



## ***THESE***

Présentée à la Faculté des Sciences de Sfax

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE SFAX**

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE**

### **Discipline :**

*Sciences Biologiques (Tunisie)*

*Sciences de la Vie et de l'Environnement (France)*

Présentée et soutenue publiquement

par

**Zaher DRIRA**

**Le 5 Mars 2009**

---

***Contribution à la compréhension du fonctionnement du Golfe de Gabès:  
Etude des caractéristiques dynamiques et structurales des communautés  
phyto-zooplanktoniques en relation avec la variabilité environnementale et  
les caractéristiques hydrographiques des zones côtières et océaniques***

---

Président	: Mr. MAALEJ Sami	HDR. Maître de Conférences Université de Sfax (Tunisie)
Rapporteurs	: Mr. DENIS Michel	Dr. de Recherche Université de la Méditerranée II (France)
	Mme. SAKKA-HLAILI Asma	HDR. Maître de Conférences Université de Bizerte (Tunisie)
Examineurs	: Mr. GREGORI Gérald	Chargé de Recherche Université de la Méditerranée II (France)
	: Mr. SAMMARI Chérif	Pr. INSTM Salammbô (Tunisie)
Encadrants	: Mr. AYADI Habib	D.E. Maître de Conférences Université de Sfax (Tunisie)
	Mr. ALEYA Lotfi	Pr. Université de Franche-Comté (France)

## DEDICACES

*A*

*Mon père **Nourredine** & ma mère **Najet***

*Trouvez ici l'expression de mon profond amour pour votre soutien  
moral et matériel. Que Dieu vous donne santé et bonheur*

*Mes frères **Imed, Nejah, Nizar** et leur femme **Wafa, Leila, Ines***

*Mes sœurs **Leila, Neila** et leur mari **Lotfi et Hatem***

*Toute la famille **DRIRA** & **BEN AMEUR***

*En témoignage de reconnaissance, de gratitude et d'aide  
inestimables et pour leurs sacrifices tant morale que matériel*

## REMERCIEMENTS

*Il est généralement peu fréquent, lors du passage difficile de la rédaction d'une thèse, de commencer véritablement son écriture par la page de remerciements. Bien que celle-ci soit la première page à être lue, elle est souvent celle que l'on écrit en dernier, symbole probable de l'accomplissement et de la clôture d'un travail de plusieurs années.*

*Tout d'abord je vaudrais adresser mes remerciements aux personnes qui ont initié ce pionnier travail de recherche océanographique dans le Golfe de Gabes. Particulièrement à Mr **SAMMARI Chérif**, Mme **BEL HASSEN-ABID Malika** et Mme **HAMZA Asma** Co-responsables du Projet POEMM (Planktonic and Oceanographic Ecosystem Monitoring and Management). Ce travail est le fruit d'une large collaboration scientifique entre institutions nationales et internationales, à savoir l'Institut National des Sciences et Technologie de la Mer, la Faculté des Sciences de Sfax et l'Université de Franche-Comté . Que ces honorables institutions soient remerciées de m'avoir permis de réaliser ce travail dans les meilleures conditions.*

*Que Mr **BOUAÏN Abderrahmen**, Professeur à la Faculté des Sciences de Sfax & responsable de l'Unité de Recherche UR/05ES05 Biodiversité et Ecosystèmes Aquatiques, trouve ici l'expression de ma profonde gratitude d'être mon directeur de thèse. Votre rigueur, votre savoir et votre talent pédagogique m'ont toujours impressionnés. Il n'a pas cessé de m'encourager moralement et matériellement. Je vous dois mon profond respect et ma sincère gratitude.*

*J'exprime aussi ma profonde gratitude au Professeur **SAMMARI Cherif**, Directeur du Laboratoire du Milieu marin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer. Je le remercie pour m'avoir accueilli dans son laboratoire, pour son encadrement scientifique ainsi que pour l'ensemble de la logistique qu'il a mis à ma disposition pour accomplir ce travail.*

*Mes remerciements les plus vifs sont adressés à Mr **AYADI Habib**, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Sfax de m'avoir accueilli dans son laboratoire de planctologie en me donnant tous les moyens de travailler dans les meilleures conditions. Il a constamment*

*guidé ce travail, il m'a fait profiter de sa grande expérience dans le domaine de la planctonologie. Il n'a jamais hésité à me consacrer une partie de son temps pour discuter mon travail et a toujours fait preuve d'une grande sollicitude à mon égard. Pour ma part, je lui adresse un grand merci. Ses qualités humaines et sa compétence scientifique sont pour moi un exemple.*

*Pour ses précieux conseils de tous ordres, sa disponibilité et sa confiance, je remercie tout particulièrement Mr **ALEYA Lotfi**, Professeur à l'Université de Franche-Comté et mon co-directeur de thèse. Son expérience et ses grandes compétences ont permis l'accomplissement de ce travail. Qu'il trouve ici les marques de ma reconnaissance et de mon respect pour sa bonne collaboration, ses nombreux conseils, son aide constante et pour la façon efficace et amicale avec laquelle il a suivi ce travail.*

*C'est avec un grand plaisir que je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères et mon immense reconnaissance au Pr. **DENIS Michel**, Directeur de recherche au Centre d'Océanologie de Marseille, Université de la méditerranée II, Laboratoire de Microbiologie, Géochimie et Ecologie Marines, CNRS UMR6117, Marseille cedex 09 (France). Qu'il trouve ici toute ma gratitude d'avoir accepté d'être rapporteur de ce travail.*

*Je remercie Mme **HLAILI-SAKKA Asma**, Professeur et chargé de Recherche au Laboratoire de cytologie végétale et phytoplanctonologie à la Faculté des Sciences de Bizerte (Tunisie). En acceptant d'être rapporteur de mon manuscrit, elle m'a comblé de joie et je voudrais qu'elle trouve ici toute mon émotion et mes marques de reconnaissance et de remerciements.*

*Je remercie infiniment Mr **GREGORI Gérald**, Chargé de Recherche CNRS au centre d'Océanologie de Marseille, au sein du Laboratoire de Microbiologie, Géochimie et Ecologie Marines (CNRS-UMR 6117), pour sa disponibilité et son acceptation pour examiner cette thèse. Je lui exprime toute ma reconnaissance pour l'intérêt porté à ce travail.*

*Je suis profondément reconnaissant à Mme **BEL HASSEN-ABID Malika**, Maître assistante à l'Institut des Sciences et Technologies de la Mer Salammbô de m'avoir aidé en mettant à ma disposition son temps, sa vaste connaissance scientifique dans la gestion et le traitement des données océanographiques et son soutien moral et matériel. Elle m'a guidé dans l'interprétation des résultats. Elle m'a donné tous les moyens de travailler dans les bonnes*

*conditions. Je la remercie aussi pour le temps qu'elle m'a consacré pour la mise en forme définitive de ce manuscrit; j'ai toujours apprécié sa modestie, et ses qualités humaines.*

*J'exprime mes plus vifs remerciements à Mme **HAMZA Asma**, Maître assistance à l'Institut des Sciences et Technologies de la Mer Salammbô pour l'attention avec laquelle elle a suivi le déroulement de ce travail, ses encouragements ont été un précieux soutien. Votre recommandation éclairée et consciencieuse en phytoplancton a été pour moi un exemple. J'ai toujours apprécié votre modestie et vos qualités humaines.*

*Je remercie profondément Mr **MAALEJ Sami**, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Sfax pour avoir accepté d'examiner et juger mon travail. Qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect et ma sincère reconnaissance.*

*Que Mr **BEN SALAH Abdelhamid**, ex-Doyen de la Faculté des Sciences de Sfax, trouve ici l'expression de ma gratitude et de mon profond respect de m'avoir aider et signé ma convention de cotutelle.*

*Que Mr **KALLEL Ali**, Doyen de la Faculté des Sciences de Sfax, trouve ici l'expression de mon respect de m'avoir accueilli dans les locaux de la faculté.*

*Qu'il me soit permis de remercier Mr **MRABETH Ridha**, Directeur Général de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer Salammbô pour l'attention qu'il a portée à ce travail et de me faire profiter des campagnes d'échantillonnage à bord du navire « Hannibal ».*

*Je remercie vivement Mr **ABDELMOULEH Abdelwaheb**, Maître de Recherche et responsable du centre de l'INSTM de Sfax. Veuillez trouver ici l'expression de ma grande reconnaissance pour les efforts que vous avez fournis pour que ce travail s'effectue dans les meilleures conditions.*

*Mes vifs remerciements et mon profond respect s'adressent à Mrs **JARBOUI Othman**, **BRADAI Mohamed Nejmeddine**, **GHORBEL Mohamed**, **DHIEB Khalifa** & Mme **OUANNE-GHORBEL Amira** Maîtres de Recherches à l'INSTM pour leurs aides.*

*Je remercie vivement toute l'équipe du navire "Hannibal N/O", particulièrement, le commandant Mr **GUEZDAWI Ammar** & le Chef de quart Mr **BEL HOULA Housseem** pour leur aide et leur encouragement durant toutes les campagnes océanographiques effectuées.*

*Ce travail n'aurait pas eu lieu sans la collaboration et l'aide précieuse de Mrs **AKROUT Fourat** & **Sabri Messaoudi** responsables du Laboratoire d'Analyse de l'INSTM de la Goulette.*

*Je tiens à remercier tous les membres du laboratoire Milieu Marin et exceptionnellement Mme **SAHRAOUI Hayet** & Mme **MAHFOUDHI Mabrouka** pour toute leur gentillesse, leur conseils et leur aide. Qu'elles trouvent ici le témoignage de mon grand respect et ma profonde reconnaissance.*

*J'exprime toute ma gratitude aux personnels de l'INSTM de Sfax : Mrs **KAMMOUN Wassim**, **BOUKRI Mounir** & **SALEMA Hosni** pour leur aide tant sur le plan scientifique qu'humain et pour la bonne humeur dans laquelle ce travail a été accompli, Mrs **ZGHAL Abderrazek** & **LTIFI Moncef**, pour leur immense aide durant mes sorties en mer. Mlle **FRIKHA Wided** & Mme **LTIFI Fatma**, je leur témoigne tout mon respect pour leur disponibilité et leur aide.*

*Cette thèse a bénéficié d'une collaboration avec le laboratoire d'Analyse du Centre de Biotechnologie de Sfax. Je remercie ici chaleureusement toute l'équipe avec qui j'ai fait l'analyse des pigments chlorophylliens par la technique HPLC et plus particulièrement Mr **ISAOUI Hédi** & Mlle **JLAIEL Lobna**, Mme **MASMOUDI Najla**, Mrs **WALHA Kamel** & **BEN KHADHRA Khalifa** ainsi que pour l'aide et les précieux conseils qu'ils m'ont apportés.*

*Je ne peux pas oublier de remercier Mr **REBAI Ahmed**, Maître de Conférences au Centre de Biotechnologie de Sfax pour son aide dans les analyses statistiques. Je tiens à lui exprimer mes sincères remerciements.*

*Je tiens à remercier Mlle **ELLOUMI Jannet**, Maître assistante à la faculté des Sciences de Sfax de m'avoir aidé en mettant à ma disposition son temps, son expérience scientifique et son soutien moral et matériel pour bien réaliser ce travail. Je le remercie infiniment pour son aide inestimable durant toute la période de la recherche et sa disponibilité.*

*Je remercie également mon frère & ami Mr **GUERMAZI Wassim**, Assistant à la Faculté des Sciences de Gabès pour son aide inestimable. Je tiens à le remercier également de sa disponibilité et sa gentillesse.*

*Je remercie sincèrement tous les membres de l'équipe de l'Unité de Recherche UR05ES05 Biodiversité et Ecosystèmes Aquatiques: **ANNABI Neila, SELLAMI Ikbel, ABID Olfa REBAI Rayda, KKEMAKHEM Hager, KCHAOU Nouha, HANNACHI Imen, REKIK Amira, BEN SALEM Zohra, GHANNAY Sihem & MASMOUDI Salma.***

*Je tiens à remercier les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la concrétisation de cette thèse.*

# SOMMAIRE

<b>Introduction générale: Synthèse bibliographique.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Les écosystèmes aquatiques.....</b>	<b>1</b>
1.1. Définition d'un écosystème.....	1
1.2. Fonctionnement et évolution des écosystèmes.....	2
1.3. Exemple d'un écosystème aquatique: La mer Méditerranée.....	3
<b>2. Les mouvements hydrologiques au niveau de la région du golfe de Gabès.....</b>	<b>4</b>
2.1. Hydrodynamique.....	4
2.2. Hydrologie.....	4
<b>3. Les communautés planctoniques.....</b>	<b>5</b>
3.1. Définition du plancton.....	5
3.2. Classification du plancton.....	6
3.2.1. Selon la taille des organismes.....	6
3.2.2. Selon la nature des organismes.....	7
3.2.3. Selon les caractéristiques biologiques des organismes.....	7
3.2.4. En fonction de la répartition verticale.....	9
3.2.5. Selon l'environnement.....	10
3.3. Les différents microorganismes planctoniques.....	10
3.3.1. Les microorganismes de la boucle microbienne.....	10
3.3.1.1. Viroplancton.....	10
3.3.1.2. Bactérioplancton.....	11
3.3.1.3. Picoplancton autotrophe.....	12
3.3.1.4. Flagellés nanoplanctoniques.....	12
3.3.1.5. Protozoaires ciliés.....	13
3.3.2. Les microorganismes de la chaîne alimentaire classique.....	14
3.3.2.1. Le phytoplancton.....	14
<i>a. Définition et généralités.....</i>	<i>14</i>
<i>b. Taxonomie et morphologie.....</i>	<i>15</i>
<i>c. Spécificités écologiques et particularités pour le golfe de Gabès.....</i>	<i>15</i>
3.3.2.2. Le zooplancton.....	16

<i>a. Définition et généralités.....</i>	<b>16</b>
<i>b. Les différents groupes zooplanctoniques.....</i>	<b>18</b>
3.4. Relations trophiques des différentes communautés planctoniques au sein du réseau trophique et le flux d'énergie.....	<b>22</b>
<b>4. Conséquences directes de la pollution sur le déséquilibre de l'écosystème marin: Exemple du golfe de Gabès.....</b>	<b>26</b>
4.1. L'eutrophisation et ses conséquences sur le phytoplancton et le zooplancton.....	<b>27</b>
4.2. Les eaux colorées.....	<b>29</b>
4.3. L'enkystement des dinoflagellés: un phénomène latent pour les espèces toxiques.....	<b>31</b>
<b>5. Rôle et intérêt des techniques biochimiques pour la classification du phytoplancton à travers l'analyse des pigments chlorophylliens: cas du HPLC.....</b>	<b>32</b>
<b>6. Problématique.....</b>	<b>33</b>
<b>7. Objectifs et finalités des principales parties étudiées.....</b>	<b>34</b>
<b>Chapitre I: Matériels &amp; méthodes.....</b>	<b>36</b>
<b>I.1. Première partie: Description du site d'étude.....</b>	<b>36</b>
I.1.1. Caractéristique du golfe de Gabès.....	<b>36</b>
I.1.1.a. Cadre géographique, morphologique, climatique et sédimentologique du golfe de Gabès.....	<b>36</b>
I.1.1.b. Importance et état de la bionomie benthique au niveau du golfe de Gabès.....	<b>39</b>
I.1.1.c. Sources et types des polluants au niveau du golfe de Gabès.....	<b>41</b>
I.1.1.d. Importance halieutique et socio-économique.....	<b>42</b>
I.1.1.e. Les études relatives à la végétation marine dans le golfe de Gabès.....	<b>45</b>
<b>I.2. Deuxième partie: Stratégies d'échantillonnage et méthodes de mesure et d'analyses.....</b>	<b>47</b>
I.2.1. Matériel.....	<b>47</b>
I.2.1.1. Représentation du fonctionnement du CTD.....	<b>48</b>
I.2.2. Méthodes.....	<b>49</b>

I.2.2.1. Techniques d'échantillonnage.....	49
I.2.2.2. Stations d'échantillonnage.....	49
I.2.2.2.a. Stations d'échantillonnage pour l'étude spatiale à court terme.....	49
I.2.2.2.b. Stations d'échantillonnage pour l'étude spatio-temporelle	50
I.2.2.3. Etude des paramètres abiotiques.....	51
I.2.2.3.a. Température, salinité, oxygène dissous et densité de l'eau.....	51
I.2.2.3.b. pH.....	51
I.2.2.3.c. Transparence et turbidité.....	51
I.2.2.3.d. Dosage des éléments nutritifs.....	52
I.2.2.4. Etude des paramètres biotiques.....	53
I.2.2.4.a. Etude du phytoplancton.....	53
I.2.2.4.b. Analyse des pigments chlorophylliens par la technique de HPLC.....	54
I.2.2.4.c. Etude du zooplancton.....	58
I.2.2.5. Etude de la diversité et de la structure des peuplements planctoniques.....	61
I.2.2.5.a. Indice de diversité de Shannon Weaver ( $H'$ ).....	61
I.2.2.5.b. Indice d'équitabilité (E) .....	61
I.2.2.5.c. Indice de dominance (Id).....	62
I.2.2.6. Analyses statistiques.....	62
I.2.2.6.a. Le test de corrélation Pearson.....	62
I.2.2.6.b. L'analyse en composantes principales (ACP).....	62
I.2.2.6.c. Le dendrogramme.....	62
I.2.2.6.d. Le test de Co-inertie.....	63

## **Chapitre II: Résultats & Discussions..... 64**

<b>II.1. Première partie: Etude à court terme durant une campagne estivale     (Juillet 2005).....</b>	<b>65</b>
II.1.1. Variation spatiale des paramètres physico-chimiques.....	66
II.1.2. Dynamique des dinoflagellés en relation avec les facteurs environnementaux.....	70

II.1.2.1. Structure de la communauté phytoplanctonique.....	70
II.1.2.2. Structure de la communauté des dinoflagellés.....	72
II.1.2.3. L'analyse en composantes principales.....	76
II.1.2.4. L'analyse en dendrogramme.....	77
II.1.2.5. Discussion.....	78
II.1.2.6. Conclusion.....	80
II.1.3. Etude de la structure de la communauté phytoplanctonique en relation avec la disponibilité des éléments nutritifs au niveau du golfe	82
II.1.3.1. Structure, diversité et distribution des différents groupes phytoplanctoniques.....	82
II.1.3.2. Les analyses statistiques.....	89
II.1.3.3. Discussion.....	91
II.1.3.4. Conclusion.....	93
II.1.4. Distribution spatiale des copépodes couplée aux facteurs environnementaux durant une campagne estivale au niveau du golfe de Gabès.....	94
II.1.4.1. Distribution spatiale de la population zooplanctonique.....	94
II.1.4.2. Discussion.....	101
II.1.4.3. Conclusion.....	104
II.1.5. Composition spécifique et pigmentaire de la communauté phytoplanctonique en relation avec les propriétés de la masse d'eau au niveau du golfe de Gabès.....	105
II.1.5.1. Propriétés physiques.....	105
II.1.5.2. Concentration des éléments nutritifs et des pigments chlorophylliens.....	108
II.1.5.3. L'analyse de la composition taxonomique du phytoplancton par le programme CHEMTAX.....	110
II.1.5.3.a. Calcul du rapport pigmentaire et sa variation en fonction de la profondeur.....	110
II.1.5.3.b. Les différentes classes d'algues.....	112
II.1.5.4. Discussion.....	114
II.1.5.5. Conclusion.....	118

## **II.2. Deuxième partie: Etude spatio-temporelle à long terme durant les**

<b>quatre périodes d'études (Juillet 2005-Mai Juin 2006-Septembre 2006 et Mars 2007)</b> .....	<b>119</b>
II.2.1. Etude de la répartition verticale, spatiale et temporelle des paramètres physico-chimiques.....	<b>120</b>
II.2.1.1. Etude de la variation verticale, spatiale et temporelle des paramètres physiques.....	<b>120</b>
II.2.1.2. Etude de la variation verticale, spatiale et temporelle des éléments nutritifs, du pH, des matières en suspension et de la concentration en chlorophylle <i>a</i> .....	<b>121</b>
II.2.2. Variation spatio-temporelle de la composition en microphytoplancton en relation avec les conditions hydrologiques.....	<b>125</b>
II.2.2.1. Dynamique de la population phytoplanctonique.....	<b>125</b>
II.2.2.2. Discussion.....	<b>136</b>
II.2.2.3. Conclusion.....	<b>139</b>
II.2.3. Variation spatio-temporelle du peuplement zooplanctonique en relation avec les conditions hydrologiques.....	<b>140</b>
II.2.3.1. Dynamique de la communauté zooplanctonique.....	<b>140</b>
II.2.3.2. Discussion.....	<b>158</b>
II.2.3.3. Conclusion.....	<b>167</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>168</b>
<b>Perspectives</b> .....	<b>172</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>173</b>
<b>Annexes</b>	

## Liste des abréviations

*A. clausi*: *Acartia clausi*  
*Acl*: *Acartia italica*  
ACP: Analyse en Composantes Principales  
*Agr*: *Acartia grani*  
AIS: Atlantic Ionien Sea  
*Ait*: *Acartia clausi*  
*Ala*: *Acartia latisetosa*  
Allo: Alloxanthine  
*Amp sp.*: *Amphidinium sp.*  
*Asu*: *Acartia subtilus*  
But: 19'-butanoyloxyfucoxanthine  
*C ext*: *Ceratium extensum*  
*C fus*: *Ceratium fusus*  
*Cca* : *Coryocella carainata*  
*Ccl* : *Corycaeus clausi*  
*Cha* : *Centropages hamatus*  
Chl-*a*: Chlorophylle *a*  
Chl-*b*: Chlorophylle *b*  
*Ckr*: *Centropages kroyeri*  
*Cli*: *Corycaeus limbatus*  
*Cro*: *Coryocella rostrata*  
*Csc*: *Clytemnestra scutellata*  
*Csp*: *Corycaeus speciosus*  
CTD: Conductivity-Temperature-Depth  
*Cty*: *Centropages typicus*  
DCM: Deep Chlorophyll Maximum  
Dcy: kystes de dinoflagellés  
DHA: Acide Docasahexonique  
DIN: Azote Inorganique Dissous  
DIP: Phosphore Inorganique Dissous  
E: Equitabilité

*Eac: Euterpina acutifrons*

*Ehe: Euchaeta hebes*

Fuco: Fucoxanthine

*G fu: Gyrodinium fusiforme*

H': Indice de diversité de Shannon Weaver

Hex: 19'-hexanoxyfucoxanthine

HPLC: Chromatographie de Haute Performance à phase Liquide

Id: Indice de dominance

*K cf: Karenia selliformis*

*K pap: Karenia papilionaceae*

*Lwa: Labidocera wallastoni*

MAW: Eau Atlantique Modifiée

MES: Matière En Suspension

MIP: Matière Inorganique Particulaire

MMW : Eau Méditerranéenne Mélangée

*Mno: Microsetella norvegica*

MO: Matière organique

MOD: Matière Organique Dissoute

MOP: Matière Organique Particulaire

*Mpr: Megacalanus princeps*

*Mro: Microsetella rosea*

N/P: Rapport DIN/DIP

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: Ion ammonium

*Nmi: Néocalanus minor*

NO<sub>2</sub><sup>-</sup>: Nitrite

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: Nitrate

N-T: Azote total

*O. nana: Oithona nana*

*Oco: Oncaea conifera*

*Ohe: Oithona helgolandica*

*Ome: Oncaea mediterranea*

*Ona: Oithona nana*

*Ono : Oncaea notopus*

*Opl : Oithona plumifera*

*Osi* : *Oithona similis*

Péri : Péridinine

PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>: Ion Orthophosphate

*Ppy* : *Platycopia pygmoea*

*Pr gr*: *Prorocentrum gracile*

*Prot sp.*: *Protoperidinium sp.*

P-T : Phosphore Total

Si(OH)<sub>4</sub>: Silice

*Tlo* : *Temora longicornis*

*Tst* : *Temora stylifera*

TW : Eau de transition

Zéa : Zéaxanthine

## Liste des figures et des tableaux

### Introduction générale: Synthèse bibliographique

**Tableau 1.** Classification du plancton en fonction de la taille (Balvay, 1994)

**Tableau 2.** Classification microscopique du plancton (Callieri et Stockner, 2002)

**Figure 1.** Relations trophiques et le flux d'énergie au sein de la chaîne alimentaire classique et de la boucle microbienne ([www.uiv-mrs.fr](http://www.uiv-mrs.fr))

**Figure 2.** Schéma des interactions au sein des réseaux trophiques microbiens (d'après Sherr et Sherr, 1988). Les flèches jaunes indiquent les flux de matière

**Figure 3.** Schéma général du cycle de la matière organique dans l'océan (d'après Gregori, 2001)

### Chapitre I: Matériel et méthodes

**Tableau 1.** Données de capture des principales espèces halieutiques récoltées au niveau du golfe de Gabès durant une année du Juillet 1996 à Juin 1997 (Missaoui et al., 2000)

**Tableau 2.** Le gradient d'analyse

**Figure 1.** Localisation géographique de la zone d'étude: Le golfe de Gabès

**Figure 2.** Navire océanographique 'Hannibal R/V'

**Figure 3.** Matériel d'échantillonnage "CTD"(a) et la sonde Sea Bird (b)

**Figure 4.** Représentation du fonctionnement du dispositif de CTD

**Figure 5.** Localisation du site d'étude et des stations d'échantillonnage durant une étude spatiale à court terme au niveau du golfe de Gabès

**Figure 6.** Localisation du site d'étude et des stations d'échantillonnage durant une étude spatio-temporelle au niveau du golfe de Gabès

**Figure 7.** Disque de Secchi

**Figure 8.** Présentation schématique d'un autoanalyseur de type 3 (BRAN + LUEBBE)

**Figure 9.** Stratégie d'analyse et d'identification de la communauté du phytoplancton selon la méthode d'Utermöhl (1958)

**Figure 10.** Stratégie d'extraction et d'analyse des pigments chlorophylliens par HPLC

**Figure 11.** Le profil d'éluion des divers standards selon leurs temps de rétentions

**Figure 12.** Stratégie d'analyse et d'identification de la communauté du zooplancton

## **Chapitre II: Résultats et discussion**

**Tableau 1.** Test de corrélation Pearson entre les variables physico-chimiques et les différentes familles phytoplanctoniques au niveau du golfe de Gabès pendant une saison estivale (Juillet 2005) (\*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.001$ , \*\*\*  $p < 0.0001$ ; nombre des paramètres testés = 19 et nombre des échantillons à tester:  $n = 120$ )

**Tableau 2.** Liste qualitative et quantitative des différentes familles de dinoflagellés rencontrés au niveau du golfe de Gabès pendant une étude à court terme durant Juillet 2005

**Tableau 3.** Etude quantitative et structurale de la communauté phytoplanctonique aux niveaux des zones néritiques (a) et océaniques (b) du golfe de Gabès pendant Juillet 2005

**Tableau 4.** Les principaux taxons phytoplanctoniques et leurs pourcentages relatifs aux niveaux des zones néritiques et océaniques du golfe de Gabès pendant Juillet 2005

**Tableau 5.** Liste qualitative et quantitative de la communauté copépodique au niveau du golfe de Gabès pendant Juillet 2005

**Tableau 6.** Les maximums et les moyennes  $\pm$  écart-type des concentrations en chlorophylle *a* ( $\text{ng. l}^{-1}$ ) et les majeurs pigments accessoires réalisés pour les différents groupes de stations identifiés par l'analyse en dendrogramme. Le rapport  $Fp_1$  est calculé selon Claustre (1994)

**Tableau 7.** Relation entre la concentration en chlorophylle *a* et les concentrations des différents pigments accessoires

**Tableau 8.** Les rapports de rendement "Output marker" pigment/chlorophylle *a* tout au long de la colonne d'eau pour les différentes classes phytoplanctoniques calculés par le programme de CHEMTAX. Les pigments sont analysés à quatre niveaux différents de la colonne d'eau: 0-10m; 10,1-20m, 20,1-35m; 35,1-55m et 55,1-120m

**Tableau 9.** Pourcentage de la contribution des (%) of différents groupes phytoplanctoniques pour la concentration totale en chlorophylle *a* calculé par le programme CHEMTAX

**Tableau 10.** Liste et fréquences des espèces phytoplanctoniques observées au niveau du golfe de Gabès durant quatre différentes périodes entre 2005 et 2007

**Tableau 11.** Liste qualitative du peuplement zooplanctonique établie dans le golfe de Gabès durant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

**Tableau 12.** Liste quantitative des espèces copépodique et leurs densités moyenne (ind. m<sup>-3</sup>) établie dans le golfe de Gabès (zones côtières et océaniques confondues) durant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

**Tableau 13.** Test de corrélation Pearson entre les divers paramètres abiotiques et le zooplancton total, les copépodes et les autres zooplanctons dans le golfe de Gabès durant les quatre périodes d'échantillonnage (A) Juillet 2005, (B) Mai-Juin 2006, (C) Septembre 2006 et (D) Mars 2007 dans le golfe de Gabès (\* p<0,05; \*\*\* p <0,0001)

**Figure 1.** Répartition spatiale de la température (a), de la salinité (b), de la densité de l'eau (c) et du pH (d) au niveau du golfe de Gabès pendant une saison estivale (Juillet 2005)

**Figure 2.** Répartition spatiale de la concentration des éléments nutritifs: nitrate (a), ion ammonium (b), nitrite (c), et de l'ion orthophosphate (d) et du rapport N/P (e) selon un gradient côte-large dans une tranche d'eau comprise entre 0 et 120 m de profondeur au niveau du golfe de Gabès pendant une saison estivale (Juillet 2005)

**Figure 3.** Répartition spatiale de la densité du phytoplancton (a), de la concentration en chlorophylle *a* (b), de l'indice de diversité (*H'*) (c) selon un gradient longitudinal et l'abondance et la biomasse relative des différentes classes phytoplanctoniques (d) au niveau du golfe de Gabès pendant une saison estivale (Juillet 2005)

**Figure 4.** Répartition spatiale de la densité des dinoflagellés (a), de l'abondance et de la biomasse relative des différentes familles de la classe des dinoflagellés (b) et distribution spatiale de l'indice de diversité des dinoflagellés (c) au niveau du golfe de Gabès pendant une saison estivale (Juillet 2005)

**Figure 5.** Variation de l'indice de dominance des espèces de dinoflagellés en fonction de la distance côte-large. Les deux espèces dominantes sont indiquées pour chaque station échantillonnée; avec (Dcy: kystes de dinoflagellés, K cf: *Karenia selliformis*, K pap: *Karenia papilionaceae*, Amp sp: *Amphidinium* sp., Prot sp: *Protoperidinium* sp., C ext: *Ceratium extensum*, C fus: *Ceratium fusus*, G fu: *Gyrodinium fusiforme* et Pr gr: *Prorocentrum gracile*).

**Figure 6.** Abondance relative des différentes espèces de dinoflagellés toxiques

**Figure 7.** Répartition spatiale des kystes des dinoflagellés (a) et la distribution spatiale et verticale des dinoflagellés kystes et espèces tout au long de la colonne d'eau au niveau des régions néritiques et océaniques (b)

**Figure 8.** L'analyse en composantes principales du phytoplancton total (a) et des différentes familles de dinoflagellés (b) en relation avec les facteurs environnementaux au niveau du golfe de Gabès pendant une saison estivale (Juillet 2005)

**Figure 9.** L'analyse en dendrogramme des différentes stations d'échantillonnage (a) et la carte des différents regroupements des stations d'échantillonnage (b) au niveau du golfe de Gabès pendant une saison estivale (Juillet 2005)

**Figure 10.** Distribution spatiale de l'abondance du phytoplancton total (a) et l'indice de diversité (b) au niveau du golfe de Gabès pendant Juillet 2005

**Figure 11.** Répartition de l'indice de diversité spécifique  $H'$  (bits cellule<sup>-1</sup>) pour les dinoflagellés (a), les diatomées (b), les cyanobactéries (c) au niveau du golfe de Gabès pendant Juillet 2005

**Figure 12.** Distribution spatiale de l'abondance des dinoflagellés (a), des diatomées (b), des cyanobactéries (c), des euglénophycées (d) et des dictyochophycées (e) au niveau du golfe de Gabès pendant Juillet 2005

**Figure 13.** Distribution spatiale et verticale de la densité des différents groupes phytoplanctoniques à différents niveaux de la colonne d'eau dans la zone néritique et océanique du golfe de Gabès pendant Juillet 2005

**Figure 14.** L'analyse en dendrogramme des différents groupes phytoplanctoniques observés dans le golfe de Gabès pendant Juillet 2005

**Figure 15.** L'analyse en composantes principales du phytoplancton total et les différents groupes phytoplanctoniques en relation avec les facteurs environnementaux

**Figure 16.** Variation spatiale de l'indice de diversité (bits. ind<sup>-1</sup>) de la communauté des copépodes

**Figure 17.** Abondance relative des copépodes et des autres zooplanctons (A), des différents stades de développement des copépodes (B) et des différents autres groupes zooplanctoniques (C)

**Figure 18.** Variation de l'indice de dominance en fonction de la distance côte-large. Les espèces dominantes sont indiquées pour chaque station d'échantillonnage

**Figure 19.** Distribution spatiale des familles de copépodes les plus dominantes: (a) les Acartiidées et les Oithonidées (b) et la concentration en chlorophylle *a* (c) au niveau du golfe de Gabès pendant une campagne estivale

**Figure 20.** L'analyse en composantes principales (ACP) réalisée en se basant sur l'abondance des différentes espèces des copépodes et les principaux facteurs environnementaux au niveau du golfe de Gabès pendant une campagne estivale (Juillet 2005)

**Figure 21.** L'analyse en dendrogramme montrant les différentes associations entre les stations ayant les mêmes caractéristiques de température et de salinité (T-S)

**Figure 22.** Les deux majeurs dendrogrammes obtenus dans la figure 2 (A et B) caractérisés par une faible (A) et importante (B) température. Le dendrogramme B peut être partagé relativement en faibles température et salinité (B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>) et une importante température et salinité (B<sub>3</sub>+B<sub>4</sub>)

**Figure 23.** Profil vertical de la densité (a), de la température (b) et de la salinité (c) en fonction de la distance côte-large

**Figure 24.** Le profil vertical du nitrate ( $\mu\text{M}$ ) (A), du phosphate ( $\mu\text{M}$ ) (B), du rapport N/P (C) et de la concentration en chlorophylle *a* ( $\text{ng. l}^{-1}$ ) (D)

**Figure 25.** Concentrations de la chlorophylle *a* ( $\text{ng. l}^{-1}$ ) par le programme de CHEMTAX et sa contribution pour: les chlorophytes, les diatomées, les dinoflagellés, les pélagophytes, les prasinophytes, les prymnesiophytes, les cryptophytes, les cyanobactéries et les euglénophytes, Les pigments sont analysés à quatre niveaux différents de la colonne d'eau: 0-10m; 10,1-20m, 20,1-35m; 35,1-55m et 55,1-120m.

**Figure 26.** Distribution verticale, spatiale et temporelle des moyennes de la température de l'eau (A), la salinité (B), l'oxygène dissous (C) et la densité de l'eau (D) le long de la colonne de l'eau dans les zones côtière et océanique du golfe de Gabès entre 2005 et 2007

**Figure 27.** Distribution verticale, spatiale et temporelle des moyennes des éléments nutritifs (nitrite + nitrate, ammonium, ortho-phosphate, silice et rapport N/P), concentration en chlorophylle *a*, matières en suspension et du pH le long de la colonne d'eau dans les zones côtières (a) et océaniques (b) du golfe de Gabès entre 2005 et 2007

**Figure 28.** Distribution verticale, spatiale et temporelle des pourcentages relatifs en abondance (A), en biomasse (B) et la composition des taxons (C) des différents groupes phytoplanctoniques dans le golfe de Gabès entre 2005 et 2007

**Figure 29.** Distribution verticale, spatiale et temporelle des différents groupes phytoplanctoniques le long de la colonne d'eau dans les zones côtières et océaniques du golfe de Gabès entre 2005 et 2007

**Figure 30.** Distribution verticale, spatiale et temporelle de l'abondance du phytoplancton total de la biomasse du phytoplancton total et de l'indice de diversité (H') dans les zones côtières et océaniques du golfe de Gabès entre 2005 et 2007

**Figure 31.** Analyse de la co-inertie des paramètres abiotiques et biotiques au niveau du golfe de Gabès entre 2005 et 2007

**Figure 32.** Abondance relative des copépodes totaux et des autres zooplanctontes par rapport au zooplancton total dans le golfe de Gabès durant quatre campagnes d'échantillonnage

**Figure 33.** Variation spatio-temporelle de la densité des zooplanctons totaux, des copépodes et des autres zooplanctons dans les régions côtières et océaniques du golfe de Gabès durant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

**Figure 34.** Abondance relative des différents stades de développement des copépodes (nauplii, copépodites et adultes)

**Figure 35.** Abondance relative des copépodes mâles et femelles

**Figure 36.** Répartition du sexe ratio durant les quatre périodes d'études dans le golfe de Gabès (zones côtières et océaniques confondues) entre 2005 et 2007

**Figure 37.** Variation de l'abondance relative moyenne des différents ordres de copépodes dans le golfe de Gabès (zones côtières et océaniques confondues) entre 2005 et 2007

**Figure 38.** Abondance relative des différentes familles des copépodes dans le golfe de Gabès (zones côtières et océaniques confondues) durant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007.

**Figure 39.** Densité des différentes espèces copépodique durant les quatre périodes d'échantillonnage (A) Juillet 2005, (B) Mai-Juin 2006, (C) Septembre 2006 et (D) Mars 2007 dans le golfe de Gabès

**Figure 40.** Abondance relative des différents groupes "des autres zooplanctons" dans le golfe de Gabès entre 2005 et 2007

**Figure 41.** Répartition spatiale de l'indice de diversité spécifique des peuplements zooplanctoniques selon un gradient côte-large dans le golfe de Gabès durant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

**Figure 42.** L'analyse en composantes principales (ACP) réalisée en se basant sur l'abondance du zooplancton total, des copépodes et des autres zooplanctons en relation avec les facteurs abiotiques dans le golfe de Gabès durant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

**Figure 43.** L'analyse en dendrogramme des différents périodes d'échantillonnage dans le golfe de Gabès durant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

**Figure 44.** Répartition spatio-temporelle des moyennes des paramètres physiques mesurés (Température, salinité, Oxygène dissous et la densité de l'eau) au niveau de la côte et au large du golfe de Gabès pendant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

**Figure 45.** Répartition spatio-temporelle des moyennes de la densité des copépodes de la température dans la côte et au large du golfe de Gabès pendant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

**Figure 46.** Répartition spatio-temporelle des moyennes de la densité des copépodes et la teneur en chlorophylle *a* au niveau de la côte et au large du golfe de Gabès pendant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

**Figure 47.** Répartition spatio-temporelle des moyennes de la densité des copépodes et la concentration en ion ammonium au niveau de la côte et au large du golfe de Gabès pendant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

**Figure 48.** Répartition spatio-temporelle des moyennes de la densité des copépodes et des matières en suspension au niveau de la côte et au large du golfe de Gabès pendant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

## Introduction générale: Synthèse bibliographique

### 1. Les écosystèmes aquatiques

#### 1.1. Définition d'un écosystème

Un écosystème est une aire géographique contenant une faune, une flore et des microorganismes similaires. L'écosystème peut être définie aussi comme étant une entité écologique de base fonctionnelle formée par une biocénose (communautés d'êtres vivants) regroupés en populations (espèces) attachées à un biotope. Les éléments constituant un écosystème développent un réseau d'interdépendance permettant le maintien et le développement de la vie. Bien que le concept d'écosystème accorde la même importance à toutes les composantes (sols, climat, eau, etc...), ces dernières peuvent ne pas avoir la même importance. En effet, certaines peuvent jouer un rôle plus déterminant que d'autres.

Les écosystèmes sont à la fois nombreux et complexes. Ils sont formés soit par les écosystèmes naturels soit par les écosystèmes modifiés par les activités humaines, en particulier l'urbanisation (Häder et al., 1991). Les grands écosystèmes naturels comprennent généralement les écosystèmes terrestres (forestiers, montagneux, désertiques...) et aquatiques (marins, estuariens, eaux douces, eaux salées, eaux saumâtres, ...). La diversité des écosystèmes désigne la variété et l'abondance relative de ces derniers et de leur biocénose; ce qui contribue à la richesse du vivant. La biodiversité caractérise la richesse de la biocénose, la variété des espèces ou leur abondance relative. Les écosystèmes aquatiques ont été définis par plusieurs composantes (Laevastu et al., 1996) (i) la nature des organismes dominants: organismes planctoniques, (ii) les caractéristiques physiques, (iii) les lieux géographiques (exemple: la mer Méditerranée); (iv) ou bien une/ou des combinaisons de ces composantes. Ainsi, la classification des écosystèmes aquatiques a été développée pour décrire de telles limites (GREGG et BODTKER, 2007).

Au sein des différents écosystèmes, plusieurs variables physiques, chimiques et biologiques sont prises en considération pour les caractériser. Pour les variables physiques, on distingue la profondeur, la température, la salinité, la pression de l'eau et la turbidité. En ce qui concerne les variables chimiques, on distingue la teneur en oxygène dissous et les éléments nutritifs. Les variables biologiques comprennent l'ensemble des êtres vivants. En fait, chaque combinaison de ces différentes variables crée un écosystème aquatique particulier caractérisé par une succession, une richesse et une diversité écologique bien déterminées.

## 1.2. Fonctionnement et évolution des écosystèmes

A partir de 1970, la relation entre la diversité écologique et le fonctionnement des écosystèmes, à savoir (i) la stabilité et (ii) la productivité, a été le sujet d'un débat qui n'a pas trouvé jusqu'à aujourd'hui des conclusions finales (Yue et al., 2005). Pour les observations à l'échelle de l'espèce, les écologistes ont développé une théorie liant la diversité et la stabilité des écosystèmes (Odum, 1953; MacArthur, 1955; Elton, 1958; Hutchinson, 1959). En effet, ces derniers postulent que la stabilité des écosystèmes augmente avec la diversité spécifique. Ce concept est supporté par plusieurs scientifiques (Aleya, 1991; Aleya et Devaux, 1992; Bengtsson et al., 2000; Chapin et al., 2000; McCann, 2000; Tilman, 2000; Wolfe, 2000). Cependant, d'autres auteurs excluent la notion de la diversité dans la stabilité des écosystèmes (Lhomme et Winkel, 2002; Naeem, 2002; Pfisterer et Schmid, 2002). D'ailleurs, les observations de Grime (1979), Loreau (2000), Purvis et Hector (2000), Loreau et Hector (2001), Tilman et al. (2001) et Pfisterer et Schmid (2002) montrent une étroite relation entre la diversité écologique et la productivité des écosystèmes.

La dynamique des systèmes vivants a été développée à partir de la théorie Darwinienne qui est basée sur l'évolution à travers la sélection naturelle au niveau des individus jusqu'à la stabilité (Darwin, 1872; Eldredge et Gould, 1972). En effet, La stabilité (ou le point d'équilibre) d'un écosystème est étalée sur des périodes larges intercalées par des épisodes évolutives avec une sélection agissant non seulement sur les individus, mais même sur les gènes, les espèces et aussi sur des niveaux plus évolués (Gould, 2002). Le niveau de stabilité des écosystèmes a été considéré pour longtemps insignifiant, mais aujourd'hui, il est le sujet de recherche de toute les études évolutives de la vie sur terre en particulier du point de vue écologique (Jackson et Cheetham, 1994; Cheetham et Jackson, 1995; Michaelian, 2005). Durant la période statique d'un écosystème, les espèces formant les populations soit se stabilisent soit oscillent régulièrement, ou même chaotiquement (Michaelian, 2005). Ce phénomène est rencontré particulièrement au niveau des zones humides (lacs, étangs, lagunes, gravières, estuaires, tourbières, vallées alluviales, mares, marais, ruisseaux, prairies inondables) (Khattabi et al., 2006; Khattabi et Aleya, 2007). Ils fournissent aux êtres humains des ressources essentielles en eaux, nourritures, plantes, animaux, matériaux divers et des voies d'accès qui sont à la base de leurs activités sociales, économiques et culturelles. Le milieu marin est d'un abord difficile, car les successions écologiques dont il est le siège sont perpétuellement remises en question par les mouvements de l'eau. Toutefois, les écosystèmes lacustre, marin et terrestre sont des milieux privilégiés et restent les meilleurs pour étudier les individus qui les peuplent et examiner les relations entre eux (Balcer et al., 1984). La

composition des populations dépend étroitement des conditions du milieu. Cependant, l'équilibre des écosystèmes repose sur le nombre des espèces constitutives des groupes fonctionnels. En effet, les activités humaines peuvent influencer sur la nature et l'étendue de certains types d'écosystèmes et par conséquent perturbent considérablement les processus des équilibres écologiques. Par exemple, les écosystèmes marins, particulièrement d'importance halieutique, sont généralement stressés par des facteurs anthropogéniques à savoir la pêche anarchique qui mène à la surpêche 'over-fishing' et la pollution (Hamza-Chaffai et al., 2003; Häder et al., 1991). Ainsi, il est primordial de maintenir la variété et la qualité des écosystèmes pour assurer la sauvegarde des espèces à travers leur quantification vu que certaines espèces sont risquées de disparaître suite à ce déséquilibre écobioologique (Olszewski, 2004).

### **1.3. Exemple d'un écosystème aquatique: La mer Méditerranée**

La mer Méditerranée est un modèle réduit des océans. On y trouve tous les écosystèmes côtiers et océaniques mais leurs dimensions sont plus restreintes et faciles à étudier. La Méditerranée est une mer fragile et semi-fermée dont le littoral est soumis à une forte pression démographique (Voarino, 2006). La dynamique des populations des organismes marins est également fragilisée et les changements globaux entraînent une perturbation écologique de son écosystème (Turley, 1999; Licandro et Ibanez, 2000; Voarino, 2006). Il est donc important d'examiner leur réponse aux variations environnementales. La mer Méditerranée, particulièrement le bassin oriental, est caractérisé par une faible concentration en chlorophylle (Williams, 1998) et par des eaux profondes caractérisées par des concentrations faibles en éléments nutritifs (Estrada et al., 1999; Kress et Herut, 2001; Psarra et al., 2005); ce qui contribue par conséquent à un statut oligotrophe avec un gradient d'oligotrophie croissant en allant du bassin occidental au bassin oriental (Turley et al., 2000; Polat et Isik, 2002; Gomez et Gorsky, 2003; Kress et al., 2005; Drira et al., 2008a). Cet aspect d'oligotrophie rend cet écosystème beaucoup plus sensible aux apports des éléments nutritifs par les fleuves et les pluies (Turley, 1999). Cependant, l'augmentation de ces apports suite à une activité urbaine intense peut contribuer à une eutrophisation côtière (Unesco, 1988; Francour et al., 1994; Turley, 1999; Bianchi et Morri, 2000, Gomez et Gorsky, 2003; Kress et al., 2005). En Méditerranée, la boucle microbienne est constituée essentiellement par des microorganismes unicellulaires comme les bactéries, les protozoaires ciliés et les virus qui sont connectés par des interactions trophiques (Thingstad et Rassoulzadegan, 1999; Pitta et al., 2005). Cette région est connue aussi par une nette dominance des composantes

autotrophes comme les ultraplanktons (Yacobi et al., 1995) et une boucle microbienne dominée par la composante hétérotrophe (Christaki et al., 2001). Le golfe de Gabès, de sa part sa géomorphologie assez particulière, présente les caractéristiques d'un milieu fermé plutôt que celui d'une mer ouverte. Cette région, est classé en Méditerranée, parmi les mers à forte production primaire (Barale, 1994), et avec une grande importance socio-économique, faisant d'elle un modèle réduit de la mer Méditerranée en totalité. Aujourd'hui, cette région subit les conséquences de toutes les perturbations et les modifications floristiques et faunistiques apparues en Méditerranée. Plusieurs espèces animales et végétales d'origine atlantique ou indo-pacifique sont observées dans cette zone (Bradai et al., 2004). A cet effet, s'ajoutent les incidences environnementales dues au réchauffement global des eaux (Zouari et al., 1996).

## **2. Les mouvements hydrologiques au niveau de la région du golfe de Gabès**

Plusieurs paramètres hydrologiques caractérisent le golfe de Gabès. Tout d'abord, la marée qui y est connue comme étant le paramètre le plus important part de la Méditerranée.

### **2.1. Hydrodynamique**

Le mode d'écoulement de l'eau atlantique le long des côtes tunisiennes a été esquissé par Brandhorst (1977) en se basant sur la distribution horizontale du minimum de salinité. Cet auteur a pu établir que la veine d'eau atlantique intéressant les 200 premiers mètres, contourne le Cap Bon et s'oriente vers le sud. Cette veine d'eau se scinde en deux branches au niveau de l'île de Lampedousa. La première se dirige vers le Sud Est en laissant l'île à l'ouest alors que la seconde s'oriente vers le sud et va alimenter la circulation au large du golfe de Gabès. Le flux d'eau atlantique à travers le canal Siculo Tunisien, présente une variabilité saisonnière bien marquée. L'intensité de cette branche est en conséquence sujette à des fluctuations qui vont directement affecter la circulation au large du golfe de Gabès.

### **2.2. Hydrologie**

Le golfe de Gabès occupe une vaste région du plateau continental ce qui le rend sensible aux effets de chaleurs différentielles. En Hiver l'air ambiant relativement froid gagne de la chaleur au détriment de la colonne d'eau pour la rendre isothermale. Cette région peu profonde devient en contraste thermique avec les eaux plus profondes situées à l'Est du plateau. L'écart des températures entre la côte et le large est alors assez important (Seurat, 1929).

La salinité des eaux du golfe de Gabès oscille entre 38 et 39 ‰ (Brandhorst, 1977; Hamza, 2003). Ceci est du, en fait, à la faible précipitation, à l'intense d'évaporation et à la faible quantité d'eau de ruissellement qu'il reçoit (Hamza, 2003).

### ***\*Les courants généraux***

Les courants généraux sont localisés sur toute la côte Est de la Tunisie. Ils sont de direction Nord-Sud et n'affectent que les eaux de large. Leur vitesse est de l'ordre de 0,2 à 0,3 m s<sup>-1</sup> (Illou, 1999; Serbaji, 2000). Ces courants interviennent dans le renouvellement des eaux du golfe en y alimentant une circulation anticyclonique leurs incidences côtière est a priori faible est reste a vérifier par des mesures *insitu*.

### ***\*Les courants de marée***

La marée est forte et semi-diurne, c'est-à-dire qu'elle présente deux périodes de basse mer et deux périodes de haute mer en 24 h. L'amplitude de la marée est maximale au sud du golfe de Gabès (maximum de 2 m en période de vives eaux) (Serbaji, 2000). Un maximum à Gabès, où le marnage en vives eaux atteint 1,8 m et en période de morte eaux 0,3 m, a été récemment démonté par Sammari et al. (2006). Les courants de marée très variables en fonction des courants des houles et ceux des vents, souvent parallèles à la côte (Serbaji, 1991), peuvent jouer un rôle important dans le transport et la dispersion des polluants le long du littoral.

### ***\*Les courants des houles***

Ces courants sont conditionnés par le régime des vents (Tounsi, 1993; Guillaumont et al., 1995; Serbaji, 2000). Les vents les plus forts soufflent du secteur W et NW. L'agitation est essentiellement liée aux vents locaux. En effet, sous l'action de ces vents il y a induction de courants 2 à 5 fois plus forts que les courants de marée. De ce fait, ce type de courant joue un rôle important dans le transit sédimentaire (Amari, 1984). Ce transport est orienté souvent du large vers la côte puisque les vents dominants régnant dans la zone sont de direction sud-ouest.

## **3. Les communautés planctoniques**

### **3.1. Définition du plancton**

Les éléments vivants qui vivent en pleine eau sans contact direct avec le fond, constituent le pelagos. On les répartit en deux ensembles, le *plancton* et le *necton*. Par définition le *plancton*, est un terme employé à l'origine par Homère dans l'Odyssée pour désigner les animaux errant à la surface des flots. Il a été défini scientifiquement par Hensen (1887) pour caractériser l'ensemble des organismes vivants qui flottent dans les eaux, pour être ensuite popularisé par Alain Bombard après sa traversée solitaire de l'atlantique à bord de l'Hérétique en 1952. Mais ce terme manquait de précision et sa définition a été maintes fois

remaniée pour tenir compte de la taille des organismes, de leur nature, de leur environnement ou de leur répartition spatiale. Peut-on encore parler de terminologie en planctonologie à l'heure actuelle, au vu des nombreuses dénominations employées par les différents auteurs, et non uniformisées? Balvay (1994).

Les différents organismes caractérisant les écosystèmes aquatiques sont susceptibles de coloniser l'ensemble de la masse d'eau et ses interfaces avec l'air ou avec le sol. Selon la distribution spatiale et les aptitudes natatoires de ces organismes, on distingue plusieurs groupements. En effet, en pleine eau on distingue (i) le **Plancton** qui sont des organismes vivants en pleine eau dont les mouvements et les capacités natatoires sont insuffisants pour s'opposer aux courants d'eaux, (ii) le **Necton** sont des organismes nageurs capables de voir leurs propres déplacements contrariés par les mouvements d'eau (ex: poissons), (iii) le **Tripton** sont des éléments non vivants d'origine minérale ou organique (plancton mort) correspondant au **pseudoplancton** (Davis, 1955), (iv) le **Seston** est l'ensemble de toutes les particules en suspension dans l'eau libre, vivantes ou mortes, organiques ou inorganiques. C'est la somme (**tripton + plancton**). Tandis que, à l'interface air-eau on peut distinguer (i) le **Neuston** composé d'organismes de petite taille associés à l'interface air-eau (exemples: les chrysophycées, les crustacés branchiopodes), (ii) le **Pleuston**, occupant la même localisation spatiale que le neuston, est composé d'organismes de grande taille vivant dans l'interface air-eau, partiellement dans l'air et partiellement dans l'eau (exemple: les insectes). A l'interface eau-sédiment, on remarque la présence du (i) **Benthon** (ou **benthos**) qui sont représentés par des organismes associés à l'interface eau-sédiment (ii) et les **planctobenthos** composés d'organismes d'eau libre, mais limités à la pleine eau proche du sédiment (Hutchinson, 1967).

### 3.2. Classification du plancton

Différents critères sont utilisés pour caractériser les organismes planctoniques à savoir la taille, la nature et les caractéristiques biologiques des organismes, la répartition verticale et l'environnement.

#### 3.2.1. Selon la taille des organismes (Tableaux 1 et 2)

La taille, malgré qu'elle est le paramètre le plus anciennement employé, représente les ambiguïtés les plus flagrantes, dont les dénominations ne prenant pas en compte la définition et l'abréviation internationale des unités. Ce facteur qui est strictement lié à la nature des milieux étudiés (eaux douces ou marines) dépend de l'humeur des

planctonologues. Balvay (1994) et Callieri et Stockner (2002) proposent les classifications suivantes (Tableaux 1 et 2).

### 3.2.2. Selon la nature des organismes

Selon la nature des organismes aquatiques, on peut distinguer différentes communautés planctoniques à savoir:

- **Virioplancton:** virus, principal constitué du *femtoplankton* (Jacques et Tréguer, 1986).
- **Bactérioplancton:** bactéries, typiques du *picoplankton* (Jacques et Tréguer, 1986).
- **Mycoplancton:** champignons.
- **Phytoplankton:** ou plancton végétal, constitué principalement d'organismes végétaux chlorophylliens photosynthétiques.
- **Protozooplancton:** protozoaires.
- **Métazooplancton:** métazoaires, plancton animal, représenté en eau douce surtout par les protozoaires, les rotifères et les entomostracés (cladocères et copépodes).
- **Ichtyoplancton:** ce type regroupe essentiellement les larves de poissons qui sont incapables de résister aux courants et qui s'intègrent progressivement au *necton* en grandissant.
- **Saproplancton:** organismes décomposeurs, non chlorophylliens (y compris bactéries et champignons).

### 3.2.3. Selon les caractéristiques biologiques des organismes

Selon les caractéristiques biologiques des organismes aquatiques, on peut distinguer des catégories planctoniques différentes à savoir:

- **Holoplancton:** qui est également nommé *euplancton*, est un vrai plancton permanent et qui passe toute leur vie dans la zone pélagique (Davis, 1955).
- **Méropiancton:** c'est un plancton temporaire, constitué le plus souvent de stades juvéniles planctoniques d'organismes benthiques (moule d'eau douce, pluteus d'oursin...) ou d'espèces dont une phase de développement est pélagique (hydroïdes à polype fixé et méduse planctonique).

**Tableau 1.** Classification du plancton en fonction de la taille (Balvay, 1994).

Taille	Davis 1955	Barthelmes 1981	Hutchinson 1967	Perès & Devèze 1963	Dussart 1965	Dussart 1992	Jacques & Tréguer 1986	Organismes concernés
0,02 µm							femto-plancton	virioplancton
0,2 µm					nano-plancton	ultra-nano--	-----	-----
				ultra-plancton		plancton	pico-plancton	bactérioplancton
0,5 µm		-----	-----					
2 µm	nano-plancton	ultra-plancton	ultra-plancton		-----	-----	-----	-----
					ultra-micro-			mycoplancton
5 µm		-----	-----	-----	plancton	nano-plancton	nano-plancton	+ phytoplancton
								+ protozooplancton
20 µm		nano-plancton	nano-plancton	nano-plancton	-----	-----	-----	-----
50 µm								
60 µm	-----	-----	-----	-----		micro-plancton		phytoplancton + protozooplancton
					micro-plancton		micro-plancton	
100 µm		micro- plancton	micro- plancton			-----		
				micro- plancton		méso-plancton		
200 µm	micro-plancton				-----	-----	-----	-----
500 µm		-----	-----		méso-plancton			
		méso-plancton	méso-plancton		(macro- plancton)	macro- plancton		
1 mm		-----	-----	-----				
2 mm				méso-plancton	-----	-----	méso-plancton	métazooplancton
3 mm	-----	macro-plancton	macro-plancton					
5 mm				-----				
1 cm		-----	-----					
2 cm				macro-plancton			-----	-----
					méga-plancton	méga-plancton	macro-plancton	métazooplancton + necton centimétrique
	macro-plancton							
20 cm		mégalo-plancton	mégalo-plancton	-----			-----	-----
				méga-plancton			mégalo-plancton	métazooplancton + necton décimétrique
							-----	-----
2 m								

**Tableau 2.** Classification microscopique du plancton (Callieri et Stockner, 2002)

<b>Terminologies</b>	<b>Taille (µm)</b>	<b>Référence</b>
<b>Net plancton</b>	> 45	Thronsen, 1978
	> 64	Vollenweider et al., 1974; Ross et Duthie, 1981
<b>Microplancton</b>	20 - 200	Dussart, 1965; Sieburth et al., 1978
	50 - 500	Margalef, 1955
	60 - 500	Hutchinson, 1967
<b>Nanoplancton</b>	2 - 20	Dussart, 1965; Sieburth et al., 1978
	5 - 50	Margalef, 1955
	5 - 60	Hutchinson, 1967
	< 45	Thronsen, 1978
	< 100	Rodhe, 1958
	< 64	Vollenweider et al., 1974
	15 - 64	Ross et Duthie, 1981
<b>Ultrananoplancton</b>	< 2	Dussart, 1966
<b>Ultraplancton</b>	< 5	Margalef, 1955
	0.5 - 5	Hutchinson, 1967
	1 - 10	Thronsen, 1978
	1 - 15	Reynolds, 1973
	< 15	Ross et Duthie, 1981
<b>Picoplancton</b>	0,2 - 2	Sieburth et al., 1978
<b>Femtoplacton</b>	0,02 - 0,2	Sieburth et al., 1978

### 3.2.4. En fonction de la répartition verticale

En se basant sur la répartition verticale des organismes planctoniques tout au long de la colonne d'eau, on peut citer:

- **Epiplancton**: ce sont des organismes vivant dans la zone épipelagique (zone euphotique) de la mer à partir de la surface jusqu'à des niveaux plus profonds (20-120 m) (Bougis, 1974). Ce groupe englobe particulièrement le **phytoplancton** et le **zooplancton**.
- **Mésoplancton**: Ils sont généralement localisés aux niveaux des zones mésopélagiques, dysphotiques (faiblement éclairés) qui peuvent exister jusqu'à 100 à 300 m de profondeur en pleine mer (Bougis, 1974).
- **Infraplancton**: Ils caractérisent la zone infrapélagique qui peuvent atteindre de 500 à 600 m (Bougis, 1974).
- **Bathyplancton**: Ils vivent dans la zone aphotique, au-delà de 500-600 m (ne renfermant donc pas de phytoplancton) (Bougis, 1974).
- **Hypoplancton**: Ils regroupent des organismes planctoniques vivant près du fond, comme certaines Mysidacées.

### 3.2.5. Selon l'environnement

- **Limnoplancton:** appelé encore *eulimnoplancton*, c'est le plancton pélagique lacustre constitué uniquement par d'espèces holoplanctoniques (Hutchinson, 1967).
- **Héléoplancton:** appelé encore *telmatoplancton*, c'est un plancton inféodé à la zone littorale des étangs, mares, etc plus ou moins temporaires (flaques, mares).
- **Haliplancton:** ce sont des organismes caractérisant les eaux salées.
- **Hypalmyroplancton:** ce sont des organismes caractérisant les eaux saumâtres.
- **Rhéoplancton:** ils colonisent les eaux courantes. Selon la vitesse du courant, on peut distinguer du *potamoplancton* dans les fleuves et les rivières et du *rhitroplancton* dans les ruisseaux et les zones calmes.
- **Tychoplancton:** ce sont des organismes accidentellement et temporairement planctoniques, arrachés du domaine littoral ou benthique par les courants et entraînés dans le domaine pélagique. Concerne également les organismes du *limnoplancton* ou de l'*héléoplancton* entraînés en aval des plans d'eau dans les eaux courantes des émissaires lacustres. Pour Hutchinson (1967), ce terme devrait être remplacé par *pseudoplancton*.

## 3.3. Les différents microorganismes planctoniques

### 3.3.1. Les microorganismes de la boucle microbienne

#### 3.3.1.1. Viroplancton

Les virus constituent les entités biologiques les plus abondantes dans les milieux aquatiques par leur densité avoisinant les dix milliards de particules par litre. Ce sont des parasites obligatoires capables d'infecter, potentiellement, toutes les cellules vivantes. Les virus ont un impact sur de nombreux processus bio-géochimiques et écologiques, tels que (i) la dynamique de la diversité bactérienne et algale (Bratbak et al., 1996; Wilson et al., 1998; Brussaard et al., 1999; Zingone et al., 1999), (ii) le contrôle des efflorescences phytoplanctoniques (Bratbak et al., 1993), (iii) les transferts et recombinaisons génétiques (Führman, 1999; Wilhelm et Suttle, 1999; Wommack et Colwell, 2000) et (iv) le recyclage de la matière organique (Wommack et Colwell, 2000; Sime-Ngando et al., 2003). Les produits de la lyse virale constituent un pool de matière organique dissoute directement assimilable par la fraction non infectée du bactérioplancton (Wilhelm et Suttle, 1999; Middleboe et Lyck, 2002). Les virus atteignent des densités comprises entre  $10^4$  -  $10^8$  cellules. ml<sup>-1</sup> en milieu lacustre (Bettarel et al., 2003) et sont responsables de 10 à 20% de la mortalité des communautés bactériennes (Wommack et Colwell, 2000; Bettarel et al., 2004; Jacquet et al.,

2005). La lyse virale est aussi importante dans le milieu marin, ce qui diminue la biomasse bactérienne disponible pour les microorganismes bactérivores (Bergh et al., 1989; Bratback et al., 1990; Proctor et Fühman, 1990; Heldal et Bratback, 1991).

### 3.3.1.2. Bactérioplancton

La biomasse des bactéries planctoniques est un paramètre important dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques (Van Es et Meyer-Reil, 1982; Simon et Azam, 1989). Elles représentent une fraction importante de la biomasse planctonique totale. Cette contribution augmente avec le degré d'oligotrophie (Cho et Azam, 1990). La production de la biomasse bactérienne représente environ 10 à 30% de la production primaire dans les écosystèmes sans apports extérieurs de matière organique (Ducklow et Carlson, 1992). Même si le rendement de la croissance bactérienne est bien inférieur à 50% (Del Giorgio et Cole, 1998), le flux de la matière traversant le compartiment bactérien (l'activité hétérotrophe totale) représente un des flux majeurs dans les écosystèmes aquatiques. La biomasse bactérienne produite est consommée par le nanoplancton hétérotrophe et retourne ainsi dans le réseau trophique. Toutefois, ce rôle varie considérablement avec l'état trophique des écosystèmes. Ainsi, dans les milieux oligotrophes, les bactéries hétérotrophes provoquent d'une part, la production d'un surcroît de biomasse exploitable par rapport à celle des producteurs primaires (Carlson et al., 1994), et d'autre part, la régénération des éléments minéraux (Lee et Fuhrman, 1987). Dans les écosystèmes eutrophes, la production bactérienne augmente considérablement et peut excéder la production primaire. Le bactérioplancton est composé de plus grosses cellules et une proportion importante est attachée sur des particules. Elles peuvent être alors activement consommées directement par des ciliés ou le méso-zooplancton et accroissent ainsi la productivité terminale de ces écosystèmes déjà riches en éléments nutritifs. Le couple bactérie-protiste régénère les éléments minéraux issus de la matière organique détritique. Ceux-ci, s'ajoutant aux apports directs, aggravent ainsi l'eutrophisation du milieu. Dans les cas extrêmes, l'activité bactérienne se traduit par une demande en oxygène telle qu'elle conduit à l'anoxie où pratiquement seuls les procaryotes peuvent subsister. La densité des bactéries hétérotrophes est comprise entre  $10^5$  et  $10^7$  cellules.  $\text{ml}^{-1}$  et sont fortement dépendantes de la production phytoplanctonique (Güde, 1989; Amon et Benner, 1998; Ducklow, 1999; Gasol et Duarte, 2000).

### 3.3.1.3. Picoplancton autotrophe

Ils sont composés de picocyanobactéries et d'algues eucaryotes (Stockner et Antia, 1986; Riemann et Christoffersen, 1993), ces communautés occupent une place importante dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques (Pomeroy, 1974; Azam et al., 1983; Maclsaac et Stockner, 1993). Plusieurs études montrent que le picoplancton autotrophe joue un rôle très important dans le flux de la matière et de l'énergie et dans la boucle microbienne (Stockner et Antia, 1986; Cushing, 1989; Stockner, 1988; 1991; Lenz, 1992; Weisse et Stockner, 1992; Bertrand et Vincent, 1994; Šimek et al., 1995; Stockner et al., 2000). Un des rôles primordiaux du picoplancton eucaryote est sa contribution à la production en milieu marin qui est de 16% et en milieu lacustre de 70% (Magazzù et Decembrini, 1995; Metzler et al., 2000). Ainsi, on observe qu'en milieux oligotrophes marin et lacustre, le picoplancton autotrophe peut représenter une partie plus importante de la production primaire que les classes de taille nano et microphytoplanctoniques (Agawin et al., 2000). Les picoplanctons sont très abondants aux niveaux des régions océaniques oligotrophes dont la colonne d'eau est caractérisée par une stratification thermique (Chisholm, 1992). Les densités du picoplancton autotrophe sont généralement moins abondantes que les bactéries hétérotrophes, leur densité variant entre  $10^2$  et  $10^5$  cellules.  $\text{ml}^{-1}$ . La taille des cellules est par contre plus élevée que celle des bactéries hétérotrophes. Elles représentent 20 à 50% de la biomasse picoplanctonique (Stockner et Antia, 1986), et 10 à 75% des concentrations de la chlorophylle *a* selon les milieux (Stockner et Antia, 1986; Stockner et Shortreed, 1988; Magazzù et Decembrini, 1995). Cette communauté a fait l'objet de nombreux travaux dans les lacs et les rivières (Sime-Ngando, 1995; Szelag-Wasielewska, 1997; Padisák et al., 1997; Ruggiu et al., 1998; Vörös et al., 1998; Stockner et al., 2000; Callieri et Stockner, 2002), et en milieu marin (Jacquet et al., 1998a; Brown et al., 1999; Agawin et al., 2000; Moon-van et al., 2001; Massana et al., 2004; Not, 2004; Romari et Vaultot, 2004; Jiao et al., 2005).

### 3.3.1.4. Flagellés nanoplanctoniques (< 20 $\mu\text{m}$ )

Ce sont les principaux responsables du transfert de l'énergie et de la matière des bactéries vers les niveaux trophiques supérieurs, notamment le microzooplancton (Azam et al., 1983; Porter et al., 1985; Sherr et al., 1986; Fenchel, 1988; Verity et al., 2002). Ils sont les prédateurs dominants du picoplancton en milieu pélagique (Fenchel, 1982; Sieburth et Davis, 1982; Azam et al., 1983; Callieri et al., 2002). Les nanoflagellés ont fait l'objet de plusieurs études en milieu marin (Christaki et al., 1999; Sanders et al., 2000; Lovejoy et al., 2002).

### 3.3.1.5. Protozoaires ciliés

Les protozoaires ciliés constituent un maillon important de la boucle microbienne et des réseaux trophiques planctoniques en milieu lacustre (Sime-Ngando, 1991; Riemann et Chrisoffersen, 1993; Sime-Ngando et al., 1995; Carrias, et al., 1996). Ce sont des producteurs secondaires importants dans les écosystèmes marins (Brown et Wanigasekera, 2000). Ils constituent un lien trophique entre le compartiment microbien et celui des métazoaires (Stoecker et Cappuzzo, 1990; Dolan, 1991; Gifford, 1991; Legendre et Rassoulzadegan, 1995). Les ciliés consomment une bonne partie de la production microbienne autotrophe et hétérotrophe. Ils sont consommés à leur tour par les métazoaires (spécialement les copépodes) et par les larves de poissons (Bernard et Rassoulzadegan, 1990; Lynn et Montagnes, 1991; Pierce et Turner, 1992; Petz, 1999). Les ciliés peuvent avoir un impact majeur sur la communauté bactérienne (Sherr et Sherr, 1987) en intervenant de façon importante dans la prédation du bactérioplancton (Sherr et Sherr, 1987; Stockner et Porter, 1988; Carrias et al., 1996). Certains ciliés sont capables d'ingérer les cellules phytoplanctoniques et ainsi de créer un lien trophique direct entre la production primaire et les niveaux trophiques supérieurs (Sherr et Sherr, 1994). Ils peuvent aussi régénérer l'azote et le phosphore (Allali et al., 1994). Les protistes ciliés constituent donc un maillon clé de la chaîne alimentaire en transférant la matière et l'énergie des niveaux trophiques inférieurs (bactéries et petites algues) vers les niveaux trophiques supérieurs comme le métazooplancton (Wiadnyana et Rassoulzadegan, 1989; Dolan, 1991).

Ces organismes sont pour la plupart de petite taille (10 à 30  $\mu\text{m}$ , Beers et al., 1980) et ils sont très fragiles (Dale et Burkill, 1982). Leur densité en milieu pélagique est relativement faible de l'ordre de 1 à  $10^2$  cellules.  $\text{ml}^{-1}$  (Carrias et al., 1998) comparativement aux bactéries et aux cellules nanoplanctoniques de l'ordre de  $10^3$  à  $10^5$  cellules.  $\text{ml}^{-1}$  (Pick et Caron, 1987). Les ciliés représentent entre 30 et 50% de la production primaire dans beaucoup de systèmes marins et peuvent être le groupe dominant (jusqu'à 100%) du microzooplancton en eaux côtières tempérées (Pierce et Turner, 1992). Les ciliés peuvent en effet être autotrophe, mixotrophe, ou hétérotrophes et donc faire partie des producteurs primaires et/ou des consommateurs secondaires (Pierce et Turner, 1992).

A cause de l'inadéquation des techniques utilisées pour leur visualisation, les informations sur la composition spécifique des ciliés planctoniques restent incomplètes. Ceci est valable pour le milieu marin où seul les tintinnides ont très bien été étudiés (Rassoulzadegan et Etienne, 1981; Robertson, 1983; Sime-Ngando et al., 1995; Dolan, 2000; Dolan et al., 2002). Dans les écosystèmes lacustres, de nombreux travaux ont été réalisés sur l'abondance, la dynamique

saisonnaire et la répartition verticale des ciliés (Sime-Ngando et Hartmann, 1991; Carrias et al., 1998; Pitta et Giannakourou, 2000; Johansson et al., 2004), ainsi que sur les taux de croissance et la production des ciliés (Müller et Geller, 1993; Macek et al., 1996; Carrias et al., 2001; Yasindi et Taylor, 2003). Dans la mer Méditerranée, les ciliés planctoniques et benthiques ont fait l'objet de nombreux travaux (Dolan et Marrasé, 1995; Dolan et al., 1999; Pérez et al., 2000; Hausmann et al., 2002; Tanaka et Rassoulzadegan, 2002).

### **3.3.2. Les microorganismes de la chaîne alimentaire classique**

#### **3.3.2.1. Le phytoplancton**

##### *a. Définition et généralités*

Le monde phytoplanctonique regroupe les algues unicellulaires microscopiques dont la taille est comprise entre 1  $\mu\text{m}$  et 1 mm et que l'on retrouve presque à la surface de tous les écosystèmes aquatiques (Sournia, 1986). Dans ce domaine qu'on définit aussi sous le terme de microalgues, on classe même des espèces non chlorophylliennes tels que les euglénophycées (Hamza, 2003). Le mode de vie du phytoplancton peut être pélagique ou benthique (Sournia, 1986). Le peuplement phytoplanctonique regroupe des espèces autotrophes, mixotrophes ou hétérotrophes, des formes mobiles ou fixées, planctoniques, benthiques, libres, symbiotes, ou parasites (Sournia, 1986).

Le phytoplancton constitue le principal producteur primaire au niveau des écosystèmes marins pélagiques et qui reflète les changements écologiques du biotope où il vit (Raymont, 1980; Polat et Isik, 2002; Morais et al., 2003). En effet, il représente 90% de la production primaire océanique. Au niveau de la chaîne trophique pélagique, le transfert d'énergie se fait à partir des producteurs primaires jusqu'à des niveaux supérieurs de la chaîne trophique (Henriksen et al., 2002). D'ailleurs le phytoplancton, particulièrement prolifique, produit une grande quantité d'oxygène. Ainsi, les peuplements phytoplanctoniques, dont le développement est strictement dépendant des teneurs en azote et en phosphore, jouent un rôle déterminant dans les cycles biogéochimiques et conditionnent de ce fait, la structure et le fonctionnement des réseaux trophiques pélagiques au sein des écosystèmes marins. Ils affectent aussi le recyclage des sels nutritifs, la structure et l'efficacité de la chaîne trophique et le flux de la matière organique (Smith et Sakshaug, 1990). En résumé, dans les écosystèmes marins, le contrôle de la production primaire issue du phytoplancton peut être effectué en se basant sur trois principaux facteurs à savoir (i) la disponibilité des éléments nutritifs, (ii) la présence de la lumière suffisante et (iii) la réponse du phytoplancton à ces teneurs en élément nutritif et en lumière (Kelly et Naguib, 1984; Reynolds, 1997; Danilov et Ekelund, 2001;

Paerl et al., 2003; Hodgkiss et Lu, 2004). Le phytoplancton est surtout côtier et d'autant que les eaux sont à caractère oligotrophe autant qu'il est riche en genres et espèces différentes.

### ***b. Taxonomie et morphologie***

Le phytoplancton comporte plus de 6000 différentes espèces et leur nombre ne cesse d'augmenter, vu l'intérêt scientifique de plus en plus accru pour ce monde longtemps mal investigué. Les classes les plus représentées dans le milieu marin sont les bacillariophycées (diatomées), les dinophycées (dinoflagellés), les prymnesiophycées, les chlorophycées, les prasinophycées et les cyanobactéries (Nezan, 1996). Pour la taxonomie des autres phytoflagellés qui comprennent les classes des raphidophycées, des chrysophycées, des dictyochophycées, des prymnéophycées, des euglénophycées et des prasinophycées on se base sur la couleur et la morphologie de la cellule et la forme du flagelle et son niveau d'insertion (Tomas et al., 1993).

Concernant les diatomées ou bacillariophycées, ils forment la plus vaste classe des chromophytes unicellulaires. Ces microalgues sont enfermées dans une capsule siliceuse, formée de deux parties qui s'emboîtent l'une dans l'autre (valves ou frustules). Les diatomées sont classées en deux ordres: les centrales à symétrie radiaire et les pennales à symétrie bilatérale. Les diatomées vivent en milieu marin ou dulçaquicole. Beaucoup vivent sur les fonds ou reposent sur différents substrats (végétaux aquatiques, parois, etc.). Les diatomées sont également d'excellents indicateurs de la qualité des eaux ; en effet, certaines espèces tolèrent les conditions extrêmes du milieu (Hamza, 2003). Les diatomées témoignent aussi de la qualité du milieu et on définit même un indice diatomique pour la classification (Prygiel et al., 1996).

La classe des dinoflagellés occupe la 2<sup>ème</sup> place de point de vue diversité taxonomique après les diatomées. Ce sont des organismes caractéristiques surtout des eaux saumâtres et marines tempérées et chaudes. Les formes classiques sont entourées d'une thèque cellulosique, formée de deux valves séparées transversalement par un sillon (cingulum). Ces algues portent deux flagelles dont les battements entraînent la cellule dans un mouvement rotatif caractéristique. La classe des dinoflagellés comporte 20 ordres dont 5 sont parasites.

### ***c. Spécificités écologiques et particularités pour le golfe de Gabès***

L'intérêt qui est aujourd'hui porté au phytoplancton vient au fait que ce monde a une importance capitale dans la quantification de la qualité de l'environnement marin, dans les phénomènes d'eutrophisation et surtout pour l'exploitation des coquillages qui sont des

filtreurs par excellence et nécessitent cette composante pour se développer. Sur les 6000 espèces phytoplanctoniques au niveau mondial: certaines d'entre elles (environ 250) peuvent proliférer de façon importante en formant des eaux rouges, brunes ou vertes, d'autres espèces (environ 100) sont toxiques, mais la plupart d'entre elles sont totalement inoffensives. Le terme biotoxine est une nouvelle problématique fédérée à quelques espèces phytoplanctoniques. Certaines de ces toxines sont dangereuses pour les consommateurs, car elles s'accumulent dans les coquillages (toxines diarrhéiques, paralysantes, amnésiantes, ...) et se transmettent par la suite au consommateur ultime l'Homme. D'autres sont dangereuses pour la faune marine (poissons, coquillages) et peuvent provoquer de véritables hécatombes sur les rivages.

Au niveau du golfe de Gabès, le phytoplancton fait essentiellement l'objet d'un programme de surveillance surtout dans les zones de production des coquillages. Dans le cadre de ce réseau les espèces phytoplanctoniques toxiques sont inventoriées et dénombrées. Toutefois, un répertoire de l'ensemble des espèces observées est aussi effectué et archivé dans une banque de données sur la page Web (<http://41.229.139.4:8081/instm/accueil.htm>). Jusqu'à la fin de l'année 2007 dans cette banque 400 espèces différentes ont été inventoriées pour ces côtes. Il faudrait aussi signaler que les dinoflagellés sont majoritaires jusqu'à 60% et les espèces toxiques sont peu nombreuses et se limitent à 7 espèces (Hamza et al., 2007).

### **3.3.2.2. Le zooplancton**

#### ***a. Définition et généralités***

Le zooplancton est un 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 (Mariani, 2001; Vega-Cendejas et Hernandez de Santillana, 2004; Gamito et Erzini, 2005; Franco et al., 2006;

Mariani, 2006; 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). De plus, le zooplancton exerce un contrôle de type "top-down", sur les producteurs primaires et participe activement aux flux biogéochimiques des éléments par la reminéralisation de la matière organique (Banse, 1995). Etant donné que les communautés zooplanctoniques sont fortement soumises aux processus physiques dans la colonne d'eau, constituent ainsi des véritables indicateurs biologiques des changements climatiques (Fromentin et Planque, 1996; Beaugrand et al., 2002; 2003; Fernandez de Puellas et al., 2004). En effet, le zooplancton a un très fort taux de renouvellement. La variation de l'abondance et de la structure de la communauté zooplanctonique sont très sensibles aux changements environnementaux (Harris et al., 2000). Le zooplancton, de part son importance dans la chaîne trophique et de sa sensibilité aux modifications climatiques, utilisé pour évaluer l'impact du changement global.

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 spatio-temporelles du zooplancton (Youssara et Gaudy, 2001; Fernández de Puellas et al., 2003a; Riandey et al., 2005; Fernández de Puellas et al., 2007; Saiz et al., 2007; Alcaraz et al., 2007; Molinero et al., 2008). Beaucoup d'études se sont focalisées sur la dynamique et la composition du zooplancton. Des études temporelles limitées ont été menées sur le zooplancton dans certaines régions de la mer Méditerranée: en Egypt (El Maghraby et Halim, 1965; Salah, 1971; Halim, 1976), en Palestine (Berdugo, 1968; Kimor et Wood, 1975; Pasteur et al., 1976) et en Liban (Lakkis, 1976; Lakkis et Zeidane, 1990). Les études du compartiment zooplanctonique dans les côtes tunisiennes ont commencées par des travaux descriptives et qualitatives (Heldt, 1929; Monard, 1935; Ktari-Chakroun, 1979) suivis par les travaux quantitatives occasionnels et ponctuels (Daly-Yahia et Romdhane, 1994). Récemment, des travaux ont été effectués au niveau de la lagune de Tunis (Daly-Yahia et al., 2004; Annabi-Trabelsi et al., 2005) et au niveau de la lagune de Bizerte (Sakka-Hlaili et al., 2008). 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. Le golfe de Gabès a fait l'objet de nombreuses explorations scientifiques depuis le début du siècle vu sa richesse halieutique, pétrolière et pour ces grandes variations écologiques dont elle est souvent sujette. Cependant, les études relatives à la taxonomie de la faune planctonique au niveau du golfe de Gabès font presque défaut (Souissi et al., 2000) et sont sporadiques et ponctuelles ou cantonnées à des aires restreintes concernant juste la lagune de Bougrara (Daly-Yahia, 1993, 1998). Récemment, l'étude des communautés zooplanctoniques dans le golfe de Gabès et dans les eaux de Ballasts a été effectuée (Zouari-Linda, 2005). Il est donc important de développer des recherches visant la répartition spatio-temporelle du zooplancton au niveau du golfe de Gabès pour établir une liste qualitative et quantitative aussi complète que possible.

### ***b. Les différents groupes zooplanctoniques***

#### **• Les copépodes**

Les copépodes sont des crustacés pluricellulaires dont les adultes sont classés parmi le mésozooplancton de petite taille (de 200  $\mu\text{m}$  à 12 mm) (Bradford-Grieve et al., 1999). Ils se développent dans tous les milieux aquatiques, des océans jusqu'aux étangs. Le terme copépode est composé de deux racines grecques "kope" qui signifie rame et "pode" qui signifie pied. Ces racines grecques font références à la forme de leurs pattes. Les copépodes peuvent vivre de manière benthique. Les copépodes font partie des groupes des pancrustacés constituant ainsi une subdivision de l'embranchement des arthropodes. Les études concernant le zooplancton au niveau du golfe de Gabès font presque défaut ou bien sont ponctuelles et non publiables. Cependant, par rapport au Sud, le Nord de la Tunisie s'est distingué par des études sur le zooplancton essentiellement les copépodes qui sont étudiés dans la Baie de Tunis (Sud-Ouest la mer Méditerranée) (Souissi et al., 2000) et dans la Lagune Nord de Tunis (Annabi-Trabelsi et al., 2005).

Au cours de ce dernier siècle et à travers les travaux océanographiques effectués aux niveaux des régions tempérées et arctiques, les copépodes représentent la fraction majoritaire

de la communauté mésozooplanctonique représentant une abondance relative comprise entre 70% et 90% (Daan, 1989; Huys et Boxshall, 1991; Kiorboe, 1998; Thor, 2000; Calbet et al., 2001; Gasparini, 2005). Des résultats similaires sont enregistrés au niveau d'autres régions tels que la Lagune Nord de Tunis (70%) (Annabi-Trabelsi et al., 2005), la baie de Tunis (40%) (Daly-Yahia et al., 2004), la Mer d'Alboran (66-71%) (Gaudy et Youssara, 2003) et au niveau du bassin Algérien (72%) (Riandey et al., 2005). De plus, le monde zooplanctonique, en particulier les copépodes jouent un rôle crucial dans l'alimentation pour maintenir la croissance et la survie des invertébrés (Leising et al., 2005), des coraux (Duineveld et al., 2004) et des poissons (Daan, 1989; Hop et al., 1997; Tudela et Palomera, 1997). En effet, les copépodes, qui sont les principaux producteurs secondaires dans tous les océans, sont très présents dans les écosystèmes aquatiques (Parsons et al., 1984; Huys et Boxshall, 1991; Mauchline, 1998) et transfèrent le flux d'énergie à partir des producteurs primaires vers des niveaux supérieurs dans la chaîne trophique comme les zooplanctontes carnivores et les poissons planctonivores (Parsons et al., 1984; Daan, 1989; Uye et Liang, 1998). Les copépodes forment un groupe très diversifié puisqu'on retrouve 14000 espèces réparties en plusieurs ordres. Mais on distingue 3 principaux ordres tels que les Harpacticoïdes, les Cyclopoïdes et les Calanoïdes. Il est connue que plusieurs espèces de copépodes, comme *Oithona nana* (Parck, 1979; Arfi et al., 1981; Daly-Yahia et al., 2004; Annabi-Trabelsi, 2005) et quelques espèces zooplanctoniques, comme les annélides polychètes (Dhainaut-Courtois et al., 2000) sont des bio-indicatrices de la pollution. La communauté copépodique est répartie en 4 classes démographiques: nauplii, copépodites, adultes mâles et femelles (Rose, 1933; Bradford-Grieve et al., 1999). Concernant la morphologie, les copépodes présentent une variabilité morphologique importante (Dudley, 1986) permettant la distinction entre 10 ordres appartenant environ à 210 familles, 2300 genres et plus de 1400 espèces dont plus de 10000 sont marins formant les métazoaires les plus nombreux de notre planète (Mauchline, 1998). En fait, les copépodes possèdent 16 segments dont les six premiers segments sont généralement fusionnés pour former le céphalosome (la tête). Les cinq segments suivants sont thoraciques et forment le métasome (le thorax). Les cinq derniers segments forment l'urosome (l'abdomen). Pour beaucoup d'espèces, on trouve la tête et le thorax comme une seule unité appelée céphalothorax. Parfois, on observe que le dernier segment thoracique est fusionné à l'abdomen. Chaque segment porte des appendices et le premier porte des antennules. On trouve aussi 4 appendices autour de la bouche qui ont un rôle pour la nutrition. La partie postérieure se termine par la furca, un ultime segment abdominal, portant des soies (Copin-Montégut, 2002). La reproduction des copépodes nécessite un accouplement car les

gamètes ne sont pas libérés dans le milieu aquatique. La cinquième patte est souvent modifiée en organe de copulation (Copin-Montégut, 2002). Il existe deux types de copépodes, les copépodes herbivores et les copépodes carnivores. Pour les copépodes herbivores sont des organismes filtreurs qui prélèvent leur nourriture à l'aide des soies servant à filtrer le courant d'eau créé par les appendices buccaux. Ainsi les copépodes peuvent consommer des algues unicellulaires (phytoplancton) (Copin-Montégut, 2002). En ce qui concerne les copépodes carnivores qui ne sont pas des filtreurs, ils capturent directement leurs proies par mécanoréception et par chémoréception. Mais beaucoup de copépodes alternent entre ces deux types d'alimentations. Les copépodes sélectionnent leurs proies en fonction de leur qualité, de leur composition chimique et de leur taille (Copin-Montégut, 2002). Leur rôle de prédation sur la communauté algale et microbienne, permet d'éviter parfois la pullulation de ces populations en cas de bloom par exemple. Ils participent également au recyclage de la matière organique par divers mécanismes biologique et permettent le transfert ou la rétention de divers éléments fondamentaux comme le carbone ou l'azote (Gasparini, 2005). Les copépodes représentent entre 55 et 85% de la nourriture des sardines et des anchois (UNEP, 1996). Ces derniers constituent plus que 40% de la pêche dans la Méditerranée estimée à 1.1 millions de tonnes/an (UNEP, 1996). Les copépodes présentent souvent une grande valeur nutritionnelle, essentiellement en acides gras tels que l'acide docosahexonique (DHA) et beaucoup d'autres acides gras poly-insaturés qui sont essentiels à la croissance, le développement et la survie des stades juvéniles des poissons marins (Sargent et Falk-Peterson, 1988; McEvoy et al., 1998).

- **Les foraminifères**

Les foraminifères sont des protozoaires caractérisés par la présence d'un squelette (appelé test) de nature calcaire, formée de divers éléments comme des grains de sables, des spicules ou des petites coques vides ou de nature siliceuse. Le test comporte plusieurs loges munies d'un ou plusieurs orifices appelés foramen. Ils peuvent avoir un mode de vie benthique ou pélagique. Les foraminifères planctoniques occupent tous les environnements pélagiques dans le monde (Mücke et Hemleben, 1999). Leur taille varie de 38  $\mu\text{m}$  à 1 mm. Les foraminifères planctoniques sont des omnivores (Mücke et Hemleben, 1999). Leur régime alimentaire est principalement composé de bactéries, d'algues, de larves et de déchets variés. Du fait de leur cycle de vie court (2 à 3 mois), les foraminifères réagissent rapidement aux changements climatiques. Leur présence à l'état de fossiles permet d'étudier un milieu avant sa modification afin de le comparer à son état actuel. Ainsi, les foraminifères

constituent de bons indicateurs de la qualité de l'environnement. En effet, d'après l'étude des bio-indicateurs des stress environnementaux marins de la côte sud de Sfax sur les foraminifères benthiques actuels (Masri, 2005), on remarque que les foraminifères sont très sensibles à des concentrations élevées en métaux lourds par des changements morphologiques, de la taille et de la composition des tests.

- **Les hydrozoaires**

Les hydrozoaires sont de petites méduses faisant parties de la classe des Cnidaires. Leur cycle de vie comporte deux stades; le stade polype (forme fixée, asexuée) et le stade méduse (forme libre, sexuée).

- **Les larves d'annélides polychètes**

Les annélides polychètes sont des vers segmentés en anneaux. Les larves sont entièrement planctoniques et certaines deviennent planctoniques pendant la phase de reproduction. Elles sont caractérisées par la présence fréquente de cils servant à la nage, surmontés d'un faisceau de flagelles. On trouve aussi des stades où les larves sont segmentées et portent des touffes de soies. Les polychètes sont présents dans la plupart des milieux marins, aussi bien au niveau du littoral qu'au niveau des eaux profondes (Surugiu et al., 2008). Les larves d'annélides se nourrissent notamment de copépodes et de phytoplancton.

- **Les appendiculaires**

Les Appendiculaires sont des tunicates planctoniques (Esnal, 1999). Ils sont caractérisés par une omniprésence dans tous les océans occupant ainsi les environnements marins côtiers et océaniques. Plusieurs espèces sont eurythermes (Esnal, 1999).

- **Les néogastéropodes**

Les véligères de gastéropodes correspondent à leur stade larvaire. Les gastéropodes sont une classe de mollusques rampant sur un large pied ventral pourvu d'une coquille dorsale spiralée. Les gastéropodes peuvent vivre en mer, en eau douce ou dans les lieux humides.

- **Les ostracodes**

Les ostracodes sont des petits crustacés qui dominent dans les environnements aquatiques (Angel, 1999). Ce sont des organismes caractérisés par la présence d'une carapace

chitinocalcaire formant une coquille à deux valves pouvant s'ouvrir grâce à un muscle adducteur.

- **Les cladocères**

Les cladocères présentent avec les copépodes et les rotifères une distribution cosmopolite (Amoros, 1984; Alonso, 1996; Thorp et Covich, 2001; Benzie, 2005). Les cladocères, qui sont le seul groupe de branchiopodes dominants (Korhola et Rautio, 2001), sont des bio-indicateurs biologiques importants dans les biotopes aquatiques (Kopáček et al., 2000; Korhola et al., 2000).

- **Les doliolides**

Ils sont mentionnés la première fois en 1835. Ils peuvent consommer différentes particules telles que les bactéries, les diatomées et d'autres espèces phytoplanctoniques (Esnal et Daponte, 1999).

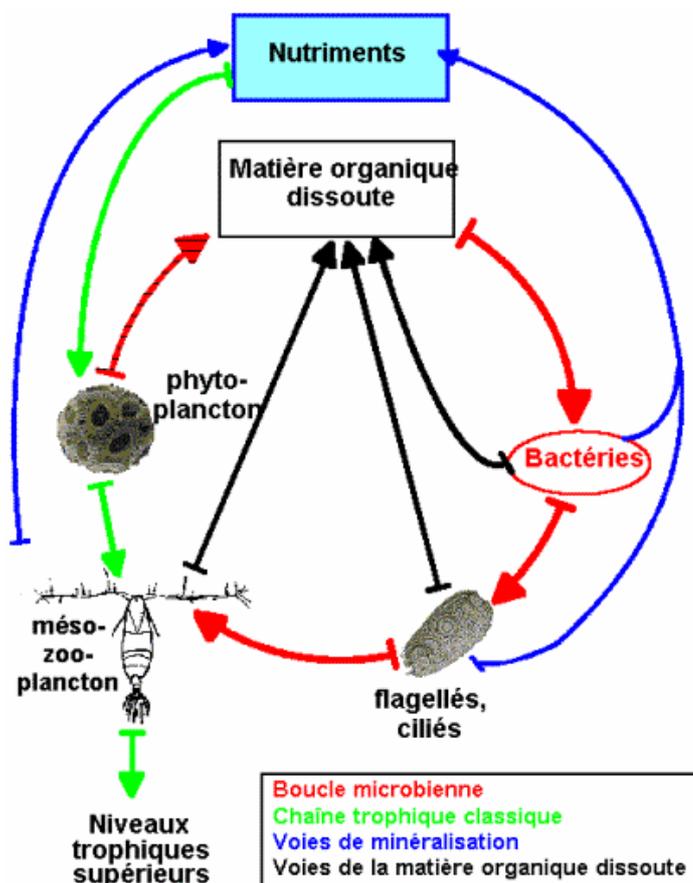
- **Les tintinnides**

Les tintinnides sont des Oligotriches planctoniques de 20 à 200  $\mu\text{m}$  constituant la majeure partie du microzooplancton dans les environnements marins (Beers et Stewart, 1967; Beers, 1982; Beers et al., 1982; Sanders, 1987; Kamiyama, 1994; Uye et al., 1996). Ils jouent un rôle important dans la chaîne alimentaire marine (Cariou et al., 1999). Les tintinnides sont non cosmopolites (Pierce et Turner, 1993). Leur identification est basée sur la morphologie de lorica (Gold et Morales, 1976; Corliss, 1979; Davis, 1981; Laval-Peuto, 1983; Cariou et al., 1999; Dolan, 2000; Dolan et Gallegos, 2001; Dolan et al., 2002) et il existe une relation étroite entre la diversité morphologique des tintinnides et la diversité phytoplanctonique, et entre le diamètre de la lorica et les proies ingérées (Dolan et al., 2002).

### **3.4. Relations trophiques des différentes communautés planctoniques au sein du réseau trophique et le flux d'énergie**

La connaissance des modalités de transfert de matière et d'énergie dans les réseaux trophiques constitue l'une des préoccupations majeures de l'écologie moderne (Sime-Ngando, 1991). En milieu aquatique, l'étude de la synécologie des microorganismes, de leur activité et des relations trophiques qu'ils entretiennent entre eux, est indispensable pour l'établissement d'un modèle écologique de flux de la matière et de l'énergie dans un écosystème donné (Brock, 1987). Dans cette perspective, il paraît nécessaire d'étudier, en conditions naturelles,

la dynamique des populations planctoniques, en relation avec les facteurs environnementaux. Il est important de souligner qu'il est aujourd'hui admis que les microorganismes aquatiques de très petite taille (<100  $\mu\text{m}$ ) forment la majeure partie de la biomasse vivante (> 90%) en milieu marin en général (Psarra et al., 2005). Il était déjà clairement démontré que les flux de matière et d'énergie dans les milieux aquatiques ne s'organisent pas seulement selon la voie trophique linéaire basée sur l'assimilation photosynthétique (**phytoplancton -> zooplancton -> poissons**) mais empruntent également la voie de la boucle microbienne (Pomeroy, 1974; Azam et al., 1983; Porter et al., 1985; Stockner et Antia, 1986; Amblard et al., 1998) (**matière organique dissoute --> bactéries hétérotrophes --> protistes phagotrophes (Ciliés + Flagellés + Amibes) --> zooplancton métazoaire**) (Fig. 1).

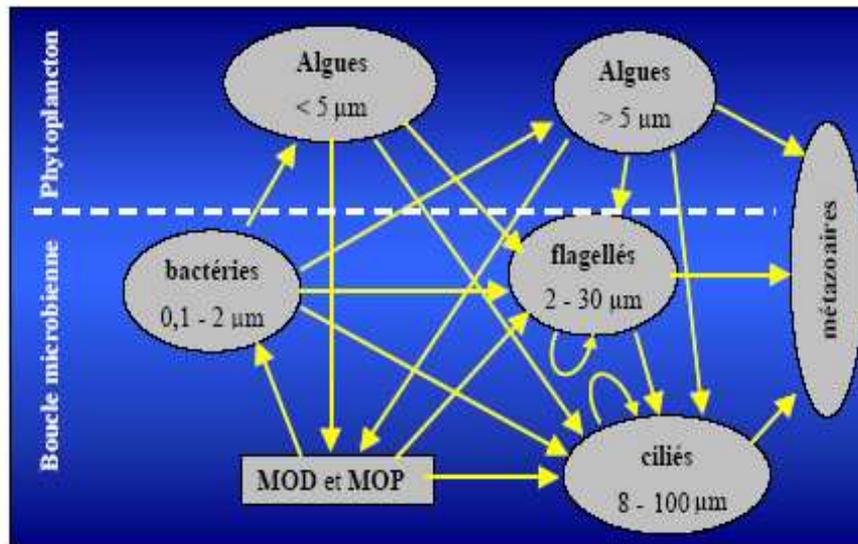


**Figure 1.** Relations trophiques et le flux d'énergie au sein de la chaîne alimentaire classique et de la boucle microbienne ([www.uiv-mrs.fr](http://www.uiv-mrs.fr))

Cette boucle microbienne a été définie par Azam et al. (1983) comme étant l'ensemble des flux de matière et d'énergie et des processus microbiens associés qui permettent à la matière organique dissoute de rejoindre la chaîne alimentaire dite classique. Les principales composantes de la boucle microbienne sont les cellules picoplanctoniques (bactéries

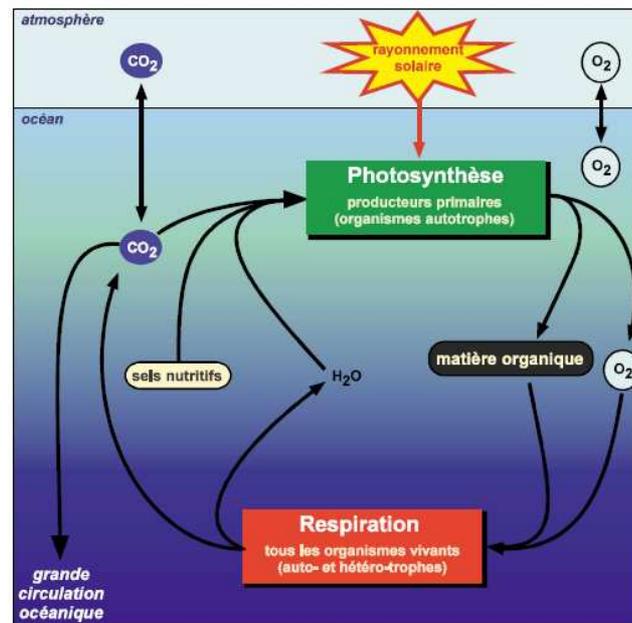
hétérotrophes, picocyanobactéries et les algues eucaryotes de petite taille) et les protistes flagellés et ciliés (Porter et al., 1985; Bird et Kalf, 1986; Stockner et Antia, 1986; Riemann et Chrisoffersen, 1993; Amblard et al., 1998).

La production particulière constitue une perte de carbone pour l'écosystème aquatique ou une augmentation de la quantité de carbone transférée vers les niveaux trophiques supérieurs reste une question fondamentale de l'écologie microbienne (Fenchel, 1988; Sherr et Sherr, 1988; Rassoulzadegan, 1990). Les conséquences de la boucle microbienne dans le fonctionnement des réseaux trophiques planctoniques dépendent très largement des conditions de milieu (degré trophique, éléments limitants, structures de tailles...) (Legendre et Rassoulzadegan, 1995). L'omniprésence et le rôle clé des microorganismes dans le fonctionnement des systèmes écologiques, notamment aquatiques, font de l'écologie microbienne une discipline essentielle. Au sein de cette communauté microbienne, les populations interagissent entre elles et avec d'autres organismes et répercutent aux conditions environnementales abiotiques selon leurs caractéristiques physiologiques propres (Gregori, 2001). De par leur temps de génération court et leur organisation cellulaire simple, ces micro-organismes unicellulaires répondent plus vite aux variations des conditions environnementales que les organismes supérieurs, plus complexes d'un point de vue structural (Gregori, 2001). Les changements dans les conditions environnementales, naturels ou induits par les activités anthropiques (pollutions), peuvent donc les affecter directement en modifiant le fonctionnement général de l'écosystème (Peierls et al., 1991; Turner et Rabalais, 1991; Howarth et al., 1996; Nixon et al., 1996, Gregori, 2001; Hodgkiss et Lu, 2004; Carstensen, 2007). Au fil des découvertes, la notion de "boucle microbienne" qui ne considérait à son origine que trois compartiments (Azam et al., 1983) à savoir la matière organique (MO) non vivante; les bactéries consommatrices de cette MO; les protozoaires consommateurs des bactéries, s'est peu à peu complexifiée afin de prendre en considération l'ensemble des relations trophiques qui lient les micro-organismes marins auto et hétérotrophes entre eux (Fig. 2) (Sherr et Sherr, 1988).



**Figure 2.** Schéma des interactions au sein des réseaux trophiques microbiens (d'après Sherr et Sherr, 1988). Les flèches jaunes indiquent les flux de matière

La dégradation de la matière organique au sein du réseau trophique microbien est similaire au processus de dégradation des aliments par le système digestif. Cependant, il s'agit d'un ensemble de processus physiques et enzymatiques qui aboutissent à la formation de produits facilement assimilables par osmotrophie par les micro-organismes (Zweifel et al., 1996). Ainsi, la matière organique dissoute (MOD) est utilisée essentiellement par les micro-organismes marins, avec ou sans hydrolyse enzymatique préalable. La MO peut être recyclée dans la couche euphotique mais peut également être exportée vers l'océan profond par advection des masses d'eaux, sédimentation des particules (Honjo, 1978) ou par transfert aux échelons trophiques supérieurs. Ultérieurement, dans toute la colonne d'eau et dans la couche sédimentaire superficielle, la MO soumise au métabolisme oxydatif de tous les organismes vivants, est partiellement ou totalement dégradée, reminéralisée alimentant le pool de la MOD (Fig. 3). Seulement une petite fraction de cette MOD est utilisable par les micro-organismes (Coffin et al., 1993).



**Figure 3.** Schéma général du cycle de la matière organique dans l'océan (d'après Gregori, 2001)

Cette matière organique dite labile, tout comme la matière organique non utilisable (réfractaire) est constituée de molécules de taille variable. Parmi ces molécules, les carbohydrates et les acides aminés sont des composés importants dans les deux fractions (Zweifel et al., 1996) mais dans le cas de la matière organique réfractaire, ces molécules se condensent et ne sont plus dégradables par les micro-organismes (Zweifel et al., 1996).

#### 4. Conséquences directes de la pollution sur le déséquilibre de l'écosystème marin: Exemple du golfe de Gabès

Le golfe de Gabès est le siège d'une importante activité halieutique et industrielle et ceci n'est pas sans conséquences sur l'équilibre de l'écosystème marin. En effet, il est considéré comme le principal pôle pour la pêche (Ben Othman, 1973; Ghorbel, 1996; Bradai, 2000). Les différentes activités halieutiques se sont très développées vu les conditions climatiques, topologiques, géomorphologiques et océanographiques favorables (CNT, 1992; Hattour et al., 1995).

Cette richesse a attiré une importante flottille qui malheureusement a engendré certains problèmes écologiques. L'incursion abusive des chalutiers dans les faibles profondeurs ajoutée aux différents rejets urbains et industriels ont entraîné une sérieuse dégradation du fond marin et des biocénoses côtières tels que l'herbier de posidonie (Zaouli, 1993; Hamza et al., 2000; Ben Aouicha, 2000).

Il est aussi à noter du point de vue environnementale que cette zone, est actuellement une région où se concentrent les différentes activités socio-économiques (urbanisation, agriculture, pêche, industries chimiques, traitement du phosphate...) (Hamza-Chaffai et al., 1995, 1996, 1997; Zairi et Rouis, 1999). Cet écosystème a subi au niveau des régions côtières des modifications sous l'effet des plusieurs types de rejets et principalement industriels (Ammar et al., 1991; Ben Mustapha et Hattour, 1992; Chouba et al., 1996). Ces rejets riches en polluants organiques et inorganiques tels que les métaux traces (cadmium, zinc, plomb, mercure...) et les hydrocarbures aromatiques peuvent être toxiques vis-à-vis de la faune et de la flore marine.

Ces dernières décennies, en plus des problèmes de dégradation que connaît cet écosystème, des phénomènes d'eutrophisation et de déséquilibre reliés aux toxines associés au phytoplancton sont devenus de plus en plus réguliers et préoccupants (Hamza, 2003; Daly Yahia-Kéfi et al., 2005).

#### **4.1. L'eutrophisation et ses conséquences sur le phytoplancton et le zooplancton**

L'eutrophisation dans sa définition la plus générique aussi bien aux eaux douces qu'aux eaux marines est le processus d'enrichissement des eaux par des éléments nutritifs suite aux rejets dus essentiellement aux activités humaines. Ceci favorise le développement d'une flore planctonique ou benthique dont la prolifération ou la décomposition sur les fonds peut provoquer des anoxies. Parfois, ces manifestations s'accompagnent ou alternent avec des cycles de proliférations bactériennes visibles et de développement de champignons (Aubert et Aubert, 1986).

De nos jours, les écosystèmes marins et lagunaires qui ont un grand intérêt aussi bien écologique qu'économique sont de plus en plus marqués par des degrés d'eutrophisation accentués (Vollenweider, 1971; UNESCO, 1988; Turley, 1999; Sherrard et al., 2006). L'eutrophisation des écosystèmes aquatiques est un phénomène résultant de l'enrichissement des eaux en sels nutritifs, principalement l'azote et le phosphore cas de la Méditerranée (UNESCO, 1988; Francour et al., 1994; Turley, 1999; Bianchi et Morri, 2000; Gomez et Gorsky, 2003; Carstensen, 2007). Le phytoplancton, est la cible essentielle de cette eutrophisation. En général, l'abondance et la composition du peuplement phytoplanctonique sont de bons indices pour comprendre la structuration et la qualité des eaux (Paerl et al., 2003; Tett, 2004; Sherrard et al., 2006). Ainsi, les sels nutritifs constituent les causes, tandis que la

turbidité, les pigments chlorophylliens et les blooms micro-phytoplanctoniques représentent les conséquences (Turki et al., 2006).

Au fait, on distingue deux types d'eutrophisation :

✓ l'eutrophisation naturelle qui se manifeste suite à un enrichissement des eaux en éléments nutritifs par le biais d'un phénomène naturel tel que l'upwelling (Moita, 1993). L'enrichissement en éléments nutritifs peut aussi se faire par les précipitations atmosphériques ou par le lessivage des eaux versantes y compris les eaux de pluie (Ayadi, 1986). Ces éléments nutritifs peuvent avoir comme origine la dégradation de la matière organique issue des organismes vivants ou issus des excréments des zooplanctons (Ayadi, 1986).

✓ l'eutrophisation soutenue suite à une pollution induite par les activités anthropiques (Morais et al., 2003; Hodgkiss et Lu, 2004). Le bassin oriental de la mer Méditerranée, est connue pour être oligotrophe (Souvermezoglou et al., 1992; Siokou-Frangou et al., 1998; Gotsis-Skretas et al., 1999) mais durant ces dernières décennies des eutrophisations côtières sont de plus en plus observées (Ignatiades et al., 1986; Gotsis-Skretas et Friligos, 1990; Pagou, 1990; Pagou et Ignatiades, 1988, 1990; Gotsis-Skretas, 1995; Pagou et Assimakopoulou, 1996) et cas d'ailleurs du golfe de Gabès (Hamza, 2003).

Cependant, le phénomène d'eutrophisation naturelle est souvent difficile à dissocier des contraintes artificielles. En effet, ces processus mettent en jeu une combinaison de facteurs multiples qui s'interagissent (Hodgkiss et Lu, 2004).

L'eutrophisation des écosystèmes marins présente plusieurs conséquences parmi lesquelles on peut citer:

- Le changement du degré trophique,
- La diminution de la transparence des eaux en réduisant la pénétration des rayons solaires en raison de la prolifération anarchique du phytoplancton (bloom) et aussi à cause de l'augmentation des matières en suspension (MES) (Vivier, 1967),
- Les eaux deviennent de mois en mois chargées en oxygène (Falkowski et al., 1980; Delorme 1982; Ayadi 1986; Hodgkiss et Lu, 2004, Jansen et al., 2006) contribuant à une disparition de certaines espèces (Pechlaner, 1979) et la mort de plusieurs poissons et même les mammifères (baleine, dauphin...) (Hallegraeff, 1993),
- Le développement excessif des algues se traduit par l'apparition des eaux colorées (Morais et al., 2003; Hodgkiss et Lu, 2004; Turki et al., 2006). Il y a différentes classes d'algues qui traduisent ce phénomène; parmi lesquelles, on peut distinguer les cyanobactéries (Ghilarov, 1983), les diatomées (Balvey, 1971), les dinoflagellés et les

euglénophycées. Dans d'autres cas, le bloom peut renfermer plusieurs espèces, parmi lesquelles, on peut rencontrer des espèces toxiques qui provoquent des perturbations écobiologiques de l'écosystème (Kozlowsky-Suzuki et al., 2006),

- L'eutrophisation a un effet indirect sur le zooplancton. En effet, l'augmentation de la densité algale va influencer le zooplancton et il va réagir en fonction des changements du milieu par la diminution de la spécificité (Ravera, 1969; Gannon, 1972; Dauby, 1980; Seguin, 1981; Lakkis, 1990; Mazzocchi et Ribrera d'Alcalà, 1995; Siokou-Frangou, 1996; Fernandez de Puellas et al., 1997; Calbet et al., 2001). Le bloom des algues toxiques engendre l'intoxication du zooplancton herbivore (Turner et Anderson, 1983; Watars et al., 1985; Uye, 1986; Jansen et al., 2006; Kozlowsky-Suzuki et al., 2006; Barreiro et al., 2007). Les crustacés y compris le microzooplancton (les tintinnides), mésozooplancton (les copépodes et les cladocères) (Sladacek, 1983) sont de bons indicateurs d'eutrophie,
- Le déséquilibre écobiologique causé par l'eutrophisation peut se présenter et se manifester aussi chez des niveaux supérieurs de la chaîne trophique. En effet, l'augmentation de la biomasse zooplanctonique contribue à une amplification de la biomasse des poissons planctonophages qui se nourrissent de ces animaux (Patalas et Patalas, 1968) et la disparition de quelques espèces de poissons (Morais et al., 2003).

En ce qui concerne le golfe de Gabès et durant ces dernières décennies, une intense activité anthropique et industrielle a contribué certainement à un enrichissement côtier en éléments nutritifs et par conséquent l'accélération et l'amplification des phénomènes d'eutrophisation (Duarte et al., 2000; Verlecar et al., 2006).

#### **4.2. Les eaux colorées**

Ce sont des phénomènes entièrement naturels dont le développement est généralement dépendant du changement de la structure de la colonne d'eau, de la turbulence et de la stratification thermique et haline (Delgado et al., 1990; Delmas et al., 1992; Giacobbe et al., 1995). Au cours de ces deux dernières décades, les eaux rouges comme les épisodes phytoplanctoniques néfastes sont en expansion tant par leur nombre que par leur fréquence et intensité (Hallegreff, 1993). Hallagreaff (1998) aligne les efflorescences phytoplanctoniques aux spécificités écologiques des espèces et leurs comportements biologiques. Selon Sournia (1995), sur les 6000 espèces recensées environ 200 sont susceptibles de former des eaux colorées ce qui représente 5,5 à 6,7 % de la microflore algale des océans.

Certaines eaux colorées peuvent être nocives à la santé humaine, notamment quand il s'agit de dinoflagellés toxiques (Yasumoto, 1990; Baden et Trainer, 1993; Geohab, 2003). Les efflorescences d'algues toxiques a été décrites aussi en Méditerranée (Honsell et al., 1995; Vila et al., 2001).

Dans le golfe de Gabès, déjà en 1935, Fremy et Feldman décrivent un phénomène particulier engendré par des algues phytoplanctoniques au large des îles Kerkennah. Il s'agissait de l'extension, en Eté, de la pullulation d'une cyanobactérie du genre *Trichodesmium* qu'ils dénommèrent "Muffa". En juillet 1988, un phénomène analogue s'est manifesté en différentes zones du golfe de Gabès. L'espèce phytoplanctonique responsable de ce bloom était une cyanobactérie baptisée au début *Oscillatoria – Lyngbya* (Hamza et Ben Maiz, 1990) et notifiée actuellement *Trichodesmium erytreum*. Depuis cette date et jusqu'aux années 94, presque annuellement et pendant la saison estivale, le même phénomène se renouvelle dans le golfe de Gabès (Hamza et El Abed, 1994).

L'été 1994, semble être la saison la plus marquante des phénomènes d'efflorescences phytoplanctoniques dans le golfe de Gabès. Ces épisodes sont accompagnées d'une mortalité et d'un échouage d'importantes quantités de poissons (anguilles, gobidés, seiches, ...). Le phénomène s'est poursuivi durant une semaine. L'observation microscopique a révélé la prolifération d'une population mono-spécifique à *Gymnodinium* sp. très semblable à *Gymnodinium nagasakiense* (Hamza, 1994). Les plus fortes concentrations enregistrées sont de l'ordre de  $4 \text{ à } 6 \times 10^7$  cellules. l<sup>-1</sup>.

L'installation du réseau de surveillance phytoplanctonique en 1995 (REPHY), a permis de renforcer les connaissances sur les eaux colorées sévissant dans le golfe et de définir les espèces responsables. L'inventaire des espèces phytoplanctoniques proliférantes du golfe de Gabès comprend 17 espèces dont 9 appartiennent à la classe des Dinoflagellés (*Prorocentrum minimum*, *P. rathymum*, *P. micans*, *Karenia selliformis.*, *Gymnodinium splendens*, *Protoceratium reticulatum*, *Protoperidinium quiniquorne*, *Coolia monotis* et *Gymnodinium catenatum*). Dans la gamme des Diatomées, nous n'avons relevé qu'une espèce le *Skletonema costatum*. Ce répertoire semble assez réduit puisqu'en certaines régions océaniques, le nombre des espèces provocatrices d'eaux rouges peut atteindre 50 espèces (cas des côtes européennes) (Berland et Lassus, 1999). Ces espèces des eaux rouges du golfe de Gabès occasionnent pour la plupart des blooms mono-spécifiques côtiers avec des concentrations qui peuvent atteindre  $10^5$  cellules. l<sup>-1</sup>; mais, il n'est pas rare de noter dans le golfe des eaux colorées pluri-spécifiques et qui plutôt affectent le large généralement au Sud du golfe (Zarrat, Borj Jellij et Zarzis) (Hamza, 2003). Ces efflorescences se manifestent

généralement conjointement à une élévation de la température durant la saison estivale à partir du mois de Juin et se présentent sous forme de mucilages très denses.

#### **4.3. L'enkystement des dinoflagellés: Un phénomène latent pour les espèces toxiques**

Le cycle de certains dinoflagellés est caractérisé par l'alternance entre un stade de vie pélagique (les cellules végétatives) et un stade de vie benthique (le kyste dormant). Environ 10% des espèces de dinoflagellés forment des kystes dormants (Dale, 1983). Ils sont produits à l'issue de la reproduction sexuée. La germination du kyste dormant constitue le point de départ du cycle biologique de ces espèces. En effet, le planoméïocyte diploïde qui en résulte subit une méiose et donne deux cellules végétatives haploïdes qui se divisent ensuite par mitoses successives. Des variations brusques des paramètres de l'environnement peuvent engendrer la formation de kystes temporaires. Après la phase de croissance exponentielle, les cellules végétatives produisent des gamètes qui fusionnent pour former un planozygote diploïde. Cette cellule se charge de réserves tandis que sa mobilité décroît pour aboutir à la formation d'un kyste dormant immature. Cette forme de résistance benthique subit dans le sédiment une période de dormance obligatoire associée à une phase de maturation. Les kystes dormants assurent donc le couplage entre la vie benthique et pélagique, et soutiennent le développement et la récurrence des efflorescences (Yamaguchi et al., 1996; Marcus et Boero, 1998; Stahl-Delbanco et Hansson, 2002). Leur paroi externe résistante (Montresor et al., 1998; Blackburn et Parker, 2005) assure une protection quand les conditions de l'environnement sont défavorables (Kremp, 2000; Ichimi et al., 2001). L'accumulation des kystes dormants dans le sédiment appelée "banque de kystes" (Matsuoka et al., 2003; Garcés et al., 2004), représente la source d'ensemencement pour l'initiation des efflorescences (Anderson et al., 1984; McGillicuddy et al., 2003). Le rôle central joué par les kystes dormants dans le développement et la récurrence des efflorescences a été déjà rapporté dans différentes régions du monde (Hallegraeff et al., 1998).

Le phénomène d'enkystement entraîne une accumulation de kystes dans le sédiment d'autant plus importante qu'elle est associée à des densités élevées de cellules végétatives (la plupart des temps supérieur à  $10^6$  cellules. l<sup>-1</sup>). Le temps de survie des kystes dormants benthiques (de quelques semaines à plusieurs années), leur viabilité qui peut être altérée entre autres par la prédation. Leur période de dormance obligatoire sont variables et affectent significativement le potentiel d'ensemencement d'une population. Le taux d'enkystement, principalement contrôlé par la température et la présence d'oxygène, ainsi que la survie de la

cellule issue de la germination, déterminent la taille de l'inoculum. L'ensemble de ces processus biologiques est contrôlé par des facteurs endogènes et/ou environnementaux qui diffèrent entre les espèces et au sein d'une même espèce.

Les kystes dormants ont été également impliqués dans la dispersion géographique et le succès du processus d'invasion d'espèces toxiques tels *Alexandrium* sp. (Hallegraeff, 1993), en particulier grâce au transport par les eaux de ballast des bateaux (Carlton et Geller; 1993; Hallegraeff, 1998; Hamer et al., 2000; Doblin et Dobbs, 2006). Dans le golfe de Gabès, l'étude des espèces toxiques et la confirmation de leurs toxicités par un test de toxicité reviennent aux travaux de Hamza (2003) et Turki et al. (2006). Dans cette région, les microalgues toxiques ont été dominées par *Prorocentrum lima* et *Ostreopsis siamensis* (Turki et al., 2006). Ces deux espèces toxiques peuvent être benthiques ou épiphytes (Turki et al., 2006). En général, dans le cadre de la protection de la santé publique et de l'assurance de la sécurité économique, plusieurs projets de bio-surveillances ont été programmé dans pas mal de pays dans le but de la détection et du suivi de ces toxines dans l'eau de mer (Shumway et al., 1995; Fast et al., 2006).

##### **5. Rôle et intérêt des techniques biochimiques pour la classification du phytoplancton à travers l'analyse des pigments chlorophylliens: cas du HPLC**

Les méthodes classiques pour la détermination de la composition phytoplanctonique se basent sur le comptage classique en utilisant le microscope à phase inverse (Utermöhl, 1958) ont été utilisées dans divers écosystèmes méditerranéens (Estrada et al., 1985; 1999; Gomez et Gorsky, 2003; Gomez et al., 2004). Les résultats fournis par ces études, bien que apportant une contribution significative à l'étude des variations saisonnières des communautés phytoplanctoniques en relation avec les facteurs abiotiques, se trouvent le plus souvent heurtés à plusieurs contraintes méthodologiques. En effet, les cellules de petites tailles appartenant aux fractions nanoplanctonique et picoplanctonique sont souvent sous évaluées, car ne résistent pas aux techniques de fixation, elles sont difficilement identifiables. De plus, leurs identifications requièrent des compétences élevées en taxonomie des espèces appartenant à ces groupes de taille.

Actuellement, la technique de la chromatographie à phase liquide à haute performance (HPLC) est fréquemment utilisées dans le but de caractériser les différentes classes de taille phytoplanctoniques à travers l'étude chémotaxonomique des pigments chlorophylliens (Millie et al., 1993; Latasa et al., 1996; Trees et al., 2000; Ston et al., 2002; Deydier-Stephan et al., 2003). Les études basées sur la composition pigmentaire du phytoplancton fournissent des

informations utiles sur la taxonomie des classes phytoplanctoniques ainsi que sur les processus qui influent la dynamique de leurs populations (Claustre et al., 1994). Toutefois, l'interprétation des données des pigments n'est pas simple. Certains pigments sont des marqueurs non ambigus de leurs classes, par exemple la péridinine pour les dinoflagellés ou l'alloxanthine pour les cryptophytes, mais de nombreux pigments sont trouvés dans plus d'une classe, comme la fucoxanthine qui est présente dans les diatomées, prymnéisophytes et pélagophytes. Plusieurs algorithmes qui utilisent la concentration des pigments marqueurs pour déterminer la contribution des différents taxons d'algues à l'ensemble du stock chlorophyllien ont été développés (Gieskes et al., 1988; Letelier et al., 1993). Ils utilisent surtout un seul marqueur pour chaque taxon et tentent de résoudre itérativement un ensemble d'équations simultanées. Une approche plus robuste utilise la matrice de factorisation, CHEMTAX (Mackey et al., 1996), qui exploite pleinement les données d'HPLC et optimise itérativement une matrice des rapport pigments/Chlorophylle *a* pour chaque classe d'algues (Mackey et al., 1996, Wright et al., 1996; Mackey et al., 1998). Idéalement, ces rapports devraient ressembler le plus possible aux rapports pigment/Chlorophylle *a* de l'espèce dans l'échantillon en cours d'analyse (Mackey et al., 1996). Par conséquent, il a été souvent conseillé que l'analyse pigmentaire soit accompagnée par la détermination microscopique qui permet surtout de statuer sur la présence des différentes classes algales dans l'échantillon (Llewellyn et al., 2005).

## 6. Problématique

Tout écosystème aquatique peut être décrit comme étant la juxtaposition de différents niveaux trophiques et sa production dépend de la richesse et de la composition de ces niveaux alimentaires. Par ailleurs, il est important de savoir que dans les modèles de fonctionnement des interactions trophiques, la biomasse maximale de chaque niveau trophique n'est pas exclusivement régie par la disponibilité des éléments nutritifs des niveaux inférieurs mais que l'état du milieu à savoir les conditions océanographiques et même climatiques peuvent aussi interférer dans les relations entre les différents niveaux. Les connaissances acquises portant sur le fonctionnement des réseaux trophiques du golfe de Gabès sont très peu étudiés et font même presque défaut malgré que cette région est connue par sa richesse halieutique et les hautes productions ichtyologiques (Ghorbel, 1996). En effet, non seulement les différents niveaux ne sont pas évalués avec une même cadence mais aussi l'effet de la qualité du milieu est très peu intégré dans les études d'évaluations.

A la base d'un réseau trophique d'un écosystème, se situent les organismes photosynthétiques dont leur croissance est strictement dépendante de la disponibilité des éléments minéraux. Dans le golfe de Gabès, l'étude des populations phytoplanctoniques n'a touché que la composition spécifique et la dynamique saisonnière sans toutefois abordé les interactions trophiques ni encore les effets de la qualité du milieu. Ces travaux ont pu néanmoins montrer une prédominance des dinoflagellés. De plus, une origine néritique de ce phytoplancton a été souvent mise en évidence. L'origine du phytoplancton qui alimente les côtes tunisiennes, et plus particulièrement sa dynamique temporelle en relation d'une part avec la disponibilité des éléments nutritifs, et d'autre part avec le maillon trophique supérieur, qui est le zooplancton, sont encore des aspects à étudier de près afin de d'appréhender la capacité trophique de l'écosystème étudié, à savoir l'ensemble des côtes Tunisiennes de 0 à 200 m de profondeur.

### **7. Objectifs et finalités des principales parties étudiées**

Il est important de noter que le présent travail est réalisé dans le cadre d'un projet nommé "**Planktonic and Oceanographic Ecosystem Monitoring and Management**" désigné par **POEMM** (LR02INSTM04) en collaboration scientifique étroite entre la Faculté des Sciences de Sfax (FSS), l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer (INSTM) de Sfax et de Tunis et avec le Centre de Biotechnologie de Sfax (CBS) en cotutelle avec l'Université de Franche Comté France (UFC).

Le présent travail comporte deux chapitres: le premier consiste à une étude à court terme des communautés planctoniques (phytoplancton et zooplancton) soit une étude du phytoplancton par chémotaxonomie dans la région du golfe de Gabès pendant une saison estivale (Juillet 2005). Le deuxième chapitre concerne la répartition spatio-temporelle de la communauté phytoplanctonique et zooplanctonique dans la région du golfe de Gabès durant 4 périodes d'études (Juillet 2005, Mai-Juin 2006, Septembre 2006 et Mars 2007). Pour ceci, nous avons en fait tracé les objectifs suivants:

- *Evaluer le statut trophique des eaux du golfe de Gabès.*
- *Identification, quantification et caractérisation des principaux groupes qui contribuent à la biomasse phytoplanctonique en utilisant deux méthodes différentes à savoir la méthode de comptage classique (Utermöhl, 1958) et celle de l'analyse des pigments par la technique HPLC permettant l'estimation des classes phytoplanctoniques par chémotaxonomie à travers l'estimation des pigments dosés cette technique.*

- *Caractériser la communauté phytoplanctonique en relation avec les propriétés hydrologiques des différentes masses d'eaux.*
- *Comprendre le processus d'enrichissement biologique des eaux côtières par la veine d'eau atlantique.*

Ces objectifs nécessiteront certainement :

- *L'étude de la distribution spatiale et verticale du phytoplancton particulièrement les dinoflagellés (espèces et kystes) espèces jugées d'après les travaux de Hamza (2003) comme étant majoritaires dans la région. Cette variation sera couplée aux facteurs environnementaux à partir de la côte vers le large pendant une saison estivale.*
- *L'étude de la variation spatio-temporelle de la composition et la diversité du peuplement phytoplanctonique et zooplanctonique en relation avec la structure hydrologique et la disponibilité des éléments nutritifs dans les régions côtières et océaniques au niveau du golfe de Gabès entre 2005 et 2007.*
- *La localisation des zones frontales en termes de température et de concentration phytoplanctonique.*
- *La détermination des facteurs qui contrôlent la biomasse phytoplanctonique principalement la disponibilité des éléments nutritifs en fonction du forçage par les facteurs hydrodynamiques et météorologiques et de la pression exercée par le maillon trophique supérieur, le zooplancton. Et ceci, à partir de la côte jusqu'au large et à partir de la surface jusqu'au fond au niveau du golfe de Gabès, qui est continuellement influencée par les courants issus de la mer atlantique.*
- *L'étude de la structure de la colonne d'eau, c'est-à-dire de la stratification thermique, le brassage de la colonne d'eau et/ou bien la transition entre ces deux états.*
- *La compréhension du mécanisme d'enrichissement des eaux côtières du versant oriental.*

## Chapitre I: Matériel et méthodes

### I.1. PREMIERE PARTIE: Description du site d'étude

#### I.1.1. Caractéristique du golfe de Gabès

##### I.1.1.a. Cadre géographique, morphologique, climatique et sédimentologique du golfe de Gabès

Le golfe de Gabès, appelé par les anciens navigateurs "*Petit Syrte*", est situé sur la façade Sud-est de la Tunisie. Il s'étend de "Ras Kapoudia" au niveau de la parallèle 35°N jusqu'à la frontière tuniso-lybienne (Bradai et al., 1995). Le golfe de Gabès, qui est une large échancrure située au sud de la Tunisie, constitue le golfe le plus important du littoral tunisien (Azouz, 1971; Burollet et al., 1979). Il représente plus de la moitié des côtes tunisiennes avec 700 km environ (Fig. 1). Il abrite les îles Kerkennah, Kneiss et Jerba et les lagunes de Bougrara et d'El Bibane (Hamza, 2003, Sammari et al., 2006). L'île de Jerba constitue une sorte de bouchon pour la mer de Bougrara. A côté de cette mer et plus au Sud se trouve la plus grande lagune tunisienne qui est la lagune appelée aussi Bhiret El Bibane. Le golfe de Gabès abrite 3 gouvernorats et 18 ports à savoir la ville de Sfax, avec 8 ports (Ellouza, Awabed, Sfax, Lataya, Mahrès, Skhira, Kraten et Zabbousa); Gabès avec 3 ports (Gannouch, Gabès, et Zerrat) et Médenine avec 7 ports (Bougrara, Agim, Zarzis, Elketf, Houmet-Essouk, Hassi Jalaba et Elbibane) (Anonyme, 2003).

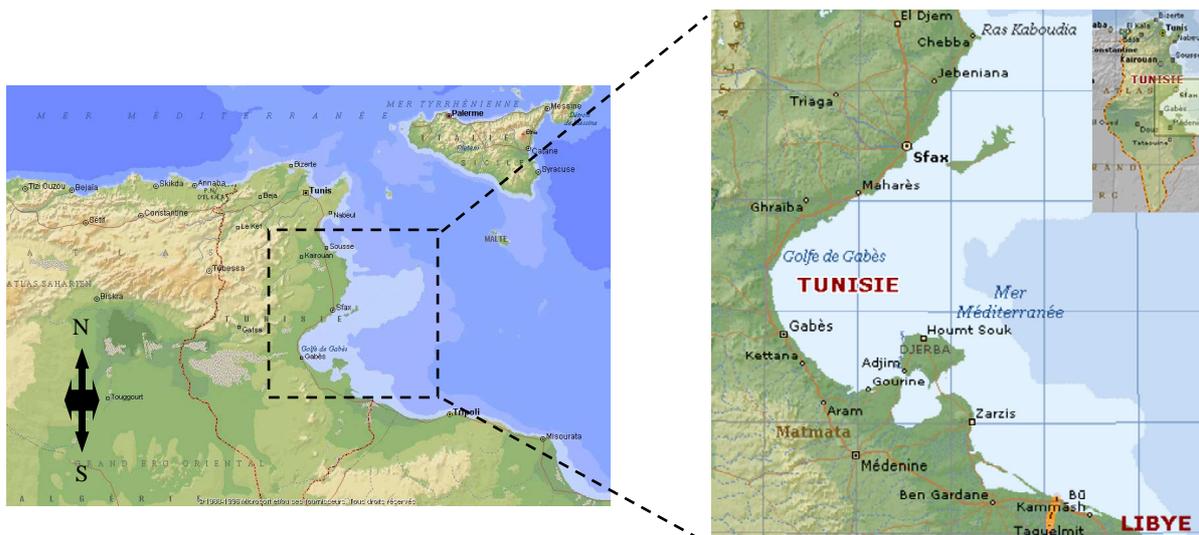


Figure 1. Localisation géographique de la zone d'étude: Le golfe de Gabès

Le golfe de Gabès fut souvent qualifié de nurserie et de pépinière de la Méditerranée (Hattour, 1991; Hattour et al., 1995). Le plateau continental du golfe de Gabès est très large caractérisé par une pente douce rarement interrompue et par un réseau de canaux et d'oueds plus au moins importants. Il atteint des superficies peu communes en Méditerranée et il est en grande partie recouvert de sédiments meubles, sableux, vaseux et carbonatés d'origine biogène avec un apport clastique terrigène à proximité immédiate du littoral (Burollet, 1979). Les zones néritiques du golfe de Gabès sont souvent basses, sableuses, sablo-vaseuses ou même parfois marécageuses. Le relief sous marin du golfe de Gabès reflète pratiquement le même paysage que celui de l'arrière pays (steppe et plaine) (Poizat, 1970). Du point de vue sédimentologique, la région du golfe de Gabès est riche en matières organiques, ce qui permet la bonne accumulation des agents polluants (Hamza, 2003). Son sédiment est constitué en majeure partie de sable et d'une forte densité de végétaux; cette structure s'étend des plages jusqu'à peu près 20 m de profondeur. Au-delà de ces profondeurs, on rapporte la succession sédimentologique suivante: (i) de -10 à -50 m, le fond est recouvert successivement de sable, sable vaseux et de la vase sableuse, (ii) de -50 à -80 m, caractérisée par la succession: vase sableuse-sable vaseux-sable, (iii) de -80 à -200 m, le sédiment devient de plus en plus vaso-sableux Ben Othman, (1973). D'autres études (Molinier et Picard, 1954; De Gaillande, 1970a; Ktari-Chakroun et Azouz, 1971; Darmoul, 1988; Zaouali, 1993) ont montré d'autres particularités sédimentologiques du golfe de Gabès dont les plus importantes sont les suivantes (i) la granulométrie du sédiment au voisinage des herbiers est très fine, ceci est du au fait du rôle de piège à sédiment que jouent ces structures, (ii) la présence d'un phénomène d'envasement progressif de la zone, d'origine naturelle et anthropique prévu depuis 1954 par Molinier et Picard et (iii) la présence d'une instabilité des facteurs édaphiques entretenue par un système de courants complexes et des conditions hydrodynamiques particulières influençant ainsi sur la nature des biocénoses et leur répartition. Il est aussi probable que la granulométrie fine du sédiment favorise la conservation des kystes phytoplanctoniques (Hamza, 2003). C'est seulement aux abords de la Skhira et au niveau de la mer de Boughrara qu'on peut noter la présence de falaises rouges et escarpées. Plusieurs zones humides et des sebkhas sont aussi mitoyennes à cette côte (Hamza, 2003). Contrairement à la région nord tunisienne, la partie Sud-Est a toujours été beaucoup plus stable depuis le tertiaire. Son relief est mou et le plateau continental, très étendu, à pente douce, n'est jamais interrompu par des accidents rocheux. La limite entre le plateau et le talus est toujours difficile à préciser du fait de la faible déclivité des fonds. Par ailleurs, le golfe de Gabès est en voie de comblement par les apports terrigènes (Ktari-Chakroun et Azouz, 1971). Cependant, et à partir de l'île de

Jerba où on y recèle une topographie assez complexe par la présence de dômes et de cuvette. La partie nord est caractérisé par un relief simple avec une pente relativement accentuée, formée de fonds sablo-vaseux parcourus par des chenaux de marées quelque fois assez profonds. Le golfe de Gabès présente une géomorphologie qui varie du Nord au Sud, avec notamment un seuil Nord-Ouest Sud-Est de 25 m de profondeur joignant Jerba à l'archipel des Kneiss et qui le sépare en deux zones à topographies différentes (i) la partie Nord est caractérisée par un relief simple avec une pente relativement accentuée. Cette zone qui s'étend de Ras Kapoudia à la baie de Sur-kneiss est bordée par des hauts fonds sablo-vaseux et parcourue par des chenaux assez profonds, (ii) la partie sud de ce seuil, présente une topographie relativement compliquée avec la présence de dômes et de cuvettes. Cette géomorphologie sédimentaire assez particulière conditionne la nature des biocénoses qui ont élu place dans cette région ou encore de la position géographique du golfe faisant de lui une région mitoyenne au désert et donc aux apports éoliens (Molinier et Picard, 1954; De Gaillard, 1970b; Ktari-Chakroun et Azouz, 1971; Darmoul, 1988; Zaouali, 1993).

La région du golfe de Gabès est caractérisée par un climat pré-saharien aride à semi aride et par une faible pluviométrie dont la moyenne annuelle est de 200 mm an<sup>-1</sup>. Le nombre de jours de pluies est très faible dans cette région; mais quand elles se manifestent, elles y sont souvent torrentielles. Il est aussi important de savoir que le tiers se concentre en automne ce qui favorise une certaine stratification de la colonne d'eau en cette période, facteur très favorable à la prolifération des espèces phytoplanctoniques (Hamza, 2003). Les eaux de ruissellement que reçoit cette mer ne sont pas non plus très importantes; ceci ajouté aux faibles précipitations et l'intense évaporation contribuent sans doute à l'élévation de la salinité, paramètre limitant pour certaines populations phytoplanctoniques (Hamza, 2003). La salinité oscille entre 38 à 39‰ (Brandhorst, 1977). En ce qui concerne la température, on enregistre une moyenne annuelle peu élevée 19.5°C (Azouz, 1971) avec des maximums quotidiens de 41 à 48°C. Ces fortes températures se prolongent souvent au-déla de l'Eté (Amari, 1984). Cependant, l'écart des températures entre la côte et le large est assez important (Seurat, 1929). La vaste région d'eau peu profonde du golfe de Gabès (Sammari et al., 2006) se prête aux effets différentiels de réchauffement et de refroidissement. C'est pourquoi cette région apparaît en contraste thermique avec les eaux profondes avoisinantes. Les changements thermiques survenus durant cette dernière décennie au niveau du golfe de Gabès ont accentué les phénomènes d'eutrophisation sur plusieurs côtes du golfe (Hamza, 2003). Par ailleurs, on note un décalage entre l'échauffement maximal de l'air et celui de l'eau. Le réchauffement favorise certainement la reproduction et le développement intensif de plusieurs

espèces végétales macro et microscopiques, ce qui est de nature à amplifier ces processus. Les petites profondeurs interviennent dans les processus de la stratification et du réchauffement de la colonne d'eau, paramètres très favorables à la prolifération du phytoplancton (Hamza, 2003).

La vitesse, la direction et la fréquence des vents sont aussi des données importantes. Dans cette zone, le vent au large est peu différent de celui enregistré dans la partie nord du pays, par contre celui du littoral présente des caractéristiques particulières. Au large et en toute saison, ce sont les vents de secteur ouest et surtout nord-ouest qui sont dominants. Sur le littoral surtout en été, les vents dominants sont de secteur est et nord-est (Serbaji, 1991).

Cette zone dispose de conditions climatiques, topographiques, géomorphologiques et océanographiques favorables (Poizat, 1970; Azouz, 1973; Ben Othman et Lajimi, 1979; Blanpied et al., 1979; Burolet, 1983; Amari, 1984). Cette situation a contribué encore au fonctionnement d'un système littoral marin naturel remarquable dont l'aboutissement le plus important a été la mise en place d'une climax constituée par la biocénose à *Posidonia oceanica* (Le Danois, 1925; Molinier et Picard 1954; Hamza-Chaffai, 1993; Ben Mustapha et al., 1999) qui s'étend jusqu'au golfe de Syrte en Libye, formant ainsi la biocénose à *Posidonia oceanica* la plus étendue du monde (Batisse et Jeudy De Grissac, 1998). Ces vastes champs d'herbiers de phanérogames ont joué le rôle d'une zone d'élevage: c'est une pépinière exceptionnelle favorisant la reproduction et le développement des larves de nombreuses espèces marines (Hamza-Chaffai, 1993; Bradai, 2000; Ben Salem et al., 2002).

#### **I.1.1.b. Importance et état de la bionomie benthique au niveau du golfe de Gabès**

La biocénose du golfe de Gabès est assez originale du moins par les nombreuses transformations et variations qui se sont déroulées tout au cours du dernier siècle. Les vastes prairies de Posidonies qui couvraient le golfe depuis les petites profondeurs jusqu'à des profondeurs très importantes ont vu leurs limites inférieures notablement régresser de -30 à -15 m vers -9 m (Ben Mustapha et Hattour, 1992; Ben Mustapha et al., 1999). Bien qu'ils sont actuellement en régression, ils constituent de véritables frayères et nurseries pour plusieurs espèces de vertébrés et invertébrés (Bradai, 2000). Les pelouses à caulerpes qui s'étendaient depuis la limite inférieure des posidonies en forme de ceintures continues jusqu'à des profondeurs de -40 m ont complètement disparues dans certaines zones. Au Nord du golfe de Gabès et sur les hauts fonds de Kerkennah, les prairies de posidonies ne présentent pas des limites régressives mais elle ont une structure fragile en forme de maritime ou dite de forme tigrée ce qui est de nature à les rendre très sensibles à toutes les agressions (Hamza et al.,

2000). Pour les profondeurs supérieures à -50m, c'est souvent une biocénose de vase instable qui se présente conditionnée par des phénomènes hydrodynamique particulier (Perès et Picard, 1964). La bionomie benthique du Sud tunisien est caractérisée par l'abondance relative de certains invertébrés tels que le bivalve *Pinctada radita*, les Echinodermes *Paracentrotus lividus*, *Ophiomyxa pentagona*, *Antedon merditerranea* et *Dorocidaris papillata*, le Polychète *Hyalonoecia tubicola*, les ascidies *Ascida mentula*, *phallusia mammulata* et les éponges *Euspongia officinalis* et *Hippospongia communis* (Ben Othman, 1973). L'état de la bionomie benthique a été bien décrit au cours des années 1990, 1991 et 1992 par Ben Mustapha et al. (1999). La flore est représentée par une abondance d'herbiers de phanérogames marines (*Posidonia oceanica*, *Cymodosea nodosa*) dont l'extension ou la régression peuvent nous renseigner sur la qualité du biotope. *Posidonia oceanica* appartient à la famille des Posidoniacées (Embranchement des Angiospermes, Classe des Monocotylédones, Ordre des Potamogetonales). La Posidonie est une Phanérogame marine (plante à fleurs) qui joue un rôle primordial dans l'équilibre bioécologique et la richesse halieutique du milieu (Boudouresque et Meinez, 1982). Elle est endémique de la méditerranée, elle se rencontre depuis la surface jusqu'à 30 à 40 m de profondeur (Molinier et Zevaco, 1962). Ces herbiers constituent une nurserie pour d'innombrables espèces en leur servant d'abri, de nourriture ou de lieu de ponte. Ils contribuent également à l'oxygénation de l'eau de mer (Bradai et Bouain, 1994), à la stabilité des fonds meubles et des rivages et à l'enrichissement de sédiment en matières organiques (Ben Brahim, 2004). L'activité anthropique du golfe de Gabès a entraîné une mise en place de biocénoses caractéristiques d'un état de délabrement de l'écosystème (Ben Mustapha et Hattour, 1992; Caddy, 1993; Ben Mustapha, 1995) elle s'est traduite, principalement par la perte importante d'étendues du couvert végétal et par sa dégradation (Azouz, 1981; Anonyme, 1992; Pergent, 1992; Ben Mustapha et Hattour, 1992; Chaouch et Ben Mustapha, 1992; Ben Mustapha, 1995; Hattour et al., 1995; El Abed et Hattour, 1997). Cependant, la richesse de la zone en herbiers favorise l'expansion des populations phytoplanctoniques car c'est essentiellement une source permanente en nutriments et un support adéquat pour certaines espèces épiphytes. Parmi les classes développées suite à la richesse de la zone en herbiers sont les dinoflagellés, les diatomées et les cyanobactéries qui sont d'excellentes espèces bio-indicatrices de l'état de l'écosystème marin (Hamza, 2003). Au niveau de l'étage médiolittoral (zone de balancement des marées), le phytobenthos est très peu varié. Il est souvent marqué par l'abondance de certaines algues (Ulves, Entéromorphes, *Valonia...*) qui constituent même des phénomènes spectaculaires de marées vert surtout les rivages nord de Sfax (Hamza et al., 1995). Dans les

zones plus au moins rocheuses et abritées (Kerkennah et Kneiss), on rencontre des cyanobactéries (*Lyngbya*) et des algues rouges *Laurencia obtusa*. Dans cet étage, des tapis à zoostères sont aussi observés; ceux-ci chevauchent parfois avec le cordon à cymodocées.

### I.1.1.c. Sources et types des polluants au niveau du golfe de Gabès

Le golfe de Gabès a subi de nombreuses atteintes à son environnement avec les rejets de polluants en mer. En effet, l'industrialisation de la région de Gabès s'est traduite au cours de années 70, par l'implantation à Ghannouche d'un complexe d'industrie chimique autour du port de commerce situé à 3 km au nord de Gabès (Béjaoui et al., 2004). Le résidu de fabrication d'acide phosphorique et du triple superphosphate, constitué essentiellement par le phosphogypse, est déversé directement dans les eaux du golfe de Gabès. Les travaux de Béjaoui et al. (2004) ont montré que la pollution par le phosphogypse s'étale dans cet espace sur une superficie de l'ordre de 60 km<sup>2</sup> et sa dispersion présente une forte concentration au niveau de la région du golfe de Gabès correspondant à des courants faibles et pendant les hautes mers. La production du phosphogypse sec correspond environ à 5 tonnes par tonne de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Bourane, 1983). La production journalière de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par les industries chimiques, implantés à Gabès, est estimée à 2250 tonnes j<sup>-1</sup>. Le phosphogypse solide est dilué avec l'eau de mer jusqu'à l'obtention d'une solution de densité de 1,2. L'eau gypseuse est ensuite acheminée par deux conduites circulaires et une conduite trapézoïdale vers le sud du port de commerce de Ghannouche où elle se mélange avec l'eau de refroidissement rejetée par l'ensemble des unités d'industries chimiques (GCT, 1992). La quantité totale d'eau qui atteint la mer est donc de 4700 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> (13 m s<sup>-3</sup>). La solubilité du phosphogypse augmente avec la température et la durée d'agitation dans le milieu solvant. Elle est de l'ordre de 5 g l<sup>-1</sup> après 6 heures d'agitation et de 9,11 g l<sup>-1</sup> après 48 heures d'agitation (Elkihel, 1995). La dilution du phosphogypse augmente rapidement au niveau de la décharge sous l'effet de la turbulence (Béjaoui et al., 2004). En s'éloignant au large, à une distance de 6 km de la source de rejet, la dilution décroît lentement pour atteindre des valeurs de l'ordre de C<sub>0</sub>/1000. Etant donné que la concentration du phosphogypse à la décharge est égale à C<sub>0</sub> (10 g l<sup>-1</sup>), sa concentration à 6 km de la source de rejet sera égale à 10 mg l<sup>-1</sup> (Béjaoui et al., 2004). Outre les rejets du phosphogypse, les rejets de pollutions organiques sont devenus fréquents; ce qui a favorisé l'apparition de plusieurs phénomènes tels que les marées vertes à *Ulva* et à *Valonia* et les eaux rouges suite à une pullulation de phytoplancton (Hamza et al., 1995). Aussi, les métaux lourds sont des contaminants organiques et inorganiques sont aussi présents au niveau des sédiments superficiels au niveau golfe de Gabès. Leur dispersion au niveau du golfe de

Gabès a montré une grande hétérogénéité (Chouba et Mzouchi-Aguir, 2006). Parmi les métaux lourds rencontrés dans cette région on peut distinguer le cadmium (Cd), le plomb (Pb) et le mercure (Hg) (Smaoui-Damak et al., 2003, 2004). En effet, les teneurs les plus élevées en cadmium et en mercure ont été enregistrées au niveau du Sud de la ville de Gabès et plus précisément à proximité du centre industriel de Ghannouche (source de contamination minérale) (Chouba et Mzouchi-Aguir, 2006). Alors que pour le plomb, les concentrations les plus élevées (supérieurs à  $30 \text{ mg kg}^{-1}$ ), ont été observées tout au long de la radiale de la Skhira ainsi qu'au niveau des ports de Sidi Mansour et de Gabès. En face des deux villes Mahrès et Skhira, les concentrations en cadmium sont faibles. Pour le plomb, les zones non contaminées logent presque la totalité du littoral à l'exception du Nord de Sfax, le Nord de Thyna, le port de Gabès ainsi qu'au plein centre du golfe (zone des rejets des eaux de ballastes). En général, ces micropolluants organiques et inorganiques sont d'excellents traceurs de la pollution urbaine et industrielle et ils font partie des composés les plus toxiques étant donné leur faible biodégradation. Leur présence nécessite une surveillance régulière, des mesures préventives et une interdiction totale de ces rejets tout au long du littoral sud (Chouba et Mzouchi-Aguir, 2006). De nombreux travaux se sont intéressés à l'étude des impacts de l'industrialisation et de l'urbanisation sur le milieu marin dans le golfe de Gabès. Certains se sont focalisés sur les effets engendrés par la pollution métallique sur les poissons (Hamza-Chaffai, 1990, 1993; Hamza-Chaffai et al., 1995, 1996, 1997) ou les bivalves (Hamza-Chaffai et al., 1998, 1999, 2000, 2003; Smaoui-Damak et al., 2003; Smaoui-Damak, 2005); d'autres ont porté sur l'impact des rejets telluriques sur le changement du faciès sédimentaire du littoral de la région (Illou, 1999).

#### **I.1.1.d. Importance halieutique et socio-économique**

- Importance halieutique

La région du golfe de Gabès, représentant le 1/3 des côtes tunisiennes, bénéficie de longues façades maritimes occupe une position stratégique dans le secteur de la pêche en Tunisie. En effet, il contribue à 65% de la production halieutique à l'échelle nationale (C.G.P., 1996). Il concentre près de 75% des chalutiers, presque les 2/3 de la flottille tunisienne et 62% de la population maritime tunisienne (Missaoui et al., 2000). 12% de la production de la pêche en Tunisie provient de la pêche au chalut. Il est aussi le premier pôle en produits vénériques. Ce secteur occupe une main d'œuvre assez importante et rapporte au pays une rente en devise assez importante. Les ressources halieutiques du golfe de Gabès sont variées. Elles sont principalement benthiques et constituées d'espèces à haute valeur

commerciale et destinées à l'exportation; à savoir les crustacées (crevette royale *Penaeus Kerathurus*), les céphalopodes (le poulpe *Octopus vulgaris* et la seiche *Sepia oggicinalis*) (Bradai, 2000) et gastéropodes la palourde *Ruditapes descussatus* (CRDA 2002; Hamza-Chaffai, et al., 2003; Smaoui-Damak et al., 2004), les éponges (spongiaires) et les poissons benthiques (rouget, pageot, sole, saupe, pagre, marbré, daurade) (Missaoui et al., 2000). Dans le cadre d'une évaluation du statut halieutique du golfe de Gabès, une étude a été réalisée concernant la collecte des données de capture par marée des principaux espèces benthiques halieutiques durant une année du Juillet 1996 à Juin 1997 (Missaoui et al., 2000). Les principaux résultats de cette étude sont récapitulés dans le tableau 1 ci-dessous.

**Tableau 1.** Données de capture des principaux espèces halieutiques récoltées au niveau du golfe de Gabès durant une année du Juillet 1996 à Juin 1997 (Missaoui et al., 2000)

Saison d'activité	Mois d'activité	Espèces cibles	Effectif (individus)	%
Hiver Printemps Début d'Eté	Février Avril Juin	<b>Chevrette</b>	866	47
Hiver Automne	Décembre Septembre Janvier	<b>Pageot, rouget blanc, rouget rouge, saurel, spicarel, merian, rascasse,</b> chien de mer, bogue, raie, grondin, sargue, petit poulpe, calamar, sole, spars, poulpe, mérrou, corbeau, maquereau, thon et marbré	178	10
Automne	Octobre	<b>Maquereau, chien de mer, raie, rouget blanc, pageot, rouget rouge,</b> merlan, spicarel, saurel, pagre, mérrou, saupe, serre, petit poulpe et grodin	7	0,4
Eté	Juin	<b>Crevette, seiche</b> et sole	435	23,6
Automne Début d'Eté	Novembre Octobre Juin	<b>Crevette, seiche,</b> sole, muge, petit poulpe, marbré, denté, spicarel, rouget rouge et raie	137	7
Début Hiver	Décembre	<b>Seiche et poulpe</b>	189	12

- Etude de quelques espèces de hautes valeurs commerciales dans le golfe de Gabès

Le golfe de Gabès constitue la principale zone de pêche de la crevette royale *Penaeus kerathus* représentant 95% de la production nationale (D.G.P.A., 2002). Elle est de haute valeur commerciale et sa production en Tunisie est d'environ 5732 tonnes en 2002 (D.G.P.A., 2002). Les productions les plus importantes de cette espèce sont enregistrées dans les gouvernorats de Sfax et de Médenine avec les contributions respectives de 45% et de 23% (Bdioui et al., 2004). Elle se trouve répartie sur tous les fonds, de la limite inférieure des

prairies des Cymodocées jusqu'aux profondeurs de -50 m. Des prospections par chalutage benthique menées aux mois d'octobre, novembre et décembre 1998 montrent que cette espèce se concentre principalement au large de Mahrès et celui de La Skhira (Jarbouï et al., 1999).

Les éponges sont aussi de haute valeur commerciale se rencontrent exclusivement dans la partie orientale de la Tunisie depuis la région de Mahdia jusqu'à la frontière tuniso-libyenne sur des fonds formés de sables grossier plus au moins vaseux recouvert d'herbiers de *Zosteres* et de *Posidonies* (Le Danois, 1925; Gruvel, 1926). La Tunisie, par ces côtes sud était le premier pays méditerranéen producteur d'éponges commerciales jusqu'à 1985. La production qui était importante à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle et au 20<sup>ème</sup> siècle (de 150 à 180 tonnes), connaît actuellement un effondrement suite à une superposition et une maladie bactérienne. La production enregistrée en 1998 était de 21,4 tonnes (Anonyme, 1998).

La palourde *Ruditapes decussatus* est un bivalve appartenant à la famille des Tapetinéés (Embranchement des Mollusques, Ordre des Lamellibranches, Superfamille des Vénéridés). Cette espèce est produite essentiellement par le golfe de Gabès. Elle vit enfouie dans les sédiments dont la profondeur dépend de la longueur des siphons (Guelorget et Mayere, 1979; Zamouri-Langar et al., 2006). Cette espèce vit sur des fonds de sable, de sables et graviers ou de vase compacte de l'étage médio et infralittoral et des lagunes côtières. Cette espèce, souvent indicatrice de milieux pollués, est très abondante au niveau des estrans du golfe de Gabès (Bradai, 2000). Elle a une grande affinité à la matière organique; de ce fait, elle se rencontre au voisinage des rejets urbains. Elle est aussi une espèce eurytherme et euryhaline; qui peut tolérer des températures de 5°C à 30°C et une gamme de salinité allant de 10 à 40‰ (Guelorget et Mayere, 1979). Collectée manuellement à l'aide de pioche, l'exploitation de cette espèce pour alimenter le marché local reste faible. En effet, la production est destinée en grande partie (90-95%) aux pays de l'Union Européenne en particulier l'Espagne, l'Italie, la France et le Portugal (Smaoui-Damak, 2005). En 2001, la production nationale était estimée à 589 tonnes dont 366 était produite par la région de Sfax (Smaoui-Damak, 2005). La richesse des côtes du golfe de Gabès en ce mollusque bivalve a permis le développement d'un commerce florissant dans la zone. En effet, il emploie à lui seul 23.4% de la population maritime. Sa production peut atteindre en Tunisie 1500 tonnes en 1985 et décroît à 621 tonnes en 2005 (Zamouri-Langar et al., 2006).

Le golfe de Gabès est aussi riche en céphalopodes. Les palourdes et les seiches, espèces strictement côtières, sont les mieux représentés (Najai, 1983). Les rendements de pêche les plus importants sont enregistrés au printemps de 15 à 20 m de profondeur (Najai, 1983). La production de poulpe s'élevait à 3129 tonnes en 1998 dont 2426, soient 77,5% ont

été débarquées sans les ports de la région du golfe de Gabès. Pour la seiche, la production nationale enregistrée en 1998 s'élevait à 4935 tonnes dont 3997 (81%) ont été pêchées dans la région du golfe de Gabès (Anonyme, 1998). Grâce à ses capacités de filtration allant jusqu'à 70 litres par jour, la palourde se nourrit d'algues planctoniques et benthiques (Diatomées et Cyanobactéries), de bactéries ainsi que de particules inorganiques. Sur nos côtes tunisiennes, la palourde est répartie d'une façon inégale; elle est présente dans les lagunes de Bizerte et de Tunis et abondante dans le golfe de Gabès (Mezghani-Chaari, 2006). De ce fait, on révèle le grand intérêt du réseau de surveillance phytoplanctonique, chargé de la détection des espèces phytoplanctoniques toxiques dans les zones de production de ces mollusques.

- Importance socioéconomique

Le golfe de Gabès a connu durant les vingt dernières années une importante activité socioéconomique (urbanisme, agriculture, pêche, industrie, tourisme) en relation avec une croissance démographique notable et l'installation de grandes agglomérations industrielles (Sfax, Skhira, Gannouch, Gabès, Jerba et Zarzis) dont les rejets rarement traités sont déversés directement dans la plaine littorale. Etant donné que la capacité d'auto-épuration de la mer n'est pas illimitée, la quantité et la qualité des polluants rejetés peuvent avoir une influence irréversible sur certaines zones. En effet, la bande côtière qui est le siège de reproduction et de croissance des juvéniles par conséquent la richesse de tout l'écosystème marin, se trouve soumise à des nuisances diverses. L'induction abusive des chalutiers dans les faibles profondeurs ajoutée aux rejets excessifs de déchets industriels, agricoles et d'eau usées ont entraîné une sérieuse dégradation du fond marin et des biocénoses côtières tel que l'herbier de posidonie (Hamza, 2003). Devant l'état alarmant de cette région, une stratégie de prévention, de contrôle et d'étude moyennant des réseaux nationaux de surveillance du littoral tunisien a été mise en place.

#### **I.1.1.e. Les études relatives à la végétation marine dans le golfe de Gabès**

Depuis longtemps, la végétation marine du golfe de Gabès a attiré de nombreux chercheurs de part sa spécificité et son originalité. Les premières prospections datent de la fin du 18<sup>ème</sup> siècle (Doumet, 1888; Debray, 1897). Vers les années 25-30, des résultats relatifs à la nature de la végétation marine et sa zonation dans la région sont édités (Seurat, 1929, 1934; Schiffner, 1926; Hamel, 1926; Feldman, 1931). Les études sont reprises au cours de la décennie 70-80 surtout avec les campagnes ichtyologiques visant à identifier la richesse de la zone (De Gaillande, 1970a; Ben Alaya, 1971; Ktari-Chakroun et Azouz 1971; Ben Othman, 1973;

Ouahchi, 1977; Meinez et Matheison, 1981). Ces travaux ont révèlent alors la régression notable du tapis végétal dans le golfe. Quelques nouvelles espèces de macrophytes sont aussi signalées. Les études deviennent par la suite sporadique et spécifiques à certains groupes de végétaux (Zaouli, 1977; Ben Maiz, 1984; Hamza, 1987, 1989; Ghorbel et al., 1995). Durant les années 2000-2008, différentes études sur la variation spatio-temporelle du phytoplancton ont été élaborées dans diverses régions de la Méditerranée telles que au niveau de la Mer d'Alboran (Nord-Ouest de la méditerranée) (Ramirez et al., 2005; Reul et al., 2005), dans la région côtière en Turquie (Nord-Est de la méditerranée) (Polat et Isik, 2002), au niveau de la West de la méditerranée (Marty et al., 2002) et Sud-Ouest de la mer Méditerranée dans la Baie de Tunis (Daly Yahia-Kéfi et al., 2005).

De toute ces séries de travaux, les études relatives à l'inventaire du phytoplancton dans la région Est de la méditerranée et notamment au niveau du golfe de Gabès font presque défaut depuis longtemps ceci malgré la richesse du milieu en ces micro algues confirmée par l'abondance des espèces filtreuses dans la zone. Seulement quelques études sur la description des cyanobactérie qui formaient des tapis remarquables sur certaines plages du golfe (Gauthier-Lièvre, 1925; Seurat, 1929, 1934). A notre connaissance les premières études ponctuelles concernant les diatomées et les dinoflagellés réalisées au niveau du golfe de Gabès datent depuis les années 70 (Borgne-David, 1975). Actuellement, on citera les études de Hamza (2003) qui s'intéressent à la répartition spatio-temporelle du phytoplancton dans le golfe de Gabès et récemment une étude ponctuelle des espèces toxiques de dinoflagellés au niveau de cette zone (Turki et al., 2006) et une autre étude concernant l'analyse et le traitement d'une banque données sur 10 ans de bio-surveillance du phytoplancton (Feki, 2006).

## I.2. DEUXIEME PARTIE: Stratégies d'échantillonnage et méthodes de mesure et d'analyses

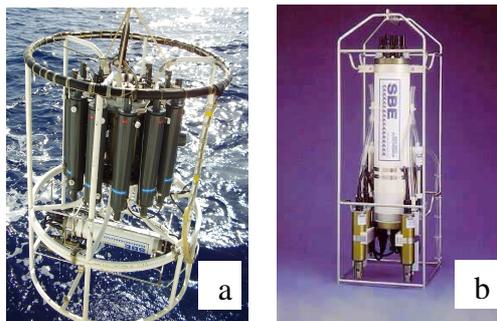
### I.2.1. Matériel

Dans le cadre d'un projet intitulé "POEMM (LR02INSTM04)" quatre campagnes d'échantillonnage à bord de navire de recherche océanographique et halieutique 'Hannibal R/V' (Fig. 2) ont été programmées à partir de l'année 2005 jusqu'à l'année 2007 au niveau du golfe de Gabès (Sud-Est de la Tunisie). Ce bateau a été acquis par l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer en Décembre 1998, dans le cadre de la coopération Tuniso-Japonaise. Il possède une longueur de 33,7 m, une largeur de 7,6 m, et peut accueillir 20 personnes dont 13 membres d'équipage et 7 scientifiques. Il a une autonomie en mer de 15 jours. Les quatre campagnes ont été envisagées chronologiquement dans le temps du 09 au 15 Juillet 2005, du 27 Mai au 09 Juin 2006, du 07 au 10 Septembre 2006 et du 16 au 19 Mars 2007.



**Figure 2.** Navire océanographique 'Hannibal R/V'

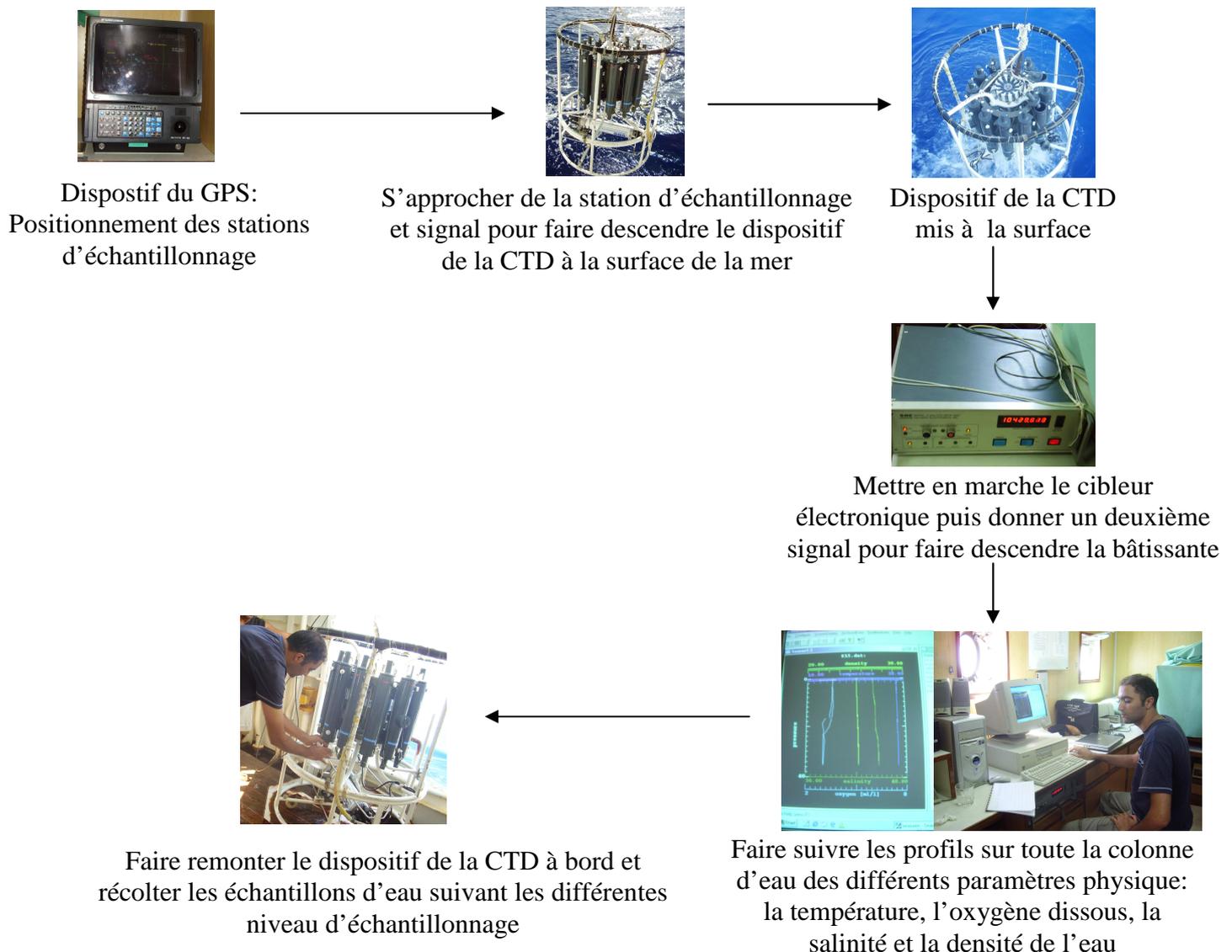
A bord du navire, un matériel d'échantillonnage désigné par le **CTD**: Sea-bird - Conductivity-Temperature-Depth SBE9 est utilisé durant les prospections océanographiques (Fig. 3a). Le CTD est équipé d'une sonde (Fig. 3b) permettant de visualiser les profils d'oxygène dissous, de la température, de la salinité et de la densité de l'eau sur toute la colonne d'eau en allant de la surface jusqu'à des niveaux plus proche du fond océanique. Ce dispositif permet aussi la récolte des échantillons d'eau à différents niveaux de la colonne d'eau pour l'analyse des sels nutritifs et du phytoplancton.



**Figure 3.** Matériel d'échantillonnage "CTD"(a) et la sonde Sea Bird (b)

### I.2.1.1. Représentation du fonctionnement du CTD

Le CTD "Conductivity Temperature and Depth Sea-bird SBE9" est un matériel d'échantillonnage permettant de visualiser les profils de la température, de la salinité, de l'oxygène dissous et de la densité de l'eau sur toute la colonne d'eau. Ce dispositif assure aussi la récolte des échantillons d'eau à différents niveaux de la colonne d'eau pour l'analyse des sels nutritifs et du phytoplancton. Le mode d'emploi et les différentes étapes du fonctionnement de ce dispositif sont résumés au niveau de la figure 4. La sonde du CTD détecte les paramètres abiotiques (température, salinité et oxygène dissous) et transfère l'information à un cibleur électronique; ce dernier transmet ce signal à un ordinateur où il sera traité par un logiciel nommé: Sea Soft-data permettant ainsi d'afficher les profils sur toute la colonne d'eau des différents paramètres physiques déjà cités.



**Figure 4.** Représentation du fonctionnement du dispositif de CTD

## I.2.2. Méthodes

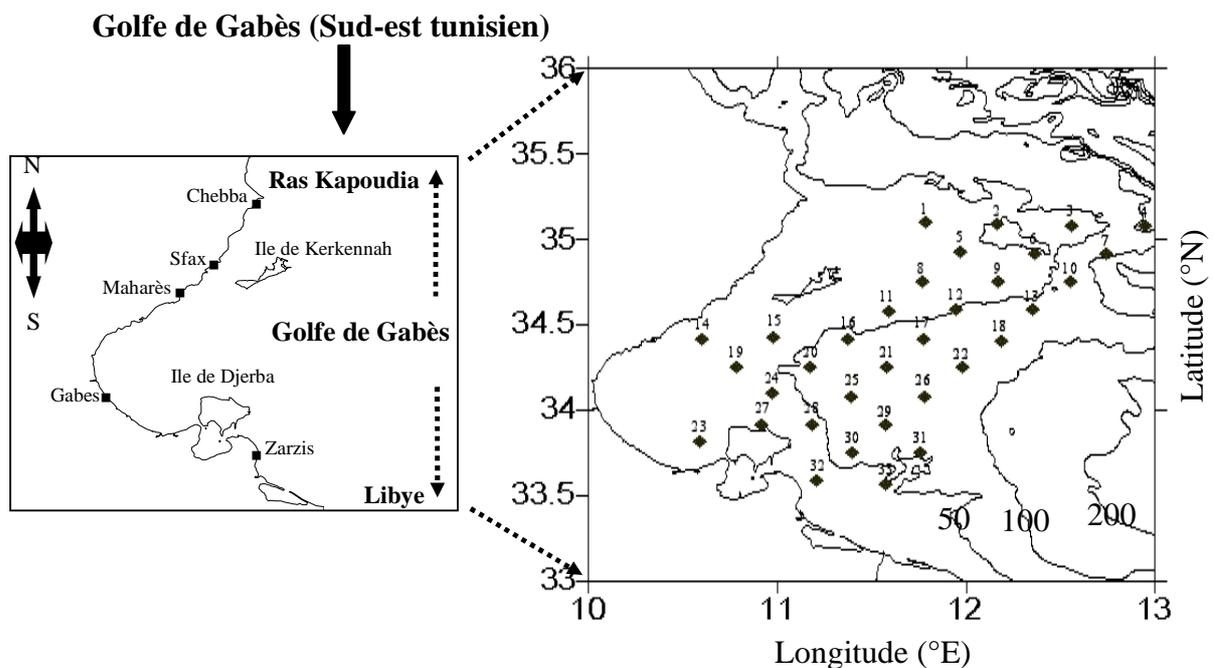
### I.2.2.1. Techniques d'échantillonnage

Au cours de chaque campagne océanographique, nous avons réalisé la prospection de 30 stations en moyenne faisant en tout 100 échantillons récolter à différents niveaux de la colonne d'eau aussi bien pour l'étude des paramètres biotiques tels que le phytoplancton, le zooplankton, les divers pigments chlorophylliens par HPLC et les facteurs abiotiques tels que la température, la salinité, la quantité d'oxygène dissoute, la densité de l'eau, le pH, les matières en suspensions et les sels nutritifs. La collecte des échantillons est assurée par l'appareil CTD qui est équipé par 12 rosettes dont chacune est de 1,75 l. Cette collecte des échantillons par le CTD s'effectue à différent niveau et ceci selon la profondeur maximale de la station. Pour les stations côtières dont la profondeur est inférieure à 50 m, la récolte des échantillons a été effectuée à 3 différents niveaux de la colonne d'eau (surface, milieu de la colonne d'eau et fond). Pour les stations ayant une profondeur supérieure à 50 m, les prélèvements ont été réalisés à 5 différents niveaux (surface, -10 m, -20 m, thermocline et fond).

### I.2.2.2. Stations d'échantillonnage

#### I.2.2.2.a. Stations d'échantillonnage pour l'étude spatiale à court terme

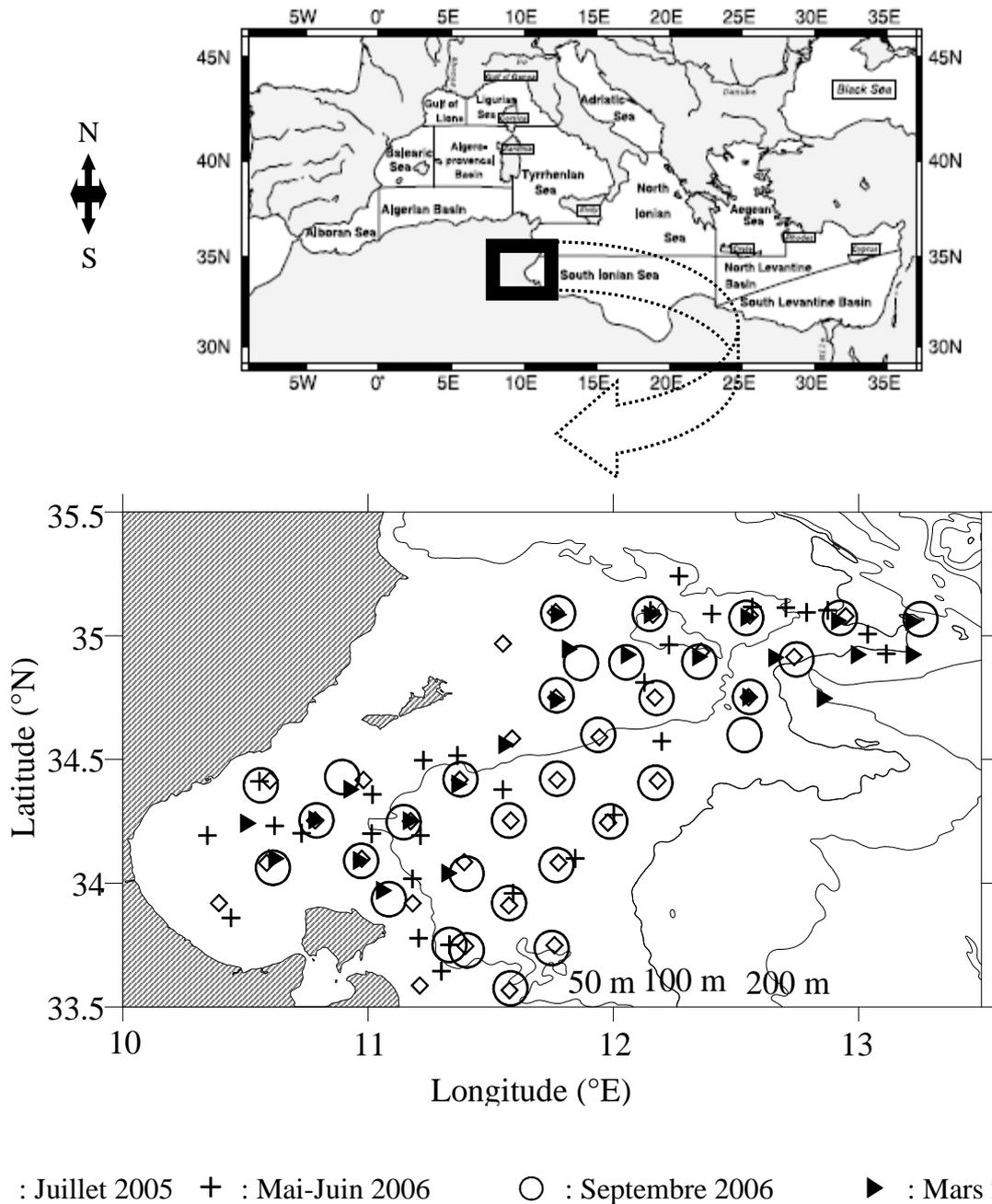
C'est une étude à court terme élaborée durant une première campagne océanographique du 09 au 15 Juillet 2005 par la prospection de 33 stations d'échantillonnage à bord du navire Hannibal (Fig. 5).



**Figure 5.** Localisation du site d'étude et des stations d'échantillonnage durant une étude spatiale à court terme au niveau du golfe de Gabès

### I.2.2.2.b. Stations d'échantillonnage pour l'étude spatio-temporelle

Quatre campagnes océanographiques ont été envisagées chronologiquement dans le temps du 09 au 15 Juillet 2005, du 27 Mai au 09 Juin 2006, du 07 au 10 Septembre 2006 et du 16 au 19 Mars 2007. Au cours de chaque sortie, en moyenne 30 stations ont été choisies faisant en tout 100 échantillons pour l'analyse des différents paramètres (Fig. 6).



**Figure 6.** Localisation du site d'étude et des stations d'échantillonnage durant une étude spatio-temporelle au niveau du golfe de Gabès

### I.2.2.3. Etude des paramètres abiotiques

#### I.2.2.3.a. Température, salinité, oxygène dissous et densité de l'eau

Les divers paramètres physiques suivis au cours de notre étude sont la température, la salinité et la densité. Les différents profils de ces paramètres sont visualisés tout au long de la colonne d'eau en allant de la surface jusqu'à des niveaux plus proche du fond par le dispositif CTD (Voir I.2.1.1).

#### I.2.2.3.b. pH

La mesure du pH se fait à bord à l'aide d'un pH-mètre de type Met Röhme®. Il se définit comme le potentiel des ions d'hydrogènes. Il représente la capacité de l'activité photosynthétique.

#### I.2.2.3.c. Transparence et turbidité

La transparence et la turbidité de l'eau ont été estimées à l'aide d'un disque de Secchi et par la mesure de la concentration des matières en suspensions.

- **Transparence de l'eau**

Le disque de Secchi est un dispositif permettant de mesurer la transparence de l'eau. Il s'agit d'un disque blanc de 30 cm de diamètre (Fig. 7). Ce cylindre est fixé au bout d'une corde, qu'on laisse descendre jusqu'à sa disparition, puis on note la profondeur de disparition du disque. C'est cette mesure qui reflète la transparence de l'eau. Il nous limite la zone euphotique permettant la diffusion des rayons solaires essentiels pour l'activité photosynthétique et le développement des algues.



**Figure 7.** Disque de Secchi

- **Matières en suspensions (MES)**

Les matières en suspension sont définies comme étant l'ensemble du matériel particulaire (vivant ou détritique, minéral ou organique) entraîné passivement dans l'eau. La détermination de la concentration en MES a été réalisée en se basant sur la technique de pesée. Avant filtration, au laboratoire, les filtres millipores de type GF/C de 1,2 µm de porosité et de 47 mm de diamètre sont calcinés dans un four pendant 5h à 450°C pour dégrader toute matière organique. Les filtres sont pesés et on note le poids P1. A bord 0.5 à 1

l de l'eau de la mer est filtré et les filtres sont immédiatement conservés à  $-20^{\circ}\text{C}$  jusqu'au jour de l'analyse. Au laboratoire, les filtres sont desséchés dans l'étuve à  $50^{\circ}\text{C}$  pendant 48 h. Après refroidissement, les filtres sont pesés de nouveau et on note le poids  $P_2$ . Juste après, les filtres sont de nouveau calcinés à  $450^{\circ}\text{C}$  pendant 5h dans un four et on note le poids  $P_3$ . Avec cette méthodologie, on mesure la concentration des matières en suspension (MES) avec le pourcentage de la contribution pour chacune de ses deux fractions organique (MOP) et inorganique (MIP). Les matières en suspension avec ses deux fractions organique et minérale sont estimées selon cette méthodologie de calcul:

$$MES = \frac{P_2 - P_1}{V} ; MIP = \frac{P_2 - P_3}{V} ; MOP = \frac{P_3 - P_1}{V}$$

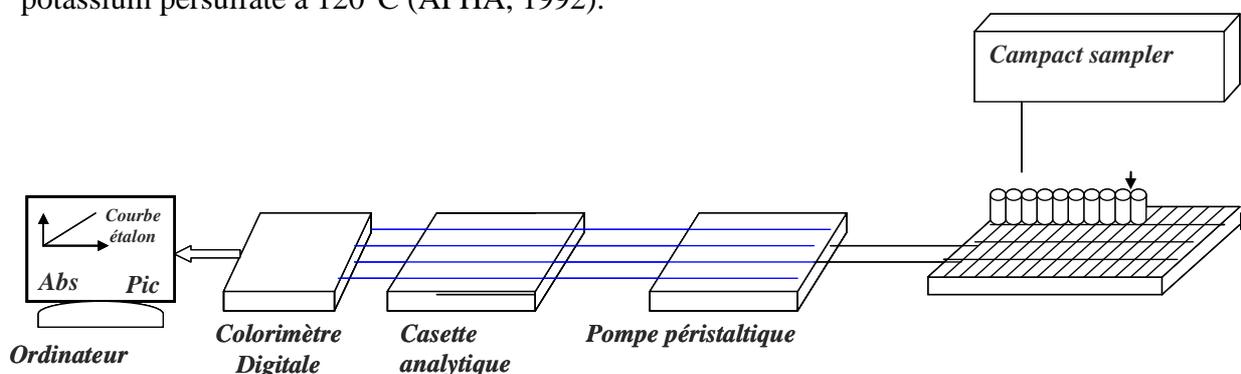
Avec : MES = Matière en suspension MES = MIP + MOP

MIP = Matière inorganique particulaire

MOP = Matière organique particulaire

#### I.2.2.3.d. Dosage des éléments nutritifs

Pour les analyses des sels nutritifs, on récupère à bord 60 ml d'eau brute pour tous les niveaux déjà mentionnés et les échantillons sont immédiatement conservés à  $-20^{\circ}\text{C}$  et à l'obscurité jusqu'au jour de l'analyse. Le dosage des éléments nutritifs (nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), l'ion orthophosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) et la silice ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ), l'azote total (N-T) et le phosphore total (P-T)) a été réalisé en flux continu par un auto-analyseur (BRAN + LUEBBE) de type 3 selon le principe colorimétrique en utilisant un spectrophotomètre UV-visible (6400/6405) (Fig. 8). Ce dispositif d'analyse permet de traiter quatre échantillons en parallèle pour les différents éléments nutritifs tels que  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Si}(\text{OH})_4$ ; et aussi le dosage de l'azote total (N-T) et du phosphore total (P-T) après minéralisation respectivement en ions  $\text{NH}_4^+$  et en ions  $\text{PO}_4^{3-}$  suite à une réaction avec le potassium persulfate à  $120^{\circ}\text{C}$  (APHA, 1992).



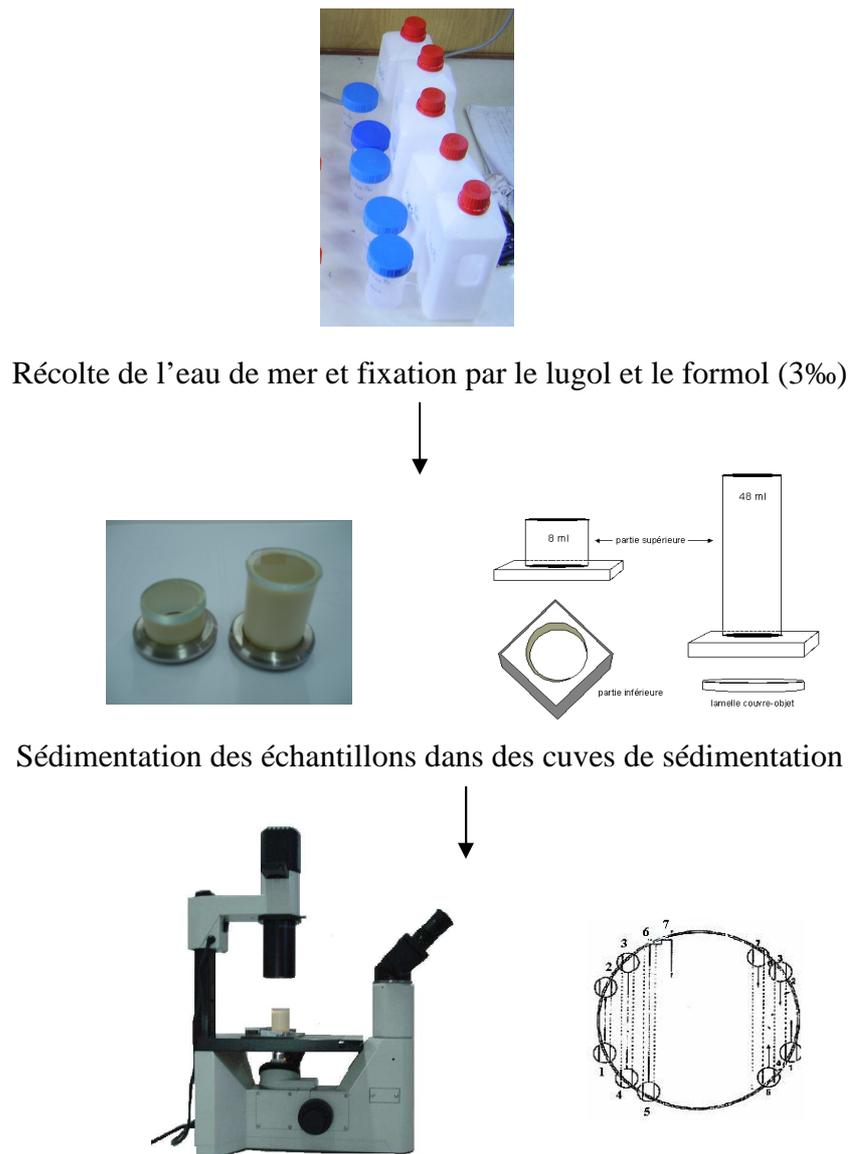
**Figure 8.** Présentation schématique d'un auto-analyseur de type 3 (BRAN + LUEBBE)

#### **I.2.2.4. Etude des paramètres biotiques**

##### **I.2.2.4.a. Etude du phytoplancton (Observation, identification et comptage)**

Après la récolte de l'eau brute à différents niveaux de la colonne d'eau, les échantillons destinés pour l'analyse du phytoplancton ont été fixés par le lugol (4%) (Bourrely, 1985) et conservés à l'obscurité. Au laboratoire un aliquote de chaque échantillon (20 ml) est sédimenté dans une cuve de sédimentation pendant 24 h.

L'identification et l'énumération du phytoplancton (y compris les kystes des dinoflagellés) ainsi que l'estimation de l'abondance des différents groupes algales ont été réalisées à l'aide un microscope à phase inverse en se basant sur la méthode d'Utermöhl (1958); Sournia (1978). L'identification des différents taxons phytoplanctoniques a été réalisée grâce aux clés de détermination de Tregouboff et Rose (1957); Huber-Pestalozzi, (1968); Dodge (1985); Balech (1988); Tomas et al. (1996); et la procédure de l'identification et du comptage des espèces phytoplanctonique est détaillé au niveau de la figure 9. Pour les Dinoflagellés sans thèque l'identification des espèces nécessite l'observation de la ceinture et des sillons. Elle est facilitée par des objectifs à faible distance focale ou même une simple manœuvre du microscope tel que l'ouverture accentuée du diaphragme iris et le déplacement du condensateur. Pour les Dinoflagellés à plaques cellulosiques surtout les Péridiniales, il est parfois nécessaire de déterminer la tabulation, c'est-à-dire le nombre, la forme et la disposition des plaques et de mettre en évidence la soudure des plaques. Pour cela, on isole l'espèce à l'aide d'une micropipette Pasteur puis on la place entre lame et lamelle pour que l'hypothèque et l'épithèque se dégradent et se séparent. L'ajout d'une goutte de l'eau de javel concentrée au bord de la lamelle puis une simple pression sur celle-ci nous conduit au même résultat (Sournia, 1978). La densité phytoplanctonique est exprimée en cellules l<sup>-1</sup>. Afin d'estimer le biovolume, une forme géométrique simple a été attribuée à chaque espèce phytoplanctonique selon ses dimensions (Hillebrand et al., 1999). Les biovolumes sont ensuite convertis en biomasse de carbone selon un facteur de conversion suivant  $1\mu\text{m}^3 = 10^{-6} \mu\text{gC}$  (Lohman, 1908)



**Figure 9.** Stratégie d'analyse et d'identification de la communauté du phytoplancton selon la méthode d'Utermöhl (1958)

#### I.2.2.4.b. Analyse des pigments chlorophylliens par la technique de HPLC

Le protocole dont on s'est basé pour l'extraction et l'analyse des différents pigments chlorophylliens par la technique de chromatographie phase liquide à haute performance "HPLC" est celui de Pinckney et al. (2001).

La procédure adoptée pour l'extraction des pigments chlorophylliens, dont les étapes sont schématisées dans la figure 10, est la suivante:

- Filtration de 1 à 2 L d'eau brute à bord sur un filtre de Type GF/F de porosité 0,7  $\mu\text{m}$  avec une rampe de filtration sous vide. Après filtration, les filtres sont congelés à une température de  $-20^{\circ}\text{C}$ .
- Les filtres contenant les échantillons d'algues sont retirés du congélateur, coupés en morceaux (de quelques mm) et sont mélangés avec 2 ml d'acétone.
- Sonication des bouts de filtres pendant 30 s à l'aide d'un sonicateur.
- Le mélange (filtre + l'extrait d'acétonique) sont centrifugés pendant 3 minutes à  $700 \times g$ .
- L'extrait acétonique de couleur jaune verdâtre est récolté dans des tubes en verre.
- Le surnageant récupéré est filtré sur des filtres millipores de type Millex-SR de porosité 0,2  $\mu\text{m}$ .
- Après filtration, 100  $\mu\text{l}$  de l'extrait est injecté à la colonne de l'appareil du HPLC.

La procédure adoptée pour l'élution des pigments chlorophylliens par la technique HPLC (Pinckney et al., 2001) est la suivante:

Les pigments chlorophylliens et les caroténoïdes, suite à une extraction par l'acétone du continue algale, sont analysé par la technique HPLC à l'aide d'un appareil de type HP 1100 équipé d'une colonne  $\text{C}_{18}$  de type Eurosphère 100 possédant les dimensions suivantes 250 x 4,6 mm et de porosité de 5  $\mu\text{m}$  protégée avec un détecteur UV multi longueurs d'ondes. Les pigments chlorophylliens sont détectés et quantifiés par une longueur d'onde  $\lambda = 440 \text{ nm}$ . Les divers pigments sont séparés selon la méthode décrite par Van Heukelen et al. (1992). On utilise un gradient binaire non linéaire qui est formé de deux solvants. Le solvant A (80 % méthanol : 20 % d'acétate d'ammonium (0,5 mol.  $\text{l}^{-1}$  ajusté au pH 7,2) et le solvant B se compose de 100 % acétonitrile. Le début d'élution des divers pigments est de  $2 \text{ ml min}^{-1}$  et la température est de  $40^{\circ}\text{C}$  qui est maintenue à l'aide d'un four.

1 à 2 l d'eau brute



Dispositif de Filtration



Extraction des pigments chlorophylliens selon Pinckney et al. (2001)

Extrait acétonémique des pigments



Injection de l'extrait acétonémique à l'appareil de HPLC



Profil d'élution des pigments chlorophylliens par la technique HPLC

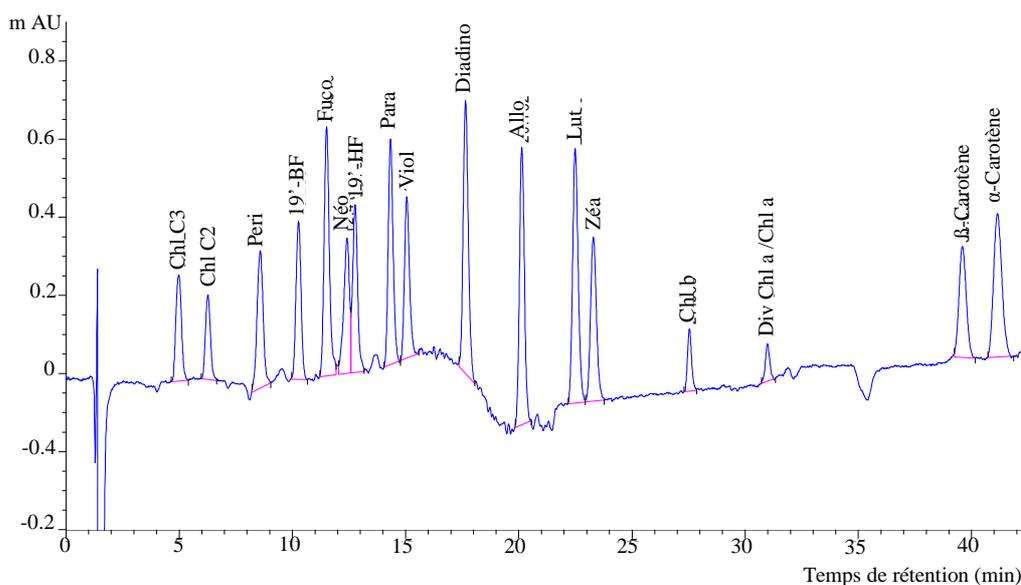
**Figure 10.** Stratégie d'extraction et d'analyse des pigments chlorophylliens par HPLC

Le programme d'élution et le gradient analytique adopté sont celui de Kraay et al. (1992) est résumé au niveau du tableau 2.

**Tableau 2.** Le gradient d'analyse

Temps (min)	A %	B %
0	10	90
30	100	0
55	100	0
60	10	90

Pour faire une étude qualitative et quantitative des pigments chlorophylliens du phytoplancton par HPLC, on s'est basé sur 19 pigments qui ont été pris comme standards purs commandés d'une Agence Internationale pour la détermination du 14C (DK-2970 Hoersholm, Denmark). La liste des pigments utilisée comme standard est la suivante: la chlorophylle *a*, chlorophylle *b*, chlorophylle *C*<sub>2</sub>, chlorophylle *C*<sub>3</sub>, Divinyl-chlorophylle *a*, chlorophyllide *a*, 19'-hexanoyloxyfucoxanthine, 19'-butanoyloxyfucoxanthine,  $\alpha$ -carotène,  $\beta$ -carotène, péridinine, diadinoxanthine, alloxanthine, néoxanthine, violaxanthine, prasinoxanthine, lutéine, zéaxanthine, fucoxanthine. Les temps d'élutions et l'ordre chronologique des différents pigments sont enregistrés au niveau de la figure 11. Les divers pigments sont reconnus selon leurs temps de rétention et après identification de chaque pigment l'aire de chaque pic sera converti en une concentration en  $\mu\text{g l}^{-1}$ .



**Figure 11.** Le profil d'élution des divers standards selon leurs temps de rétentions

### ▪ **Calcul du rapport $F_p$**

Le rapport  $F_p$  est calculé comme il était démontré par Claustre (1994). Il est un indicateur du statut trophique et il estime aussi le rapport entre la nouvelle production et la production primaire totale (Eppley et Peterson, 1979). Ce facteur désigne le rapport entre les quantités de la fucoxanthine et de la péridinine caractérisant les classes des diatomées et des dinoflagellés, respectivement et la somme des autres pigments (fucoxanthine (fuco), péridinine (péri), zéaxanthine (zéa), alloxanthine (allo), chlorophylle  $b$  (chl- $b$ ), 19'-hexanoyloxyfucoxanthine (Hex) et 19'-butanoyloxyfucoxanthine (but)) selon la formule suivante:

$$\text{Rapport } F_p = (Fuco + Péri)/(Fuco, Peri, Zéa, Allo, Chl b, Hex et But)$$

### ▪ **Analyse des pigments chlorophylliens par chémotaxonomie**

La contribution de la chlorophylle  $a$  pour chaque classe phytoplanctonique a été estimée à partir de la concentration des divers pigments qui sont pris comme biomarqueurs en utilisant un logiciel taxonomique "CHEMTAX". Ce logiciel traite les divers pigments identifiés à partir de la technique HPLC et assure l'estimation de l'abondance des différentes classes phytoplanctoniques (Wright et al., 1996; Mackey et al., 1998; Wright & Van Den Enden, 2000). Ainsi, les rapports Pras:Chl  $b$ , Pras:Chl  $a$ , Lut:Chl  $b$  et Zea:Chl  $b$  tels qu'ils sont établis par Mackey et al. (1996), Schlüter et al. (2000) et Schlüter et Møhlenberg (2003) dans le but de caractériser la présence des porsinophytes, des chlorophytes et les cyanophytes respectivement. La Chl  $c_2$  est un pigment caractérisant les premnesiophytes, les dinoflagellés et les diatomées qui n'est pas utilisé dans l'analyse des pigments par CHEMTAX. Concernant la diadinoxanthine, il est rapidement converti en diatoxanthine à l'abri de la lumière (Demers et al., 1991), est inclus dans la matrice des pigments vu qu'il est un marqueur des euglénophytes. La divinyl chlorophylles  $a$  et  $b$  sont des marqueurs pour les prochlorophytes (Georricke et Repeta, 1993) qui contiennent aussi la zéaxanthine qui est prise comme un marqueur pour caractériser les cyanobactéries.

#### **I.2.2.4.c. Etude du zooplancton (Observation, identification et dissection)**

L'échantillonnage du zooplancton a été réalisé à l'aide du filet Bango possédant un diamètre de 34 cm équipé d'un tamis de 100  $\mu\text{m}$  de porosités. Ce type de filet permet de récolter des individus appartenant à la gamme de taille comprise entre 0,2 mm et 20 mm pour le microzooplancton et le supérieur à 20 mm pour le mésozooplancton. On procède par un

trait oblique du filet jusqu'à la surface avec une vitesse de  $1 \text{ m. s}^{-1}$  pendant 10 min. Immédiatement après la récolte, les échantillons sont fixés à bord à l'aide du formol à une concentration de 4% et une coloration en rose bengal. Le comptage du zooplancton a été effectué à l'aide d'une cuve de Dollfus par comptage direct sous une loupe binoculaire de type Olympus TL 2. La stratégie de collecte, d'analyse et du comptage de la communauté du zooplancton est détaillée au niveau de la figure 12. L'identification des différentes espèces zooplanctoniques sont réalisées en se basant sur Rose (1933) et Bradford-Grieve et al. (1999). La taxonomie des copépodes est basée essentiellement sur la morphologie externe et une minutieuse dissection des appendices et notamment la patte 5 pour distinguer les mâles des femelles. La communauté copépodique est répartie en 4 classes démographiques (nauplii, copépodites, adultes mâles et femelles) Rose (1933) et Bradford-Grieve et al. (1999).

On a aussi calculé le sex ratio pour le peuplement copépodique suivant la formule suivante:

$$\text{Sex ratio} = \text{Nombre des mâles} / \text{Nombre des femelles}$$

Ce rapport désigne le taux comparé des mâles par rapport aux femelles. C'est un indice biologique important, vu que la proportion des mâles et des femelles peut affecter le succès reproductif. Généralement, pour les copépodes, le plus souvent ce rapport est inférieur à 1; donc dans ce cas il est en faveur des femelles. Ce rapport est rarement voisin de 1; dans ce cas il signifie que les mâles représentent des abondances similaires à celle des femelles.

Aussi, on a calculé le taux de masculinité en se basant sur la formule suivante:

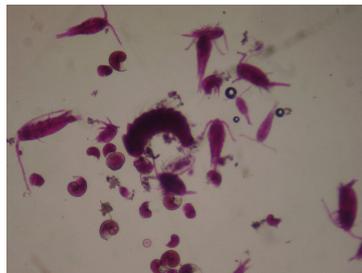
$$\text{Taux de masculinité} = (\text{Nombre des mâles} / \text{Nombre total de la population}) \times 100$$



Récolte des échantillons par un filet à plancton



Filtration du contenu récolté par un tamis de 100 µm de porosité



Fixation du zooplancton par le formol (5 - 10%) et coloration par le rose Bengale



Sédimentation du zooplancton au niveau du cuve de dolfus



Observation, identification et comptage des différentes espèces zooplanctoniques sous loupe binoculaire

**Figure 12.** Stratégie d'analyse et d'identification de la communauté du zooplancton

### I.2.2.5. Etude de la diversité et de la structure des peuplements planctoniques

#### I.2.2.5.a. Indice de diversité de Shannon Weaver (H')

L'évaluation de la diversité spécifique nous permet de caractériser la structure d'un écosystème et indiquer l'état de maturité d'un peuplement (Travers, 1971). En effet, plus cet indice est élevé, plus que le peuplement est stable, c'est-à-dire qu'il n'est pas soumis à l'action des facteurs abiotiques ou un facteur de pollution (Omori et Ikeda, 1984). Legendre et Legendre (1979) et Harris et al. (2000) définissent la diversité spécifique comme une mesure de la composition en espèces d'un écosystème, en tenant compte de la distribution de leurs abondances relatives. L'indice de diversité (H') est faible lorsque les individus rencontrés appartiennent tous à une seule espèce ou bien quand toutes les espèces sont représentées par un seul individu ; donc H' est plus sensible aux espèces rares (Krebs, 1999). Cependant, H' est maximum quand les individus trouvés sont répartis sur plusieurs espèces. Il est l'indice le plus utilisé car on a considéré à la fois l'abondance et la richesse spécifique (Gray et al., 1990). Néanmoins, plus les espèces sont nombreuses, plus l'indice de diversité spécifique est élevé et plus le système écologique est stable. Cet indice est exprimé en bits individu<sup>-1</sup>. Plusieurs formules ont été proposées pour évaluer cet indice; celle qui est la plus utilisée est celle de Shannon et Weaver (1963) et qui est défini par l'équation suivante:

$$H' = - \sum_{ni} \frac{ni}{N} \log_2 \frac{ni}{N} \quad \text{Avec } ni/N: \text{ la fréquence de l'espèce } i \text{ dans l'échantillon}$$

*N*: somme des individus de l'ensemble des espèces

#### I.2.2.5.b. Indice d'équitabilité (E)

L'indice d'équitabilité (E) correspond au rapport de la diversité atteinte (H') et la diversité maximale (H'max) pouvant être obtenue avec le même nombre de taxons (Frontier et Pichod-Viale, 1993). En fait, l'indice d'équitabilité permet de comparer la diversité mesurée à la diversité théorique maximale (Puetro et Rico, 1997). L'indice d'équitabilité E dérive de l'indice de diversité spécifique et consiste à comparer la diversité H' à sa valeur maximale (log<sub>2</sub>N). Il varie de 0 (quand une espèce domine tout le peuplement et il s'agit d'un milieu pollué) à 1 (quand les espèces sont équi-fréquentes dont leur abondance est identique et il s'agit d'un milieu sain) (Gray et al., 1990). Le calcul de l'indice d'équitabilité E a été réalisé suivant Pielou (1975) et suivant cette formule:

$$E = H' / \log_2 S, \quad \text{Avec } H': \text{ l'indice de diversité spécifique; } \log_2 S = H_{\max};$$

*S*: Nombre des espèces dans l'échantillon.

### **I.2.2.5.c. Indice de dominance (Id)**

L'indice de dominance (Id) a été calculé en appliquant la formule suivante

$$Id = \frac{(n1 + n2)}{n}, \text{ avec } (n1+n2) \text{ expriment la contribution relative de deux espèces les plus}$$

abondantes;  $n$  l'abondance totale de espèce.

### **I.2.2.6. Analyses statistiques**

Les données obtenues au cours de cette étude ont été soumises à divers tests statistiques tels que les tests de corrélations, l'analyse en composantes principales (ACP) et le dendrogramme en utilisant le logiciel XL-STAT® et le test de la Co-inertie en utilisant le logiciel R 2.4.

#### **I.2.2.6.a. Le test de corrélation Pearson**

Il permet de mettre en évidence les corrélations deux à deux entre les différents paramètres abiotiques ou biotiques mesurées en utilisant une loi de Pearson. Ce type de test permet de mettre en relief les relations potentielles entre les différentes variables à tester avec le coefficient de corrélation Pearson.

#### **I.2.2.6.b. L'analyse en composantes principales (ACP)**

Pour visualiser les relations des différents paramètres abiotiques et biotiques, une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée (Dolédec et Chessel, 1989). Elle permet de représenter, dans les différentes directions de l'espace, les corrélations entre les variables sélectionnées. Cette analyse est précédée par la transformation de tous les paramètres testés  $\log(x + 1)$  dans le but de stabiliser correctement les variances (Frontier, 1973). C'est une méthode factorielle permettant d'obtenir une représentation d'un nuage des individus dans un espace de dimension réduite. En fait, elle permet de construire des modèles systématiques figurant les relations entre les différentes variables considérées en visualisant les proximités entre eux. Ainsi, elle détermine donc un système d'axes de référence hiérarchisés en diminuant le nombre de dimensions de l'espace dans lequel on projette les points-observations et ceci avec une perte minimale d'information.

#### **I.2.2.6.c. Le dendrogramme**

Cette analyse est basée sur un test de similarité ou dissimilarité (Govaert et Nadif, 2006). Le test est performé à l'aide d'un logiciel de type PRIMER v5.0 couplé au Windows

XP (Clarke et Gorley, 2001) pour identifier les différentes associations ayant la même tendance. Il détermine le degré de similarité entre plusieurs variables en fonction des variations des paramètres les caractérisant. Cette méthode est basée en informatique sur un algorithme et du point de vue mathématique sur une matrice de distances euclidiennes entre pixel pris deux à deux. Il suffit en effet de construire un dendrogramme (c'est un arbre de classification) qui a pour but de regrouper les pixels et de fixer le nombre de classes. A la fin, on trouve donc une partition intermédiaire où les classes ont une signification thématique. Les dendrogrammes sont des arbres de classification hiérarchique permettant de visualiser les paramètres les plus proches.

#### **I.2.2.6.d. Le test de Co-inertie**

Le test de la Co-inertie, qui est une extension directe des régressions multiples pour la modélisation d'une matrice à multivariées (Legendre et Legendre, 1998), a été réalisé pour examiner les corrélations entre les différentes variables caractérisant l'axe du temps (dans ce présent travail les quatre périodes d'études: Juillet 2005, Mai-Juin 2006, Septembre 2006 et Mars 2007) et les variables biotique caractérisant l'axe de l'espace (dans cette étude le phytoplancton, le zooplancton et les pigments chlorophylliens) conditionnée par une 3<sup>ème</sup> matrice (ici caractérisant les données les paramètres physico-chimiques). Toutes les relations canoniques entre les matrices de données de chaque sortie sont testées par un test de permutation Peres-Neto et al. (2006). Les graphiques sont préformés en utilisant un logiciel statistique R 2.4 (R Development Core team, 2006) et un package ade4 1.4.2 (Chessel et al., 2004) et un vegan 1.8-3 (Oksanen et al., 2006). Dans le but de réaliser ce test, les quatre matrices de données sont examinées par un test d'analyse en composantes principales pour visualiser les co-variations entre les quatre périodes d'échantillonnage d'une part et entre les paramètres biotiques et les données physico-chimiques d'autre part.

## Chapitre II: Résultats et discussions

Le deuxième chapitre comporte deux parties:

- **La première partie** représente une étude à court terme réalisée durant une campagne estivale océanographique pendant le mois de Juillet 2005 en prospectant 33 stations d'échantillonnage à bord du navire Hannibal. En effet, d'après les travaux de Hamza (2003), le golfe de Gabès pendant la saison estivale est caractérisé par des importantes valeurs de la température et de la salinité, favorisant ainsi une stratification de la colonne d'eau. Ce processus induit l'apparition d'efflorescence phytoplanctonique enregistrée surtout au niveaux des régions océaniques et accompagné par une mortalité d'une importante quantité de poissons (anguilles, gobidés, seiche...). L'étude de la variation spatiale nous a permis de connaître les caractéristiques physiques tels que (la température, la salinité, l'oxygène dissous et la densité de l'eau), chimiques notamment les sels nutritifs (nitrate, nitrite, ion ammonium, ion phosphate, silice, phosphore total, azote total) et les paramètres biologiques à savoir les divers pigments chlorophylliens, le phytoplancton et le zooplancton au niveau du golfe de Gabès. Cette étude a permis aussi de visualiser les mouvements hydrologiques au niveau du golfe de Gabès, qui est continuellement influencé par les courants issus de l'atlantique. Et comme conséquence de ces phénomènes, on peut prévoir une stratification thermique, un brassage de la colonne d'eau et/ou bien une transition entre ces deux états. Cette contribution préliminaire nous permet aussi de connaître et découvrir notre site d'étude pour bien sélectionner les stations d'échantillonnage dans l'étude saisonnière.
- **La deuxième partie**, c'est une étude qui représente les variations spatio-temporelles aussi bien des paramètres abiotiques que biotiques qui sont déjà cités dans la première partie. Pour ce faire, quatre campagnes océanographiques ont été réalisées pendant différentes périodes de l'année (Juillet 2005, Mai-Juin 2006, Septembre 2006 et Mars 2007) prospectant en moyenne une trentaine de stations par campagne océanographique. Cette partie a pour objectifs de savoir les variations annuelles des données hydrologiques et planctoniques (phytoplancton et zooplancton) en relation avec les facteurs physicochimiques.

## **II.1. Première partie: Etude à court terme durant une campagne estivale (Juillet 2005)**

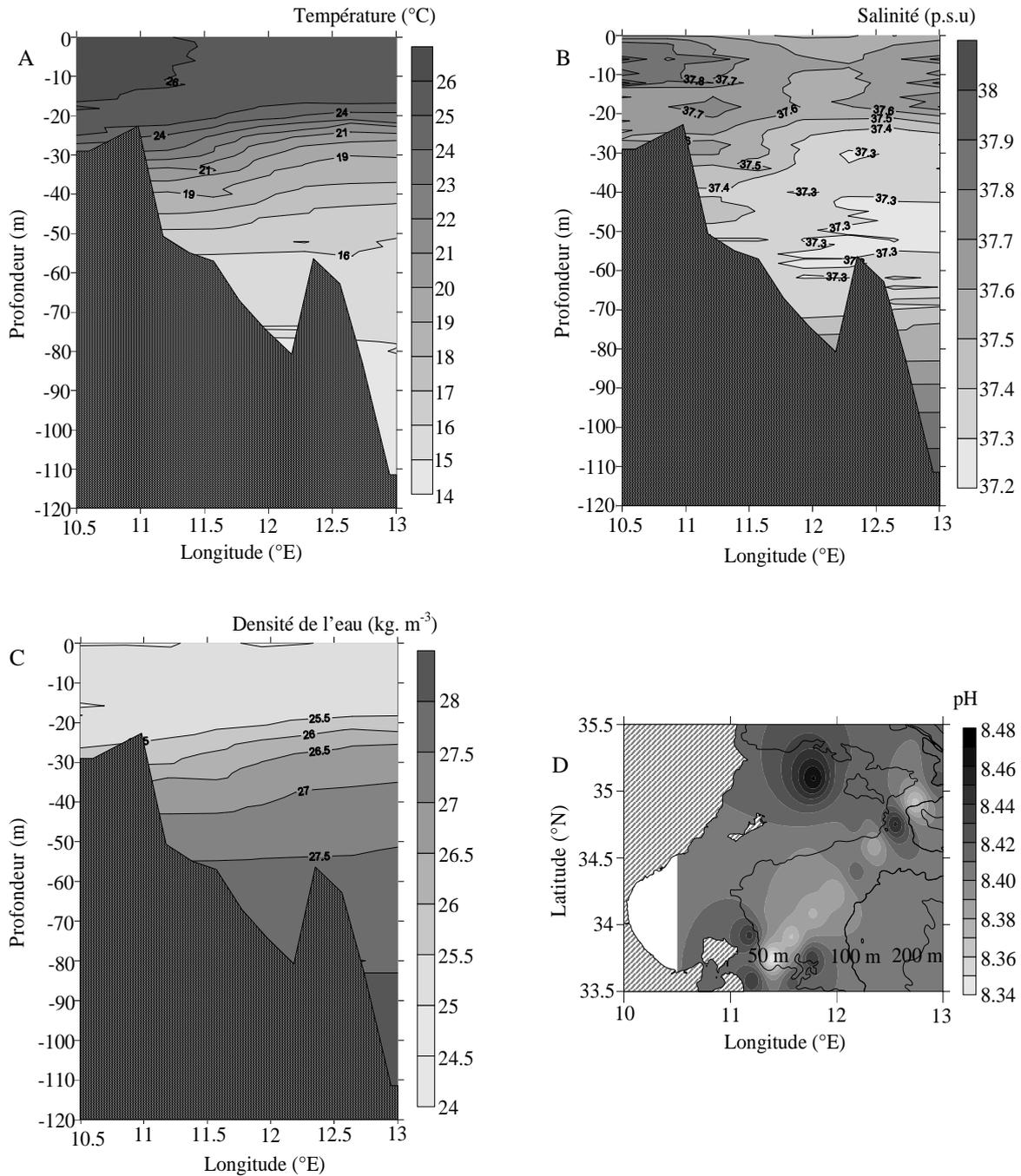
### II.1.1. Variation spatiale des paramètres physico-chimiques

La variation spatiale de la température selon un gradient longitudinale durant la campagne océanographique estivale réalisée au mois de Juillet 2005 montre une gamme de valeurs comprise entre 17 et 27°C avec une moyenne de l'ordre de  $23,07 \pm 2,47^\circ\text{C}$  (Fig. 1a). La température a tendance de diminuer en allant des régions néritiques vers les régions océaniques et de la surface vers le fond. En effet, la température moyenne des eaux côtières (Moy =  $24,92 \pm 1,65^\circ\text{C}$ ) est plus importante que celle enregistrée aux niveaux du large dont la moyenne est de l'ordre de  $21,45 \pm 1,85^\circ\text{C}$ .

Les valeurs de la salinité oscillent entre de 37,2 et 38 p.s.u avec une moyenne de  $37,52 \pm 0,29$  p.s.u. Les plus faibles salinité (37,2 - 37,4 p.s.u.) ont été enregistrées à une profondeur moyenne de 65m entre une longitude comprise entre 11°E et 13°E, et la plus forte salinité est observée à une profondeur moyenne de 33 m entre une longitude comprise entre 10.5°E et 11°E. La distribution verticale de la salinité a montré un gradient longitudinal au niveau de la surface (Fig. 1b).

La densité de l'eau varie entre 24 et 29  $\text{kg. m}^{-3}$  (Moy =  $25,6 \pm 0,41 \text{ kg. m}^{-3}$ ) (Fig. 1c). Au niveau de l'isobathe 50 m, et particulièrement aux niveaux des stations 12, 16, 17, 20, 25, 26, 29, 30, et 31, les plus fortes valeurs de la densité coïncident avec les plus faibles salinités; montrant des corrélations négatives significatives entre les deux paramètres (Fig. 1b, c). Ce résultat indique la présence de l'eau atlantique qui se trouve confinée à la couche profonde (Fig. 1b, c). Cependant, la zone côtière est caractérisée par une faible densité d'eau et une salinité élevée probablement due à une importante évaporation de l'eau. Les répartitions spatiales de la densité et de la température ont montré que la densité est essentiellement influencée par la distribution de la température. En effet, elle diminue de la côte (50 m) vers le large où une intense stratification thermique s'installe durant cette saison estivale.

Le pH varie entre un minimum de 8,34 et un maximum de 8,47 (Moy =  $8,40 \pm 0,03$ ). Il est distribué d'une façon homogène dans toute la zone d'étude aussi bien au niveau des zones côtières (Moy =  $8,41 \pm 0,03$ ) qu'au large (Moy =  $8,40 \pm 0,03$ ) (Fig. 1d).

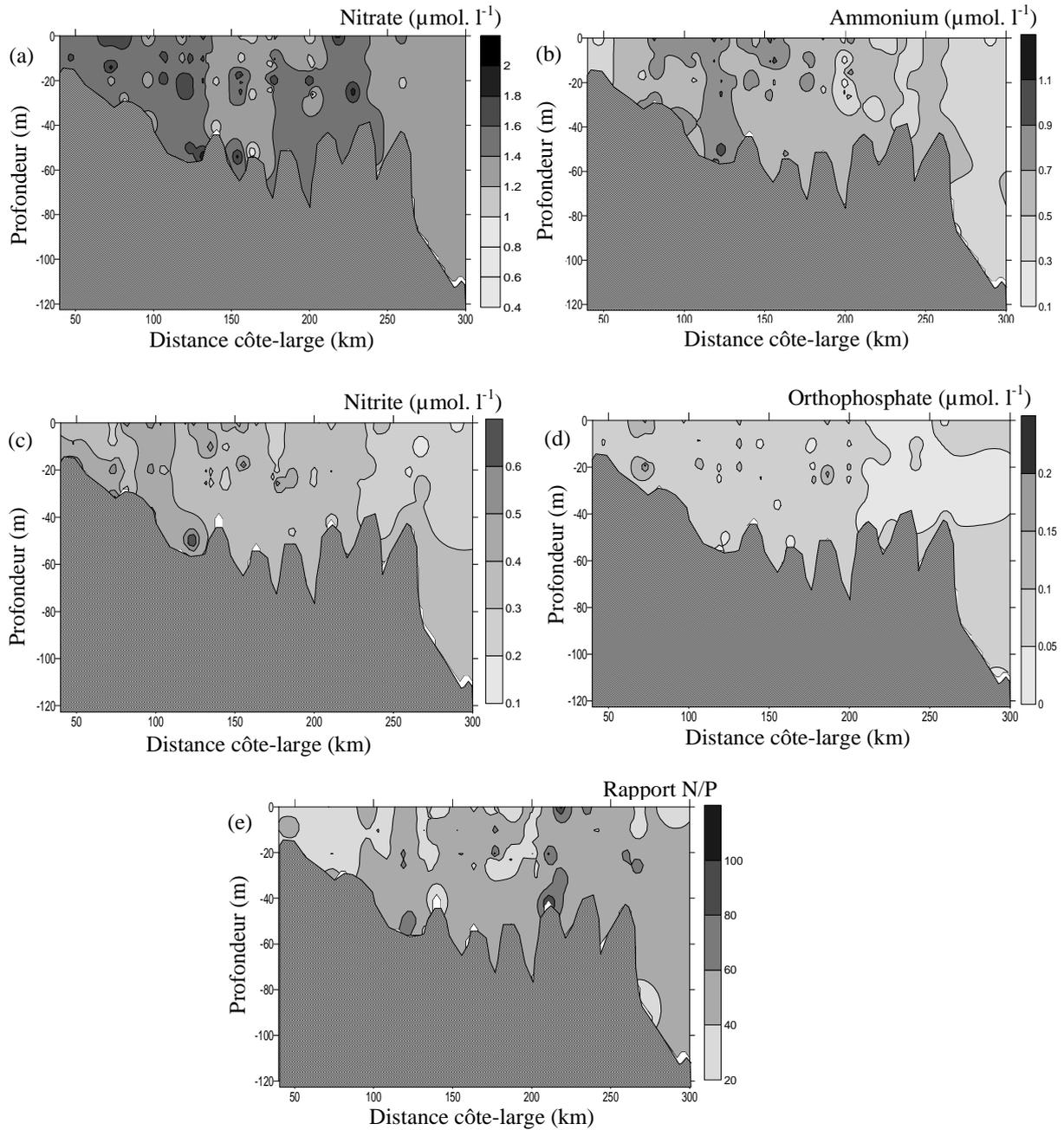


**Figure 1.** Répartition spatiale de la température (a), de la salinité (b), de la densité de l'eau (c) et du pH (d) au niveau du golfe de Gabès pendant une saison estivale (Juillet 2005)

La répartition spatiale des différentes formes d'azote inorganique dissous (DIN: nitrate, nitrite et ion ammonium) et du phosphore inorganique dissous (DIP: l'orthophosphate) est représentée dans la figure 2. Ces éléments sont plus concentrés au niveau de la côte qu'au large (Fig. 2a, b, c et d). Les concentrations les plus importantes en nitrate ( $1,42 \pm 0,26 \mu\text{mol. l}^{-1}$ ), en ammonium ( $0,61 \pm 0,21 \mu\text{mol. l}^{-1}$ ) et en ion orthophosphate ( $0,06 \pm 0,03 \mu\text{mol. l}^{-1}$ )

ont été révélées au niveau de la thermocline (25 m) et au fond. Les nitrites ( $0,36 \pm 0,26 \mu\text{mol. l}^{-1}$ ) par contre, sont concentrés principalement dans les zones côtières (Fig. 2a, b, c et d).

Le rapport  $\text{N/P} = \text{DIN}$  ( $\text{DIN} = \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ )/( $\text{DIP} = \text{PO}_4^{3-}$ ) varie de 10,87 à  $1,06 \times 10^2$  avec une moyenne de  $43,61 \pm 17,98$  (Fig. 2e). Cette moyenne est plus importante que le rapport du Redfield (16); indiquant ainsi une limitation potentielle en éléments phosphore au niveau du golfe de Gabès pendant cette saison estivale. Les rapports les plus importants de N/P ont été enregistrés au niveau des eaux côtières qui varient de 20,20 à 79,28 avec une moyenne de  $45,02 \pm 15,29$ . Ces rapports ont tendance à diminuer plus en s'approchant des zones océaniques dont les valeurs sont comprises entre 14,06 et 53,03 (Moy =  $38,66 \pm 9,80$ ). Ceci prouve que les zones côtières sont plus enrichies en azote inorganique dissous que le large.



**Figure 2.** Répartition spatiale de la concentration des éléments nutritifs: nitrate (a), ion ammonium (b), nitrite (c), et de l'ion orthophosphate (d) et du rapport N/P (e) selon un gradient côte-large dans une tranche d'eau comprise entre 0 et 120 m de profondeur au niveau du golfe de Gabès pendant une saison estivale (Juillet 2005)

## II.1.2. Dynamique des dinoflagellés en relation avec les facteurs environnementaux

*Ce chapitre a fait l'objet d'une Publication au Scientia Marina 72 (1): 59 - 71*

### II.1.2.1. Structure de la communauté phytoplanctonique

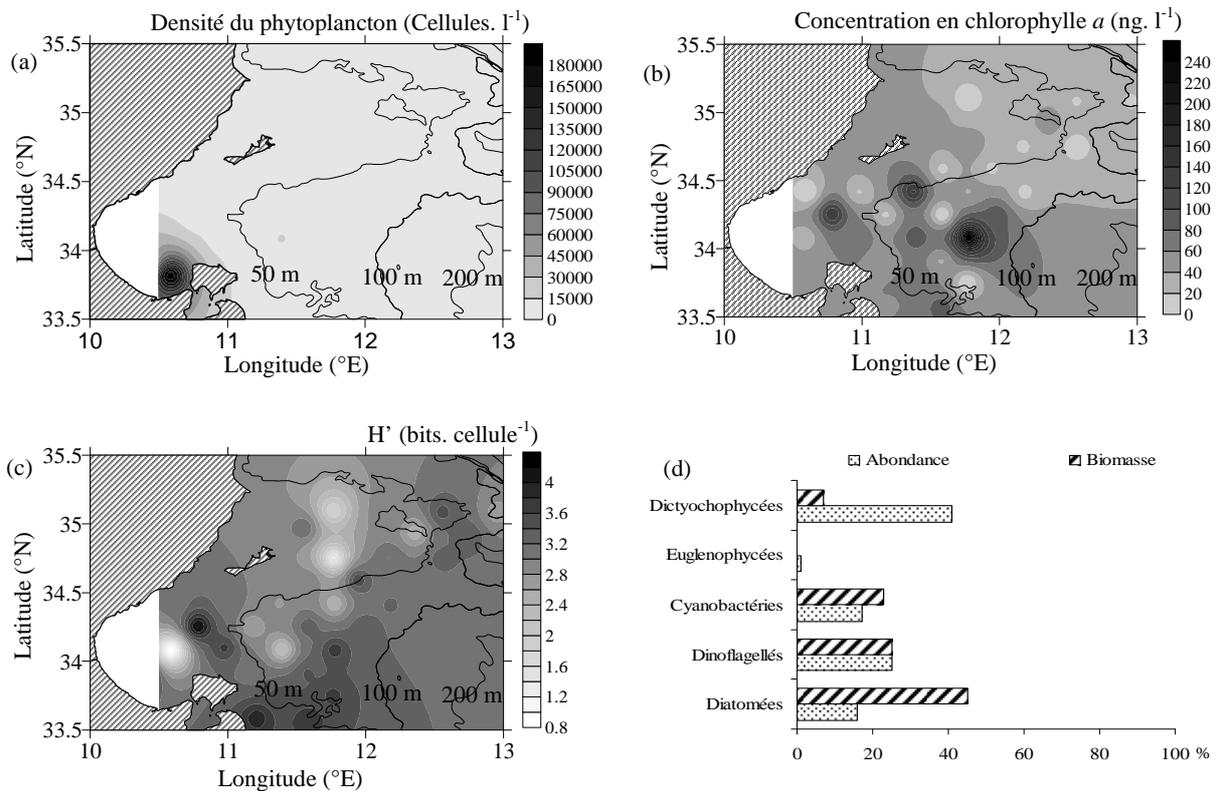
Durant la période estivale (Juillet 2005), l'étude qualitative et quantitative de la communauté phytoplanctonique au niveau du golfe de Gabès, a montré la présence de cinq classes. Parmi lesquelles, on peut citer les dinoflagellés (25%), les diatomées (16%), les cyanobactéries (17%), les dictyochophycées (41%) et les euglénophycées (1%). Dans le présent travail, on va s'intéresser principalement à l'étude des dinoflagellés.

Les dinoflagellés et les diatomées, sont les groupes les plus diversifiés avec un total de 78 et 31 espèces respectivement. La densité du phytoplancton varie entre  $2,1 \times 10^3$  cellules.  $l^{-1}$  (au niveau de la station 2 située à 52 m de profondeur) à  $2,3 \times 10^5$  cellules.  $l^{-1}$  (au niveau de la station 29 située à 19,5 m de profondeur) avec une moyenne de  $2,3 \pm 4,0 \times 10^4$  cellules.  $l^{-1}$  (Fig. 3a). Les teneurs en chlorophylle *a* sont comprises entre 0 et  $2,6 \times 10^2$  ng.  $l^{-1}$  avec une moyenne de  $48,4 \pm 54,2$  ng.  $l^{-1}$  avec un maximum enregistré à 10 m, particulièrement au niveau des stations 3 et 9 (Fig. 3b). Au niveau du golfe de Gabès, les concentrations les plus élevées en chlorophylle *a* ont été enregistrées au niveau des zones côtières (130 ng.  $l^{-1}$ ) qui sont corrélés avec la densité des dinoflagellés ( $r = 0,719$ ;  $n = 120$ ;  $p < 0,001$ ) (Tableau 1). Au niveau des régions océaniques, les concentrations en chlorophylle *a* diminuent. La moyenne est de l'ordre de 30 ng.  $l^{-1}$ .

D'une façon générale, la communauté phytoplanctonique est exclusivement côtière. Ceci peut être expliqué par la diversité spécifique assez importante ( $H'$  maximum: 4,2 bits. cellule $^{-1}$ ) avec une moyenne de  $3,04 \pm 0,74$  bits. cellule $^{-1}$  due à la présence concomitante de plusieurs espèces de dinoflagellés ( $H' = 2,2$  à 3 bits. cellule $^{-1}$ , 17 espèces) (Fig. 3c). En terme d'abondance, les dictyochophycées sont les plus dominants (41% de l'abondance totale), et sont représentés par une seule espèce *Dictyocha fibula* (Fig. 4d). En terme de biomasse, les diatomées et les dinoflagellés contribuent respectivement à 45 et 25% de la biomasse phytoplanctonique totale (Fig. 3d).

**Tableau 1.** Test de corrélation Pearson entre les variables physico-chimiques et les différentes familles phytoplanctoniques au niveau du golfe de Gabès pendant une saison estivale (Juillet 2005) (\*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.001$ , \*\*\*  $p < 0.0001$ ; nombre des paramètres testés = 19 et nombre des échantillons à tester:  $n = 120$ )

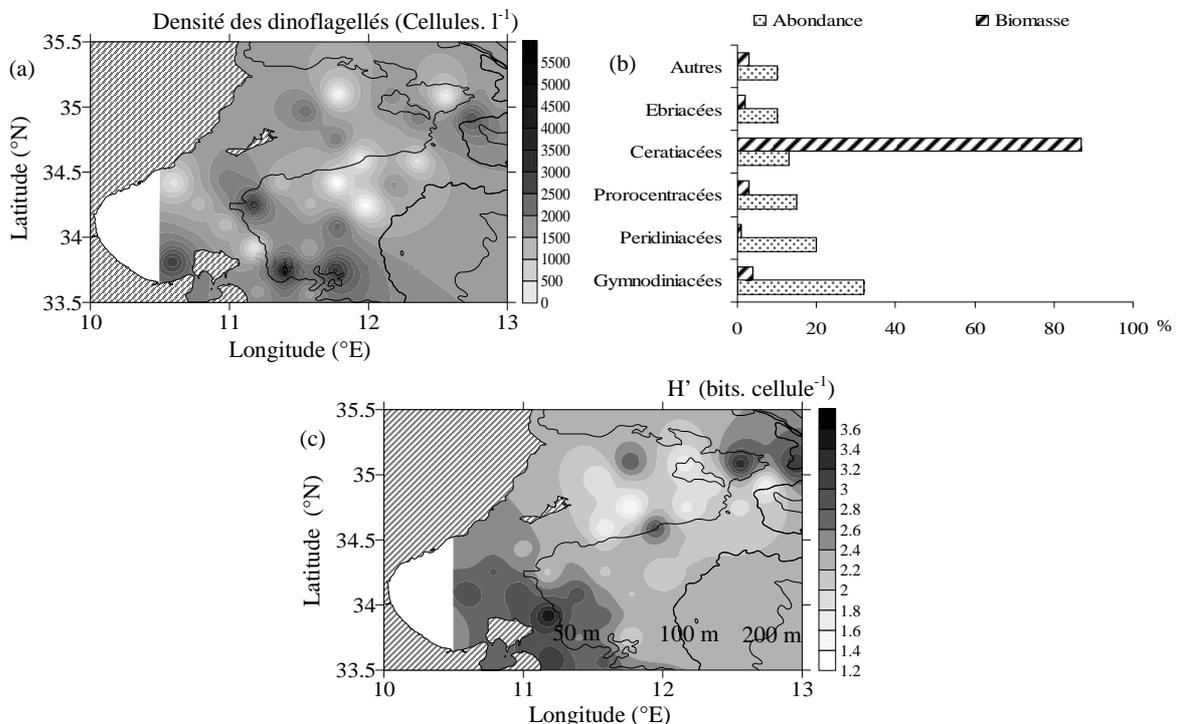
	Kystes de dinoflagellés	Prorocentracées	Gymnodiniacées	Péridiniacées	Dinoflagellés totaux	Phytoplancton total
Salinité	<b>0,441*</b>	<b>-0,409*</b>	<b>0,346*</b>	-0,050	-0,080	0,017
Température	<b>0,456*</b>	<b>-0,403*</b>	<b>0,379*</b>	0,015	-0,058	0,065
Densité de l'eau	<b>0,439*</b>	<b>-0,407*</b>	0,335	-0,063	-0,082	0,001
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<b>0,357*</b>	-0,240	<b>0,422*</b>	0,286	<b>0,540*</b>	0,180
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,540**</b>	0,010	0,296	0,171	0,289	0,108
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<b>0,361*</b>	-0,110	0,343	0,270	0,293	-0,081
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,161	0,054	<b>0,357*</b>	0,200	0,200	0,031
N-T	<b>0,598**</b>	-0,047	<b>0,365*</b>	0,215	0,280	0,142
P-T	<b>0,565*</b>	-0,140	0,302	0,056	0,230	0,020
Rapport N/P	0,298	-0,042	<b>0,382*</b>	0,255	<b>0,597*</b>	0,150
Si(OH) <sub>4</sub>	0,245	-0,138	<b>0,418*</b>	-0,027	0,136	<b>0,451</b>
Profondeur (m)	0,340	-0,299	0,115	-0,221	-0,070	-0,186
MES	-0,129	-0,164	-0,172	-0,026	<b>0,412*</b>	-0,107
Chlorophylle <i>a</i>	<b>0,383*</b>	-0,074	0,259	0,487	<b>0,719***</b>	<b>0,832***</b>



**Figure 3.** Répartition spatiale de la densité du phytoplancton (a), de la concentration en chlorophylle *a* (b), de l'indice de diversité (H') (c) selon un gradient longitudinal et l'abondance et la biomasse relative des différentes classes phytoplanctoniques (d) au niveau du golfe de Gabès pendant une saison estivale (Juillet 2005)

### II.1.2.2. Structure de la communauté des dinoflagellés

La densité des dinoflagellés varie entre  $1,6 \times 10^3$  et  $2,6 \times 10^4$  cellules.  $l^{-1}$  avec une moyenne de  $6,8 \times 10^3 \pm 4,7 \times 10^3$  cellules.  $l^{-1}$  (Fig. 4a). L'étude taxonomique, qualitative et quantitative de la communauté des dinoflagellés au niveau du golfe de Gabès durant le mois de Juillet 2005 a montré la présence de 15 différentes familles de dinoflagellés (Tableau 2). Les familles les plus dominantes sont les gymnodiniacées (32%), les péridiniacées (20%), les proroctracées (15%), les ceratiacées (13%), les ebriacées (10%) (Tableau 2, Fig. 4b). La biomasse de la famille des ceratiacées est la plus importante contribuant à 78% de la biomasse totale de dinoflagellés (Fig. 4b). En faite, cette famille est composée de 8 différentes espèces à savoir *Ceratium falcatum*, *C. macroceros*, *C. candelabrum*, *C. tripos*, *C. furca*, *C. fusus*, *C. lineatum*, *C. extensum* (Tableau 2). Le genre *Ceratium* est caractérisé par une taille assez importante, par rapport aux autres espèces, qui est comprise entre  $1,17$  et  $60 \times 10^3 \mu m$  avec une moyenne de  $2,23 \times 10^2 \pm 18,56 \mu m$ . La diversité des dinoflagellés augmente en allant du large ( $H' = 2,4$  à  $3$  bits. cellule $^{-1}$ , 15 espèces, au niveau de la station 4) vers la côte où on a enregistré le maximum de  $H'$  qui est de l'ordre de  $4,0$  bits. cellule $^{-1}$  observé au niveau de la station 28. La moyenne, qui est de  $2,4 \pm 0,5$  bits. cellule $^{-1}$ , est due à la présence de 20 différentes espèces (Fig. 4c).

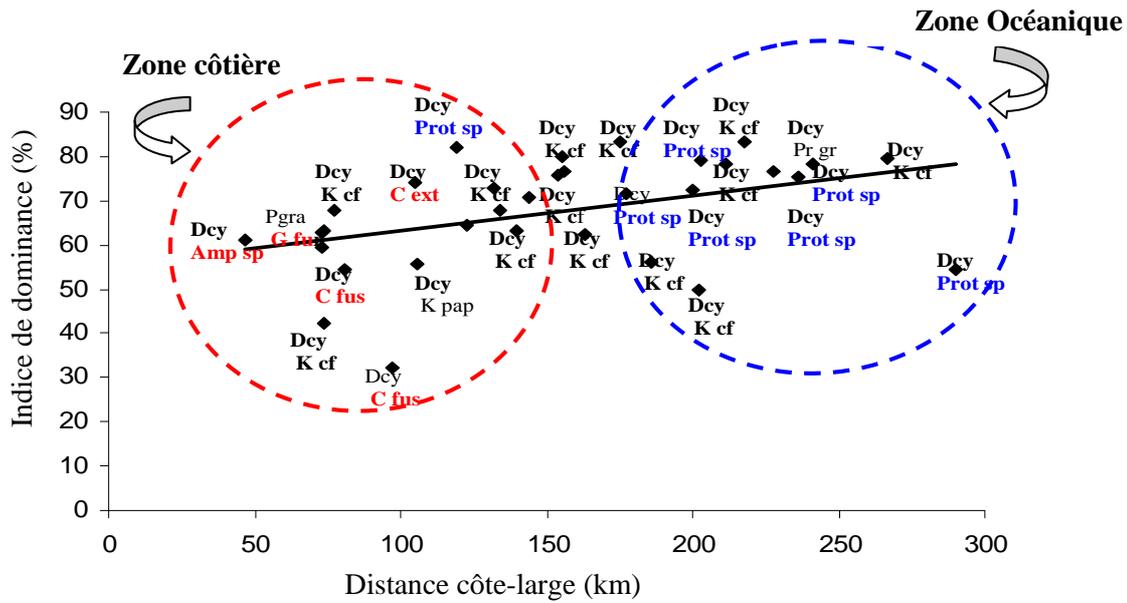


**Figure 4.** Répartition spatiale de la densité des dinoflagellés (a), de l'abondance et de la biomasse relative des différentes familles de la classe des dinoflagellés (b) et distribution spatiale de l'indice de diversité des dinoflagellés (c) au niveau du golfe de Gabès pendant une saison estivale (Juillet 2005)

**Tableau 2.** Liste qualitative et quantitative des différentes familles de dinoflagellés rencontrées au niveau du golfe de Gabès pendant une étude à court terme durant Juillet 2005

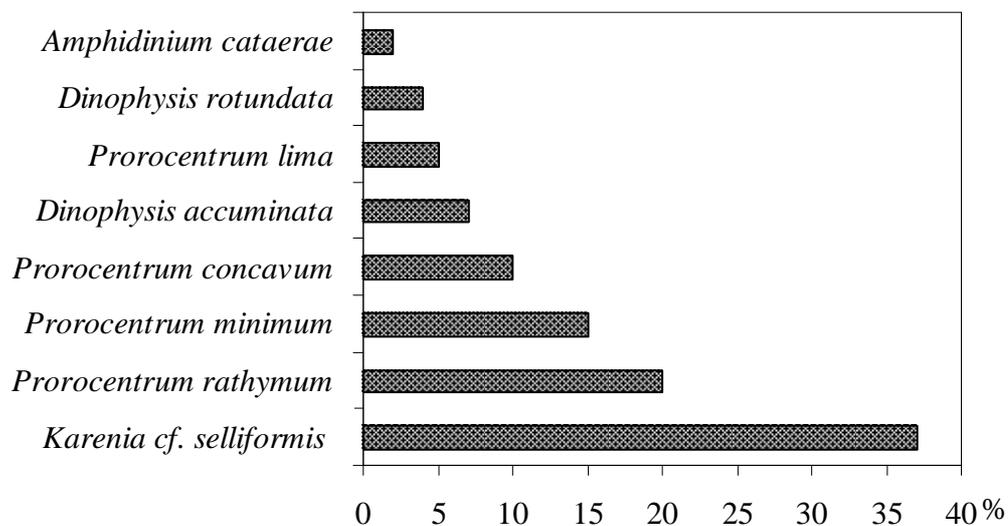
Classe	Famille	%	Genre	Espèce
Dinoflagellés	Gymnodiniacées	32	<i>Gymnodinium</i> <i>Gyrodinium</i> <i>Amphidinium</i> <i>Cochlodinium</i> <i>Karenia</i>	sp., <i>filum, abbreviatum, marinum, gliba, sanguinum, venificum, catenatum</i> sp., <i>fusiforme, spiralea, falcatum</i> sp., <i>ovoideum, cataerae, sphenoides</i> sp. <i>mirabile, cf selliformis, pappillionacea</i>
	Polykrikacées	2	<i>Polykrikos</i>	sp.
	Warnowiacées	0,5	<i>Warnowia</i>	sp.
	Prorocentracées	15	<i>Prorocentrum</i>	<i>compressum, mexicanum, lima, mit, micans, triestinum, concavum, gracile, minimum</i>
	Dinophysacées	1	<i>Dinophysis</i> <i>Phalocroma</i> <i>Metaphalocroma</i> <i>Ornithocercus</i>	<i>Accuminata, rotundata</i> sp. sp. sp.
	Ebriacées	10	<i>Ebria</i> <i>Hermesinium</i>	sp. sp.
	Protodiniferacées	0,5	<i>Pronoctiluca</i>	sp.
	Peridiniacées	20	<i>Protoperidinium</i> <i>Scrippsiella</i> <i>Peridinium</i> <i>Heterocapsa</i>	sp., <i>depressum, thoranum, minitum, globulum, diabolus, ovum, curvipes, diabolium, splendes, divergens, quinquecorne, teristinum</i> sp., <i>superselsa</i> sp. sp.
	Oxytoxacées	0,5	<i>Oxytoxum</i>	<i>sceptrum, constrictum, scolopax</i>
	Heterodiniacées	0,5	<i>Heterodinium</i>	<i>Milneri</i>
	Goniodomatacées	0,5	<i>Goniodoma</i>	<i>Polydricum</i>
	Gonyaulacacées	2	<i>Alexandrium</i> <i>Gonyaulax</i> <i>Protoceratium</i>	sp. sp., <i>polygrama, polyedra, spinifera</i> <i>Reticulatum</i>
	Ceratiacées	13	<i>Ceratium</i>	<i>falcatum, macroceros, candelabrum, tripos, furca, fusus, lineatum, extensum</i>
	Ceratocoryacées	0,5	<i>Ceratocorys</i>	sp.
	Podolampadacées	2	<i>Podolampas</i>	sp., <i>palmipes</i>

Les dinoflagellés sont majoritairement concentrés au niveau des zones côtières du golfe de Gabès particulièrement au niveau des stations 23 et 27. En effet, une corrélation significative positive ( $r = 0,41$ ;  $n = 120$ ;  $p < 0,05$ ) a été remarquée entre l'indice de dominance et la distance côte-large (Fig. 5). La zone côtière est dominée par le développement du genre *Ceratium* tandis que la zone océanique est caractérisée plutôt par le genre *Protoperidinium*.



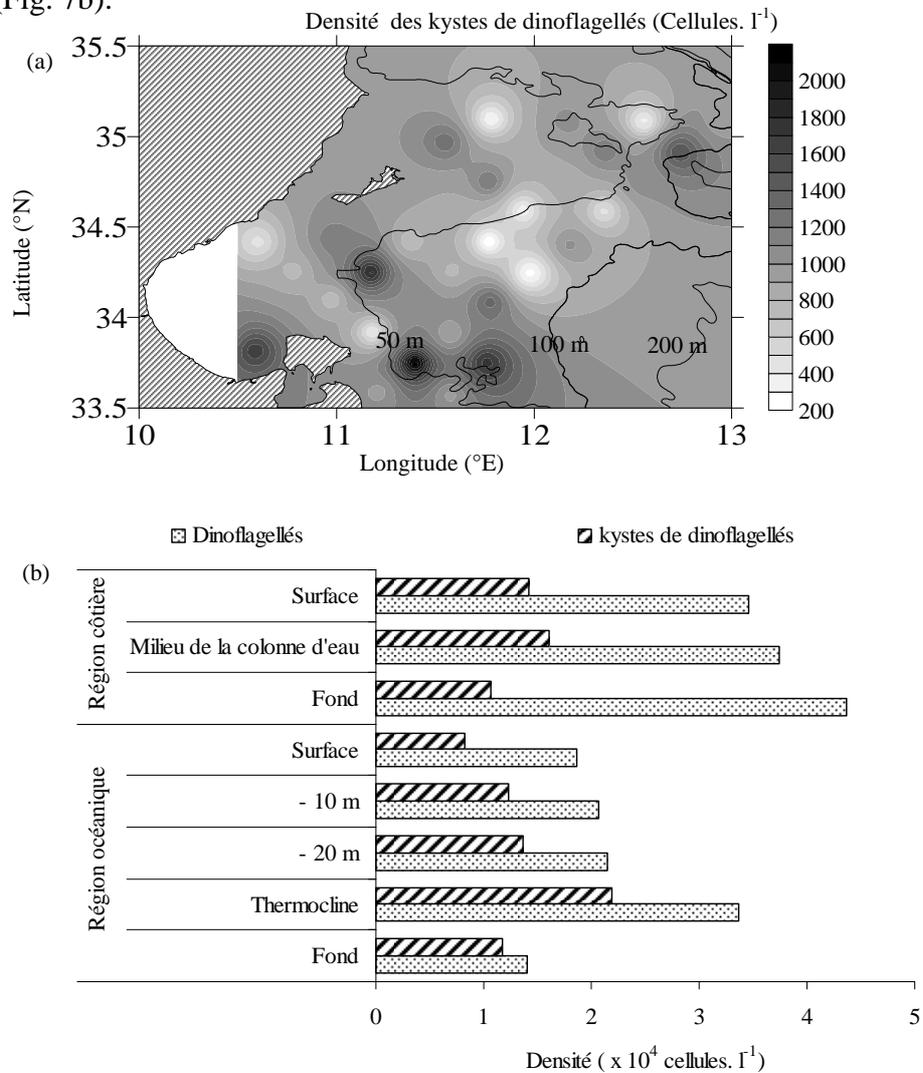
**Figure 5.** Variation de l'indice de dominance des espèces de dinoflagellés en fonction de la distance côte-large. Les deux espèces dominantes sont indiquées pour chaque station échantillonnée; avec (Dcy: kystes de dinoflagellés, K cf: *Karenia selliformis*, K pap: *Karenia papilionacea*, Amp sp: *Amphidinium* sp., Prot sp: *Protoperidinium* sp., C ext: *Ceratium extensum*, C fus: *Ceratium fusus*, G fu: *Gyrodinium fusiforme* et Pr gr: *Prorocentrum gracile*).

L'étude qualitative et quantitative des dinoflagellés a montré aussi la présence de quelques espèces toxiques. En effet, nous avons répertorié 8 espèces toxiques de dinoflagellés représentant 6% des dinoflagellés totaux dont la plus importante est *Karenia selliformis* avec une proportion de 37% des dinoflagellés toxiques totaux. Cette espèce est distribuée d'une façon homogène aussi bien au niveau de la côte qu'au large (Fig. 5, 6).



**Figure 6.** Abondance relative des différentes espèces de dinoflagellés toxiques

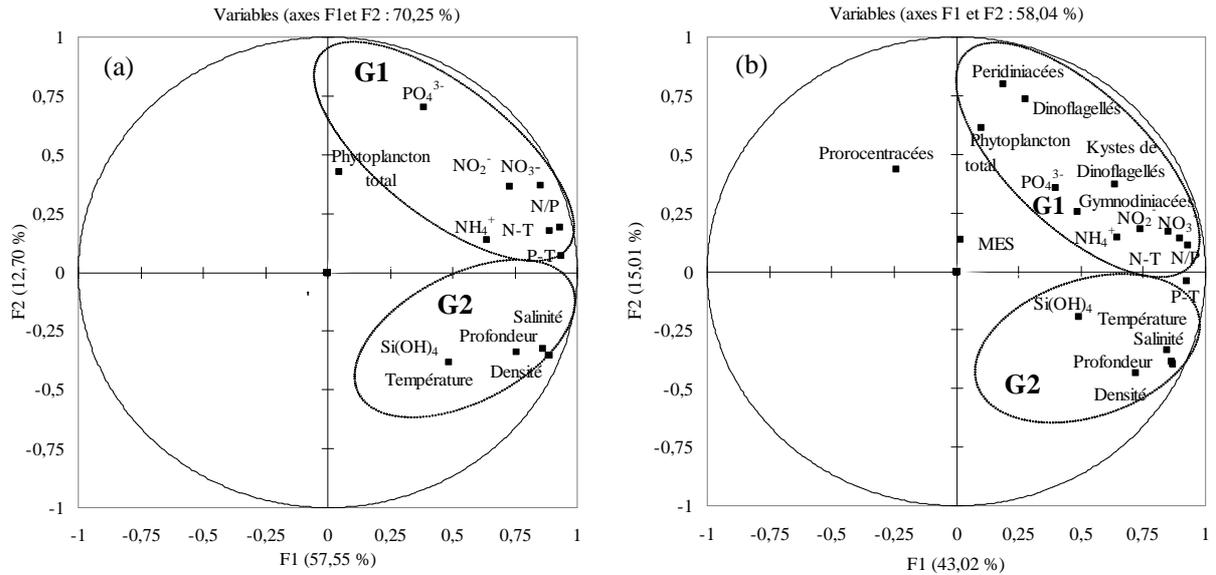
L'étude qualitative et quantitative des dinoflagellés a montré aussi qu'une partie des dinoflagellés est sous forme de kyste. Ces kystes de dinoflagellés contribuent à 33% des dinoflagellés totaux et sont plus abondants au niveau des zones côtières particulièrement au niveau de l'isobathe 50 m qu'au niveau des régions océaniques (Fig. 7a) et particulièrement pour les stations 20, 30 et 31 (Fig. 7a). L'étude de la distribution spatiale et verticale des dinoflagellés kystes et des cellules végétatives tout au long de la colonne d'eau au niveau des régions néritiques et océaniques a montré que les kystes et les espèces augmentent légèrement avec la profondeur pour la zone côtière (Fig. 7b); tandis qu'en pleine mer, leurs densités sont les mêmes au niveau de la surface, à -10 m, à -20 m et au fond; à l'exception de la thermocline où nous avons enregistré une densité assez importante pour les kystes que pour les espèces mobiles de dinoflagellés et représentant respectivement  $3,36 \times 10^4$  et  $2,19 \times 10^4$  cellules.  $l^{-1}$  (Fig. 7b).



**Figure 7.** Répartition spatiale des kystes des dinoflagellés (a) et la distribution spatiale et verticale des dinoflagellés kystes et espèces tout au long de la colonne d'eau au niveau des régions néritiques et océaniques (b)

### **II.1.2.3. L'analyse en composantes principales**

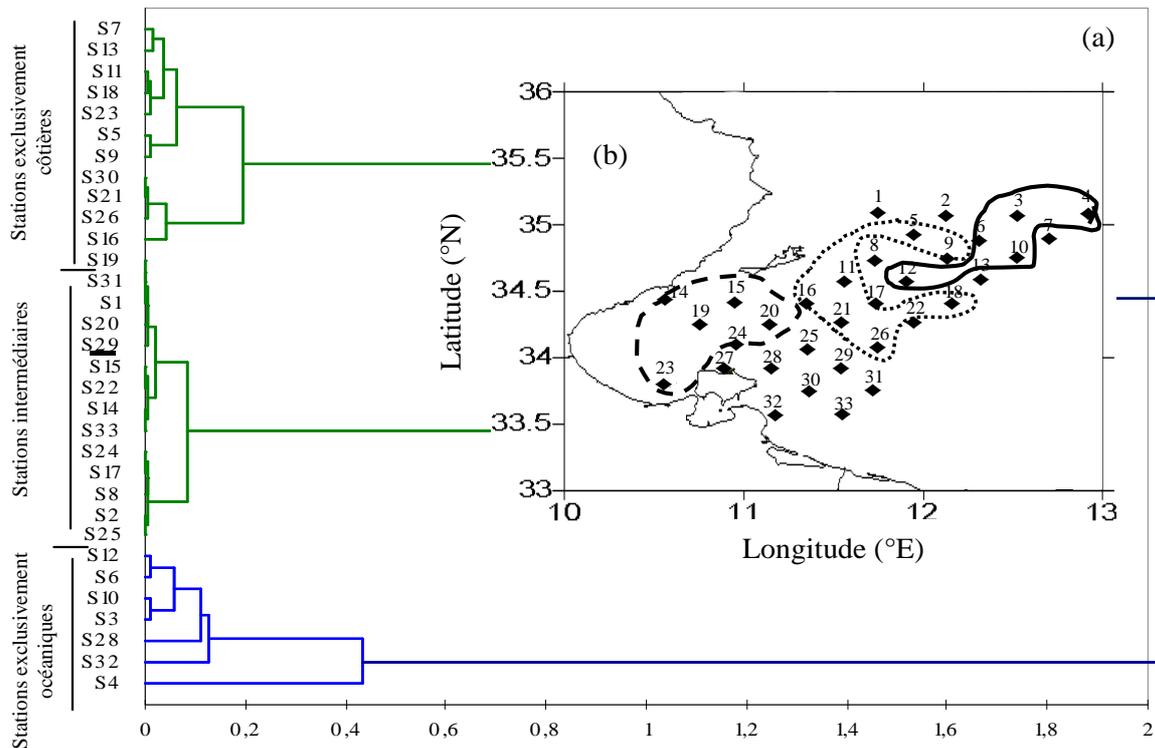
L'analyse en composantes principales (ACP) a permis la discrimination de deux groupes autour de l'axe F1 et F2 (Fig. 8a, b). L'axe F1, expliquant 57,55% de la variabilité des paramètres abiotiques et biotiques, sélectionne positivement le groupe G1 qui est composé essentiellement du phytoplancton total et des éléments nutritifs à savoir le nitrate, le nitrite, l'ion ammonium, l'ion orthophosphate, le rapport N/P et l'azote total, le phosphore total (Fig. 8a). L'axe F2, représentant 12,7% de la variabilité, met en évidence négativement le groupe G2 constitué essentiellement par des facteurs abiotiques tel que la température, la salinité, la densité de l'eau, la silice et la profondeur. Cette association confirme nos observations précédentes suggérant que l'abondance du phytoplancton diminue avec la profondeur et elle est plus concentrée au niveau des régions côtières qu'au niveau des zones océaniques. En plus, nous pouvons remarquer que la distribution du phytoplancton est strictement liée à la disponibilité des éléments nutritifs (nitrate, nitrite, ammonium, orthophosphate, azote total, et phosphore total) et particulièrement le rapport N/P qui semble être le facteur qui influence la répartition des dinoflagellés. La deuxième figure de l'ACP, fournit la discrimination de deux groupes autour des axes F1 et F2 (Fig. 8b). Les deux axes extraient 58,04% de la variabilité sélectionnant positivement le groupe G1 qui s'est composé essentiellement du phytoplancton total, avec les familles de dinoflagellés les plus dominantes (telles que les gymnodiniacées et les péridiniacées), les kystes de dinoflagellés et de éléments nutritifs (nitrate, nitrite, ammonium, orthophosphate, azote total, et phosphore total et le rapport N/P). L'axe F2, qui détermine 15,01% de la variabilité, sélectionne négativement le groupe G2 constitué par des variables abiotiques (la température, la salinité, la densité de l'eau) et la profondeur. Cette association explique mieux nos observations précédentes en ce qui concerne les liens étroits entre la distribution de dinoflagellés (kystes et espèces) montrant ainsi une corrélation positive importante ( $r = 0,597$ ;  $n = 120$ ;  $p < 0,05$ ). De plus, cette analyse statistique montre que l'abondance des dinoflagellés était plus importante au niveau de la côte qui est caractérisée par une richesse en éléments nutritifs qu'en pleine mer.



**Figure 8.** L'analyse en composantes principales du phytoplancton total (a) et des différentes familles de dinoflagellés (b) en relation avec les facteurs environnementaux au niveau du golfe de Gabès pendant une saison estivale (Juillet 2005)

#### II.1.2.4. L'analyse en dendrogramme

L'analyse en dendrogramme des différentes stations d'échantillonnage a révélé la présence de 3 regroupements de stations ayant des similarités concernant la distribution aussi bien des paramètres abiotiques et que biotiques (Fig. 9a, b). Le groupe 1 est composé essentiellement des stations océaniques à savoir les stations 3, 4, 6, 10 et 12. Le groupe 2 est constitué par un mélange de stations côtières et océaniques dont on peut citer les stations 5, 9, 11, 16, 18, 21, 22 et 26 et le groupe 3 est formé essentiellement par des stations qui sont exclusivement côtières telles que les stations 14, 15, 19, 20, 23 et 24. Parmi ces dernières, on remarque la présence des stations 23 et 24 qui sont près de l'île de Jerba et qui sont caractérisées par une forte abondance de dinoflagellés, strictement liée à une disponibilité en éléments azotés.



**Figure 9.** L'analyse en dendrogramme des différentes stations d'échantillonnage (a) et la carte des différents regroupements des stations d'échantillonnage (b) au niveau du golfe de Gabès pendant une saison estivale (Juillet 2005)

#### II.1.2.5. Discussion

Durant cette période estivale, l'étude qualitative et quantitative de la communauté phytoplanctonique au niveau du golfe de Gabès, a montré la présence de cinq classes parmi les quelles on peut citer les dinoflagellés (25%), les diatomées (16%), les cyanobactéries (17%), les dictyochophycées (41%) et euglénophycées (1%). Les dinoflagellés et les diatomées étaient le plus diversifiées. En plus, nous avons remarqué que le phytoplancton est exclusivement côtier. Il est corrélé aux fortes concentrations en chlorophylle *a*. La densité du phytoplancton total enregistrée au niveau de la zone d'étude a été rapportée dans d'autres milieux tempérés (Denis et al., 2000; Moran et al., 2001; Gomez et Gorsky, 2003; Turki et al., 2006). Ceci concerne particulièrement la distribution des dinoflagellés qui suit celle du phytoplancton total qui est répartie selon un gradient côte-large. La plus importante concentration des dinoflagellés ( $2,6 \times 10^4$  cellules.  $l^{-1}$ ) et la plus grande diversité spécifique (4 bits. cellule $^{-1}$ ) ont été observés au niveau de la côte près de l'île de Jerba et particulièrement au niveau des stations 23, 27, 28 (Fig. 7, 9) dont les espèces dominantes sont *Ceratium furca* et *Ceratium fusus* tandis que au large c'est le genre *Protoberidinium* qui domine. Ces deux genres (*Ceratium* et *Protoberidinium*) sont dominants aussi pendant les

mois de Novembre 1969 (Borgne-David, 1975) et Octobre 2000 (Turki et al., 2006) au niveau du golfe de Gabès. Ils sont aussi très abondants pendant l'été dans le lac de Bizerte (Côté Nord de la Tunisie) (Turki et al., 2006). *Ceratium furca* et *Ceratium fusus* sont aussi abondants au niveau d'autres régions méditerranéennes (Revelante et Gilmartin, 1976). Leur développement pourrait être dû à la forte concentration d'azote au niveau des zones côtières du golfe de Gabès. En plus, l'assimilation du phosphore par le phytoplancton réduit par conséquent la teneur de cet élément. Une corrélation significative a été observée entre la densité des dinoflagellés et le rapport N/P ( $r = 0,597$ ;  $n = 120$ ;  $p < 0,05$ ) et avec la concentration en nitrate ( $r = 0,540$ ;  $n = 120$ ;  $p < 0,05$ ) mais aucune corrélation significative n'a été notée avec le phosphore. Ceci montre d'avantage le rôle crucial joué par les éléments azotés dans la prolifération des dinoflagellés au niveau des écosystèmes marins (Fanning, 1992; Reul et al., 2005), et en augmentant son stockage face à un manque en cet élément (Glibert et al., 2001; Badylak et Philips, 2004). Les basses concentrations en chlorophylle *a* et les importants rapports N/P (plus élevés que le rapport normal du Redfield (N/P = 16/1)) enregistrés durant cette période au niveau du golfe de Gabès indiquent que cet écosystème est caractérisé par un statut oligotrophe (Vollenweider et al., 1992). Le statut oligotrophe attribué à la mer Ionienne est basé sur les faibles concentrations en éléments nutritifs (Bregant et al., 1992) et une faible production primaire estimée à partir de la concentration en chlorophylle *a* (Magazzù et Decembrini, 1995; Boldrin et al., 2002; Moutin et Rainbault, 2002). Cependant, le bassin oriental de la Méditerranée est un écosystème "oligotrophe" (Krom et al., 1991; Heurt et al., 2005) caractérisé par une dominance des dinoflagellés comme celui du golfe de Gabès durant cette présente étude (Drira et al., 2008a).

En raison du manque du brassage le long de la côte, il y a un développement massif du phytoplancton qui est caractérisé par un pouvoir de migration contrairement au phytoplancton non mobile (exemple: les diatomées) (Paerl, 1997). Ceci explique d'avantage la localisation côtière des dinoflagellés. Des observations similaires ont été rapportées dans le golfe de Tunis, (Daly-Yahia, 1998), dans la baie du Ville-Franche (Nord du bassin occidental de la mer Méditerranée) (Gomez et Gorsky, 2003) et dans les régions côtières du Tokyo (Matsuoka et al., 2003) et où l'espèce *Ceratium furca* domine la communauté des dinoflagellés (Matsuoka et al., 2003) suivi du genre *Protoperidinium*. Le genre *Ceratium* était aussi parmi les espèces dominantes du peuplement phytoplanctonique estivale dans les lacs de Chine entre 1991 et 1999 (Chen et al., 2003). Il est connu, que les espèces phytoplanctoniques de grandes tailles tendent à dominer les zones côtières caractérisées par une importante disponibilité d'éléments nutritifs, alors que le phytoplancton dont la taille est petite est susceptible d'être

caractéristique des systèmes océaniques oligotrophe (Kang et al., 2004). Ce résultat se vérifie dans le golfe de Gabès dans lequel le genre *Ceratium* est exclusivement côtier et dont la taille est importante, comprise entre 100 et  $1,2 \times 10^3 \mu\text{m}$  avec une moyenne de  $216 \pm 200 \mu\text{m}$ , tandis que, le genre *Protoperdinium* est exclusivement océanique (100 km) dont la taille est assez petite et varie entre 10 à 85  $\mu\text{m}$  avec une moyenne de  $41,26 \pm 18,56 \mu\text{m}$ .

Malgré que les dinoflagellés sont répartis selon un gradient côte-large, les espèces toxiques et particulièrement *Karenia selliformis* (représentant 37% de dinoflagellés toxiques totaux) sont distribués d'une façon homogène dans tout le golfe de Gabès au cours de cette période d'étude. Les mêmes résultats sont observés dans le golfe de Gabès pendant Octobre 2000, déclarant la présence de 10 espèces toxiques dont *Karenia selliformis* est l'espèce la plus productrice de toxine (Turki et al., 2006). Toutefois, la distribution de cette espèce est mal connue dans cette région étant donné qu'aucune étude n'a été réalisée dans ce milieu. Néanmoins, d'après Chang et al. (2003), une faible densité de l'espèce toxique *Karenia* a été observée dans le Nord-Est du golfe de la Nouvelle Zélande. Dans le golfe de Gabès, nous avons remarqué une nette abondance des kystes de dinoflagellés qui sont confinés au niveau de la thermocline. Ces kystes pourraient être partiellement apportés par la fraction de l'eau atlantique modifiée (MAW) qui vient du Sud de l'île de Lampedusa (Italie), envahissant le golfe de Gabès et circule aux niveaux des côtes tunisiennes (Lecombe et Tchernia, 1972). Cette eau atlantique pourrait inoculer dans le golfe de Gabès des espèces phytoplanctoniques allochtones, des dinoflagellés toxiques et leurs kystes (Reul et al., 2002; Gomez, 2003; Gomez, et al., 2004). Ces kystes de dinoflagellés pourraient avoir comme origine les eaux du ballastes provenant du trafic marin (Hallegraeff, 1993; Yoshida et al., 1996; Hallegraeff et al., 1997).

#### II.1.2.6. Conclusion

Il semble évident que les dinoflagellés, y compris les espèces toxiques, non toxiques et les kystes, sont des composantes majeures de la communauté phytoplanctonique dans le golfe de Gabès. Leur distribution s'est organisée selon un gradient côte-large. La présence des espèces toxiques fait l'objet d'un grand projet de recherche vu que leur présence peut induire des effets nocifs pour la santé humaine. En plus, on a noté une abondance excessive de l'espèce toxique *Karenia selliformis* au niveau des stations 23 et 24, qui sont près de île de Jerba, zone qui représente une importance sur le plan socio-économique. D'autre part, cette région est caractérisée par un rapport N/P important (25,25). L'étude de l'écologie des dinoflagellés dans le golfe de Gabès est très complexe dû à l'interaction de divers facteurs

(mouvements hydrologiques, interférences urbains, trafic marin...) et sa compréhension nécessite des études à long terme. Actuellement nous pouvons suggérer que l'enrichissement des zones côtières en éléments nutritifs peut avoir comme origine, l'activité urbaine et industrielle constituant les éléments essentiels dans le contrôle de l'eutrophisation côtière au niveau du golfe de Gabès. Dans les régions océaniques, l'eau atlantique pourrait être le facteur principal déterminant le développement et la structuration des dinoflagellés.

### II.1.3. Etude de la structure de la communauté phytoplanctonique en relation avec la disponibilité des éléments nutritifs au niveau du golfe

*Ce chapitre a fait l'objet d'une publication soumise dans Acta Protozoologica*

### **II.1.3.1. Structure, diversité et distribution des différents groupes phytoplanctoniques**

La communauté phytoplanctonique est composée de 5 classes parmi lesquelles, on cite les dictyochophycées, les dinoflagellés, les diatomées, les cyanobactéries et les euglénophycées représentant respectivement 41, 25, 16, 17 et 1% de la de l'abondance totale du phytoplancton. Les dictyochophycées, la classe la plus importante en abondance, est représentée par une seule espèce *Dictyocha fibula*. Les dinoflagellés, les diatomées, les cyanobactéries et les euglénophycées sont représentés respectivement par 78, 31, 5 différentes espèces et par une seule espèce *Euglena acusformis*. La communauté phytoplanctonique est plus diversifiée au niveau des régions océaniques qu'aux régions côtières du golfe de Gabès (Fig. 10a-b, Tableau 3a-b). C'est particulièrement au niveau de la station 24 où *Dictyocha fibula* s'est développée d'une façon intense et tout au long de la côte généralement en tant qu'une espèce opportuniste (stratège-*r*) ( $H' = 0,86$ ;  $E = 0,20$ ; Tableau 3a). Ceci s'applique aussi aux stations 1 et 8 qui sont caractérisées par une nette dominance de l'espèce *Pseudoanabaena galeata* appartenant à la classe des cyanobactéries contribuant à une faible diversité phytoplanctonique (Tableau 3a).

La communauté phytoplanctonique était plus abondante au niveau des régions côtières du golfe de Gabès qu'au niveau des régions océaniques. La densité du phytoplancton totale varie de  $2,1 \times 10^3$  à  $2,3 \times 10^5$  cellules.  $l^{-1}$  avec une densité moyenne de  $2,3 \times 10^4 \pm 4,0 \times 10^4$  cellules.  $l^{-1}$  (Fig. 10a, Tableau 3a-b, Tableau 4).

**Tableau 3.** Etude quantitative et structurale de la communauté phytoplanctonique aux niveaux des zones néritiques (a) et océaniques (b) du golfe de Gabès pendant Juillet 2005

**Tableau 3a.**

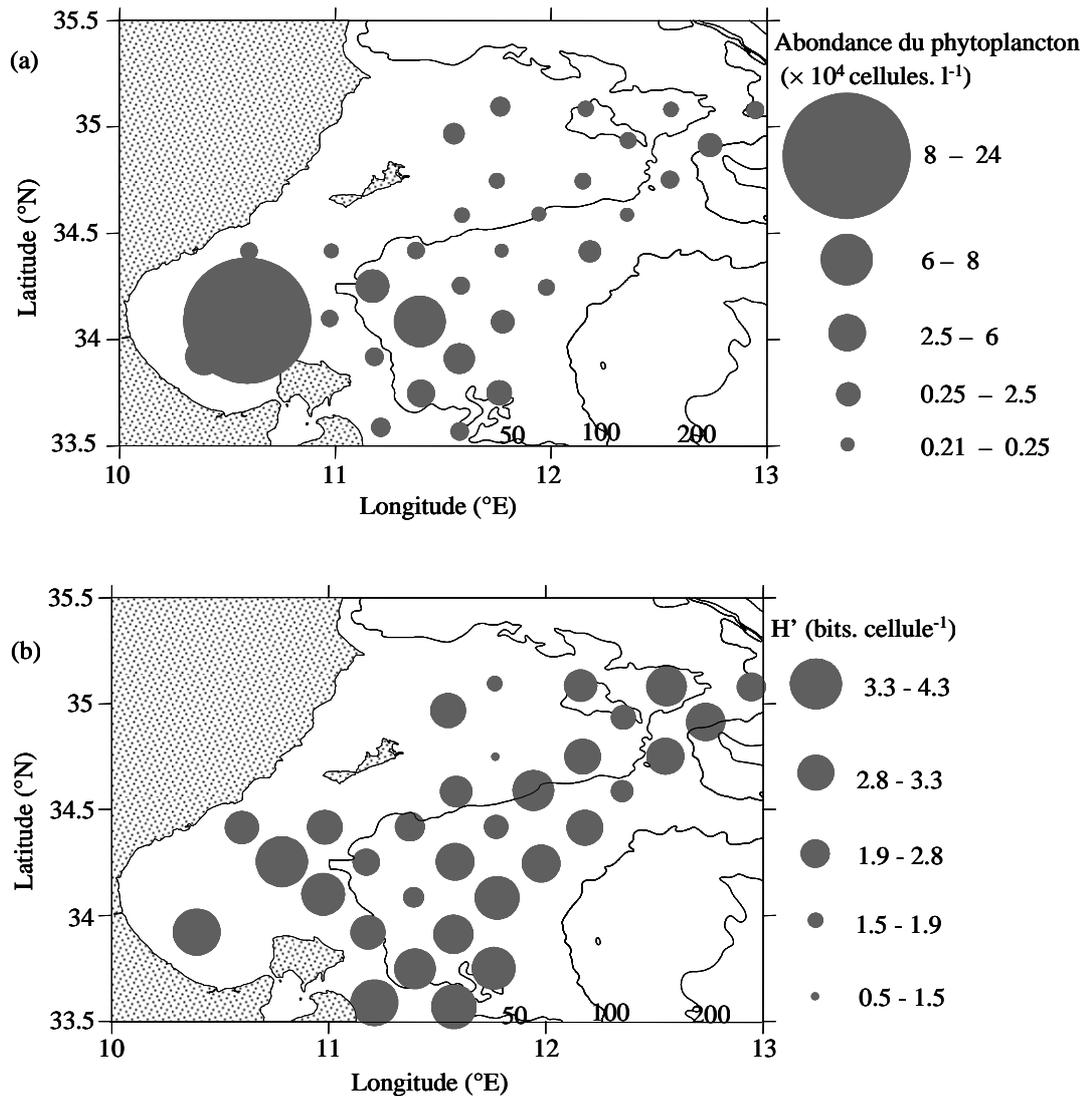
Stations	Abondance du phytoplancton ( $\times 10^4$ cellules $\Gamma^{-1}$ )	Abondance de l'espèce dominante ( $\times 10^4$ cellules. $\Gamma^{-1}$ )	Nombre d'espèces	% de l'espèce dominante	Indice de diversité ( $H'$ ) (bits. cellule $^{-1}$ )	Indice d'équitabilité (E)	Espèce dominante
1	1,43	0,87	13	61	1,83	0,43	<i>Pseudoanabaena galeata</i>
2	0,72	0,31	19	43	2,99	0,70	Kystes de dinoflagellés
3	0,53	0,22	22	41	3,48	0,82	<i>Pseudoanabaena galeata</i>
5	1,75	0,86	28	49	3,16	0,75	<i>Pseudoanabaena galeata</i>
6	0,81	0,74	18	91	2,45	0,58	Kystes de dinoflagellés
8	0,63	1,66	13	25	1,33	0,31	<i>Pseudoanabaena galeata</i>
9	0,79	0,42	26	53	3,20	0,76	Kystes de dinoflagellés
11	0,56	0,26	16	46	2,92	0,69	Kystes de dinoflagellés
14	0,98	0,29	17	30	3,03	0,71	<i>Biddulphia pulchella</i>
23	5,00	0,73	32	15	3,96	0,93	<i>Thalassionema nitzschoides</i>
24	23,05	20,80	51	90	0,86	0,20	<i>Dictyocha fibula</i>
25	7,87	3,78	37	48	2,18	0,51	<i>Trichodesmium erythraeum</i>
27	0,87	0,50	34	57	3,66	0,86	Kystes de dinoflagellés
28	1,20	0,78	28	65	3,11	0,73	<i>Ceratium furca</i>
30	3,03	0,62	32	20	3,53	0,83	<i>Trichodesmium erythraeum</i>
32	1,34	0,29	34	21	3,95	0,93	Kystes de dinoflagellés
33	1,16	0,29	25	25	3,79	0,89	Kystes de dinoflagellés

Tableau 3b.

Stations	Abondance du phytoplancton ( $\times 10^4$ cellules. l <sup>-1</sup> )	Abondance de l'espèce dominante ( $\times 10^4$ cellules. l <sup>-1</sup> )	Nombre d'espèces	% de l'espèce dominante	Indice de diversité (H')	Indice d'équitabilité (E)	Espèce dominante
4	1,02	0,48	17	47	2,71	0,64	Kystes de dinoflagellés
7	2,31	0,36	28	16	3,37	0,79	Kystes de dinoflagellés
10	1,07	0,26	21	24	3,29	0,77	Kystes de dinoflagellés
12	0,40	0,10	18	25	3,55	0,84	Kystes de dinoflagellés
13	1,02	0,48	10	47	2,71	0,64	<i>Spirulina subsalsa</i>
15	0,40	0,35	22	87	3,14	0,74	Kystes de dinoflagellés
16	0,98	0,37	17	37	2,77	0,65	Kystes de dinoflagellés
17	0,21	0,51	10	52	2,28	0,53	Kystes de dinoflagellés
18	1,96	0,50	22	25	3,22	0,76	<i>Guinardia delicatula</i>
19	1,16	0,23	33	20	3,43	0,81	Dinocysts
20	4,22	1,67	30	40	2,59	0,61	<i>Biddulphia pulchella</i>
21	1,04	0,14	16	13	3,33	0,79	<i>Chaetoceros</i> sp,
22	0,79	0,31	18	39	3,34	0,79	Kystes de dinoflagellés
26	2,17	0,67	32	31	3,73	0,88	Kystes de dinoflagellés
29	3,69	1,37	35	37	4,22	1,00	<i>Guinardia delicatula</i>
31	2,58	0,65	33	25	3,67	0,87	Kystes de dinoflagellés

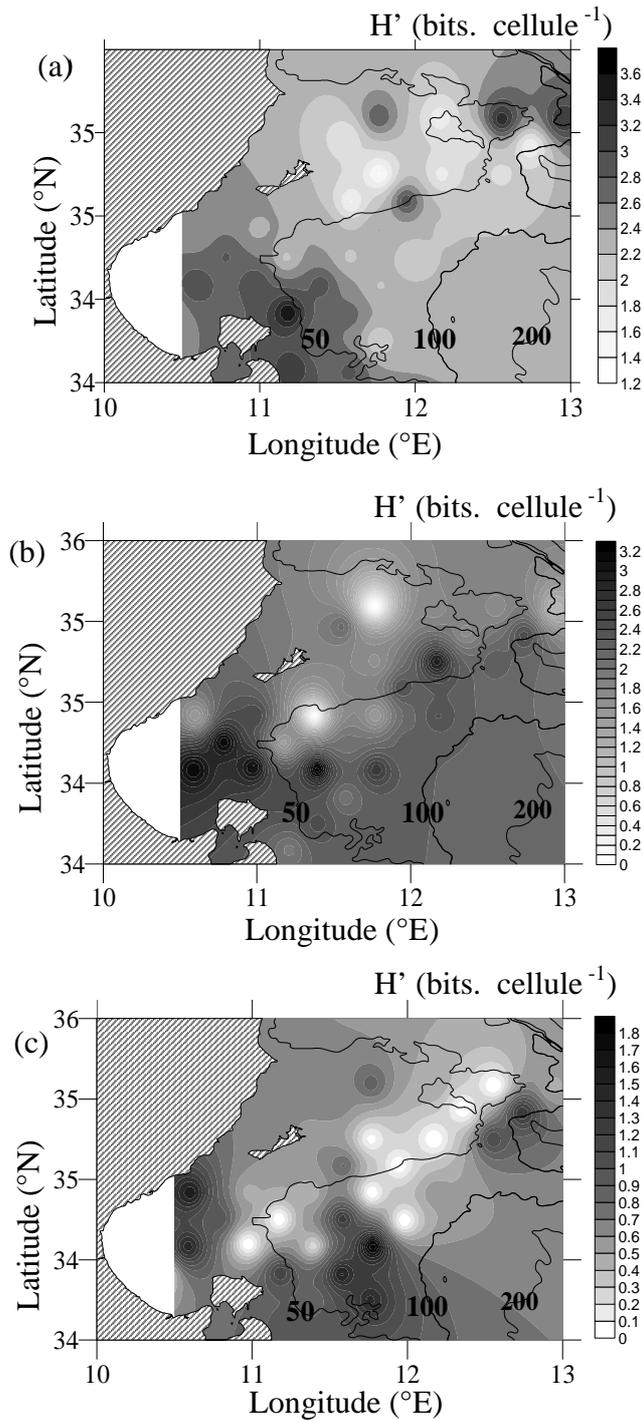
**Tableau 4.** Les principaux taxons phytoplanctoniques et leurs pourcentages relatifs aux niveaux des zones néritiques et océaniques du golfe de Gabès pendant Juillet 2005

	Abondance (%)	
	Stations côtières	Stations océaniques
<b>Phytoplancton total</b>	68	32
<b>Dictyochophycées</b>	100	0
<i>Dictyocha fibula</i>	100	0
<b>Dinoflagellés</b>	65	35
<i>Amphidinium cartereae</i>	2	1
<i>Amphidinium ovoideum</i>	-	2
<i>Ceratium extensum</i>	-	1
<i>Ceratium furca</i>	7	-
Kystes de dinoflagellés	42	59
<i>Gyrodinium fusiforme</i>	2	2
<i>Hermesinium</i> sp.	6	-
<i>Karenia selliformis</i>	6	8
<i>Karenia papilionacea</i>	1	3
<i>Prorocentrum gracile</i>	7	-
<i>Prorocentrum lima</i>	1	-
<i>Protoperidinium depressum</i>	-	1
<i>Protoperidinium globulum</i>	-	1
<i>Protoperidinium</i> sp.	5	4
<b>Cyanobactéries</b>	81	19
<i>Anabaena</i> sp.	7	11
<i>Microcystis</i> sp.	-	3
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	46	27
<i>Pseudoanabaena galeata</i>	47	58
<i>Spirulina subsalsa</i>	-	1
<b>Diatomées</b>	71	29
<i>Biddulphia pulchella</i>	8	17
<i>Chaetoceros</i> sp.	6	4
<i>Coscinodiscus</i> sp.	8	1
<i>Ditylum brightwellii</i>	3	2
<i>Guinardia delicatula</i>	9	26
<i>Hemiaulus hauckii</i>	24	17
<i>Navicula</i> sp.	11	16
<i>Nitzschia sicula</i>	5	3
<i>Pleurosigma simonsenii</i>	-	2
<i>Rhizosolenia</i> sp.	4	7
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	10	-
<b>Euglénophycées</b>	43	57
<i>Euglena acusformis</i>	100	100



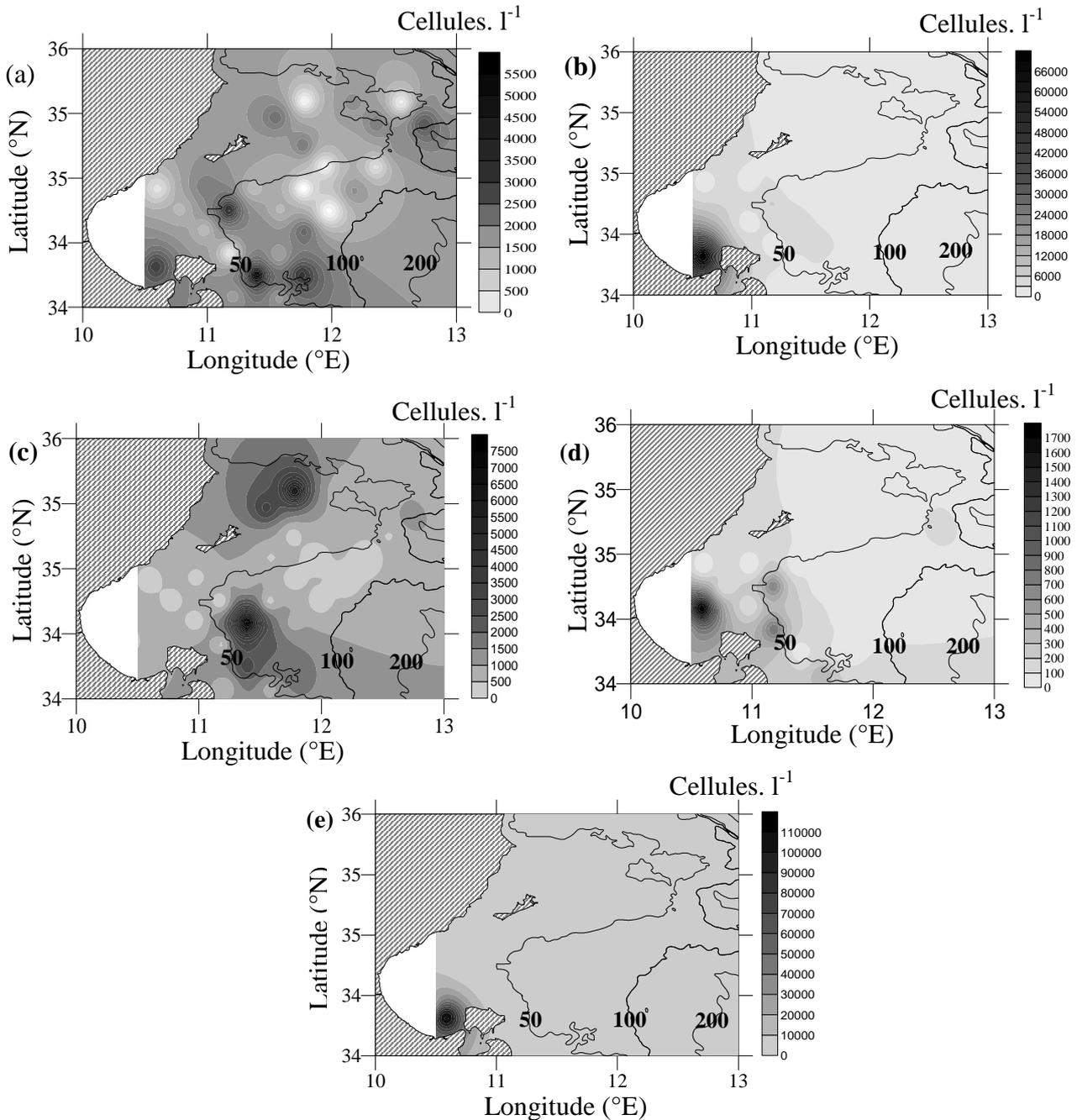
**Figure 10.** Distribution spatiale de l'abondance du phytoplancton total (a) et l'indice de diversité (b) au niveau du golfe de Gabès pendant Juillet 2005

L'étude de la diversité spécifique des différentes classes phytoplanctoniques est illustrée au niveau de la figure 11a, b et c. En effet, l'indice de diversité s'annule pour les deux groupes à savoir les dictyochophycées et les euglénophycées formées chacune par une seule espèce *Dictyocha fibula* et *Euglena acusformis*. En ce qui concerne les trois autres classes (Dinoflagellés, diatomées et cyanobactéries), la diversité spécifique est majoritairement importante au niveau des zones côtières qu'au large du golfe de Gabès. Cependant, les dinoflagellés et les diatomées montrent un indice de diversité spécifique  $H'$  qui varie de 0 à 3 bits. cellule $^{-1}$ ; tandis que pour les cyanobactéries,  $H'$ , varie de 0 à 1,9 bits. cellule $^{-1}$  et est très faible par comparaison aux deux autres classes vue que cette classe est composée par 5 espèces seulement (Fig. 11a, b, c)



**Figure 11.** Répartition de l'indice de diversité spécifique  $H'$  (bits cellule<sup>-1</sup>) pour les dinoflagellés (a), les diatomées (b), les cyanobactéries (c) au niveau du golfe de Gabès pendant Juillet 2005

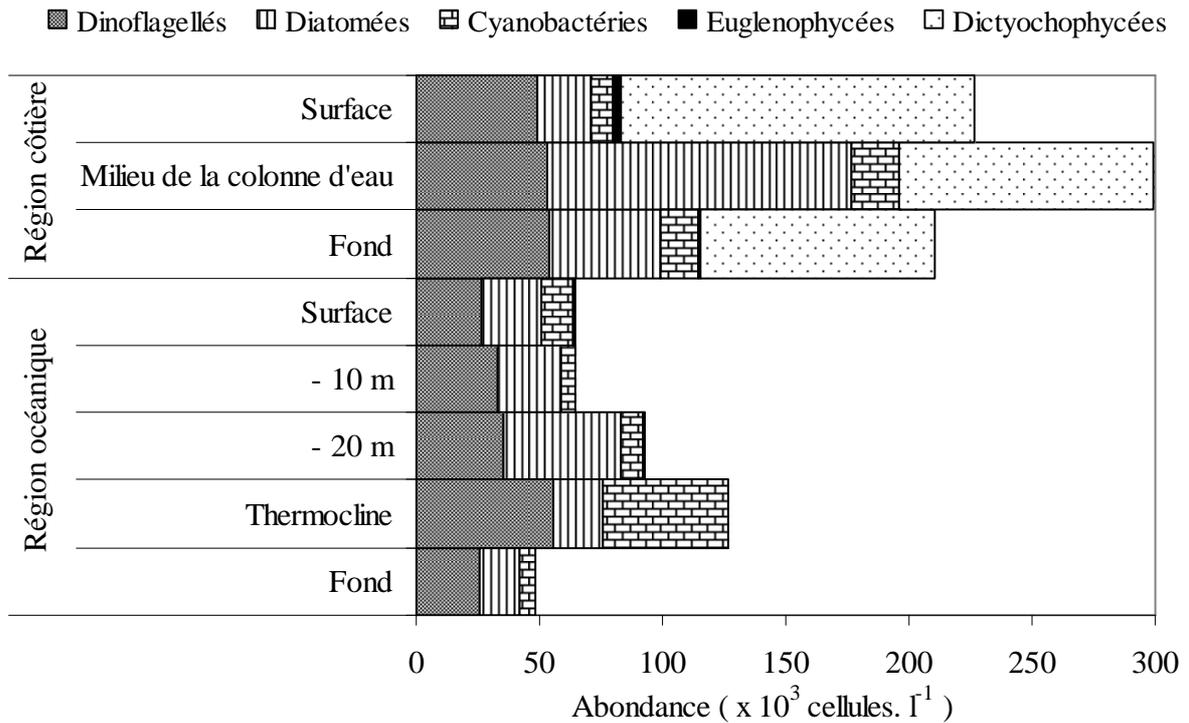
L'étude de la distribution spatiale des différentes classes phytoplanctoniques a montré que les différents groupes phytoplanctoniques sont majoritairement localisés aux niveaux des régions côtières du golfe de Gabès à l'exception des cyanobactéries qui sont concentrées au niveau de l'isobathe 50 m (Fig. 12a, b, c, d, e).



**Figure 12.** Distribution spatiale de l'abondance des dinoflagellés (a), des diatomées (b), des cyanobactéries (c), des euglénophycées (d) et des dictyochophycées (e) au niveau du golfe de Gabès pendant Juillet 2005

En terme de biomasse, les diatomées sont le groupe le plus dominant représentant 45% de la biomasse totale. La variation spatiale et verticale de l'abondance des différents groupes phytoplanctoniques tout au long de la colonne d'eau au niveau des régions néritiques et océaniques est représentée au niveau de la figure 13. Les dinoflagellés sont présents à chaque niveau de la colonne d'eau. Le maximum d'abondance est enregistré au niveau de la côte. Les

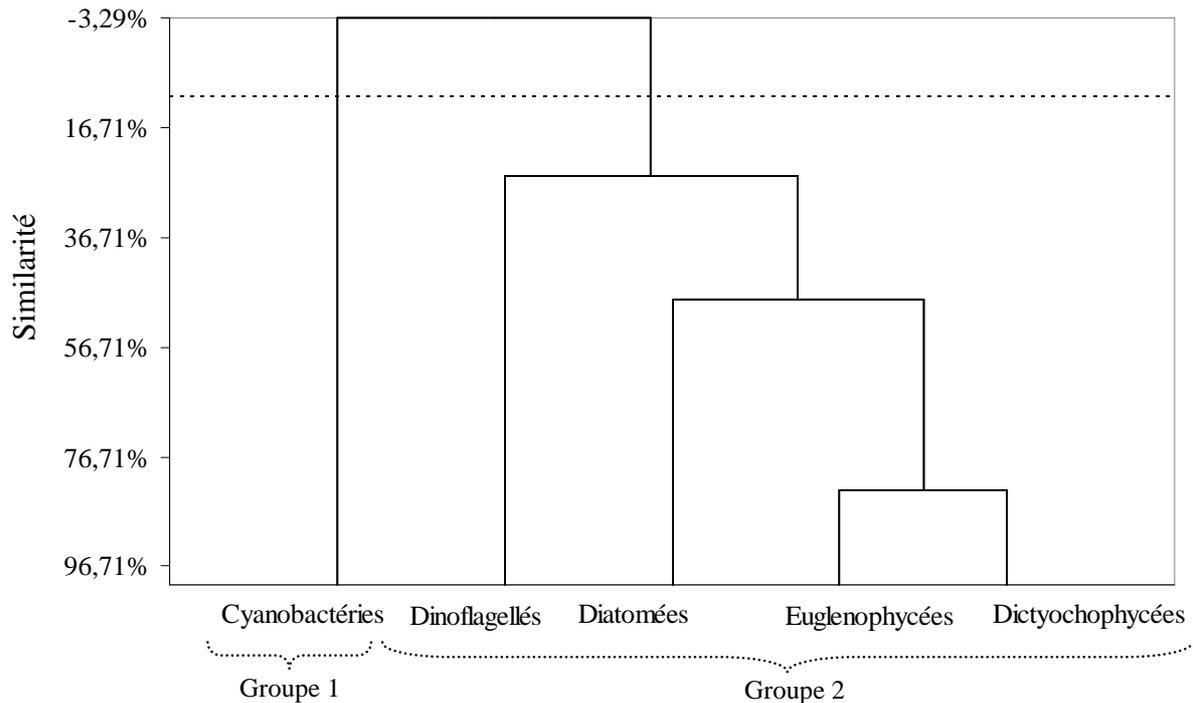
diatomées sont aussi plus abondantes au niveau de la côte et sa plus forte concentration est enregistrée au milieu de la colonne d'eau (à 28m). Les dictyochophycées sont présents au niveau de la côte et sont presque absents au niveau de la région océanique (Tableau 4, Fig. 13). Les cyanobactéries sont rencontrées au niveau de toutes les strates de la colonne d'eau dans les régions néritiques et océaniques. La plus importante concentration est observée au large au niveau de la thermocline (Fig. 13).



**Figure 13.** Distribution spatiale et verticale de la densité des différents groupes phytoplanctoniques à différents niveaux de la colonne d'eau dans la zone néritique et océanique du golfe de Gabès pendant Juillet 2005

### II.1.3.2. Les analyses statistiques

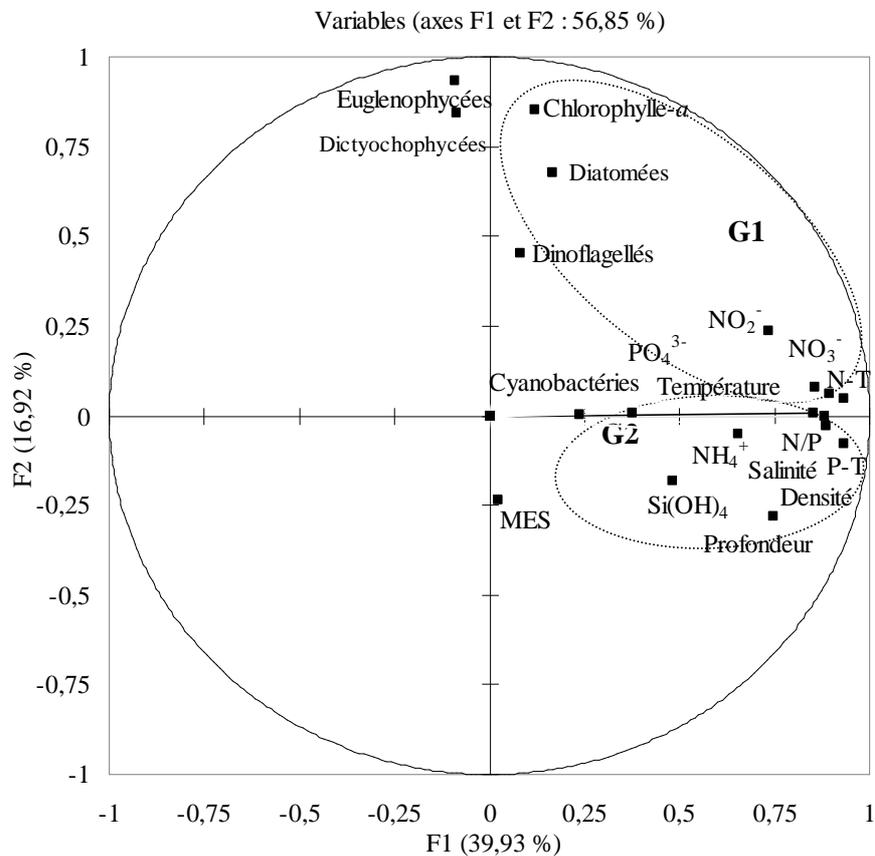
L'analyse en dendrogramme confirme d'avantage les précédentes constatations. En effet, ce test statistique fait la distinction de deux groupes (Fig. 14). Un premier groupe qui est constitué par une seule classe indépendante composée par les cyanobactéries. Le deuxième groupe est formé par les quatre autres classes (les dinoflagellés, les diatomées, les dictyochophycées et les euglénophycées) (Fig. 14). Ceci met en évidence que la classe des cyanobactéries possède un profil de distribution assez différent des autres classes vu qu'elle est plus importante qu'au niveau la thermocline.



**Figure 14.** L'analyse en dendrogramme des différents groupes phytoplanctoniques observés dans le golfe de Gabès pendant Juillet 2005

La chlorophylle *a*, qui est plus concentrée au niveau de la côte (voir II.1.2.1.), présente une corrélation significative avec les dictyochophycées ( $r = 0,775$ ;  $p < 0,0001$ ; d.d.l. = 119), les dinoflagellés ( $r = 0,760$ ;  $p < 0,0001$ ; d.d.l. = 119), les diatomées ( $r = 0,829$ ;  $p < 0,0001$ ; d.d.l. = 119) et les euglénophycées ( $r = 0,780$ ;  $p < 0,0001$ ; d.d.l. = 119) mais aucune corrélation significative n'a été remarquée avec les cyanobactéries. L'analyse en composantes principales (ACP) a permis la discrimination de deux groupes autour des axes F1 et le F2 (Fig. 15). Les deux axes expliquent 56,85% de la variabilité sélectionnant positivement le groupe G1 constitué par les cinq groupes phytoplanctoniques identifiés (les dictyochophycées, les dinoflagellés, les diatomées, les cyanobactéries et les euglénophycées), la chlorophylle *a* et les éléments nutritifs (nitrate, nitrite, orthophosphate, rapport N/P et azote total). Cette association confirme nos observations précédentes sur les liens étroits entre la distribution des dictyochophycées et des dinoflagellés ( $r = 0,460$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 119), entre les dinoflagellés et les diatomées ( $r = 0,511$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 119) et entre les dinoflagellés et les euglénophycées ( $r = 0,570$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 119). Nous avons également trouvé une corrélation significative entre les concentrations en nitrate et l'abondance des dinoflagellés ( $r = 0,539$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 119), entre les dictyochophycées et l'ion ammonium ( $r = 0,382$ ,  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 119) et aussi entre les euglénophycées et l'azote total ( $r = 0,457$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 119). En outre, la densité du phytoplancton dépend étroitement de la disponibilité des

éléments nutritifs (nitrate, nitrite, ammonium, orthophosphate, l'azote total, et le phosphate total) et particulièrement du rapport N/P qui semble être le régulateur de détermination de la dynamique de dinoflagellés. L'axe F2, qui a extrait 16,92% des variables, sélectionne négativement le groupe G2 qui est constitué par des variables abiotiques (la salinité, la densité de l'eau et les matières en suspension) et la profondeur. Ceci indique que tous les groupes atteignent leur densité maximale quand les éléments nutritifs sont disponibles et aussi quand la densité d'eau et la salinité sont faibles. A travers cette analyse on peut faire la distinction entre deux masses d'eau: une première masse d'eau côtière caractérisée par une richesse importante en éléments nutritifs et une importante salinité dont on note une nette abondance du phytoplancton et une deuxième masse qui est moins chargée en éléments nutritifs et caractérisée par une faible salinité et une faible abondance en phytoplancton.



**Figure 15.** L'analyse en composantes principales du phytoplancton total et les différents groupes phytoplanctoniques en relation avec les facteurs environnementaux

### II.1.3.3. Discussion

La variation spatiale du peuplement phytoplanctonique pendant la saison estivale au niveau des régions néritiques et océaniques du golfe de Gabès est en relation étroite avec les divers facteurs environnementaux. Dans l'ensemble, le phytoplancton est exclusivement côtier

et particulièrement près de l'île de Jerba. Une prolifération intense de *Dictyocha fibula* (représentant 41% de l'abondance total du phytoplancton) a été observée au niveau de la côte. En raison de la surface élevée par rapport au volume, les petites cellules phytoplanctoniques, comme l'espèce *Dictyocha fibula*, ont la possibilité de puiser facilement les éléments nutritifs avec un bas coût énergétique (Agawin et al., 2000) et résultant ainsi l'obtention de grandes cellules (Aleya, 1989; Sin et Wetzel, 2000). Cette espèce prolifère également près de la baie de Ville-Franche (Gomez et Gorsky, 2003) et dans la baie de Mersine (Eker et Kideys, 2000). Ces auteurs ont rapporté une diminution de l'abondance de dictyochophycées avec l'augmentation de la température. Ceci diffère avec nos résultats puisque les plus importantes valeurs de la température (une moyenne de  $24,35 \pm 1,99^{\circ}\text{C}$ ) sont enregistrées au niveau des eaux côtières par comparaison avec les zones océaniques dont la moyenne est de  $22,79 \pm 0,91^{\circ}\text{C}$ ; mais corrobore avec les résultats obtenus au golfe de Trieste (Nord de la mer Adriatique) où *Dictyocha fibula* s'est développée avec un optimum de température supérieure à  $20^{\circ}\text{C}$  (Fanuko, 1989). Le genre *Dictyocha* est fortement abondant dans d'autres régions marines telles que les côtes Pacifique de la Mexique (Hernandez-Becerril et Bravo-Sierra, 2001) et au Nord de la mer Pacifique (Onodera et Takahashi, 2005) où on note une prolifération importante de *Dictyocha fibula* et *Dictyocha californica*.

L'azote est un élément essentiel impliqué dans la croissance du phytoplancton dans la plupart des écosystèmes marins et sa carence contribue à une diminution du développement de ces microalgues (Vitousek et Howarth, 1991; Livingston, 2001). Le long de la côte du golfe de Gabès, nous avons enregistré une importante disponibilité d'éléments azotés, alors que les concentrations en orthophosphate étaient faibles; ce qui engendre un rapport N/P plus important que le rapport du Redfield (16). Ceci suggère que le phosphate pourrait être le facteur limitant. Notre hypothèse peut être soutenue par la faible concentration de la chlorophylle *a* avec une moyenne de  $0,05 \pm 0,05 \mu\text{g. l}^{-1}$  enregistrée au niveau du golfe de Gabès. Cette concentration en chlorophylle *a* a été rapportée dans d'autres régions Méditerranéennes telles que dans la mer d'Alborane (Corsini et al., 2002, D'Ortenzio et al., 2002); dans le golfe du Lyon ( $0,06 - 0,10 \mu\text{g. l}^{-1}$ , Bosc et al., 2004); dans le bassin oriental de la mer Méditerranée ( $0,40 \mu\text{g. l}^{-1}$ , Gitelson et al., 1996) et dans les côtes Nord-West de la mer Méditerranée ( $0,50 \mu\text{g. l}^{-1}$ , Bustillos-Guzman et al., 1995). Dans le golfe de Gabès, la faible concentration en chlorophylle *a* avec un rapport N/P qui est plus important que le rapport du Redfield indiquent que cet écosystème est oligotrophe (O.E.C.D. 1982, Vollenweider et al., 1992). Généralement, le bassin oriental de la Méditerranée est caractérisé

par un statut oligotrophe (Heurt et al., 2005; Krom et al., 1991) avec une dominance des dinoflagellés (Gomez et al., 2000). Cet aspect s'applique au golfe de Gabès où les dinoflagellés, tels que le genre *Ceratium* de grande taille avec une moyenne de  $2,16 \times 10^2 \pm 2 \times 10^2 \mu\text{m}$  dominent les zones côtières; par contre, les cellules de petites tailles telles que le genre *Protoperdinium* dont sa taille moyenne est de  $41,26 \pm 18,56 \mu\text{m}$ , étaient exclusivement océaniques (> 100 km) (Drira et al., 2008a). L'abondance des diatomées au niveau du golfe de Gabès est fortement corrélée avec le rapport N/P ( $r = 0,473$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 119) et le nitrate ( $r = 0,494$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 119), ce qui confirme que ce groupe phytoplanctonique se développe intensivement en présence d'une richesse importante en éléments nutritifs (Aleya, 1992; Fogg, 1991). Mais, malgré que les diatomés exigent la silice pour leurs croissances, dans notre région d'étude, les diatomées sont faiblement corrélées avec cet élément. Les cyanobactéries, dont *Trichodesmium erythraeum* et *Pseudoanabaena galeata* contribuent respectivement à 41 et 50% de l'abondance totale, sont présents au niveau de toutes les strates de la colonne d'eau dans les régions néritiques et océaniques dont la plus importante concentration a été observée au niveau de la thermocline. A ce niveau l'abondance des cyanobactéries est corrélée avec le nitrate ( $r = 0,343$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 119), avec l'ion ammonium ( $r = 0,466$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 119) surtout avec le rapport N/P ( $r = 0,566$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 119).

#### II.1.3.4. Conclusion

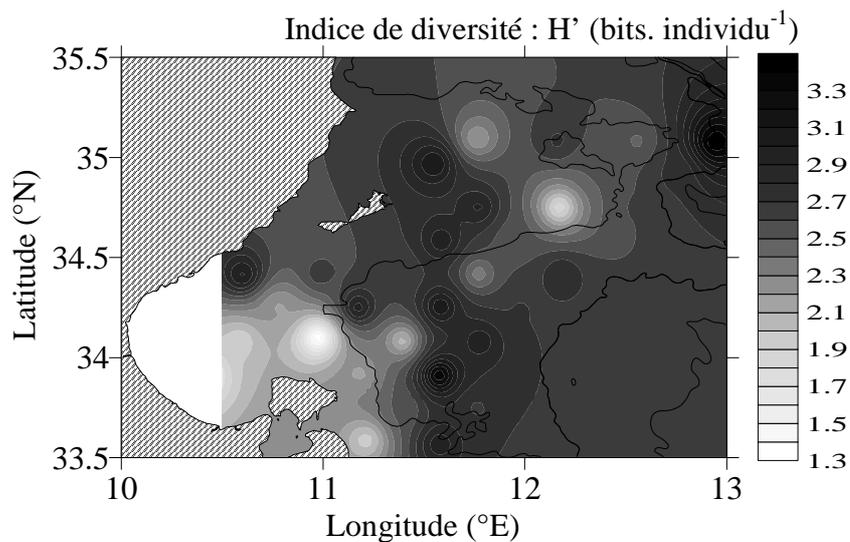
La structure de la communauté phytoplanctonique dans le golfe de Gabès est organisée suivant un gradient côte-large. Apparemment, le phytoplancton est dominé par l'espèce opportuniste *Dictyocha fibula* caractérisée par une prolifération intense favorisée par une disponibilité importante des éléments nutritifs. Le golfe de Gabès est caractérisé par une stratification estivale affectant le développement du phytoplancton et principalement dans les régions océaniques, en plus la coexistence de différentes masses d'eaux à savoir l'eau Méditerranée et l'eau atlantique modifiée (MAW) pourraient être des facteurs déterminants pour la structuration et la distribution du phytoplancton sur toute la colonne d'eau. L'étude du peuplement phytoplanctonique dans le golfe de Gabès est très complexe vue qu'il présente différentes interactions avec divers facteurs environnementaux (mouvements d'eau, interférences urbaines, trafic marin...); donc pour cela une étude saisonnière est nécessaire pour pouvoir suivre la dynamique du phytoplancton au niveau du golfe de Gabès en relation avec les facteurs environnementaux (voir partie II.2.)

## II.1.4. Distribution spatiale des copépodes couplée aux facteurs environnementaux durant une campagne estivale au niveau du golfe de Gabès

*Ce chapitre a fait l'objet d'un article soumis au Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom*

### II.1.4.1. Distribution spatiale des peuplements zooplanctoniques

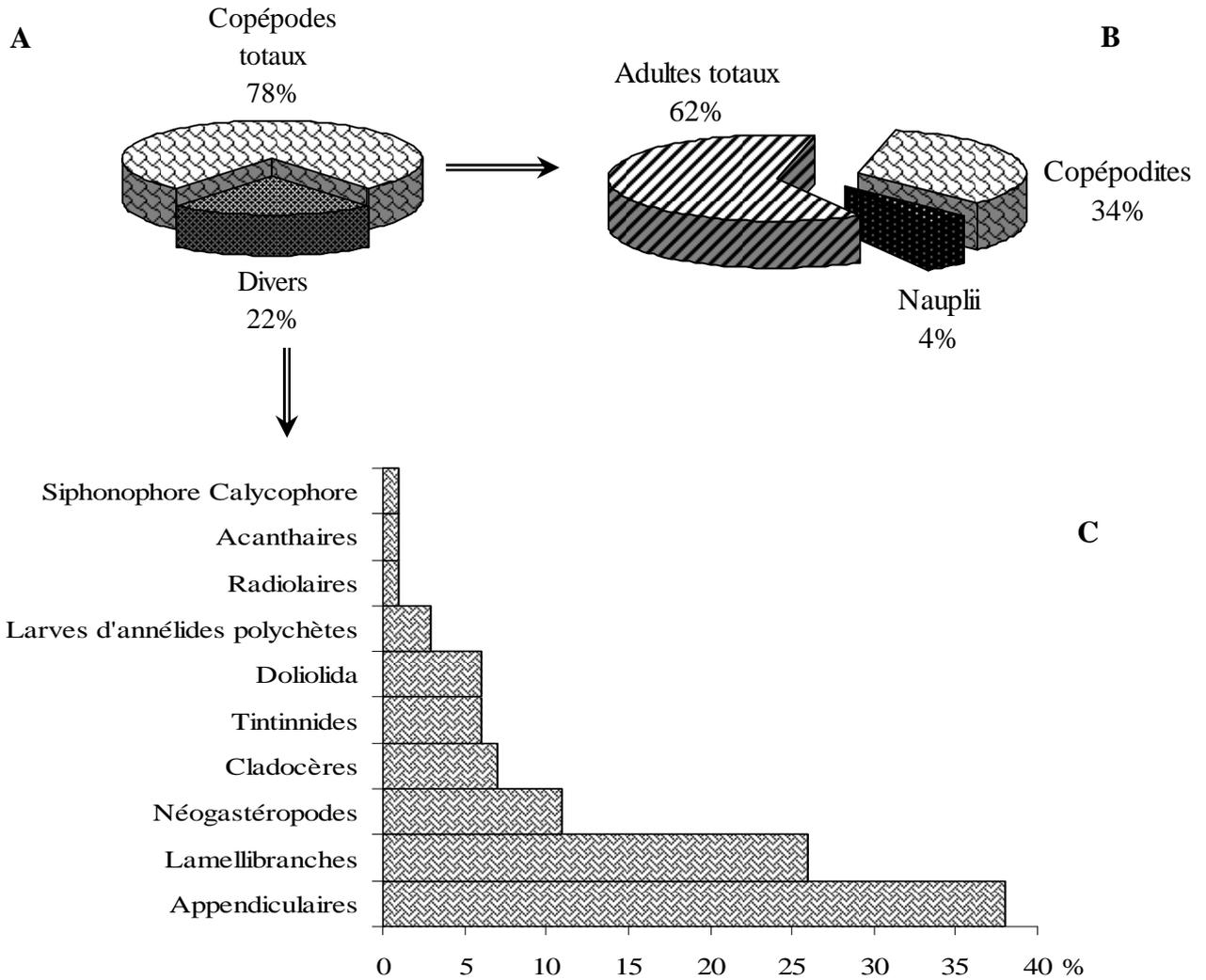
L'étude qualitative et quantitative de la communauté zooplanctonique durant la même campagne estivale a été réalisée au niveau du golfe de Gabès. 33 stations ont été prospectées. Les résultats ont montré que les copépodes, avec un total de 35 espèces, représentent 78% du zooplancton total. La diversité de la communauté des copépodes, dont la moyenne est de  $2,55 \pm 0,51$  bits. ind<sup>-1</sup>, augmente à partir de la côte ( $H' = 1,34$  bits. ind<sup>-1</sup>, 10 espèces) jusqu'au large où la diversité spécifique  $H'$  atteint son maximum de  $3,47$  bits. ind<sup>-1</sup> due à la présence de 20 différentes espèces de copépode (Fig. 16).



**Figure 16.** Variation spatiale de l'indice de diversité (bits. ind<sup>-1</sup>) de la communauté des copépodes

L'étude des différents stades de développements des copépodes a montré que les adultes avec 62% dominent la totalité du peuplement copépodique. Une nette dominance des femelles par rapport aux mâles représentant 79% de l'abondance totale des adultes a été enregistrée. Les deux autres stades de développement, à savoir les copépodites et les nauplii représentent respectivement 34 et 4% des copépodes totaux (Fig. 17a, b). Les autres groupes zooplanctoniques, à part les copépodes, représentent 22% du zooplancton total. Ils sont constitués de 19 différents groupes dont les plus importants (10 groupes) sont

les appendiculaires, les lamellibranches et les néogastéropodes qui représentent respectivement 38, 26 et 11% de l'abondance totale des autres groupes zooplanctoniques (Fig. 17C). Par contre, les 7 autres groupes ne dépassent pas les 7% de l'abondance totale



**Figure 17.** Abondance relative des copépodes et des autres zooplanctontes (A), des différents stades de développement des copépodes (B) et des différents autres groupes zooplanctoniques (C)

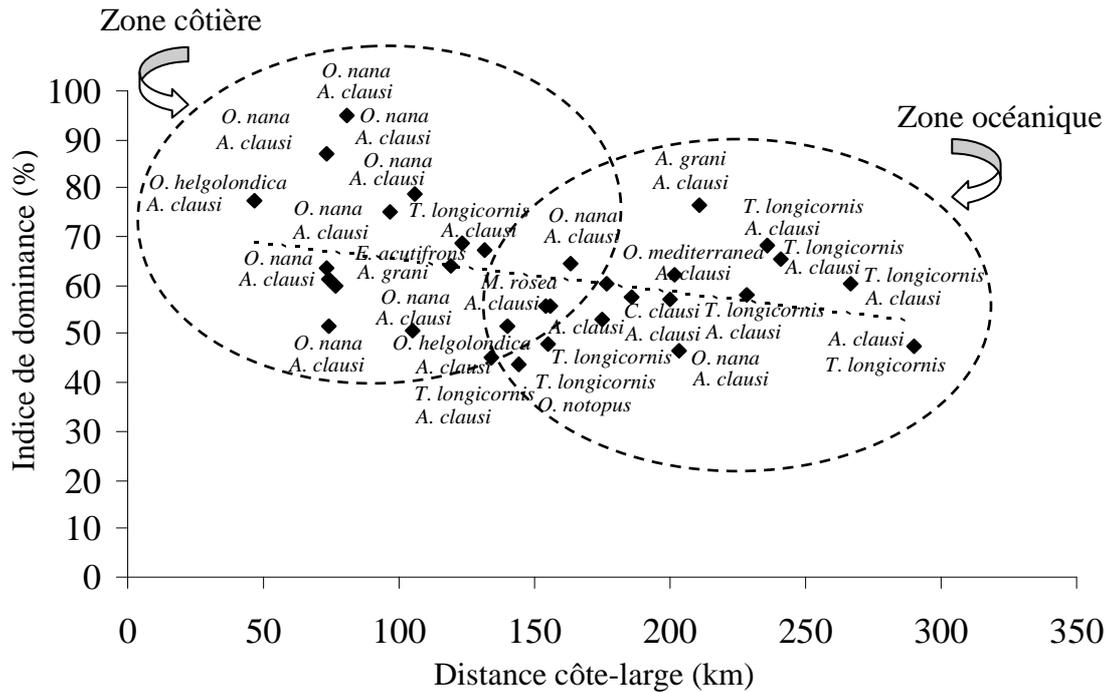
L'étude qualitative et quantitative des copépodes a montré la présence de 35 espèces appartenant à 14 différentes familles faisant partie de 4 ordres. Parmi les 14 familles observées, une nette dominance des familles des Acartiidées et des Oithonidées a été remarquée dont chacune représente 39% de l'abondance des copépodes totaux (Tableau 1). Ces dernières sont caractérisées respectivement par une nette abondance des espèces *Acartia clausi* et *Oithona nana*. En effet, *Acartia clausi*, dont la moyenne de densité est de l'ordre de

$1,29 \times 10^3$  ind.  $m^{-3}$ , représente 35% de l'abondance des copépodes totaux. En ce qui concerne *Oithona nana*, qui est classée en deuxième position avec une abondance de 29% des copépodes totaux, est caractérisée par une densité de  $1,07 \times 10^3$  ind.  $m^{-3}$  (Tableau 1).

L'étude de la variation de l'indice de dominance en fonction de la distance côte-large a montré que cet indice décroît selon un gradient côte-large. En effet, les indices les plus importants sont localisés au niveau de la côte. Le maximum, qui est de 70%, est enregistré à 50 km de la côte avec une nette dominance du genre *Oithona*. Les régions océaniques sont caractérisées par le genre *Acartia*. La zone intermédiaire s'est distinguée par la présence du genre *Temora* (Fig. 18). En effet, une corrélation négative a été détectée entre l'indice de dominance et la distance côte-large ( $r = -0,817$ ;  $N = 15$ ;  $p < 0,05$ ) (Fig. 18).

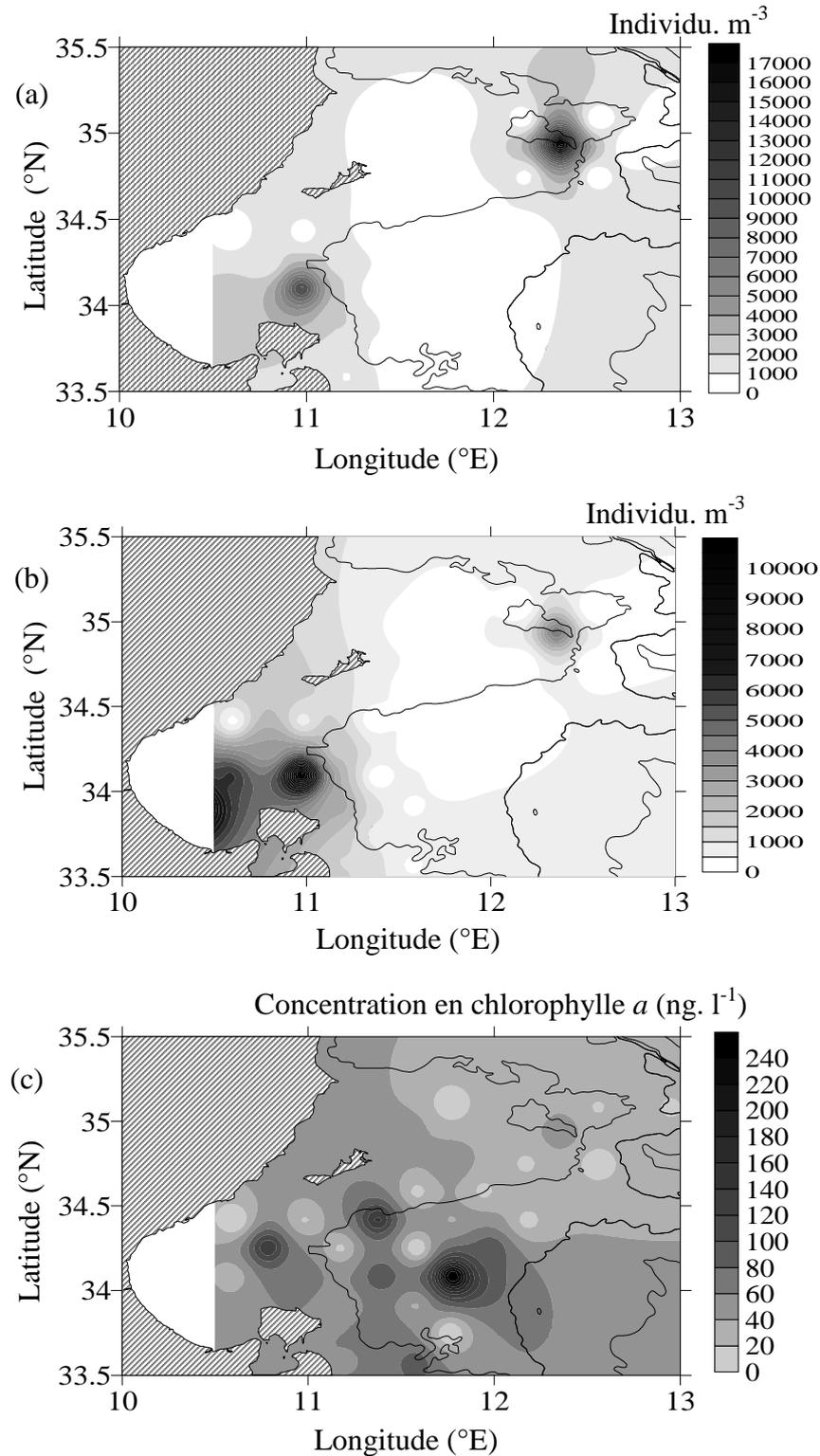
**Tableau 5.** Liste qualitative et quantitative de la communauté copépodique au niveau du golfe de Gabès pendant Juillet 2005

Ordre	Familles	Abondance (%)	Espèces	Abréviation	%	Fréquence d'occurrence (%)	Abondance (ind. m <sup>-3</sup> ) moyenne ± écart-type
Calanoïdes	Acartiidées	39,05	<i>Acartia clausi</i>	<i>Acl</i>	34,83	100	$1,3 \times 10^3 \pm 3,2 \times 10^3$
			<i>Acartia grani</i>	<i>Agr</i>	2,69	84	$0,99 \times 10^2 \pm 3,2 \times 10^2$
			<i>Acartia italica</i>	<i>Ait</i>	0,22	22	$8,03 \pm 31,9$
			<i>Acartia latisetosa</i>	<i>Ala</i>	0,89	66	$33,1 \pm 63,0$
			<i>Acartia subtilus</i>	<i>Asu</i>	0,04	3	$1,6 \pm 9,06$
	Centropagidées	1,08	<i>Centropages kroyeri</i>	<i>Ckr</i>	0,63	34	$23,4 \pm 60,9$
			<i>Centropages typicus</i>	<i>Cty</i>	0,16	41	$5,8 \pm 14,2$
			<i>Centropages hamatus</i>	<i>Cha</i>	0,28	9	$10,3 \pm 55,2$
	Temoridées	11,51	<i>Temora longicornis</i>	<i>Tlo</i>	11,18	97	$4,1 \times 10^2 \pm 1,3 \times 10^3$
			<i>Temora stylifera</i>	<i>Tst</i>	0,22	31	$8,2 \pm 15,8$
Pontellidées	0,03	<i>Labidocera wallastoni</i>	<i>Lwa</i>	0,02	9	$0,8 \pm 2,9$	
Magacalanidées	0,37	<i>Megacalanus princeps</i>	<i>Mpr</i>	0,38	50	$13,9 \pm 29,5$	
Calanidées	0,07	<i>Néocalanus minor</i>	<i>Nmi</i>	0,07	13	$2,5 \pm 10,7$	
Platycopiidées	0,02	<i>Platycopia pygmoea</i>	<i>Ppy</i>	0,02	3	$0,8 \pm 4,5$	
Euchaetidées	0,01	<i>Euchaeta hebes</i>	<i>Ehe</i>	0,00	3	$0,06 \pm 0,3$	
Cyclopoïdes	Oithonidées	39,09	<i>Oithona nana</i>	<i>Ona</i>	28,90	91	$1,1 \times 10^3 \pm 2,6 \times 10^3$
			<i>Oithona helgolandica</i>	<i>Ohe</i>	8,13	75	$3,0 \times 10^2 \pm 9,4 \times 10^2$
			<i>Oithona plumifera</i>	<i>Opl</i>	0,65	47	$24,3 \pm 78,7$
			<i>Oithona similis</i>	<i>Osi</i>	0,94	59	$35,0 \pm 130,6$
Harpacticoides	Euterpinadées	2,22	<i>Euterpina acutifrons</i>	<i>Eac</i>	2,19	50	$81,6 \pm 147,8$
	Ectinosmatidées	2,37	<i>Microsetella rosea</i>	<i>Mro</i>	2,19	63	$81,6 \pm 310,9$
			<i>Microsetella norvegica</i>	<i>Mno</i>	0,16	13	$5,9 \pm 30,9$
Clymnestridées	0,02	<i>Clymnestra scutellata</i>	<i>Csc</i>	0,05	9	$0,6 \pm 2,2$	
Poecilostomatoides	Corycaeidées	0,96	<i>Corycaeus clausi</i>	<i>Ccl</i>	0,98	69	$36,4 \pm 80,2$
			<i>Corycaeus limbatus</i>	<i>Cli</i>	0,00	3	$0,1 \pm 0,7$
			<i>Corycaeus speciosus</i>	<i>Csp</i>	0,16	38	$5,9 \pm 12,0$
			<i>Coryocella carinata</i>	<i>Cca</i>	0,06	25	$2,1 \pm 5,2$
			<i>Coryocella rostrata</i>	<i>Cro</i>	0,73	44	$27,1 \pm 94,3$
	Oncaeidées	3,21	<i>Oncaea mediterranea</i>	<i>Ome</i>	2,51	91	$93,2 \pm 208,2$
			<i>Oncaea conifera</i>	<i>Oco</i>	0,07	28	$2,5 \pm 4,4$
			<i>Oncaea notopus</i>	<i>Ono</i>	0,60	63	$22,4 \pm 31,8$



**Figure 18.** Variation de l'indice de dominance en fonction de la distance côte-large. Les espèces dominantes sont indiquées pour chaque station d'échantillonnage

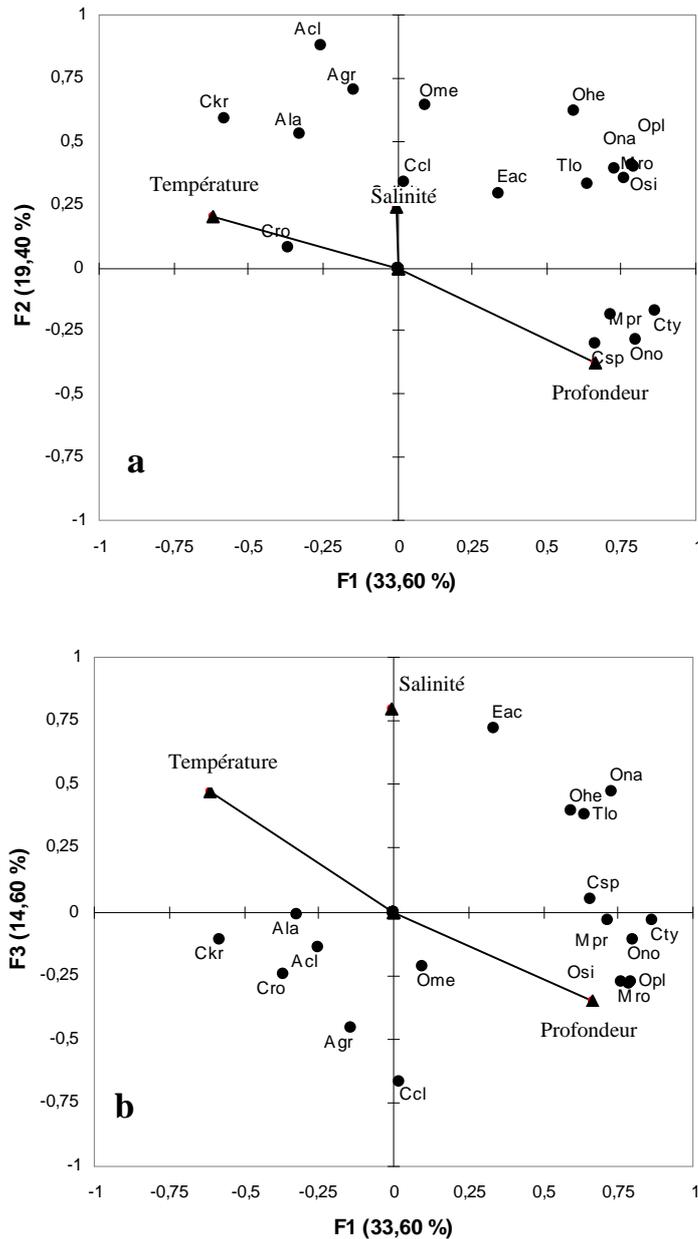
La distribution spatiale des familles zooplanctoniques les plus dominantes ainsi que la concentration en chlorophylle *a* sont pré-résumées au niveau de la figure 19. Concernant les Acartiidées, on note une nette prolifération dans la partie Nord du golfe au niveau de l'isobathe 50 m avec un maximum de  $1,75 \times 10^4$  ind.  $m^{-3}$ . Les Oithonidées sont exclusivement côtières avec un maximum de  $1,13 \times 10^4$  ind.  $m^{-3}$  (Fig. 19a, b). La concentration en chlorophylle *a* est plus élevée au niveau de la côte ( $57,15 \pm 58,69$  ng.  $l^{-1}$ ) qu'au large ( $39,51 \pm 49,87$  ng.  $l^{-1}$ ) (Fig. 19c). La localisation côtière de la chlorophylle *a* montre une forte corrélation avec les Oithonidées ( $r = 0,783$ ;  $N = 15$ ;  $p < 0,001$ ), principalement avec l'espèce *Oithona nana* ( $r = 0,376$ ;  $N = 15$ ;  $p < 0,05$ ) et *Oithona helgolondica* ( $r = 0,932$ ;  $N = 15$ ;  $p < 0,0001$ ).



**Figure 19.** Distribution spatiale des familles de copépodes les plus dominantes: (a) les Acartiidées et les Oithonidées (b) et la concentration en chlorophylle *a* (c) au niveau du golfe de Gabès pendant une campagne estivale

L'analyse en composantes principales (ACP) montre que quelques espèces telles que *Corycaeus speciosus*, *Megacalanus princeps*, *Centropages typicus* et *Oncaea notopus* sont

distribuées principalement selon le paramètre profondeur (Fig. 20a). Les espèces dominantes telles que *Acartia clausi*, *Acartia grani* et *Oncaea mediterranea* ont été sélectionnées positivement par l'axe F2 qui présente 19,4% des variables abiotiques et biotiques testées. L'axe F3, expliquant 14,6% de variables, est principalement associé à la salinité qui est corrélé négativement avec *Centropages typicus* ( $r = -0,807$ ;  $N = 15$ ;  $p < 0,05$ ), et positivement à *Euterpina acutifrons* ( $r = 0,844$ ;  $N = 15$ ;  $p < 0,05$ ) (Fig. 20b).



**Figure 20.** L'analyse en composantes principales (ACP) réalisée en se basant sur l'abondance des différentes espèces des copépodes et les principaux facteurs environnementaux au niveau du golfe de Gabès pendant une campagne estivale (Juillet 2005)

#### II.1.4.2. Discussion

L'étude qualitative et quantitative du zooplancton a montré que les copépodes est le groupe le plus abondant représentant 78% du zooplancton total dans le golfe de Gabès durant une campagne estivale (Juillet 2005). Des résultats similaires ont été rapportés dans la lagune Nord de Tunis (70%, Annabi-Trabelsi et al., 2005), dans la Baie de Tunis (40%, Daly-Yahia et al., 2004), et dans la mer d'Alborane (bassin occidental de la mer Méditerranée) (66-71%, Gaudy et Youssara, 2003) et dans le bassin Algérien (72%, Riandey et al., 2005). Dans la mer Balearique, les copépodes sont également le groupe le plus abondant (54%, Fernandez de Puelles et al., 2004). Les copépodes sont composés de 31 espèces appartenant à 14 différentes familles dérivant 4 ordres. Les copépodes adultes dominant les autres stades de développement des copépodes (62%) et dont les femelles représentent 79% des adultes totaux; par contre, les stades copépodites et les nauplii représentent respectivement 34 et 4% des copépodes totaux respectivement. Ce taux élevé des femelles adultes pourrait être expliqué par un phénomène de cannibalisme qui peut être lieu favorisant ainsi un développement excessif des femelles. En effet, cette suggestion est proposée selon la théorie de Elgar et Crespi (1992), montrant que le cannibalisme sexuel peut se dérouler dans les écosystèmes aquatiques durant lequel les femelles consomment les mâles avant, ou après ou bien durant l'acte de l'accouplement. Le cannibalisme sexuel se manifeste pour plusieurs groupes zooplanctoniques comme les copépodes et les gastéropodes (Elgar et Crespi, 1992) sélectionnant ainsi une population caractérisée par une taille particulière (Zimmerman et Spence, 1992), un sexe particulier (Hurd et al., 1994) et une persistance bien déterminée (Vandewalle, 1997). L'étude de la répartition spatiale des familles de copépodes les plus dominantes au niveau du golfe de Gabès à savoir la famille des Acartiidées a montré qu'elle est exclusivement localisée au niveau de l'isobathe 50 m tandis que la famille des Oithonidées est quasiment côtière. La dominance des Acartiidées et les Oithonidées est due à une importante abondance respectivement d'*A. clausi* et de *O. nana*. La prédominance de ces deux taxons ont été rapportés dans la Baie de Tunis (Daly-Yahia et al., 2004), dans l'estuaire de Mondego (Ouest du Portugal; Vieira et al., 2003) et le bassin Algérien (bassin occidental de la mer Méditerranée; Riandey et al., 2005). Emery (1968) a également remarqué la présence de *O. nana* dans les prairies tropicales sous-marines dans lesquelles les copépodes pouvant résister aux mouvements d'eau. La dominance de *O. nana* et d'*A. clausi* dans les divers écosystèmes marins peut être expliquée par leurs pouvoir de s'adapter à une gamme de condition climatique (Lee et McAlice, 1979; Riccardi et Mariotto, 2000), leur permettant de se comporter bien face un stress thermique (Lee et McAlice, 1979; Riccardi et Mariotto,

2000) et à un stress halin (Miller et Marcus, 1994; Gaudy et al., 1998; Cervetto et al., 1999). Par exemple, malgré que la lagune Nord de Tunis est sous la pression d'une activité urbaine intensive, on remarque que *O. nana* est une espèce néritique dominante dans cet écosystème (Annabi-Trabelsi et al., 2005). Nous pouvons dire qu'à travers notre étude au niveau du golfe de Gabès, écosystème pollué (Arfi et al., 1981) et celle de la lagune Nord de Tunis (Daly-Yahia et al., 2004; Annabi-Trabelsi et al., 2005) que *O. nana* sous la pression de ce stress environnemental pouvait surmonter ses conditions contraignantes à cause de la pollution. L'abondance excessive d'*Acartia clausi* au niveau de la bathymétrie 50 m, peut être expliquée par la faite que cette espèce échappe à des salinités importantes enregistrées au niveau des régions côtières (38 p.s.u.). Ceci est confirmé par une corrélation négative entre l'abondance d'*Acartia clausi* et la salinité de l'eau ( $r = -0,150$ ;  $N = 15$ ;  $p < 0,05$ ). *Acartia clausi* a montré un large spectre de distribution en mer Méditerranée, elle peut être néritique dans la mer Balearique (Fernandez de Puellas et al., 2003a) ou bien localisé au large dans le bassin occidental de la mer Méditerranée (Vives, 1978). Cette espèce est également présente avec des densités élevées dans d'autres écosystèmes méditerranéens (Blanc et al., 1975; Benon et al., 1976; Calbet et al., 2001) et au niveaux des régions tempérées de la mer atlantique (Heinle, 1966; Jeffries, 1967; Richardson et al., 2004). Concernant *O. nana*, elle est abondante aussi bien au niveau des zones côtières qu'océaniques du golfe ( $< 220\text{km}$  des côtes), montrant les caractéristiques épipelagiques (Giron, 1963). D'autres études ont indiqué que l'espèce *Oithona* sp. domine pendant l'Été dans le Baie de Blances (la côte Nord-du bassin occidental de la mer Méditerranée) (Calbet et al., 2001) et dans la lagune Nord de Tunis (Annabi-Trabelsi et al., 2005). *Oithona nana* est aussi adapté à des valeurs importantes de salinité ( $r = 0,838$ ;  $N = 15$ ;  $p < 0,05$ ) et à des concentrations élevées en chlorophylle *a* ( $r = 0,376$ ;  $N = 15$ ;  $p < 0,05$ ), qui est plus concentrée au niveau de la côte. Notre suggestion est basée par la distribution concomitante de *O. nana* et des tintinnides ( $r = 0,649$ ;  $N = 15$ ;  $p < 0,05$ ). Les tintinnides, qui représentent une abondance importante, constituent probablement une source de nourriture pour *O. nana* (Stoecker et Capuzzo, 1990; Šimek et al., 1995). D'ailleurs, les copépodes sont des prédateurs des tintinnides (Kleppel et al., 1991; Gifford, 1993; Fessenden et Cowles, 1994; Atkinson, 1996) des diatomées, des flagellées, des agrégats et des fèces (Dagg, 1993; Gifford, 1993; Kobari et al., 2003) ont été rapportés dans différents écosystèmes côtiers. A travers cette étude, nous pouvons grouper les copépodes dans le golfe de Gabès en deux associations: des espèces exclusivement méditerranéennes telles que *Acartia latisetosa* et *Labidocera wollastoni* et un mélange d'espèces d'origine méditerranéenne et atlantique à savoir *A. clausi*, *O. nana*, *Centropages kroyeri* et *Euterpina*

*acutifrons* (Rose, 1993). La morphologie des cyclopoïdes, par rapport aux calanoïdes, leurs permettre de résister à des conditions environnementales contraignantes (Paffenhöer, 1993). En effet, les études réalisées dans la mer Méditerranée ont montré que, malgré que les copépodes cyclopoïdes sont très abondants durant la saison printanière, sont également présents pendant l'hiver avec une abondance non négligeable (Mazzocchi et Ribera d'Alcalà, 1995; Siokou-Frangou, 1996). Dans d'autres études, *Acartia clausi* a été trouvé en pleine mer (Lakkis, 1976; Gucu, 1987). Cependant, en raison de son incapacité de se nourrir du phytoplancton au-dessous d'une certaine concentration (Thor, 2000), *Acartia clausi* pourrait être confiné au niveau des régions côtières. Les Oithonidées et les Acartiidées sont groupées au niveau de l'isobathe 50 m de profondeur et/ou bien plus profond, respectivement, proposant que, dans ces endroits, les conditions environnementales telles que la température et la salinité et la disponibilité des proies jouent un rôle influençant ainsi l'agrégation de la communauté zooplanctonique. Une corrélation négative a été détectée entre l'abondance de *Centropages typicus* et la salinité ( $r = -0,087$ ;  $N = 15$ ;  $p < 0,05$ ), mais avec l'abondance d'*Euterpina acutifrons* on note une corrélation positive ( $r = 0,844$ ;  $N = 15$ ;  $p < 0,05$ ) (Fig. 20b). Bien que la profondeur apparaisse comme le facteur principal de la distribution des espèces non dominantes, aucun modèle clair n'est apparu entre les facteurs environnementaux, la profondeur et la distribution des espèces dominantes. Ces résultats peuvent montrer que les espèces dominantes dépendent essentiellement des facteurs abiotiques. Les faibles concentrations en chlorophylle *a* enregistrées au large, peuvent suggérer que les éléments nutritifs pourraient être le facteur limitant pour le développement du phytoplancton, et en particulier les faibles concentrations en phosphate induisant un rapport N/P assez important. En effet, le premier groupe (< 50 m) est localisé dans les zones présentant des concentrations faibles en chlorophylle *a*, suggérant des activités de broutages. Le deuxième groupe est présent aussi bien au niveau des zones de faible et forte concentration en chlorophylle *a*; ceci peut probablement être un indicateur de la faible capacité des copépodes de choisir leurs proies. En plus, les concentrations de la chlorophylle *a* ont été associées à la famille des Oithonidées qui est exclusivement côtière ( $r = 0,783$ ;  $N = 15$ ;  $p < 0,001$ ) et à quelques espèces comme *Oithona nana* ( $r = 0,376$ ;  $N = 15$ ;  $p < 0,05$ ) et *Oithona helgolondica* ( $r = 0,932$ ;  $N = 15$ ;  $p < 0,0001$ ). Cependant, les copépodes appartenant à la famille d'Acartiidées, en particulier *Acartia clausi*, se développent près de la bathymétrie de 50 m (où on a enregistré des faibles concentrations en chlorophylle *a*), semble être non opportunistes et omnivores (Cottonnec et al., 2001). Des résultats similaires ont été rapportés pour la Lagune Nord de Tunis, dans laquelle *Acartia clausi* a été identifiée comme non-opportuniste adapté à des

faibles concentrations en chlorophylle *a*, suggérant que cette espèce est omnivore (Annabi-Trabelsi et al., 2005).

#### **II.1.4.3. Conclusion**

Cette étude indique que les copépodes est le groupe zooplanctonique le plus abondant dans du golfe de Gabès, avec les deux espèces *O. nana* et *A. clausi* qui sont très abondantes respectivement le long de la côte et près de la bathymétrie de 50 m. La distribution spatiale des espèces dominantes semble être dépendante de la salinité, des concentrations en chlorophylle *a* et de leurs capacité de prédation. Cependant, d'autres études seront certainement nécessaires 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 zooplanctonique (voir partie II.2.3)

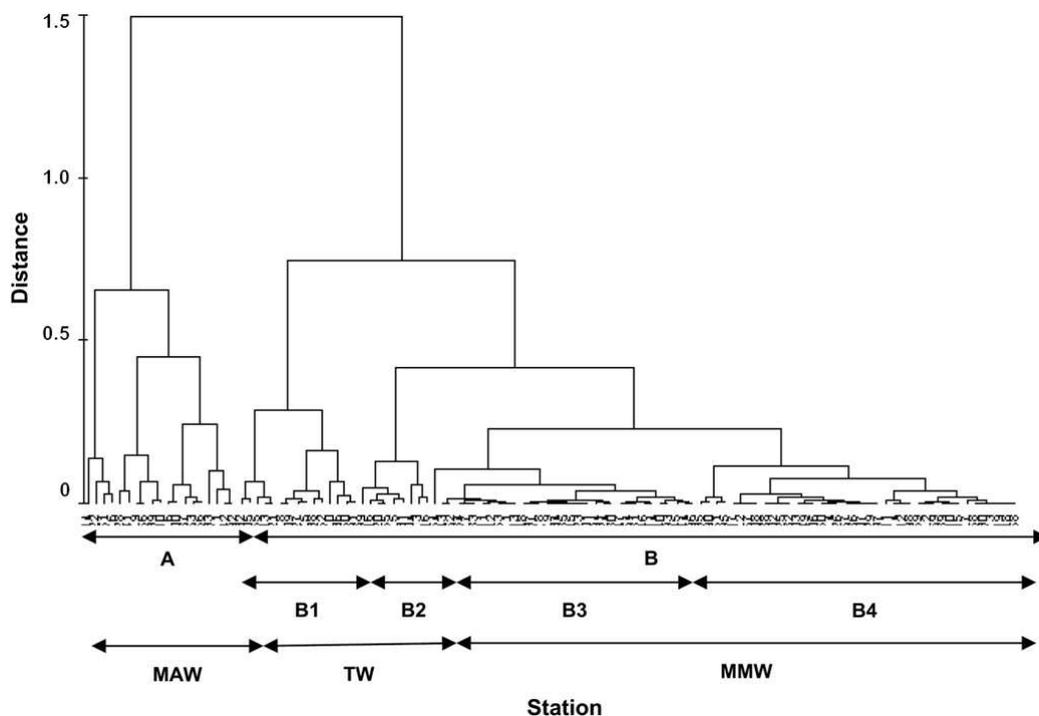
## II.1.5. Composition spécifique et pigmentaire de la communauté phytoplanctonique en relation avec les propriétés de la masse d'eau au niveau du golfe de Gabès

*Ce chapitre a fait l'objet d'une Publication à Estuarine, Coastal and Shelf Science*

77 : 645-656

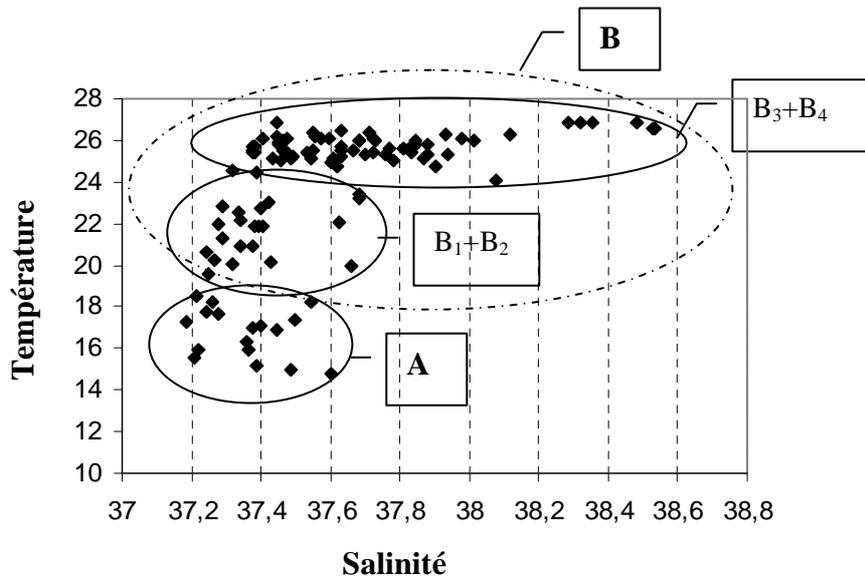
### II.1.5.1. Propriétés physiques

L'analyse en dendrogrammes réalisée en tenant compte de deux paramètres physiques la température et de la salinité (T-S) a indiqué la présence de deux majeurs groupes le premier désigné par "A" pour les eaux profondes et fraîches et un deuxième signalé comme "B" pour les eaux de surface intermédiaires (Fig. 21). L'examen de ces deux groupes indique qu'ils diffèrent principalement par la température. En effet, le groupe A est caractérisé par une température plus basse que celle du groupe B (Fig. 22). Le groupe B pourrait être encore séparé en quatre autres dendrogrammes indiqués par B1, B2, B3 et B4 (Fig. 21).



**Figure 21.** L'analyse en dendrogramme montrant les différentes associations entre les stations ayant les mêmes caractéristiques de température et de salinité (T-S)

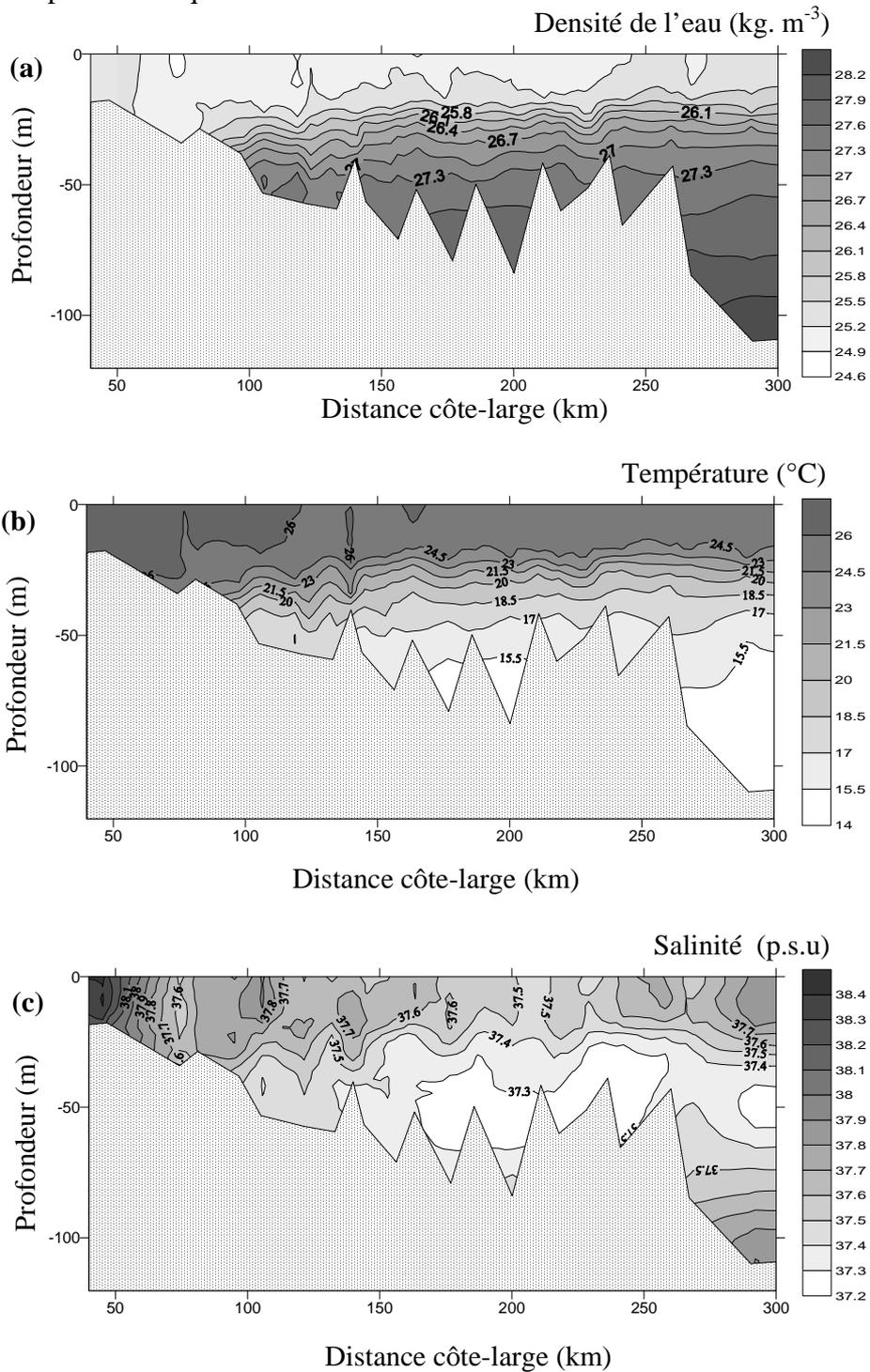
Les groupes les plus petits étaient distingués sur la base de la température et de la salinité, avec les groupes B1 et B2 ayant une température et une salinité généralement plus faible que B3 et B4 (Fig. 22). Le groupe A, représente les eaux du large (> 30 m), froides et moins salées (37,2 – 37,5 p.s.u.). Cette gamme de salinité caractérise les eaux atlantiques modifiées (MAW) (Astraldi et al., 2002). D'ailleurs, l'isohaline 37,5 a été employée pour définir l'interface entre les eaux atlantiques et méditerranéennes (Rodriguez et al., 1998).



**Figure 22.** Les deux majeurs dendrogrammes obtenus dans la figure 21 (A et B) caractérisés par une faible (A) et importante (B) température. Le dendrogramme B peut être partager relativement en faibles température et salinité (B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>) et une importante température et salinité (B<sub>3</sub>+B<sub>4</sub>)

Une stratification thermique a été indiquée en se basant sur les profils de CTD, produits selon un gradient côte-large (Fig. 23b). La distribution de la densité (Fig. 23a), est essentiellement influencée par la température, montrant un gradient élevé important de la surface jusqu'au fond. Le niveau de densité entre 25,5 et 26,7 kg. m<sup>-3</sup> correspond à la couche stratifiée, située à 25 m de profondeur. Ceci cause l'emprisonnement de l'eau atlantique modifiée dans les couches d'eau profondes (Fig. 23c). Ceci corrobore avec la description de la circulation des eaux atlantiques modifiées dans la mer Ionienne faite par Béranger et al. (2004). Les eaux de surface, de sub-surface (-10 m) induites et les eaux côtières bien mélangées des groupes B3 et B4 de salinité élevée, représentent respectivement les stations côtières et du large. Ces divers niveaux de mélange d'eaux reflètent l'existence des degrés différents de la combinaison entre les eaux méditerranéennes et les autres masses d'eaux et qui sont désignées en tant qu'eau Méditerranéenne mélangée (MMW). La thermocline sépare les

eaux chaudes et les plus salées (MMW) des eaux les plus froides et les moins salées (MAW) (Fig. 23b), appelée eau de transition (TW) et qui est attribué aux dendrogrammes B1 et B2, avec B1 étant plus côtier que B2.



**Figure 23.** Profil vertical de la densité (a), de la température (b) et de la salinité (c) en fonction de la distance côte-large

### II.1.5.2. Concentration des éléments nutritifs et des pigments chlorophylliens

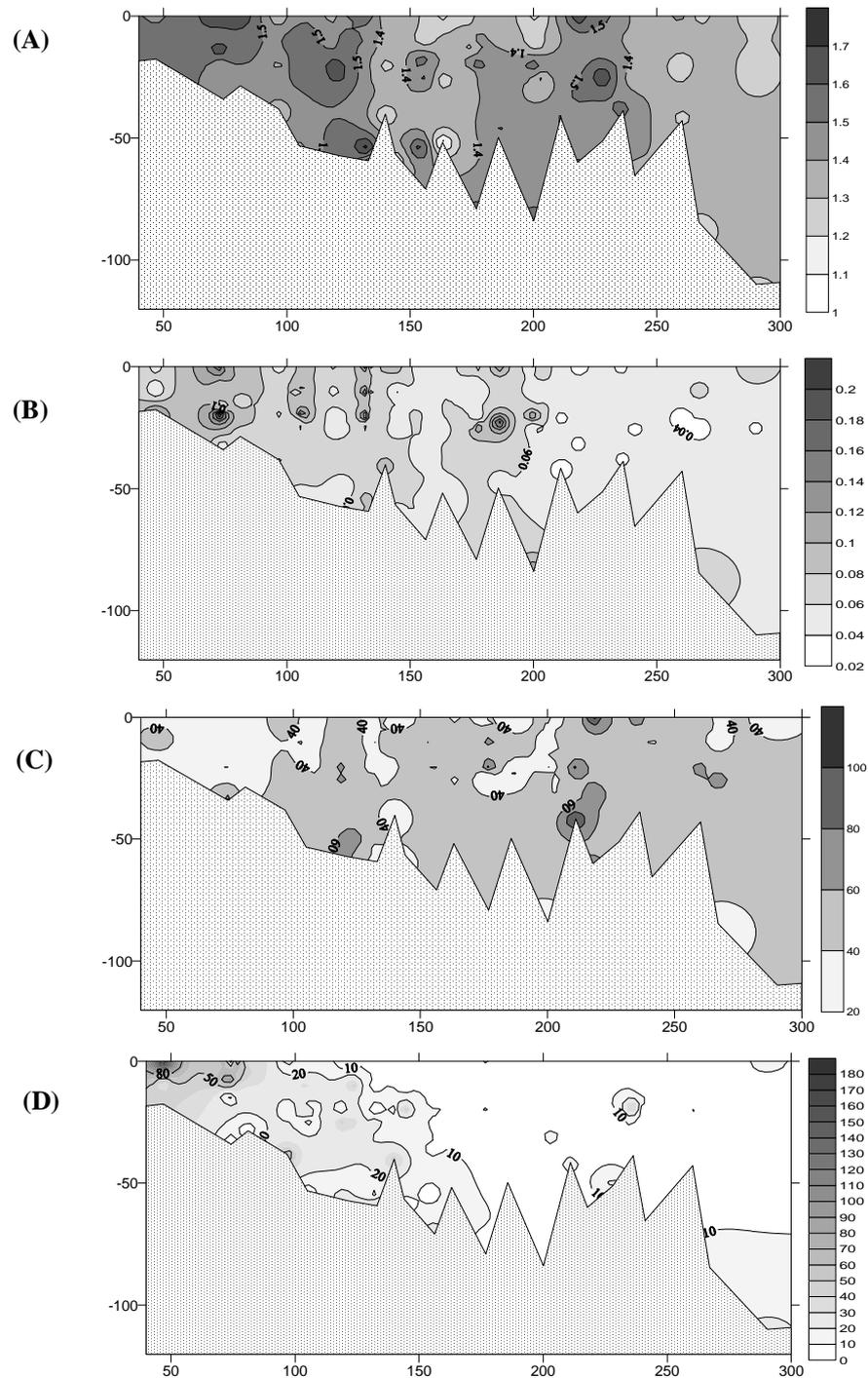
Le nitrate est la forme azotée la plus dominante. Les régions ayant des concentrations élevées en nitrate sont situées aux niveaux des stations côtières bien mélangées, la couche de transition et les couches profondes (Fig. 24a). Les concentrations en phosphore sont plutôt faibles et ne dépassent pas  $0,2 \mu\text{mol. l}^{-1}$ . Les fortes plus concentrations sont enregistrées au niveau des régions côtières, tandis qu'au niveau du large les concentrations ne dépassent pas les  $0,06 \mu\text{mol. l}^{-1}$  (Fig. 24b). Le rapport N/P est généralement plus élevé que 20 et atteint son maximum de 100 dans quelques zones locaux et dont la plupart du temps est situé dans les régions stratifiées (Fig. 24c). La plus faible valeur du rapport N/P est détectée au niveau des stations côtières. Les concentrations en chlorophylle *a*, qui sont généralement très faible ( $< 200 \text{ ng. l}^{-1}$ ), varient au sein et entre les différentes masses d'eaux et avec une moyenne est de l'ordre de  $11,73 \text{ ng. l}^{-1}$  et  $18,06 \text{ ng. l}^{-1}$  pour la MAW et la MMW respectivement (Tableau 6). La concentration maximale en chlorophylle *a* a été enregistrée au niveau de la MMW caractérisant ainsi les stations côtières bien mélangées (Fig. 24d), tandis que les concentrations minimales de chlorophylle *a* sont observées dans les eaux du large qui sont distinguées par une stratification thermique. La chlorophylle *b*, est le pigment accessoire le plus abondant, présentant des teneurs moyennes presque semblables dans les différentes masses d'eaux ( $\sim 10 \text{ ng. l}^{-1}$ ), avec la concentration la plus élevée enregistrée dans la MMW.

**Tableau 6.** Les maximums et les moyennes  $\pm$  écart-type des concentrations en chlorophylle *a* ( $\text{ng. l}^{-1}$ ) et les majeurs pigments accessoires réalisés pour les différents groupes de stations identifiés par l'analyse en dendrogramme. Le rapport  $Fp_1$  est calculé selon Claustre (1994)

Pigments chlorophylliens	MMW		TW		MAW	
	Max	Moy $\pm \sigma$	Max	Moy $\pm \sigma$	Max	Moy $\pm \sigma$
Chlorophylle <i>a</i>	187,5	$18,09 \pm 3,62$	46,77	$12,43 \pm 3,06$	56,21	$11,73 \pm 3,63$
Fucoxanthine	282,43	$9,14 \pm 3,8$	12,37	$1,06 \pm 0,6$	22,52	$4,32 \pm 1,91$
Peridine	23,84	$1,76 \pm 0,43$	9,64	$1,49 \pm 0,63$	2,4	$0,39 \pm 0,16$
Zéaxanthine	82,17	$2,77 \pm 1,09$	9,41	$1,99 \pm 0,76$	16,6	$2,09 \pm 1,08$
Chlorophylle <i>b</i>	304,63	$10,31 \pm 3,97$	59,14	$10,15 \pm 4,14$	72,53	$10,04 \pm 5,23$
Alloxanthine	6,86	$0,59 \pm 0,11$	4,81	$0,67 \pm 0,25$	2,01	$0,41 \pm 0,12$
19'-hexanoyloxyfucoxanthine	24,25	$0,57 \pm 0,56$	7,69	$1,32 \pm 0,57$	8,89	$1,69 \pm 0,68$
19'-butanoyloxyfucoxanthine	35,6	$2,54 \pm 0,62$	112,58	$6,16 \pm 5,44$	2,38	$0,53 \pm 0,2$
Prasincoxanthine	53,67	$3,89 \pm 0,83$	28,88	$2,27 \pm 1,07$	8,78	$1,93 \pm 0,68$
Chlorophylle <i>c3</i>	22,45	$1,21 \pm 0,41$	13,35	$1,15 \pm 0,66$	14,50	$3,71 \pm 0,92$
Chlorophylle <i>c2</i>	8,88	$0,56 \pm 0,16$	4,89	$0,50 \pm 0,22$	0,34	$0,04 \pm 0,02$
<b>Le rapport <math>Fp</math></b>		<b>0,36</b>		<b>0,11</b>		<b>0,24</b>

Les relations entre la concentration intégrée (0-120m) des pigments majeurs et la chlorophylle *a* intégrée sont présentées au niveau du tableau 7. Les résultats montrent que les

changements de la fucoxanthine, de la péridinine; et à moindre degré de la zéaxanthine et de la prasinoxanthine sont associées aux changements de la teneur en chlorophylle *a*. Les autres pigments accessoires, cependant, sont invariables aux changements des concentrations de la chlorophylle *a*. La MMW représentent les rapports *Fp* les plus élevés caractérisant ainsi les stations côtières et de surface (Tableau 6). La couche de transition a le plus faible rapport, alors que la MAW montre des valeurs intermédiaires.



**Figure 24.** Le profil vertical du nitrate ( $\mu\text{mol. l}^{-1}$ ) (A), du phosphate ( $\mu\text{mol. l}^{-1}$ ) (B), du rapport N/P (C) et de la concentration en chlorophylle *a* ( $\text{ng. l}^{-1}$ ) (D)

**Tableau 7.** Relation entre la concentration en chlorophylle *a* et les concentrations des différents pigments accessoires

Equations	n	r	p (Value)
$Chla = 0,13 + 0,80 \times Fuco$	120	0,41	< <b>0,0001</b>
$Chla = 0,13 + 3,40 \times Per$	120	0,40	< <b>0,0001</b>
$Chla = 0,14 + 1,86 \times Zea$	120	0,34	< <b>0,0001</b>
$Chla = 0,15 + 0,89 \times Pras$	120	0,31	< <b>0,001</b>
$Chla = 0,19 - 1,76 \times Chlb$	120	0,01	0,883
$Chla = 0,16 + 3,76 \times Allo$	120	0,13	0,141
$Chla = 0,18 + 8,75 \times Hex$	120	0,04	0,647
$Chla = 0,18 + 0,11 \times But$	120	0,01	0,831

### II.1.5.3. L'analyse de la composition taxonomique du phytoplancton par le programme CHEMTAX

#### II.1.5.3.a. Calcul du rapport pigmentaire et sa variation en fonction de la profondeur

Les rapports de rendement pour les deux séries consécutives de la CHEMTAX pour les différentes données profondeurs-niveaux étudiés sont illustrés au niveau du tableau 8. Parmi les neuf classes d'algues qui sont présumées d'être présentes dans le golfe de Gabès, sept ont un rapport pigment/chlorophylle *a* qui varie avec la profondeur. Pour les chlorophytes et les pélagophytes, les rapports des pigments sont constants pour les différentes profondeurs, probablement du à l'ubiquité de ces classes d'algues. Les rapports calculés de pigment (Tableau 8) varient peu avec la profondeur, ce qui confirme que notre approche fournit des informations fiables.

**Tableau 8.** Les rapports de rendement "Output marker" pigment/chlorophylle *a* tout au long de la colonne d'eau pour les différentes classes phytoplanctoniques calculés par le programme de CHEMTAX. Les pigments sont analysés à quatre niveaux différents de la colonne d'eau: 0-10m; 10,1-20m, 20,1-35m; 35,1-55m et 55,1-120m.

	Niveau de profondeur : 0-10m													
	Fuco	Peri	Zea	Chb	All	Hex	But	Ddx	Lut	Pars	Neo	Vio	Bcrot	Chlc3
Diatomées	0,36							0,12						
Dinoflagellés		0,88						0,11						
Prymesiophytes	0,22					0,33		0,07						0,04
Cryptophytes					0,19									
Pélagophytes	0,20						0,30	0,14						0,04
Chlorophytes			0,03	0,18					0,09		0,02	0,01		
Cyanobactéries			0,22										0,11	
Prasinophytes			0,06	0,32					0,01	0,14	0,04	0,04		

Euglénophytes				0,25					0,15			0,01			
<b>Niveau de profondeur: 10,1-20m</b>															
	Fuco	Peri	Zea	Chb	All	Hex	But	Ddx	Lut	Pars	Neo	Vio	Bcrot	Chlc3	
Diatomées	0,36								0,12						
Dinoflagellés		0,42							0,06						
Prymesiophytes	0,25						0,26		0,06					0,04	
Cryptophytes					0,19										
Pélagophytes	0,20						0,30	0,14						0,04	
Chlorophytes			0,03	0,18					0,09		0,02	0,01			
Cyanobactéries			0,56										0,06		
Prasinophytes			0,02	0,33					0,01	0,14	0,04	0,05			
Euglénophytes				0,25				0,14			0,01				
<b>Niveau de profondeur : 20,1-35m</b>															
	Fuco	Peri	Zea	Chb	All	Hex	But	Ddx	Lut	Pars	Neo	Vio	Bcrot	Chlc3	
Diatomées	0,36								0,12						
Dinoflagellés		0,47							0,09						
Prymesiophytes	0,25						0,26		0,06					0,04	
Cryptophytes					0,22										
Pélagophytes	0,20						0,30	0,14						0,04	
Chlorophytes			0,03	0,18					0,09		0,02	0,01			
Cyanobactéries			0,42										0,10		
Prasinophytes			0,06	0,32					0,01	0,14	0,04	0,04			
Euglénophytes				0,25				0,14			0,01				
<b>Niveau de profondeur: 35,1-55m</b>															
	Fuco	Peri	Zea	Chb	All	Hex	But	Ddx	Lut	Pars	Neo	Vio	Bcrot	Chlc3	
Diatomées	0,36								0,12						
Dinoflagellés		0,31							0,07						
Prymesiophytes	0,25						0,26		0,06					0,04	
Cryptophytes					0,19										
Pélagophytes	0,20						0,30	0,14						0,04	
Chlorophytes			0,03	0,18					0,09		0,02	0,01			
Cyanobactéries			0,22										0,11		
Prasinophytes			0,05	0,28					0,01	0,12	0,04	0,15			
Euglénophytes				0,25				0,14			0,01				
<b>Niveau de profondeur : 55,1-120m</b>															
	Fuco	Peri	Zea	Chb	All	Hex	But	Ddx	Lut	Pars	Neo	Vio	Bcrot	Chlc3	
Diatomées	0,22								0,15						
Dinoflagellés		0,43							0,08						
Prymesiophytes	0,25						0,26		0,06					0,04	
Cryptophytes					0,21										
Pélagophytes	0,20						0,30	0,14						0,04	
Chlorophytes			0,03	0,18					0,09		0,02	0,01			
Cyanobactéries			0,21										0,14		
Prasinophytes			0,05	0,41					0,01	0,13	0,04	0,04			
Euglénophytes				0,25				0,14			0,01				

Les observations irrégulières sont détectées entre les trois premières couches de la profondeur à savoir [0-10m], [10,1-20m] et [20,1-35 m]. Les rapports péridinine/chlorophylle *a* diminue presque de moitié tandis que les rapports zéaxanthine/chlorophylle *a* relatifs aux cyanobactéries augmentent de 60% entre les deux premiers niveaux et les rapports alloxanthine/chlorophylle *a* augmentent de 13% entre le deuxième et le troisième niveau de profondeur. Ces variations sont généralement associées à un niveau de la colonne d'eau qui est au-dessus ou près de la thermocline, où l'effet de l'intensité et de la qualité de la lumière change rapidement. Les rapports fucoxanthine/chlorophylle *a* ne changent pas en fonction de la profondeur, mais ils diminuent presque de moitié dans la couche la plus profonde.

#### II.1.5.3.b. Les différentes classes d'algues

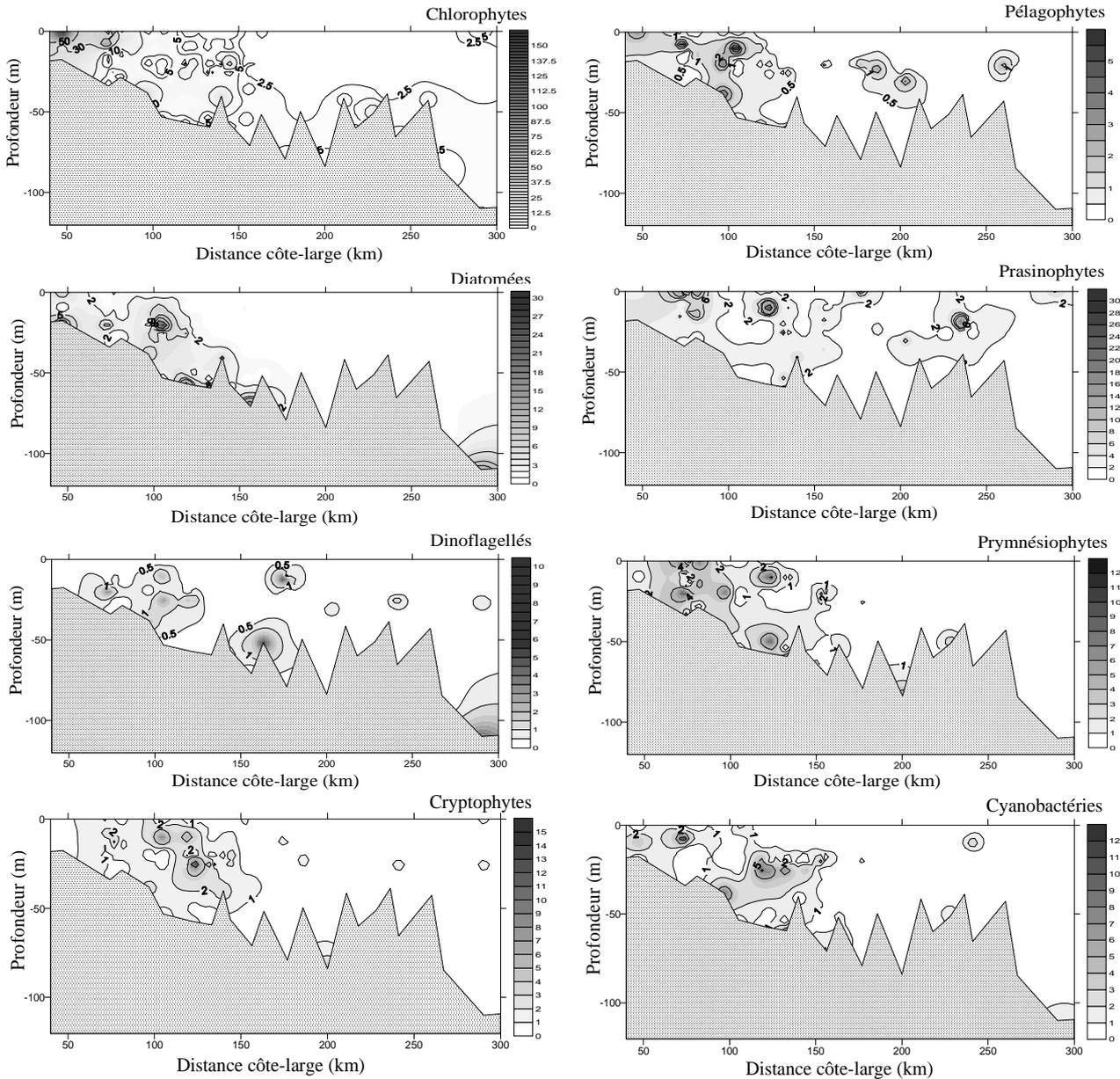
La répartition spatiale de la contribution de la chlorophylle *a* pour chaque classe algale est représentée dans la figure 25. A chaque niveau échantillonné, on a fait le calcul du rapport chlorophylle *a*/pigment. Les chlorophytes contribuent à la fraction la plus importante de chlorophylle *a*, dont le maximum est observé au niveau de la surface et au niveau de la côte. La contribution de la chlorophylle *a* pour les chlorophytes peut atteindre 49% dans le MMW, contre 26% dans la MAW et 17 % dans la TW (Tableau. 9).

**Tableau 9.** Pourcentage de la contribution des (%) of différents groupes phytoplanctoniques pour la concentration totale en chlorophylle *a* calculé par le programme CHEMTAX

	MMW (n = 83)	TW (n = 20)	MAW (n = 17)
Diatomées	9,05	1,49	35,89
Dinoflagellés	1,93	4,03	6,06
Prymesiophytes	8,23	7,16	10,3
Cryptophytes	5,18	16,47	4,01
Pélagophytes	3,25	3,7	1,95
Chlorophytes	49,83	17,5	26,85
Cyanobactéries	4,96	13,06	9,02
Prasinophytes	15,59	24,88	5,91
Euglénophytes	1,95	11,72	0,01

La contribution des diatomées pour la chlorophylle *a* est majoritairement observée dans la MAW avec un maximum dans le niveau le plus profond, alors que leur contribution est plutôt faible au niveau de la TW. Les cyanobactéries se concentrent dans la couche de transition, où elles contribuent environ à 13% de la biomasse totale de la chlorophylle *a*. Les cyanobactéries de petites tailles sont détectées dans les zones où les concentrations en nitrate sont importantes. Leur contributions relatives peut atteindre chez les cyanobactéries (environ

9%) dans la MAW. La chlorophylle *a* correspondant aux prasinophytes présente un maximum dans la couche de transition (24,88%) et également située dans la couche côtière et au niveau de la surface, où il contribue à 15% environ dans la MMW. Une analyse factorielle simple (Anova) est réalisée pour évaluer les différences statistiques entre les différentes masses d'eaux en ce qui concerne la composition du phytoplancton. Ce test examine la variation de la fraction moyenne de la de chlorophylle *a* pour chaque groupe phytoplanctonique dans les stations de la MAW, MMW et de la TW. Les résultats indiquent que, pour chaque groupe phytoplanctonique, à l'exception des euglénophycées, aucune différence significative entre les différents groupes des différentes stations en ce qui concerne la fraction moyenne de la chlorophylle *a*. Le test de corrélation entre les groupes phytoplanctoniques et des facteurs abiotiques montre que la salinité est corrélée positivement avec la chlorophylle *a* des chlorophytes ( $r = 0,51$ ;  $p < 0,01$ ) et des prasinophytes ( $r = 0,43$ ;  $p < 0,05$ ). Aussi, une corrélation positive a été observée entre la chlorophylle *a* des prasinophytes et la concentration en nitrate ( $r = 0,4$ ;  $p < 0,05$ ).



**Figure 25.** Concentrations de la chlorophylle *a* (ng. l<sup>-1</sup>) par le programme de CHEMTAX et sa contribution pour: les chlorophytes, les diatomées, les dinoflagellés, les pélagophytes, les prasinophytes, les prymnesiophytes, les cryptophytes, les cyanobactéries et les euglénophytes, Les pigments sont analysés à quatre niveaux différents de la colonne d'eau: 0-10m; 10,1-20m, 20,1-35m; 35,1-55m et 55,1-120m.

#### II.1.5.4. Discussion

Les résultats de cette étude montrent la présence de différentes propriétés des masses d'eaux liées aux origines méditerranéennes et atlantiques. Ceci corrobore avec le modèle de circulation de l'eau dans le golfe de Gabès établi par Brandhorst (1977), qui a montré l'existence de MAW dans cette zone en analysant la distribution de la salinité minimale. De

même, Lecombe et Tchernia (1972) ont rapporté qu'une partie de la MAW envahit les côtes tunisiennes dans le golfe de Gabès et circule anticyclone au niveau de la côte. En plus, Hamad et al. (2005) ont montré des résultats semblables en ce qui concerne l'analyse de la température de surface de la mer. En utilisant les observations *in situ* et les données de modélisations, Béranger et al. (2004) soutiennent cette conclusion en décrivant le courant Algérien qui déplace la couche supérieure de la MAW vers l'est et la divise en deux branches la première à l'entrée du canal de Sicile, en coulant dans la mer Tyrrhénienne et la deuxième dans le canal de la Sicile directement. Ce dernier se compose de deux jaillissements, désignés sous le nom du jaillissement Ionien atlantique (appelé AIS) et le courant Tunisien atlantique (ATC). Le long de la côte tunisienne, et au cours de la période froide (hiver - printemps), la MAW est caractérisée par une basse salinité (37,3 à 37,5‰) qui est très étroitement liée à la surface. Par contre, au cours des autres périodes, une teneur importante de la salinité et une circulation locale plus prononcée dans la colonne d'eau suggérant une amélioration du mélange et d'un affaiblissement de l'advection de la MAW vers l'Est (Béranger et al., 2004). Notre période d'étude correspond à cette période de faible advection de la MAW. En conséquence, l'eau observée peut être le résiduel de la circulation augmentée du printemps et ne reflète pas les changements des conditions hydrodynamiques. La distribution de la densité de l'eau (Fig. 23a) est plus dirigée par la température que par les forces physiques due à la circulation de la MAW, qui nous indique que la MAW peut résider longtemps dans l'écosystème étudié. Une situation semblable a été décrite dans la région côtière du golfe de Naples pendant le mois de Novembre (Casotti et al., 2000), où la MAW occupe la couche inférieure de la colonne d'eau pour passer un long temps dans le système. Une caractéristique significative de la distribution de la chlorophylle *a* due à l'absence des zones à forte biomasse phytoplanctonique (Fig. 24d). En plus, le maximum de la chlorophylle la plus profonde (DCM), caractérise la mer Méditerranée durant une période assez longue de l'année et en particulier au cours de la période d'Été (Estrada et al., 1993) est absent dans notre système. En effet, le développement de la thermocline avec une stratification progressive de la colonne d'eau durant l'Été, a comme conséquence la formation d'un DMC expliquée par une distribution verticale des éléments nutritifs (Estrada, 1985; Morel et André, 1991; Varela et al., 1994). La stratification de l'eau au cours de notre période d'échantillonnage n'est pas accompagné par une accumulation des éléments nutritifs des eaux profondes principalement parce que les stations sont situées au-dessus du plateau continental et sont isolées des eaux profondes par leurs richesse en nitrate (Minas et Minas, 1989). La distribution verticale du nitrate est presque homogène tout au long de la colonne d'eau et n'est pas complètement

épuisée au niveau de la surface (Fig. 24a). En raison du manque d'une tendance verticale de la distribution, on peut dire que les concentrations locales en nitrate au niveau de la thermocline peuvent résulter des procédés de régénérations plutôt que de gradient de nitrate. D'ailleurs, les concentrations en phosphate, les plus élevées sont enregistrées au niveau de la thermocline et sont du probablement à une minéralisation, et sont généralement près de la limite de détection dans les eaux au-dessous de la thermocline. Les concentrations moyennes en phosphate est environ de l'ordre de  $0,5 \mu\text{mol. l}^{-1}$  au cours des autres périodes de l'année et elle atteint un maximum de l'ordre de  $1 \mu\text{mol. l}^{-1}$  (Bel Hassen et al., donnée non encore publiée). Cependant, le rapport N/P important enregistré au cours de notre période d'échantillonnage pourrait être attribué à un manque de phosphate, suggérant une utilisation incomplète de nitrate par le phytoplancton (Raimbault et Coste, 1990). Ceci engendre un rapport N/P qui est au-dessus du rapport de Redfield (16/1), indiquant ainsi que le phosphore est le facteur limitant de la croissance du phytoplancton dans des conditions oligotrophes. Les deux masses d'eaux identifiées la MMW et la MAW présentent des différences énormes en terme d'hydrologie. En effet, la MAW occupe la couche stratifiée inférieure tandis que la MMW est située au niveau de la surface et dans les eaux côtières mélangées. Néanmoins, cet arrangement physique n'est pas accompagné par des variations des concentrations moyennes en chlorophylle *a* entre les différents lots de stations en ce qui concerne la composition en phytoplancton. A travers ces résultats, nous pouvons proposer que la distribution générale de ces groupes phytoplanctoniques est remarquable avec trois principaux aspects (i) leur ubiquité; (ii) leur biomasse stable vis-à-vis des conditions trophiques; et (iii) leur capacité de développer des procédés de photo-adaptation. Si nous regroupons les dinoflagellés, les cryptophytes, les prasinophytes, les chlorophytes, et les euglénophytes comme flagellés, ceux-ci sont dominants par rapport aux diatomées dans toutes les masses d'eaux même sans considérer les prymésiophytes et les pélagophytes, qui comportent également des organismes non flagellés (Tableau 9). Un résultat similaire a été rapporté dans le bassin oriental de la mer d'Alborane (Claustre et al., 1994b) où les proportions dominantes de flagellés sont produites dans l'atlantique et dans les eaux méditerranéennes qui sont soumises à des forces physiques différentes. Ce continuum de flagellés au-dessus de la profondeur pourrait être attribué à leur motilité tout au long de la colonne d'eau leurs permettant de maintenir leur position dans les conditions de stratifications (Margalef, 1978). D'ailleurs, la biomasse des flagellés semble être stable au-dessus de la profondeur. Cette communauté stable et dominante n'a pas engendré une biomasse importante. Ces observations sont conformes au travaux de Fogg (1991) qui ont suggéré que le phytoplancton de petite taille (incluant les flagellés) ne pouvait pas atteindre

des biomasses importantes, puisque l'augmentation de la biomasse déclenche un mécanisme de rétroaction favorisant les prédateurs et qui peut finalement augmenter le taux de production primaire plutôt que l'accumulation de la biomasse. Les diatomées identifiées comme espèces les plus opportunistes grâce à la disponibilité des éléments nutritifs (Fogg, 1991), sont également connues pour être moins exigeantes en éléments nutritifs que les phytoplanctons de petites tailles. Elles n'affectent pas les conditions oligotrophes caractérisant la zone étudiée. Bien que leur contribution relative a été élevée dans la MAW, ceci probablement résultant d'une chute des cellules de grande taille pendant les événements productifs intensifs (Marty et al., 1994) par conséquent contribuant aux flux particuliers verticaux (Miquel et al., 1994). Les Chlorophytes, représentent le premier groupe le plus important dans la MMW et le deuxième groupe dans MAW stratifiée et dans la TW. Ceci indique l'adaptation de cette classe algale à une gamme de lumière dans la MAW. En plus, les chlorophytes peuvent également être adaptés aux régions côtières bien mélangées de la MMW, où une importante activité de marée se produit (Sammari et al., 2006) et pourrait induire une turbidité élevée, qui peut limiter la pénétration de la lumière. En Effet, les chlorophytes peuvent utiliser efficacement les longueurs d'ondes bleu-violet disponibles dans les basses radiations du à leurs spectres de pigment (Glover et al., 1986) et peuvent justifier leur abondance dans les environnements où la lumière est limitée. Ce groupe d'algues est également associé aux conditions de stratifications et aussi mélangées, Bustillos-Gusman et al. (1995) ont montré que la chlorophylle *b* contenant dans les flagellés exige un mélange fort dans les côtes Nord du bassin occidental de la Méditerranée, tandis que Casotti et al. (2000) ont signalé que les chlorophytes sont dominants dans la MAW profonde et non-mélangée du golfe de Naples (Sud du bassin occidental de Méditerranée). Ceci confirme nos observations en ce qui concerne les chlorophytes qui ont affecté ces conditions hydrographiques. Les masses d'eaux identifiées ont montré des statuts trophiques très différents, indiquant que cette région n'est pas homogène. Les rapports *Fp* de la MMW appartiennent à la gamme des régimes mésotrophiques de l'océan atlantique (0,15-0,6) ou de la mer Méditerranée (0,35-0,85; Claustre, 1994). En effet, dans le statut mésotrophe instable nous renseigne que la communauté phytoplanctonique se compose dans la plupart du temps de populations de petites tailles telles que les cyanobactéries, les prochlorophytes et les flagellés, résultant du développement d'une biomasse autotrophe (Van camp et al., 1991). Ceci corrobore avec l'importante dynamique de la MMW, où les flux sont loin d'être dans l'équilibre représentant plus de 64% de la chlorophylle *a* provenant des chlorophytes et des prasoinophytes. Ces deux classes algales sont presque inexistantes dans la liste phytoplanctonique détaillée au niveau de

cette zone, suggérant qu'elles puissent être picoplanctonique, échappant ainsi à l'identification microscopique. Le rapport  $Fp$  de la MAW semble suivre le même régime que MMW, probablement du au long temps de séjour de la MAW dans le système étudié. D'ailleurs, la dominance des diatomées dans cette masse d'eau, pourrait justifier ce rapport  $Fp$  par conséquence, la relation étroite entre des diatomées et la nouvelle production (Parsons et al., 1984). Le rapport  $Fp$  dans la TW n'illustre pas une étape intermédiaire entre les deux eaux adjacentes. Il indique qu'un probable système d'équilibre oligotrophe à un statut oligotrophe méditerranéen (Claustre, 1994; Marty et al., 2002). Plusieurs taxons phytoplanctoniques sont examinés dans la TW dont la proportion de cryptophytes est relativement élevée, comparée aux faibles proportions dans les autres masses d'eaux, pourrait être un indicateur de l'instabilité du système et d'une communauté phytoplanctonique relativement non structurée (Stewart et Wetzel, 1986). En plus, le rapport significatif entre les prasinophytes et les pigments de diagnostics de cyanobactéries et la chlorophylle  $a$  (Tableau 7), relativement abondant dans cette couche d'eau, est en accord avec une hypothèse de maturation de l'écosystème et le rôle de la régénération des éléments nutritifs sur la production biologique (Claustre et al., 1994a).

#### II.1.5.5. Conclusion

Le présent travail montre que (i) la biomasse autotrophe ne varie pas selon les propriétés hydrologiques des masses d'eaux, principalement parce que la balance des processus physiques ne coïncide pas avec les réponses biologiques. Généralement, cette biomasse semble être influencée d'avantage par la faible disponibilité des éléments nutritifs dans l'écosystème étudié, (ii) les masses des eaux atlantiques et méditerranéennes ne montrent pas des particularités spécifiques en ce qui concerne la composition du phytoplancton et le statut trophique. Pour différencier entre ces masses d'eaux, d'autres critères relatives pour les taxons phytoplanctoniques devraient être pris en considération, comme l'occurrence de deux populations des prochlorophytes typiques de la MAW dans le golfe de Naples (Casotti et al., 2000) où la distribution selon la profondeur du rapport 19'-hexanoyloxyfucoxanthine/19'-butanoyloxyfucoxanthine (Claustre et al., 1994b) montre une augmentation avec la profondeur pour l'eau Méditerranée typique.

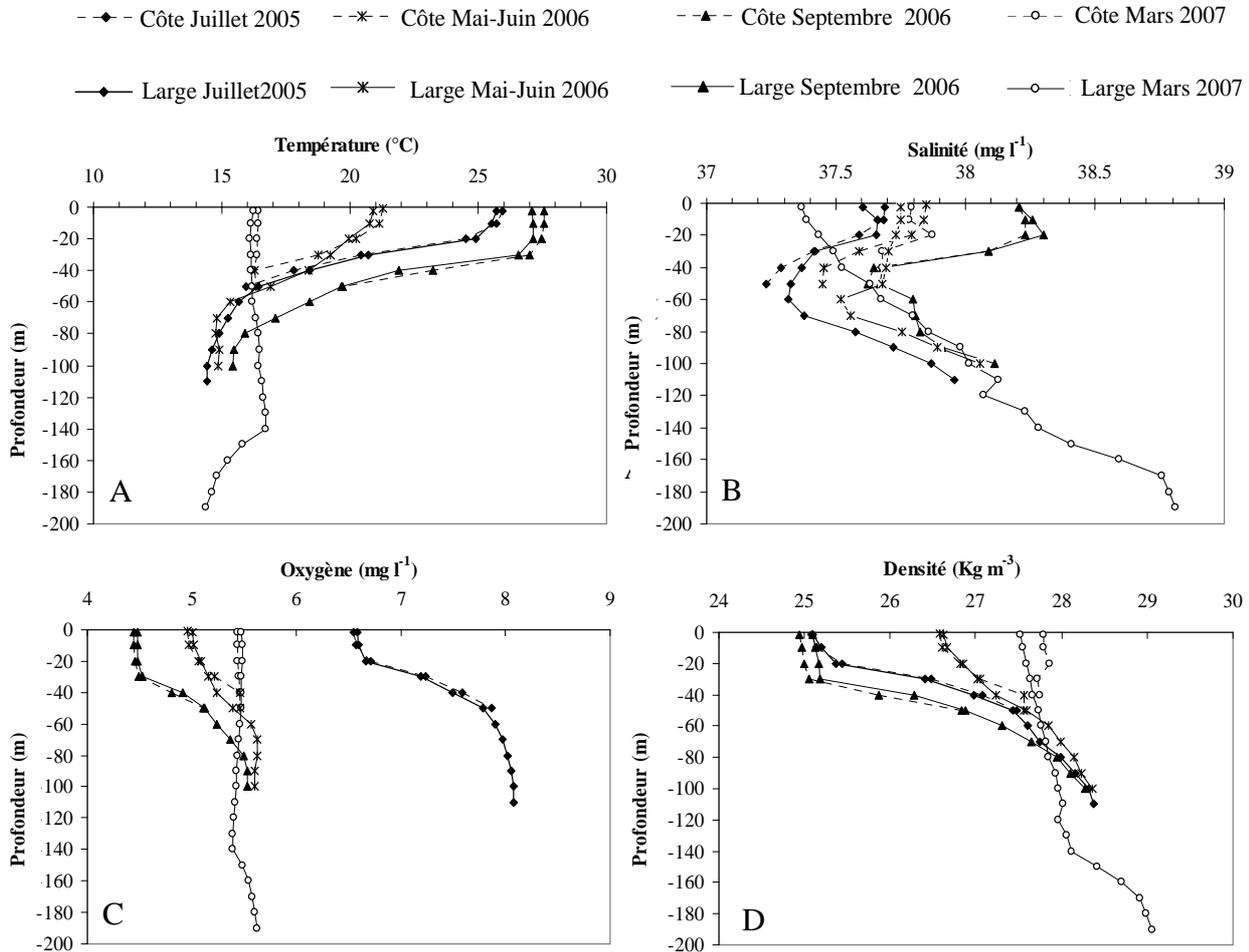
**II.2. Deuxième partie: Etude spatio-temporelle à long terme durant les quatre périodes d'études (Juillet 2005 - Mai Juin 2006 - Septembre 2006 et Mars 2007)**

## II.2.1. Etude de la répartition verticale, spatiale et temporelle des paramètres physico-chimiques

### II.2.1.1. Etude de la variation verticale, spatiale et temporelle des paramètres physiques

Les profils verticaux relatifs à la moyenne des paramètres physiques (température, salinité, densité de l'eau et oxygène dissous), qui sont visualisés par le dispositif CTD au niveau des stations côtières (moins de 50 m de profondeur) et des stations océaniques (plus de 50 m de profondeur), au cours des quatre périodes d'échantillonnage, ont été récapitulés dans la figure 26. Le profil de la température enregistré tout au long de la colonne d'eau des zones côtières est similaire à celui des zones océaniques (Fig. 26A). La température de la surface de l'eau augmente graduellement à partir de Mars (16°C en moyenne) jusqu'au Septembre (dont le maximum est de 27°C). La variation verticale, spatiale et temporelle de la température montre une stratification qui a débuté au mois de Mai-Juin 2006 avec une thermocline à 20 m, ensuite elle est plus profonde située à 25m de profondeur durant la période de Juillet 2005 et elle est localisée à un niveau plus de 30m en mois de Septembre 2006. Les profils moyens de la salinité observés durant le mois de Juillet sont semblables à celui obtenus en mois de Septembre aussi bien au niveau des zones côtières qu'océaniques, mais ils sont nettement différents à ceux enregistrés aux mois de Mai-Juin et de Mars (Fig. 26B). En effet, durant la période Mai-Juin 2006, la salinité des eaux côtières à 20 m était plus élevée qu'en pleine mer. L'inverse a été observé à des niveaux plus profonds de la colonne d'eau. Pendant le mois de Mars, la colonne de l'eau est bien mélangée et la salinité diminue avec la profondeur dans les régions côtières; mais au niveau des régions océaniques elle augmente. Concernant les concentrations en oxygène dissous, on note une augmentation graduelle de la surface jusqu'à des niveaux plus profonds aussi bien dans les régions côtières qu'océaniques (Fig. 26C). Les concentrations les plus faibles en oxygène dissous ( $< 5 \text{ mg. l}^{-1}$ ) ont été enregistrées pendant le mois de Septembre à des niveaux supérieurs à 50 m de profondeur. Les profils de la densité de l'eau montrent une légère différence entre les régions côtières et océaniques seulement pendant les mois de Mai-Juin et de Juillet (Fig. 26D). Au début de la stratification, la densité de l'eau est significativement affectée par la température de l'eau en Mai-Juin ( $r = -0,747$ ;  $p < 0,0001$ ; d.d.l. = 28), en Juillet ( $r = -0,825$ ;  $p < 0,0001$ ; d.d.l. = 31) et en Septembre ( $r = -0,908$ ;  $p < 0,0001$ ; d.d.l. = 32). Cependant, pour le mois de Mars où la colonne d'eau est bien mélangée, la densité de l'eau et la salinité des eaux côtières sont significativement corrélées ( $r$

= 0,965;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 24). Au niveau des régions côtières, la densité de l'eau est corrélée avec la température ( $r = 0,416$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 24) et avec la salinité ( $r = 0,967$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 24).



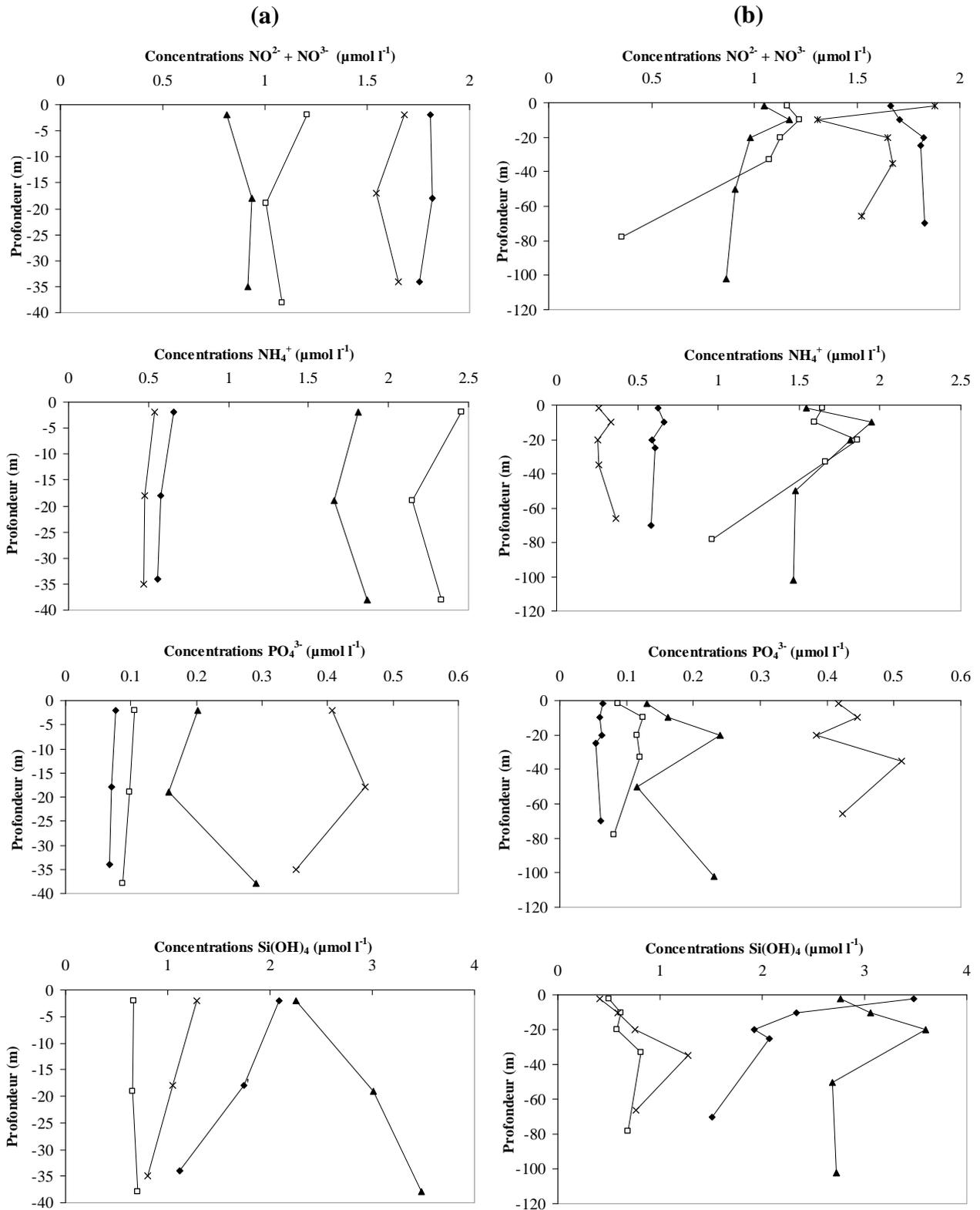
**Figure 26.** Distribution verticale, spatiale et temporelle des moyennes de la température de l'eau (A), la salinité (B), l'oxygène dissous (C) et la densité de l'eau (D) le long de la colonne de l'eau dans les zones côtière et océanique du golfe de Gabès entre 2005 et 2007

### II.2.1.2. Etude de la variation verticale, spatiale et temporelle des éléments nutritifs, du pH, des matières en suspension et de la concentration en chlorophylle *a*

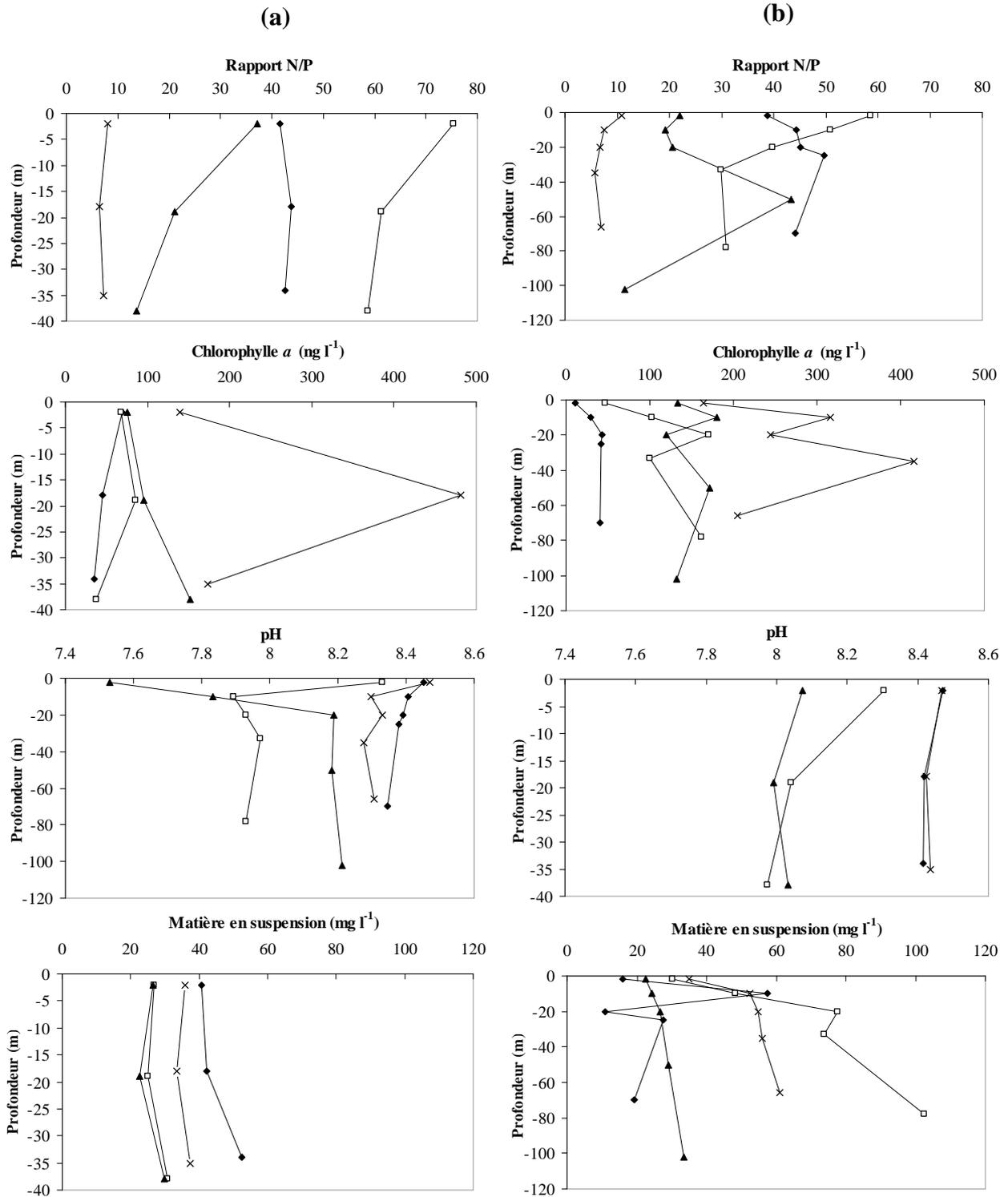
Les paramètres chimiques analysés pendant cette étude saisonnière sont récapitulés dans la figure 27. Dans les régions côtières, la distribution verticale des sels nutritifs est presque homogène tout au long de la colonne d'eau, mais en pleine mer, leurs concentrations diminuent avec la profondeur. Les concentrations de  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NO}_2^-$  sont plus importantes

pendant les mois de Mai-Juin 2006 et de Juillet 2005 que pendant les mois de Septembre 2006 et Mars 2007, alors que les concentrations de  $\text{NH}_4^+$  ont montré une tendance inverse à celle observée pour les concentrations ( $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ). Les concentrations de  $\text{PO}_4^{3-}$  sont faibles ( $0,15 \mu\text{mol. l}^{-1}$ ) durant les conditions de stratification qui correspondent aux mois de Juillet 2005 et de Septembre 2006 alors que les concentrations maximales ( $0,5 \mu\text{mol. l}^{-1}$ ) sont enregistrés pendant le mois de Mai-Juin. Cette situation affecte le rapport N/P qui reste supérieur à 10 durant les périodes de stratifications (dont une thermocline s'est établie à un niveau plus de 30 m de profondeur) mais durant la période de Mai-Juin le rapport N/P est inférieur à 10. Les concentrations les plus importantes en  $\text{Si(OH)}_4$  sont enregistrées pendant les mois de Mars et de Juillet ( $3,5 \text{ mol. l}^{-1}$ ), et les plus faibles ( $< 1,5 \text{ mol. l}^{-1}$ ) pendant les mois de Mai-Juin et de Septembre. Les concentrations moyennes de la chlorophylle *a* déterminées pendant la stratification thermique au niveau des régions côtières et océaniques sont inférieures à  $200 \text{ ng. l}^{-1}$ . Cependant, les teneurs élevées en chlorophylle *a* sont enregistrées pendant le mois de Mai-Juin avec un maximum localisé à 15m de profondeur dans les régions côtières, et le maximum de la concentration en chlorophylle *a* est de l'ordre de  $500 \text{ ng. l}^{-1}$  est aperçu à un niveau de 40 m de profondeur en pleine mer. En ce qui concerne le pH, les valeurs moyennes sont généralement alcalines dont les échantillons côtiers, étant plus acides que ceux du large, suggérant une activité photosynthétique plus prononcée le long de la côte. La concentration moyenne des matières en suspension varie d'un minimum de  $10,8 \text{ mg. l}^{-1}$  observé à 20 m de profondeur dans les régions océaniques pendant le mois Juillet 2005, alors que le maximum est de l'ordre de  $102,6 \text{ mg. l}^{-1}$  enregistré au large pendant le mois de Septembre au fond de la colonne d'eau. D'une façon générale, les matières en suspension sont corrélées négativement avec les concentrations en chlorophylle *a* durant toute la période d'étude et particulièrement pendant le mois de Mars ( $r = -0,337$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 32); mais, c'est au mois de Septembre que ces deux paramètres sont corrélés positivement ( $r = 0,326$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 32).

—◆— Juillet 2005 —□— Septembre 2006 —▲— Mars 2007 —×— Mai-Juin 2006



◆ Juillet 2005 □ Septembre 2006 ▲ Mars 2007 × Mai-Juin 2006



**Figure 27.** Distribution verticale, spatiale et temporelle des moyennes des éléments nutritifs (nitrite + nitrate, ammonium, ortho-phosphate, silice et rapport N/P), concentration en chlorophylle *a*, matières en suspension et du pH le long de la colonne d'eau dans les zones côtières (a) et océaniques (b) du golfe de Gabès entre 2005 et 2007

## II.2.2. Variation spatio-temporelle de la composition en microphytoplancton en relation avec les conditions hydrologiques dans le golfe de Gabès

*Ce chapitre a fait l'objet d'une Publication au Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom: 1-11. doi:10.1017/S002531540900023X*

### II.2.2.1. Dynamique de la population phytoplanctonique

L'étude qualitative du phytoplancton durant toute la période d'étude a montré la présence de 170 différentes espèces appartenant à 7 différentes classes (Tableau 10). La classe des dinoflagellés est composée de 118 espèces, les diatomées de 41 espèces et les cyanobactéries de 7 espèces. Les autres groupes tels que les dictyochophycées, les euglénophycées, les coccolithophoridées et les chlorophycées, ils sont représentés chacun par une seule espèce (Tableau 10).

**Tableau 10.** Liste et fréquences des espèces phytoplanctoniques observées au niveau du golfe de Gabès durant quatre différentes périodes entre 2005 et 2007

- Très abondant: 61 - 100%
- Abondant: 41 - 60%
- Peu fréquent: 10 - 40%
- Rare: 1 - 10%
- Présent occasionnellement: < 10%
- Non détectée

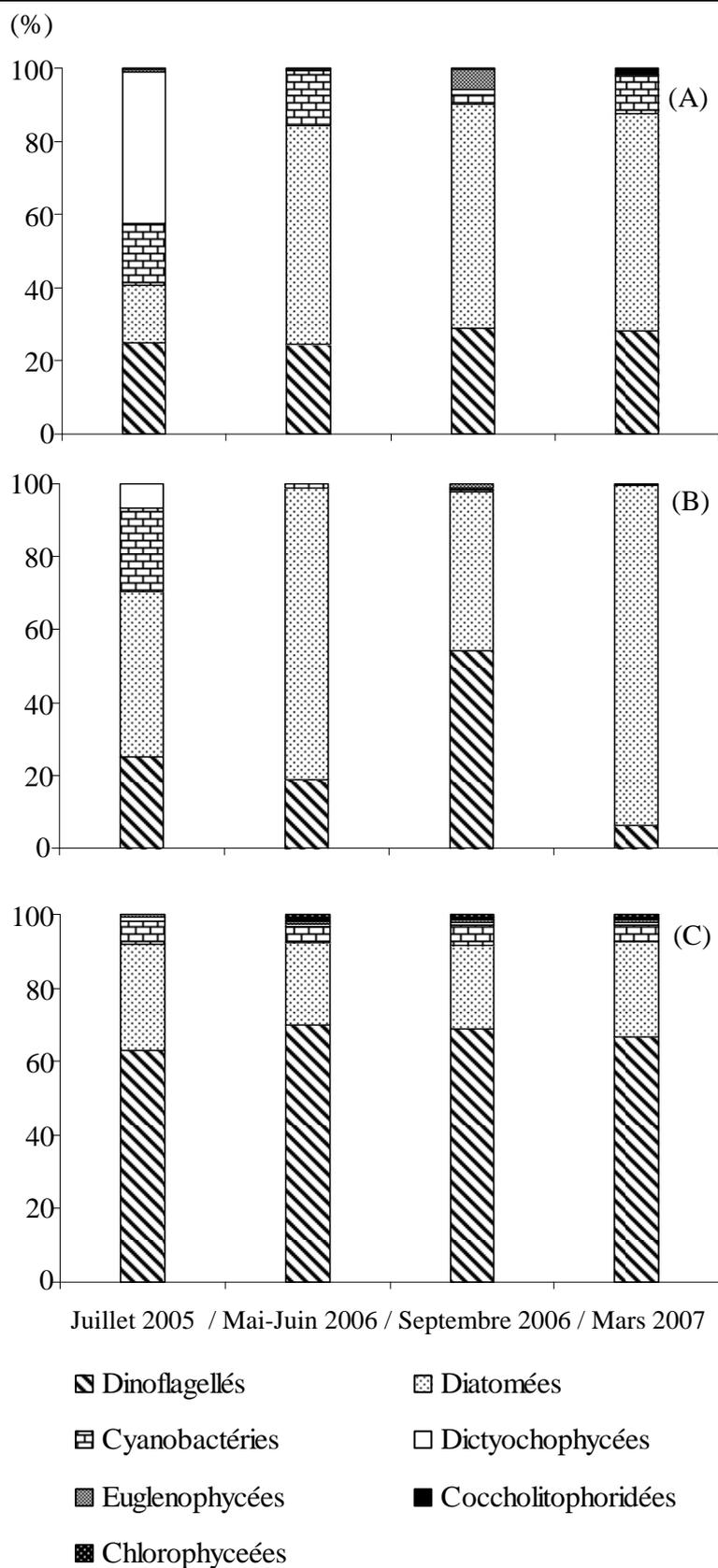
Espèces	Juillet 2005	Mai-Juin 2006	September 2006	Mars 2007
<b>Cyanobactéries</b>				
<i>Anabaena</i> sp.				
<i>Chroococcus</i> sp.				
<i>Microcystis</i> sp.				
<i>Trichodesmium erythraeum</i>				
<i>Pseudoanabaena galeata</i>				
<i>Spirulina</i> sp.				
<i>Spirulina subsalsa</i>				
<b>Dinoflagellés</b>				
Kystes de dinoflagellés				
<i>Alexandrium catenella</i>				
<i>Alexandrium minutum</i>				
<i>Alexandrium</i> sp.				
<i>Alexandrium tamarense</i>				
<i>Amphidinium carterae</i>				
<i>Amphidinium filum</i>				
<i>Amphidinium operculatum</i>				

<i>Amphidinium ovoideum</i>				
<i>Amphidinium</i> sp.				
<i>Amphidinium sphenoides</i>				
<i>Blepharocysta</i> sp.				
<i>Ceratium candelabrum</i>				
<i>Ceratium extensum</i>				
<i>Ceratium falcatum</i>				
<i>Ceratium furca</i>				
<i>Ceratium fusus</i>				
<i>Ceratium inflatum</i>				
<i>Ceratium lineatum</i>				
<i>Ceratium macroceros</i>				
<i>Ceratium pentagonum</i>				
<i>Ceratium</i> sp.				
<i>Ceratium teres</i>				
<i>Ceratium tripos</i>				
<i>Ceratocorys horrida</i>				
<i>Ceratocorys</i> sp.				
<i>Cochlodinium</i> sp.				
<i>Coolia monotis</i>				
<i>Corythodinium tessellatum</i>				
<i>Dinophysis acuminata</i>				
<i>Dinophysis caudata</i>				
<i>Dinophysis fortii</i>				
<i>Dinophysis mitra</i>				
<i>Dinophysis ovum</i>				
<i>Dinophysis rotundata</i>				
<i>Dinophysis</i> sp.				
<i>Diplopsalis</i> sp.				
<i>Goniodoma sphaericum</i>				
<i>Gonyaulax digitale</i>				
<i>Gonyaulax polyedra</i>				
<i>Gonyaulax polygramma</i>				
<i>Gonyaulax</i> sp.				
<i>Gonyaulax spinifera</i>				
<i>Gymnodinium abbreviatum</i>				
<i>Gymnodinium catenatum</i>				
<i>Gymnodinium filum</i>				
<i>Gymnodinium fusiforme</i>				
<i>Gymnodinium gliba</i>				
<i>Gymnodinium marinum</i>				
<i>Gymnodinium mirabile</i>				
<i>Gymnodinium sanguineum</i>				
<i>Gymnodinium</i> sp.				
<i>Gyrodinium fusiforme</i>				
<i>Gyrodinium</i> sp.				
<i>Gyrodinium spirale</i>				
<i>Heterocapsa</i> sp.				
<i>Heterodinium milneri</i>				
<i>Histioneis costata</i>				
<i>Karenia selliformis</i>				
<i>Karenia pappillionacea</i>				
<i>Karlodinium</i> sp.				
<i>Karlodinium veneficum</i>				

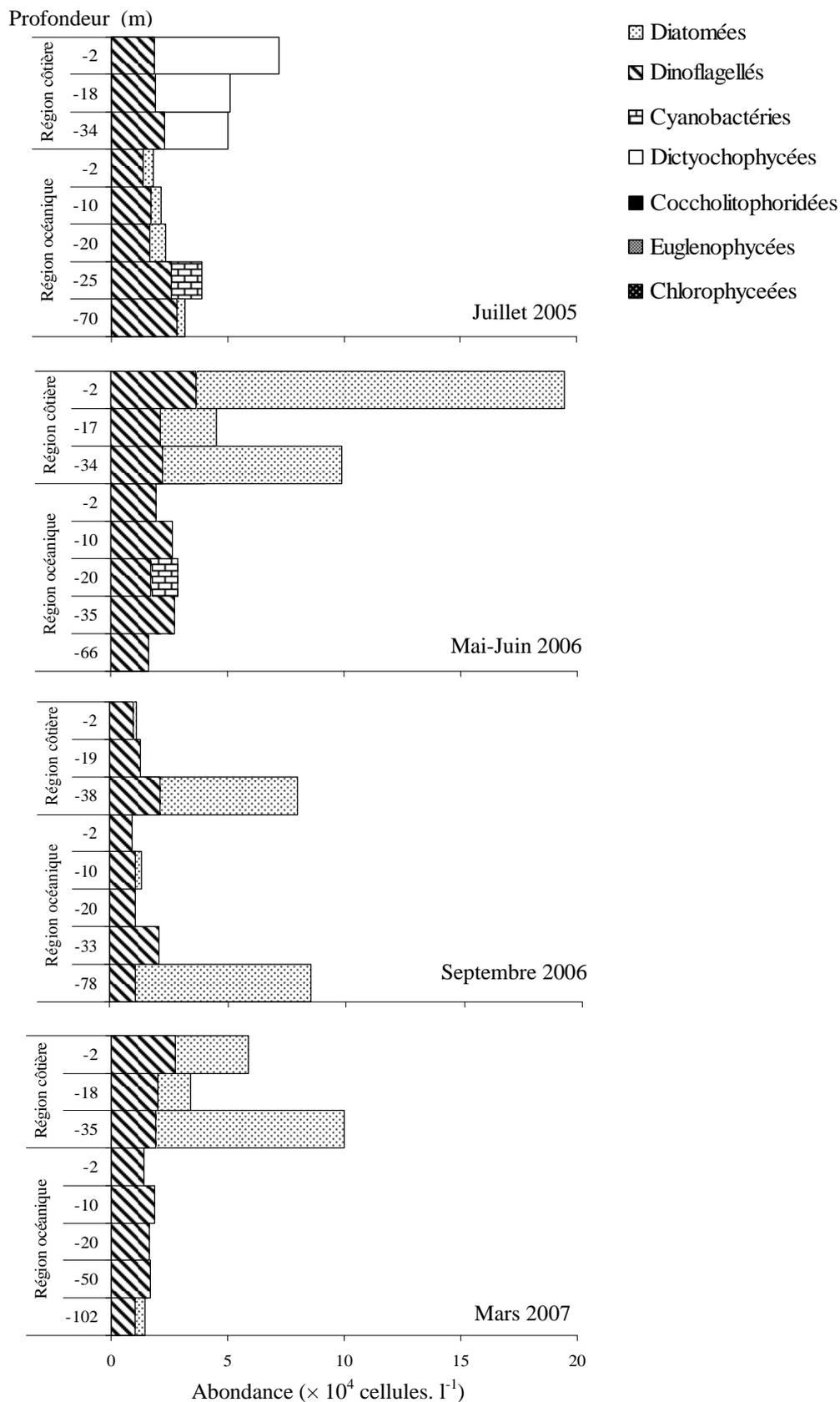
<i>Kryptoperidinium foliaceum</i>				
<i>Mesoporos</i> sp.				
<i>Metaphalochroma</i> sp.				
<i>Noctiluca scintillans</i>				
<i>Noctiluca</i> sp.				
<i>Ornithocercus magnificus</i>				
<i>Ornithocercus quadratus</i>				
<i>Ornithocercus</i> sp.				
<i>Ornithocercus splendidus</i>				
<i>Ornithocercus steinnii</i>				
<i>Ostreopsis</i> sp.				
<i>Oxyrrhis marina</i>				
<i>Oxytoxum constrictum</i>				
<i>Oxytoxum sceptrum</i>				
<i>Oxytoxum scolopax</i>				
<i>Oxytoxum</i> sp.				
<i>Peridinium</i> sp.				
<i>Podolampas palmipes</i>				
<i>Podolampas</i> sp.				
<i>Polykrikos</i> sp.				
<i>Pronoctiluca</i> sp.				
<i>Prorocentrum compressum</i>				
<i>Prorocentrum concavum</i>				
<i>Prorocentrum fusus</i>				
<i>Prorocentrum gracile</i>				
<i>Prorocentrum lima</i>				
<i>Prorocentrum rathymum</i>				
<i>Prorocentrum micans</i>				
<i>Prorocentrum minimum</i>				
<i>Prorocentrum sigmoides</i>				
<i>Prorocentrum</i> sp.				
<i>Prorocentrum triestinum</i>				
<i>Protoceratium reticulatum</i>				
<i>Proto-peridinium avellana</i>				
<i>Proto-peridinium curtipes</i>				
<i>Proto-peridinium curvipes</i>				
<i>Proto-peridinium depressum</i>				
<i>Proto-peridinium diabolium</i>				
<i>Proto-peridinium diabolus</i>				
<i>Proto-peridinium divergens</i>				
<i>Proto-peridinium globulum</i>				
<i>Proto-peridinium granii</i>				
<i>Proto-peridinium minutum</i>				
<i>Proto-peridinium mite</i>				
<i>Proto-peridinium ovum</i>				
<i>Proto-peridinium pyriforme</i>				
<i>Proto-peridinium quinquecorne</i>				
<i>Proto-peridinium</i> sp.				
<i>Proto-peridinium splendens</i>				
<i>Proto-peridinium subcurvipes</i>				
<i>Proto-peridinium thorianum</i>				
<i>Proto-peridinium steinii</i>				
<i>Pseudophalocroma nasutum</i>				
<i>Scrippsiella trochoidea</i>				

<i>Scrippsiella</i> sp.				
<i>Scrippsiella subsalsa</i>				
<i>Warnowia</i> sp.				
<b>Diatomées</b>				
<i>Achnanthes</i> sp.				
<i>Amphiprora</i> sp.				
<i>Amphora</i> sp.				
<i>Bacillaria</i> sp.				
<i>Bacteriastrum</i> sp.				
<i>Bacteriosira bathyomphola</i>				
<i>Bellerochea</i> sp.				
<i>Biddulphia pulchella</i>				
<i>Cerataulina pelagica</i>				
<i>Cerataulina</i> sp.				
<i>Chaetoceros</i> sp.				
<i>Climacosphaenia</i> sp.				
<i>Coscinodiscus</i> sp.				
<i>Dactyliosolen</i> sp.				
<i>Ditylum brightwellii</i>				
<i>Epithemia</i> sp.				
<i>Grammatophora</i> sp.				
<i>Guinardia delicatula</i>				
<i>Hemiaulus</i> sp.				
<i>Leptocylindrus mediterraneum</i>				
<i>Licmophora</i> sp.				
<i>Melosira</i> sp.				
<i>Navicula</i> sp.				
<i>Nitzschia acutissima</i>				
<i>Nitzschia sicula</i>				
<i>Pinnularia</i> sp.				
<i>Plagiotropis</i> sp.				
<i>Pleurosigma simonsenii</i>				
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.				
<i>Rhizosolenia</i> sp.				
<i>Skeletonema marinoi</i>				
<i>Skeletonema grevillei</i>				
<i>Skeletonema</i> sp.				
<i>Striatella</i> sp.				
<i>Striatella unipunctata</i>				
<i>Thalassionema fraunfeldii</i>				
<i>Thalassionema nitzschioides</i>				
<i>Thalassionema</i> sp.				
<i>Thalassiosira</i> sp.				
<i>Triceratium shadboltianum</i>				
<i>Triceratium</i> sp.				
<b>Dictyochophycées</b>				
<i>Dictyocha fibula</i>				
<b>Euglénophycées</b>				
<i>Euglena acusformis</i>				
<b>Coccolithophoridées</b>				
<b>Chlorophycées</b>				

L'étude quantitative du phytoplancton, a montré que l'abondance des diatomées est la plus importante durant toute la période, représentant 60 à 61% de l'abondance totale, à l'exception du mois de Juillet 2005 où les dictyochophycées sont les plus dominantes représentant 41% de l'abondance totale (Fig. 28A; Fig. 29A). Les dinoflagellés sont classés en seconde position après les diatomées représentant 25 à 29% de l'abondance totale du phytoplancton. La plus importante densité du phytoplancton est enregistrée au mois de Mai-Juin ( $21 \times 10^3$  cellules.  $l^{-1}$ ) dont les diatomées représentent  $19 \times 10^3$  cellules.  $l^{-1}$  due à une prolifération intense de l'espèce *Guinardia delicatula* contribuant à 43% de l'abondance totale du phytoplancton (Tableau 10; Fig. 29B). En effet, l'abondance du phytoplancton total et celle des diatomées sont fortement corrélées ( $r = 0,970$ ;  $p < 0,0001$ ; d.d.l. = 28). La biomasse des diatomées est élevée en mois de Mai-Juin et de Mars contribuant respectivement à 80 et 94% de la biomasse total du phytoplancton (Fig. 28B). Ceci est du aux grandes tailles de l'espèce dominante qui est *Guinardia delicatula* (Moy=  $126 \pm 86 \mu m$ ) représentant respectivement 43 et 19% du phytoplancton total. Cependant, en mois de Septembre, c'est la biomasse des dinoflagellés qui est élevée par rapport aux autres groupes représentant 54% de la biomasse totale de phytoplancton; par contre, les diatomées ne représentent que 44% (Fig. 28B). Ceci peut être expliqué par la présence des diatomées des petites tailles telle que le genre *Navicula* ( $25 \pm 13 \mu m$ ) contribuant à 14% de l'abondance totale du phytoplancton. Cette constatation est en concordance avec les espèces de dinoflagellés qui ont des grandes tailles telles que *Polykrikos* sp. ( $91 \pm 57 \mu m$ ) et *Ceratium furca* ( $124 \pm 45 \mu m$ ). En terme de nombre de taxon, les dinoflagellés contribuent à 63% et 70% des taxons totaux, tandis que les diatomées représentent entre 22 et 29% (Fig. 28C).



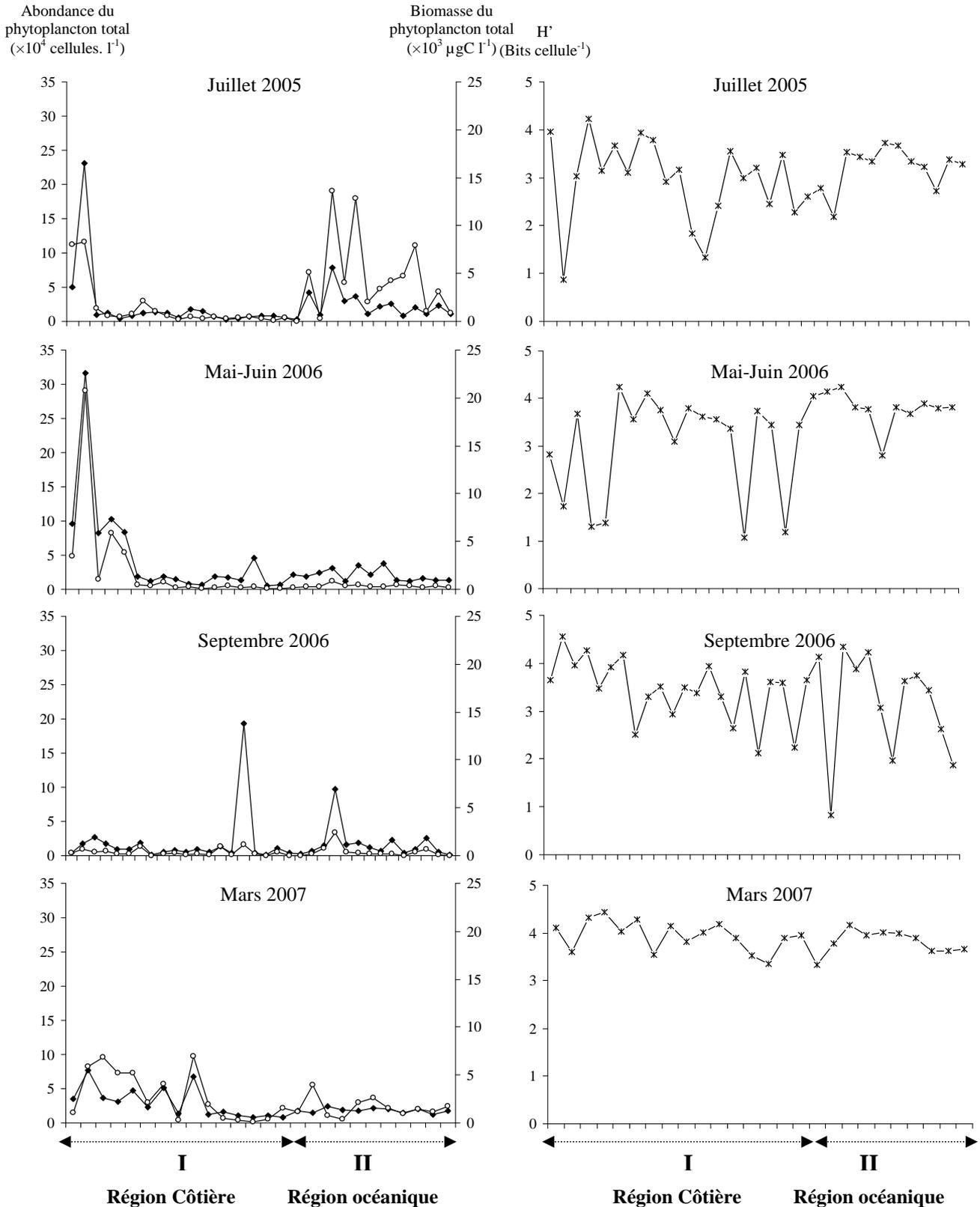
**Figure 28.** Distribution verticale, spatiale et temporelle des pourcentages relatifs en abondance (A), en biomasse (B) et la composition des taxons (C) des différents groupes phytoplanctoniques dans le golfe de Gabès entre 2005 et 2007



**Figure 29.** Distribution verticale, spatiale et temporelle des différents groupes phytoplanctoniques le long de la colonne d'eau dans les zones côtières et océaniques du golfe de Gabès entre 2005 et 2007

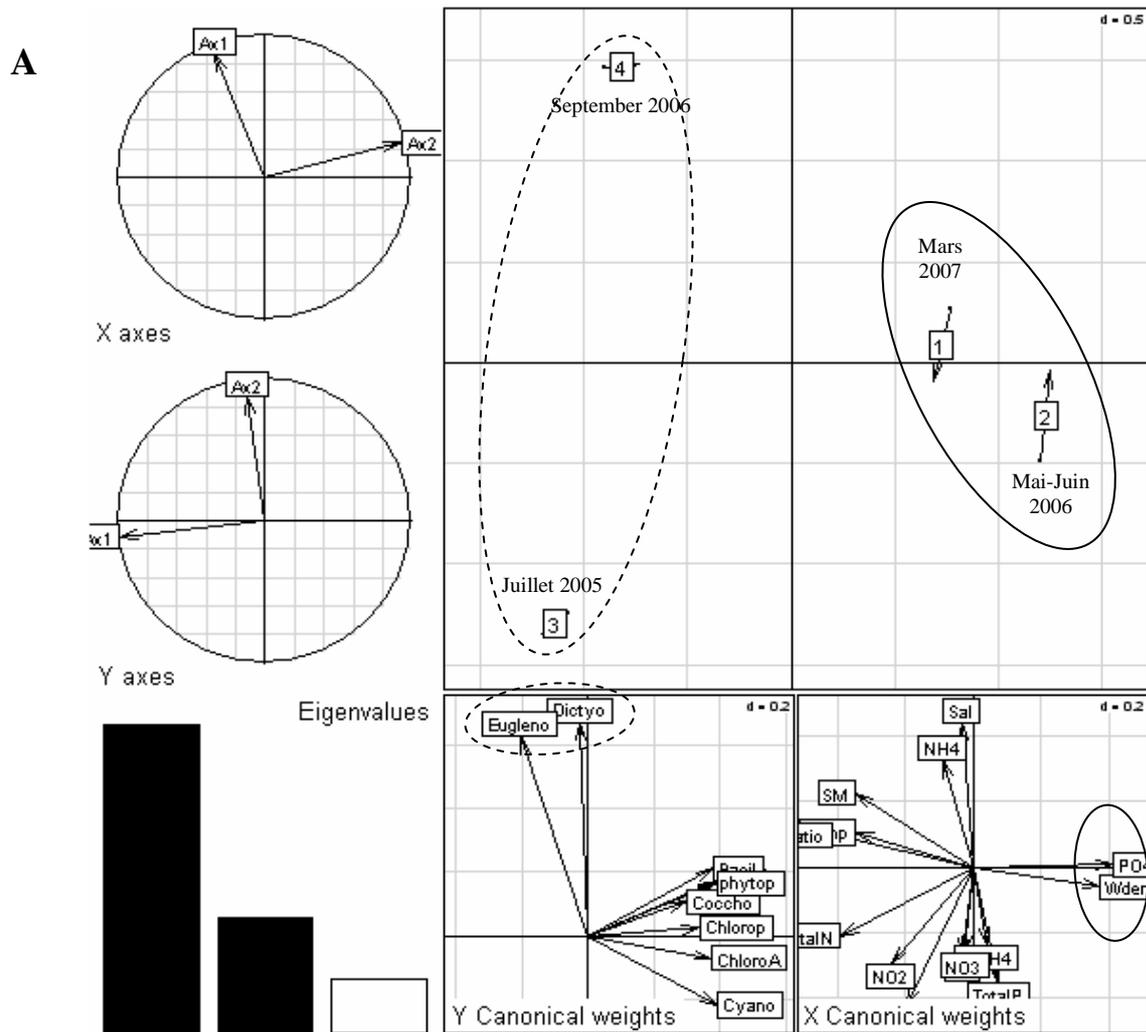
Les dinoflagellés sont présents à chaque niveau de la colonne d'eau dans les régions côtières et océaniques (Fig. 29). Les kystes de dinoflagellés sont détectés pendant les quatre périodes d'échantillonnage représentant entre 5 à 12% de l'abondance totale du phytoplancton avec un maximum enregistré au cours de la période de stratification en mois de Juillet (Tableau 10). Les diatomées, quand elles sont présentes sont réparties sur toute la colonne d'eau mais ne représentent pas une nette distribution verticale. La dominance des cyanobactéries pendant les mois de Mai-Juin et Juillet, est probablement favorisée par la présence d'une thermocline située entre 20 et 25m. Les dictyochophycées sont apparus seulement en Juillet 2005 et sont représentés par une seule espèce *Dictyocha fibula* (41% de la communauté totale du phytoplancton) qui est exclusivement côtière et distribuée sur toute la colonne d'eau. Les autres groupes tels que les euglénophycées, les coccolithophoridées et les chlorophycées présentent les plus faibles abondances sur toute la colonne d'eau durant toutes les différentes périodes d'études (Fig. 28A, 29). L'étude de la structure du peuplement phytoplanctonique en se basant sur l'indice de diversité ( $H'$ ) a montré que la diversité spécifique diminue selon un gradient côte-large pendant les mois de Mai-Juin et Mars, tandis que pendant la période de stratification thermique correspondant aux mois de Juillet et de Septembre, l'indice de diversité spécifique le plus important est enregistré aussi bien au niveau de la côte qu'en pleine mer (Fig. 30). L'abondance du phytoplancton la plus élevée est enregistrée dans les régions côtières pendant les mois de Mai-Juin ( $10,58 \times 10^4$  cellules.  $l^{-1}$ ), de Juillet ( $8,31 \times 10^4$  cellules.  $l^{-1}$ ) et en Septembre ( $5,05 \times 10^4$  cellules.  $l^{-1}$ ). En outre, l'abondance et la biomasse totale du phytoplancton sont plus corrélées au niveau des régions côtières qu'en pleine mer (Fig. 30). Une corrélation significative a été enregistrée entre l'abondance et la biomasse du phytoplancton dans les régions côtières pendant le mois de Mai-Juin 2006 ( $r = 0,970$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 28).

◆ Abondance du phytoplancton total    ○ Biomasse du phytoplancton total    × Indice de diversité (H')

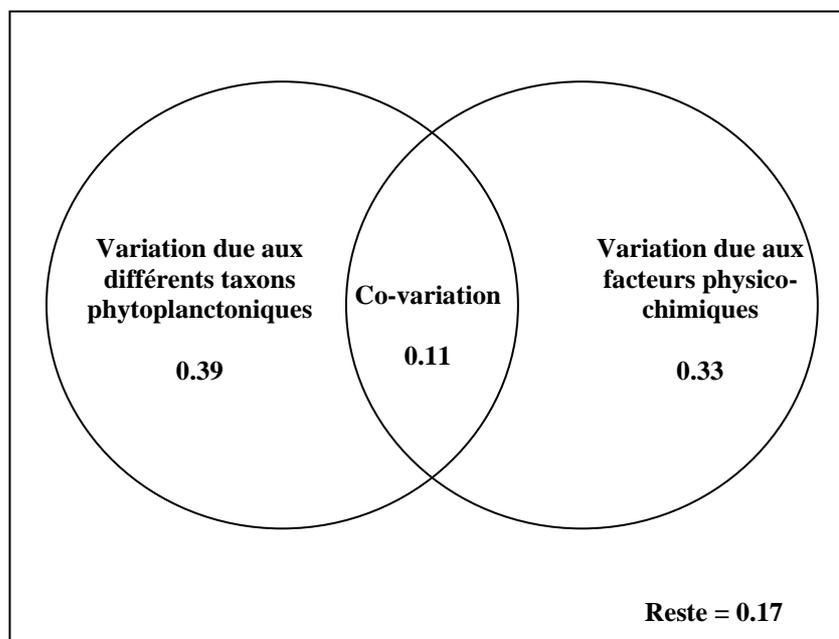


**Figure 30.** Distribution verticale, spatiale et temporelle de l'abondance du phytoplancton total de la biomasse du phytoplancton total et de l'indice de diversité (H') dans les zones côtières et océaniques du golfe de Gabès entre 2005 et 2007

L'analyse de la co-inertie illustre les variations intra et interannuelles en visualisant les relations proches entre la composition de la communauté du phytoplancton et les caractéristiques abiotiques de la colonne d'eau au cours des quatre périodes d'études (Fig. 31A). Le modèle de la co-inertie a expliqué 83% de la totalité des variables en utilisant un test de permutation et une probabilité  $p = 0,25$  et 1000 répliquas. Cette variation est due à la différence de composition phytoplanctonique durant les quatre périodes d'échantillonnage représentant 39% et 33% dérivent de la variabilité des paramètres physico-chimiques (Fig. 31B). Les périodes d'études correspondant aux mois de Mai-Juin et de Mars ont montré des liens étroits entre la densité de l'eau et les concentrations en phosphate en tant que paramètres abiotiques et la composition en phytoplancton caractérisé par le groupe des diatomées autour de l'axe Y comme paramètre biotique (Fig. 31B). En revanche, pendant les mois de Juillet et Septembre, cet axe met en relief la différence en ce qui concerne la composition en nombre de dictyochophycées et d'euglénophycées qui sont inversement proportionnelles durant ces deux périodes d'études.



**B**



**Figure 31.** Analyse de la co-inertie des paramètres abiotiques et biotiques au niveau du golfe de Gabès entre 2005 et 2007

### II.2.2.2. Discussion

L'étude de la dynamique du phytoplancton en relation avec les paramètres physico-chimiques entre 2005 et 2007 pendant les quatre campagnes océanographiques réalisées au niveau du golfe de Gabès a montré des fluctuations temporelles. En particulier, la campagne de Juillet 2005 a été effectuée un an plus tôt que les autres campagnes printanière et hivernale. Néanmoins, les caractéristiques physiques de l'eau sont tout à fait semblables à celle du mois de Septembre et, en plus, ce mois constitue la période de transition printemps - été avec l'apparition de la stratification thermique. En ce qui concerne les éléments nutritifs, la disponibilité des éléments azotés observés pendant les mois de Juillet et de Mai-Juin est semblable avec une nette dominance du nitrate par rapport à l'ion ammonium. D'ailleurs, la faible concentration en phosphate enregistrée pendant le mois de Juillet est similaire à celle enregistrée en Septembre. Si nous supposons que la campagne de Juillet constitue la charnière entre les périodes de Mai-Juin et de Septembre, nous pouvons dire que le phosphate est le premier élément limitant dans le golfe de Gabès, comme le confirme le rapport N/P qui est élevé pendant la période de stratification thermique qui s'est produite en mois Juillet et de Septembre. En plus, les concentrations élevées en chlorophylle *a* ont été enregistrées pendant la période de transition de la colonne d'eau entre la stratification thermique et les conditions de brassages, et cela se manifeste au cours du mois de Mai-Juin. Au cours de cette période, la concentration en chlorophylle *a* est corrélée positivement avec celle du phosphate aussi bien au niveau des régions côtières ( $r = 0,798$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 28) que des régions océaniques ( $r = 0,830$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 28). Ceci suggère que la biomasse du phytoplancton est strictement dépendante de la disponibilité de cet élément au cours de la période du développement du phytoplancton. En effet, à travers de ces résultats, on peut prévoir que le phosphate est l'élément qui limite la croissance du phytoplancton durant la saison estivale dans la mer méditerranéenne, comme il était déjà suggéré dans le bassin occidental (Berland et al., 1980; Thingstad et al., 1998; Marty et al., 2002) et dans le bassin oriental de la mer Méditerranée (Krom et al., 1991). Le maximum de la concentration en chlorophylle *a* est observé pendant le mois de Mai-Juin au large du golfe de Gabès à une profondeur de 40 m. Il est associé d'une part à une disponibilité importante en nitrate et en phosphate sur toute la colonne d'eau (Fig. 27), et qui d'autre part est principalement associé à une prédominance des dinoflagellés. Ceci suggère que ce groupe pourrait être aussi "opportuniste" que les diatomées qui exigent une concentration importante en éléments nutritifs. A cette même profondeur de la colonne d'eau, les dinoflagellés sont distingués par une abondance élevée de *Peridinium*, *Karlodinium* et de *Gyrodinium*. Il est rapporté que ces genres du phytoplancton exigent une disponibilité élevée

en élément phosphaté pour leurs développement (Satsmadjis et Friligos, 1983; Costas et Lopez-Rodas, 1991). En plus, dans le golfe de Tunis, malgré que la concentration en phosphate est importante et la concentration en azote est faible, les genres de *Gyrodinium* et de *Gymnodinium* sont très abondantes (Daly-Yahia et al., 2005). Ces derniers suggèrent que la prolifération des dinoflagellés au niveau de la couche caractérisée par un maximum de chlorophylle *a* est principalement due à la disponibilité du phosphate.

Nos résultats montrent que les diatomées sont dominantes quand la colonne d'eau est caractérisée par un brassage des eaux ayant des densités différentes et préférentiellement pendant les conditions de semi-mélanges, principalement dans les régions côtières. D'autres études ont montré que la plupart des blooms de diatomées sera établie pendant la période de transition entre les conditions de brassage et de stratification, représentant la bonne combinaison entre la disponibilité des éléments nutritifs et la lumière (Claustre et al., 1994b; Bustillos-Guzman et al., 1995). Cette manifestation a été également décrite pendant le début de la stabilité de la colonne d'eau qui s'est produite entre la fin de l'hiver et le début du printemps dans divers écosystèmes marins, et qui est associée aussi à la prédominance des diatomées (Margalef et Castellvi, 1967; Lévy et al., 1998). Cependant, au cours de la période de transition, les diatomées sont presque absentes au niveau des régions océaniques, et principalement au niveau du maximum de chlorophylle *a* (Fig. 29). Cette observation pourrait être expliquée par les faibles teneurs en silices (Fig. 27) qui sont au dessous de la constante de semi-saturation pour l'incorporation de la silice par les diatomées (Fisher et al., 1988) ( $K_m = 1 \text{ à } 5 \mu\text{mol l}^{-1}$ ). Les cyanobactéries prolifèrent au cours des conditions de semi-mélanges pendant le mois de Mai-Juin dans les régions océaniques à 20 m, et au cours de la période de stratification en mois de Juillet au niveau de la thermocline, à 25 m de profondeur (Fig. 29A, B). Plusieurs études ont montré que les cyanobactéries se développent intensivement durant les conditions de stratifications thermiques au niveau des régions océaniques (Neveux et al., 1989; Campbell et Vaulot, 1993; Claustre et Marty, 1995; Jacquet et al., 1998b). Aussi, une occurrence préférentielle des cyanobactéries a été mentionnée pendant les conditions de semi-mélange au niveau des régions côtières du nord du bassin occidental de la mer Méditerranée (Bustillos-Guzman et al., 1995; Marty et al., 2002).

L'étude de la distribution verticale et horizontale du phytoplancton au niveau du golfe de Gabès entre 2005 et 2007 a montré que les dinoflagellés sont présents à chaque niveau de la colonne d'eau aussi bien dans les régions côtières qu'océaniques (Fig. 28, 29), confirmant l'ubiquité remarquable de ce groupe qui peut s'adapter à une gamme étendue de conditions hydrographiques. En particulier, leurs présences à chaque niveau de la colonne d'eau peuvent

être expliqués par le fait que les dinoflagellés sont favorisés par rapport aux autres groupes phytoplanctoniques par "leurs pouvoir de mobilité" leur permettant de franchir tous les niveaux de la colonne d'eau. L'ubiquité des flagellés (y compris les dinoflagellés) sur toute la colonne d'eau a été déjà rapportée dans le bassin oriental de la mer d'Alborane (Claustre et al., 1994b) et dans le golfe de Gabès (Bel Hassen et al., 2008). Contrairement à cette omniprésence des dinoflagellés, les cyanobactéries ont été localisées au niveau de la thermocline des régions océaniques (Fig. 29A, B). En fait, les espèces enregistrées sont généralement des grands procaryotes filamenteux tels que *Anabaena* et *Peusodoanabaena*, qui pouvaient surmonter les pertes de sédimentation dans des conditions de stratifications thermiques. La présence des cyanobactéries à -25 m est associée à des concentrations importantes en nitrate (Fig. 27) ( $r = 0,312$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 31), suggérant que cet élément nutritif joue un rôle important dans leur distribution verticale. La diminution de l'abondance et de la biomasse du phytoplancton, selon un gradient côte-large pendant les mois de Mars (conditions de mélanges) et de Mai-Juin (début de la stratification) est due à une nette dominance des diatomées de grandes tailles contribuant à une importante biomasse au niveau des régions côtières (Fig. 28, 29). Par contre, au large une nette abondance du phytoplancton observée durant la période de stratification, est associée à la présence des cellules de petites tailles telles que *Navicula* présentant en moyenne une longueur de  $25 \pm 13 \mu\text{m}$  (Fig. 28B). Des études récentes ont montré que le phytoplancton du large est majoritairement dominé par le plancton de petite taille (c'est-à-dire les flagellés), tandis que, la côte est dominée par des cellules de grandes tailles comme les diatomées (Malone, 1971). Notre étude utilisant la technique du HPLC, a montré que les nano et les picoplanctons nommés les chlorophytes et prasinophytes contribuent à l'augmentation de la biomasse autotrophe globale, pendant le mois de Juillet 2005 au niveau du golfe de Gabès (Bel Hassen et al., 2008). En plus, l'augmentation de la concentration des matières en suspension (MES) en pleine mer pendant la période de stratification au mois de Septembre est fortement liée à la concentration en chlorophylle *a* ( $r = 0,326$ ;  $p < 0,05$ ; d.d.l. = 32), suggérant que les MES pourraient être composées par une fraction importante de détritiques organiques, qui sont fortement élaborés suite à un phénomène de broutage. Cette suggestion peut être envisagée puisque l'on observe des concentrations élevées en ammonium (Fig. 27) qui sont associées à une faible quantité d'oxygène dissoute (Fig. 26C), qui sont probablement issues de la dégradation de la matière organique par les organismes microbiens qui libèrent de l'ammonium (Kirchman et al., 1989). Ces observations sont en accord avec le modèle proposé par Fogg (1991), dans lequel le

contrôle de la biomasse pour le phytoplancton de petite taille peut être réalisé par les brouteurs et plus probable à partir de la boucle microbienne.

L'étude de la variabilité interannuelle de la composition du phytoplancton au niveau du golfe de Gabès entre 2005 et 2007 a montré que bien que les conditions hydrologiques sont tout à fait semblables pendant les mois de Juillet et de Septembre concernant le phénomène de la stratification thermique et les caractéristiques physiques de l'eau, la communauté du phytoplancton est caractérisée par les dictyochophycées en mois de Juillet, et les euglénophycées en mois de Septembre (Fig. 31B). Ces différences entre les deux périodes d'échantillonnage sont observées principalement au niveau des régions côtières du à une prolifération intense de l'espèce *Dictyocha fibula* contribuant elle seule à 41% de l'abondance du phytoplancton total en mois de Juillet. Cette espèce est observée également dans plusieurs autres écosystèmes côtiers, tels que la baie de Ville-Franche (Gomez et Gorsky, 2003), la baie de Mersine (Eker et Kideys, 2000), les côtes Pacifique de la Mexique (Hernandez-Becerril et Bravo-Sierra, 2001) et au Nord Pacifique (Onodera et Takahashi, 2005), où cette espèce co-existe avec *Dictyocha californica*. La distribution des dictyochophycées est strictement dépendante de la température (Gomez et Gorsky, 2003). Cependant, dans notre zone d'étude, la différence de la température des eaux de surface au niveau de la côte entre les mois de Septembre et de Juillet est de 1 °C (Fig. 26A), ainsi cela n'est pas suffisant pour expliquer nos résultats à par le fait que les zones côtières sont "plus fragiles" à n'importe quel facteur externe.

### II.2.2.3. Conclusion

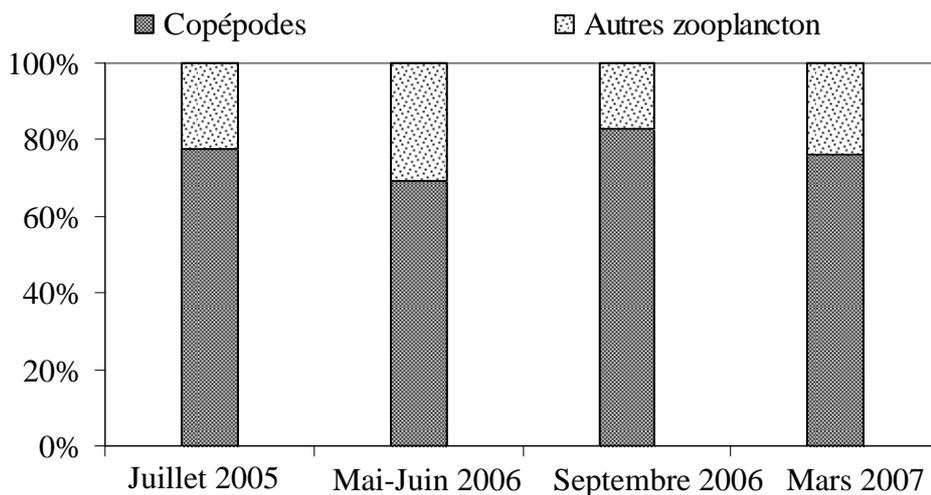
Cette étude montre la relation qui existe entre les structures hydrographiques, à partir des conditions de mélange à la stratification complète, et la distribution spatiale et temporelle de la communauté de microphytoplancton au niveau du golfe de Gabès. Les diatomées prolifèrent principalement durant les conditions de semi-mélanges, et leurs présences au niveau des régions océaniques est associée à une disponibilité en silice. Les cyanobactéries sont présentes principalement durant les conditions de semi-mélanges et quand une thermocline est établie. Les dinoflagellés semblent être le groupe le plus stable en terme d'abondance, pouvant s'adapter à plusieurs conditions hydrographiques.

## II.2.3. Variation spatio-temporelle du peuplement zooplanctonique en relation avec les conditions hydrologiques

### II.2.3.1. Dynamique de la communauté zooplanctonique

L'étude qualitative du zooplancton durant les quatre campagnes a montré la présence de 22 groupes zooplanctoniques composés essentiellement par les copépodes et les autres zooplanctons représentés par 21 groupes (lamellibranches, néogastéropodes, cladocères, tintinnides, appendiculaires...). Les copépodes montrent une richesse spécifique la plus importante (49 espèces) (Tableau 11). Les différentes espèces de copépodes répertoriées sont réparties en 19 familles (Acartiidées, Centropagidées, Temoridées, Pontellidées, Magacalanidées, Stephidées, Paracalanidées, Eucalanidées, Oithonidées, Calanidées, Candaciidées, Euchaetidées, Platycopiidées, Euterpinadées, Ectinosmatidées, Clymnestridées, Aegisthidées, Corycaeidées, Oncaeidées) dérivant de 4 ordres différents à savoir les Calanoïdes, les Cyclopoïdes, les Harpacticoïdes et les Poecilostomatoides (Tableau 11).

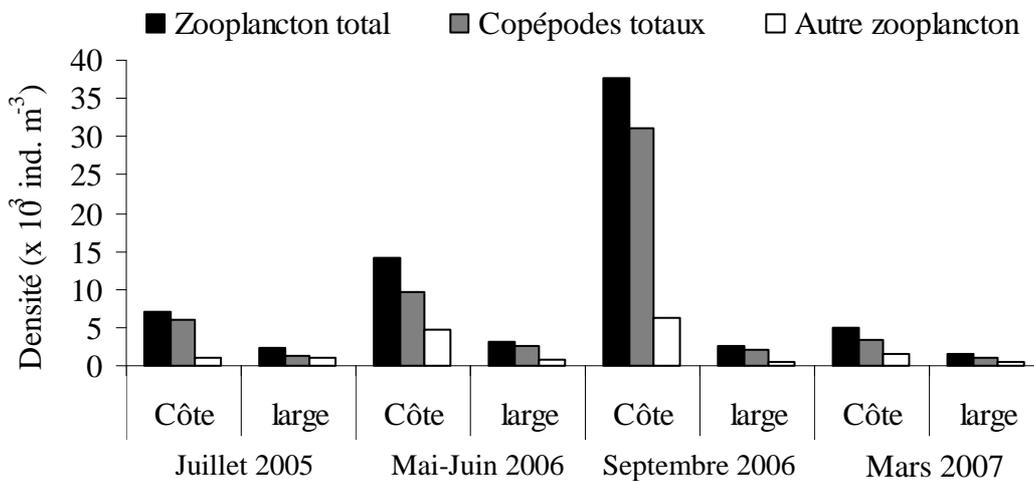
L'étude quantitative du zooplancton durant la période d'étude a montré une nette dominance des copépodes par rapport aux autres zooplanctontes totaux. L'abondance des copépodes varie de 69 à 83% qui est enregistré pendant les mois de Mai-Juin 2006 et Septembre 2006 respectivement (Fig. 32). L'abondance correspondante aux autres zooplanctons est maximale au mois de Mai-Juin 2006 représentant 31% de l'abondance total (Fig. 32).



**Figure 32.** Abondance relative des copépodes totaux et des autres zooplanctontes par rapport au zooplancton total dans le golfe de Gabès durant quatre campagnes d'échantillonnage

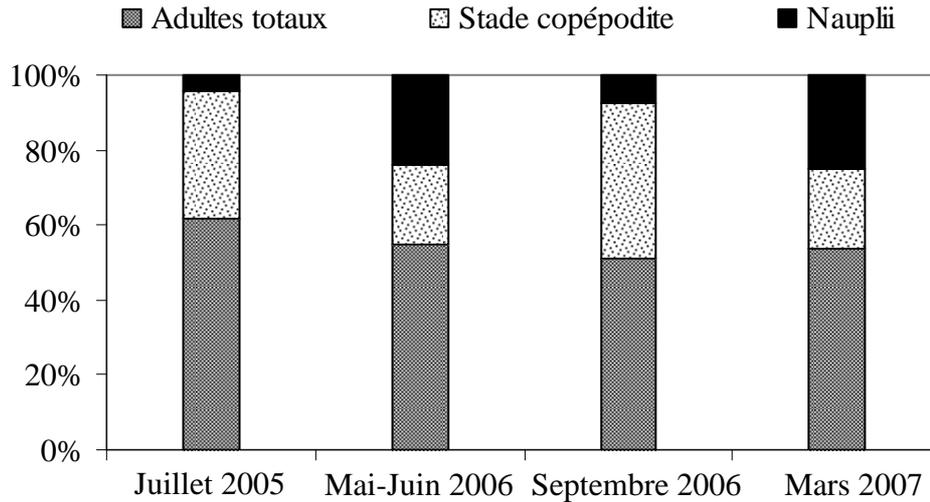
L'étude de la distribution spatio-temporelle du zooplancton total (copépodes + autres zooplancton) au niveaux des régions côtières et océaniques du golfe de Gabès, a montré que

la majorité de la densité zooplanctonique est exclusivement côtière durant toute les périodes d'échantillonnage (Fig. 33). La plus importante densité ( $37,53 \times 10^3$  ind.  $m^{-3}$ ) a été enregistrée pendant le mois de Septembre 2006 au niveau de la côte alors que la plus faible est observée pendant le mois de Mars au large ( $1,53 \times 10^3$  ind.  $m^{-3}$ ). La distribution spatiale de la densité des copépodes et des autres zooplanctons a montré que les copépodes sont dominants aussi bien aux zones néritiques qu'océaniques (Fig. 33). La densité des autres zooplanctons, qui est moins importante que celle des copépodes, est comprise entre un minimum de  $0,41 \times 10^3$  ind.  $m^{-3}$  observé au large pendant le mois de Mars 2007 et la plus importante fraction des autres zooplanctons est enregistrée au niveau de la zone côtière au mois de Septembre 2006 ( $6,3 \times 10^3$  ind.  $m^{-3}$ ) (Fig. 33).



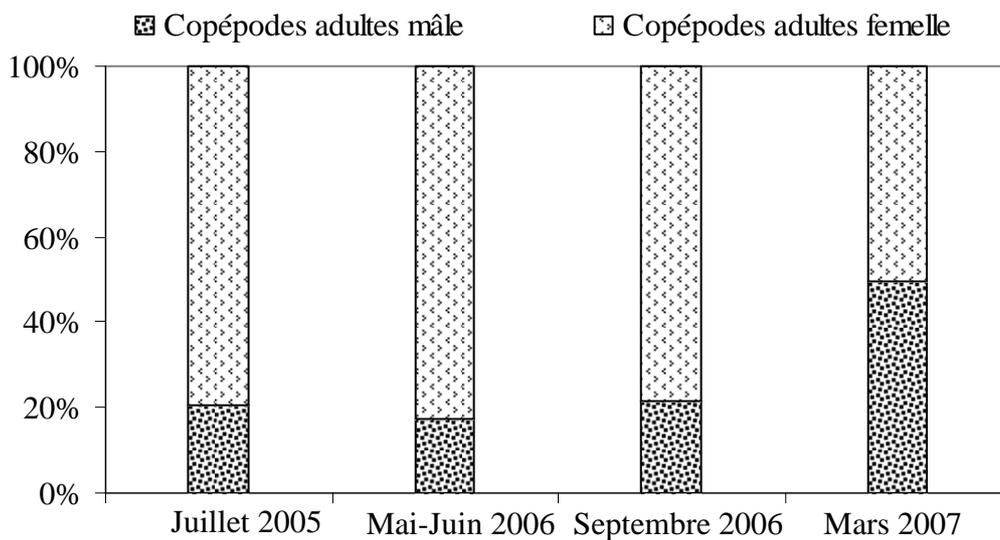
**Figure 33.** Variation spatio-temporelle de la densité des zooplanctons totaux, des copépodes et des autres zooplanctons dans les régions côtières et océaniques du golfe de Gabès durant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

La répartition spatiale de l'abondance relative des différents stades de développement des copépodes totaux a montré une nette dominance des adultes par rapport aux stades copépodites et nauplii. Les adultes représentent une abondance qui varie de 52 à 62% et sont observés respectivement aux mois de Septembre 2006 et Juillet 2005. Les deux autres stades de développement des copépodes; présentent des abondances qui varient entre 21 et 41% pour les copépodites et entre 2 et 25% pour les nauplii par rapport aux copépodes totaux (Fig. 34).



**Figure 34.** Abondance relative des différents stades de développement des copépodes (nauplii, copépodites et adultes)

L'étude de l'abondance des copépodes mâles et des femelles a montré que les femelles sont dominantes par rapport aux mâles durant toute la période d'étude à l'exception du mois de Mars 2007 (Fig. 35). Cependant, durant les mois de Juillet 2005, Mai-Juin 2006 et Septembre 2006 les abondances des femelles par rapport aux mâles sont supérieures à 78%. Alors qu'au mois de Mars 2007 une nette co-dominance entre les femelles et les mâles a été observée dont chacun représente 50% par rapport aux copépodes totaux (Fig. 35).



**Figure 35.** Abondance relative des copépodes mâles et femelles

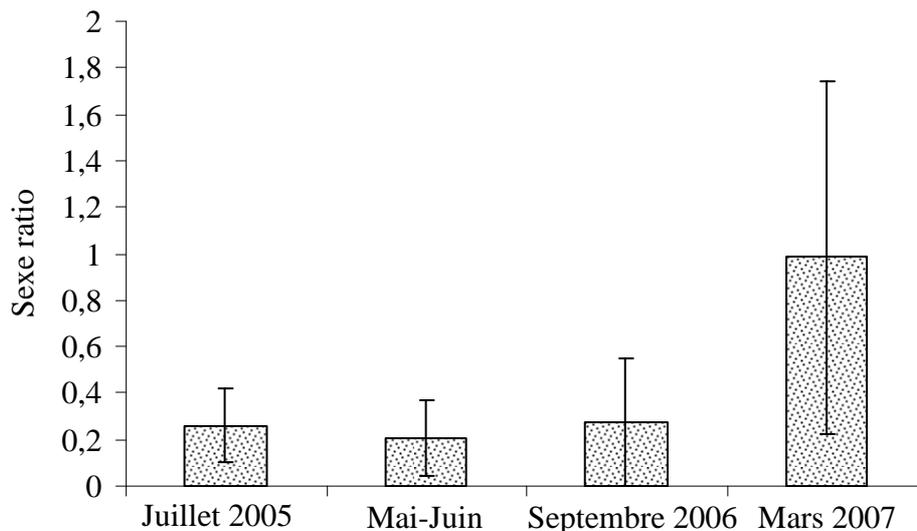
**Tableau 11.** Liste qualitative du peuplement zooplanctonique établie dans le golfe de Gabès durant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

Règne	Embranchement	S/Embranchement	Classe	S/Classe	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Animal	Arthropodes	Crustacés		Copepoda	Calanoïdes	Acartiidées	<i>Acartia</i>	<i>italica</i> <i>subtilis</i> <i>clausi</i> <i>grani</i> <i>latisetosa</i> <i>discaudata</i> <i>adriatica</i> <i>bifilosa</i>
						Centropagidées	<i>Centropages</i>	<i>kröyeri</i> <i>typicus</i> <i>hamatus</i> <i>chierchiae</i>
						Temoridées	<i>Temora</i>	<i>longicornis</i> <i>stylifera</i>
						Pontellidées	<i>Labidocera</i>	<i>wallostoni</i> sp.
							<i>Anomalocera</i>	<i>patersoni</i>
						Magacalanidées	<i>Megacalanus</i>	<i>princeps</i> <i>longicornis</i> <i>minor</i>
						Stephidées	<i>Stephos</i>	<i>marsalensis</i>
						Paracalanidées	<i>Parocalanus</i>	<i>parvus</i>
						Eucalanidées	<i>Rhincalanus</i>	sp.

					Calanidées	<i>Néocalanus</i>	<i>minor</i>
					Candaciidées	<i>Candacia</i>	<i>elongata</i>
					Euchaetidées	<i>Euchaeta</i>	<i>hebes</i>
Animal	Arthropodes	Crustacés		Copepoda	Platycopiidées	<i>Platycopia</i>	<i>pygmoea</i>
					Oithonidées	<i>Oithona</i>	<i>nana</i>
							<i>helgolandica</i>
							<i>plumifera</i>
							<i>similis</i>
							<i>robusta</i>
					Harpacticoïdes	Euterpinadées	<i>Euterpina</i>
						Ectinosmatidées	<i>Microsetella</i>
							<i>acutifrons</i>
							<i>rosea</i>
							<i>norvegica</i>
						Clymnestridées	<i>Clytemnestra</i>
						Aegisthidées	<i>Aegisthus</i>
					Poecilostomatoides	Corycaeidées	<i>Corycaeus</i>
							<i>clausi</i>
							<i>speciosus</i>
							<i>rostrata</i>
							<i>carainata</i>
							<i>limbatus</i>
							<i>latus</i>
							<i>Coryocella</i>
							<i>rostrata</i>
							<i>carainata</i>
						Oncaeidées	<i>Oncaea</i>
							<i>mediterranea</i>
							<i>conifera</i>
							<i>notopus</i>
							<i>rapex</i>
			Malacostracés	Eumalacostracés	Décapodes		
			Branchiopodes	Cladocères			

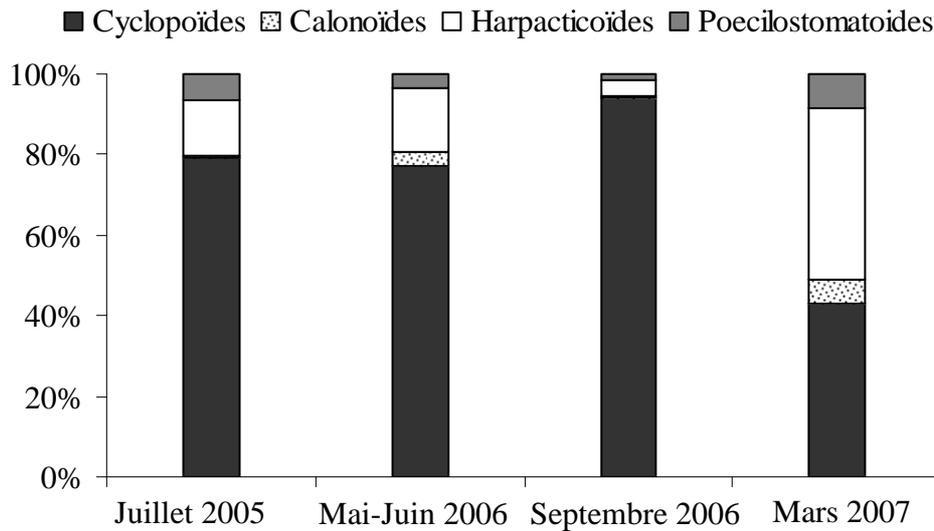
	Rotifères			Cirripède	Larve de Cirripède		
				Malacostracés	Eumalacostracés	Mysidacés	
				Ostracoda			
	Annélides		Polychète	Larve d'annélide polychète			
	Mollusques		Lamellibranches				
			Bivalves				
			Larve véligère de gastéropode				
	Cnidaires		Hydrozoa				
			Hydrozoa	Leptolinae	Siphonophore	Calycophore	
	Chordatés	Urochordatés	Thaliacea		Doliolida		
	Vertébrés		Larve de poisson				
		Urocordés	Appendiculaires				
Protistes	Ciliés				Tintinnides		
					Peritriches	Vorticellidées	Vorticella
	Actinopodes		Rhizopodes	Radiolaires			
			Acanthaires				

L'étude du sexe ratio durant toute la période d'étude a montré que ce rapport augmente graduellement en allant de Juillet 2005 pour atteindre son maximum au mois de Mars 2007 qui est de l'ordre de 0,98 (~1) montrant que les mâles représentent des abondances similaires à celle des femelles et où on enregistre un taux masculinité de 49,56% qui est le plus important durant toute la période d'étude. Par contre, durant toute l'autre période ce rapport est quasiment faible et ne dépasse pas 0,27 (< 1) qui montre que ce rapport est en faveur des femelles et avec un taux de masculinité faible (compris entre 20,70 et 21,47%) (Fig. 36).



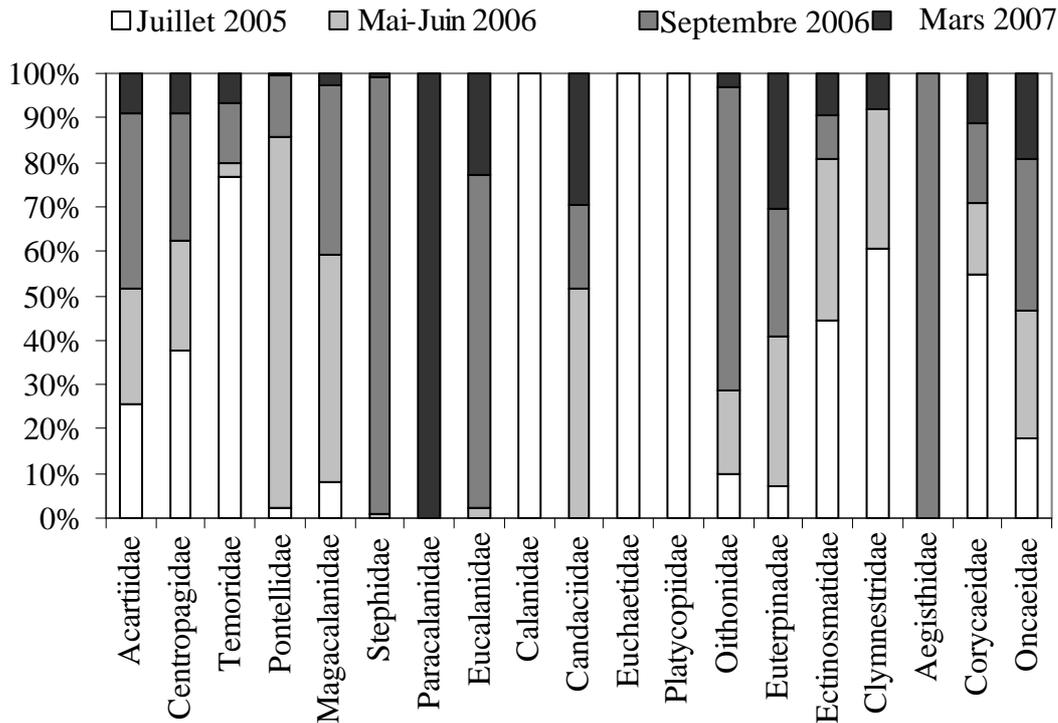
**Figure 36.** Répartition du sexe ratio durant les quatre périodes d'études dans le golfe de Gabès (zones côtières et océaniques confondues) entre 2005 et 2007

L'étude de la variation spatio-temporelle de l'abondance relative des quatre différents ordres de copépodes dans le golfe de Gabès durant les quatre périodes d'échantillonnage a montré que les cyclopoïdes, sont dominants durant les périodes de Juillet 2005, Mai-Juin 2006 et Septembre 2006 par rapport aux autres ordres, contribuant ainsi à 80, 77 et 95% de l'abondance des copépodes totaux, respectivement. Alors que pendant le mois de Mars 2007 on enregistre une co-dominance entre les cyclopoïdes et les harpacticoïdes représentant chacun 43% de l'abondance totale des copépodes (Fig. 37).



**Figure 37.** Variation de l'abondance relative moyenne des différents ordres de copépodes dans le golfe de Gabès (zones côtières et océaniques confondues) entre 2005 et 2007

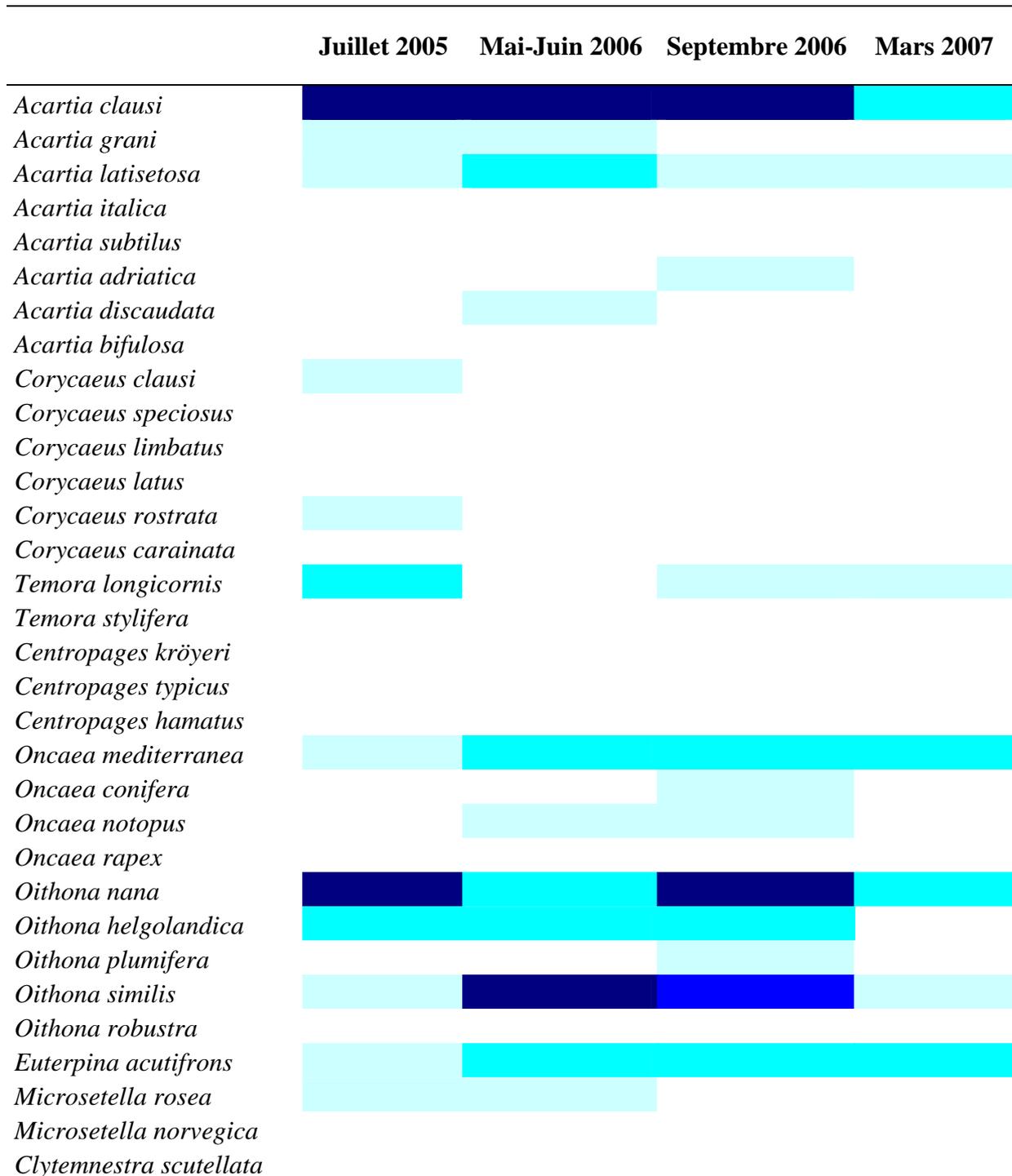
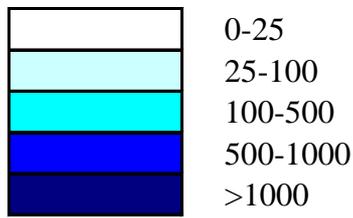
L'abondance relative des différentes familles des copépodes est variable durant les quatre périodes d'étude. En effet, le mois de Juillet 2005 est caractérisé par la présence des familles des Calanidées, Euchaetidées et Platycopiidées qui sont omniprésentes pendant cette période suivies des Temoridaées, Clymnestrinidées et Corycaeidées dont leurs contributions varient entre 50 et 75%. Par contre, on note une absence totale de la famille des Stephidées, qui caractérise plutôt le mois de Septembre 2006, où elle présente 98,3% au cours de cette période. Durant cette période, la famille des Stephidées est représentée par une seule espèce *Stephos marsalensis* représentant une forte densité qui peut atteindre ( $6,3 \times 10^3$  ind.  $m^{-3}$ ) (Tableau 12). Aussi, cette période est caractérisée par la présence des Aegisthidées, Oithonidées, Magacalanidées et Acartiidées. Par contre, la période de Mai-Juin est majoritairement caractérisée par deux familles les Pontellidées et les Candaciidées. Le mois de Mars 2007 est marqué par une seule famille qui est la famille des Paracalanidées caractérisant seulement cette période et elle est quasiment absente pendant les autres périodes d'étude (Fig. 38).



**Figure 38.** Abondance relative des différentes familles des copépodes dans le golfe de Gabès (zones côtières et océaniques confondues) durant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007.

Le mois de Juillet 2005 est caractérisé par la dominance des espèces *Acartia clausi*, *Oithona nana* et *Temora longicornis* avec des densités de l'ordre de  $1,3$ ;  $1,1$  et  $0,41 \times 10^3$  ind.  $m^{-3}$ , respectivement (Fig. 39A). Alors que la période de Mai-Juin 2006 est caractérisée par *Oithona similis*, *Acartia clausi*, *Oithona nana*, *Euterpina acutifrons*, *Acartia latisetosa*, *Oncaea mediterranea* et *Megalanus princeps*, avec des densités respectives de  $2,02$ ;  $1,00$ ;  $0,44$ ;  $0,40$ ;  $0,32$ ;  $0,13$ ;  $0,08 \times 10^3$  ind.  $m^{-3}$  (Fig. 39B). La période de Septembre 2006 est caractérisée par une nette dominance de *Oithona nana*, *Stephos marsalensis*, *Acartia clausi*, *Oithona similis* et *Euterpina acutifrons* représentant respectivement  $8,8$ ;  $6,3$ ;  $2,1$ ;  $0,9$ ;  $0,3 \times 10^3$  ind.  $m^{-3}$  (Fig. 39C). Pendant le mois de Mars 2007, on distingue la dominance de *Oithona nana*, *Acartia clausi*, *Euterpina acutifrons*, *Oncaea mediterranea* et *Acartia latisetosa* avec des densités de l'ordre de  $392$ ;  $384$ ;  $353$ ;  $108$  et  $95,6$  ind.  $m^{-3}$ , respectivement (Tableau 12, Fig. 39D). On remarque que l'espèce *Oithona nana* est omniprésente durant toutes les périodes d'études et dont le paroxysme a été enregistré durant le mois de Septembre 2006.

**Tableau 12.** Liste quantitative des espèces copépodique et leurs densités moyenne (ind. m<sup>-3</sup>) établie dans le golfe de Gabès (zones côtières et océaniques confondues) durant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007



<i>Megacalanus princeps</i>	
<i>Megacalanus longicornis</i>	
<i>Megacalanus minor</i>	
<i>Anomalocera patersoni</i>	
<i>Labdocera wallosi</i>	
<i>Labdocera</i> sp.	
<i>Néocalanus minor</i>	
<i>Euchaeta hebes</i>	
<i>Platycopia pygmoea</i>	
<i>Candacia elongata</i>	
<i>Rhinocalanus</i> sp.	
<i>Stephos marsalensis</i>	  
<i>Aegisthus aculeatus</i>	
<i>Parocalanus parvus</i>	

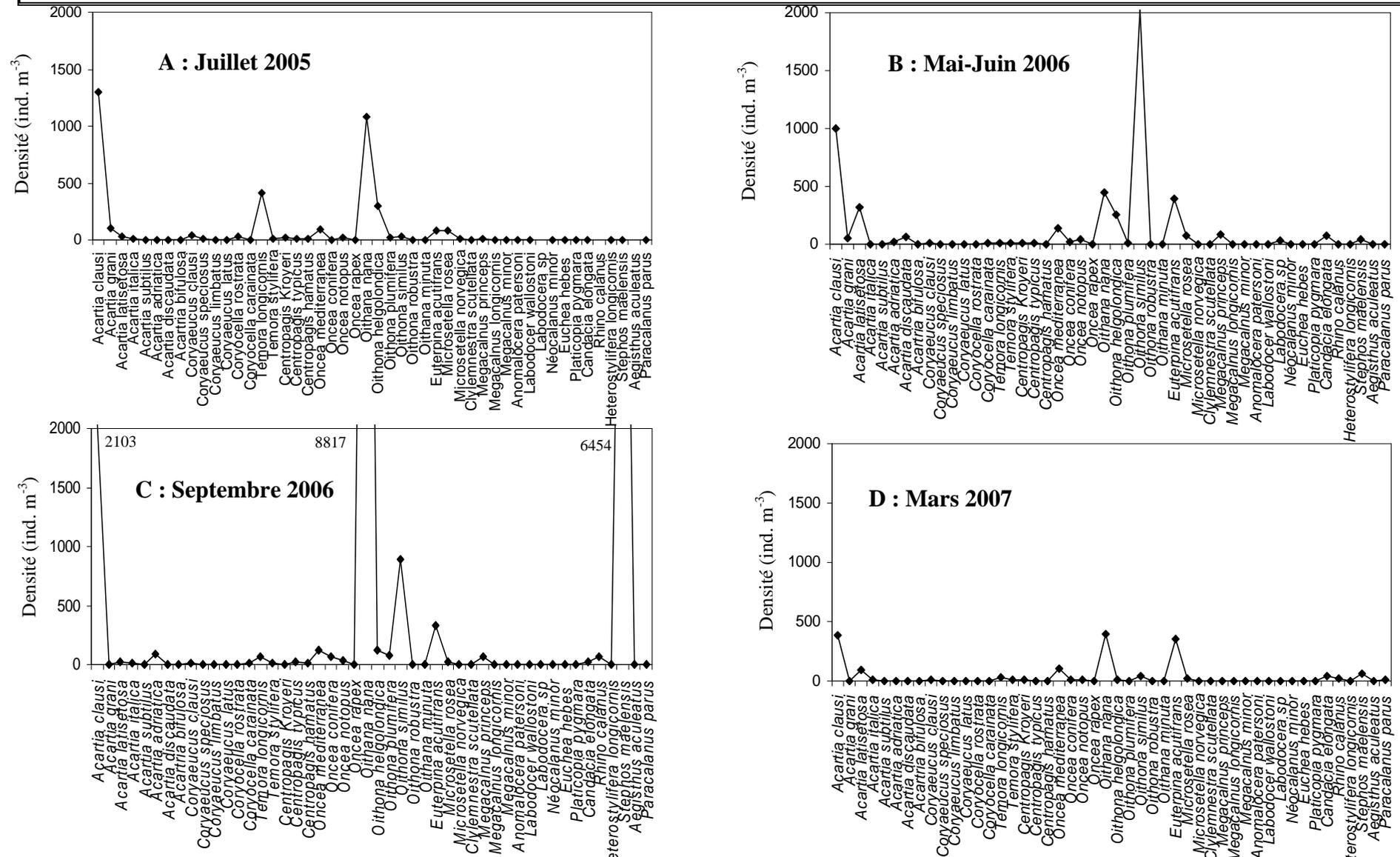
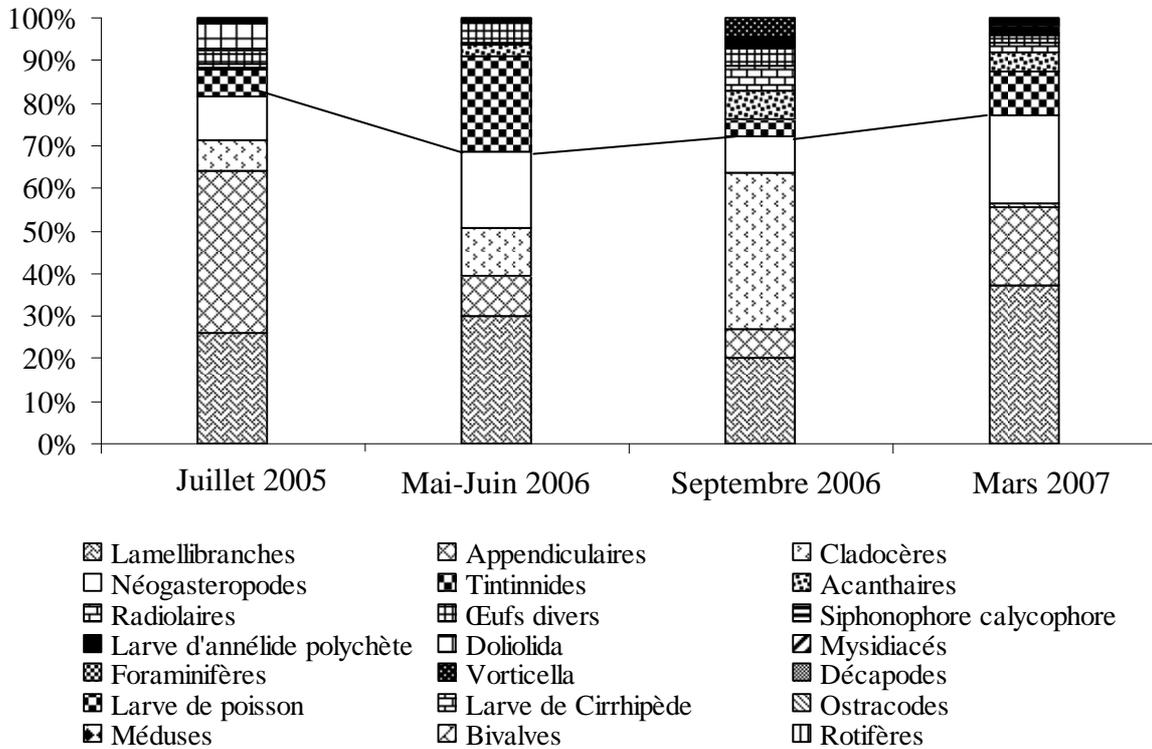


Figure 39. Densité des différentes espèces copépodique durant les quatre périodes d'échantillonnage (A) Juillet 2005, (B) Mai-Juin 2006, (C) Septembre 2006 et (D) Mars 2007 dans le golfe de Gabès

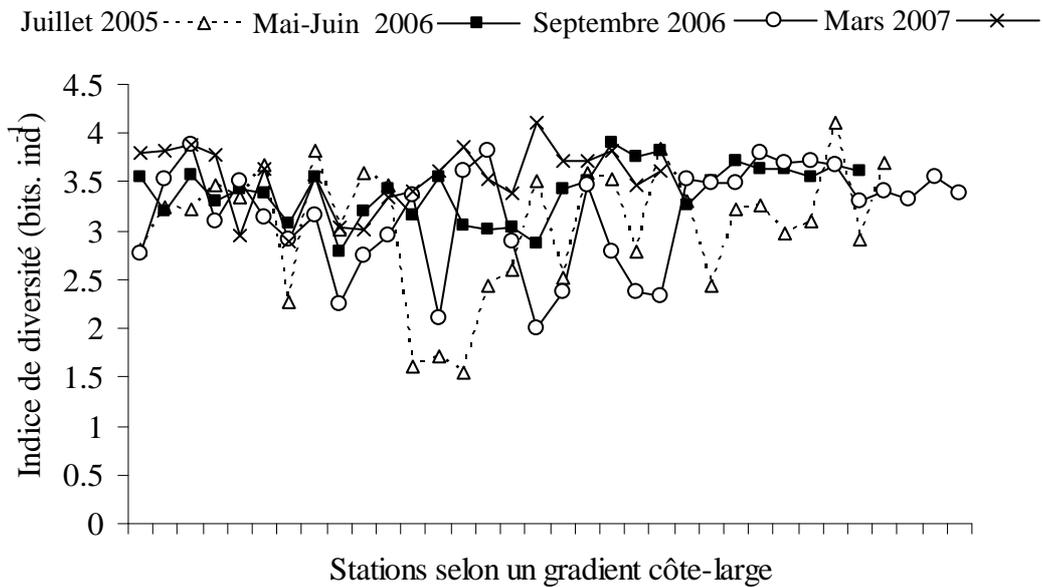
En ce qui concerne les autres zooplanctons, la répartition spatio-temporelle de l'abondance relative des différents groupes a montré la présence de 21 différents groupes dont les lamellibranches, les appendiculaires, les cladocères et les néogastéropodes sont les plus dominants représentant une abondance comprise entre 68 et 82% du total "des autres zooplanctons" (Fig. 40).



**Figure 40.** Abondance relative des différents groupes "des autres zooplanctons" dans le golfe de Gabès entre 2005 et 2007

L'étude de la variation spatiale de l'indice de diversité selon un gradient côte-large durant chaque période d'étude a montré que les valeurs de cet indice présentent des fluctuations plus importantes au mois de Juillet 2005 qui varient de 1,54 à 4,09 bits. ind<sup>-1</sup>. Ce minimum de H' (1,54 bits. ind<sup>-1</sup>) qui est enregistré aux niveaux des régions côtières indique qu'à ce niveau, il y a une faible richesse spécifique et une importante dominance d'espèces. On remarque aussi, que pendant cette période, les plus fortes valeurs de cet indice sont enregistrées au niveau des régions océaniques. La même constatation a été observée pendant la période de Septembre 2006 avec une faible fluctuation par rapport au mois de Juillet 2005. Contrairement aux deux autres mois précédents, l'indice de diversité H' présente une distribution presque homogène sur toute la zone d'étude au cours des périodes de Mai-Juin

2006 et il reste stable aussi bien dans la côte qu'au large de la zone d'étude pendant le mois de Mars 2007 (Fig. 41).



**Figure 41.** Répartition spatiale de l'indice de diversité spécifique des peuplements zooplanctoniques selon un gradient côte-large dans le golfe de Gabès durant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

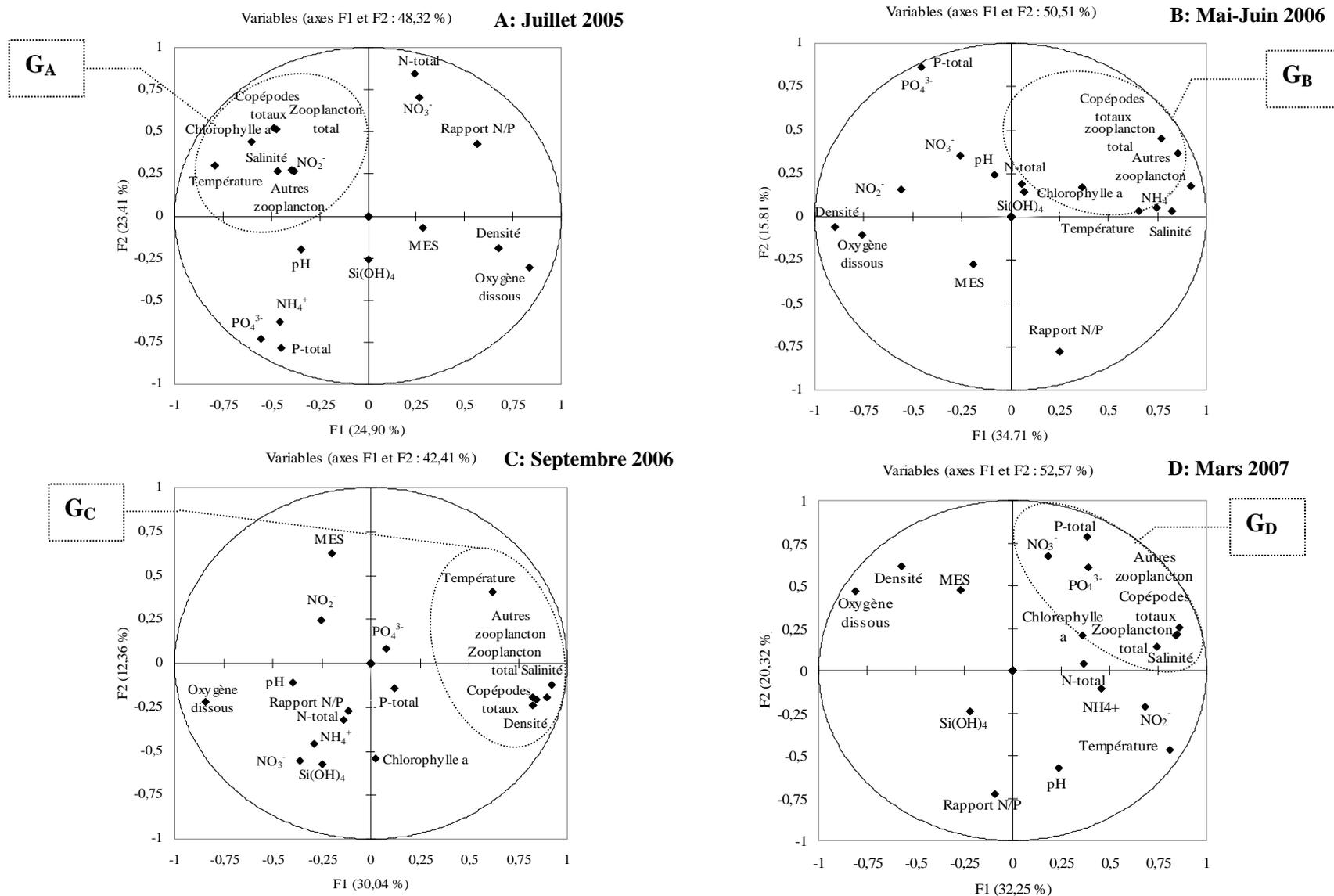
L'analyse en composante principale (ACP) du zooplancton total y compris les copépodes et les autres zooplanctons en relation avec les différents facteurs abiotiques a été réalisée pour chaque période d'étude. En effet, pendant le mois de Juillet 2005, l'axe F1 et F2 (Fig. 42A) expliquant 48,32% de la variance. F1 sélectionne positivement le groupe  $G_A$  qui est composé essentiellement des copépodes, du zooplancton total et des autres zooplanctons qui sont fortement corrélés avec la concentration de la chlorophylle  $a$  qui est exclusivement côtière expliquant respectivement les corrélations suivantes ( $r = 0,704$ ;  $p < 0,0001$ ), ( $r = 0,712$ ;  $p < 0,0001$ ) et ( $r = 0,375$ ;  $p < 0,05$ ) (Tableau 13). Aussi, le zooplancton total est corrélé significativement avec la salinité ( $r = 0,371$ ;  $p < 0,05$ ). De même, la salinité est positivement corrélée avec les copépodes et les autres zooplanctons ( $0,363$ ;  $p < 0,05$ ) ( $0,278$ ;  $p < 0,05$ ) respectivement (Tableau 13).

L'ACP effectuée au mois de Mai-Juin 2006 (Fig. 42B), dont l'axe F1 expliquant 34,71% des variables totaux, sectionne positivement le groupe  $G_B$  qui est essentiellement constitué par le zooplancton total, chlorophylle  $a$  comme paramètres biotiques et l'azote-total, silice, température et la salinité comme paramètres abiotiques. Aussi, des corrélations importantes entre le zooplancton total, les copépodes et les autres zooplanctons ont été révélés avec la

distribution de la teneur en ion ammonium ( $r = 0,653$ ;  $p < 0,0001$ ), ( $r = 0,584$ ,  $p < 0,05$ ) et ( $r = 0,708$ ;  $p < 0,0001$ ) respectivement.

A travers l'analyse de l'ACP des paramètres abiotiques et biotiques de la campagne réalisée au mois de Septembre 2006 (Fig. 42C), on remarque que l'axe F1, représentant 30,4% des variables totales, sélectionne positivement le groupe  $G_C$  qui regroupe le zooplancton, les copépodes et les autres zooplanctons dont leurs distributions sont strictement dépendantes de la densité de l'eau, de la température et de la salinité (Tableau 13). Les autres zooplanctons sont fortement corrélés avec la salinité ( $r = 0,645$ ;  $p < 0,0001$ )

L'ACP effectuée sur les données du mois de Mars a montré que les axes F1 et F2 expliquant 52,7% des variables, sélectionnent positivement le groupe  $G_D$  qui est constitué du zooplancton total, des copépodes et des autres zooplanctons qui sont fortement dépendant de la distribution de la chlorophylle  $a$ , la concentration en phosphate total, du nitrate, de l'orthophosphate et de la salinité. Le zooplancton (copépodes + autres) est positivement corrélés avec la salinité ( $r = 0,658$ ;  $p < 0,05$ ) et la densité de l'eau ( $r = 0,658$ ;  $p < 0,05$ ) mais négativement corrélé avec la quantité d'oxygène dissoute ( $r = -0,515$ ;  $p < 0,05$ )



**Figure 42.** L'analyse en composantes principales (ACP) réalisée en se basant sur l'abondance du zooplancton total, des copépodes et des autres zooplanctons en relation avec les facteurs abiotiques dans le golfe de Gabès durant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

**Tableau 13.** Test de corrélation Pearson entre les divers paramètres abiotiques et le zooplancton total, les copépodes et les autres zooplanctons dans le golfe de Gabès durant les quatre périodes d'échantillonnage (A) Juillet 2005, (B) Mai-Juin 2006, (C) Septembre 2006 et (D) Mars 2007 dans le golfe de Gabès (\*  $p < 0,05$ ; \*\*\*  $p < 0,0001$ )

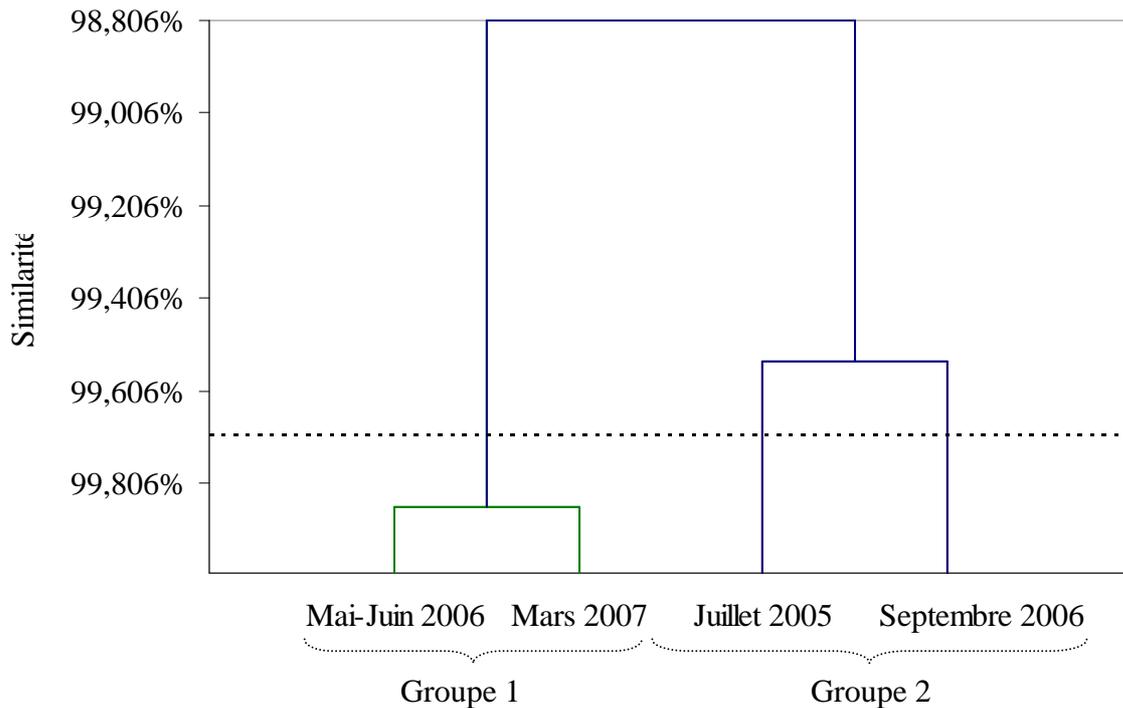
Variables testées	(A) Juillet 2005		
	Copépodes totaux	Autres zooplancton	Zooplancton total
Température	0,314	0,306	0,323
Salinité	<b>*0,363</b>	<b>*0,278</b>	<b>*0,371</b>
Densité de l'eau	-0,070	-0,175	-0,075
Oxygène dissous	-0,313	-0,295	-0,321
Chlorophylle <i>a</i>	<b>***0,704</b>	<b>*0,375</b>	<b>***0,712</b>
pH	-0,099	-0,017	-0,099
MES	-0,101	-0,218	-0,108
Si(OH) <sub>4</sub>	-0,256	-0,126	-0,259
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,221	0,219	0,227
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,097	0,137	0,101
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0,272	0,177	-0,264
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,017	0,009	0,017
N-total	0,144	0,113	0,147
P-total	-0,001	-0,002	-0,001
Rapport N/P	-0,071	-0,005	-0,070
	(B) Mai-Juin 2006		
	Copépodes totaux	Autres zooplancton	Zooplancton total
Température	<b>*0,446</b>	<b>0,611</b>	<b>*0,525</b>
Salinité	<b>*0,545</b>	<b>***0,743</b>	<b>*0,640</b>
Densité de l'eau	<b>*-0,510</b>	<b>-0,604</b>	<b>*-0,565</b>
Oxygène dissous	<b>*-0,586</b>	<b>***-0,752</b>	<b>***-0,671</b>
Chlorophylle <i>a</i>	<b>*0,428</b>	0,269	<b>0,386</b>
pH	0,025	-0,079	-0,013
MES	-0,232	-0,242	-0,245
Si(OH) <sub>4</sub>	-0,013	-0,002	-0,009
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-0,307	<b>*-0,440</b>	<b>*-0,369</b>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,039	-0,078	-0,055
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<b>*0,584</b>	<b>***0,708</b>	<b>***0,653</b>
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,002	-0,285	-0,104
N-total	0,084	0,155	0,114
P-total	0,001	-0,286	-0,105
Rapport N/P	-0,106	0,143	-0,018
	(C) Septembre 2006		
	Copépodes totaux	Autres zooplancton	zooplancton total
Température	<b>*0,464</b>	<b>0,462</b>	<b>*0,465</b>
Salinité	<b>*0,599</b>	<b>***0,645</b>	<b>*0,609</b>
Densité de l'eau	-0,243	-0,216	-0,239
Oxygène dissous	<b>*-0,465</b>	<b>*-0,464</b>	<b>*-0,466</b>
Chlorophylle <i>a</i>	0,213	<b>*0,340</b>	0,235
pH	0,027	0,022	0,027
MES	-0,178	-0,154	-0,175
Si(OH) <sub>4</sub>	-0,150	-0,164	-0,153
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<b>*0,387</b>	<b>*0,409</b>	<b>*0,392</b>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,218	0,264	0,226

NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,265	0,294	0,270
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,323	<b>*0,357</b>	0,329
N-total	<b>*0,368</b>	<b>*0,427</b>	<b>*0,379</b>
P-total	<b>*0,391</b>	<b>*0,432</b>	<b>*0,399</b>
Rapport N/P	-0,066	-0,085	-0,069

(D) Mars 2007

	Copépodes totaux	Autres zooplancton	Zooplancton total
Température	0,310	0,307	0,317
Salinité	<b>*0,633</b>	<b>*0,666</b>	<b>*0,658</b>
Densité de l'eau	<b>*0,632</b>	<b>*0,667</b>	<b>*0,658</b>
Oxygène dissous	<b>*-0,499</b>	<b>*-0,512</b>	<b>*-0,515</b>
Chlorophylle <i>a</i>	0,019	0,111	0,044
pH	-0,058	-0,036	-0,054
MES	-0,118	-0,200	-0,143
Si(OH) <sub>4</sub>	-0,108	-0,023	-0,088
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-0,287	-0,205	-0,272
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,246	-0,252	-0,254
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0,139	-0,069	-0,124
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-0,144	-0,065	-0,127
N-total	-0,175	-0,217	-0,191
P-total	0,142	0,143	0,146
Rapport N/P	-0,025	-0,097	-0,045

L'analyse en dendrogramme confirme d'avantage nos précédentes constatations. En effet, ce test statistique montre le pourcentage de similarité entre les différentes périodes d'échantillonnage en ce qui concerne les paramètres abiotiques et biotiques a montré que les quatre périodes d'études sont fortement semblables montrant une similarité de 98,8%. Mais cela n'empêche pas de faire la distinction entre deux groupes (Fig. 43). Un premier groupe qui est constitué principalement par les campagnes de Mai-Juin 2006 et Mars 2007 montrant une forte similarité de 99,9% qui tous les deux sont définies par un brassage de la colonne d'eau caractérisant ainsi la période automnale. Alors que, le deuxième groupe qui est formé par les deux périodes d'études (Juillet 2005 et Septembre 2006) montrant une similarité de 99,5%. La colonne d'eau est caractérisée par une stratification thermique qui distingue la saison estivale ou on a noté les plus fortes densités du zooplancton y compris les copépodes et les autres zooplanctons (Fig.33; Fig. 43).



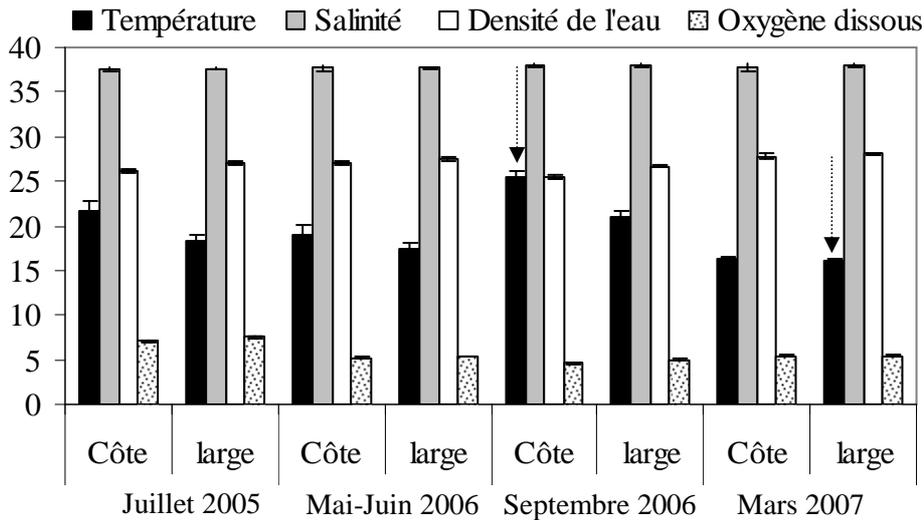
**Figure 43.** L'analyse en dendrogramme des différents périodes d'échantillonnage dans le golfe de Gabès durant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

### II.2.3.2. Discussion

La variation spatio-temporelle de la communauté zooplanctonique en relation avec les facteurs environnementales est très recommandée dans les écosystèmes marins (Colebrook, 1978, 1985; Fernandez de Puellas et al., 2003a) notamment pour les copépodes. Durant toute la période d'étude, les copépodes (du stade nauplius au stade adulte) constituent le mésozooplancton majeur dans le golfe de Gabès représentant des abondance qui varient entre 69 et 83% du zooplancton total. La dominance des copépodes a été déjà signalée dans plusieurs travaux effectués que se soit en Tunisie dans la baie de Tunis (Daly-Yahia et al., 2004; Annabi-Trabelsi et al., 2005) ou dans d'autres pays de la mer Méditerranée avec une abondance comprise entre 40 et 90% (Lam-Hoai et Amanieu, 1989; Benbakta, 1994; Chiahou, 1997; Calbet et al., 2001; Youssara et Gaudy, 2001; Lam-Hoi et Rougier, 2001; Gaudy et al., 2003; Fernandez de Puellas et al., 2003a; Kovalev et al., 2003; Riandey, et al., 2005; Mercado et al., 2007). De même, les copépodes sont aussi très répandus dans d'autres écosystèmes marins tels que la mer Adriatique (Krsinc et al., 2007), dans les eaux temporaires provençales et courses (Champeau, 1970) et dans l'estuaire de Mondego (Ouest de la Portugal; Vieira et al., 2003). En général, il est connu que les copépodes planctoniques représentent une biomasse importante dans les écosystèmes aquatiques côtières (Vieira et al., 2003; Ara, 2004; Lo et al., 2004; Rezai et al., 2004; Osore et al., 2004; Silva et al., 2004;

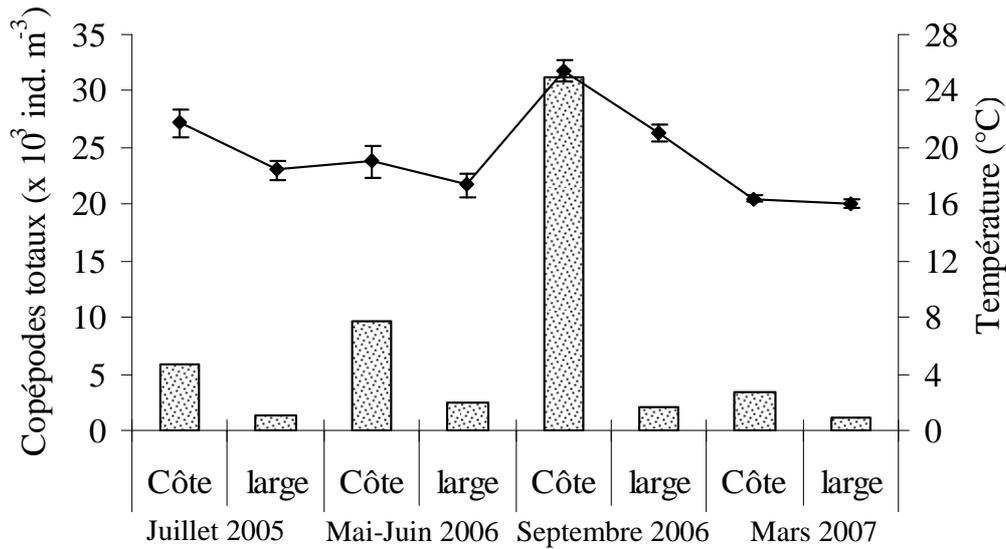
Somoue et al., 2005; Rakesh et al., 2006). Dans le golfe de Gabès et durant les différentes périodes d'échantillonnage, 4 ordres de copépodes ont été signalés à savoir les calanoïdes, les cyclopoïdes, les harpacticoïdes et les poecilostomatoides. Ces quatre différents ordres sont également observés dans d'autres régions méditerranéennes telles que la Baie de Tunis (Daly-Yahia et al., 2004); la lagune Nord de Tunis (Annabi-Trabelsi et al., 2005) et aussi dans d'autres écosystèmes marins à part la Méditerranée tels que le Canal de Luzon (Taiwan; Hwang et al., 2007). La densité maximale du zooplancton et des copépodes en particulier a été enregistrée au niveau de la côte pendant la saison estivale (Juillet 2005, Mai-Juin 2006 et Septembre 2006). Ceci corrobore avec d'autres travaux effectués durant toute une année dans la Méditerranée qui ont montré que le maximum de la densité zooplanctonique a été observé durant les saisons printanière et estivale au niveaux des zones côtières (Kovalev et al., 2003). En effet, la fluctuation de l'abondance zooplancton est plus importante au niveau de la côte qu'au niveau du large (Kovalev et al., 2003). En plus, la reproduction des copépodes pélagiques constitue un indicateur physiologique appréciable pour la qualité des eaux (Paffenhöfer et Knowles, 1978, Souissi et al., 2008). De ce fait, le suivie de leurs variations au sein d'un écosystème marin peut nous renseigner sur le transfert d'énergie le long de la chaîne trophique (Lee et al., 2003).

En général, il est connu que la répartition du zooplancton, notamment les copépodes, est trop dépendante de la qualité hydrologique de l'eau (c'est-à-dire l'état de stratification thermique, le brassage hydrologique et la transition entre ces deux états) (Halsband-Lenk et al., 2002; Fernandez et al., 2003a, 2007; Souissi et al., 2008; Molinero et al., 2008). Ces mouvements hydrologiques sont essentiellement gérés par des facteurs physiques tels que la température et la salinité qui sont les facteurs principaux affectant la répartition et la dynamique des copépodes (Regner, 1985; Roy, 1992; Sioukou-Frangou, 1996; Christou, 1998; Calbet et al., 2001; Youssara et Gaudy, 2001; Kovalev et al., 2003; Chiba et Saino, 2003; Vieira et al., 2003, Fernandez de Puellas et al., 2003a; Riandey, et al., 2005). Au sein de cette présente étude, la distribution spatio-temporelle des moyennes des paramètres physiques mesurés (Température, salinité, Oxygène dissous et la densité de l'eau) a montré que la température est le seul paramètre présentant une relation étroite avec la fluctuation de la densité des copépodes par comparaison aux autres paramètres (Fig. 44, 45).



**Figure 44.** Répartition spatio-temporelle des moyennes des paramètres physiques mesurés (Température, salinité, Oxygène dissous et la densité de l'eau) au niveau de la côte et au large du golfe de Gabès pendant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

En effet, la température constitue un paramètre physique crucial vu son influence et sa relation étroite avec la dynamique et la distribution du zooplancton, particulièrement sur les copépodes agissant ainsi sur le taux de leur reproduction et leur prolifération (Abou Debs et Nival, 1983; Kovalev, 1988; Ban, 1994; Kovalev et al., 2003; Fernandez de Puellas et al., 2003a; Devreker et al., 2005; Cartes et al., 2007; Souissi et al., 2008) et aussi dans la régulation de leur métabolisme (Hirche et al., 1997). Dans le golfe de Gabès, on remarque que les densités moyennes les plus importantes des copépodes ont été observées dans les régions côtières aux mois de Juillet 2005, Mai-Juin 2006 et surtout pendant le mois de Septembre 2006 où on a noté le maximum de densité ( $37,53 \times 10^3 \text{ ind. m}^{-3}$ ). Ce maximum coïncide avec les températures moyennes les plus importantes ( $25,5^\circ\text{C}$ ), montrant ainsi que ce paramètre a un effet direct sur la distribution et la reproduction des copépodes (Fig. 45). Ceci est confirmé par une corrélation positive significative entre les moyennes des densités des copépodes et les valeurs de la température ( $r = 0,797$ ;  $p < 0,05$ ). De plus, au cours de ces trois périodes (Juillet 2005, Mai-Juin 2006 et Septembre 2006) la colonne d'eau est caractérisée par une stratification thermique qui a commencé pendant le mois de Mai-Juin 2006 pour atteindre un maximum de stratification pendant le mois de Septembre 2006 (voir II.2.1).

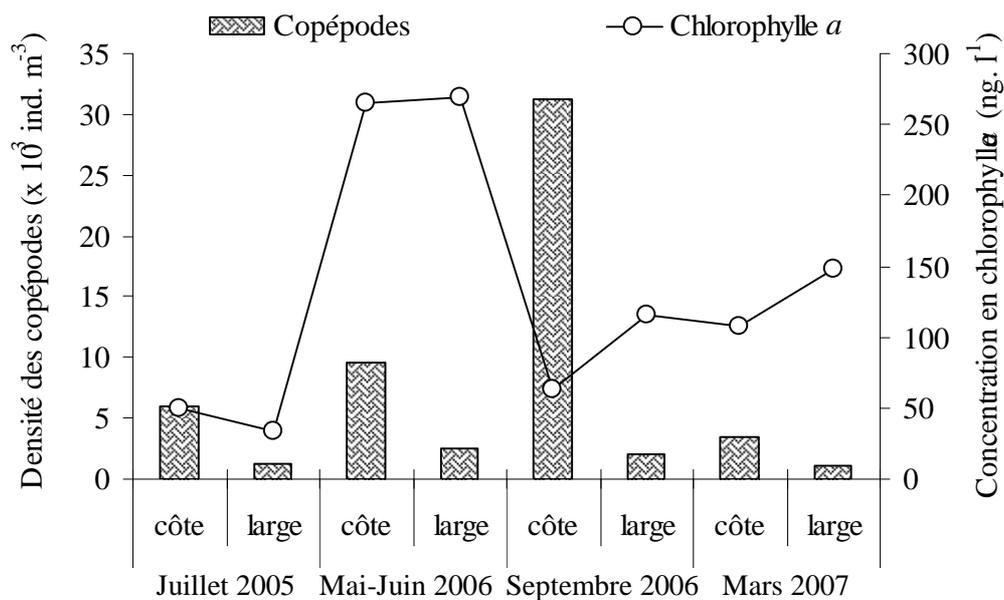


**Figure 45.** Répartition spatio-temporelle des moyennes de la densité des copépodes et de la température dans la côte et au large du golfe de Gabès pendant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

Nos résultats corroborent avec ceux obtenus par Fernandez de Puelles et al. (2007) qui ont montré que dans la mer Balearique (West de la Méditerranée), quand une thermocline s'est établie, une augmentation de la densité zooplanctonique se manifeste (Fernandez de Puelles et al., 2007). Par contre, une diminution progressive du zooplancton total se déclenche plus quand les températures baissent et la stratification thermique disparaît (Fernandez de Puelles et al., 2003a). La même constatation est aussi observée pendant le mois de Mars 2007 où la température moyenne diminue ( $16^{\circ}\text{C}$ ), la thermocline disparaît et remplacée par un brassage de la colonne d'eau caractéristique de la saison hivernale. En fait, durant la période de forte stratification, la majorité des copépodes sont capables de maintenir leurs biomasses vis-à-vis à la disponibilité de la nourriture (Fernandez de Puelles et al., 2007) contrairement au monde phytoplanctonique qui sont peu abondants dans les régions du large stratifiées (Drira et al., 2008a et b). Contrairement à nos résultats et ceux réalisés dans d'autres aires de la mer Méditerranée, dans d'autres zones tropicales et subtropicales, la température a un effet négatif sur les copépodes (Williamson, 2000). En effet, quand la température augmente, une importante stratification se produit enregistrant ainsi une faible production du zooplancton (Williamson, 2000; Fernandez de Puelles et al., 2007). En plus, il est évident que le microzooplancton constitue le composant majeur pour le régime alimentaire des copépodes dans les eaux oligotrophes (Dam et al., 1993; Roman et Gauzens, 1997; Hernandez-Leon et al., 2002). Ces résultats ont été aussi confirmés par d'autres travaux

ultérieurs réalisés au niveau du golfe de Gabès pendant une campagne estivale (Drira et al., 2007a). Nous avons montré que les copépodes, présente une corrélation positive avec le phytoplancton total et avec quelques groupes algaux (Drira et al., 2007a). De plus, une faible corrélation a été détectée entre l'abondance des copépodes totaux et celle des tintinnides, (représentant 1 % du zooplancton total). Cela est probablement due à la pression de prédation et/ou de compétition exercée par les copépodes sur les tintinnides (Drira et al., 2007a).

En plus de ces facteurs abiotiques (la salinité et la température), les facteurs biotiques tels que le phytoplancton et la teneur en chlorophylle *a* peuvent aussi influencer la répartition spatiale et temporelle des copépodes (Kovalev et al., 2003; Vieira et al., 2003; Devreker et al., 2005). Dans cette présente étude, la distribution de la communauté zooplanctonique notamment les copépodes est exclusivement côtière. Malgré que cette distribution côtière des copépodes, il a une corrélation négative avec la teneur en chlorophylle *a* dont les fortes concentrations ont été enregistrées aussi au niveau des zones côtières ( $r = -0,183, p < 0,05$ ) (Fig. 46).

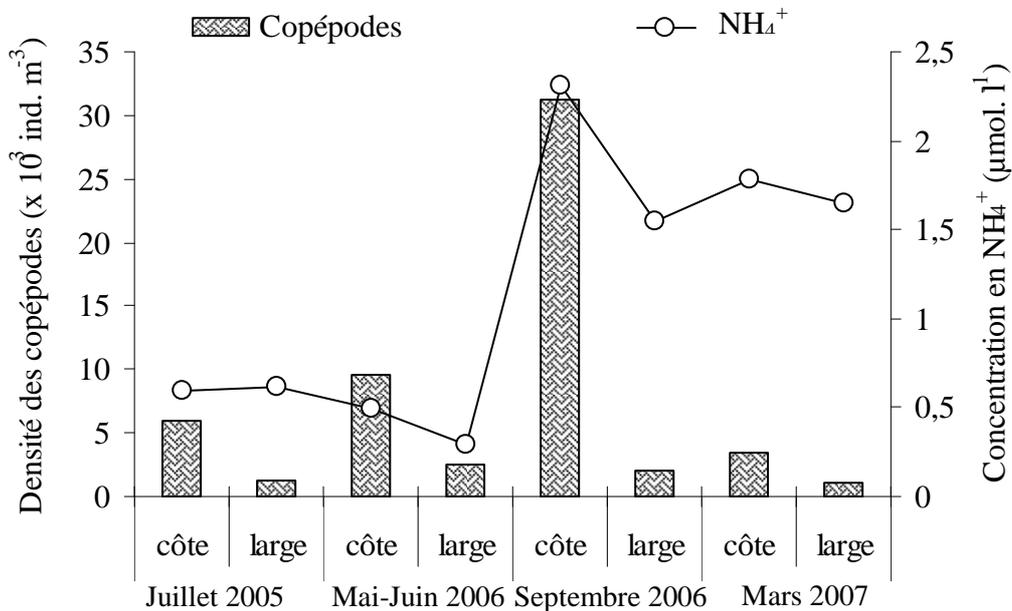


**Figure 46.** Répartition spatio-temporelle des moyennes de la densité des copépodes et la teneur en chlorophylle *a* au niveau de la côte et au large du golfe de Gabès pendant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

Ceci pourrait être expliqué par le fait que la densité des copépodes est contrôlée par les prédateurs mais dépend aussi des teneurs en chlorophylle *a* (Annabi-Trabelsi et al., 2005). En plus, un potentiel effet de prédation exercé par les copépodes omnivores sur le monde phytoplanctonique peut être lieu (Drira et al., 2007b). Contrairement à nos résultats, dans le golfe de Tunis et pendant une saison estivale-printanière, une importante température a été

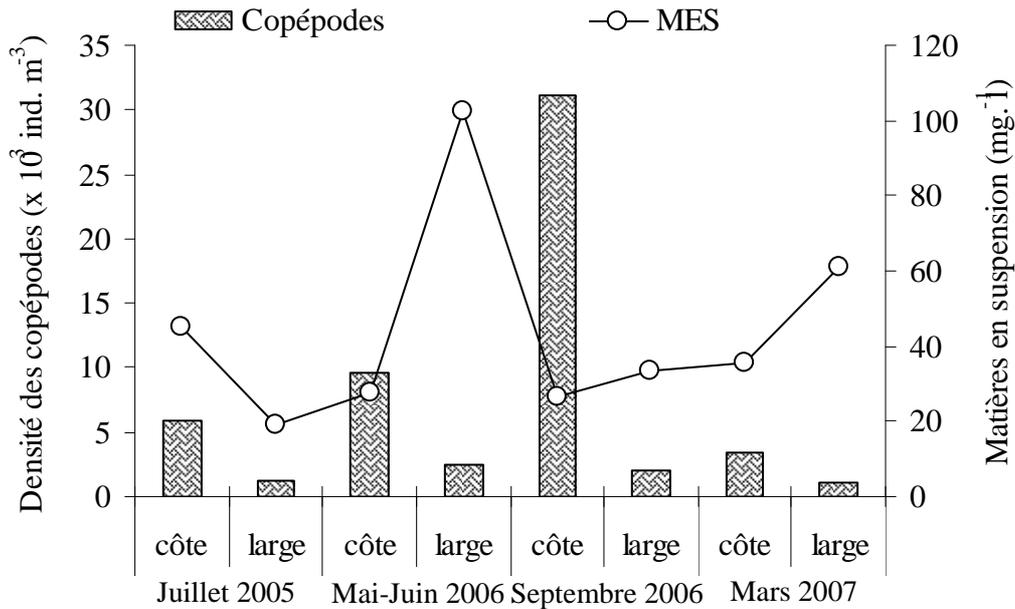
détectée (avec une moyenne de 21,5°C) accompagnée d'une faible teneur en chlorophylle *a* et une faible abondance en zooplancton (Zarrad et al., 2008). Malgré que dans le golfe de Gabès, la chlorophylle *a* est corrélée négativement avec la distribution des copépodes, ces derniers sont organisés suivant un gradient côte-large comme le cas pour la communauté phytoplanctonique (Drira et al. 2008a; b). Cette organisation des copépodes selon un gradient côte-large est déjà démontrée dans d'autres régions Méditerranéennes telles que la mer de la Balearique (West de la Méditerranée; Estrada et al., 1985; Fernandez de Puellas et al., 2003a, 2007). En plus, il était déjà montré que l'abondance excessive du phytoplancton ne résulte pas une importante densité de copépodes (Revelante et al., 1985; Krsinic et al., 1988).

En plus de la teneur en chlorophylle *a* et la température, on note l'importance de l'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et des matières en suspension (MES) qui influencent la distribution et la dynamique des copépodes. Ainsi, sa concentration ( $\text{NH}_4^+$ ) est strictement dépendante de celle des copépodes montrant ainsi une forte corrélation significative positive avec les copépodes ( $r = 0,504$ ;  $p < 0,05$ ) (Fig. 47). Ceci pourrait être du à un phénomène intensif de broutage du phytoplancton par les copépodes, contribuant ainsi à une augmentation de la teneur en ion  $\text{NH}_4^+$  qui est produit par (i) régénération suite au phénomène de broutage du phytoplancton par les copépodes (Hasegawa et al., 2000; Olivieri et Chavez, 2000; Marcus et al., 2004) et (ii) par leurs excréations.



**Figure 47.** Répartition spatio-temporelle des moyennes de la densité des copépodes et la concentration en ion ammonium au niveau de la côte et au large du golfe de Gabès pendant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

La distribution spatio-temporelle des copépodes est inversement proportionnel à la teneur des MES ( $r = -0,319$ ;  $p < 0,05$ ) (Fig. 48). Cette distribution nous permet de constater que les copépodes sont dominants dans les zones les moins turbides et les plus claires dont la teneur des MES (détritrus végétal, phytoplancton et matières organiques) sont faibles. Ceci confirme d'avantage notre hypothèse concernant la relation trophique de broutage existante entre les copépodes et le phytoplancton (Soutour et Castel, 1997).



**Figure 48.** Répartition spatio-temporelle des moyennes de la densité des copépodes et des matières en suspension au niveau de la côte et au large du golfe de Gabès pendant les quatre périodes d'échantillonnage entre 2005 et 2007

En général, il est connu que les cyclopoïdes sont des copépodes cosmopolites qui sont capables de survivre dans un grand nombre d'habitat (Paffenhöfer, 1993). Contrairement aux calanoïdes, les cyclopoïdes colonisent des milieux où les conditions sont défavorables (Paffenhöfer, 1993). Dans notre étude les cyclopoïdes sont très abondants et sont exclusivement côtiers, caractérisés par une nette dominance de l'espèce *Oithona nana*, essentiellement observée durant la période où on enregistre une stratification assez importante (Juillet 2005 et Septembre 2006), représentant 75 et 86% par rapport aux cyclopoïdes totaux et 29 et 46% par rapport aux copépodes totaux, respectivement. Cependant, *Oithona similis* est très abondante pendant le mois de Mai-Juin 2006 représentant 39% des copépodes totaux et 75% par rapport aux cyclopoïdes totaux. Aussi, l'espèce *Oithona nana* est dominante dans la lagune Nord de Tunis montrant ainsi 87% des copépodes totaux (Annabi-Trabelsi et al.,

2005). C'est une espèce présente dans tous les écosystèmes marins (Fernandez de Puellas et al., 2007). Elle est dominante dans les zones côtières de plusieurs régions méditerranéennes (Mazzocchi et Ribera d'Alcalà, 1995; Christou, 1998) et dans le bassin d'Algérie (bassin occidental de la mer Méditerranée) (Gaudy, 1985; Riandey et al., 2005). *Oithona nana* est majoritairement localisée au niveau de la côte malgré que les régions côtières du golfe de Gabès sont caractérisés par une pollution intense due à une importance activité industrielle et urbaine. De ce fait, on peut dire que **les cyclopoïdes sont des espèces polluo-tolérantes et indicatrices de pollution dans le golfe de Gabès** comme il été déjà démontré dans d'autres régions de la Méditerranée (Parck, 1979; Arfi et al., 1981; Daly-Yahia et al., 2004; Annabi-Trabelsi et al., 2005). *Oithona nana* est classée parmi les copépodes omnivores dont le phytoplancton est le principale source d'alimentation (Krsinic et al., 2007). Aussi, les copépodes interviennent dans la régulation de la production du phytoplancton et surtout pendant l'été (Krsinic et al., 2007). En plus, *Oithona nana*, par comparaison avec d'autres copépodes, est capable de s'adapter à différentes sources de nourritures (Lampitt et Gamble, 1982) et aussi signalée comme espèces néritiques dans plusieurs régions et même des zones eutrophe (Richard et Jamet, 2001).

En ce qui concerne les calanoïdes, on remarque la dominance de l'espèce *Acartia clausi* et *Stephos marsalensis* dont les abondances les plus importantes sont rencontrées pendant les périodes de stratification aux mois de Juillet 2005 (35% des copépodes totaux et 67% des calanoïdes totaux) et de Septembre 2006 (33% des copépodes totaux et 33% des calanoïdes totaux) respectivement. *Acartia clausi* représente le constituant majeur des communautés zooplanctoniques côtières surtout dans les aires marines semi-fermées (Youngbluth, 1980; Castel et Courties, 1982; Alcaraz, 1983; Lakkis, 1994; Vieira, et al., 2003). Le nombre d'espèces d'*Acartia* varie géographiquement de un ou deux (Conover, 1956; Jeffries, 1962; 1967; Greenwood, 1981) jusqu'à sept (Tranter et Abraham, 1971). Les calanoïdes présentent une source de nourriture de haute qualité pour les poissons (Hop et al., 1997) et leurs maximum d'abondance enregistrés durant l'été et l'automne dans le complexe correspondant respectivement aux périodes de recrutement des anchois et la migration des Mugilidés (Tudela et Palomera, 1997; Daly-Yahia, 1998). ***Acartia clausi* est une espèce cosmopolite et indicatrice de pollution** (Annabi-Trabelsi et al., 2005). Elle est aussi considérée parmi les espèces les plus abondantes dans la mer de la Balearique (West de la Méditerranée; Fernandez de Puellas et al., 2003b), dans la région de Marseille au niveau du golfe Fos (côte méditerranéenne française; Blanc et al., 1975; Benon et al., 1976) et dans le golfe de Lions (Nord du bassin occidental de la mer Méditerranée; Kouwenberg, 1993). Elle

est aussi très abondante même dans les régions non méditerranéennes à savoir le golfe de Trieste (Nord de la mer Adriatique) représentant ainsi 90% des copépodes totaux (Fondu-Umani et al., 2005)

Concernant les Harpacticoïdes, on distingue une nette dominance de l'espèce *Euterpina acutifrons* qui représente une abondance comprise entre 49 et 95% des Harpacticoïdes totaux. Durant toute la période d'étude, on distingue que le maximum d'abondance d'*Euterpina acutifrons* est de l'ordre 21% des copépodes totaux observés au cours du mois de Mars 2007. Cette espèce est eurythermie et euryhaline, d'où on peut dire qu'elle est opportuniste et cosmopolite (Moreira et al., 1982). *Euterpina acutifrons* colonise virtuellement tous les environnements marins côtiers (Delia Vinas et Gaudy, 1996). La plasticité de cette espèce d'occuper plusieurs habitats côtiers s'explique souvent par son large spectre trophique (phytoplancton, microplancton et détritiques) (Goswami, 1976; Yamashida et Moreira, 1980). Cependant, les espèces fréquentes dans le golfe de Gabès (*Oithona nana*, *Acartia clausi* et *Euterpina acutifrons*) sont aussi rencontrées dans d'autres régions méditerranéennes à savoir la région côtière de Blanes (Nord du bassin occidental de la mer Méditerranée; Calbet et al., 2001); dans la Baie de Tunis (Daly-Yahia et al., 2004) et aussi dans la lagune Nord de Tunis (Annabi-Trabelsi et al., 2005) et même en dehors de la mer Méditerranée telles que l'estuaire de Mondego (Ouest de la Portugal) représentant respectivement 16, 10 et 8% des copépodes totaux dénombrés dans cet écosystème (Vieira et al., 2003).

Dans le golfe de Gabès et durant toute la période d'étude (2005-2007), parmi les autres zooplanctons, à part les copépodes, on distingue la dominance des lamellibranches, des appendiculaires, des cladocères et des néogastéropodes. Concernant les néogastéropodes, ils sont aussi largement répondus dans d'autres régions méditerranéennes telles que la mer de la Balearique (West de la Méditerranée) (Fernandez de Puellas et al., 2007; Fernandez de Puellas et al., 2003a). Aussi, les cladocères et les néogastéropodes sont aussi très répondus dans la région côtière de Blanes (Nord du bassin occidental de la mer Méditerranée) représentant respectivement les moyennes suivantes (821 et 217 ind. m<sup>-3</sup>) (Calbet et al., 2001). Parmi le zooplancton répertorié, on remarque la présence **des larves d'annélides polychètes** qui est connue comme des espèces **bio-indicatrices de pollution** (Dhainaut-Courtois et al., 2000).

En plus, au cours de cette étude le sexe ratio a montré que les femelles sont dominantes pendant les différentes périodes à l'exception de mois de Mars 2007. En effet, le rapport des mâles par rapport aux femelles est faible 0,27 (< 1) vue la dominance des femelles

de l'espèce *Oithona nana* par rapport aux mâles qui représente une abondance excessive. La même constatation a été détectée dans la lagune de Bizerte avec l'espèce dominante *Centropages kroyeri* caractérisée par un sexe ratio qui est de l'ordre de 0,24 et qui est en faveur des femelles et où les mâles sont presque absents dans différentes périodes de l'année (Souissi et al., 2008). Aussi, le sexe ratio est en faveur des femelles dans le golfe de Lions (Nord du bassin occidental de la mer Méditerranée) (les femelles > 80%; Kouwenberg, 1993). Il était déjà montré que le sexe ratio dans la plupart des cas est en faveur des femelles pour plusieurs espèces de copépodes (Bogorov, 1939; Woodhead et Riley, 1957, Mednikov, 1962; Moore et Sander, 1983; Tande et Gronvik, 1983; Bennet et Hopkins, 1989). La dominance des copépodes femelles peut être expliquée par le fait qu'elles possèdent un réceptacle séminal pour stocker le sperme et maintenir leurs fertilités (Kouwenberg, 1993). Mais selon Kouwenberg (1993), le sexe ratio peut être en faveur des mâles lorsque les conditions défavorables s'installent et ceci corrobore avec nos résultats seulement pendant le mois de Mars 2007.

### II.2.3.3. Conclusion

Cette étude montre la relation qui existe entre les structures hydrographiques (à partir des conditions de mélange à la stratification complète) et la distribution spatiale et temporelle de la communauté zooplanctonique au niveau du golfe de Gabès. En effet, les copépodes est le groupe zooplanctonique le plus abondant dans le golfe de Gabès avec une nette dominance au niveau de la côte et pendant le mois de Septembre 2006 correspondant à une période de haute stratification thermique. Aussi, les copépodes sont caractérisés par la dominance des cyclopoïdes représentés par l'espèce *Oithona nana*. A noter que, les matières en suspension et les valeurs moyennes de la température sont les principaux paramètres physiques influençant la répartition spatio-temporelle des copépodes. Les teneurs en chlorophylle *a* (phytoplancton), montrent une distribution inversement proportionnelle à celle des copépodes montrant la relation trophique de broutage entre les copépodes et le phytoplancton.

## Conclusion générale

Ce travail a permis de mettre en évidence (i) d'une part la répartition spatiale de la communauté phytoplanctonique et zooplanctonique à travers une campagne estivale réalisée au cours du mois de Juillet 2005 (ii) d'autre part, une étude spatio-temporelle du phytoplancton et zooplancton en relation avec les conditions hydrologiques réalisée durant quatre campagnes d'échantillonnages dans différentes périodes de l'année (Juillet 2005, Mai-Juin 2006, Septembre 2006 et Mars 2007). Etant donné que le golfe de Gabès est caractérisé par la coexistence des masses d'eaux différentes à savoir l'eau méditerranéenne et l'eau atlantique modifiée (MAW) qui pourraient être des facteurs déterminant la structuration et la distribution du phytoplancton et du zooplancton sur toute la colonne d'eau à l'échelle de l'espace et du temps.

**L'étude spatiale a montré que la communauté phytoplanctonique** dans le golfe de Gabès est organisée suivant un gradient côte-large. Cette distribution est strictement dépendante de la disponibilité des éléments nutritifs. En effet, l'enrichissement de la côte en ces éléments, favorise d'avantage la prolifération du phytoplancton qui est exclusivement côtier. Dans les régions océaniques, c'est le courant atlantique qui est le facteur principal déterminant le développement et la structuration du phytoplancton. La communauté phytoplanctonique est dominée par l'espèce opportuniste *Dictyocha fibula* caractérisée par une prolifération intense favorisée par une disponibilité importante des éléments nutritifs issus des activités urbaines qui représentent un rôle crucial dans la croissance du phytoplancton le long de la côte. En fait, l'étude de la répartition spatiale du phytoplancton a montré que les dinoflagellés (y compris les espèces toxiques, non toxiques et les kystes) sont des composants importants de la communauté phytoplanctonique dans le golfe de Gabès. En plus, l'espèce toxique *Karenia cf. selliformis* se développe près de l'île de Jerba, représentant une importance socio-économique. L'azote présent d'une façon excessive est dérivé principalement des engrais, des déchets animaux et de la combustion des carburants. L'île de Jerba constitue un lieu stratégique dans le golfe de Gabès, remarquée par une importance excessive en phytoplancton essentiellement les kystes de dinoflagellés, montrant que le courant envahissant cette île a tendance à faire concentrer le phytoplancton dans cette zone. Durant cette même période, l'étude de la biomasse autotrophe des différents groupes algales à partir de l'étude chémotaxonomique des divers pigments ne varie pas selon les propriétés hydrologiques des masses d'eaux principalement, parce que la balance des processus

physiques ne coïncide pas avec les réponses biologiques. Généralement, cette biomasse semble être influencée d'avantage par la faible disponibilité des éléments nutritifs dans l'écosystème étudié. Les masses des eaux atlantiques et méditerranéennes ne montrent pas des particularités spécifiques en ce qui concerne la composition du phytoplancton et le statut trophique. Donc, l'étude écobioologique du phytoplancton dans le golfe de Gabès est très complexe dû à l'interaction de divers facteurs (mouvements hydrologiques, interférences urbains, trafic maritime...) et sa compréhension nécessite des études à long terme. Actuellement, nous pouvons suggérer que l'enrichissement des zones côtières en éléments nutritifs peut avoir comme origine, l'activité urbaine et industrielle constituant les éléments essentiels dans le contrôle de l'eutrophisation côtière au niveau du golfe de Gabès.

**L'étude spatiale de la communauté zooplanctonique** a montré que les copépodes est le groupe le plus abondant dans du golfe de Gabès avec une dominance nette des deux espèces *Oithona nana* et *Acartia clausi* qui sont très abondantes respectivement le long de la côte et près de la bathymétrie de 50 m. La distribution spatiale des espèces dominantes semble être dépendante de la salinité, des concentrations en chlorophylle *a* et de leur capacité de prédation.

Cependant, l'étude de la variation 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 phytoplanctonique et zooplanctonique** en relation avec les facteurs environnementaux a montré l'existence d'une étroite relation entre ces peuplements planctoniques et la structure hydrographique de la colonne d'eau. En effet, pendant la période Mai-Juin, la colonne d'eau est semi-mélangée caractérisée par une transition entre le brassage et la stratification thermique. Mais en s'approchant de la saison estivale, cette stratification qui est pré-établie au mois de Mai-Juin 2006 à un niveau de (-20 m) se développe progressivement au mois de Juillet 2005 à un niveau de (-25 m) pour atteindre son maximum au mois de Septembre 2006 à (-30 m). Par contre, pendant la période de Mars 2007, cette stratification thermique disparaît complètement et la colonne d'eau est bien mélangée. La structure hydrographique (à partir des conditions de mélange à la stratification complète) influence la distribution spatio-temporelle de la communauté phytoplanctonique et zooplanctonique au niveau du golfe de Gabès. Concernant le monde phytoplanctonique, l'étude de leur répartition spatio-temporelle a montré qu'il est trop influencé par la structure hydrographique. En effet, les diatomées

prolifèrent principalement durant les conditions de semi-mélanges et sont exclusivement côtières. Les cyanobactéries sont présentes principalement durant les conditions de semi-mélanges et pendant le début de la stratification thermique. Les dinoflagellés semblent être le groupe le plus stable en terme d'abondance, pouvant s'adapter à plusieurs conditions hydrographiques. En ce qui concerne les variations spatio-temporelles du zooplancton dans le golfe de Gabès, nous avons montré que les copépodes constituent le groupe le plus abondant avec 69 à 83% du zooplancton total dans le golfe de Gabès. Aussi, la stratification thermique de la colonne d'eau établie durant la saison estivale favorise le développement de la communauté zooplanctonique. En effet, la densité des copépodes augmente graduellement avec l'augmentation de la température moyenne de l'eau à partir de l'apparition de la thermocline (Mai-Juin 2006) jusqu'à son établissement total caractérisant ainsi la période de stratification thermique correspondant aux mois de Juillet 2005 et Septembre 2006. Mais une fois la colonne d'eau est bien mélangée (Mars 2007), une diminution de l'abondance des copépodes se déclanchera. De même, nous avons pu montrer que les copépodes sont caractérisés par une nette dominance du cyclopoïde *Oithona nana*. Aussi, nous avons constaté que contrairement au zooplancton dont la plus forte abondance est observée pendant la période de haute stratification, le phytoplancton prolifère intensivement pendant les conditions de semi-mélange. En plus, les teneurs en chlorophylle *a*, présentent une distribution inversement proportionnelle à celle des copépodes montrant la relation trophique de broutage entre les copépodes et le phytoplancton.

D'autre part, l'activité industrielle et anthropique caractérisant les régions côtières du golfe de Gabès contribue à une dégradation partielle de la qualité de l'eau en ce qui concerne essentiellement le phytoplancton notamment la prolifération intense du bloom phytoplanctonique, des kystes et des espèces phytoplanctoniques toxiques notamment l'espèce *Karenia cf. selliformis* à côté de l'île de Jerba. Cette manifestation présente plusieurs retombés socio-économiques puisque plusieurs compartiments de la chaîne trophique seront affectés. En effet, la dégradation de la colonne d'eau touche directement la production primaire phytoplanctonique et par voie de conséquence la production secondaire du zooplanctonique dans le golfe de Gabès.

La pollution, dans le golfe de Gabès présente plusieurs effets directs et indirects sur la répartition hétérogène du phytoplancton en agissant sur leur cycle de vie; ce qui explique l'apparition des kystes temporaires et des kystes de résistances et ceci suivant le changement des conditions environnementales et aussi sur le zooplancton. L'effet de la pollution sur le phytoplancton et le zooplancton associé à la pêche illégale et anarchique (contribuant à la

dégradation de la posidonie) peuvent influencer la répartition des nectons et par conséquent peuvent expliquer d'avantage la diminution de la production halieutique au niveau du golfe de Gabès. Pour cela, un grand projet de restauration du golfe de Gabès jugé indispensable pour rétablir l'état de lieu du golfe de Gabès en diminuant les sources de pollution issues des activités urbaines et anthropiques étant donné que la pollution dans cette zone provoque une sérieuse dégradation de la qualité hydrologique en induisant la prolifération des algues toxiques pouvant avoir des effets nocifs pour la santé humaine.

## Perspectives

Nos résultats obtenus ont apporté quelques éléments de réponse en ce qui concerne l'étude de deux maillons de la chaîne alimentaire du golfe de Gabès. Nous avons mis en évidence les facteurs intrinsèques et extrinsèques intervenant dans la structure et la distribution des communautés phyto-zooplanctoniques. Toutefois, ce travail non exhaustive doit être complété par :

- La confection d'une banque de données qui sera utile pour réaliser une modélisation de ces deux communautés au niveau du golfe de Gabès, 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.

- Etude des microorganismes de la boucle microbienne (nano, bactériote et picoplanctons) et des maillons supérieurs (autres invertébrés, poisson....)

## Références bibliographiques

### -A-

- Abou Debs, C. & Nival, P., 1983. Etude de la ponte et du développement embryonnaire en relation avec la température et la nourriture chez *Temora stylifera* Dana. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **72**: 125-145.
- Agawin, N.S.R., Duarte, C.M. & Agustí, S., 2000. Nutrient and temperature control of the contribution of picoplankton to phytoplankton biomass and production. *Limnology and Oceanography* **45**(3): 591-600.
- Alcaraz, M., 1983. Coexistence and segregation of congeneric pelagic copepods: spatial distribution of the *Acartia complex* in the Ria of Vigo (NW Spain). *Journal of Plankton Research* **5**: 891-900.
- Alcaraz, M., Calbet, A., Estrada, M., Marrasé, C., Saiz, E. & Trepát, I., 2007. Physical control of zooplankton communities in the Catalan Sea. *Progress in Oceanography* **74** (2-3): 294-312.
- Aleya, L. & Devaux, J., 1992. The concept of seasonal succession theory applied to phytoplankton through the coupling use of diversity index and rank-frequencies diagrams in a eutrophic ecosystem. *International Review of Hydrobiology* **77**: 579-591.
- Aleya, L., 1989. Seasonal couplings between adenyl nucleotides and photosynthetic activity of size-fractionated phytoplankton in a eutrophic lake. *European Journal of Protistology* **24**: 381-391.
- Aleya, L., 1991. The concept of ecological succession applied to an eutrophic lake through the seasonal coupling of diversity index and several parameters. *Archives für Hydrobiologie* **120**: 327-343.
- Aleya, L., 1992. The seasonal succession of phytoplankton in a eutrophic lake through the coupling of biochemical composition of particulates, metabolic parameters and environmental conditions. *Archives Für Hydrobiologie* **124**: 69-88.
- Allali, K., Dolan, J.R. & Rassoulzadegan, F., 1994. Culture characteristics and orthophosphate excretion of marine oligotrich ciliate, *Strobilidium sulcatum*, fed heat-killed bacteria. *Marine Ecology Progress Series* **105**: 159-165.
- Alonso, M., 1996. Fauna Ibérica. vol. 7: Crustacea Branchiopoda. MNCN, Fauna Ibérica Project Publications, Madrid, Spain, 486 pp.
- Amari; A. 1984. Contribution à la connaissance hydrologique et sédimentologique de la plate forme des îles Kerkernnah. Thèse, Univ. Tunis, 251 pp.

- Amblard, C., Boisson, J. C., Bourdier, G., Fontvielle, D., Gayte, X. & Sime-Ngando, T., 1998. Ecologie microbienne en milieu aquatique: des virus aux protozoaires. *Revue des sciences de l'eau*, N° spécial: 145-162.
- American Public Health Association (ed.) 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington.
- Ammar, E., Sassadate, K., Bouzid, J., Charif, M., Ben Jemaa, M. & Medhioub K., 1991. Impact des rejets du complexe chimique de Ghannouch sur la qualité des eaux marines du golfe de Gabès. *Rapport réalisé à la demande de l'agence de la protection de l'environnement*.
- Amon, R.M.W. & Benner, R., 1998. Seasonal patterns of bacterial abundance and production in the Mississippi River plume and their importance for the fate of enhanced primary production. *Microbial Ecology* **35**: 289-300.
- Amoros, C., 1984. Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. Vol. 5: Crustacés Cladocères. *Association française de limnologie, Lyon, France*.
- Anderson, D.M., 1984. Shellfish toxicity and dormant cysts in toxic dinoflagellate blooms. In: Ragelis E.P. (ed.). *Sea food toxins. Symposium series* **262**: 126-138.
- Anderson, D.M., Kulis, D.M. & Binder, B.J., 1984. Sexuality and cyst formation in the dinoflagellate *Gonyaulax tamarensis*: cyst yield in batch cultures. *Journal of Phycology* **20**: 418-425.
- Angel, M.V., 1999. South Atlantic zooplankton. Ostracoda Vol1. Edited by D. Boltovskoy, pp 815-868.
- Annabi-Trabelsi, N., Daly Yahia, M.N., Romdhane, M.S. & Ben Maiz, N., 2005. Seasonal variability of planktonic copepods in Tunis North lagoon (Tunisia, North Africa). *Cahier de Biologie Marine* **46**: 325-333.
- Anonyme, 1992. Etude de la pollution marine dans le golfe de Gabès. Centre National de Télédétection, Tunis. Rapport final. 176 pp.
- Anonyme, 1998. Projet gabonais de Développement de la Pêche Artisanale et de la Pisciculture, COFREPECHE, 31998, 36 pp.
- Anonyme, 2003. Annuaire statistiques des pêches en Tunisie (année 2003) DGPA: 144 pp.
- Ara, K., 2004. Temporal variability and production of the planktonic copepod community in the Cananéia Lagoon Estuarine System, SaoPaulo, Brazil. *Zoological Studies* **43**: 179-186.
- Arfi, R., Champalbert, G. & Patriti, G., 1981. Système planctonique et pollution urbaine: Un aspect des populations zooplanctoniques. *Marine Biology* **61**: 133-141.

- Astraldi, M., Gasparini, G.P., Vetrano, A. & Vignudelli, S., 2002. Hydrodynamics characteristics and interannual variability of water masses in the central Mediterranean: a sensitivity test for long-term changes in the Mediterranean Sea. *Deep Sea Research* **49**: 661-680.
- Atkinson, A., 1996. Subantarctic copepods in an oceanic, low chlorophyll environment: ciliate predation, food selectivity and impact on prey population. *Marine Ecology Progress Series* **130**: 85-96.
- Aubert, M. & Aubert, J., 1986. Eutrophie et Dystrophie en milieu marin. Phénomènes planctoniques et bactériens. *Revue Internationale d'Océanographie Médicale* **53-54**: 1-302.
- Ayadi, H., 1986. Contribution à l'étude d'un lac eutrophe du Massif Central français: le lac d'Aydat. Succession saisonnière du plancton stratégies d'utilisation des ressources et organisation de la communauté zooplanctonique. Thèse, Université de Blaise Pascal, Clermont-Ferrand (France): 223 pp.
- Azam, F., Fenchel, T., Gray, J.G., Meyer-Reil, L.A. & Thingstad, T.F., 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Marine Ecology Progress Series* **10**: 257-263.
- Azouz A. 1981. Réflexions en vue de l'amélioration de la production de la crevette royale dans le golfe de Gabès. *Bulletin de l'Office National des Pêches. Tunisie* **5(2)**: 101-113.
- Azouz, A., 1971. Etude des biocénoses benthiques et de la faune ichtyologique des fonds chalutables de la Tunisie. Région nord et sud-est. Thèse Sci. Nat. Univ. Caen. 1971. AO 6471. pp. 255.
- Azouz, A., 1973. Les fonds chalutables de la région nord de la Tunisie. Cadre physique et biocénose benthiques. *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô* **2(4)**: 473-563.

### -B-

- Baden, D.G. & Trainer, V.L., 1993. Mode of action of toxins of seafood poisoning. In Falconer, I.A. (ed.), *Algal Toxins in Seafood and Drinking Water*. Academic Press, London, San Diego, New York, Boston, Sydney, Tokyo, Toronto: 49-74.
- Badylak, S. & Philips, E.J., 2004. Spatial and temporal patterns of phytoplankton composition in a subtropical coastal lagoon, the Indian River Lagoon, Florida, USA. *Journal of Plankton Research* **26(10)**: 1229-1247.

- Balcer, M.D., Korda, N.L. & Dodson, I.S. 1984. Zooplankton of the Great Lakes. The University of Wisconsin Press, Ltd.
- Balech, E., (ed.) 1988. Los dinoflagelados del Atlantico sudoccidental. Instituto Español de Oceanografía (Publicaciones especiales), Madrid.
- Balvay, G., 1994. Le plancton : terminologie. *Bulletin de liaison de l'Association Française de Limnologie* **33**(476): 14-17.
- Balvey, G., 1971. Entrophisation et phytoplancton du lac d'Annecy. *Supplément à terre et vie* **81**: 13-16.
- Ban, S., 1994. Effect of temperature and food concentration on post embryonic development, egg production and adult body size of Calanoid *Eurytemora affinis*. *Journal of Plankton Research* **16**: 721-735.
- Banse, K., 1995. Zooplankton: Pivotal role in the control of ocean production. *ICES Journal of Marine Science* **52**: 265-277.
- Barale, V., 1994. Mediterranean colours. La lettre de la Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Méditerranée (CIESM). 4 pp.
- Baranovic, A., Solic, M., Vucetic, T. & Krstulovic, N., 1993. Temporal fluctuations of zooplankton and bacteria in the middle Adriatic Sea. *Marine Ecology Progress series* **1992**: 65-75.
- Barreiro, A., Guisande, G., Maneiro, I., Vergara, A.R., Riveiro, I. & Iglesias, P., 2007. Zooplankton interactions with toxic phytoplankton: Some implications for food web studies and algal defence strategies of feeding selectivity behaviour, toxin dilution and phytoplankton population diversity. *Acta Oecologica* **32**: 279-290.
- Barthelmes, D., (ed.) 1981. Hydrobiologische Grundlagen der Binnenfischerei. Gustav Fischer Verlag, Jéna. 252 pp.
- Batisse, M. & Jeudy De Grissac, A., 1998. A global representative system of marine protected areas. *Marine region* **3**(1): 33 pp.
- Bdioui, M., M'Rabet, R., Ben Naceur, L., Missaoui, H. & Ben Salem, S., 2004. Aspects techniques d'exploitation du metier tremails a crevettes dans le golfe de Gabès. *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô* **31**: 53-59.
- Beaugrand, G., Brander, K.M., Lindley, J.A., Souissi, S. & Reid, P.C., 2003. Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. *Nature* **426**: 1939-1956.
- Beaugrand, G., Reid, P.C., Ibanez, F., Lindley, A. & Edwards, M., 2002. Reorganization of North Atlantic Marine Copepod Biodiversity and Climate. *Science* **296**: 1692-1694.

- Beers, J. R. & Stewart, G. L., 1967. Microzooplankton in the euphotic zone at five locations across the California Current. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **24**: 2053-2068.
- Beers, J.R., 1982. An introduction and historical review. *Annales de l'Institut Oceanographique, Paris* **58**: 5-14.
- Beers, J.R., Reid, F.M.H. & Stewart, G.L., 1982. Seasonal abundance of microplankton population in the North Pacific central gyre. *Deep-Sea Research* **29**: 227-245.
- Beers, J.R., Reid, M.H. & Steward, G.L., 1980. Microplankton population structure in southern California nearshore waters in late Sprint. *Marine Biology* **60**: 209-226.
- Béjaoui, B., Rais, S. & Koutitonsky, V., 2004. Modélisation de la dispersion du phosphogypse dans le golfe de Gabès. *Bulletin de l'institut National et Technologie de la Mer* **31**: 113-119.
- Bel Hassen, M., Drira, Z., Hamza, A., Ayadi, H., Akrouf, F. & Issaoui, H., 2008. Summer phytoplankton pigments and community composition related to water mass properties in the Gulf of Gabes. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **77**: 645-656.
- Ben Alaya, H., 1971. Sur la présence de *Caulerpa racemosa* Forsk. J. Agardh dans le golfe de Gabès et le port de Mahdia. *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô* **2**(1): 53-54.
- Ben Aouicha, N., 2000. Etude quantitative et qualitative des rejets de la pêche chalutière dans le golfe de Gabès. DEA d'écologie générale, Université de Sfax, 126 pp.
- Ben Brahim, M., 2004. Contribution à l'étude de la posidonie *Posidonia oceanica* sur les îles de Kerkennah: Phénologie et épiphytisme. Mastère. Université de Sfax. 120 pp.
- Ben Maiz, N., 1984. Contribution à la distribution, à l'écologie et à la systématique des algues marines benthiques de Tunisie. DEA écologie méditerranéenne, Université d'Aix – Marseille III: 65 pp.
- Ben Mustapha, K. & Hattour, A., 1992. Les Herbiers de posidonies du littoral tunisien. Le golfe de Hammamet. *Notes de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô* **2**, 42 pp.
- Ben Mustapha, K., 1995. The gulf of Gabes: A case study in the Mediterranean decline in Fishing out the Mediterranean. *21<sup>st</sup> session of the G.F.C.M.*, Spain, Greenpeace International, Netherlands, 8-9 pp.
- Ben Mustapha, K., Hattour, A., Mhelti, M., El Abed, A. & Tritar, B., 1999. Etat de la bionomie benthique des étages infra et circalittoral du golfe de Gabès. *Bulletin de l'institut National et Technologie de la Mer de Salammbô* **26**: 5-9.

- Ben Othman, S. & Lajimi, T., 1979. Aperçu sur les fonds de pêche du golfe de Gabès. *Géologie Méditerranéenne, la mer Pélagienne* **6**(1): 275-279.
- Ben Othman, S., 1973. Le sud tunisien (golfe de Gabès; Hydrologie, sédimentologie, flore et faune. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle. Université de Tunis: 166 pp.
- Ben Salem, S., Franques, R. & El Abed, A., 2002. Indicateurs socioéconomiques pour la pêche au golfe de Gabès (Tunisie). Etude de cas. INSTM. FAO-COPEMED. 34 pp.
- Benbakta, B., 1994. Structure et la dynamique du zooplancton de la lagune de Moulay Bouselham (Maroc). Thèse 3<sup>ème</sup> Cycle. Univ. Mohamed V, Fac. Rabat, 125 pp.
- Bengtsson, J., Nilsson, S.G., France, A. & Menozzi, P., 2000. Biodiversity, disturbances, ecosystem function and management of European forests. *Forest Ecology and Management* **132**: 39-50.
- Bennet, J.L. & Hopkins, T.L., 1989. Aspect of the ecology of the calanoid copepod genus *Pleuromamma* in the eastern Gulf of Mexico. *Contributions in Marine Science* **31**: 119-136.
- Benon, P., Blanc, F., Bourgade, B., Charpy, L., Kantin, R., Kerambrun, P., Leveau, M., Romano, J.C. & Sautriot, D., 1976. Golfe de Fos. Impact de la pollution. *Bulletin de l'Observatoire de la mer, Fondation Ricard* **3**(suppl. 1): 1-13.
- Benzie, J.A.H., 2005. Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world. 21: Cladocera: The Genus *Daphnia* (including *Daphniopsis*) (Anomopoda: Daphniidae). Academic Publishing, The Hague, The Netherlands.
- Béranger, K., Mortier, L., Gasparini, G.P., Gervasio, L., Astraldi, M. & Crepon, M., 2004. The dynamics of the Sicily strait: A comprehensive study from observations and models. *Deep Sea Research* **51**: 411-440.
- Berdugo, V., 1968. Sur la présence dans la méditerrané orientale de deux espèces du genre *Calanopia* (Copepoda, Calanoida). *Rapport de la Commission internationale de la Mer Méditerranée* **19**: 445-446.
- Bergh, O., Børsheim, K. Y., Bratback, G. & Heidal, M., 1989. High abundance of viruses found in aquatic environments. *Nature* **340**: 467-468.
- Berland, B.R. & Lassus, P., (ed.) 1997. Efflorescences toxiques des eaux côtières françaises: Ecologie, écophysologie, toxicologie. IFREMER. *Repères Océan* **13**: 202 pp.
- Berland, B.R., Bonin, D.J. & Maestrini, S.Y., 1980. Azote ou phosphore? Considérations sur « paradoxe nutritionnel » de la Méditerranée. *Oceanologia Acta* **3**: 135-142.
- Bernard, C. & Rassoulzadegan, F., 1990. Bacteria or microflagellates as a major food source for marine ciliates: possible implications for the microzooplankton. *Marine Ecology Progress series* **64**: 147-155.

- Bertrand, N. & Vincent, W.F., 1994. Structure and dynamics of photosynthetic picoplankton across the salt water transition zone of the St. Lawrence River. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **51**: 161-171.
- Bettarel, Y., Sime-Ngando, T., Amblard, C. & Dolan, J., 2004. Viral Activity in two contrasting lakes ecosystems. *Applied and Environmental Microbiology* **70**(5): 2941- 2951.
- Bettarel, Y., Sime-Ngando, T., Amblard, C., Carrias, J-F. & Portelli, C., 2003. Virioplankton and microbial communities in aquatic systems: a seasonal study in two lakes of differing trophic. *Freshwater Biology* **48**: 810 - 822.
- Bianchi, C.N. & Morri, C., 2000. Marine biodiversity of the Mediterranean Sea: situation, problems and prospects for future research. *Marine Pollution Bulletin* **40**: 367-376.
- Bird, D.F. & Kalff, J., 1986. Bacterial grazing by planktonic algae. *Science* **231**: 493-495.
- Blackburn, S. & Parker, N., 2005. Microalgal life cycles: encystment and excystment. In: Andersen, R.A. (ed.), *Algal culturing techniques*. Elsevier Academic press Phycological Society of America, pp. 399-417.
- Blanc, F., Leveau, M. & Kerambrun, P., 1975. Eutrophie et pollution: Structure et fonctionnement du sous-écosystème planctonique. In: *Proceeding 10<sup>th</sup> European Marine Biology Symposium, Ostende* **2**: 61-83.
- Blanpied, C., Burollet, P.F., Cirfond, P. & Shili, M., 1979. Sédiments actuels et holocènes. *Géologie Méditerranéenne* **6**(1): 61-82.
- Bogorov, V.G., 1939. Sex ratio in marine Copepoda. *Dopovyidi Akademiyi Nauk Ukrayini* **23**(7): 705-708.
- Boldrin, A., Miserocchi, S., Rabitti, S., Turchetto, M.M., Balboni, V. & Socal, G., 2002. Particulate matter in the southern Adriatic and Ionian Sea: Characterisation and downward fluxes. *Journal of Marine Systems* **33**: 389-410.
- Borgne-David., 1975. Bacillariales et Dinophycées de la partie sud-occidentale du bassin oriental de la méditerranée. *Revue des Travaux de l'Institut scientifique des Pêches maritimes* **39**(3): 235-247.
- Bosc, E., Bricaud, A. & Antoine, D., 2004. Seasonal and interannual variability in algal biomass and primary production in the Mediterranean Sea, as derived from 4 years of SeaWiFS observations. *Global Biogeochemical Cycles* **18**: 1-17
- Boudouresque, C.F. & Meinez, A., 1982. Découverte de l'herbier de posidonies. Edit. Cahier Parc nation. Port-Cros. *France* **4**: 1-79.
- Bougis, P., 1974. Ecologie du plancton marin. Masson & Cie (ed.), Paris. Coll. Ecologie 2: 196 p. 3 : 200 pp.

- Bourane, Z.K., 1983. Le marché mondial des phosphates et des engrais phosphatés-caractéristiques et perspectives. La bibliothèque des Matières Premières – collection dirigée par Philippe Chamelin, Paris, 239 pp.
- Bourelly, P., (ed.) 1985. Les Algues d'Eau Douce III. Algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines. Soc. Nouv. Boubée, Paris.
- Bradai, M.M. & Bouain, A., 1994. La mer: sources et problèmes. Edit. Association de la protection de la nature de l'environnement de Sfax. 294 pp.
- Bradai, M.N., 2000. Diversité du peuplement ichtyque et contribution à la connaissance des sparidés du golfe de Gabès. Thèse de Doctorat. Université de Sfax. 600 pp.
- Bradai, M.N., Ghorbel, M., Bouain, A., Jarboui, O., Wannes-Ghorbel, A. & Mnif, L., 1995. La pêche côtière dans le gouvernorat de Sfax, aspect socio-économique et technique. Ecobiologie de certains poissons. Rapport pour la fondation de la recherche scientifique, 94 pp.
- Bradai, M.N., Quigniard, J.P., Bouain, A., Jarboui, O., Ghorbel-Wannes, A. & Ben Salem S., 2004. Ichtyofaune autochtone et exotique des côtes tunisiennes: recensement et biogéographie. *Cybium* **28**(4): 315-328.
- Bradford-Grieve, J.M., Markhaseva, E.L., Rocha, C.E.F. & Abiahy, B., 1999. South Atlantic Zooplankton (Volume2). Edited by Boltovsky, Backhuys Publishers, Leiden, the Netherlands, pp. 869-1098.
- Brandhorst, W., 1977. Les conditions de milieu au large de la côte tunisienne. *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô* **4**(2-4): 129-220.
- Bratback, G., Egge, J.K. & Heldal, M., 1993. Viral mortality of marine alga *Emiliana huxleyi* (Haptophyceae) and termination of algal blooms. *Marine Ecology Progress Series* **93**: 39-48.
- Bratback, G., Heldal, M., Norland, S. & Thingstad, T.F., 1990. Viruses as partners in spring bloom microbial trophodynamics. *Applied and Environmental Microbiology* **56**: 1400-1405.
- Bratback, G., Heldal, M., Thingstad T. F. & Tuomi, P., 1996. Dynamics of virus abundance in coastal seawater. *FEMS Microbiology Ecology* **19**(4): 263-269.
- Bregant, D., Civitarese, G. & Luchetta, A., 1992. Chemical parameters distribution in the Ionian Sea during POEM-06 cruise (October 1991). *Rapport. P.V. Reunion de la Commission Internationale pour l'Exploitation Scientifique de la Mer Méditerranée*
- Brock, T.D., 1987. The study of microorganisms *in situ*: progress and problems. *Society and General Microbiology, special symposium* **41**: 1-17.

- Brown, R.A. & Wanigasekera, G., 2000. Combined effects of salinity and temperature on survival and reproduction of five species of *Artemia*. *Journal Experimental Marine and Biology* **244**: 29-44.
- Brown, S.L., Landry, M.R., Barber, R.T., Campbell, L., Garrison, D.L. & Gowing, M.M., 1999. Picophytoplankton dynamics and production in the Arabian Sea during the 1995 Southwest Monsoon. *Deep-Sea Research II* **46**: 1745-1768.
- Brussaard, C.P.D., Thyraug, R., Marie, D. & Bratbak, G., 1999. Flow cytometric analyses of virus infection in two marine phytoplankton species, *Micromonas pusilla* (Prasinophyceae) and *Phaeocystis pouchetti* (Prymnesiophyceae). *Journal of Phycology* **35**: 941-948.
- Burolet, P.F., 1979. La Mer pélagienne. Etude sédimentologique et écologique du plateau tunisien et du golfe de Gabès. *Géologie Méditerranéenne* **6**: 28-34.
- Burolet, P.F., 1983. Répartition des posidonies à l'état de la Tunisie. *Rapport de la Commission internationale de la Mer Méditerranée*. 28, 3.
- Burolet, P.F., Clairefond, P. & Winnock, E., 1979. La mer Pélagienne: Etude sédimentologique et écologique du plateau tunisien et du golfe de Gabès. *Annales de l'université de Provence* **5**(1). pp. 345.
- Bustillos-Guzman, J., Claustre, H. & Marty, J.C., 1995. Specific phytoplankton signatures and their relationship to hydrographic conditions in the coastal northwestern Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series* **124**: 247-258.

-C-

- C.G.P., 1996. Annuaire des statistiques des pêches en Tunisie. Ministère de l'agriculture, Tunisie.
- C.R.D.A. (Commissariat Régionale de Développement Agricole), 2002. Réseau National de surveillance des zones de production et de commercialisation des mollusques bivalves. Bilan de la campagne: 2001-2002.
- Caddy, J.F., 1993. Some future perspectives for assessment and management of Mediterranean fisheries. *Scientia Marina* **57**(2-3): 121-130.
- Calbet, A., Garrido, S., Saiz, S., Alcarz, M. & Durate, C.M., 2001. Annual zooplankton succession in coastal NW Mediterranean waters: The importance of smaller size fractions. *Journal of Plankton Research* **23**(3): 319-331.
- Callieri, C. & Stockner, J.G., 2002. Freshwater autotrophic picoplankton: a review. *Journal of Limnology* **6**(1): 1-14.

- Callieri, C., Karjalainen, M.S. & Passoni, S., 2002. Grazing by ciliates and heterotrophic nanoflagellates on picocyanobacteria in Lago Maggiore, Italy. *Journal of plankton research* **24**(8): 785-796.
- Campbell, L. & Vaulot, D., 1993. Photosynthetic picoplankton community structure in the subtropical North Atlantic Ocean near Hawaii (station ALOHA). *Deep Sea research* **40**: 2043-2060.
- Cariou, J., Dolan, J. & Dallot, S., 1999. A preliminary study of tintinnid diversity in the NW Mediterranean Sea. *Journal of plankton research* **21**(6): 1065-1075.
- Carlson, C.A., Ducklow, H.W. & Michaels, A.F., 1994. Annual flux of dissolved organic carbon from the euphotic zone in the northwestern Sargasso Sea. *Nature* **371**: 405-408.
- Carlton, J.T. & Geller, J.B., 1993. Ecological Roulette: the global transport of noindigenous marine organisms. *Science* **261**(5117): 78-82.
- Carrias, J-F., Amblard, C. & Bourdier, G., 1996. Protistan bacterivory in an oligomesotrophic lake: importance of attached ciliates and flagellates. *Microbial Ecology* **31**: 249-268.
- Carrias, J-F., Amblard, C. & Bourdier, G., 1998. Seasonal dynamics and vertical distribution of planktonic ciliates and their relationship to microbial food resources in the oligotrophicmesotrophic Lake Pavin. *Archives Hydrobiology* **143**(2): 227-255.
- Carrias, J-F., Thouvenot, A., Amblard, C. & Sime-Ngando, T., 2001. Dynamics and growth estimates of planktonic protists during early spring in lake Pavin, France. *Aquatic Microbial Ecology* **24**: 163-174.
- Carstensen, J., 2007. Statistical principales for ecological status classification of Water Framework Directive monitoring data. *Marine Pollution Bulletin* **55**: 3-15.
- Cartes, J.E., Papiol, V., Palanques, A., Guillén, J. & Demestre, M., 2007. Dynamics of suprabenthos of The Ebro Delta (Catalan Sea: western Mediterranean): Spatial 13 and temporal patterns and relationships with environmental factors. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* **75**: 501-515.
- Casotti, R., Brunet, C., Aronne, B. & D'Alcalà, M. R., 2000. Mesoscale features of phytoplankton and planktonic bacteria in a coastal area as induced by external water masses. *Marine Ecology Progress Series* **195**: 15-27.
- Castel, J. & Courties, C., 1982. Composition and differential distribution of zooplankton in Arcachon Bay. *Journal of Plankton Research* **4**: 417-433.
- Centre National de Télédétection (CNT) 1992. Etude de la pollution du golfe de Gabès. Rapport interne final, 39 pp.

- Cervetto, G., Gaudy, R. & Pagano, M., 1999. Influence of salinity on distribution of *Acartia tonsa* (copepoda calanoida). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **235**: 33-45.
- Champeau, A., 1970. Recherches sur l'écologie et l'adaptation à la vie latente des copépodes des eaux temporaires provençales et corses. Thèse Doctorat des Sciences, Université Aix-Marseille. 360 pp.
- Chang, E.H., Zledis, J., Gall, M. & Hall, J., 2003. Seasonal and spatial variation of phytoplankton assemblages, biomass and cell size from spring to summer across the north-eastern New Zealand continental Shelf. *Journal of Plankton Research* **25**(7): 737-758.
- Chaouch, M. & Ben Mustapha, K., 1992. L'observatoire de la mer. Bull. I.R.S.I.T, Tunis. pp. 14-15.
- Chapin III, F.S., Zavaleta, E.S., Eviner, V.T., Naylor, R.L., Vitousek, P.M., Reynolds, H.L., Hooper, D.U., Lavorel, S., Sala, O.E., Hobbie, S.E., Mack, M.C. & Diaz, S., 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* **405**: 234–242.
- Cheetham, A.H. & Jackson, J.B.C., 1995. Process from pattern: tests for selection versus random change in punctuated bryozoan speciation. In: Erwin, D.H., Anstey, R.L. (ed.), *New Approaches to Speciation in the Fossil Record*. Columbia University Press, New York, pp. 184-207.
- Chen, Y., Qin, B., Teubner, K. & Dokulil, M.T., 2003. Long-term dynamics of phytoplankton assemblages: Microcystis-domination in Lake Taihu, a large shallow lake in China. *Journal of Plankton Research* **25**(1): 445-453.
- Chessel, D., Dufour, A.B. & Thioulouse, J., 2004. The ade4 package-I-One-table methods. *R News*: 10 pp.
- Chiahou, B., 1997. Les copépodes pélagiques de la région d'El Jadida (côte atlantique marocaine). Etude faunistique, écologique et biogéographique. Thèse de Doc. D'Etat, Faculté des Sciences El Jadida, Maroc, 168 pp.
- Chiba, S. & Saino, T., 2003. Variation in mesozooplankton community structure in the Japan/East Sea (1991–1999) with possible influence of the ENSO scale climatic variability. *Progress in Oceanography* **57**: 317-339.
- Chisholm, S.W., 1992. Phytoplankton size. In: Falkowski P.G., Woodhead, A.D. (ed.), *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York, pp. 213-237.
- Cho, B.C. & Azam, F., 1990. Biogeochemical significance of bacterial in the ocean's euphotic zone. *Marine Ecology Progress Series* **63**: 253-259.

- Chouba, L. & Mzouchi-Aguir, N., 2006. Les métaux traces (Cd, Pb, Hg) et les hydrocarbures totaux dans les sédiments superficiels de la frange côtière du golfe de Gabès. *Bulletin de l'institut National et Technologie de la Mer de Salammbô* **33**: 93-100.
- Chouba, L., Mastouri, A. & El Abed, A., 1996. Etude de la contamination des écosystèmes du large des îles Kerkennah par les métaux traces. *Bulletin de l'institut National et Technologie de la Mer de Salammbô* **23**: 139-146.
- Christaki, U., Giannakourou, A., Wambeke, V.F. & Grégori, F.G., 2001. Nanoflagellate predation on auto- and heterotrophic picoplankton in the oligotrophic Mediterranean Sea. *Journal of Plankton Research* **23**: 1297-1310.
- Christaki, U., Wambeke, F.V. & Dolan, J.R., 1999. Nanoflagellates (mixotrophs, heterotrophs and autotrophs) in the oligotrophic eastern Mediterranean: standing stocks, bacterivory and relationships with bacterial production. *Marine Ecology Progress Series* **181**: 297-307.
- Christou, E.D., 1998. Interannual variability of copepods in a Mediterranean coastal area (Saronik Gulf, Aegean Sea). *Journal of Marine Systems* **15**: 523-532.
- Clarke, K.R. & Gorley R.N., 2001. PRIMER v5: user manual/tutorial. PRIMER-E, Plymouth.
- Claustre, H. & Marty, J.C., 1995. Specific phytoplankton biomasses and their relation to primary production in the tropical north Pacific. *Deep Sea Research* **42**: 1475-1493.
- Claustre, H., 1994. The trophic status of various oceanic provinces as revealed by phytoplankton pigment signatures. *Limnology and Oceanography* **39**: 1207-1211.
- Claustre, H., Kerherve, P., Marty, J.C. & Prieur, L., 1994a. Phytoplankton photoadaptation in relation to some frontal physical processes. *Journal of Marine Systems* **5**: 251-265.
- Claustre, H., Kerherve, P., Marty, J.C., Prieur, L., Videau, C. & Hecq, J.H., 1994b. Phytoplankton distribution associated with a geostrophic front: ecological and biogeochemical implications. *Journal of Marine Research* **52**: 711-742.
- Coffin, R.B., Connolly, J.P. & Harris, P.S., 1993. Availability of dissolved organic carbon to bacterioplankton examined by oxygen utilization. *Marine Ecology Progress Series* **101**: 9-22.
- Colebrook, J.M., 1978. Continuous plankton records: zooplankton and environment, north-east Atlantic and North Sea, 1948-1975. *Oceanologica Acta* **1**: 9-23.
- Colebrook, J.M., 1985. Sea surface temperature and zooplankton, North Sea, 1948 to 1983. *Journal du Conseil Permanent International pour L'Exploration de la Mer* **42**: 179-185.

- Conover, R.J., 1956. Oceanography of long island sound VI. The biology of *Acartia clausi* and *Acartia tonsa*. *Bulletin of the Bingham Oceanographic Collection* **15**: 156-233.
- Copin-Montégut, G., 2002. «Chimie de l'eau de mer». Éditeur : Institut océanographique. Collection Synthèses.
- Corliss, J.O., 1979. The ciliated protozoa. Characterization, classification and guide to the literature. Pergamon Press, Oxford, 455 pp.
- Corsini, G., Grasso, R. & Cipollini, P., 2002. Regional bio-optical algorithms for the Alboran Sea from a reflectance model and in situ data. *Geophysical Research Letters* **29**: 1-29.
- Costas, E. & Lopez-Rodas, V., 1991. A comparative study of DNA content in six Dinoflagellate species. *Scientia Marina* **55**: 557-561.
- Cotonnec, G., Brunet, C., Sautour, B. & Thoumelin, G., 2001. Nutritive value and selection of food particles by copepods during a spring bloom of *Phaeocystis* sp. in the English Channel, as determined by pigment and fatty acid analysis. *Journal of Plankton Research* **23**: 693-703.
- Cushing, D.H., 1989. A difference in structure between ecosystems in strongly stratified waters and in those that are only weakly stratified. *Journal of Plankton research* **11**: 1-13.

### -D-

- D.G.P.A., 2002. Annuaires de statistique de pêche. Ministère d'Agriculture, 1992-2002.
- D'Ortenzio, F., Marullo, S., Ragni, M., Ribera d'Alcalà, M. & Santoleri, R., 2002. Validation of empirical SeaWiFS algorithms for chlorophyll *a* retrieval in the Mediterranean Sea: A case study for oligotrophic seas. *Remote Sensing Environment* **82**: 79-94.
- Daan, R., 1989. Factors controlling the summer development of copepod populations in the southern Bight of the North Sea. Netherlands. *Journal of Sea Research* **23**: 305-322.
- Dagg, M.J., 1993. Sinking particles as a possible source of nutrition for the large calanoid copepod *Neocalanus cristatus* in the Subarctic Pacific Ocean. *Deep Sea Research* **40**: 1431-1445.
- Dale, B., 1983. Dinoflagellate resting cysts: 'benthic plankton'. In: Fryxell, G.A. (ed.), *Survival Strategies of the Algae*. Cambridge University Press, Cambridge, 69-136 pp.
- Dale, T. & Burkill, P.H., 1982. "Live counting" a quick and simple technique for enumerating pelagic ciliates. *Annales de l'Institut Océanographique* **58**: 267-276.

- Daly-Yahia, M.N. & Romdhane, M.S., 1994. Contribution à la connaissance des cycles saisonniers des copépodes pélagiques (Mer de Bougrara). *Bulletin de la Société Tunisienne de Science Naturelle* **10**: 1-10.
- Daly-Yahia, M.N., 1993. Contribution à l'étude du milieu et du zooplancton de la lagune de Boughrara, systématique, biomasse et relations trophiques. DEA de biologie marine et d'océanographie. Université de Tunis. 215 pp.
- Daly-Yahia, M.N., 1998. Dynamique saisonnière du zooplancton de la baie de Tunis (Systématique, écologie numérique et biogéographie méditerranéenne). Thèse de Doctorat de biologie animale. Université de Tunis. 242 pp.
- Daly-Yahia, M.N., Souissi, O.S. & Daly Yahia-Kéfi, O., 2004. Spatial and Temporal Structure of Planktonic Copepods in the Bay of Tunis (Southwestern Mediterranean Sea). *Zoological studies* **43**(2): 366-375.
- Daly-Yahia-Kéfi, O., 1998. Le phytoplancton de la Baie de Tunis (analyse systématique, bio-géographie quantitative et synécologie des diatomées et dinoflagellés). Thèse de Doctorat, Université de Tunis.
- Daly-Yahia-Kéfi, O., Souissi S., Gomez, F. & Daly Yahia, M.N., 2005. Spatio-temporal distribution of the dominant Diatom and Dinoflagellate species in the Bay of Tunis (SW Mediterranean Sea). *Mediterranean Marine Science* **6**(1): 17-34
- Dam, H.G., Zhang, X., Butler, M. & Roman, M.R., 1993. Mesozooplankton grazing and metabolism at the equator in the central Pacific: implications for carbon and nitrogen fluxes. *Deep-Sea Research II* **42**: 735-756.
- Danilov, R.A. & Ekelund, N.G.A., 2001. Comparative studies on the usefulness of seven ecological indices for the marine coastal monitoring close to the shore on the Swedish East Coast. *Environmental Monitoring Assessment* **66**: 265-279.
- Darmoul, B., 1988. Pollution dans le golfe de Gabès (Tunisie). Bilan de six années de surveillance (1976-1981). *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô* **15** : 61-83.
- Darwin, C. R., 1872. The origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life. London: John Murray. 6<sup>th</sup> edition; with additions and corrections. Eleventh thousand.
- Dauby, P., 1980. Cycle annuel du zoplancton de surface de la baie de Galvi (Gorse). Biomasse totale et plancton cpépodien. *Oceanologica Acta* **3**: 403-407.
- Davis, C.C., 1955. The marine and fresh-water plankton. Michigan State Univ. Press, 562 pp.

- Davis, C.C., 1981. Variations of lorica shape in the genus *Ptychocylis* (Protozoa: Tintinnina) in relation to species identification. *Journal of Plankton Research* **3**: 433-443.
- De Gaillande, D., 1970a. Note sur les peuplements benthiques de la zone centrale du golfe de Gabès (campagne calypso, 1965). *Téthys* **2**(2): 131-138.
- De Gaillande, D., 1970b. Peuplements benthiques de l'herbier de *Posidonia oceanica* et de la pelouse à *Caulerpa prolifera* et du large du golfe de Gabès. *Téthys* **2**(2): 373-384.
- Debray, F., 1897. Catalogue des algues du Maroc, d'Algérie et de Tunisie - Flore de l'Algérie, 2<sup>ème</sup> partie, 1<sup>er</sup> fascicule: 88 pp.
- Del Giorgio, P. & Cole, J.J., 1998. Bacterial growth efficiency in natural aquatic systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* **29**: 503-541.
- Delgado, M., Estrada, M., Camp, J., Fernández J.V., Santmarti, M. & Lletí C., 1990. Development of a toxic *Alexandrium minutum* Halim (Dinophyceae) bloom in the harbour of Sant Carles de la Ràpita (Ebro Delta, northwestern Mediterranean). *Scientia Marina* **54**(1): 1-7.
- Delia Vinas, M. & Gaudy, R., 1996. Annual cycle of *Euterpina acutifrons* (Copepoda, Harpacticoïda) in the Gulf of San Matias (Argentina) and in the Gulf of Marseilles (France). *Scientia Marina* **60**: 307-318.
- Delmas, D., Herbland, A. & Maestrini, S.Y., 1992. Environmental conditions which lead to increase in cell density of the toxic dinoflagellates *Dinophysis* spp. in nutrient-rich and nutrient poor waters of the French Atlantic coast. *Marine Ecology Progress Series* **89**: 53-61.
- Delorme, L.D., 1982. Lake Erie oxygen; the prehistoric record. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **39**: 1021-1029.
- Demers, S., Roy, S., Gagnon, R. & Vignault, C., 1991. Rapid light-induced changes in cell fluorescence and in xanthophylls cycle pigments of *Alexandrium excavatum* (Dinophyceae) and *Thalassiosira pseudonana* (Bacillariophyceae): a photo-protection mechanism, *Marine Ecology Progress Series* **76**: 185-193.
- Denis, M., Martin, V. & Andersen V., 2000. Short term variations of the vertical distribution of cyanobacteria in the open Mediterranean Sea. *Scientia Marina* **64**: 157-163.
- Devreker, D., Souissi, S. & Seuront, L., 2005. Effects of chlorophyll concentration and temperature variation on the reproduction and survival of *Temora longicornis* (Copepoda, Calanoida) in the Eastern English Channel. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **318**: 145-162.
- Deydier-Stephan, L., Bertru, G. & Le Rouic, B., 2003. A chemotaxonomic method to quantify phytoplankton groups in freshwater lentic mesocosms: An approach including

chlorophyll *a* breakdown products. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences: Biologies* **26**: 95-105.

- Dhainaut-Courtios, N., Pruvot, C., Empis, A. & Baudet, K., 2000. Les peuplements macrozoobentiques, indicateurs des qualités physico-chimiques des sédiments portuaires, Exemple du port de Boulogne-sur-mer. *Bulletin de la Société zoologique de France* **125**(1): 49-62.
- Dobberfuhl, D.R., Miler, R. & Elser, J.J., 1997. Effects of a cyclopoid copepod (*Diacyclops thomasi*) on phytoplankton and the microbial loop. *Aquatic Microbial Ecology* **12**: 29-37.
- Doblin, M.A. & Dobbs, F.C., 2006. Setting a size-exclusion limit to remove toxic dinoflagellate cysts from ships' ballast water. *Marine Pollution Bulletin* **52**: 259-263.
- Dodge, J.D., 1985. Atlas of dinoflagellates. A Scanning Electron Microscope Survey. Ferrand Press, London.
- Dolan, J.R. & Gallegos, C.L., 2001. Estuaire diversity of tintinnids (planktonic ciliates). *Journal of plankton research* **23**(9): 1009-1027.
- Dolan, J.R. & Marrasé, C., 1995. Planktonic ciliate distribution relative to a deep chlorophyll maximum: Catalan Sea, NW Mediterranean, June 1993. *Deep-Sea Research I* **42**(11/12): 1965-1987.
- Dolan, J.R., 1991. Microphagous ciliates in mesohaline Chesapeake Bay water: estimates of growth rates and consumption by copepods. *Marine Biology* **111**: 303 - 309.
- Dolan, J.R., 2000. Tintinnid ciliate diversity in the Mediterranean Sea: longitudinal patterns related to water column structure in late spring-early summer. *Aquatic Microbial Ecology* **22**: 20-30.
- Dolan, J.R., Claustre, H., Carlotti, F., Plounevez, S. & Moutin, T., 2002. Microzooplankton diversity: relationships of tintinnid ciliates with resources, competitors and predators from the Atlantic Coast of Morocco to the Eastern Mediterranean. *Deep-Sea Research I* **49**: 1217-1232.
- Dolan, J.R., Vidussi, F. & Claustre, H., 1999. Planktonic ciliates in the Mediterranean Sea: longitudinal trends. *Deep-Sea Research part I* **46**: 2025-2039.
- Dolédec, S. & Chessel, D., 1989. Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. II. Prise en compte et élimination d'effets dans un tableau faunistique. *Acta Oecologica Oecologica Generalis* **10**: 207-232.
- Doumet, A., 1888. Mission botanique dans la région saharienne au Nord des grands chotts et dans les îles de la côte orientale de la Tunisie. Exploitation Scientifique-Tunisie.

- Drira, Z., Hamza, A., Belhassen, M., Ayadi, H., Bouaïn, A. & Aleya, L., 2007b. Etude de quelques relations trophiques entre les divers compartiments de la chaîne alimentaire du golfe de Gabès. *7<sup>ème</sup> Congrès Maghrébin des Sciences de la Mer et du Premier Congrès Franco-Maghrébin de Zoologie et d'Ichtyologie*, El Jadida (Maroc). p 70.
- Drira, Z., Elloumi, J., Ayadi, H., Belhassen M., Hamza A. & Bouaïn A., 2007a. Mise en évidence de la présence des Tintinnides dans le golfe de Gabès (Sud-est Tunisien). *38<sup>ème</sup> Congrès de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée: CIESM*, Istanbul (Turquie). Vol. 36 p. 465.
- Drira, Z., Hamza, A., Bel Hassen, M., Ayadi, H., Bouaïn A., & Aleya, L., 2008a. Dynamics of dinoflagellates and environmental factors during the summer in the Gulf of Gabes (Tunisia, Eastern Mediterranean Sea). *Scientia Marina* **72**(1): 59 -71.
- Drira, Z., Hamza, A., Bel Hassen, M., Ayadi, H., Bouaïn, A. & Aleya, L., 2008b. Phytoplankton community structure related to nutrient availability in the Gulf of Gabes (Eastern Mediterranean Sea) Soumis dans *Acta Protozoologica*.
- Duarte, C.M., Agusti, S. & Agawin, N.S.R., 2000. Response of a Mediterranean phytoplankton community to increased nutrient inputs: a mesocosm experiment. *Marine Ecology Progress Series* **195**: 61-70.
- Ducklow, H.W. & Carlson, C.A., 1992. Oceanic bacterial production. *Advances in Microbial Ecology* **12**: 113-181.
- Ducklow, H.W., 1999. The bacterial component of the oceanic euphotic zone. *FEMS Microbiology Ecology* **30**: 1-10.
- Dudley, P.C., 1986. Aspects of general body shape and development in Copepoda. *Sylogues* **59**: 7-25.
- Duineveld, G.C.A, Lavaleye, M.S.S. & Berghuis, E.M., 2004. Particle flux and food supply to a seamount cold-water coral community (Galicia Bank, NW Spain). *Marine Ecology Progress Series* **277**: 13-23.
- Dussart, B., 1965. Les différentes catégories de plancton. *Hydrobiologia* **26**(1/2) : 72-74.
- Dussart, B., 1966. Limnologie. L'étude des eaux continentales, Gauthier – Villars, Paris: 667 pp.
- Dussart, B., 1992. Limnologie, l'étude des eaux continentales. Boubée (ed.), Paris. 2<sup>ème</sup> ed., 681 pp.

## -E-

- Eker, E. & Kideys, A.E., 2000. Weekly Variations in Phytoplankton Structure of a Harbour in Mersin Bay (north-eastern Mediterranean). *Turkish Journal of Botany* **24**: 13-24.
- El Abed, A. & Hattour, A., 1997. Le golfe de Gabès: une préoccupation méditerranéenne. Atelier CIESM, Marseille, France. 3 pp.
- El Maghraby, A.M. & Halim, Y., 1965. A quantitative and qualitative study of the plankton of Alexandria waters. *Hydrobiologia* **25**: 221-238.
- Eldredge, N. & Gould, S.J., 1972. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. In: Schopf, T.J.M. (ed.), *Models in Paleobiology*. W.H. Freeman, New York, pp. 82-115.
- Elgar, M.A. & Crespi, B.J., 1992. Ecology and evolution of cannibalism. In Elgar, M.A. & Crespi, B.J. (ed.), *Cannibalism: ecology and evolution among diverse taxa*. Oxford University Press, Oxford. pp. 1-12.
- Elkihel, B., 1995. Impact des rejets du phosphogypse dans le golfe de Gabès: Géochimie des métaux lourds dans les sédiments. DEA/FST Département de Géologie, 86 pp.
- Elton, C.S., 1958. *The Ecology of Invasions by Animals and Plants*. Methuen and Co Ltd., London.
- Emery, A.R., 1968. Preliminary observations on coral reef plankton. *Limnology and Oceanography* **13**: 293-304.
- Epaminondas, D.C., 1998. Interannual variability of copepods in a Mediterranean coastal area (Saronikos Gulf, Aegean Sea). *Journal of Marine Systems* **15**: 523-532.
- Eppley, R.W. & Peterson, B.J., 1979. Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature* **282**: 677-680.
- Esnal, G.B. & Daponte, M.C., 1999. South Atlantic zooplankton. Doliolida. Vol2. Edited by D. Boltovskoy, pp 1409-1421.
- Esnal, G.B., 1999. South Atlantic zooplankton. Appendicularia. Vol2. Edited by D. Boltovskoy, pp 1375-1399.
- Estrada, M., 1985. Deep chlorophyll maximum in the western mediterranean frontal zone. In: Moraitou-Apostolopoulou M. & Woodhead A.D. (ed.), *Mediterranean marine ecosystems*, Plenum Press, New York, pp 107-122.
- Estrada, M., Marassé, C., Latasa, M., Berdalet, E., Delgado, M. & Riera, T., 1993, Variability of deep chlorophyll maximum characteristics in the Northwestern Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series* **92**: 289-300.

- Estrada, M., Varela, R.A., Salat, J., Curzado, A. & Arias, E., 1999. Spatio-temporal variability of the winter phytoplankton distribution across the Catalan and north Balearic fronts (NW Mediterranean). *Journal of phytoplankton Research* **21**: 1-20.
- Estrada, M., Vives, F. & Alcaraz, M., 1985. Life and production in the open sea. In: Margalef, R. (ed.), *The Western Mediterranean*. Pergamon Press, London, pp. 150–200.

**-F-**

- Falkowski, P.G., Hopkins, T.S. & Walsh, J.J., 1980. An analysis of factors affecting oxygen depletion in the New York Bight. *Journal of Marine Research* **38**: 479-965.
- Fanning, K.A., 1992. Nutrient provinces in the Sea: concentration ratios, reaction rate ratios, and ideal covariation. *Journal of Geophysical Research* **97**: 5693-5712.
- Fanuko, N., 1989. Possible relation between a bloom of *Distephanus speculum* (Silicoflagellata) and anoxia in bottom waters in the Northern Adriatic, 1983. *Journal of Plankton Research* **11**: 75-84.
- Fast, M.D., Cembella, A.D. & Ross, N.W., 2006. In vitro transformation of paralytic shellfish toxins in the clams *Mya arenaria* and *Protothaca staminea*. *Harmful algae* **5**: 79-90.
- Feki, W., 2006. Cartographie et analyse des variations spatio-temporelles du phytoplancton du golfe de Gabès au cours des dix ans de surveillance. Mastère en Biodiversité et Ressources Aquatiques, Université de Sfax, 106 pp.
- Feldman, J., 1931. Notes sur quelques algues marines de Tunisie. *Notes Station océanographique Salammbô* **24** : 17 pp.
- Fenchel, T., 1982. Ecology of heterotrophic microflagellates. II. Bioenergetics and growth. *Marine Ecology Progress Series* **8**: 225-231.
- Fenchel, T., 1988. Marine plankton food chains. *Annual Review of Ecology and Systematics* **19**: 19-38.
- Fernández de Puellas, M.L., Alemany, F. & Jansá, J., 2007. Zooplankton time-series in the Balearic Sea (Western Mediterranean): Variability during the decade 1994-2003. *Progress In Oceanography* **74**(2-3): 329-354.
- Fernández de Puellas, M.L., Gras, D. & Hernandez de Leon, S., 2003b. Annual cycle of zooplankton. Biomass, abundance and species composition in the neritic areas of the Balearic Sea, Western Mediterranean. *P.S.Z.N. Marine Ecology* **24**(2): 123-129.

- Fernández de Puellas, M.L., Jausa, J., Gomis, G., Gras, D. & Amengual, B., 1997. Variación anual de las principales variables oceanográficas y planctónicas en una estación nerítica del mar Balear. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* **13**: 13-33
- Fernández de Puellas, M.L., Pinot, J.M. & Valencia, J., 2003a. Seasonal and interannual variability of zooplankton community in waters off Mallorca Island (Balearic Sea, Western Mediterranean): 1994-1999. *Oceanologica Acta* **26**(5-6): 673-686.
- Fernández de Puellas, M.L., Valencia, J. & Vicente, L., 2004. Zooplankton variability and climatic anomalies from 1994 to 2001 in the Balearic Sea (Western Mediterranean). *ICES Journal of Marine Science* **61**: 492-500.
- Fessenden, T. & Cowles, T.J., 1994. Copepod predation on phagotrophic ciliates in Oregon coastal waters. *Marine Ecology Progress Series* **107**: 103-111.
- Fisher, T.R., Harding, L.W., Stanley, D.W. & Ward, L.G., 1988. Phytoplankton, nutrients and turbidity in the Chesapeake, Delaware and Hudson estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **27**: 61-93.
- Fogg, G.E., 1991. The phytoplanktonic ways of life. *New Phytology* **118**: 191-232.
- Fonda-Umani, S., Milani, L., Borme, D., de Olazabal, A., Parlato, S., Precali, R., Kraus, R., Lucic, D., Njire, J., Totti, C., Romagnoli, T., Pompei, M. & Cangini, M., 2005. Inter-annual variations of planktonic food webs in the northern Adriatic Sea. *Science of the Total Environment* **353**: 218-231.
- Franco, A., Franzoi, P., Malavasi, S., Riccato, F., Torricelli, P. & Mainardi, D., 2006. Use of shallow water habitats by fish assemblages in a Mediterranean coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* **66**: 67-83.
- Francour, P., Boudouresque, G.F., Hamelin, J.G., Hamelin-Vivien, M. L. & Quignard, J.P., 1994. Are the Mediterranean waters becoming warmer? Information from biological indicators. *Marine Pollution Bulletin* **28**: 523-526.
- Frémy, A.P. & Feldmann, J., 1935. Matériaux pour la flore algologique marine de la Tunisie: Contribution à l'étude biologique et systématique de la muffa. *Notes Station océanographique* **29**: 5-24.
- Fromentin, J.M. & Planque, B., 1996. *Calanus* and environment in the eastern North Atlantic. II. Influence of the North Atlantic Oscillation on *C. finmarchicus* and *C. helgolandicus*. *Marine Ecology Progress Series* **134**: 111-118.
- Frontier, S. & Pichod-Viale, D., 1993. «Écosystèmes, structures, fonctionnement, évolution». Masson, Paris.

- Frontier, S., 1973. Etude statistique de la dispersion du zooplancton. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **12**: 229-262.
- Fühman, J.A., 1999. Marine viruses and their biogeochemical and ecological effects. *Nature* (London) **366**: 541-548.

**-G-**

- Gamito, S. & Erzini, K., 2005. Trophic food web and ecosystem attributes of a water reservoir of the Ria Formosa (south Portugal). *Ecological Modelling* **181**: 509-520.
- Gannon, J.E., 1972. Effects of eutrophication and fish predation on recent changes in zooplankton crustacea species composition in lake Michigan. *Transactions of the American Microscopical Society* **91**(1): 82-84.
- Garcés, E., Bravo, I., Vila, M., Figueroa, R.I., Maso, M. & Sampedro N., 2004. Relation between vegetative cells and cyst production during *Alexandrium minutum* bloom in Arenys de Mar harbour (NW Mediterranean). *Journal of Plankton Research* **26**(6): 637-645.
- Gasol, J.M. & Duarte, C.M., 2000. Comparative analysis in aquatic microbial ecology: how far do they go? *FEMS Microbiol Ecology* **31**: 99-106.
- Gasparini, S., 2005. Observatoire Océanologique de Villefranche, Université Pierre et Marie Curie.
- Gaudy, R. & Youssara, F., 2003. Variations of zooplankton metabolism and feeding in the frontal area of the Alboran Sea (Western Mediterranean) in winter. *Oceanologica Acta* **26**: 179-189.
- Gaudy, R., 1985. Features and peculiarities of zooplankton communities from the western Mediterranean. In: Moraitou, M. & Kiortsis, V., (ed.), *Mediterranean Marine Ecosystems*. Plenum Press, New York, pp. 279-301.
- Gaudy, R., Cervetto, G. & Pagano, M., 1998. Comparison of the metabolism of *Acartia clausi* and *A. tonsa*: influence of temperature and salinity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **247**: 51-65.
- Gaudy, R., Youssara, F., Diaz, F. & Raimbault, P., 2003. Biomass, metabolism and nutrition of zooplankton in the Gulf of Lions (NW Mediterranean). *Oceanologica Acta* **26**(4): 357-372.
- Gauthier-Lièvre, H., 1925. Schizophycées littorales de la petite Syrte récoltées par Seurat. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, 130-137 pp.

- Geohab, 2003. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Implementation Plan. In : Gentien, P., Pitcher, G., Cembella, A. & Gilbert, P., (ed.). SCOR and IOC. Baltimore and Paris. 44 pp.
- Georricke, R. & Repeta, D.J., 1993. Chlorophyll-*a* and chlorophyll-*b* and divinyl chlorophyll-*a* and chlorophyll-*b* in the open subtropical North-Atlantic Ocean, *Marine Ecology Progress Series* **101**: 307–313.
- Ghilarov, A.M., 1983. Report on eutrophication studies in the U.S.S.R. *Water Research* **17**(6): 607-611.
- Ghorbel, M., 1996. Le pageot commun *Pagellus erythrinus* (poisson sparidae), écologie et état d'exploitation dans le golfe de Gabès. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle. Université de Sfax: 170 pp.
- Ghorbel, M., Hamza, A., Bradai, M.N. & Abdelmouleh, A., 1995. Observations bionomiques de l'intertidale des côtes nord de Sfax. *Rapport Commission Internationale pour l'Exploitation Scientifique de la Mer Méditerranée* **34**: 31.
- Giacobbe, M.G., Olivia, F., La Fera, R., Puglisi, A., Crisafi, E. & Marimone, G., 1995. Potentially toxic diinoflagellates in Medioterranean waters (Sicily) and related hydrological conditions. *Aquatic Microbial Ecology* **9**: 63-68.
- Gieskes, W.W., Kraay, G.W., Nontji, A., Setiapermana, D. & Sutomo, 1988. Monsoonal alteration of a mixed and a layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): a mathematical analysis of algal pigment fingerprints. *Netherlands Journal of Sea Research* **22**: 123-137.
- Gifford, D.J., 1991. The protozoan-metazoan trophic link in pelagic ecosystems. *Journal of Protozoology* **38**: 81-86.
- Gifford, D.J., 1993. Protozoa in the diets of *Neocalanus* spp. in the oceanic Subarctic Pacific Ocean. *Progress in Oceanography* **32**: 223-237.
- Giron, F., 1963. Copépodes de la mer d'Alboran (Campagne du président « Théodore-Tissier » Juin). *Revue des travaux de l'institut des pêches maritimes* **27**: 355-402.
- Gitelson, A., Karnieli, A., Goldman, N., Yacobi, Y.Z. & Mayo, M., 1996. Chlorophyll estimation in the Southeastern Mediterranean using CZCS images: Adaptation of an algorithm and its validation. *Journal of Marine Systems* **9**: 283-290.
- Glibert, P.M., Magnien, R., Lomas, M.W., Alexander, J., Fan, C., Haramoto, E., Trace, M. & Kana, T.M., 2001. Harmful algal blooms in the Chesapeake and coastal bays of Maryland, USA: comparison of 1997, 1998, and 1999 events. *Estuaries* **24**(6): 875-883.
- Glover, H.E., Keller, M.D., & Guillard, P.R.L., 1986. Light quality and oceanic ultraphytoplankters. *Nature* **319**: 142-143.

- Gold, K. & Morales, E.A., 1976. Studies on Tintinnida using scanning electron microscopy. *Transactions of the American Microscopical Society* **95**: 707 - 711.
- Gomez, F. & Gorsky, G., 2003. Annual microphytoplankton cycles in the Villefranche Bay, Ligurian Sea, NW Mediterranean. *Journal of Plankton Research* **25**: 323-339.
- Gomez, F., 2003. The toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*: An invader in the Mediterranean Sea. *Acta Botanica Croatica* **62**(2): 65-72.
- Gomez, F., Echevarria F., Garcia, C.M., Prieto, L., Ruiz, J., Reul, A., Jimenez-Gomez, F. & Varela, M.J., 2000. Microplankton distribution in the Strait of Gibraltar: coupling between organisms and hydrodynamic structures. *Journal of Plankton Research* **22**(4): 603-617.
- Gomez, F., Gorsky, G., Garcia-Gorriz, E. & Picheral, M., 2004. Control of the phytoplankton distribution in the strait of Gibraltar by wind and fortnightly tides. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* **59**: 485-497.
- Goswami, S.C., 1976. Larval stages of Laboratory reared harpacticoid copepod *Euterpina acutifrons* (Dana). *Mahasagar* **8**: 123-132.
- Gotsis-Skretas, O. & Friligos, N., 1990. Contribution to eutrophication and phytoplankton ecology in the Thermaikos Gulf. *Thalassographica* **13**: 1-12.
- Gotsis-Skretas, O., 1995. Seasonal variability of phytoplankton in eutrophic and oligotrophic environments in Saronicos Gulf, 1983-1985. *Rapport Commission Internationale pour l'Exploitation Scientifique de la Mer Méditerranée* **34**: 208.
- Gotsis-Skretas, O., Pagou, K., Moraitou-Apostolopoulou, M. & Ignatiades, L., 1999. Seasonal variability in primary production and standing stocks of phytoplankton and zooplankton in the Cretan Sea and the Straits of the Cretan Arc (March 1994-January 1995). *Progress in Oceanography* **44**: 625-649.
- Gould, S.J., 2002. *The Structure of Evolutionary Theory*. Harvard University Press, Cambridge, MA and London.
- Govaert, G. & Nadif, M., 2006. Clustering of contingency table and mixture model. *European Journal of Operational Research* **183**: 1055 - 1066.
- Gray, L.J., Martha, L.F. & Ingraffea, A.R., 1990. Hypersingular integrals in boundary element fracture analysis. *Ingraffea, International Journal for Numerical Methods in Engineering* **29**: 1135-1158.
- Greenwood, J.G., 1981. Occurrences of congeneric pairs of *Acartia* and *Pseudodiaptomus* species (Copepods: Calanoïda) in Moreton Bay, Queensland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **13**: 591-596.

- Gregori, G., 2001. Ultraplancton dans la baie de Marseille: Séries temporelles, viabilité bactérienne et mesure de la respiration par cytométrie en flux. Thèse de Doctorat. Université de la Méditerranée, Centre d'Océanologie de Marseille: 212 pp.
- Gregr, E.J. & Bodtker, K.M., 2007. Adaptive classification of marine ecosystems: Identifying biologically meaningful regions in the marine environment. *Deep-Sea Research I* **54**: 385-402.
- Grime, J.P., 1979. Plant Strategies and Vegetation Processes. Wiley, Chichester.
- Groupe Chimique Tunisien (GCT). 1992. Etude d'impact sur l'environnement des rejets de phosphogypse. Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire.
- Gruvel, A., 1926. L'industrie des pêches sur les côtes tunisiennes. *Bulletin-Station océanographique de Salammbô* **4**: 1-135.
- Gucu, A.C., 1987. Zooplankton dynamics in the Northern Clician basin, Composition and time series. Ph.D. thesis, Marine Sciences, Institute of Marine Sciences. METU. Erdemli. Turkey.
- Güde, H., 1989. The role of grazing on bacterial in plankton succession. In: Sommer, U. (ed.), plankton ecology: succession in plankton communities. Brock/Springer,
- Guelorget, O. & Mayere, C., 1979. Croissance, biomasse et production annuelle de *Venerupis decussatus* et *Venerupis aurea* dans une lagune méditerranéenne l'étang du prevost (Herault, France). *Vie et milieux* **2**: 25-38.
- Guillaumont, B., Ben Mustapha, S., Ben Moussa, H., Zaouali, J., Soussi, N., Ben mamou, A. & Cairou, C., 1995. Pollution impact study in Gabes gulf (Tunisia): Using Remote sensing data. *Marine Technology Society Journal* **29**(2): 46-58.

### -H-

- Häder, D.P., Worrest, R.C. & Kumar H.D., 1991. Aquatic ecosystems. Chapter 4 in Environmental effects of ozone depletion: 1991 update. Nairobi: United Nations Environment Programme.
- Halim, Y., 1976. Marine biological studies in Egyptian waters. A review. *Acta Adriatica* **18**: 31-38.
- Hallegraeff, G.M., 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* **32**(2): 79-99.

- Hallegraeff, G.M., 1998. Transport of toxic dinoflagellates via ship's ballast water: bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management strategies. *Marine Ecology Progress Series* **168**: 297-309.
- Hallegraeff, G.M., Marshall, J.A., Valentine, J. & Hardiman, S., 1998. Short cyst-dormancy period of an Australian isolate of the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella*. *Marine Freshwater Research* **49**: 415-420.
- Hallegraeff, G.M., Valentine, J.P., Marshall, J.A. & Christopher, J.B., 1997. Temperature tolerances of toxic dinoflagellate cysts: application to the treatment of ships' ballast water. *Aquatic Ecology* **31**: 47-52.
- Halsband-Lenk, C., Hirche, H.J. & Carlotti, F., 2002. Temperature impact on reproduction and development of congener copepod populations. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **271**: 121-153.
- Hamad, N., Millot, C. & Taupier-Letage, I., 2005. A new hypothesis about the surface circulation in the eastern basin of the Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography* **66**: 287-298.
- Hamel, G., 1926. Quelques algues rares ou novellas pour la flore méditerranéenne. Bulletin du Muséum national d'Histoire Naturelle, Paris **32** (6): 420 pp.
- Hamer, J.P., McCollin, T.A. & Lucas, I.A.N., 2000. Dinoflagellate cysts in ballast tank sediments: between tank variability. *Marine Pollution Bulletin* **40**(9): 731-733
- Hamza, A. & Ben Maïz, N., 1990. Sur l'apparition du phénomène "d'eau rouge" dans le golfe de Gabès en Eté 1988. *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô* **17**: 5-15.
- Hamza, A. & El Abed, A., 1994. Les eaux colorées dans le golfe de Gabès: bilan de sept ans de surveillance. *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô* **21**: 66-77.
- Hamza, A., 1987. Etude des Cystoseiras du golfe de Gabès. Notes préliminaires. *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô* **14**: 59-70.
- Hamza, A., 1989. Notes sur quelques algues rouges du genre *Ploysiphonia* du golfe de Gabès. *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô* **16**: 65-73.
- Hamza, A., 1994. Le phytoplancton marin toxique sur les côtes nord de Sfax: Genèse et conséquence du phénomène. Comm. Coll. Biotechnologie en Tunisie; état et perspectives. *Société Tunisienne De Chimie-Biologie*: 37-37.

- Hamza, A., 2003. Le statut du phytoplancton dans le golfe de Gabès. Thèse de Doctorat, Université de Sfax, 298 pp.
- Hamza, A., Bouain, A. & El Abed, A., 2000. Observations sur la floraison et la fructification de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* (Linneaus) Dellile sur les côtes du golfe de Gabès (Tunisie). *Mésogée* **58**: 93-99.
- Hamza, A., Dammak, H., Medhioub, A., Medhioub, N., Sahraoui, H., Mahfoudhi, M. & Kharrat, R., 2007. Variability of levels toxicity for dinoflagellate in Gabes coasts and sojourn time in shellfish in field and in detoxification experiment. *IOC / HANA –First Workshop on Harmful Algal Blooms in North Africa. Casablanca 18 – 20 October 2007*.
- Hamza, A., Ghorbel, M., Bradai, M.N. & Abdelmouleh, A., 1995. Les marées vertes sur les côtes nord de Sfax (Tunisie). *Rapport de la commission internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée* **34**: 32.
- Hamza-Chaffai, A., 1990. Impact des rejets polluants sur les concentrations en métaux traces toxiques (Cd, Cu et Zn) et en phosphate dans les poissons de la côte de Sfax (Tunisie) 73 pp.
- Hamza-Chaffai, A., 1993. Bioaccumulation métallique et métallothionéines chez des poissons de la côte de Sfax (Golfe de Gabès). Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle. Université de Sfax 168 pp.
- Hamza-Chaffai, A., Amiard, J.C. & Cosson, R.P., 1999. Relationship between metallothionein and metals in a natural population of clam *Ruditapes decussatus* from Sfax coast, a non-linear model using Box–Cox transformation. *Comparative Biochemistry and Physiology* **123**:153-163.
- Hamza-Chaffai, A., Amiard, J.C., Pellerin, J., Joux, L. & Berthet, B., 2000. The potential use of *metallothionein* in the clam *Ruditapes decussatus* as a biomarker of *in situ* metal exposure. *Comparative Biochemistry and Physiology* **127**: 185-197.
- Hamza-Chaffai, A., Amiard-Triquet, C. & El Abed, A., 1997. Metallothionein-like protein, is it an efficient biomarker of metal contamination? A case study based on fish from the Tunisian coast. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **33**: 53-62.
- Hamza-Chaffai, A., Cosson, R.P., Amiard-Triquet, C. & El Abed, A., 1995. Physicochemical forms of storage of metals (Cd, Cu and Zn) and metallothionein like proteins in fish from the Tunisian coast, ecotoxicological consequences. *Comparative Biochemistry and Physiology* **111C**(2): 329– 341.
- Hamza-Chaffai, A., Pellerin, J. & Amiard, J.C., 2003. Health assessment of a marine bivalve *Ruditapes decussatus* from the Gulf of Gabès (Tunisia). *Environment International* **28**: 609-617.

- Hamza-Chaffai, A., Romeo, M. & El Abed, A., 1996. Heavy metals in different fishes from the Middle Eastern coast of Tunisia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **56**: 766–773.
- Hamza-Chaffai, A., Roméo, M., Gnassia-Barelli, M. & El Abed, A., 1998. Effect of copper and lindane on some biomarkers measured in the clam *Ruditapes decussatus*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **61**: 397-404.
- Harris, R.P., Wiebe, P.H., Lenz, J., Skjodal, H.R. & Huntley, M., 2000. Zooplankton methodology manual. London: Academic Press, San Diego.
- Hasegawa, T., Koike, I. & Mukai, H., 2000. Dissolved organic nitrogen dynamics in coastal waters and the effect of copepods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **244**: 219-238.
- Hattour, A., 1991. Le chalutage dans les eaux tunisiennes, réalités et considérations législatives particulièrement dans les golfes de Tunis et de Gabès. *Notes de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô* **1**: 28 pp.
- Hattour, A., Ben Mustapha, K., Turki, B., Mhetli, M. & Tritar, B., 1995. L'écosystème du golfe de Gabès. *Rapport de la commission internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée* **34** : 33 pp.
- Hausmann, K., Hülsmann, N., Polianski, I., Schade, S. & Weitere, M., 2002. Composition of benthic protozoan communities along a depth transect in the eastern Mediterranean sea. *Deep-sea research part I* **49**: 1959-1970.
- Heinle, D.R., 1966. Production of a calanoid copepod *Acartia tonsa* in the Patuxent river estuary. *Chesapeake science* **7**: 59-74.
- Heldal, M. & Bratback, G., 1991. Production and decay of viruses in aquatic environments. *Marine Ecology Progress Series* **72**: 205-212.
- Heldt, H., 1929. Le lac de Tunis (partie Nord). Résultats des pêches au filet fin. *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô* **11**: 1-74.
- Henriksen, P., Rimann, B., Kass, H., Sorensen, H.M. & Sorensen, H.L., 2002. Effects of nutrient-limitation and irradiance on marine phytoplankton pigments. *Journal of Plankton Research* **24**(9): 835-858.
- Hensen, V., 1887. Über die Bestimmung des Planktons oder des im Meere treibenden Materiales an Pflanzen und Tieren. *Ber Komm Wiss Untersuch Deutsch Meere* **5**: 1-109.
- Hernandez-Becerril, D.U. & Bravo-Sierra, E., 2001. Planktonic Silicoflagellates (Dictyochophyceae) from the Mexican Pacific Ocean. *Botanica Marina* **44**: 417-423.

- Hernandez-Leon, S., Almeida, C., Portillo-Hanhefeld, A., Gomez, M., Rodriguez, J.M. & Aristegui, J., 2002. Zooplankton biomass and indices of feeding and metabolism in relation to an upwelling filament off Northwest Africa. *Journal Marine Research* **60**: 327–346.
- Heurt, B., Zohary, T., Krom, M.D., Fauzi, R., Mantoura, C., Pitta, P., Psarra, S., Rassoulzadegan, F., Tanaka, T. & Thingstad, T.F., 2005. Response of East Mediterranean surface water to Saharan dust: On-board microcosm experiment and field observations. *Deep-Sea research II* **52**: 3024-3040.
- Hillebrand, H., Dürselen, C.D., Kirschtel, D., Pollinger, U. & Zohary, T., 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology* **35**: 403-424.
- Hirche, H.J., Meyer, U. & Niehoff, B., 1997. Egg production of *Calanus finmarchicus*-effect of food, temperature and season. *Marine Biology* **127**: 609–620.
- Hodgkiss, I.J. & Lu, S., 2004. The effects of nutrients and their ratios on phytoplankton abundance in Junk Bay, Hong Kong. *Hydrobiologia* **512**: 215–229.
- Honjo, S., 1978. Sedimentation of materials in the Sargasso Sea at a 5,367 m deep station. *Journal of Marine Research* **36**(3): 469-492.
- Honsell, G., Nichetto, P., Sidari, L. & Tubaro, A., 1995. Toxic dinoflagellates in the Mediterranean Sea. *Giornale Botanico Italiano* **129**: 391-403.
- Hop, H., Tonn, W.M. & Welch, H.E., 1997. Bioenergetics one arctic cod *Booreogodus saida* at low temperatures. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54**: 1772-1784.
- Howarth, R.W., Billen, G., Swaney, D., Townsend, A., Jaworski, N., Downing, J.A., Elmgren, R., Caraco, N. & Kajtha, K., 1996. Regional nitrogen budgets and riverine N&P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: natural and human influences. *Biogeochemistry* **35**: 75-139.
- Huber-Pestalozzi, G., 1968. Das phytoplankton des Susswassars, 1. Halfte, Cryptophyceae, Chloromonadophyceae, Dinophyceae. E. Schweizerbart Verlag, Stuttgart.
- Hurd, L.E., Eisenberg, R.M., Fagan, W.F., Tilmon, K.J., Snyder, W.E., Vandersall, K.S., Datz, S.G. & Welch, J.D., 1994. Cannibalism reverses male-biased sex-ratio in adult mantids-female strategy against food limitation. *Oikos* **69**: 193-198.
- Hutchinson, G.E., 1959. Homage to Santa Rosalia or why are there so many kinds of animals? *American Naturalist* **93**: 145–159.
- Hutchinson, G.E., 1967. A treatise on limnology. Vol. 2. Introduction to lake biology and the limnoplankton. J. Wiley & Sons, New-York. 1115 pp.

- Huys, R. & Boxshall, G.A., 1991. Copepod evolution. London: The Ray Society, Inlet. *Marine Ecology Progress Series* **163**: 37–44.
- Hwang, J.S., Dahms, H.U., Tseng, L.C. & Chen, Q.C., 2007. Intrusions of the Kuroshio Current in the northern South China Sea affect copepod assemblages of the Luzon Strait. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **352**: 12–27.

## -I-

- Ichimi, K., Yamasaki, M., Okumura, Y. & Suzuki T., 2001. The growth and cyst formation of a toxic dinoflagellate, *Alexandrium tamarense*, at low water temperature in northeastern Japan. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **261**: 17-29
- Ignatiades, L., Pagou, K. & Vaassiliou, A., 1986. Long term response of six diatom species to eutrophication. *Ocenologica Acta* **9**: 449-456.
- Illou, S., 1999. Impact des rejets telluriques d'origines domestiques et industrielles sur l'environnement côtier: cas du littoral de la ville de Sfax. Thèse de doctorat, Université de Tunis 11. 259 pp.

## -J-

- Jackson, J.B.C. & Cheetham, A.H., 1994. Phylogeny reconstruction and the tempo of speciation in cheilostome Bryozoa. *Paleobiology* **20**: 407-423.
- Jacques, J. & Tréguer, P., 1986. Écosystèmes pélagiques marins. Masson (ed.), Paris. Coll. Ecologie 19, 249 pp.
- Jacquet, S., Domaizon, I., Personnic, S., Sriram, A., Pradeep Ram, A. S., Hedal, M., Duhamel, S. & Sime-Ngando, T., 2005. Estimates of protozoan- and viral-mediated mortality of bacterioplankton in lake Bourget (France). *Freshwater Biology* **50**: 627-645.
- Jacquet, S., Lennon, J.F. & Vaultot, D., 1998a. Application of compact automatic sea water sampler to high frequency picoplankton studies. *Aquatic Microbial Ecology* **14**: 309-314.
- Jacquet, S., Lennon, J.F., Marie, D. & Vaultot, D., 1998b. Picoplankton population dynamics in coastal waters of the northwestern Mediterranean Sea. *Limnology and Oceanography* **43**: 1916-1931.
- Jansen, S., Riser, C.W., Wassmann, P. & Bathmann, U., 2006. Copepod feeding behaviour and egg production during a dinoflagellate bloom in the North Sea. *Harmful algae* **5**: 102-112.

- Jarboui, O., Ghorbel, M., Bradai, M.N., Zghidi, W. & Wannes-Ghorbel, A., 1999. Campagne de chalutage expérimental à bord du bateau "Hannoun" dans la région du golfe de Gabès (Octobre – Décembre 1998). Rapport de mission: 16 pp.
- Jeffries, H.P., 1962. Succession of two *Acartia* species in estuaries. *Limnology and Oceanography* **7**: 354-364.
- Jeffries, H.P., 1967. Saturation of estuarine zooplankton by cogeneric associates. In: Lauff, G.M. (ed.), *Estuaries* American Association for the Advancement Science, Assoc DC, pp. 500-508.
- Jiao, N., Yang, Y., Hong, N., Ma, Y., Harada, S., Koshikawa, H. & Watanabe, M., 2005. Dynamics of autotrophic picoplankton and heterotrophic bacteria in the East China Sea. *Continental Shelf Research* **25**(10): 1265-1279.
- Johansson, M., Gorokhova, E. & Larsson, U., 2004. Annual variability in ciliate community structure, potential prey and predators in the open northern Baltic Sea proper. *Journal of Plankton Research* **26**: 67-80.

**-K-**

- Kamiyama, T., 1994. Effects of extracellular products from phytoplankton on the excystment of tintinnids from marine sediments. *Marine Ecology Progress Series* **105**: 199-201.
- Kang, J.H., Kim, W.S., Chang, K.I. & Noh, J.H., 2004. Distribution of plankton related to the mesoscale physical structure within the surface mixed layer in southwestern East Sea, Korea. *Journal of Plankton Research* **26**(12): 1515-1528.
- Kelly, M. & Naguib, M., 1984. Eutrophication in coastal marine areas and lagoons: a case study of 'Lac de Tunis'. *UNESCO Reports in Marine Science* **29**: 1-41.
- Khattabi, H. & Aleya, L., 2007. The dynamics of macro-invertebrate assemblages in response to environmental change in four basins of the Etueffont landfill leachate (Belfort, France). *Water, Air and Soil Pollution* **185**: 63-77.
- Khattabi, H., Aleya, L. & Mania, J., 2006. Spatio-temporal distribution and characterisation of phytoplankton populations coupled with abiotic and biotic changes in landfill leachate treatment basins (Etuffont, Belfort, France). *Water, Air and Soil Pollution* **174**: 107-125.
- Kimor, B. & Wood, J.F., 1975. A plankton study in the eastern Mediterranean Sea. *Marine Biology* **29**: 321-333.
- Kiorboe, T., 1998. Population regulation and role of mesozooplankton in shaping marine pelagic food webs. *Hydrobiologia* **363**: 13-27.

- Kirchman, D.L., Keil, R.G. & Wheeler, P.A., 1989. The effect of amino acids on ammonium utilization and regeneration by heterotrophic bacteria in the subarctic Pacific. *Deep-Sea Research* **36**: 1763-1776.
- Kleppel, G.S., Holliday, D.V. & Pieper, R.E., 1991. Trophic interactions between copepods and microplankton: a question about the role of diatoms. *Limnology and Oceanography* **36**: 172-178.
- Kobari, T., Shinada, A. & Tsuda, A., 2003. Functional roles of interzonal migrating mesozooplankton in the western Subarctic Pacific. *Progress in Oceanography* **57**: 279-298.
- Kopáček, J., Stuchlík, E., Straškarabová, V.F.J., Veselý, J. & Pšenáková, P., 2000. Factors governing nutrient status of mountain lakes in the Tatra Mountains. *Freshwater Biology* **43**: 369-383.
- Korhola, A., Olander, H. & Blom, T., 2000. Cladoceran and chironomid assemblages as quantitative indicators of water depth in subarctic Fennoscandian lakes. *Journal of Paleolimnology* **24**: 43-54.
- Korhola, A.A. & Rautio, M., 2001. Cladocera and other branchipod crustaceans. In: Smol, J.P., Birks, H.J.B. & Last, W.M. (ed.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, Volume 4: Zoological Indicators*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands 240 pp.
- Kouwenberg, J.H.M., 1993. Sex ratio of calanoid copepods in relation to population compositions in the Northwestern Mediterranean. *Crustaceana* **64**(3): 280-299.
- Kovalev, A.V., 1988. Structure of zooplankton communities and its changes in the offshore Atlantic and in the Mediterranean basin. Diss. of Doctor of Biol. Sciences. Sevastopol, 454 pp (In Russian).
- Kovalev, A.V., Mazzocchi, M.G., Kideys A.E. & Toklu, B., 2003. Seasonal changes in the composition and abundance of zooplankton in the Seas of the Mediterranean Basin. *Turkish Journal of Zoology* **27**: 205-219.
- Kowenbergh, J. & Razouls, C., 1990. The incidence of environmental factors on the evolution of copepod populations in the 'Golfe du Lion' during the period 1986-88 in comparison with the period 1957-64. *Bulletin de zoologie de France* **115**: 23-36.
- Kozłowski-Suzuki, B., Carlsson, P., Rühl, A. & Granéli E., 2006. Food selectivity and grazing impact on toxic *Dinophysis* spp. By copepods feeding on natural plankton assemblages. *Harmful Algae* **5**: 57-68.

- Kraay, G.W., Zapata, M. & Veldhuis, M.J.W. 1992. Separation of chlorophylls  $C_1$ ,  $C_2$  and  $C_3$  of marine phytoplankton by reversed-phase  $C_{18}$  high-performance liquid chromatography. *Journal of Phycology* **28**: 708-712.
- Krebs, C.J., 1999. Ecological methodology. Menio Park, Canada. Addison-Weseley Longman.
- Kremp, A., 2000. Distribution, dynamics and *in situ* seeding potential of *Scrippsiella hangoei* (Dinophyceae) cyst populations from the Baltic Sea. *Journal of Plankton Research* **22**(11): 2155-2169.
- Kress, N. & Herut, B., 2001. Spatial and seasonal evolution of dissolved oxygen and nutrients in the Southern Levantine Basin (Eastern Mediterranean Sea). Chemical characterization of the water masses and inferences on the N:P ratios. *Deep-Sea Research I* **48**: 2347–2372.
- Kress, N., Thingstad, T.F., Pitta, P., Psarra, S., Tanaka, T., Zohary, T., Groom, S., Herut, B., Mantoura, R.F.C., Polychronaki, T., Rassoulzadegan, F. & Spyres, G., 2005. Effect of P and N addition to oligotrophic Eastern Mediterranean waters influenced by near-shore waters: A microcosm experiment. *Deep-Sea Research II* **52**: 3054-3073.
- Krom, M.D., Brenner, S., Kress, N. & Gordon, L.I., 1991. Phosphorus limitation of primary productivity in the E. Mediterranean Sea. *Limnology and Oceanography* **36**: 424-432.
- Krsinic, F., Bojanic, D., Precali, R. & Kraus, R., 2007. Quantitative variability of the copepod assemblages in the northern Adriatic Sea from 1993 to 1997. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **74**: 528-538.
- Krsinic, F., Musin, D. & Rudenjak-Lukenda, M., 1988. Microzooplankton and eutrophication of the Northern Adriatic. *Pomorski Zbornik* **26**: 601-612 (in Croatian).
- Ktari-Chakroun, F. & Azouz, A., 1971. Les fonds chalutables de la région Sud-Est de la Tunisie (golfe de Gabès). *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô* **2**(1): 5-48.
- Ktari-Chakroun, F., 1979. Evadne nordmanni Lovén dans le golfe de Tunis: distribution et abondance. *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô* **6**: 123-131.

-L-

- Laevastu, T., Alverson, D.L. & Marasco, R.J., 1996. Exploitable Marine Ecosystems: Their Behaviour and Management. Fishing News Books, Cambridge, M A.

- Lakkis, S. & Zeidane, R., 1990. Associations congeneriques d'*Acartia* (Copepoda, Calanoida) dans les eaux côtières Libanaises: calcul des indices 'd'Overlap et de Niche hypervolume'. *Rapport de la commission internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée* **32**: 222-223.
- Lakkis, S., 1976. Sur la presence des eaux libanaises quelques Copépodes d'origine indo-pacifique. *Rapport de la commission internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée* **23**: 83-85.
- Lakkis, S., 1990. Composition, diversité et successions des copépodes planctoniques des eaux libanaises (Méditerranée Orientale). *Oceanologica Acta* **13**: 489-501
- Lakkis, S., 1994. Coexistence and competition within *Acartia* (Copepoda, Calanoida) congeners from Lebanese coastal water: niche overlaps measurements. In: Ferrari, F.D. & Bradley, B.P., (ed.), *Ecology and morphology of Copepods*, Kluwer Academic Publishers, 530 pp.
- Lam-Hoai, T. & Amanieu, M., 1989. Structures spatiales et evolution saisonnière du zooplankton superficial dans deux ecosystems lagunaires nord-médierranéens. *Oceanologica Acta* **12**: 65-77.
- Lam-Hoi, T. & Rougier, C., 2001. Zooplankton assemblages and biomass during a 4 period survey in a northern Mediterranean coastal lagoon. *Water Research* **35**: 271-283.
- Lampitt, R.S. & Gamble, J.C., 1982. Diet and respiration of the small planktonic marine Copepod *Oithona nana*. *Marine Biology* **66**: 185-190.
- Latasa, M., Bidigare, R.R., Ondrusek, M.E. & Kennicutt, II M.C., 1996. HPLC analysis of algal pigments: A comparaison excersice among laboratories and recommendations for improved analytical performance. *Marine Chemistry* **51**: 315-324.
- Laval-Peuto, M., 1983. Sexual reproduction in *Favella ehrenbergii* (Ciliophora, Tintinnina). Taxonomical implications. *Protistologica* **29**: 503-512.
- Le Danois, E., 1925. Recherches sur les fonds chalutables des côtes de Tunisie (croisière du chalutier "tanche" en 1924). *Annales: Station océanographique de Salammbô* **3**: 1-56.
- Lecombe, H. & Tchernia, P., 1972. Caractères hydrologiques et circulation des eaux en Méditerranée. In: D. Stanley (ed.), *Mediterranean sea*. Dowden, Hutchinson and Ross, pp. 25-36, Stroudsburg.
- Lee, H.W., Ban, S., Ikeda, T. & Matsuishi, T., 2003. Effect of temperature on development, growth and reproduction in the marine copepod *Pseudocalanus newmani* at satiating food condition. *Journal of Plankton Research* **25**(3): 261-271.

- Lee, S. & Fuhrman, J.A., 1987. Relationships between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton. *Applied and Environmental Microbiology* **53**: 1298-1303.
- Lee, W.Y. & McAlice, B.J., 1979. Seasonal succession and breeding cycles of three species of *Acartia* (Copepoda: Calanoida) in a Maine estuary. *Estuaries* **2**: 228-235.
- Legendre, L. & Legendre, P., 1979. Ecologie numérique, le traitement multiple des données écologiques. Ed Masson. Les presses de l'université de Québec, 197 pp.
- Legendre, L. & Rassoulzadegan, F., 1995. Plankton and nutrient dynamics in marine waters. *Ophelia* **41**: 153-172.
- Legendre, P. & Legendre, L., 1998. Numerical Ecology, 2<sup>nd</sup> English edition. Elsevier Science BV, Amsterdam: 853 pp.
- Leising, A.W., Pierson J.J., Halsband-Lenk, C., Horner, R. & Postel, J., 2005. Copepod grazing during spring blooms: Can *Pseudocalanus newmani* induce trophic cascades? *Progress in Oceanography* **67**: 406-421.
- Lenz, J., 1992. Microbial loop, microbial food web and classical food chain: Their significance in pelagic marine ecosystems. *Archives Hydrobiology Beih* **37**: 265-278.
- Letelier, R.M., Bidigare, R.R., Hebel, D.V., Ondrusek, M., Winn, C.D. & Karl, D.M., 1993. Temporal variability of phytoplankton community structure based on pigment analysis. *Limnology and Oceanography* **38**: 1420-1437.
- 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.
- Lévy, M., Mémery, L. & André, J.M., 1998. Simulation of primary production and export of particulate organic carbon in oceans. *Journal of Plankton Research* **56**: 197-238.
- Lhomme, J.P. & Winkel, T., 2002. Diversity–stability relationships in community ecology: re examination of the portfolio effect. *Theoretical Population Biology* **62**: 271–279.
- Licandro, P. & Ibanez, F., 2000. Changes of zooplankton communities in the Gulf of Tigullio (Ligurian Sea, western Mediterranean) from 1985 to 1995. Influence of hydroclimatic factors. *Journal of Plankton research* **22**(12): 2225-22253.
- Livingston, R.J., 2001. Eutrophication processes in coastal systems, CRC Press, Boca Raton.
- Llewellyn, C., Fishwick, J.R. & Blackford, J.C., 2005. Phytoplankton community assemblage in the English Channel: A comparison using chlorophyll *a* derived from HPLC-CHEMTAX and carbon derived from microscopy cell counts. *Journal of Plankton Research* **27**(1): 103-119.

- Lo, W.T., Chung, C.L. & Shih, C.T., 2004. Seasonal distribution of copepods in the Tapong Bay, southwestern Taiwan. *Zoological Studies* **43**: 464-474.
- Lohman, H., 1908. Untersuchungen zur Feststellung des Vollständigen Gehaltes des Meeres an Plankton. *Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen* **10**: 131-370.
- Loreau, M. & Hector, A., 2001. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature* **412**: 72-76.
- Loreau, M., 2000. Biodiversity and ecosystem functioning: recent theoretical advances. *Oikos* **91**: 3-17.
- Lovejoy, C., Legendre, L., Martineau, M-J., Bâcle, J. & von Quillfeldt, C.H., 2002. Distribution of phytoplankton and other protists in the North Water. *Deep-Sea Research II* **49**: 5027-5047.
- Lynn, D.H. & Montagnes, D.J.S., 1991. Global production of heterotrophic marine planktonic ciliates. In: Reid, P.C., Turley, C.M., & Burkill, P.H. (eds.), Protozoa and their role in marine processes, NATO ASI Series, G **25**: 281-307.

### -M-

- MacArthur, R., 1955. Fluctuations of animal populations, and a measure of community stability. *Ecology* **36**(3): 533-536.
- Macek, M., Šimek, K., Pernathaler, J., Vyhnalek, V. & Psenner, R., 1996. Growth rate of dominant planktonic ciliates in two freshwater bodies of different trophic degree. *Journal of Plankton Research* **18**: 463-481.
- Mackey, D.J., Higgins, D.W., Mackey, M.D. & Holdsworth, D., 1998. Algal class abundances in the western equatorial Pacific: estimation from HPLC measurements of chloroplast pigments using CHEMTAX. *Deep-Sea Research* **45**: 1441-1468.
- Mackey, M.D., Mackey, D.J., Higgins, H.W. & Wright, S.W., 1996. CHEMTAX-A program for estimating class abundances from chemical markers: application to HPLC measurements of phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series* **144**: 265-283.
- Maclsaac, A.E. & Stockner, G.J., 1993. Enumeration of phototrophic picoplankton by autofluorescence microscopy. In: Kemp, F.P., Sherr, F.B., Sherr, B.E. & Cole, J.J. Handbook of methods. *Aquatic Microbial Ecology*: 187-197.
- Magazzù, G. & Decembrini, F., 1995. Primary production, biomass and abundance of phototrophic picoplankton in the Mediterranean Sea: a review. *Aquatic Microbial Ecology* **9**: 97-104

- Malone, T.C., 1971. The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producers in Tropical Ocean and neritic phytoplankton communities. *Limnology and Oceanography* **16**: 633-639.
- Marcus, N.H. & Boero, F., 1998. Minireview: The importance of benthic-pelagic coupling and the forgotten role of life cycles in coastal aquatic systems. *Limnology and Oceanography* **43**(5): 763-768.
- Marcus, N.H., Richmond, C., Sedlacek, C., Miller, G.A. & Oppert, C., 2004. Impact of hypoxia on the survival, egg production and population dynamics of *Acartia tonsa* Dana. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **301**: 111-128.
- Margalef, R., 1955. Los organismos indicadores en la limnología. Biología de las aguas continentales. XII. Ministerio de Agricultura Inst Forest Invest. Exper, Madrid: 300 pp.
- Margalef, R., 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologia Acta* **1**: 493-509.
- Margalef, R.N. & Castellvi, J., 1967. Fitoplancton y producción primaria de costa catalana, de julio de 1966 a julio de 1967. *Investigaciones Pesqueras* **31**: 491-502.
- Mariani, S., 2001. Can spatial distribution of Ichthyofauna Describe Marine Influence on Coastal Lagoons? A central Mediterranean Case Study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **52**: 261-267.
- Mariani, S., 2006. Life-history and ecosystem driven variation in composition and residence pattern of *Seabream* species (Perciformes: Sparidae) in two Mediterranean coastal lagoons *Marine Pollution Bulletin* **53**: 121-127.
- Marty, J.C., Chiaverini, J., Pizay, M.D. & Avril, B., 2002. Seasonal and inter-annual dynamics of nutrients and phytoplankton pigments in the western Mediterranean Sea at the DYFAMED time-series station (1991-1999). *Deep-Sea Research* **49**: 1965-1985.
- Marty, J.C., Nicolas, E., Miquel, J.C. & Fowler, S.W., 1994. Particulate fluxes of organic compounds and their relationship to zooplankton fecal pellets in the northwestern Mediterranean Sea. *Marine Chemistry* **46**: 387-405.
- Masri, N., 2005. Bio-indicateurs des stress environnementaux marins de la côte Sud de Sfax. Exemple des foraminifères benthiques actuels. Mémoire de Mastère, Université de Sfax.
- Massana, R., Balagué, V., Guillou, L. & Pedrós-Alió, C., 2004. Picoeukaryotic diversity in an oligotrophic coastal site studied by molecular and culturing approaches. *FEMS Microbiology Ecology* **50**: 231-243.

- Matsuoka, K., Joyce, L.B., Kotani, Y. & Matsuyama, Y., 2003. Modern dinoflagellate cysts in hypertrophic coastal waters of Tokyo Bay, Japan. *Journal of Plankton Research* **25**(12): 1641-1470.
- Mauchline, J., 1998. The biology of calanoid copepods. Academic Press, San Diego, CA.
- Mazzochi, M.G. & Ribera d'Alcalà, M., 1995. Recurrent patterns in zooplankton structure and succession in a variable coastal environment. *ICES Journal of Marine Science* **52**: 679-691.
- McCann, K.S., 2000. The diversity–stability debate. *Nature* **405**: 228–233.
- McEvoy, L., Næss, T., Bell, J.G. & Lie, O., 1998. Lipid and fatty acid composition of normal and malpigmented Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed enriched *Artemia*: A comparison with fry fed wild copepods. *Aquaculture* **163**: 235-248.
- McGillicuddy, Jr D.J., Signell, R.P., Stock, C.A., Keafer, B.A., Keller, M.D., Hetland, R.D. & Anderson, D.M., 2003. A mechanism for offshore initiation of harmful algal blooms in the coastal Gulf of Maine. *Journal of Plankton Research* **25**(9): 1131-1138.
- Mednikov, B.M., 1962. On the sex ratio in deep water Calanoida. *Crustaceana* **3**: 105-109.
- Meinez, A.G. & Matheison, A.C. 1981. The marine algae of Tunisia. Smith. Contributions in Marine Science **10**: 59 pp.
- Mercado, J.M., Cortés, D., Garcia, A. & Ramirez, T., 2007. Seasonal and inter-annual changes in the planktonic communities of the northwest Alboran Sea (Mediterranean Sea). *Progress in Oceanography* **74**: 273-293.
- Metzler, M.P., Gilbert, M.P., Gaeta, S.G. & Ludlam, J.M., 2000. Contrasting effects of substrate and grazers manipulations on picoplankton in oceanic and coastal waters of Brazil. *Journal of Plankton Research* **22**: 77-90.
- Mezghani-Chaari, S., 2006. Transfert du mercure le long de deux chaînes trophiques: Etude *in situ* dans les côtes de Sfax (Golfe de Gabès). Mastère en Biodiversité et Ressources Aquatiques. Université de Sfax-Institut National des Sciences & Technologies de la Mer. 72 pp.
- Michaelian, K., 2005. Thermodynamic stability of ecosystems. *Journal of Theoretical Biology* **237**: 323-335.
- Middleboe, M. & Lyck, P.G., 2002. Regeneration of dissolved organic matter by viral lysis in marine microbial communities. *Aquatic Microbial Ecology* **27**: 187-194.
- Miller, D.D. & Marcus, N.H., 1994. The effect of salinity and temperature on the density and sinking velocity of eggs of the calanoid copepod *Acartia tonsa* Dana. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **179**: 235-252.

- Millie, D.F., Paerl, H.W. & Hurley, J.P., 1993. Microalgal pigment assessments using high performance liquid chromatography: a synopsis of organismal and ecological applications. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **50**: 2513–2527.
- Minas, M. & Minas, H., 1989. Primary production in the Gulf of Lions with considerations to the Rhone River inputs. In: Martin, J.M., Barth, H. (ed.), Water Pollution Research report 13 `EROS 2000a. CEC-MST, Paris, pp. 112-125.
- Miquel, J.C., Fowler, S.W., La Rosa, J. & Buat-Ménard, P., 1994. Dynamics of the downward flux of particles and carbon in the open NW Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research* **41**: 242-261.
- Missaoui, H., Jabeur, C., Gobert, B., Jarboui, O. & El Abed, A., 2000. Analyse typologique de la flottille chalutière du golfe de Gabès (Sud Est de la Tunisie). *Bulletin de l'institut National et Technologie de la Mer de Salammbô* **27**: 15-33.
- Moita, M.T., 1993. Spatial variability of phytoplankton communities in the upwelling region of Portugal. ICES, C.M., L **64**: 20 pp.
- Molinero, J.C., Ibanez, F., Souissi, S., Bosc, E. & Nival, P., 2008. Surface patterns of zooplankton spatial variability detected by high frequency sampling in the NW Mediterranean. Role of density fronts. *Journal of Marine Systems* **69**(3-4): 271-282.
- Molinier, R. & Picard, J., 1954. Eléments de bionomie marine sur les côtes de la Tunisie. *Bulletin - Station océanographique de Salammbô* **48**: 1-47.
- Molinier, R. & Zevaco, C., 1962. Etude écologique et biocénotique dans la baie du Brusca (Var). *Bulletin de l'institut océanographique de Monaco*. N° 1234: 46 pp.
- Monard, A., 1935. Les Harpacticoides marins de la région de Salammbô. *Bulletin - Station Océanographique de Salammbô* **34**: 1-94.
- Montresor, M., Zingone, A. & Sarno, D., 1998. Dinoflagellate cyst production at a coastal Mediterranean site. *Journal of Plankton Research* **20**(12): 2291-2312.
- Moon-van, D. S., De Wachter, R. & Vaulot, D., 2001. Oceanic 18S rDNA sequences from picoplankton reveal unsuspected eukaryotic diversity. *Nature* **409**: 607-610.
- Moore, E.A. & Sander, F., 1983. Physioecology of tropical marine copepods. II. Sex ratios. *Crustaceana* **44**: 113-122.
- Morais, P., Chicharo, M.A. & Barbosa, A., 2003. Phytoplankton dynamics in a coastal saline lake (SE-Portugal). *Acta Oecologica* **24**: 587-596.
- Moran, X.A., Taupier-Letage, I., Vázquez-Dominguez, E.S., Arin, L., Raimbault, P. & Estrada, M., 2001. Physical-biological coupling in the Algerian Basin (SW Mediterranean):

Influence of mesoscale instabilities on the biomass and production of phytoplankton and bacterioplankton. *Deep-Sea research I* **48**: 405-437.

- Moreira, G.S., Jillet, J.B., Vernberg, W.B. & Weinrich, M., 1982. The combined effects of temperature and salinity on the survival of *Euterpina acutifrons* (Dana) (Copepoda, Harpacticoida) from the New Zealand and Brazilian coasts. *Journal of Plankton Research* **4**: 85-91.
- Morel, A. & Andre, J. M., 1991. Pigment distribution and primary production in the western Mediterranean as derived and modeled from Coastal Zone Color Scanner observations. *Journal of Geophysical Research* **96**: 12685-12698.
- Moutin, T. & Rainbault, P., 2002. Primary production, carbon export and nutrients availability in western and eastern Mediterranean Sea in early summer 1996 (MINOS cruise). *Journal of Marine Systems* **33**: 273-288.
- Mücke, S.K.Y. & Hemleben, C., 1999. South Atlantic zooplankton. Foraminifera. Vol 1. Edited by D. Boltovskoy, pp. 43-73.
- Müller, H. & Geller, W., 1993. Maximum growth rates of aquatic ciliated protozoa: the dependence on body size and temperature reconsidered. *Archives Hydrobiologia* **126**: 315-327.

-N-

- Naeem, S., 2002. Biodiversity equals instability? *Nature* **416**: 23-24.
- Najai, S., 1983. Contribution à l'étude de la biologie des espèces de Céphalopodes de Tunisie. Application à l'espèce *Sepia officinalis* (Linné, 1758). Thèse Doctorat. 3<sup>ème</sup> cycle. Université de Tunis: 229 p.
- Neveux, J., Vaultot, D., Courties, C. & Fukai, E., 1989. Green photosynthetic bacteria associated with a deep chlorophyll maximum of the Sargasso Sea. *Compte-Rendus de l'Académie des Sciences, Paris* **308** : 9-14.
- Nezan, E., 1996. Surveillance du phytoplancton marin : les principales classes hormis les diatomophycées. Manuel illustré adapté à la formation des analystes. Ed. IFREMER, 78 pp.
- Nixon, S.W., Ammerman, J.W., Atkinson, L.P., Berounsky, V.M., Billen, G., Boicourt, W.C., Boynton, W.R., Church, T.M., Ditoro, D.M., Elmgren, R., Garber, J.H., Giblin, A.E., Jahnke, R.A., Owens, N.J.P., Pilson, M.E.Q. & Seitzinger, S.P., 1996. The fate of nitrogen and phosphorus at the land-sea margin of the North Atlantic Ocean. *Biogeochemistry* **35**: 141-180.

▪ Not, F., 2004. Structure et diversité des communautés de picoeucaryotes en milieu marin. Thèse de doctorat Océanologie biologique et environnement marin. Université Paris VI Pierre & Marie Curie. 159 pp.

**-O-**

- O.E.C.D. Organization for Economic Cooperation and Development, 1982. Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control. Environment Directorate, OECD, Paris.
- Odum, E.P., 1953. Fundamentals of Ecology. Saunders College Publishing, Philadelphia.
- Oksanen, J., Kindt, R., Legendre, P. & O'Hara, R.B., 2006. Community Ecology Package, 1, 8-3.
- Olivieri, R.A. & Chavez, F.P., 2000. A model of plankton dynamics for the coastal upwelling system of Monterey Bay, California. *Deep-Sea Research II* **47**: 1077-1106.
- Olszewski, T.D., 2004. A unified mathematical framework for the measurement of richness and evenness within and among multiple communities. *Oikos* **104**: 377-387.
- Omori, M. & Ikeda, T., 1984. Methods in Marine Zooplankton Ecology. John Willey and Sons, New York. 325 pp.
- Onodera, J. & Takahashi, K., 2005. Silicoflagellate fluxes and environmental variations in the northwestern North Pacific during December 1997-May 2000. *Deep-Sea Research I* **52**: 371-388.
- Osore, M.K.W., Mwaluna, J.M., Fiers, F. & Daro, M.H., 2004. Zooplankton composition and abundance in Mida Creek, Kenya. *Zoological Studies* **43**: 415-424.
- Ouahchi, F., 1977. Contribution à l'élaboration d'un catalogue des algues marines de Tunisie. DEA, Université de Tunis, 103 pp.

**-P-**

- Padisák, J., Krienitz, L., Koschel, R. & Nadoma, J., 1997. Deep-layer autotrophic picoplankton maximum in the oligotrophic Lake Stechin, Germany: origin, activity, development and erosion. *European Journal of Phycology* **32**: 403 - 416.
- Paerl, H.W., 1997. Coastal eutrophication and harmful algal blooms: importance of atmospheric deposition and groundwater as "new" nitrogen and other nutrient sources. *Limnology and Oceanography* **42**: 1154-1165.
- Paerl, H.W., Valdes, L.M., Pinckney, J.L., Piehler, M.F., Dyble, J. & Moisander, P.H., 2003. Phytoplankton photopigments as indicators of estuarine and coastal eutrophication. *Bioscience* **53**: 953-964.

- Paffenhöfer, G.A. & Knowles, S.A., 1978. Laboratory experiments on feeding, growth and fecundity and effects of cadmium on *Pseudodiaptomus*. *Bulletin of Marine Science* **28**: 574-580.
- Paffenhöfer, G.A., 1993. On the ecology of marine cyclopoid (Crustacea Copepoda). *Journal of Plankton Research* **15**: 37-55.
- Pagou, K. & Assimakopoulou, G., 1996. Distribution of phytoplankton populations in Thermaikos Gulf (Anagnostou, C., ed.). Technical Report, NCMR, Athens, July 1996, pp. 103-134. (In Greek).
- Pagou, K. & Ignatiades, L., 1988. Phytoplankton seasonality patterns in eutrophic marine coastal waters. *Biological Oceanography* **5**: 229-241.
- Pagou, K. & Ignatiades, L., 1990. The periodicity of *Gymnodinium breve* (Davis) in Saronikos Gulf, Aegean Sea. In *Toxic Marine Phytoplankton* (Graneli et al., ed.). Elsevier, New York, pp. 206-208.
- Pagou, K., 1990. Eutrophication problems in Greece. *Water Pollution Research Reports* **16**: 97-114.
- Parck, J.S., 1979. Field bioassays on shellfish to assess environmental pollution levels of the Masan Bay. *SO: Journal of the Oceanological Society of Korea* **14**(1): 15-25.
- Parsons, T.R., Takahashi, M. & Hargrave, B., 1984. *Biological Oceanographic Processes*, third ed., vol. 3 Butterworth-Heinemann, Oxford, 1-323 pp.
- Pasteur, R., Berdugo, V. & Kimor, B., 1976. The abundance, composition and seasonal distribution of epizooplankton in coastal and offshore waters of the eastern Mediterranean. *Acta Adriatica* **18**(4): 53-80.
- Patalas, J. & Patalas, K., 1968. Crustaceans plankton of some mazurian lakes characterized by different fish yield. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* **15**(28): 289-304.
- Pechlaner, R., 1979. Response of the eutrophied piburger see to reduced external loading and removal of monimolimnic water. *Archives Hydrobiologie Beih* **13**: 293-305.
- Peierls, B., Caraco, N., Pace, M. & Col, J., 1991. Human influence on river nitrogen. *Nature* **350**: 386-387.
- Perès, J.M. & Devèze, L., 1963. *Océanographie biologique et biologie marine. II. La vie pélagique*. Presses Univ. Fr., Paris, 514 pp.
- Perès, J.M. & Picard, J. 1964. *Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée*. *Revue des Travaux. Station Marine d'Endoume* **31**(4): 5-215.
- Peres-Neto, P., Legendre, P., Dray, S. & Borcard, D., 2006. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparison of fractions. *Ecology* **87**: 2614-2625.

- Pérez, M.T., Dolan, J.R., Vidussi, F. & Fukai, E., 2000. Diel vertical distribution of planktonic ciliates within the surface layer of NW Mediterranean (May 1995). *Deep-sea Research I* **47**: 479-503.
- Pergent, G., 1992. L'herbier de posidonies: Un indicateur biologique performant de la qualité des eaux littorales. Communication séminaire « Pollution marine et son impact sur le milieu dans le golfe de Gabès »: C.N.T. 10 pp.
- Petz, W., 1999. South Atlantic Zooplankton. (ed.), Boltovsky, D., Backhuys Publishers. Leiden. The Netherlands, pp. 265-319.
- Pfisterer, A.B. & Schmid, B., 2002. Diversity-dependent production can decrease the stability of ecosystem functioning. *Nature* **416**: 84-86.
- Pick, F.R. & Caron, D.A., 1987. Picoplankton and nanoplankton biomass in Lake Ontario: relative contribution of phototrophic and heterotrophic communities. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **44**: 2164-2172.
- Pielou, E.C. (ed.), 1975. Ecological diversity. Wiley Interscience, New York.
- Pierce, R.W. & Turner, J.T., 1992. Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. *Reviews in Aquatic Sciences* **6**: 139-181.
- Pierce, R.W. & Turner, J.T., 1993. Global biogeography of marine tintinnids. *Marine Ecology - Progress Series* **94**: 11-26.
- Pinckney, J.L., Richardson, T.L., Millie, D.F. & Paerl H.W., 2001. Application of photopigment biomarkers for quantifying microalgal community composition and *in situ* growth rates. *Organic Geochemistry* **32**: 585-595.
- Pitta, P. & Giannakourou, A., 2000. Planktonic ciliates in the oligotrophic Eastern Mediterranean: vertical, spatial distribution and mixotrophy. *Marine Ecology Progress Series* **194**: 269-282.
- Pitta, P., Stambler, N., Tanaka, T. & Zohary, T., 2005. Biological response to P addition in the Eastern Mediterranean Sea. The microbial race against time. *Deep-Sea Research II* **52**: 2961-2974.
- Poizat, C., 1970. Hydrodynamisme et sédimentation dans le golfe de Gabès (Tunisie). *Téthys* **2**(1): 267-296.
- Polat, S. & Isik, O., 2002. Phytoplankton Distribution, Diversity and Nutrients at the North-eastern Mediterranean Coast of Turkey (Karatas-Adana). *Turkish Journal of Botany* **26**: 77-86.
- Pomeroy, L.R., 1974. The ocean's food web, a changing paradigm. *Bioscience* **24**: 499-504.

- Porter, K.G., Sherr, E.B., Sherr, B.F., Pace, M. & Sanders, R.W., 1985. Protozoa in planktonic food webs. *Journal of Protozoology* **32**: 409-415.
- Proctor, L.M. & Führman, J.A., 1990. Viral mortality of marine bacteria and cyanobacteria. *Nature* **343**: 60-62.
- Prygiel, J., Leveque, L. & Iserentant, R., 1996. Un nouvel indice diatomique pratique pour l'évaluation de la qualité des eaux en réseau de surveillance. *Revue des sciences de l'eau* **9**: 97-113.
- Psarra, S., Zohary, T., Krom, M.D., Mantoura, R.F.C., Polychronaki, T., Stambler, N., Tanaka, T., Tselepidis, A. & Thingstad, T.F., 2005. Phytoplankton response to a Lagrangian phosphate addition in the Levantine Sea (Eastern Mediterranean). *Deep-Sea Research II* **52**(22-23): 2944-2960.
- Puetro, A. & Rico M., 1997. Edaphic variability and floristic structure on Mediterranean grassland slopes. *Arid Soil Research and Rehabilitation* **11**: 9-22.
- Purvis, A. & Hector, A., 2000. Getting the measure of biodiversity. *Nature* **405**: 212-219.

### -R-

- R Development Core Team, 2006. R: A language and environment for statistical computing. 20 R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-070.
- Raimbault, P. & Coste, B., 1990. Very high values of the nitrate-phosphate ratio (>30) in the subsurface layers of the western Mediterranean Sea. *Rapport Procès verbale, Reunion Commission Internationale de la Mer Mediterranee* **32**, 18.
- Rakhesh, M., Ramman, A.V. & Sudarsan, D., 2006. Discriminating zooplankton assemblages in neritic and oceanic waters: A case for the northeast coast of India, Bay of Bengal. *Marine Environmental Research* **61**: 93-109.
- Ramirez, T., Cortés, D., Mercado, J.M., Vargas-Yanez, M., Sebastian, M. & Liger, E., 2005. Seasonal dynamics of inorganic nutrients and phytoplankton biomass in the NW Alboran Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **65**: 654-670.
- Rassoulzadegan, F. & Etienne, M., 1981. Grazing rate of tintinnid *Stenosemella ventricosa* (Clap and Lachm. Jorg.) on the spectrum of naturally occurring particulate matter from a mediterranean neritic area. *Limnology and Oceanography* **26**: 258-270.
- Rassoulzadegan, F., 1990. Marine protozooplankton and food webs. *Zoological Science* **7**: 189-196.

- Ravera, O., 1969. Seasonal variation of the biomass and biocenotic structure of plankton of the bay of Ispra (Lago Maggiore). *Verhandlungen der Internat Limnology* **17**: 237-254.
- Raymont, J.E.G., 1980. Plankton and productivity in the oceans. *Phytoplankton*, vol.1. second ed. Pergamon Press. Oxford. 489 pp.
- Regner, D., 1985. Seasonal and multiannual dynamics of copepods in the middle Adriatic. *Acta Adriatica* **26**: 11-99.
- Reul, A., Rodriguez, V., Jiménez-Gomez, F., Blanco, J.M., Bautista, B., Sarhan, T., Guerrero, f., Ruiz, J. & Garcia-Lafuente, J., 2005. Variability in the spatio-temporal distribution and size-structure of phytoplankton across an upwelling area in the NW-Alboran Sea (W-Mediterranean). *Continental Shelf Research* **25**(5-6): 589-608.
- Reul, A., Vargas, J.M., Jimenez-Gomez, F., Echevarria, F., Garcia-Lafuente, J. & Rodriguez, J., 2002. Exchange of planktonic biomass through the Strait of Gibraltar in the late summer conditions. *Deep-Sea Research* **49**: 4131-4144.
- Revelante, N. & Gilmartin, M., 1976. Temporal succession of phytoplankton in the northern Adriatic. *Neth. Journal of Sea Research* **10**: 377-396.
- Revelante, N., Gilmartin, M. & Smodlaka, N., 1985. The effects of Po river induced eutrophication on the distribution and community structure of ciliated protozoans and micrometazoans populations in the northern Adriatic Sea. *Journal of Plankton Research* **7**: 461-471.
- Reynolds, C.S. (ed.), 1997. *Vegetation Processes in the Pelagic: A model for Ecosystem Theory*. Excellence in Ecology, 9; Ecology, Institute Oldendorf, Germany: 371 pp.
- Reynolds, N., 1973. The estimation of the abundance of ultra-plankton. *British Phycological Journal* **8**: 135-146.
- Rezai, H., Yusoff, F.M., Arshad, A., Kawamura, A., Nishida, S. & Ross Othman, B.H., 2004. Spatial and temporal distribution of copepods in the Starits of Malacca. *Zoological Studies* **43**: 486-497.
- Riandey, V., Champalbert, G., Carlotti, F., Taupier-Letage, I. & Thibault-Botha, D., 2005. Zooplankton distribution related to the hydrodynamic features in the Algerian Basin (western Mediterranean Sea) in summer 1997. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **11**(52): 2029-2048.
- Ribeiro, J., Bentes, L., Coelho, R., Gonçalves, J.M.S., Lino, P.G., Monteiro, P. & Erzini, K., 2006. Seasonal, tidal and diurnal changes in fish assemblages in the Ria Formosa lagoon (Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* **67**: 461-474.

- Riccardi, N. & Mariotto, L., 2000. Seasonal variations in copepod body length: a comparison between different species in the Lagoon of Venice. *Aquatic Ecology* **34**(3):243-252.
- Richard, S. & Jamet, J., 2001. An unusual distribution of *Oithona nana* Giesbrecht (1892) (Crustacea: Cyclopoida) in a bay: the case of Toulon Bay (France, Mediterranean Sea). *Journal of Coastal Research* **17**: 957-963.
- Richardson, J.A., Johnb, H.E., Irigoien, X., Harris, P.R. & Haysb, C.G., 2004. How well does the Continuous Plankton Recorder (CPR) sample zooplankton? A comparison with the Longhurst Hardy Plankton Recorder (LHPR) in the northeast Atlantic. *Deep-Sea Research I* **51**: 1283-1294.
- Riemann, B. & Christoffersen, K., 1993. Microbial trophodynamics in temperate lakes. *Marine Microbial Food Webs* **7**: 69-100.
- Robertson, J.R., 1983. Predation by estuarine zooplankton tintinnids ciliates. *Estuarine Coastal and sheft Science* **16**: 27 - 36.
- Rodhe, W., 1958. Primarproduktion und Seetypen. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* **13**: 121-141.
- Rodriguez, J., Blanco, J.M., Jimenez-Gomez, F., Echevarria, F., Gil, J., Rodriguez, V., Ruiz, J., Bautista, B. & Guerrero, F., 1998. Patterns in the size structure of the phytoplankton community in the deep fluorescence maximum of the Alboran Sea (southwestern Mediterranean). *Deep-Sea Research I* **45**: 1577-1593.
- Roman, M.R. & Gauzens, A.L., 1997. Copepod grazing in the Equatorial Pacific. *Limnology and Oceanography* **42**: 623-634.
- Romari, K. & Vaultot, D., 2004. Composition and temporal variability of picoeukaryote communities at a coastal site of the English Channel from 18S rDNA sequences. *Limnology and Oceanography* **49**: 784-798.
- Rose, M., 1933. Copépodes pélagiques. Faune de la France 26, 375 pp.
- Ross, P.E. & Duthie, H.C., 1981. Ultraphytoplankton biomass, productivity and efficiency in Lake Matamec, a Precambrian Shield lake. *Journal of Phycology* **17**: 181-186.
- Roy, C., 1992. Réponses des stocks de poisons pélagiques à la dynamique des upwellings en Afrique de l'Ouest: Analyse et Modélisation. Ed. Orstom. Collection Etudes et Thèses, Paris: 5-146.
- Ruggiu, D., Morabito, G., Panzani, P. & Pungnetti, A., 1998. Trends and relations among basic phytoplankton characteristics in the course of the long-term oligotrophication of Lago Maggiore. *Hydrobiologia* **369/370**: 243-257.

## -S-

- Saiz, E., Calbet, A. Atienza, D. & Alcaraz, M., 2007. Feeding and production of zooplankton in the Catalan Sea (NW Mediterranean). *Progress In Oceanography* **74**(2-3): 313-328.
- Sakka Hlaili, A., Grami, B., Niquil, N., Gosselin, M., Hamel, D., Troussellier, M. & Hadj Mabrouk, H., 2008. The planktonic food web of the Bizerte lagoon (south-western Mediterranean) during summer: I. Spatial distribution under different anthropogenic pressures. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **78**: 61-77.
- Salah, A.M., 1971. A preliminary checklist of the plankton along the Egyptian Mediterranean coast. Rapport et proc-verb. *Reunion de la Commission internationale pour l'exploration scientifique de la mer Méditerranée Monaco* **20**: 317-322.
- Sammari, C., Koutitonsky, V.G, Moussa, M., 2006. Sea level variability and tidal resonance in the Gulf of Gabes, Tunisia. *Continental Shelf Research* **26**: 338-350.
- Sanders, R.W., 1987. Tintinnids and other microplankton - Seasonal distributions and relationships to resources and hydrography in a marine estuary. *Journal of Plankton Research* **9**: 65-77.
- Sanders, R.W., Berning, U.G., Lim, E.L., Kemp, P.K. & Caron, D.A., 2000. Heterotrophic and mixotrophic nanoplankton predation on picoplankton in the Sargasso Sea and Georges Bank. *Marine Ecology Progress Series* **192**: 103-118
- Sargent, J.R. & Falk-Peterson, S., 1988. The lipid biochemistry of calanoid copepods. *Hydrobiologia* **167/168**: 101-114.
- Satsmadjis, J. & Frigilos, N., 1983. Red tide in Greek waters. *Vie et Milieu* **33**: 111-117.
- Schiffner, V., 1926. Beitrage zur Kenntnis der Meeresalgen II. Ein Beitrag zur Agenflora von Tunisien. *Hedwigia*, **6**: 300 pp.
- Schlüter, L. & Møhlenberg, F., 2003. Detecting presence of phytoplankton groups with non-specific pigment signatures. *Journal of Applied Phycology* **15**: 465-476.
- Schlüter, L., Møhlenberg, F., Havskum, H. & Larsen, S., 2000. The use of phytoplankton pigments for identifying and quantifying phytoplankton groups in coastal areas: testing the influence of light and nutrients on pigment/chlorophyll a ratios. *Marine Ecology Progress Series* **192**: 49-63.
- Seguin, G., 1981. Dynamique des copépodes pélagiques en rade de Villefranche-sur-Mer à partir de prélèvements quotidiens (année 1972). Bilan quantitatif et écologique. *Oceanologica Acta* **4**: 405-414.

- Serbaji, M.M., 1991. Contribution à l'étude de l'impact des rejets industriels et urbains sur l'environnement marin de la région de Sfax – essais de traitements. DEA. Université de Tunis II.
- Serbaji, M.M., 2000. Utilisation d'un SIG multi-sources pour la compréhension et la gestion intégré de l'écosystème côtier de la région de Sfax (Tunisie). Thèse de Doctorat. Université de Tunis II. 152 pp.
- Seurat, L.C., 1929. La petite pintadine du Golfe de Gabès. Bull. Sta. Océanogr. Salammbô, N° 12 :59 pp.
- Seurat, L.C., 1934. Formations littorales et estuaires de la syrte mineure (golfe de Gabès). *Bulletin de l'institut National et Technologie de la Mer de Salammbô* **32**: 8-54.
- Shannon, C.E. & Weaver, W., 1963. The Mathematical Theory of Communication. Urbana, Univ. Illinois Press.
- Sherr, B.F. & Sherr, E.B., 1987. High rates of consumption of bacteria by pelagic ciliates. *Nature* **325**: 710-711.
- Sherr, B.F. & Sherr, E.B., Andrew, T.L., Fallon, R.D. & Newell, S.Y., 1986. Trophic interactions between heterotrophic protozoa and bacterioplankton in estuarine water analysed with selective metabolics inhibitors. *Marine Ecology Progress Series* **32**: 169-179.
- Sherr, E.B & Sherr, B.F., 1988. Role of microbes in pelagic food webs: a revised concept. *Limnology and Oceanography* **33**(5): 1225-1227.
- Sherr, E.B. & Sherr B.F., 1994. Bacterivory and herbivory: Key roles of phagotrophic protists in pelagic food webs. *Microbial Ecology* **28**: 223-235.
- Sherrard, N.J., Nimmo, M. & Llewellyn, C.A., 2006. Combining HPLC pigment markers and ecological similarity indices to assess phytoplankton community structure: An environmental tool for eutrophication? *Science of the total Environment* **361**: 97-110.
- Shumway, S.E., Van Egmond, H.P., Hurst, J.W. & Bean, L.L., 1995. Management of shellfish resources. In: Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M., Cembella, A.D. (ed.), Manual on Harmful Marine Microalgae, IOC Manuals and Guides No. 33. Intergovernmental Oceanographic Commission (UNESCO), Paris, 433-461 pp.
- Sieburth, J.M.N., Smetacek, V. & Lenz, J., 1978. Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography* **23**(6): 1256-1263.
- Sieburth, J.Mc.N. & Davis, P.G., 1982. The role of heterotrophic nanoplankton in the grazing and nurturing of planktonic bacteria in the Sargasso and Caribbean Seas. *Annales de l'Institut Oceanographique (Paris)* **58**: 285-296.

- Silva, A.P., Neumann-Leitao, S., Schwamborn, R., Gusmao, L.M.O. & Almeida de Silva, T., 2004. Mesozooplankton of an impacted bay in North Eastern Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology* **47**: 485-493.
- Šimek, K., Bobkova, J., Macek, M., Nemoda, J. & Psenner, R., 1995. Ciliates grazing on picoplankton in a eutrophic reservoir during summer phytoplankton maximum: a study at the species and community level. *Limnology and Oceanography* **40**: 1077-1090.
- Sime-Ngando, T. & Hartmann, H.J., 1991. Short-Term variation of the abundance and biomass of planktonic ciliates in the eutrophic lake. *European Journal of Protistology* **27**: 249-263.
- Sime-Ngando, T., 1991. Contribution à l'étude des protozoaires ciliés planctoniques des différents lacs: variabilités spatio-temporelles saisonnières et nyctémérales et relations avec les ressources microbiennes du milieu. Thèse, Université de Blaise Pascal, N° 339: 224 pp.
- Sime-Ngando, T., 1995. Population dynamics of autotrophic picoplankton in relation to environmental factors in a productive lake. *Aquatic Sciences* **57**(2): 91-105.
- Sime-Ngando, T., Bettarel, Y., Chartogne, C. & Sean, K., 2003. The imprint of wild viruses on freshwater microbial ecology. *Recent Res. Devel. Microbiology* **7**: 481-497.
- Sime-Ngando, T., Gosselin, M., Roy, S. & Chanut, J.P., 1995. Significance of planktonic ciliated protozoa in the Lower St. Lawrence Estuary: Comparison with bacterial, phytoplankton, and particule organic carbon. *Aquatic Microbial Ecology* **9**: 243-258.
- Simon, M. & Azam, F., 1989. Protein content and protein synthesis rates of planktonic marine bacteria. *Marine Ecology Progress Series* **51**: 201-213.
- Sin, Y. & Wetzel, R.L., 2000. Seasonal variations of size-fractionated phytoplankton along the salinity gradient in the York River estuary, Virginia (USA). *Journal of Plankton Research* **22**: 1945-1960.
- Siokou-Frangou, I., 1996. Zooplankton annual cycle in a Mediterranean coastal area. *Journal of Plankton Research* **18**: 203-223.
- Siokou-Frangou, I., Gotsis-Skretas, O., Christou E.D. & Pagou, K., 1998. Plankton characteristics in the Aegean, Ionian and the NW Levantine Seas. In: Malanotte-Rizzoli, P. & Eremeev, V.N. (ed.), *The Eastern Mediterranean as a laboratory basin for the assessment of contrasting ecosystems NATO Advanced Research Workshop*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 205-223.
- Sladacek, V., 1983. Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiologia* **100**: 169-201.

- Smaoui-Damak, W., 2005. Effets de la contamination *in situ* (Golfe de Gabès) par le cadmium sur la synthèse des métallothioneines et sur le potentiel reproducteur de la palourde *Ruditapes decussatus*. Thèse de doctorat. Université de Sfax et de Nantes. 195 pp.
- Smaoui-Damak, W., Hamza-Chaffai, A., Bebianno, M.J. & Amiard, J.C., 2004. Variation of metallothioneins in gills of the clam *Ruditapes decussatus* from the gulf of Gabès (Tunisia). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C* **139**: 181-188.
- Smaoui-Damak, W., Hamza-Chaffai, A., Berthet, B. & Amiard, J.C., 2003. Preliminary study of the clam *Ruditapes decussatus* exposed in situ to metal contamination and originating from the Gulf of Gabe`s, Tunisia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **71**: 961-970.
- Smith, W.O. & Sakshaug, E., 1990. Polar phytoplankton. In: Smith, W.O. (ed.), *Polar Oceanography, Part B: Chemistry, Biology and Geology*. Academic Press, San Diego, pp. 477-525.
- Somoue, L., Elkhiaati, N., Ramdani, M., Lam Hoai, T., Ettahiri, O., Berraho, A. & Do Chi, T., 2005. Abundance and structure of copepod communities along the atlantic coast of southern Morocco. *Acta Adriatica* **46**(1): 63-76.
- Sorokin, I.Y., Sorokin, P.Y. & Mamaeva, I.T., 1996. Density and distribution of bacterioplankton and planktonic ciliates in the Bering Sea and North Pacific. *Journal of Plankton Research* **18**: 1-16.
- Souissi, A., Souissi, S. & Daly-Yahia, M.N., 2008. Temporal variability of abundance and reproductive traits of *Centropages kroyeri* (Calanoida; Copepoda) in Bizerte Channel (SW Mediterranean Sea, Tunisia). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **355**: 125-136.
- Souissi, S., Daly-Yahia Kefi, O. & Daly-Yahia, M.N., 2000. Spatial characterization of nutrient dynamics in the Bay of Tunis (south-western Mediterranean) using multivariate analyses: consequences for phyto- and zooplankton distribution. *Journal of Plankton Research* **22**: 2039-2059.
- Sournia, A., 1978. *Phytoplankton manuel*. Muésum national d'histoire naturelle, Paris. UNESCO, 337 pp.
- Sournia, A., 1986. *Atlas du phytoplankton marin*. Volume 1: Cyanobactéries, Dictyocophycées, Dinophycées, Radiophycées. Ed. CNRS, Paris; 219 pp.
- Sournia, A., 1995. Red tide and toxic marine phytoplankton of the world ocean: an inquiry into biodiversity. In : Lassus, P., Arzul, G., Erard, E., Gentien, P. & Marcaillou-Le Baut, C. (ed.), *Harmful marine algal blooms*. Lavisier Publishing, Paris, pp. 103-102

- Soutour, B. & Castel, J., 1997. Importance of microzooplanktonic crustaceans in the coastal food chain: Bay of Marennes-Oleron, France. *Oceanologica Acta* **21**(1): 105-122.
- Souvermezoglou, E., Hatzigeorgiou, E., Pampidis, I. & Diapsali, K., 1992. Distribution and seasonal variability of nutrients and dissolved oxygen in the northeastern Ionian Sea. *Oceanologica Acta* **15**: 585-594.
- Stahl-Delbanco, A. & Hansson, L.A., 2002. Effects of bioturbation on recruitment of algal cells from the "seed bank" of lake sediments. *Limnology and Oceanography* **47**(6): 1836-1843.
- Stewart, A.J. & Wetzel, R.G., 1986. Cryptophytes and other microflagellates as couplers in planktonic community dynamics. *Archives for Hydrobiology* **106**: 1-19.
- Stockner, J.G. & Antia, N.J., 1986. Algal picoplankton from marine and freshwater ecosystems: a multidisciplinary perspective. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **43**: 2472-2503.
- Stockner, J.G. & Porter K.G., 1988. Microbial food web in freshwater planktonic ecosystems. In: Carpenter, S.R. (ed.), *Complex interaction in lake communities*. Springer-Verlag, New York, pp. 71-84.
- Stockner, J.G. & Shortreed, K.S., 1988. Response of *Anabaena* and *Synechococcus* to manipulation of nitrogen: phosphorus ratios in lake fertilization experiment. *Limnology and Oceanography* **33**: 1348-1361.
- Stockner, J.G., 1988. Phototrophic picoplankton: An overview from marine and freshwater ecosystems. *Limnology and Oceanography* **33**: 765-775.
- Stockner, J.G., 1991. Autotrophic picoplankton in freshwater ecosystems: the view from the summit. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* **76**: 483-492.
- Stockner, J.G., Callieri, C. & Cronberg, G., 2000. Picoplankton and other non-bloomforming cyanobacteria in lakes. pp 195-231 In: Whittion, B.A. & Potts, M. (ed.). *The Ecology of Cyanobacteria*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Stoecker, D.K. & Capuzzo, J.M., 1990. Predation on protozoa: its importance to zooplankton. *Journal of Plankton Research* **12**: 891-908.
- Ston, J., Kosakowska, A. & Lotocka, M., 2002. Pigment composition in relation to phytoplankton community structure and nutrient content in the Baltic Sea. *Oceanologica* **44**(4): 419-437.
- Surugiu, V., Dauvin, J.C., Gillet, P. & Ruellet, Th., 2008. Can seamounts provide a good habitat for polychaete annelids? Example of the northeastern Atlantic seamounts. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **55**(11): 1515-1531.

- Szelag-Wasielewska, E., 1997. Picoplankton and other size groups of phytoplankton in various shallow lakes. *Hydrobiologia* **342/343**: 79-85.

-T-

- Tanaka, T. & Rassoulzadegan, F., 2002. Full-depth (0-2000m) of bacteria, heterotrophic nanoflagellates and ciliates in the Mediterranean Sea: Vertical partitioning of microbial trophic structures. *Deep-sea Research II* **49**: 2093-2107.
- Tande, K.S. & Gronvik, S., 1983. Ecological investigations on the zooplankton community of Balsfjorden, northern Norway: sex ratio and gonad maturation cycle copepod *Metridia longa* (Lubbock). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **71**: 331-343.
- Tett, P., 2004. Detecting undesirable disturbance in the context of eutrophication in marine ecosystems. Developing management, monitoring and indicators to deliver the ecosystem approach in the coastal and marine environment. A CoastNET Conference October 6<sup>th</sup>. London, SOAS University of London, p. 24-41.
- Thingstad, F., Zweifel, U.L. & Rassoulzadegan, F., 1998. Limitation of heterotrophic bacteria and phytoplankton in the northwest Mediterranean. *Limnology and Oceanography* **43**: 33-44.
- Thingstad, T.F. & Rassoulzadegan, F., 1999. Conceptual models for the biogeochemical role of the photic zone microbial food web, with particular reference to the Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography* **44**: 271-286.
- Thor, P., 2000. Specific dynamic action in calanoid copepods. Ph.D. thesis, University of Roskilde. Denmark.
- Thorp, J.H. & Covich, A.P., 2001. Ecology and classification of North American freshwater invertebrates, Second edition. Academic Press, London, UK.
- Throndsen, J. 1978. Productivity and abundance of ultra-and nanoplankton in Oslofjorden. *Sarsia* **63**: 273-284.
- Tilman, D., 2000. Causes, consequences and ethics of biodiversity. *Nature* **405**: 208-211.
- Tilman, D., Reich, P.B., Knops, J., Wedin, D., Mielke, T. & Lehman, C., 2001. Diversity and productivity in long-term grassland experiment. *Science* **294**: 843-845.
- Tomas, C.R., Hasle, G.R, Steidinger, A.K, Syvertsen, E.E. & Tangen, C. (ed.), 1996. Identifying marine diatoms and dinoflagellates. Academic Press, Inc. 598 pp.
- Tomas, C.R., Throndsen, J. & Heimdal, B.R., 1993. Marine phytoplankton, a guide to naked flagellates and coccolithophorids. Academic Press, Inc: 263 pp.

- Tounsi, K., 1993. Report of mission on Fellowship during March 4-September 4, 1993. ICSC. World laboratory, land -3 project, Protection of the coast marine environment in the south Mediterranean sea: 33 pp.
- Tranter, D.J. & Abraam, S., 1971. Coexistence of species of Acartiidae (Copepoda) in the Cochín Backwater, a monsoonal estuarine lagoon. *Marine Biology* **11**: 222-241.
- Travers, M., 1971. Le micoplancton du golfe de Marseille. Etudes quantitatives, structurales et synécologiques: variations spatio-temporelles. Thèse de Doctorat, Université Aix Marseille, 595 pp.
- Trees, C.C., Clark, D.K., Bidigare, R.R., Ondrusek, M.E. & Mueller, J.L., 2000. Accessory pigments versus chlorophyll *a* concentrations within euphotic zone: a ubiquitous relationship. *Limnology and Oceanography* **45**(5): 1130-1143.
- Tregouboff, G. & Rose, M. (ed.), 1957. Manuel de planctonologie méditerranéenne. Vol II, CNRS, Paris.
- Tudela, S. & Palomera, I., 1997. Trophic ecology of the European anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Calalan Sea (northwest Mediterranean). *Marine Ecology Progress Series* **160**: 121-134.
- Turki, S., Harzallah, A. & Sammari, C., 2006. Occurrence of harmful dinoflagellates in two different Tunisian ecosystems: the lake of Bizerte and the gulf of Gabes. *Cahiers de Biologie Marine* **47**: 1-7.
- Turley, C.M., 1999. The changing Mediterranean sea - A sensitive ecosystem? *Progress in Oceanography* **44**: 387-400.
- Turley, C.M., Bianchi, M., Christaki, U., Conan, P., Harris, J.R.W., Psarra, S., Ruddy, G., Stutt, E.D., Tselepides, A. & Van Wambeke, F., 2000. Relationship between primary producers and bacteria in an oligotrophic sea-the Mediterranean and biogeochemical implications. *Marine Ecology Progress Series* **193**:11-18.
- Turner, J.T. & Anderson, D.M., 1983. Zooplankton grazing during Dinoflagellate blooms in a Cape Cod embayment, with observations of predation upon tintinnids by copepods. *Marine Ecology* **4**: 359-374.
- Turner, R.E. & Rabalais, N.N., 1991. Changes in Mississippi River water quality this century-implications for coastal food webs. *Bioscience* **41**(3): 140-147.

## -U-

- UNEP, 1996. The state of the marine and coastal environment in the Mediterranean region. MAP Technical Report Series, Vol. 100, 142 pp.
- Unesco, 1988. Eutrophication in the Mediterranean Sea: receiving capacity and monitoring of long term effects. *UNESCO Reports in Marine Science* 49, 195 pp.
- Utermöhl, H., 1958. Zur vervollkommnung der quantitative Phytoplankton Methodik. *Mitteilungen Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie* 9: 1-38.
- Uye, S., 1986. Impact of copepod grazing on the red-tide flagellate *Chatonella antiqua*. *Marine Biology* 92: 35-43.
- Uye, S., Nagano, N. & Tamaki, H., 1996. Geographical and seasonal variations in abundance, biomass and estimated production rates of microzooplankton in the inland Sea of Japan. *Journal of Oceanography* 52: 689-703.
- Uye, S.L. & Liang, D., 1998. Copepods attain high abundance, biomass and production in the absence of predators but suffer cannibalistic loss. *Journal of Marine Systems* 15: 495-501.

## -V-

- Van Camp, L., Nykjaer, L., Mittelstaedt, E. & Schlittenhardt, P., 1991. Upwelling and boundary circulation of northwest Africa as depicted by depicted by infrared and visible satellite observations. *Progress in Oceanography* 26: 357-402.
- Van Es, F.B. & Meyer-Reil, L.A., 1982. Biomass and metabolic activity of heterotrophic marine bacteria. In: Marshall, K.C. (ed.), *Advances in microbial ecology*. Vol 6. Plenum Publishing Corp, New York, pp. 111-170.
- Van Heukelem, L., Lewitus, A.J. & Kana, T.M., 1992. High-performance liquid chromatography of phytoplankton pigments using a polymeric reversed-phase C<sub>18</sub> column. *Journal of Phycology* 28: 867-872.
- Vandewalle, N., 1997. The effect of sexual cannibalism on the evolution of large populations. *Physica A* 245:113-123.
- Varela, R.A., Cruzado, A. & Tintore, J., 1994. A simulation analysis of various biological and physical factors influencing the deep-chlorophyll maximum structure in oligotrophic areas. *Journal of Marine Systems* 5: 143-157.

- Vega-Cendejas, M.E. & Hernandez de Santillana, M., 2004. Fish community structure and dynamics in a coastal hypersaline lagoon: Rio Lagartos, Yucatan, Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* **60**: 285-299.
- Verity, P.G., Wassmann, P., Frischer, M.E., How ard-Jones, M.N. & Allen, A.E., 2002. Grazing of phytoplankton by microzooplankton in the Barents Sea during early summer. *Journal of Marine Systems* **38**: 109-123.
- Verlecar, X.N., Desai, S.R., Sarkar, A. & Dalal, S.G., 2006. Biological indicators in relation to coastal pollution along Karnataka coast, India. *Water Research* **40**: 3304–3312.
- Vieira, L., Azeiteiro, U., Ré, P., Pastorinho, R., Marques, J.C. & Morgado, F., 2003. Zooplankton distribution in a temperate estuary (Mondego estuary southern arm: Western Portugal). *Acta Oecologica* **24**: 163-173.
- Vila, M., Capm, J., Garcés, E., Maso, M. & Delgado, M., 2001. High resolution spatio-temporal detection of potentially harmful dinoflagellates in confined waters of the NW Mediterranean. *Journal of Plankton Research* **23**(5): 497-514.
- Vitousek, P.M. & Howarth, R.W., 1991. Nitrogen limitation on land and in the sea-how can it occur? *Biogeochemistry* **13**: 87–115.
- Vives, F., 1978. Distribucion de la poblacion de copepodos en el Mediterraneo Occidental. Resultados de Exp. *Cientificas B/O Cornide Saavedra* **7**: 263–302.
- Vivier, P., 1967. L'eutrophisation des lacs. BTI 224 AGRO, 10, pp. 783-792.
- Voarino, L., 2006. Analyse temporelle du zooplancton méditerranéen dans la rade de Villefranche-sur-mer. Influence des facteurs environnementaux. Mémoire de Mastère, laboratoire océanologique de Villefranche-sur-mer (LOV) UMR7093. 31 pp.
- Vollenweider, R.A., Marchetti, R. & Viviani, R., 1992. Marine Coastal Eutrophication. The Response of Marine Transitional Systems to Human Impact: Problems and Perspectives for Restoration. Science of the Total Environment Supplement 1992 Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
- Vollenweider, R.A., Munavar, M. & Stadelman, P., 1974. A comparative review of phytoplankton and primary production in the Laurentian Great Lakes. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **31**: 739-762.
- Vollenweider, R.N., 1971. Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et eaux courantes sous l'aspect particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation O.C.D.E., Paris 176 pp.
- Vörös, L., Callieri, C., Balogh, V.K & Bertoni, R., 1998. Freshwater picocyanobacteria along a trophic gradient and light quality range. *Hydrobiologia* **369/370**: 117-125.

## -W-

- Watars, C.J., Garcon, V.C., Olson, R.J., Chisholm, S.W. & Anderson, D.M., 1985. The effect of zooplankton grazing on estuarine blooms of toxic dinoflagellates *Gonyaulax tamarensis*. *Journal of Plankton Research* **7**: 891-908.
- Weisse, T. & Stockner, J.G., 1992. Eutrophication: the role of microbial food webs. In: Bernardi, R., Pagnotta, R. & Pugnetti, A. (ed.), *Strategies for Lake Ecosystems. Beyond 2000. Memorie dell Istituto Italiano di Idrobiologia* **52**: 133-150.
- Whickham, S.A., 1995. *Cyclops* predation on ciliates: species specific differences and functional responses. *Journal of Plankton Research* **17**: 1633-1646.
- Wiackowski, K., Brett, M.T. & Goldman, C.R., 1994. Differential effects of zooplankton species on ciliate community structure. *Limnology and Oceanography* **39**: 486-492.
- Wiadnyana, N.N. & Rassoulzadegan, F., 1989. Selective feeding of *Acartia clausi* and *Centropages typicus* on microzooplankton. *Marine Ecology Progress Series* **53**: 37-45.
- Wilhelm, S.W. & Suttle, C.A., 1999. Viruses and nutrient cycles in the sea. *Bioscience* **49**: 781-788.
- Williams, N., 1998. The Mediterranean beckons to Europe's oceanographers. *Science* **279**: 483-484.
- Williamson, P., 2000. Community interactions amongst zooplankton and researchers. *Ocean Challenge* **11**(2): 15-18.
- Wilson, W.H., Turner, S. & Mann, N.H., 1998. Population dynamics of phytoplankton and viruses in a phosphate-limited mesocosm and their effect on DMSP and DMS production. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **46**: 49-59.
- Wolfe, M.S., 2000. Crop strength through diversity. *Nature* **406**: 681-682.
- Wommack, K.E. & Colwell, R.R., 2000. Virioplankton: viruses in aquatic ecosystems. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* **64** (1): 69-114.
- Woodhead, P.M.J. & Riley, J.D., 1957. The separation of potential males and females in stage-V copépodites of *Calanus helgolandicus*. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* **23**: 47-50.
- Wright, S.W. & Van den Enden, R.L., 2000. Phytoplankton community structure and stocks in the Eastern Antarctic marginal ice zone (BROKE survey, January-March 1996) determined by CHEMTAX analysis of HPLC pigment signatures. *Deep Sea Research* **47**: 2363-2400
- Wright, S.W., Thomas, D.P., Marchant, H.J., Higgins, H.W., Mackey, M.D. & Mackey, M.D., 1996. Analysis of phytoplankton of the Australian sector of the Southern Ocean:

comparisons of microscopy and size frequency data with interpretations of pigment HPLC data using the 'CHEMTAX' matrix factorisation program. *Marine Ecology Progress Series* **144**: 285–298.

-Y-

- Yacobi, Y.Z., Zohary, T., Kress, N., Hecht, A., Robarts, R.D., Waiser, M., Wood, A.M. & Li, W.K.W., 1995. Chlorophyll distribution throughout the southeastern Mediterranean in relation to the physical structure of the water mass. *Journal of Marine Systems* **6**: 179-190.
- Yamaguchi, M., Itakura, S., Nagasaki, K. & Imai, I., 1996. Distribution and abundance of resting cysts of the toxic dinoflagellates *Alexandrium tamarense* and *A. catenella* in sediments of the eastern Seto Inland Sea, Japan. In: Yasumoto T., Oshima Y., Fukuyo Y. (eds.), *Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO 1996*. Laboratory of Bioorganic Chemistry, Tohoku University, Japan, pp. 177-180.
- Yamashida, C. & Moreira, G.C., 1980. Variacao anual em tamanho de *Euterpina acutifrons* (Dana) (Copepoda, Harpacticoida) do canal de Sao Sebastiao e da regio de Santos. Brasil. Boletim de Fisiologia Animal. *Universidade de Sao Paulo* **5**: 29-43.
- Yasindi, A.W. & Taylor, W.D., 2003. Abundance, biomass and estimated production of planktonic ciliates in Lakes Victoria and Malawi. *Aquatic Ecosystem Health and Management* **6**: 289-297.
- Yasumoto, T., 1990. Marine microorganisms toxins-an overview. In: Granéli, E., Edler, L. & Anderson, D.M. (ed.), *Toxic Marine phytoplankton*, Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conf. on Toxic Marine Phytoplankton, Sweden, 1989. Elsevier, New York, Amsterdam, London, pp. 3-10.
- Yoshida, M., Fukuyo, Y., Murase, T., & Ikegama, T., 1996. On-board observations of phytoplankton viability in ship's ballast tanks under critical light and temperature conditions. In: Yasumoto, T., Oshima, Y. & Fukuyo, Y. (ed.), *Harmful and Toxic Algal Blooms*, IOC, Paris, 205-208 pp.
- Youngbluth, M.J., 1980. Daily, seasonal and annual fluctuations among zooplankton population in an unpolluted tropical embayment. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **10**: 265-287.
- Youssara, F. & Gaudy, R. 2001. Variations of zooplankton in the frontal area of the Alboran sea (Mediterranean sea) in winter 1997. *Oceanologica Acta* **4**(24): 361-376.
- Yue, T.X., Liu, J.Y., Li, Z.Q., Chen, S.Q., Ma, S.N., Tian, Y.Z. & Ge, F., 2005. Considerable effects of diversity indices and spatial scales on conclusions relating to ecological diversity. *Ecological Modelling* **188**: 418-431.

## -Z-

- Zairi, M. & Rouis, M.J., 1999. Impact environnementaux du stockage du phosphogypse à Sfax (Tunisie). *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées* **219**: 29–40.
- Zamouri-Langar, N., Chouba, L., Jarboui, O. & Mrabet, R., 2006. Présence du bivalve venerididae *Ruditapes philippinarum* (Adams et Reeve, 1850) sur le littoral sud de la Tunisie. *Bulletin de l'institut National et Technologie de la Mer de Salammbô* **33**: 23-27.
- Zaouali, J., 1993. Les peuplements benthiques de la petite Syrte, golfe de Gabès – Tunisie. Résultats de la campagne de prospection du mois de Juillet 1990. Etude préliminaire: biocoenoses et thanatocoenoses récentes. *Marine life* **3**(1-2): 47-60.
- Zaouli, J., 1977. La mer de Bougrara. Facteurs climatiques, physicochimiques et édaphiques. *Bulletin de l'Office National des Pêches* **16**(1-2): 113-285.
- Zarrad, R., Missaoui, H., Alemany, F., Hamza, A., Romdhane, M.S., Garcia, A., Jarboui, O. & Mrabet, R., 2008. Distribution and abundance of early life stages of *Sardina pilchardus* in the Gulf of Tunis (Central Mediterranean Sea) in relation to environmental and biological factors. *Scientia Marina* **72**(2): 299-309.
- Zimmermann, M. & Spence, J.R., 1992. Adult population dynamics and reproductive effort of the fishing spider *Dolomedes triton* (Araneae: Pisauridae) in central Alberta. *Canadian Journal of Zoology* **70**: 2224-2233.
- Zingone, A., Sarno, D. & Forlani, G., 1999. Seasonal dynamics in the abundance of *Micromonas pusilla* (Prasinophyceae) and its viruses in the gulf of Naples (Mediterranean Sea). *Journal of Plankton Research* **21**: 2143 – 2159.
- Zouari, K., Bouzid, J., Bousina, A., Chayeb, M., Karray, N. & Bradai, M.N., 1996. Implications des changements climatiques sur la côte de Sfax (Tunisie). UNEP, MAP Technical Reports Series N°99: 326 pp.
- Zouari-Linda, L., 2005. Contribution à l'étude des communautés zooplanctoniques dans le golfe de Gabès et dans les eaux de Ballasts. Mémoire de Mastère, Université de Sfax, 151 pp.
- Zweifel, U.L., Blackburn, N. & Hagström, A., 1996. Cycling of marine dissolved organic matter. I. An experimental system. *Aquatic Microbial Ecology* **11**: 65-77.

## **Résumé :**

Ce travail constitue la première étude de la biodiversité et de la dynamique saisonnière des communautés phyto-zooplanktoniques en relation avec les paramètres environnementales et les caractéristiques hydrologiques du golfe de Gabès. Une étude spatiale et spatio-temporelle ont été réalisées pendant le mois de Juillet 2005 et durant quatre différentes périodes de l'année (Juillet 2005, Mai-Juin 2006, Septembre 2006 et Mars 2007) respectivement. **L'étude spatiale a montré que** le golfe de Gabès est un milieu oligotrophe caractérisé par la coexistence des différentes masses d'eaux: les eaux méditerranéennes et atlantiques modifiées qui pourraient être des facteurs déterminant dans la structure et la distribution du phytoplancton et du zooplancton sur toute la colonne d'eau. **La communauté phytoplanctonique** dans le golfe de Gabès est organisée suivant un gradient côte-large. Cette distribution est strictement dépendante de la disponibilité des éléments nutritifs induisant une prolifération intense de l'espèce opportuniste *Dictyocha fibula*. Dans les régions du large, c'est le courant atlantique qui est le principal facteur déterminant le développement et l'organisation du phytoplancton. Les dinoflagellés, y compris les espèces toxiques, non toxiques et les kystes, sont des composantes importantes de la communauté phytoplanctonique dans le golfe de Gabès particulièrement l'espèce toxique *Karenia selliformis* qui se développe près de l'île de Jerba. Durant cette même période, les biomasses des différents groupes phytoplanctoniques autotrophes estimées à travers l'étude chimotaxonomique des divers pigments dosés par HPLC ne montrent pas des variations selon les propriétés hydrologiques des masses d'eaux principalement, parce que la balance des processus physiques ne coïncide pas avec les réponses biologiques. **L'étude spatiale de la communauté zooplanctonique** montre que les copépodes est le groupe le plus important dans du golfe de Gabès avec une nette dominance des deux espèces *Oithona nana* et *Acartia clausi* qui sont très abondantes respectivement le long de la côte et à -50 m. La distribution spatiale des espèces dominantes semble être dépendante de la salinité, des concentrations en chlorophylle *a* et de leur capacité de prédation.

**L'étude de la variation spatio-temporelle de la communauté phytoplanctonique et zooplanctonique** en relation avec les facteurs environnementaux montre l'existence d'une étroite relation entre ces peuplements planctoniques et la structure hydrographique de la colonne d'eau. **Le phytoplancton** est influencé par la structure hydrologique. En effet, les diatomées, qui sont exclusivement côtières, prolifèrent principalement durant les conditions de semi-mélanges (Mai-Juin 2006). Les cyanobactéries sont présentes principalement durant les conditions de semi-mélanges (Mai-Juin 2006) et pendant le début de la stratification thermique (Juillet 2005). Les dinoflagellés semblent être le groupe qui a une abondance constante sur toute la colonne d'eau et pouvant s'adapter à plusieurs conditions hydrographiques. **Le zooplancton** est dominé par les copépodes qui représentent 69 à 83%. La stratification thermique estivale de la colonne d'eau favorise le développement de la communauté zooplanctonique. En effet, la densité des copépodes augmente graduellement avec l'augmentation de la température à partir de l'apparition de la thermocline (Mai-Juin 2006) jusqu'à son établissement total caractérisant ainsi la période de stratification thermique (Juillet 2005 et Septembre 2006). Lorsque la colonne d'eau est bien mélangée (Mars 2007) l'abondance des copépodes diminue. Les copépodes sont caractérisés par une nette dominance de *Oithona nana* représentant 75 et 86% des cyclopoïdes totaux. Contrairement aux copépodes qui sont abondants pendant la période de stratification, le phytoplancton prolifère intensivement pendant le brassage.

**Mots clés:** *Golfe de Gabès, phytoplancton, zooplancton, HPLC, hydrologie, thermocline, brassage, éléments nutritifs*

## **Abstract:**

This work constitutes the first study of the biodiversity and dynamics of phytoplankton and zooplankton communities in the gulf of Gabes coupled with environmental and hydrographic features. A spatial and spatio-temporal study were carried out respectively in July 2005 and during four different sampling periods (July 2005, May-June 2006, September 2006 and March 2007). **The spatial study** show that the gulf of Gabes is an oligotrophic area characterized by the coexistence of two different water masses: Mediterranean and Atlantic which could be the determining factors of the phytoplankton and the zooplankton distribution of along the water column. **The phytoplankton community** in the gulf of Gabes occurs throughout the coastal-open sea gradient dominated by *Dictyocha fibula*. It's an opportunistic species which proliferate intensively due to the high nutrient availability in the coast. In the open sea, phytoplankton development seemed to be influenced by Atlantic hydrodynamics. Dinoflagellates, including toxic and non-toxic species and cysts are important components of the phytoplankton community in the gulf of Gabes particularly toxic species *Karenia selliformis* which develops particularly in Djerba Island. During this period, the study of the autotrophic biomass of various phytoplankton groups identified according to different biomarker pigment analysed with CHEMTAX and estimated by HPLC does not show a large variation with the hydrographic properties of the water masses, mainly because the balance of the physical processes does not coincide with the biological responses. **The spatial distribution of zooplankton** showed that the copepods are the most abundant group in gulf of Gabes with a clear predominance of the two species *Oithona nana* and *Acartia clausi* which are close to the coastal area and at -50 m in depth, respectively. The spatial distribution of the dominant species seems to be dependent on salinity, chlorophyll *a* concentrations and their ability of predation.

**The spatial and temporal variation of the phytoplankton and zooplankton communities** in relation to the environmental factors showed a close relation between these plankton communities and the hydrographic structure of the water column. **Phytoplankton** is influenced by the hydrological structure. Indeed, the diatoms, which are exclusively in the coastal area, developed mainly during the semi-mixing conditions (May-June 2006). Cyanobacteriae developed over semi-mixed conditions (May-June 2006) and during the thermal stratification (July 2005). Dinoflagellates appeared to be the most stable group, being able to adapt a wide range of hydrographic features. **Zooplankton community** is dominated by the copepods representing 69 to 83% of the total zooplankton. The thermal stratification of the water column established in summer supports the development of the copepods. Indeed, copepod density increases gradually with the enhancing of the water temperature starting from the beginning of the thermal stratification (May-June 2006) until its establishment (July 2005 and September 2006). When the water column is well mixed (March 2007), the abundance of the copepod decreased. Copepods are characterized by the dominance *Oithona nana* representing 75 to 86% of the total cyclopoid abundance. In contrast to the copepod community which is more abundant during the period of high stratification, the phytoplankton proliferates intensively during semi-mixed conditions.

**Keywords:** *Gulf of Gabes, phytoplankton, zooplankton, HPLC, hydrographic conditions, thermocline, mixing, nutrient compounds*