presque la seule espèce caractéristique du courant atlantique selon Seguin (1972). *C. carianus* est une forme sténohaline qui préfère les eaux à des salinités inférieures à 37,52 psu,

*Subeucalanus crassus* : cette espèce est plus fréquente en mer d'Alboran que dans le reste de la méditerranée occidentale (Soenen, 1969), elle est d'origine océanique infondés aux eaux atlantiques (Mazza, 1962). Selon Giron (1963) et Soenen (1969), elle est indicatrice d'eaux atlantique et ne tolère pas de grandes variations de température ni de salinité, elle est donc sténohaline et sténotherme.

*Calocalanus pavo* : rarement présenté dans la baie de Bousmail (Ait Hammouda 2002). Mazza (1962) lui trouve une répartition géographique étendue, tout comme Soenen (1969) pour qui elle est fréquente mais peu abondante en méditerranée. Pour Giron (1963), elle est sténohaline d'origine atlantique.

*Pleuromamma abdominalis* : espèce largement distribuée en méditerranée orientale et occidentale (Haffessas, 1996), d'origine atlantique mais bien acclimatée à l'hydrologie méditerranéenne (Giron, 1963), c'est une forme sténohaline et sténotherme qui ne supporte que des eaux à des salinités inférieures à 37 psu (Soenen, 1963).

*Centropages cherchiae* : Espèce d'origine atlantique à large distribution géographique (Mazza, 1962 et Tardieu, 1967) surtout dans l'ouest du bassin. *C. cherchiae* est une forme sténohaline fréquente rencontrée toute l'année à Alger et est plus abondante durant les mois froids (Soenen, 1963).

*Candacia ethiopica* : c'est une espèce fréquente dans l'atlantique tropical et rare en méditerranée occidentale (Rose, 1925 et Furnestin, 1965), elle est donc d'origine atlantique (Giron, 1963) et sténohaline (Seguin, 1972).

*Acartia danae* : espèce rare (Ait Hammouda, 2002), pour Masuti (1942), cette espèce est très abondante durant les mois d'hivers. Cette forme sténohaline (Seguin, 1973) est transportée par Gibraltar en été (Giron).

### **Euphausiacés :**

*Thysanoessa gregaria* : Espèce rare en méditerranée, elle marque le passage des eaux atlantique à travers Gibraltar (Furnestin, 1965), et est surtout rencontrés entre 100 et 400 m, c'est une espèce mésoplanctonique qui effectue des migrations nyctémérales (Soenen, 1969).

### III.2.1.2. Affinité côtière et néritique :

La répartition des espèces côtières et néritiques dans le bassin algérien est assez complexe, l'intervention du courant algérien est évidente dans cette distribution (Hafferssas, 1996).

Les organismes qui font partie de cette catégorie écologique sont :

#### Les copépodes

<i>Temora stylifera</i>	<i>Clausocalanus arcuicornis</i>	<i>Centropages typicus</i>
<i>Nannocalanus minor</i>	<i>Sapphirina nigromaculata</i>	<i>Acartia danae</i>
<i>Oithona plumifera</i>		

*Temora stylifera* : Espèce fréquente et abondante en méditerranée (Rose, 1927) avec une large répartition géographique et une préférence pour la zone néritique, c'est une espèce de base du bassin sud-occidental-méditerranéen (Soenen, 1969). *T. stylifera* est une eurytherme, abondante en automne, moins en hiver et au printemps (Mazza, 1967).

*Nannocalanus minor* : largement représenté à la côte (Ait Hammouda, 2002), elle est eurytherme (Estrada & al, 1985) et abondante en méditerranée occidentale et fait partie des espèces du bassin-occidental méditerranéen (Soenen, 1969). Elle pourrait être halophile (Furnestin, 1965).

*Clausocalanus arcuicornis* : espèce commune en méditerranée (Rose, 1925), elle est sensible à la dynamique des eaux et est considérée comme espèce de base du bassin sud-occidental-méditerranéen (Soenen, 1969).

*Oithona plumifera* : espèce rare à la baie de Bousmail (Ait Hammouda, 2002), elle est abondante à tendance néritique nette (Mazza, 1962), (Soenen, 1969) la considère comme espèce de base du bassin sud-occidental-méditerranéen

#### Les cladocères

Ce sont des formes planctoniques réputées côtières selon Rose & Treguboff (1957).

*Penilia avirostis* : espèce fréquente, indicatrice écologique signalant les conditions locales de salinités et de température et d'eau dilué (Durant, 1965 et Casanova, 1965), elle est abondante en automne et présente plus souvent à l'ouest du bassin (Soenen, 1969).

*Evadne spinifera* : forme moins néritique que la précédente, à tendance tempérée chaude, c'est une forme épi-planctonique qui plonge en profondeur au printemps.

*Evadne tergestina* : elle vit plus profondément que la précédente avec un maximum d'abondance en automne, disparaît l'hiver et réapparaît au printemps (Soenen, 1969).

Répartition verticale.

### III.3. L'impact des conditions hydrologiques sur le zooplancton

Une étude par Hafferssas et Seridji 2010 montre les tendence suivantes :

La distribution spatial de salinité présente une forte tendance d'augmentation claire du sud vers le nord, en outre la zone côtière et la zone frontale sont caractérisées par des basses concentrations de chlorophylle a, par conséquence trois régions avec des niveaux différent de salinité et de concentration en chlorophylle a sont identifiées :

La zone frontale (Salinité de 36,6 à 36,8 et 60 mg/m<sup>3</sup> de chlorophylle)

La zone côtière influencée par la MAW (S < 36,6 et la chlorophylle est inférieure à 25mg/m<sup>3</sup>)

La zone au large influencée par le SMW (S > 36.9 et Chl-a 11-50 mg/m<sup>2</sup>)

L'abondance la plus élevée des populations est associée à la zone frontale et la plus faible se trouve dans les stations du sud près des côtes et au niveau des stations de large dans les eaux oligotrophes, l'analyse des composantes principales de la distribution des espèces en fonction de l'hydrologie du site montre la présence de 3 assemblages de copépodes dans les eaux des côtes algériennes

Le premier groupe inclus 5 espèces avec un maximum d'abondance dans la zone frontale, les espèces rencontrées sont *Paracalanus parvus*, *Clausocalanus furcatus*, *C.arcuicornis*, *Mesocalanus teuicornis*, et *Eucalanus elongatus*, sont principalement herbivore

Le deuxième groupe inclus des espèces qui sont plus souvent rencontrés dans les stations côtières dans le MAW, les copépodes dans ce groupe sont néritiques tels que *Acartia clausi*, *Euterpina acutifrons*, *Oithona nana*, et *Temora stylifera*.

Le troisième groupe inclus 13 espèces avec une large distribution, parmi ces espèces *Scolecithricella dentata*, *S.vittata*, *Oncaea venusta*, *O.media*, *Oncaea spp*, *Microsetella rosea*, *Oithona helgolandica*, *Corycaeus ovalis*, *C.brehmi*, *Corycaeus spp.*, *Spinoclanus longicornis*, *Scolecithrix danae*, et *Clausocalanus spp*. Sont recordés relativement en nombre bas dans les 200 m supérieurs dans la zone côtière, frontal, et au large, la colonne d'eau profond (couche profonde de 200 à 500 m) est caractérisé par une faible abondance (0,60 à 4,17 ind/m<sup>3</sup>). La commuauté des copépodes dans les eaux de fond de la zone frontal est fortement différente de celle observés dans les eaux épipélagique.

Le premier groupe avec des espèces néritique et mésopélagique trouvés principalement près de front, est composé de *P.parvus*, *C.furcatus*, *C.arcuicornis*, *Clausocalanus spp.*, et *Oithona spp*.

Le deuxième groupe inclus des espèces rarement migrante par exemple : *Haloptilus longicornis* et *Lucicutia Clausi*, et preuve une maximum d'abondance dans les eaux côtières.

Le troisième groupe contient des espèces mesobatyplagique comme *Paraeuchaeta acuta*, *Euchirella messinensis*, et *Euchaeta marina* sont distribués dans les eaux côtière de MAW come dans les eaux de large de MSW, l'abondance maximal d'*Eucalanus monachus* est rencontrédans les stations cotiere et frontal, tandis que *Candacia bipinnata* était plus abondant les eaux subsurface prés de cote et, dans la zone frontal et dans les eaux de large de système de SMW.

### III.3.1. Le rapport entre les paramètres

Une étude par l'analyse des composantes principale (ACP) faite par Hafferssas et Seidji (2010) durant la Mediproduct VI a permis d'identifier la zone frontale et ses abondances élevées associées de copépode ( $> 800 \text{ Ind. /m}^3$ ) et les niveaux des biomasses zooplanctonique ( $> 20 \text{ mg/m}^3$ ) ; La population de zooplancton est principalement composée de petit copépodes herbivores (100-300 $\mu\text{m}$ ) tels que *P.parvus*, *C. arcuicornis*, *C. furcatus*, et *M. tenuicornis* qui sont des herbivores (Vidal et Smith 1986, Thibault et al, 1994, Pesant et al, 1998, Mariano et al, 2001, Guady et al, 2003).

Ces copépodes sont situés dans la zone productive entre la MAW et le SMW où le gradient de salinité était entre 36.6 et 36.8 (Seridji et Hafferssas 2000). Aucun rapport trouvé pour la distribution du zooplancton dans cette zone avec la salinité ou la température au cours de cette étude. De quelque manière l'assemblage de zooplancton est corrélé avec la concentration Chl-a dans les 100 m supérieur et avec le maximum profond de Chl enregistrés à 40-99 m. Cette couche est associée aux abondances élevées de diatomée (COF 1991). La distribution des taxa observés dans la zone frontael a résulté l'un ou l'autre de l'advection du plancton dans les masses d'eaux particulières (par exemple, le courant algérien et le MAW) ou, plus probablement, de l'établissement des populations dans des régions spécifiques.

La communauté côtière (*A.clausi*, *E. acutifrons*, *T. stylifera*, *O. Nana*) est liée au système de MAW. Ce secteur est fortement influencé par l'écoulement atlantique où la salinité de surface est  $< 36.6$  (COF 1991). L'assemblage montre :

- un rapport significatif avec des concentrations de Chl-a disponibles sur la surface
- une corrélation significative avec la biomasse collectée dans la fraction intermédiaire de taille (300-500  $\mu\text{m}$ ).

Selon beaucoup d'auteurs (Raimbault et al, 1993, Fuda et al, 2000, Seridji et Hafferssas 2000, Millot et Tapier Letage 2005), les processus hydrodynamiques, tels que les remous

cycloniques et anticycloniques qui produisent de petites remontées, augmentent la concentration de Chlorophylle dans la zone côtière de MAW. En conséquence, l'enrichissement nutritif a des effets significatifs sur les communautés côtières (Riandey et autres 2005). Les espèces peuvent se nourrir fortement sur des diatomées et des particules organiques (Razouls et al, 1998, Gaudy et Youssara 2003), et avaient lieu dans une période de reproduction active (Thibault et al, 1994) et de développement (Kiorboe et Sabatini 1995). Il n'y a pas une corrélation entre la communauté des copépodes et les caractéristiques hydrographiques observés. Ces espèces sont probablement influencées par d'autres facteurs comme les tourbillons (Millot et al, 1997 ; Salas 2003) qui semble avoir un effet sur la distribution côtière des espèces comme *Acartia* et *Oithona* (Maar et al, 2002). D'autre part, près des côtes espagnoles, *Temora stylifera* montre un rapport positif avec la température (Villate et al, 1997) avec un maximum de population qui coïncide avec les plus chaudes températures.

L'analyse multivariée a identifié une communauté composée d'individus de *S. dentata*, *S. vittata*, *O. médias*, *Oncaea sp*, *M. rosea*, *O. helgolandica*, *C. ovalis*, *C. brehmi*, *S. longicornis*, *S. danae*, et *Clausocalanus spp*. Ces espèces sont rencontrées avec des basses abondances dans les eaux oligotrophes (par exemple, la MAW côtière et le SMW en large) et dans la zone frontale, cela indique qu'elles pouvaient croiser un gradient haline horizontal situé de la MAW côtière au système de SMW de large (Raimbault et al, 1993).

Les études récentes sur la côte algérienne (Riandey et al, 2005) ont décrit quelques populations des genres d'*Oithona*, de *Spinocalanus*, et d'*Oncaea* dans des zones côtières et au large. La thermocline montre qu'il n'y a aucun rapport avec la distribution des copépodes dans la zone du large, d'autres facteurs que la température probablement jouent un rôle dans la détermination de profondeur où ce zooplancton se concentre (Sameoto 1986). En mer Méditerranée, toutes ces espèces ont un large de distributions de la surface à 2500 m (Scotto di Carlo et autres, 1991).

La diminution générale dans l'abondance de biomasse des copépodes avec la profondeur sont décrites sur la côte algérienne (Hafferssas 2004). Dans la couche plus profonde (200-500 m), 3 modèles ont été identifiés par une analyse statistique parmi les copépodes. Aucun rapport n'a été identifié entre ces tendances et les facteurs environnementaux. *P. Parvus*, *C. furcatus*, *C. arcuicornis*, *Clausocalanus spp*, *S. dentata*, *S. longicornis*, *Spinocalanus sp*, et *Oncaea sp*. Ils ont contribué majoritairement aux actions des autres communautés zooplanctoniques et sont généralement limités à la limite de la zone frontale.

La présence du *P. parvus* et du *C. furcatus* à la profondeur de 200-500 m peut être liée aux individus incapables de se maintenir dans la couche epipelagic (Sameoto, 1986). Ce type de distribution verticale est commun dans les organisations pélagiques ayant une longueur de 10 et 100  $\mu\text{m}$ .

Peu d'espèces de subsurface (*Haloptilus longicornis* et *Lucicutia clausi*) sont confinées dans la couche profonde des zones côtières. La comparaison avec d'autres régions méditerranéennes a prouvé que les populations de *H. longicornis* sont principalement présentes à 620-650 m en mer ionienne (Scotto di Carlo et al, 1991). En revanche, *L. curta* sont rare et très sporadique en mer Levantine (Scotto di Carlo et autres 1991), avec peu d'individus (0.001 Ind. / $\text{m}^3$ ) étant prélevés dans les 500 à 600 m. Des copépodes fortement migrateurs (*P. acuta*, *E. messinensis*, *E. marina*, *E. monachus*, et *C. bipinnata*) ne sont pas strictement associés à la couche profonde du système côtier de MAW, car ils sont également rencontrés dans les eaux epipelagic. Comme rapporté par Scotto di Carlo et al, (1984) en mer tyrrhénienne, ces espèces résident dans la couche de surface pendant la nuit. Dans les eaux algériennes, pendant l'été de 1997, des migrations verticales de zooplancton ont été limitées au taxa : *Pleurommama*, *Calocalanus*, *ostracods*, et des méduses (Riandley et al, 2005).

### III.3.2. Assemblages des Copépodes et leurs rapports avec les configurations hydrologiques et hydrodynamiques

Tout d'abord, les espèces de copépodes ont enregistré pendant la campagne de Mediproduct VI étaient déjà cités dans les eaux algériennes par d'autres auteurs (Scotto di Carlo et al, 1991, Riandley et autres 2005, Razouls et al, 2005-2008). Ils ont trouvés des assemblages des espèces organisés en réponse à la dynamique de la zone, dans lequel 2 systèmes oligotrophes de différentes origines et un système frontal se produisent.

Dans la zone frontale, les compositions quantitatives ont différencié de manière significative pour la MAW côtière et l'écosystème de SMW au large.

Dans le cas de la zone frontal de bassin algérien, cela fonctionne comme un écosystème spécial, (Seridji et Hafferssas 2000). Du point de vue de Legendre 1984, dans une zone d'activité biologique très élevée, la communauté des copépodes est dans des conditions de stress : l'environnement est perturbé et instable, menant à la prédominance (concentrations jusqu'à de 800 Ind. / $\text{m}^3$ ) des populations opportunistes du *P. parvus*, *C. arcuicornis*, *C. furcatus*, et *M. tenuicornis*.

Dans La mer d'Alboran, la distribution du *C. furcatus* est liée au front d'Almeria-Oran où les populations pourraient trouver les conditions de nourriture favorables (Youssara et Gaudy

2001). Dans ces régions, Thibault et al, (1994) et Gaudy et Youssara (2003) ont trouvé des abondances plus élevées de copépodes herbivores comparé aux eaux environnantes qui a montré un plus-carnivore ou un caractère détritivore.

Dans des zones côtières, les processus hydrodynamiques comme des remous cycloniques et anticyclonique génèrent des petites remontées d'eau (upwelling) qui mènent aux concentrations élevées de Chl dans la couche epipelagic (Millot et autres 1997).

Durant la Midiprod VI, la communauté côtière (*A.clausii*, *E.acutifrons*, *T. stylifera*, *O. Nana*) se nourri fortement des diatomées et dans une période de forte reproduction (Thibault et al, 1994). Le remous cyclonique trouvé dans la région côtière du bassin Algérien en été 1997 était très approprié à se nourrir par filtration (Riandey et al, 2005). Néanmoins, généralement pendant la campagne ELISA-1 (dans 1997), l'impact d'hydrodynamisme algérien sur les communautés de zooplancton n'a pas été observé.

En fait, des abondances faibles de zooplancton et des niveaux de biomasse ont été enregistrés dans les eaux côtières et néritiques. La période de prélèvement (été) est traditionnellement caractérisé par la plus basse biomasse de zooplancton dans la zone côtière de la mer Méditerranée occidentale (Champalbert 1996), aussi bien que dans les eaux océaniques du Golfe des lions (Razouls et Kouwenberg 1993). Au cours de l'hiver, le courant algérien montre peu d'influence sur la biomasse de zooplancton, mais les abondances élevées des organismes gélatineuses tels que salps et doliolids. Ainsi, les dispositifs de mesoechelle peuvent avoir un impact fort sur l'écosystème de bassin algérien, mais ceci dépend de leur qualité de dynamique intrinsèque, de leur position sur la côte algérienne, et de la saison (Riandley et al, 2005). Dans l'Atlantique nord-est en juillet 1996, les variations de la structure de zooplancton coïncidaient avec des changements de structure physique (front ou remous ou avec des concentrations de surface élevées de Chl (Rodriguez et Mullin 1986).

L'eau de mélange et la turbulence sont absentes de la zone offshore SMW du bassin algérien (Raimbault et al, 1993). Cette zone oligotrophe présente une faible abondance d'espèces. Une telle situation est semblable à ce qui se produit dans la couche de profondeur. La communauté de copépode a indiqué une forte présence des carnivores et des omnivores (*S.dentata*, *S. vittata*, *O. venusta*, *O.médias*, *O. helgolandica*, *C.ovalis*, *C. brehmi*, et *S. danae*). Ainsi, l'effet de la prédation était important. Les populations de Copépodes rencontrés dans la zone frontale d'Almeria-Oran montrent un comportement plus carnivore (Thibault et al, 1994). Les Copépodes doivent consommer beaucoup de sources de nourriture de non-phytoplancton pour répondre à leurs exigences alimentaires (Razouls et al, 1998). En effet, beaucoup d'espèces omnivores choisissent leur proie sur la base de leur taille plutôt que du type, ou change le type

de nourriture pendant que les individus se développent, par exemple, la plupart des prédateurs s'alimentent de temps en temps sur la matière organique morte, et quelques herbivores peuvent employer la proie animale dans certains cas (Valiela 1995 ; Morgado et al, 2008).

La présence d'espèces telles que le *P.parvus* et *C.furcatus* dans la couche mésopélagique est probablement liée à l'exportation d'une partie de la production secondaire à partir de la couche épipelagique de haut en bas dans la zone mésopélagique.

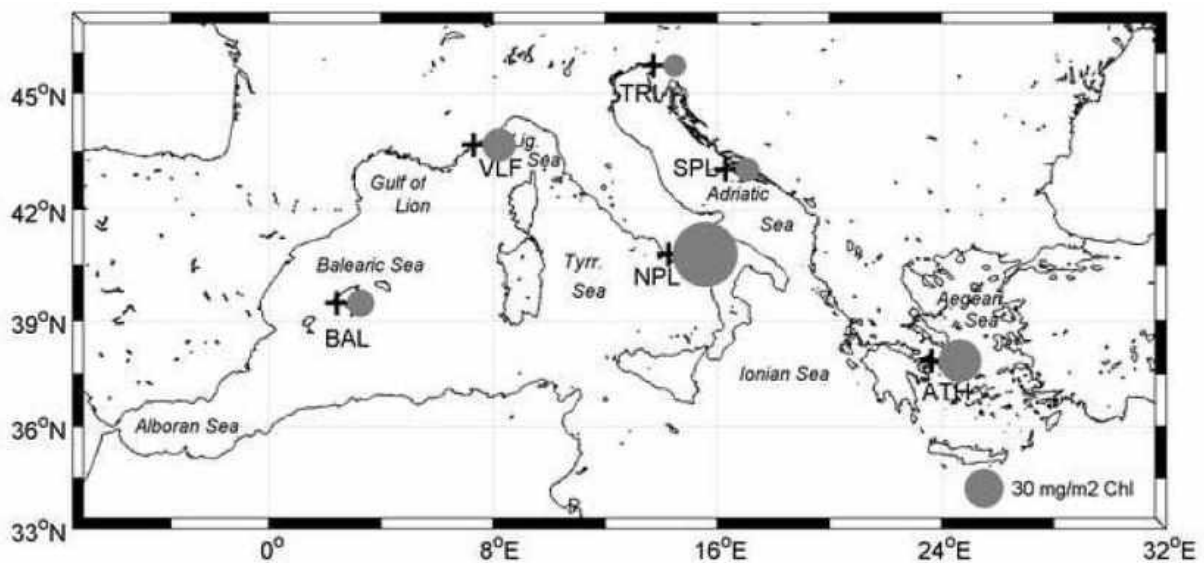
# ***CHAPITRE IV***

## IV. L'étude chronologique

### IV.1. Arrangement environnemental de série chronologique de zooplancton

On présente dans ce chapitre une comparaison entre six séries chronologiques de zooplancton de Méditerranée, c'est un récapitulatif faite de 1957 à 2006 par des groupes de scientifique qui ont focalisés sur les fluctuations majeures de zooplancton et son relation avec les variables environnementaux et climatiques

La location des stations de prélèvement est présentée dans la figure suivante :

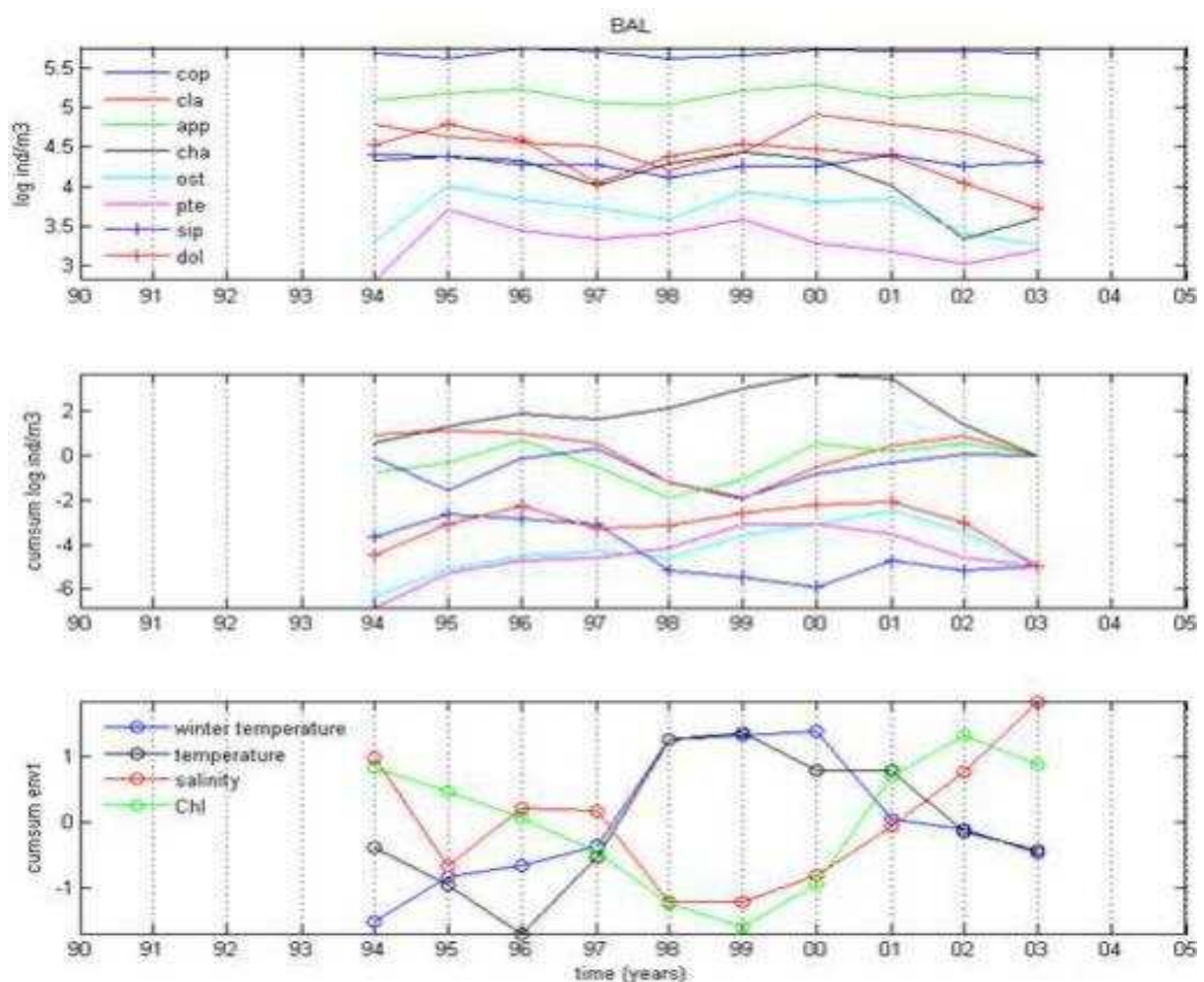


**Figure IV. 1.** Stations de prélèvement, (les codes des stations, et les noms géographiques principaux utilisés dans le texte).

#### IV.1.1. Les Baléare

La station Baléare (BAL) : se situe à 4,6 km de l'île de Majorque, à une profondeur de 77 m fortement influencé par le mélange des eaux de courant de Nord Méditerranéen et les eaux atlantique provient de sud. La température de surface la plus élevée est de 26,6°C enregistré au mois d'août tandis que le minimum est enregistré au mois de février avec 14,4°C. La variation de salinité est très irrégulière, est en relation avec les processus mésoéchelle des régions voisines et la variabilité des masses d'eaux. Des concentrations faibles en chlorophylle sont toujours enregistrées avec une moyenne annuelle de 0,28 mg/m<sup>3</sup>. Cette zone est caractérisée par une forte variabilité hydrographique et aussi une variabilité dans l'abondance des groupes zooplanctonique (copépodes, appendiculaires, cladocères, siphonophores, et doliolidis)

Dans cette zone les abondance élevées des copépodes est observés en 1996, 2000, 2001, 2002, tandis que les abondances faibles sont observés en 1994, 1995, 1997, 1998, et 1999, les cladocères et les siphonophores suivent le même modèle de distribution, contrairement aux chaetognathes et dolioidis qui montre une tendance de diminution toute la période. Les variables environnementale (T, S, chl) sont fortement corrélé : une forte température est associé avec une faible salinité et chl comme résultat de l'alternance des masses d'eaux, les années 1994, 1996, 2001, 2002, 2003 étaient froids et salines et riche en chlorophylle influencés par les eaux de méditerranée du nord, tandis que les années 1997, 1998, étaient chaud et pauvre en chlorophylle. La variation dans l'hydrologie était cohérente avec la variation de zooplancton, dans les années 1997 et 1998 (chaud et pauvre en chlorophylle).

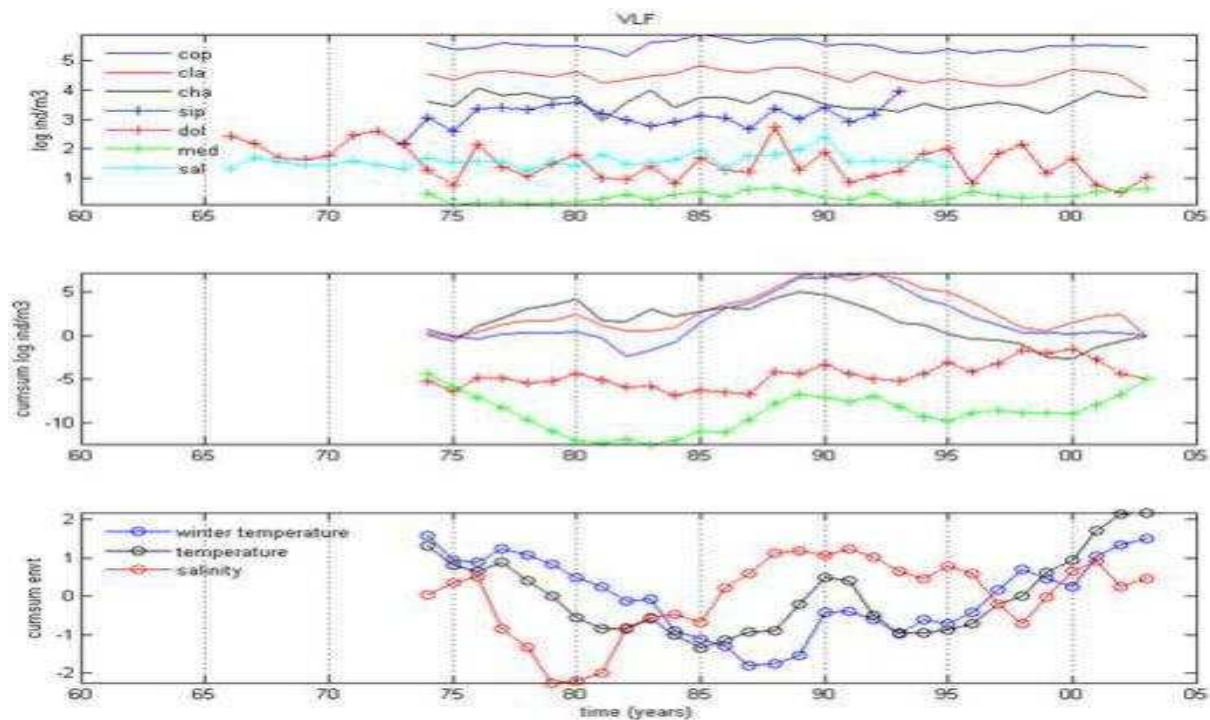


**Figure IV. 2.** Série chronologique de BAL de l'abondance moyenne annuelle pour les groupes disponibles, la somme cumulative des anomalies annuelles d'abondance, la somme cumulative d'anomalies de la température, la température d'hiver.

#### IV.1.2. La Villefranche sur mer

La station de Villefranche (VLF) est située 400 m au large de baie de Villefranche, à 80m sur un plateau continental étroit. Puisque la profondeur d'eau chute à 2000m à quelques kilomètres en mer, le site a marqué un caractère ouvert d'océan. La circulation de l'eau est dominée par le courant méditerranéen de Nord, et le climat hydrologique local est étroitement corrélé avec le NAO (North Atlantic Oscillation) (Molinero et al, 2005). Le maximum de la température d'eau de surface en août (24°C) et le minimal en février (13.2°C), alors que la concentration en chlorophylle s'échelonne de 0.3 à 0.5 mg/m<sup>3</sup>. Chl-a montre un cycle saisonnier clair, avec un bloom printanier marqué.

Dans cette zone quatre périodes de transition de l'abondance du zooplancton sont identifiées sur le diagramme de somme cumulative (1979, 1982, 1990 et 1999), avec une alternance entre l'abondance élevée (deux fois la basse abondance) et des abondances basses cohérentes pour des copépodes, des cladocères et des chaetognathes. Méduses sont moins abondant qu'avant 1980. Les Doliolids et les méduses sont plus abondants que la moyenne de 1984 à 1990. Après 2000, les méduses et les doliolides ont des tendances inverses. Les variables d'environnement montrent également quatre périodes distinctes : une période fraîche de 1974 à 1985 (1987 pour l'hiver), puis une période chaude de 1985 à 1990, se refroidissent alors jusqu'en 1993, chauffent alors encore depuis 1993. La somme cumulative de salinité suit approximativement la somme cumulative de zooplancton, avec des valeurs moyennes ci-dessus de 1980 à 1990. De 1990 à 2000, des eaux douces et plus frais ont coïncidé avec l'abondance inférieure de zooplancton.



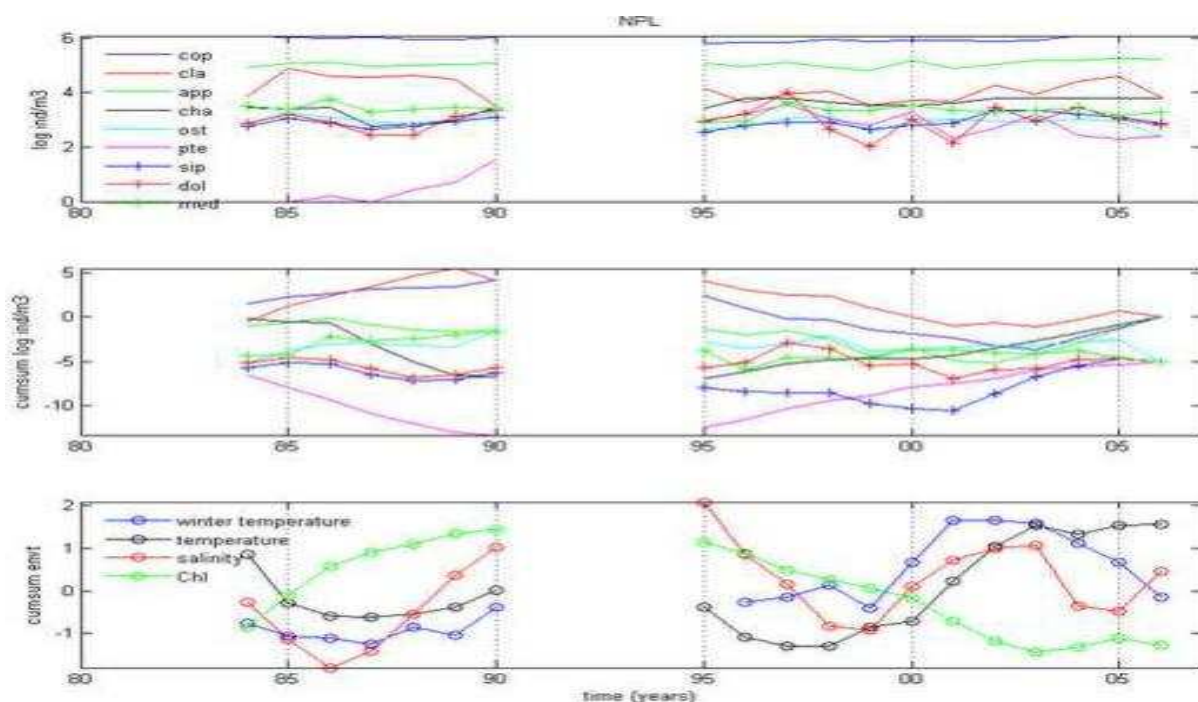
**Figure IV. 3.** Série chronologique de très basse fréquence de l'abondance moyenne annuelle pour les groupes disponibles, la somme cumulative des anomalies annuelles d'abondance, la somme cumulative d'anomalies de la température, la température d'hiver;

### IV.1.3. Naples

La station de MareChiara (NPL) est située 3.7 kilomètres de Naples, une ville très peuplé, près des isobath à 80 m, dans la région frontière entre les systèmes côtiers et les systèmes de large. La température de surface fait un maximum en août (25.7°C) et sa minimum en mars (14°C), Chl-a s'étend de 0.3 à 0.85 mg/m<sup>3</sup>, alors que la salinité de surface suit également un cycle saisonnier clair de 36.5 à 38. Les nutriments sont rarement épuisés (seulement en été), et les nutriments anthropiques sont potentiellement importants. Un cycle annuel très régulier des paramètres environnementaux et des espèces zooplanctoniques sont observés.

Dans le NPL (fig.4.4), les abondances moyennes des copépodes et des cladocères sont de 10 à 20% plus haut dans la première partie (1984-1990) que dans le deuxième parties (1995-2006) de la série chronologique, bien que la pente de la tendance soit inversée en 2002. Réciproquement, on a observé des abondances basses pour les chaetognathes et les ptéropodes. Les abondances sont demeurées basses et régulières pour les appendiculaires, les méduses et les doliolids, alors que les abondances de siphonophores sont au-dessous de moyenne jusqu'au 2001. La Chl-a était 80% plus haut dans la première période que dans la

deuxième, mettant en parallèle des abondances des copépodes et des cladocères. La salinité et la température ont eu un modèle commun de variation sauf pour les années récentes 2004-2006, avec la température plus élevée après 1999.



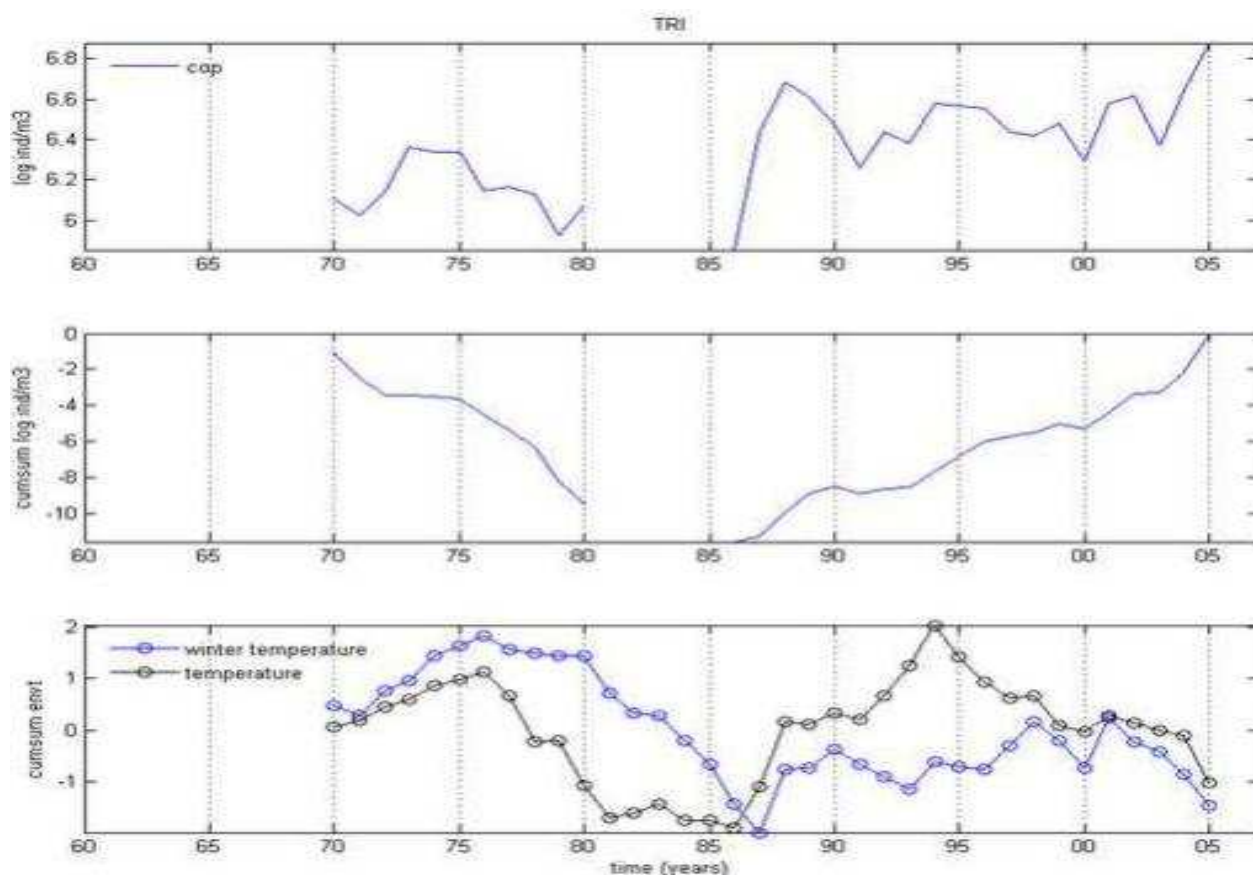
**Figure IV. 4.** Série chronologique de NPL de l'abondance moyenne annuelle pour les groupes disponibles, la somme cumulative des anomalies annuelles d'abondance, la somme cumulative d'anomalies de la température, la température d'hiver

#### IV.1.4. Golf de Trieste

La station C1 (TRI) dans le Golfe de Trieste est située 200 m du rivage, à 18 m de profondeur, dans un baie peu profond et partiellement fermé. L'hydrographie locale et la communauté planctonique montrent un caractère saisonnier remarquable, superposé avec une grande variabilité interannuelle (Cataletto et al, 1995), liée à l'écoulement de fleuve d'Isonzo, à la décharge nutritive anthropique, et à l'advection des masses adriatiques moyennes de l'eau (Cataletto et al, 1995, Kamburska et Fonda Umani 2006). La température de surface fait un maximum en août (24.5°C) et a son minimum en février (8.2°C). Les maximums d'écoulement causent des valeurs basses de salinité (en-dessous de 36), et le bloom de Chl-a est fortement variable. La gamme saisonnière étendue de la température de l'eau (8 - 24°C) est due au vent de Bora de NNE, qui refroidit et mélange la colonne d'eau peu profonde en hiver.

Dans TRI (fig .4.5), seulement les copépodes sont analysés. Pendant 1970-1980, l'abondance des copépodes était au-dessous de moyenne. Après la période de 1981-1985, l'abondance était

basse en 1986, suivi d'une augmentation de cinq fois en 1987. Après 1987, l'abondance est restée deux fois plus élevée qu'avant. La température moyenne, particulièrement d'hiver est fraîche de 1980-87, suivi d'une grande anomalie chaude qui a commencé en 1988 et duré par 1994 pour la température moyenne annuelle, alors que la température d'hiver était plus variable, de 1987-1988 les changements de la température (froides à chaudes) et de l'abondance de copépode sont synchrones.

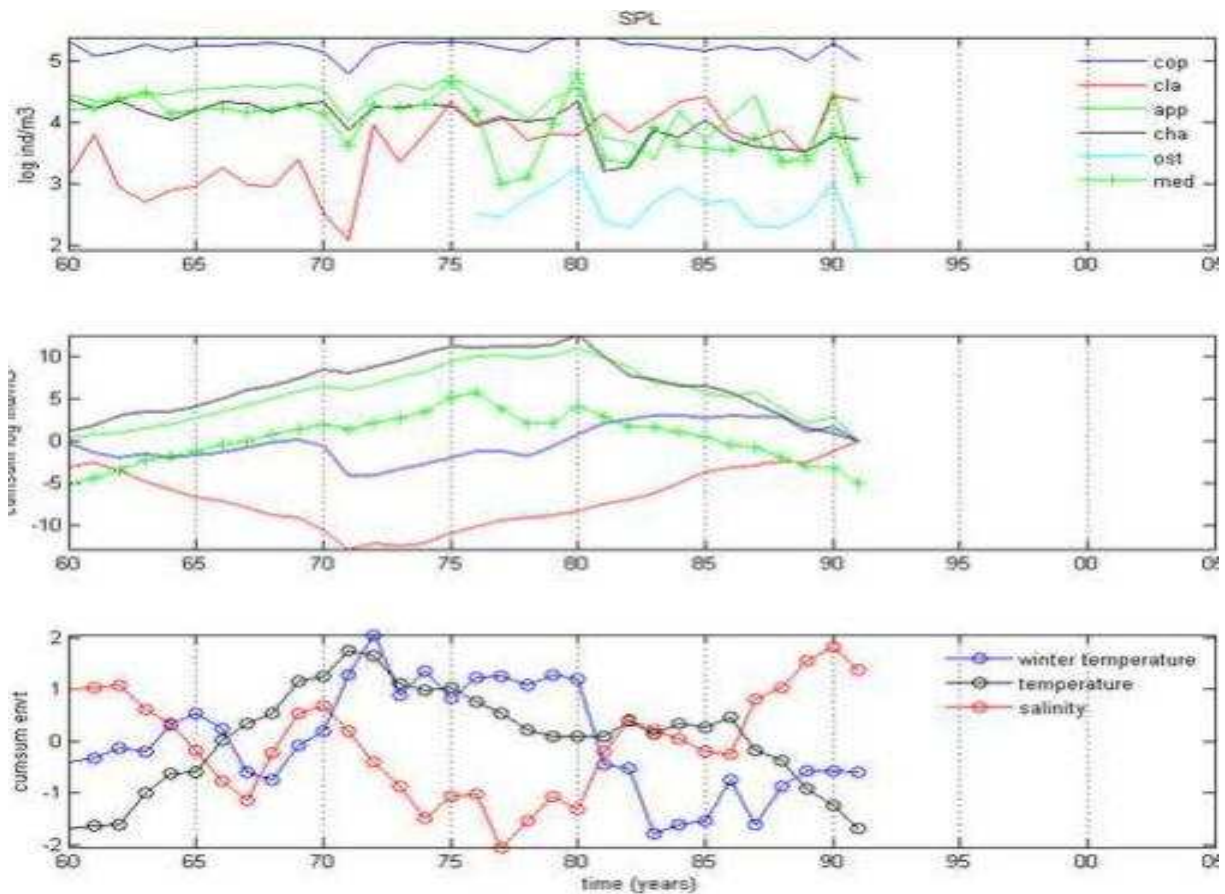


**Figure IV. 5.** TRI série chronologique de l'abondance moyenne annuelle pour les groupes disponibles, la somme cumulative des anomalies annuelles d'abondance, la somme cumulative d'anomalies de la température, la température d'hiver.

#### IV.1.5. Stončica

Station de prélèvement de Stončica (SPL) (Baranović et al, 1993, Šolić et al, 1997) est situé 3.7 kilomètres au large de l'île de Vis. La température de surface fait un maximum en août (23.8°C) et a son minimum en mars (13.4°C), alors que la chlorophylle ramenée à une moyenne varie d'environ 0.1 mg/m<sup>3</sup> en août à 0.22 mg/m<sup>3</sup> en février. Cette station est typique de l'Adriatique ouverte, fortement influencé par les masses d'eaux méditerranéennes (Zore-Armanda, 1963), connues sous le nom d'eau intermédiaire de Levantine ; LIW (Artegiani et al, 1993).

Dans la SPL (fig.4.6), l'année 1971 était particulière avec des faibles abondances pour tous les taxa. Plusieurs changements sont produits après 1980, avec des abondances qui se réduire de moitié pour chaetognathes, des méduses et d'appendiculaires, alors que l'abondance de cladocères augmentait à 5 fois depuis approximativement 1974. Chaetognathes, appendiculaires et méduses ont montré une variabilité plus élevée après 1980. À un peu de degré, l'abondance de copépodes a commencé à diminuer de 20% après 1983. La température annuelle était au-dessus de moyenne de 1960 à 1971, puis légèrement au-dessous de moyenne jusqu'en 1985, puis de température abandonnée après 1986, alors que la température d'hiver était plus variable. L'hiver 1971 était particulièrement chaud, alors que l'hiver 1981 et 1983 étaient particulièrement froid. Les fluctuations de salinité ont montré une tendance décroissante générale avant 1977 et une augmentation après.

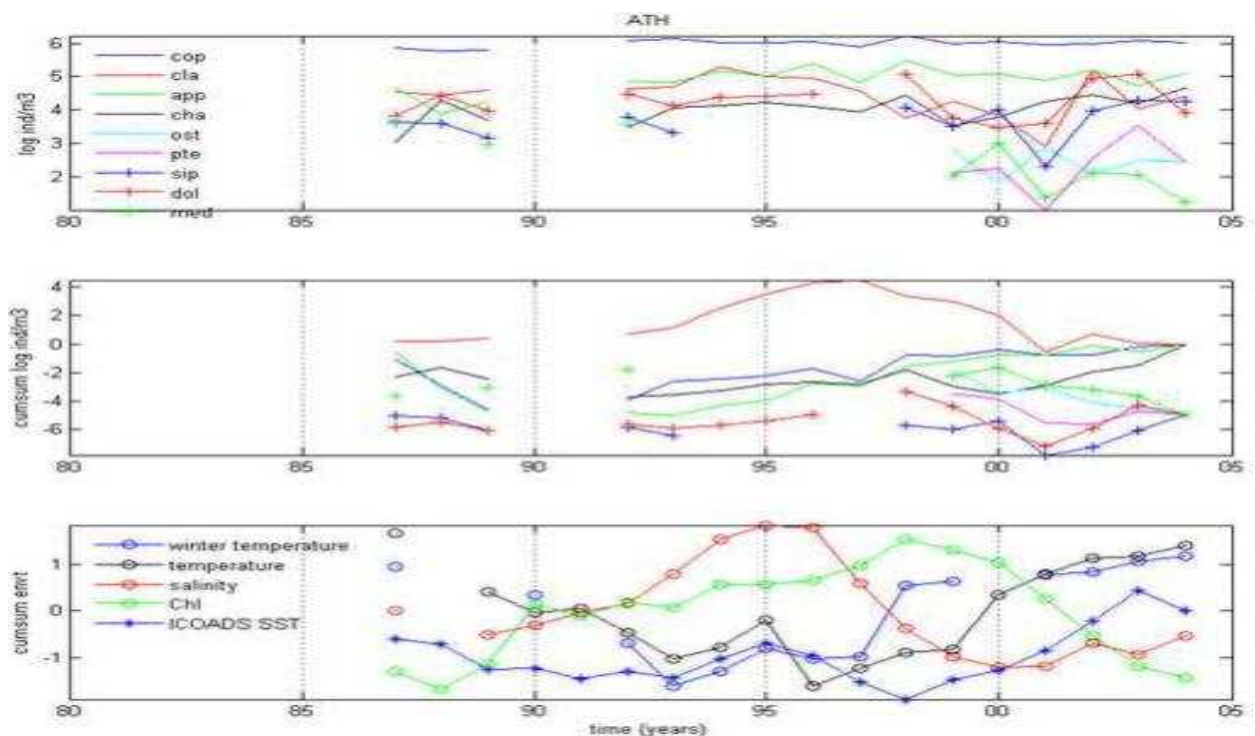


**Figure IV. 6.** Série chronologique de SPL de l'abondance moyenne annuelle pour les groupes disponibles, la somme cumulative des anomalies annuelles d'abondance, la somme cumulative d'anomalies de la température, la température d'hiver.

## IV.1.6. Athènes

La station S11 (ATH) dans le Golfe de Saronikos est située dans la zone intérieur oriental du Golfe, à 7 kilomètres des décharges d'eaux d'égout domestiques d'Athènes et à une profondeur de 78 m. Avant 1994, les eaux usées résiduaires étaient non traitées et disposées dans la surface de mer, tandis qu'après elles ont reçu le traitement primaire et ont été libérées à la profondeur de 60m, au-dessous du thermocline saisonnier. La température de surface fait un maximum en août (26.5°C) et est minimum en février (14.2°C). La salinité s'étend entre 38 et 39 selon la variabilité de l'apport de l'eau Egéenne (Kontoyiannis et al, 2005). En 2002, la zone a été classifié en tant que mésotrophique et avoir la bonne qualité de l'eau (Simboura et al, 2005).

Dans ATH (fig.4.7), les abondances des copépodes, des appendiculaires et des chaetognathes montrent une augmentation de deux à quatre fois au cours de la période, alors que les doliolids et les siphonophores ne montrent pas une tendance particulière. Réciproquement, les méduses ont diminué de 50% au cours de la période. Les Cladocères ont montré une augmentation de 7 fois 1987-94, puis a diminué jusqu'au 2000. Au cours de toute la période, la température était plus basse avant 1996 qu'après, et la concentration de Chl-a était plus haute avant 1998 qu'ensuite. La salinité était plus haute en 1990-1995 qu'en 1997-2001.



**Figure IV. 7.** Série chronologique d'ATH de l'abondance moyenne annuelle pour les groupes disponibles, la somme cumulative des anomalies annuelles d'abondance, la somme cumulative d'anomalies de la température, la température d'hiver

## VI.2. Discussion

### IV.2.1. Les Baléares

À BAL, la variabilité de zooplancton est dominée par l'alternance des masses d'eau, car la station est située dans un secteur de frontière entre les eaux méditerranéennes occidentales de nord et méridionales (Molinero, 2008). Les deux masses concurrencent dans la région : atlantique (frais, pauvre en nutriments) provient de sud, et méditerranéen de nord (salines, froides et riches en nutriment) provient de nord. La variabilité de zooplancton est liée au régime hydrographique, avec une abondance plus élevée des copépodes et d'appendiculaires quand les eaux méditerranéennes de nord ont régné dans la zone (Fernández de Puellas et al, 2007, 2009). Les années plus chaudes étaient ceux de la plus basse biomasse de zooplancton, liée à l'apport des eaux atlantiques moins salines et épuisées en nutriment. Mais les masses d'eaux et la variabilité de zooplancton sont également liées aux modèles de climat à large échelle. Les modèles de climat agissent par le règlement des conditions atmosphériques d'hiver, des nutriments, et de la production primaire, aussi bien que par la diffusion de l'eau méditerranéenne de nord (Fernández de Puellas et Molinero, 2007). Par conséquent les changements principaux observés de la région Baléare semblent être étroitement modulés par la large échelle forçant dans l'Atlantique nord.

### IV.2.2. Villefranche sur mer

Les études précédentes ont focalisés sur le rôle de l'augmentation de température et de la réponse des taxa gélatineux. De 1970 au 1980, suivant un réchauffement de la colonne d'eau et des conditions météorologiques plus calme, les modifications de l'abondance pour plusieurs taxa : siphonophores et méduses (Buecher et al, 1999), salpes et doliolids (Braconnot et al, 1990), la communauté entière de zooplancton (Licandro et Ibanez 2000). Ménard et al (1994, 1997) ont rapporté une augmentation constante dans les salps et les doliolids de 1967 au 1980, suivi d'un niveau stable jusqu'en 1990. Molinero et al, (2005) ont observé une baisse brusque en 1987 des copépodes et des espèces synchrones de chaetognathes à une augmentation des prédateurs gélatineux (méduse, siphonophores, cténophores), et propose une hypothèse de top down.

Les années (1974-2003) incluses dans cette analyse, ne dépeignent pas ce comportement opposé des copépodes et des chaetognathes contre des espèces gélatineuses, mais montrent une alternance des abondances élevée et basses à travers plusieurs groupes (copépodes, cladocères, chaetognathes, méduses). Le changement principal en 1990 était delà plus élevé à

la basse abondance, coïncidant avec un décalage vers des eaux douces plus fraîches. Une augmentation des zooplanctons gélatineux tels que des salps, des méduses et des doliolids est liée à un climat plus chaud et plus sec dans les années 80 (particulièrement 1985-1990) que dans les années 1970. Cependant, cette hypothèse (plus chaud et plus sec) ne peut pas expliquer l'abondance la plus élevée des copépodes, des cladocères et des chaetognaths observés ici de 1983 au début des années 90. On présume que les changements synchrones à travers les groupes taxonomiques résultent des variations du phytoplancton et de la biomasse microbienne propageant par la chaîne trophique et bénéficiant pour plusieurs groupes taxonomiques. Cette hypothèse de bottom-up est proposée par Garcia Comas et al, qui a rapporté des fluctuations cohérentes entre les conditions ambiantes locales et les groupes taxonomiques. Une abondance plus élevée pu également résulter du changement de la composition des masses d'eau.

#### IV.2.3. Naples

La variabilité principale au NPL est une diminution en concentration de chlorophylle, et de l'abondance en copépodes et cladocères dès le début à la deuxième partie de la série chronologique et à une augmentation des ptéropodes et de la population de chaetognaths. La diminution de Chl-a, copépodes et de cladocères peuvent être interprétés par le contrôle de type bottom-up de, avec une diminution de copépodes essentiellement conduite par les juvéniles moins abondants. Alternativement, les chaetognaths pu également exercer ce type de contrôle sur les copépodes et les cladocères. Pendant que la station de NPL est sujette à un apport anthropiques riches en nutriment (Mazzocchi et Ribera d' Alcalà, 1995), les fluctuations dans l'abondance autotrophe peuvent être en partie indépendant des fluctuations nutritives normales modéré par le mélange hivernal. Ribera d' Alcalà et al, (2004) rapporté une tendance décroissante de biomasse autotrophe au cours de la période 1984-2000, aussi bien qu'une réduction de la taille moyenne des cellules phytoplanctoniques s'est probablement rapporté aux changements de la contribution de différents groupes phytoplanctoniques. Bien qu'il soit plausible que la composition en espèces de zooplancton (copépodes) est affectée par des changements de phytoplancton. L'augmentation dans la température, la variabilité dans les échanges entre les eaux côtières et les eaux de large et dans l'influence anthropique représenter probablement les facteurs explicatifs en affectant la variabilité de plancton dans le Golfe intérieur de Naples.

#### IV.2.4. Trieste

TRI a montré le changement le plus brusque de l'abondance des copépodes. Au cours de la période, le réchauffement, la circulation et les changements d'apport d'éléments nutritifs sont également produits. Après 1986, l'abondance de copépodes a doublé. Après une période des hivers froids (1981-1987), la température de 1987 était chaude, et l'hiver 1988 était aussi très chaud. Mozetic et al, (2002) a noté des grands changements de température (plus chaud) et aussi dans les copépodes (plus abondant) avant 1981-1985. On a observé des assemblages distincts d'espèces avec des copépodes de petite taille plus abondants, de nouvelles espèces de copépodes (*Diaixis pygmoea*). Et pour cela Kamburska et Fonda-Umani (2006) ont suggéré une diminution d'apport nutritive, une réduction de la taille moyenne de phytoplancton, et injections plus fréquentes des eaux intermédiaires modifiées de Levantine (LIW). Conversi et al, (2009) appelé à une tendance de réchauffement, un changement de régime de précipitation et de vent et un changement de la circulation de surface de l'Adriatique. Pour récapituler, les changements de la communauté des copépodes résultent non seulement de la circulation courte et brusque et probablement de l'événement climatique de 1987 mais également d'un réchauffement plus progressif et des changements trophiques. La soudaineté du changement est probablement amplifiée par l'emplacement très peu profond de prélèvement, le flux d'eau douce fortement variable, et l'endroit (au Nord) du Golfe de Trieste, qui lui fait un écosystème très sensible comparé à d'autres sites. De ces données, seulement la température d'automne a montré une tendance positive et significative de 1970-2005. Une corrélation positive de l'abondance de copépodes avec la température est probablement liée aux nouvelles masses d'eau plus chaude comme suggéré par Kamburska et Fonda Umani (2006). Bien que le forçage atmosphérique puisse contribuer aux changements,

#### IV.2.5. Stončica

Dans la SPL, des changements de la production primaire, de la communauté phytoplanctonique et zooplanctonique est liés aux changements des masses d'eaux. L'augmentation des cladocères et la diminution des chaetognathes, des méduses et d'appendiculaires sont précédemment détectés au cours de la période 1960-1982, avec une tendance d'augmentation de production primaire (Vučetić 1980, Marasović et al, 1995, 2005), de phytoplancton et des bactéries, et oscillations avec des périodicités de 8 et 10 ans de salinité et de température (Vučetić 1980, Baranović et al, 1992, 1993, Šolić et al, 1997). On peut proposer plusieurs hypothèses pour expliquer ces fluctuations. La production primaire accrue plus de 1960-1991, d'abord attribué à l'eutrophisation écartant de la côte (Baranović et

autres 1993, Šolić et autres 1997), est récemment liée à l'apport de l'eau méditerranéenne dans la zone (Marasović et al, 1995, 2005). L'afflux méditerranéen est dans la tendance croissante de salinité. Ce changement des masses d'eaux pu également changé la composition en communauté de zooplancton. Une proportion des petits phytoplanctons (coccolithophorids) à Stončica après 1974 (de 50% à 80%, Šolić et al, 1997) pourrait favoriser des cladocères, et des appendiculaires de défaveur par la concurrence accrue avec des cladocères (Sommer et Sommer, 2006). La diminution des chaetognathes pourrait être attribuée au refroidissement (Baranović et al, 1992) et à une prédation plus élevée par de petits poissons pélagiques (Batistić et al, 1997). Les températures extrêmes saisonnière semblent également joue un rôle: en particulier l'hiver froid de 1981 et de 1983 a eu des abondances très basse de chaetognathes et des méduses. Réciproquement, l'hiver chaud de 1971 a eu l'abondance très basse pour tous les groupes taxonomiques. Par conséquent le zooplancton de SPL semble affecté par l'augmentation à long terme de la productivité et des événements à court terme.

#### IV.2.6. Athènes

Dans ATH, les grands changements de zooplancton semblent liés aux changements des apports nutritifs anthropiques mais également aux effets climatiques. Au cours de la période 1987-2004, les copépodes, les appendiculaires et les chaetognathes ont augmentés de deux à quatre fois, en parallèle jusqu'à la totale abondance de mésozooplancton et de la biomasse dans la zone (Siokou-Frangou et al., 2007), alors que les méduses diminuaient de 50%. Le Chl-a a diminué après 1998, alors que la température augmentait après 1995. Un facteur pour expliquer ces changements est l'apport nutritif anthropique. Dans la période d'étude les apports nutritifs ont augmenté en raison de l'augmentation du volume de sortie d'eaux d'égout (Siokou-Frangou et al., 2007), mais la profondeur de la décharge a été déplacée à 60m après 1994 (Siokou-Frangou et al, 2007). Après 1994 les nutriments étaient donc moins disponibles pour la croissance de phytoplancton de la couche de surface.

En outre, en profondeur, la disponibilité du carbone organique dissous et des nutriments près des décharges d'eaux d'égouts favorise la production bactérienne que la production primaire par les ciliatés (Saridou et al, 2009). Ainsi les copépodes et les appendiculaires pu se nourrir des organismes microbiens en profondeur après 1994. Indépendamment de la réduction nutritive en surface après 1994, la diminution de la chlorophylle pourrait également résulter de l'abondance intensifiée des mésozooplanctons herbivores sur la quantité inférieure de phytoplancton, ou des changements des groupes de phytoplancton et/ou de la composition en taille comme observée dans NPL.

# ***CONCLUSION***

### Conclusion

Pour toute la méditerranée, il existe un gradient général de l'ouest vers l'est dans la productivité et l'abondance du zooplancton, mais il est largement dominé par un autre gradient côte-large. L'influence anthropique est aussi non négligeable, la variation locale de zooplancton ne peut être expliquée par un ou deux facteurs.

Dans une mer très large et diversifiée comme la Méditerranée, pour comprendre la relation climat-hydrologie-zooplancton, il est nécessaire de développer des études à long terme pour expliquer les liens entre la large variabilité du climat et l'hydrologie locale qui influence directement le zooplancton.

La distribution spatiale des espèces dominantes semble être dépendante de la salinité, de la température, des concentrations en chlorophylle a et de leur capacité de prédation.

Cependant, l'étude de la variabilité spatio-temporelle serait certainement nécessaire pour préciser ces rapports et pour déterminer leur importance dans le cadre d'une variation saisonnière visant la structure et la diversité de la communauté phytoplanctonique et zooplanctonique.

L'étude de la distribution spatio-temporelle de la communauté zooplanctonique en relation avec les facteurs environnementaux a montré l'existence d'une relation entre ces peuplements planctoniques et la structure hydrographique de la colonne d'eau et la variation de ces facteurs environnementaux.

Etant donné le manque des données sur l'ensemble du littoral algérien et la difficulté de faire une comparaison entre les différentes études parce qu'il n'y a pas d'homogénéité dans la stratégie de prélèvement et d'analyse de données, de plus il n'y a pas de suivi à long terme sur la distribution de zooplancton (tous les travaux précédents se concentrent plus sur l'étude qualitative et quantitative où il n'y a pas aucune étude de corrélation avec les facteurs environnementaux), Nous proposons les perspectives suivantes:

- ✓ Une étude plus approfondie sur les communautés zooplanctoniques présente sur l'ensemble du littoral algérien.
- ✓ Faire un suivi de la variabilité des différents groupes taxonomiques de population de zooplancton en fonction du changement du climat (étude à long terme).
- ✓ Mettre en place un suivi à long terme sur des sites d'observations choisis pour étudier la variabilité des communautés zooplanctoniques en fonction des paramètres du milieu.

## Conclusion

---

- ✓ Suivre la même stratégie de prélèvement, avec une fréquence adéquat (au moins mensuellement) et la même méthode d'analyse qualitative et quantitative.
- ✓ Etude de corrélation entre la distribution des communautés zooplanctoniques et les facteurs environnementaux.
- ✓ La construction d'une banque de donnée qui sera utile pour réaliser une modélisation de communauté zooplanctonique au niveau du littoral algérien, mettant en évidence les différentes relations écologiques entre les différents groupes phyto et zooplanctoniques.
- ✓ L'analyse du flux de transfert de la matière et de l'énergie entre les compartiments planctoniques étudiés (phytoplancton et zooplancton) par des expériences de broutage menées au laboratoire.
- ✓ La réalisation d'un répertoire d'espèces phyto-zooplanctoniques autochtones d'origine méditerranéenne et allochtones d'origine atlantique en mettant l'accent sur les espèces invasives.

La connaissance des variabilités dans la composition des population de zooplancton est nécessaire aux chercheurs pour prévoir la restructuration des écosystèmes marins dans l'avenir. Cette prévision ne sera évidemment pas précise, toutefois elle fournira une base de discussion aux communautés scientifiques et permettre de prendre les décisions qui s'imposent en termes de protection de l'environnement.

***REFERENCES***  
***BIBLIOGRAPHIQUES***

## Références bibliographiques

---

**AIT HAMOUDA.I**, (2002), contribution à l'étude faunistique du zooplancton de la baie de Bousmail, mémoire d'ingénieur, ENSSMAL.

**ANDERSEN .V. & PRIEUR. L**, 2000, one-month study in the open NW Mediterranean Sea (DYNAPROC experiment, May 1995): overview of the hydrobiogeochemical structures and effects of wind events. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 47, 397-422.

**AUGER.P.A**, (2011), Modélisation des écosystèmes planctoniques pélagiques en Méditerranée nord-occidentale ; Impact des eaux du Rhône à l'échelle du plateau du golfe du Lion et variabilité interannuelle à décennale au large, thèse de doctorat, université du Toulouse.

**Beaugrand.G**, (2003), Long-term changes in copepod abundance and diversity in the north-east Atlantic in relation to fluctuations in the hydro-climatic environment. Fisheries Oceanography, 12 : 270-283.

**BEAUGRAND.G, REID.P.C, IBANEZ.F, LINDLEY.A, EDWARDS.M**, (2002). Reorganization of North Atlantic Marine Copepod Biodiversity and Climate. Science, 296, 1692-4

**BEAUGRAND.G, BRANDER.K.M, LINDLEY.J.A, SOUSSLIS, REID.P.C**, (2003). Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. Nature, 426, 1939-1956

**BENZOHRA.M.**, (1993), Les structures hydrodynamiques le long des côtes Algériennes. Centre d'Océanologie de Marseille, 33 p.

**BENZOHRA .M. & MILLOT. C**, 1995B, Hydrodynamics of an open sea Algerian Eddy, Deep Sea Research Part I 42, 1831-1847.

**BERLINE.L, SIOKOU-FRANGOU. I, MARASOVIĆ. I, VIDJAK.O, FERNÁNDEZ DEPUELLES.M.L, MAZZOCCHI.M.G, ASSIMAKOPOULOU.G, ZERVOUDAKLS, UMANLS.F, CONVERSLA, COMAS. C.G, IBANEZ. F, GASPARINI. S, STEMMANN. L, GORSKY G**, (2008), Intercomparison of six Mediterranean zooplankton time series, Laboratoire d'Océanographie de Villefranche (LOV), 44P

**BÉTHOUX. J. P**, 1980, Mean water fluxes across sections in the Mediterranean sea, evaluated on the basis of water and salt budgets and of observed salinities. Oceanologica Acta 3, 79-88.

**CASANOVA.J.P**, (1966), Pêches planctoniques, superficielles et profondes, en Méditerranée occidentale (Campagne de la « Thalassa » - janvier 1961 - entre les îles Baléares, la Sardaigne et l'Algérois) VII. - Thaliacés. - Ibid., 3'0 (4) : 385-390.

**CASANOVA.J.P**, (1970), essai de classement bathymétrique des formes zooplanctoniques en méditerranée, Rev. Trav. Inst. Pêches marit.. 31 (1). p. 45-58,

## Références bibliographiques

---

**CASANOVA.J.P.**(1964), Pêches planctoniques, superficielles et profondes, en Méditerranée occidentale (Campagne de la « Thalassa » - janvier 1961 - entre les îles Baléares, la Sardaigne et l'Algérois) V. - Cladocères. — Rev. Trav Inst. Pêches marit., 28 (3) : 265-270.

**COTTE.C.** (2009), influence des processus mesoechelle sur la distribution et les mouvements des prédateurs marins supérieurs : le cas des cétacés en méditerranée occidentale et des manchots royaux de Crozet, thèse de doctorat, université de Marseille. 269p.

**DALLOT.S, HAAFFERSSAS.A, SERIDJI.R.** (2009), mesozooplankton abundance and biomass related to hydrological structure along the Algerian coasts (S.W.MEDITERRANEAN SEA), Crustaceana international journal of crustacean research. volume 83-novembre 2010- part 11.

**DRIRA.Z.** (2009), Contribution à la compréhension du fonctionnement du Golfe de Gabès: Etude des caractéristiques dynamiques et structurales des communautés phytozooplanctoniques en relation avec la variabilité environnementale et les caractéristiques hydrographiques des zones côtières et océaniques, thèse doctorat, université de Sfax faculté des sciences de Sfax 126p.

**FURNESTIN.J, ALLAIN.CH.** (1962) Nouvelles observations sur l'hydrologie de la Méditerranée occidentale (entre Alger et le 40<sup>e</sup> parallèle), Campagne de la « Thalassa ». hiver 1961. Ibid., 26 (3) : 309-317.

**FURNESTIN.J, ALLAIN CH.** (1962), Hydrologie de la Méditerranée occidentale au nord du 42<sup>e</sup> parallèle en automne 1958 (Campagne du « Président-Théodorc-Tissier », 27 septembre au 18 octobre 1958). Rev. Trav. Inst. Pêches marit, 26 (2): 133-162.

**FURNESTIN.M.L.** (1958), Observations sur quelques échantillons de plancton du détroit de Gibraltar et de la Mer d'Alboran, Comm. Int. Explor. sci. Mer Médit., Rapp.et P. V.,p.179-183.

**FURNESTIN.M.L.** 1962, Pêches planctoniques, superficielles et profondes, en Méditerranée occidentale (campagne de la « Thalassa » - janvier 1961 - entre les îles Baléares, la Sardaigne et l'Algérois) III. Les Chaetognathes. Ibid., 26 (3) : 357-368.

**GANNIER. A. & PRACA. E.** 2007, SST fronts and the summer sperm whale distribution in the north-west Mediterranean Sea. Journal of Marine Biology Association UK 87, 345–352.

**GORSKY. G, PRIEUR .L, TAUPIER-LETAGE. I, STEMMANN. L, & PICHERAL. M.** 2002. Large particulate matter (LPM) in the western Mediterranean I. LPM distribution related to hydrodynamics. Journal of Marine Systems 33-34, 274-289.

**Guy. J.** (2006), écologie du plancton, TEC & DOC, 283p.

**HAAFFERSSAS.A, SERIDJI, R.** (2009), relation between the hydrodynamics and changes in copepod structure on the Algerian Coast, zoological studies 49 (3): 353-366 (2010).

## Références bibliographiques

---

**HAFFESSAS. A, SERIDJI. R,** (2010), Zooplankton abundance and community structure off the Algerian coast and affinities with Atlantic fauna, Joint ICES/CIESM Workshop- Zooplankton Ecology and Methodologie. NO.300 FEBRUARY 2010.

**HARRIS.R.P, WIEBE.P.H., LENZ.J, SKJODAL.H.R, HUNTLEY.M,** (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 and Evolution, 20 No.6

**KERZABI.F,** (2004), contribution à l'étude des variations des populations mesozooplanctonique (> 500 µm) du bassin algérien, mémoire de magistère, ENSSMAL.

**LÉVESQUE.S,** (2008), Structure spatio-temporelle du zooplancton lacustre: contribution des courants, de la prédation et des ressources, thèse du doctorat, université du QUEBEC, 174p.

**LEVINSEN.H., NIELSEN.T.G,** (2002). The trophic role of marine pelagic ciliates and heterotrophic dinoflagellates in Arctic and temperate coastal ecosystems : a cross-latitude comparison. Limnology and Oceanography 47 (2), 427-439

**MAZZA.J,**1962,Pêches planctoniques, superficielles et profondes, en Méditerranée occidentale (campagne de la « Thalassa » - janvier 1961 - entre les îles Baléares, la Sardaigne et l'Algérois) II. Copépodes. Rev. Trav. Inst. Pêches marit.. 26 (3): 329-356.

**MILLOT.C, TAUPIER-LETAGE.I,**2005. Circulation in the Mediterranean Sea. The Mediterranean Sea: the handbook of environmental chemistry. Volume 5: water pollution. Salot A. (ed). Springer-Verlag, N.Y. pp. 1-30

**MOLINERO.J.C, IBANEZ.F, SOUISSI.S, BOSC.E, NIVAL.P,** (2007). Surface patterns of zooplankton spatial variability detected by high frequency sampling in the NW Mediterranean. Role of density fronts. Journal of Marine Systems 69, 271-282.

**PULLAT .I,** 2000, Etude des tourbillons de moyenne échelle du bassin algérien et de leurs conséquences biologiques. Thèse de doctorat, Université de la Méditerranée.

**RAMPAL.J,** (1966), Pêches planctoniques, superficielles et profondes, en Méditerranée occidentale (campagne de la « Thalassa » janvier 1961 entre les îles Baléares, la Sardaigne et l'Algérois) VI. Ptéropodes. Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 30 (4) : 375-383.

**Razouls.C,** Kouwenberg.F, Desreumaux.N, (2005-2008), Diversité et répartition géographique chez les Copépodes planctoniques marins.

**RIANDEY .V, CHAMPALBERT .G, CARLOTTI. F, TAUPIER-LETAGE. I. & THIBAUT-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.

## Références bibliographiques

---

**RIBERA D'ALCALA. M, CONVERSANO. F, CORATO. F, LICANDRO. P, MANGONI. O, MARINO. D, MAZZOCCHI. M.G, MODIGH. M, MONTRESOR. M, NARDELLA. M, SAGGIOMO. V, SARNO. D, ZINGONE. A,** 2003. Seasonal patterns in plankton communities in a pluriannual time series at a coastal Mediterranean site (Gulf of Naples): an attempt to discern recurrences and trends. *Scientia Marina* 67 (Suppl. 3), 65-83.

**ROSE. M, TREGOBUBOFF. G,** (1957), manuel de planctologie méditerranéenne, tome I, centre national de recherche scientifique, p16-18.

**ROSSI.N,** (2008), Ecologie des communautés planctoniques méditerranéennes et étude des métaux lourds (Cuivre, Plomb, Cadmium) dans différents compartiments de deux écosystèmes côtiers (Toulon, France), thèse de doctorat, université du SUD TOULON-VAR. 286p

**SOENEN.M,** (1969), Contribution à l'étude du zooplancton superficiel et profond du bassin sud-occidental méditerranéen. Thèse 3ème cycle, Univ. Aix-Marseille.

**STEMMANN.L, PRIEUR .L, LEGENDRE. L., TAUPIER-LETAGE. I, PICHERAL. M, GUIDI. L, & GORSKY. G,** 2007, Effects of frontal processes on marine aggregate dynamics and fluxes : an interannual study in a permanent geostrophic front NW Mediterranean. *Journal of Marine Systems* 70, 1-20

**TAUPIER-LETAGE.I, PULLATI.I, MILLOT.C, RAIMBAULT.P,** (2003), Biological response to mesoscale eddies in the algerian basin. *journal of geophysical research* 108:3245.

**YOUSARA.F, GAUDY.R,** (2001), Variations of zooplankton in the frontal area of the Alboran Sea (Mediterranean Sea) in winter 1997. *Oceanologica Acta* 24 (4), 361–376.