

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Badji-Mokhtar - Annaba
Faculté des Sciences
Département des Sciences de la Mer



T H E S E

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat d'Etat en
Sciences de la Mer

T H E M E

**STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT D'UN MILIEU LAGUNAIRE MEDITERRANEEN :
LAGUNE MELLAH (EL-KALA, ALGERIE NORD-EST)**

Présentée par : DRAREDJA Brahim

Soutenu le : / /2007, devant le jury d'examen :

PRESIDENT : M. SOLTANI N. (Professeur, Univ. BADJI Mokhtar, Annaba)
DIRECTEUR : M. OUNISSI M. (Professeur, Univ. BADJI Mokhtar, Annaba)
CO-DIRECTEUR : M. STORA G. (Directeur de recherche CNRS, COM, Marseille)
EXAMINATEURS: M. SEMROUD R. (Professeur, ISMAL, Alger)
M. BENYACOUB S. (Professeur Univ. BADJI Mokhtar, Annaba)

2007

AVANT-PROPOS

Cette thèse est autant le fruit d'un travail personnel que d'une collaboration effective ou d'échanges bénéfiques avec des spécialistes en écologie marine d'une manière générale, et en écologie lagunaire plus particulièrement. Je tiens donc à associer à ce travail tous ceux qui y ont contribué à divers titres.

Ma reconnaissance va en premier lieu aux membres de jury :

Monsieur SOLTANI Noureddine (Professeur, Département de Biologie, Université BADJI Mokhtar - Annaba), pour l'honneur qui me fait de présider le jury malgré les nombreuses tâches qui lui incombent.

Monsieur OUNISSI Makhlouf (Professeur, Département des Sciences de la Mer, Université BADJI Mokhtar - Annaba), d'avoir accepté de diriger cette thèse. Il m'a fait part de son expérience et son savoir faire dans les domaines de l'écologie marine et lagunaire. J'ai particulièrement apprécié son soutien amical lors des moments difficiles, ses précieuses orientations et la confiance qu'il a bien voulu m'accorder.

Monsieur STORA Georges (Directeur de recherche au CNRS, Laboratoire de microbiologie, géochimie et écologie marines (LMGEM), Centre d'Océanologie de Marseille (COM), Université de la Méditerranée, France), m'a honoré en codirigeant cette thèse. Je tiens à lui exprimer toute ma gratitude pour l'accueil chaleureux au sein de son laboratoire et pour toute l'aide matérielle et scientifique lors de mes séjours à Marseille. Je n'oublierai jamais l'ambiance sympathique et amicale de son équipe.

Monsieur SEMROUD Rachid (Professeur, Institut des Sciences de la Mer et d'Aménagement du Littoral (ISMAL, Alger) et Monsieur BENYACOUB Slim (Professeur, Département de Biologie, Université BADJI Mokhtar - Annaba), ont accepté de juger cette thèse. Je tiens à leur exprimer mes sincères reconnaissances et que leurs expériences et connaissances me soient bénéfiques.

Cette thèse a été réalisée grâce à la contribution de plusieurs organismes :

- Tout d'abord, il m'est indispensable de remercier M. FARSI Zoubir ex. Président Directeur Général de l'Office National de Développement de la Pêche et de l'Aquaculture (ONDPA) et l'ensemble du personnel technique et administratif, en particulier M. BOUSAHA Meftah, l'infatigable Ahcen, Moncef et tous ceux que j'ai oublié et qui n'ont jamais épargné leurs efforts afin de m'apporter de l'aide lors de l'échantillonnage.

- Je n'oublie guère la sympathique équipe de la Station Biologique d'El-Kala et à sa tête mon collègue et ami M. le Professeur BENYACOUB Slim. A travers ce témoignage je le félicite surtout pour sa présence constante et ses précieux services techniques (transport, embarcation, benne, etc.). Au nom des meilleurs moments passés ensemble, j'ai particulièrement apprécié sa disponibilité et ses nombreux conseils dans le domaine de l'écologie. Je ne saurai oublier également mon collègue le Professeur CHABI Yacine avec qui, et dans le cadre de ma thèse, j'ai eu l'honneur de participer à un projet de recherche CNEPRU.

- Toute ma gratitude également aux responsables du Parc National d'El-Kala (PNEK) et à leur tête l'ex. Directeur M. DJEFFEL Mostapha ainsi que l'actuel Directeur M. BENDJEDID Moncef, qui ont mis à ma disposition des moyens logistiques nécessaires assurant ainsi le bon déroulement de la phase d'échantillonnage. Pour leurs efforts et participations je leur rends un grand hommage et je leur promets à l'avenir une meilleure collaboration scientifique au service de la sauvegarde d'un patrimoine aussi précieux que le PNEK.

- L'Office National de la Météorologie (ONM, Constantine), grâce à une convention bilatérale entre l'ONM d'une part et l'Université Badji Mokhtar – Annaba d'autre part. Par conséquent, je remercie infiniment Le Directeur régional de l'ONM M. BEKHOUCHE Abdelali, ainsi que le responsable de la station météorologique d'El-Kala M. BOUGHARAF qui nous ont fourni les différentes données météorologiques relatives à la zone d'étude.

- L'ONDPA qui a mis à notre disposition les données statistiques de pêches des différentes espèces exploitables dans la lagune Mellah.

La majorité des traitements des échantillons et les analyses des données ont été réalisés grâce à la collaboration de différents laboratoires dont :

- Le Laboratoire de Microbiologie Géochimie et Ecologie Marines (LMGEM) du Centre d'Océanologie de Marseille (COM). L'ensemble de l'équipe du LMGEM, particulièrement GILBERT Frank, PUDECHELLE Laura, DUPONT Eric, RE Christian, m'ont toujours réservé un accueil chaleureux et sympathique. Une reconnaissance particulière à M. STORA Georges, qui n'a jamais hésité à m'aider. Sa disponibilité et surtout sa patience m'ont été toujours d'un grand réconfort pour le bon déroulement de mon travail.

- L'identification des espèces phytoplanctoniques et la majorité des analyses chimiques et biochimiques ont été effectuées au laboratoire du Département des Sciences de la Mer, avec la précieuse collaboration de mes amis et collègues RETIMA Abdelkhalek et FREHI Hocine. Je n'oublierai jamais les longs moments qu'ils m'ont

consacré afin de mener à bien cette fastidieuse partie. Je les remercie sincèrement de m'avoir facilité la tâche concernant ce compartiment parfois très pénible à aborder.

- Je remercie également M. BRANES Zidane, l'ex. Chef de Département de BMC (Biochimie Moléculaire et Microbiologie), qui m'a facilité l'accès aux laboratoires afin d'effectuer certaines analyses. Mes remerciements vont aussi à la technicienne de laboratoire Mme BENBOUZID Houneida.

- A toute l'équipe de la bibliothèque de la Station Marine d'Endoume, je leur dis merci sans oublier Mesdames BENTOSELLA Yolande, BONIS Chantal et EXSHAW Hélène et mon ami PAUL Raoul.

- Un grand hommage aussi à deux Grands amis et hommes de science qui nous ont quitté au courant de l'année 2006. Le Professeur GUELLATI Mohamed, enseignant chercheur au Département de Biologie et Vice Recteur chargé de la post-graduation, était un scientifique et aussi un administrateur intègre et disponible. Le Docteur DESROSIER Gaston (Directeur de recherche à l'université de Roumouki au Québec), que j'ai connu au Centre d'Océanologie de Marseille. A ces deux hommes de sciences je dédie cette thèse.

- Enfin, je remercie tous mes collègues du Département, à leur tête Monsieur le Chef de Département le Professeur DJEBAR Abdallah Borhane, le Professeur KARA Mohamed Hichem (Directeur du Laboratoire LBM), le Professeur BENSOUILAH Mourad (Directeur du Laboratoire EMMAL), M. DERBAL Farid pour son aide pratique et son soutien moral, Mesdames KHELIFI-TOUHAMI Mérièm, CHAOUI Lamia, BELDI Hayette, Messieurs MEDDOUR Abdelrafik, HARIDI Ahcen, MESSERER Yacine, LOUCIF Nabil et AZZOUZ Zoubir.

- Pour conclure, il m'est nécessaire de demander pardon à ma famille de ne pas pouvoir être parfaitement disponible ces cinq dernières années, je leur promets une meilleure présence pendant les jours qui viennent.



*A ma femme Hayette et à mes enfants Anis et Amel
A mes chers parents et à mes frères et sœurs.*

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
-----------------------------	---

PREMIERE PARTIE : MILIEUX LAGUNAIRES

CHAPITRE I : SYNTHÈSE SUR LES ECOSYSTEMES LAGUNAIRES

1. Introduction.....	5
2. Définitions et classification.....	5
3. Particularités physiologiques et productivité des eaux saumâtres.....	10

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA LAGUNE MELLAH

1. Situation géographique.....	12
2. Morphométrie.....	12
3. Conditions météorologiques.....	13
3. 1. Température de l'air.....	14
3. 2. Précipitations et évaporation.....	14
3. 3. Régime des vents.....	16
4. Hydrodynamisme.....	18
4. 1. Bassin versant	18
4. 2. Marées et courants.....	18
5. Nature du fond.....	19
6. Aménagement et exploitation.....	20
7. Conclusions.....	23

DEUXIEME PARTIE : SYSTEME PELAGIQUE

CHAPITRE I : ENVIRONNEMENT PHYSICO-CHIMIQUE

1. Introduction.....	24
2. Matériel et méthodes.....	24
2.1. Choix des stations.....	24
2.2. Méthodes de prélèvements et d'analyses.....	25
2.2.1. Température et salinité.....	25
2.2.2. Oxygène dissous, pH et transparence des eaux.....	25
2.2.3. Sels nutritifs.....	26
2.2.4. Dosage de la chlorophylle <i>a</i> et des phéopigments.....	26

2.2.5. Matière en suspension (M.E.S).....	27
2.2.6. Carbone organique particulaire (C.O.P).....	27
3. Résultats	27
3.1. Caractères hydrologiques.....	27
3.1.1. Température.....	28
3.1.2. Salinité.....	28
3.1.3. pH.....	30
3.1.4. Oxygène dissous.....	31
3.1.5. Transparence des eaux.....	31
3.2. Sels nutritifs.....	33
3.2.1. Azote ammoniacal (N-NH ₄ ⁺)	34
3.2.2. Nitrates (NO ₃ ⁻).....	34
3.2.4. Phosphates (PO ₄ ³⁻).....	36
3.3. Matières organiques.....	38
3.3.1. Chlorophylle <i>a</i> et phéopigments.....	38
3.3.2. Matières en suspension et carbone organique particulaire.....	
4. Fonctionnement hydrologique de la lagune.....	41
5. Discussion et conclusions.....	44

CHAPITRE II : PHYTOPLANCTON

1. Introduction.....	51
2. Matériel et méthodes.....	52
2.1. Choix des stations.....	52
2.2. Echantillonnage et analyse du phytoplancton.....	52
3. Conditions physico-chimiques.....	55
3.1. Température et salinité.....	55
3.2. pH et transparence des eaux.....	55
4. Peuplements phytoplanctoniques.....	58
4.1. Composition et distribution taxonomique.....	58
4.2. Distribution spatio-temporelle.....	63
4.3. Structure des peuplements.....	71
5. Echanges des peuplements phytoplanctoniques avec le littoral adjacent.....	73
6. Discussion et conclusions.....	85

CHAPITRE III : ZOOPLANCTON

1. Introduction.....	88
2. Matériel et méthodes.....	89
3. Composition taxonomique	90

4. Abondance des peuplements zooplanctoniques.....	91
4.1 Composants holoplanctoniques.....	92
4.2. Composants méroplanctoniques.....	97
4.3. Nectobenthos.....	101
5. Echanges des peuplements zooplanctoniques avec le littoral adjacent.....	101
6. Discussion et conclusions.....	115

TROISIEME PARTIE : SYSTEME BENTHIQUE

CHAPITRE I : SEDIMENTS

1. Introduction.....	119
2. Matériel et méthodes.....	119
2.1. Choix des stations et prélèvement.....	119
2.2. Analyses sédimentaires	120
2. 2. 1. Evaluation des pélites.....	120
2. 2. 2. Analyse granulométrique	120
2. 2. 3. Autres analyses sédimentaires	121
3. Expression des résultats.....	121
3. 1. Histogrammes de fréquence	122
3. 2. Courbes cumulatives semi-logarithmiques	122
3. 3. Indices granulométriques	122
3. 4. Triangle de Folk.....	123
4. Résultats.....	123
4.1. Caractéristiques granulométriques.....	123
4.1.1. Teneurs en pélites	125
4.1.2. Granulométrie	126
4.2. Cartographie sédimentaire.....	128
4.3. Matière organique sédimentaire (M.O.S).....	128
4.4. Teneur en carbonates totaux	129
5. Discussion et conclusions.....	130

CHAPITRE II : MACROFAUNE BENTHIQUE

1. Introduction.....	133
2. Matériel et méthodes.....	133
2.1. Choix des stations.....	133
2.2. Echantillonnage.....	134
2.3. Traitement des échantillons.....	135
2.4. Expression des résultats.....	135

2.4.1. Caractéristiques analytiques.....	135
2.4.2. Indices biocénétiques.....	136
2.4.3. Autres analyses.....	136
3. Description des peuplements macrobenthiques.....	136
3.1. Description générale.....	136
3.2. Organisation trophique.....	138
3.3. Variations temporelles de la composition spécifique.....	139
4. Structure et organisation de la macrofaune benthique.....	144
CONCLUSION GENERALE.....	154
RESUMES	
Français	156
Anglais	157
Arabe.....	158
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	159
ANNEXES.....	178

LISTE DES FIGURES

N° figure	Titre	Page
Première partie : Milieux lagunaires		
Figure I.1	Classification des eaux selon le diagramme de salinité de Pora et Bacescu (1977).	7
Figure I.2	Diagramme schématique de la classification des milieux paraliqye selon leur degré de confinement (I à VI). (D'après Guelorget et Perthuisot, 1983).	8
Figure I.3	Position géographique de la lagune Mellah.	12
Figure I.4	Vue satellitaire du système lacustre de la région d'El-Kala (www.googleearth.com , modifié).	13
Figure I.5	Bathymétrie de la lagune Mellah (d'après Guelorget <i>et al.</i> , 1982).	14
Figure I.6	Variations mensuelles de la température moyenne de l'air dans la région d'El-Kala (1990 - 2000).	15
Figure I.7	Variations mensuelles des valeurs moyennes de la température de l'air, des précipitations, de l'évaporation et de la vitesse des vents dans la région d'El-Kala (octobre 97 - décembre 98).	15
Figure I.8	Variations mensuelles des valeurs moyennes de la température de l'air, des précipitations, de l'évaporation et de la vitesse des vents dans la région d'El-Kala (octobre 2000 - décembre 2001).	17
Figure I.9	Variations des valeurs moyennes mensuelles des précipitations et de l'évaporation dans la région d'El-Kala (1990 - 2000).	17
Figure I.10	Mouvements des eaux superficielles. A: trajectoires hypothétiques (d'après Guelorget <i>et al.</i> , 1989). B et C: mouvements rectilignes des eaux respectivement pendant le flot et le jusant (d'après Messerer, 1999).	19
Figure I.11	Production piscicole dans la lagune Mellah de 1991 à 2001 (Source : ONDPA).	21
Figure I.12	Production conchylicole dans la lagune Mellah de 1991 à 2001 (Source : ONDPA).	22
Deuxième partie : Système pélagique		
Figure II.1	Localisation des stations étudiées. ✂: stations ayant fait l'objet d'analyses de M.E.S, de C.O.P, des sels nutritifs et de la chlorophylle en plus des relevés hydrologiques.	25

Liste des figures (suite) :

N° figure	Titre	Page
Figure II.2	Evolution mensuelle de la température et de la salinité dans les stations prospectées dans la lagune Mellah (novembre 97 - décembre 98).	29
Figure II.3	Variations mensuelles des températures moyennes de l'air et des eaux de la lagune Mellah (novembre 97 - décembre 98).	30
Figure II.4	Evolution mensuelle de la température et de la salinité dans les eaux du chenal (A) et à l'échelle de la lagune (B) (novembre 97 - décembre 98).	30
Figure II.5	Evolution mensuelle du pH et de l'oxygène dissous dans les stations prospectées dans la lagune Mellah (novembre 97 - décembre 98).	32
Figure II.6	Evolution mensuelle du pH et de l'oxygène dissous dans les eaux du chenal (A) et à l'échelle de la lagune (B) (novembre 97 - décembre 98).	33
Figure II.7	Variations mensuelles des teneurs en ammonium dans les stations échantillonnées de la lagune Mellah durant l'année 1998.	35
Figure II.8	Variations mensuelles des teneurs en ammonium dans le chenal et à l'échelle de la lagune Mellah durant l'année 1998.	35
Figure II.9	Variations mensuelles des teneurs en nitrates dans les stations échantillonnées de la lagune Mellah, durant l'année 1998.	36
Figure II.10	Variations mensuelles des teneurs en nitrates dans la station chenal et à l'échelle de la lagune Mellah, durant l'année 1998.	37
Figure II.11	Variations mensuelles des teneurs en phosphates dans les stations échantillonnées de la lagune Mellah durant l'année 1998.	37
Figure II.12	Variations mensuelles des teneurs en phosphates dans la station chenal et à l'échelle de la lagune Mellah durant l'année 1998.	38
Figure II.13	Variations mensuelles de la teneur en chlorophylle <i>a</i> et en phéopigments dans les stations échantillonnées de la lagune Mellah durant l'année 1998.	39
Figure II.14	Variations mensuelles de la teneur en chlorophylle <i>a</i> et en phéopigments <i>a</i> dans la station chenal et à l'échelle de la lagune Mellah durant l'année 1998.	39
Figure II.15	Evolution mensuelle de la teneur en matière en suspension (M.E.S) et du taux en carbone organique particulaire (C.O.P), dans les stations prospectées et à l'échelle de la lagune Mellah durant l'année 98.	40
Figure II.16	Hydrologie et régime de marée du 22 au 25 août 1999 de la lagune Mellah (valeurs négatives en jusant).	41
Figure II.17	Localisation des stations d'échantillonnage du phytoplancton dans la lagune Mellah.	53
Figure II.18	Evolution mensuelle de la température et de la salinité dans les stations prospectées de la lagune Mellah (octobre 2000 - décembre 2001).	56

Liste des figures (suite) :

N° figure	Titre	Page
Figure II.19	Evolution mensuelle du pH dans les stations prospectées de la lagune Mellah (octobre 2000 - décembre 2001).	57
Figure II.20	Composition numérique (abondances relatives moyennes) des différents groupes phytoplanctoniques récoltés dans la lagune (novembre 2000 - décembre 2001).	64
Figure II.21	Composition du phytoplancton (dominance en %) prélevés dans la lagune Mellah (novembre 2000 - décembre 2001).	68
Figure II.22	Variations de la densité (échelle logarithmique) des différents groupes phytoplanctoniques récoltés dans la lagune (novembre 2000 - décembre 2001).	69
Figure II.23	Densité moyenne (échelle logarithmique) du phytoplancton récolté dans la lagune (novembre 2000 - décembre 2001).	70
Figure II.24	Densité (ind.l ⁻¹) des espèces phytoplanctoniques à floraison, récoltées dans les stations lagunes (B et C) (novembre 2000 – décembre 2001).	70
Figure II.25	Evolution mensuelle de l'indice de diversité (H' en bits.ind ⁻¹) et de la régularité (E) dans les stations A (a), B (b) et C (c) (novembre 2000 - décembre 2001).	72
Figure II.26	Localisation des stations d'échantillonnage du zooplancton dans la lagune Mellah.	89
Figure II.27	Variations mensuelles de la densité (ind.m ⁻³ , échelle logarithmique) du zooplancton total dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.	91
Figure II.28	Variations mensuelles de la densité (ind.m ⁻³) de l'holoplancton et de sa dominance correspondante (fréquence %), dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.	94
Figure II.29	Variations mensuelles de la densité (ind.m ⁻³) des Copépodes et leur dominance correspondante (fréquence relative %) récoltés dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.	94
Figure II.30	Variations mensuelles de la densité (ind.m ⁻³) du copépode <i>Acartia latisetosa</i> et de sa dominance correspondante (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.	95
Figure II.31	Variations mensuelles de la densité (ind.m ⁻³) du Copépode de <i>Centropages kroyeri</i> , et sa dominance correspondante (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.	95
Figure II.32	Variations mensuelles de la densité (ind.m ⁻³) du Copépode de <i>Oithona nana</i> , et sa dominance correspondante (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.	96
Figure II.33	Variations mensuelles de la densité (ind.m ⁻³) des nauplii de Copépodes et leurs dominances correspondantes (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.	96

Liste des figures (suite) :

N° figure	Titre	Page
Figure II.34	Variations mensuelles de la densité (ind.m ⁻³) des copépodites et leurs dominances correspondantes (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.	97
Figure II.35	Variations mensuelles de la densité (ind.m ⁻³) du méroplancton et sa dominance correspondante (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.	98
Figure II.36	Variations mensuelles de la densité (ind.m ⁻³) des larves de Gastéropodes et leur dominance correspondante (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.	99
Figure II.37	Variations mensuelles de la densité (ind.m ⁻³) des Polychètes et leur dominance correspondante (fréquence relative %) récoltés dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.	100
Figure II.38	Variations mensuelles de la densité (ind.m ⁻³) des larves de Cirripèdes et de leurs dominances correspondantes (fréquence relative % en bas) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.	100
Figure II.39	Variations mensuelles de la densité (ind.m ⁻³) du nectobenthos et sa dominance correspondante (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.	101
Troisième partie : Système benthique		
Figure III.1	Localisation des stations d'échantillonnage des sédiments dans la lagune Mellah.	120
Figure III.2	Caractéristiques granulométriques des stations prospectées selon le triangle de Folk (1965).	124
Figure III.3	Répartition de la teneur en pélites (%) dans les sédiments de la lagune Mellah.	126
Figure III.4	Couverture sédimentaire de la lagune Mellah et répartition des herbiers à <i>Ruppia</i> sp.	127
Figure III.5	Répartition de teneur en matière organique (en %) dans les sédiments de la lagune Mellah.	129
Figure III.6	Répartition de teneur en carbonates totaux (en %) dans les sédiments de la lagune Mellah.	130
Figure III.7	Localisation des stations d'échantillonnage de la macrofaune benthique dans la lagune Mellah.	134
Figure III.8	Dominance moyenne des différents groupes zoologiques récoltés dans la lagune Mellah.	138
Figure III.9	Dominance moyenne des principales espèces macrozoobenthiques récoltées dans la lagune Mellah.	138

Liste des figures (suite) :

N° figure	Titre	Page
Figure III.10	Organisation trophique (dominance moyenne) de la macrofaune benthique de la lagune Mellah.	139
Figure III.11	Similarité (indice de Sorensen) entre les différentes périodes d'étude (Bakalem et Romano, 1979 : juin 79 ; Semroud, 1983 : 79-80 ; Draredja, 1992 : avril 88 ; Grimes, 1994 : 91-92 et la présente étude (98) de la macrofaune benthique de la lagune Mellah.	144

LISTE DES FIGURES EN ANNEXES

N° figure	Titre	Page
Troisième partie : Système benthique		
Figure III.1	Courbes des fréquences cumulées des stations (de 1 à 16) prospectées dans la lagune Mellah.	178
Figure III.2	Courbes des fréquences cumulées des stations (de 17 à 33) prospectées dans la lagune Mellah.	179
Figure III.3	Histogrammes de fréquence des stations (de 1 à 15) prospectées dans la lagune Mellah.	180
Figure III.4	Histogrammes de fréquence des stations (de 16 à 33) prospectées dans la lagune Mellah.	181

LISTE DES TABLEAUX

N° tableau	Titre	Page
Première partie : Milieux lagunaires		
Tableau I.1	Classification des eaux en fonction de leur degré halin.	6
Tableau I.2	Classification des estuaires (inspirée de la classification de Mc Lusk, 1993).	9
Deuxième partie : Système pélagique		
Tableau II.1	Description des stations échantillonnées. VP : Vase pure, VS : Vase sableuse, VLS : Vase légèrement sableuse, SP : Sable pur, SLV : Sable légèrement envasé.	26
Tableau II.2	Méthodes de dosage des sels nutritifs dissous.	27
Tableau II.3	Variations de la profondeur relative de disparition de disque de Secchi ($(Z_v/Z) \cdot 100$) (exprimées en %) des eaux de la lagune Mellah (novembre 97 - décembre 98).	31
Tableau II.4	Caractéristiques de la marée et des échanges advectifs hydrologiques qu'elle induit entre la lagune Mellah et son littoral adjacent lors de la période d'expérience d'été 1999. Ji : jusant 1 à 7, Fi : flot 1 à 6, Jm : valeur moyenne du jusant, Fm : valeur moyenne du flot, ? : phase de marée, T? : durée de phase, Vm (?) : vitesse moyenne du courant de marée, Qp? : volume d'eau cumulé de phase, Qd? : volume d'eau douce cumulé de phase d'origine lagunaire, Sm? : salinité moyenne de phase.	41
Tableau II.5	Caractéristiques saisonnières des échanges hydrologiques tidaux entre la lagune Mellah et littoral adjacent. Les données de chaque période ont été relevées à l'échelle de la demi-heure à la station-chenal. T?j : durée de l'écoulement lagune-mer ou jusant ; T?f : durée de l'écoulement mer-lagune ou flot ; Vm?j : vitesse moyenne du jusant ; Vm?f : vitesse moyenne du flot ; Qp?f : volume entrant ; Qp?j volume sortant; B : bilan = (Qp ?j - Qp ?f) ; Rj : échange journalier = (Qp ?j + Qp ?f). Sj : salinité de franc jusant ; Sf : salinité de franc flot. (*) : données d'après Ounissi <i>et al.</i> , (2002).	43
Tableau II.6	Comparaison de la variabilité thermique dans différents écosystèmes lagunaires méditerranéens.	45
Tableau II.7	Comparaison de la variabilité haline dans différents écosystèmes lagunaires méditerranéens.	46

Liste des tableaux (suite) :

N° tableau	Titre	Page
Tableau II.8	Variabilités en sels nutritifs dans la lagune Mellah et dans d'autres écosystèmes lagunaires méditerranéens.	48
Tableau II.9	Variabilités de la biomasse chlorophyllienne dans la lagune Mellah et dans d'autres écosystèmes lagunaires méditerranéens.	49
Tableau II.10	Liste taxonomique du microphytoplancton récolté dans la lagune Mellah (novembre 2000 – décembre 2001), (D : douce, M : marine, L : lagunaire, T : toxique).	59
Tableau II.11	Types de toxicité chez le phytoplancton toxique (Steindinger, 1983 ; Taylor, 1984 a et b et 1985 ; Lassus, 1988), prélevé dans la lagune Mellah (novembre 2000 – décembre 2001). DSP : Diarrheic Shellfish Poison, NSP : Neurotoxic Shellfish Poison, PSP : Paralytic Shellfish Poison, ASP : Amnesic Shellfish Poison, CTX : Ciguatoxine, MTX : Maitoxine, STX : Scaritoxine.	63
Tableau II.12	Liste des espèces constantes (F>50%), recensées dans les stations échantillonnées de la lagune Mellah (novembre 2000 - décembre 2001). (++ : F>75%).	65
Tableau II. 13	Phytoplancton lagunaire du bassin occidental méditerranéen.	86
Tableau II.14	Liste des espèces zooplanctoniques identifiées dans les stations A (chenal) et B, C (lagunes), durant l'année 1998. (+) : espèces marines (Ounissi, com. pers.).	90
Troisième partie : Système benthique		
Tableau III.1	Dominance moyenne (Dm en %) de la macrofaune benthique dans la lagune Mellah.	137
Tableau III.2	Liste des espèces macrozoobenthiques récoltées dans la lagune Mellah de 1979 à 1998. (+) : présence, (-) : absence	140

LISTE DES TABLEAUX EN ANNEXES

N° tableau	Titre	Page
Deuxième partie : Système pélagique		
Tableau II.1:	Evolution de la composition taxonomique des peuplements microphytoplanctoniques et fréquence des espèces récoltées dans la station A (novembre 2000 – décembre 2001). (r, a et c : espèces rares, accessoires et constantes).	182
Tableau II.2	Evolution de la composition taxonomique des peuplements microphytoplanctoniques et fréquence des espèces récoltées dans la station B (novembre 2000 – décembre 2001). (r, a et c : espèces rares, accessoires et constantes).	188
Tableau II.3	Evolution de la composition taxonomique des peuplements microphytoplanctoniques et fréquence des espèces récoltées dans la station C (novembre 2000 – décembre 2001). (r, a et c : espèces rares, accessoires et constantes).	192
Tableau II.4	Répartition du microphytoplancton selon les classes dans la station A. (r, a et c : espèces rares, accessoires et constantes, ST : Richesse spécifique totale).	197
Tableau II.5	Variations mensuelles de la richesse spécifique du microphytoplancton dans la station A (novembre 2000 - décembre 2001). (S : Richesse spécifique, r, a et c : espèces rares, accessoires et constantes, ST: Richesse spécifique totale).	197
Tableau II.6	Répartition du microphytoplancton selon les classes dans la station B. (r, a et c : espèces rares, accessoires et constantes, ST : Richesse spécifique totale).	197
Tableau II.7	Variations mensuelles de la richesse spécifique du microphytoplancton dans la station B (novembre 2000 - décembre 2001). (r, a et c : espèces rares, accessoires et constantes, ST : Richesse spécifique totale).	198
Tableau II.8	Répartition du microphytoplancton selon les classes dans la station C. (r, a et c : espèces rares, accessoires et constantes, ST : Richesse spécifique totale).	198
Tableau II.9	Variations mensuelles de la richesse spécifique du microphytoplancton récolté dans la station C (novembre 2000 - décembre 2001). (r, a et c : espèces rares, accessoires et constantes, ST : Richesse spécifique totale).	198
Tableau II.10	Variations mensuelles de la densité (ind.l ⁻¹) chez les différents groupes microphytoplanctoniques de la station A (novembre 2000 – décembre 2001).	199

Liste des tableaux en annexes (suite) :

N° tableau	Titre	Page
Tableau II.11	Variations mensuelles de la densité (ind.l ⁻¹) des espèces microphytoplanctoniques récoltées dans la station A (novembre 2000 - décembre 2001).	199
Tableau II.12	Variations mensuelles des dominances (%) du microphyto-plancton dans la station A (novembre 2000 –décembre 2001). Variations mensuelles des dominances (%) chez les différents groupes microphytoplanctoniques de la station A, (novembre 2000 – décembre 2001).	203
Tableau II.13	Variations mensuelles de la dominance (abondances relatives en %) des espèces microphytoplanctoniques récoltées dans la station A (novembre 2000 - décembre 2001).	203
Tableau II.14	Variations mensuelles de la densité (ind.l ⁻¹) chez les différents groupes microphytoplanctoniques dans la station B, (novembre 2000 - décembre 2001).	207
Tableau II.15	Variations mensuelles de la densité (ind.l ⁻¹) des espèces microphytoplanctoniques récoltées dans la station B, (novembre 2000 - décembre 2001).	207
Tableau II.16	Variations mensuelles des dominances (%) chez les différents groupes microphytoplanctoniques dans la station B, (novembre 2000 –décembre 2001).	211
Tableau II.17	Variations mensuelles de la dominance (abondances relatives en %) des espèces microphytoplanctoniques récoltées dans la station B (novembre 2000 - décembre 2001).	211
Tableau II.18	Variations mensuelles de la densité (ind.l ⁻¹) chez les différents groupes microphytoplanctoniques dans la station C, (novembre 2000 –décembre 2001).	214
Tableau II.19	Variations mensuelles de la densité (ind.l ⁻¹) des espèces microphytoplanctoniques récoltées dans la station C, (novembre 2000 - décembre 2001).	214
Tableau II.20	Variations mensuelle des dominances (%) chez les différents groupes microphytoplanctoniques de la station C, (novembre 2000 – décembre 2001).	217
Tableau II.21	Tableau II.21 : Variations mensuelles de la dominance (abondance relatives en %) des espèces microphytoplanctoniques récoltées dans la station C (novembre 2000 –décembre 2001).	218
Tableau II.22	Variations mensuelles des indices de diversité (H'), de diversité maximale (H' _{max}) exprimés en bits/ind. et de l'equitabilité (E) dans les stations A, B et C (novembre 2000 - décembre 2001).	220

INTRODUCTION GENERALE

Les milieux lagunaires apparaissent depuis la plus haute antiquité comme des sites d'une importance économique. Cette réputation s'appuie sur l'exploitation des ressources aussi bien minérales que biologiques. Déjà, les Phéniciens utilisaient certains sites lagunaires pour la fabrication du sel, marchandise de grande valeur commerciale dans l'antiquité. Le domaine lagunaire occupe une place essentielle dans la pêche artisanale côtière, pratiquée depuis les temps les plus anciens. Cette activité a permis l'émergence de techniques adaptées et spécifiques aux lagunes comme en témoigne les pêcheries fixe (bordigues) installées sur le pourtour de la Méditerranée.

D'autre part, les lagunes côtières occupent jusqu'à 13% du linéaire côtier mondial et sont présentes sur une large aire de répartition allant des tropiques aux pôles (Lasserre et Postma, 1982). L'importance économique de ces milieux n'a fait que s'accroître au cours du temps. La diversification des activités, la mise en exploitation de sites, de plus en plus nombreux, l'intérêt commercial pour de nouvelles espèces, l'amélioration des techniques assurent notamment le passage de la cueillette à l'élevage, fait de ces milieux des gisements encore riches de ressources exploitables à l'heure actuelle.

Les caractéristiques des lagunes sont très variables tant au niveau de leur morphologie (taille, forme, profondeur) que du climat (situation géographique), du bassin versant (conditionnant les apports d'eau douce) ou encore de l'ouverture sur la mer ou l'océan (conditionnant les apports d'eau marine). Malgré ces différences, certaines similitudes existent et ces écosystèmes sont classés parmi les plus productifs de la biosphère, généralement caractérisés par une forte production primaire qui peut atteindre 200 à 400 gC.m⁻².an⁻¹ (Nixon, 1982). Cette richesse a entraîné le développement d'importantes activités anthropiques directement sur les lagunes (pêche artisanale, aquaculture, etc.) auxquelles s'ajoutent des activités développées sur le bassin versant impliquant des incidences sur l'écosystème lagunaire (urbanisation, tourisme, agriculture, industrie). La multitude de ces activités rend ces milieux particulièrement fragiles et leur développement durable nécessite une gestion intégrée (Vallejo, 1982).

La place des milieux lagunaires à l'interface continent-mer, leur confère des caractéristiques physico-chimiques et biologiques originales, graduellement changeantes d'une extrémité à l'autre. Cette production biologique est largement soutenue par les apports continentaux enrichissant. Les lagunes sont ainsi le siège d'une forte production biologique, et constituent des aires de nurseries et d'alimentation pour plusieurs espèces autochtones et immigrantes des côtes contiguës. En plus de leurs potentialités halieutiques et aquacoles, ces écosystèmes sont soumis à des fluctuations et des perturbations naturelles et anthropiques.

La connaissance de ces milieux, suppose le suivi des paramètres physico-chimiques influençant directement ou indirectement la distribution des peuplements qui les colonisent. Toutefois, il faut signaler que la plupart des modifications environnementales et biologiques qui s'y produisent, sont liées dans une large mesure à l'importance et la variabilité des échanges hydrologiques et biologiques entre les lagunes et la mer adjacente (Ounissi *et al.*, 2002 ; Ounissi *et al.*, sous presse a et b).

Les études antérieures ne répondent pas d'une manière pertinente à la problématique réelle du Mellah, celle qui s'attache au fonctionnement hydrologique, écologique et aux potentialités halieutiques et aquacoles de ce milieu productif par essence. D'autre part, les tentatives d'aménagement réalisées en 1988 dans le but d'améliorer les conditions hydrologiques (devenues défavorables pour la production et l'exploitation), n'étaient pas accompagnées de suivis des conditions hydrologiques et du fonctionnement de la lagune. Les études d'échanges hydrologiques, chimiques, biologiques auxquelles s'ajoute la dynamique interne, devraient aboutir à un diagnostic, suivi d'un plan de gestion de la lagune. Selon leur chronologie, on cite les travaux effectués sur le Mellah :

- * Bounhiol (1907), donne un inventaire ichtyologique de la lagune.
- * Gauthier-Lievre (1931), décrit la lagune et sa végétation environnante.
- * Seurat (1940), évalue l'abondance des bivalves dans la lagune.
- * Arrignon (1963), étudie la température des eaux de la lagune ainsi que la description de quelques espèces faunistiques des berges.
- * Thomas *et al.* (1973), décrivent la lagune et le climat de la région d'El-Kala, et évoquent l'intérêt écologique de ce site en préconisant la création d'un parc national terrestre, lacustre et marin.
- * Un groupe de chercheurs du Centre de Recherche d'Océanographie et de la Pêche (CROP) (1979), effectuent une campagne multidisciplinaire (sédimentologie et benthos, étude de la production primaire, halieutique, pollution et ornithologie).
- * FAO-PNUD-Médrap (1982), ont étudié la mise en valeur biologique de la lagune.
- * Semroud (1983), traite la description des peuplements macrobenthiques et leur environnement physico-chimique.
- * Guelorget *et al.* (1989), précisent la position de la lagune dans l'échelle de confinement, sa zonation biologique et ses potentialités halieutiques et aquacoles.
- * Draredja (1992), évoque les caractéristiques physico-chimiques et sédimentologiques du milieu, ainsi que la structure de la macrofaune benthique en période printanière.

- * [Grimes \(1994\)](#), a étudié trois populations de bivalves (*Loripes lacteus*, *Brachydontes marioni* et *Cardium glaucum*), très abondantes dans la lagune.
- * [Refes \(1994\)](#), a effectué une étude relative à la connaissance de la population de *Ruditapes decussatus* et son exploitation dans la lagune.
- * [Draredja et Derbal \(1997\)](#) ont établi une synthèse sur la distribution des peuplements floro-faunistiques de la lagune.
- * [Ounissi et al. \(2002\)](#) ont étudié les variabilités hydrologiques et planctoniques de la lagune selon l'advection tidale pendant les différentes saisons.
- * [Chaoui et Kara \(2004\)](#) signalent la présence de la sole du Sénégal *Solea senegalensis* dans le Mellah.
- * [Chaoui et al. \(2006\)](#) recensent l'ichtyofaune exploitée dans la lagune Mellah.
- * [Draredja et al., \(2006\)](#), ont effectué une étude comparative du compartiment macrobenthique entre deux lagunes de la Méditerranée occidentale; la lagune Mellah (S.W de la Méditerranée) et la lagune Cabras (N.W de la Méditerranée).

L'ensemble de ces travaux restent cependant ponctuels ou limités à des compartiments. Bien que le travail de [Semroud \(1983\)](#) soit exhaustif, il n'y a pas d'étude écologique sur la lagune Mellah englobant les différents compartiments.

La lagune avec ses multiples intérêts scientifiques, environnementaux et socio-économiques offre ainsi un fertile champ d'investigation. La méconnaissance, les particularités environnementales et les intérêts scientifiques et économiques, constituent de fortes motivations de cette étude. En raison de ses multiples vocations, le Mellah constitue de véritables situations conflictuelles d'usage. Le regard du Parc National d'El-Kala (PNEK), est toujours occulté par les exploitants. Le statut juridique du Mellah, suppose un meilleur usage préservant l'intérêt environnemental de cette aire du PNEK.

L'objectif principal de la présente étude est de décrire la structure et le fonctionnement de la lagune Mellah, en relation avec les conditions hydrologiques liées au niveau de colmatage actuel du chenal de communication avec la mer. Elle intègre les compartiments essentiels suivants : phytoplancton, zooplancton et macrozoobenthos. Ces derniers ont été suivis dans le temps en rapport avec l'environnement physico-chimique de l'eau et du sédiment. C'est une démarche qui se veut explicative des liens entre les différents organismes des différents compartiments, et le contexte environnemental permettant donc d'en appréhender les grands principes de fonctionnement écologiques de l'écosystème.

La structuration du manuscrit est agencée, selon les compartiments (environnement physico-chimique, les compartiments pélagique et benthique), avec une présentation synoptique des milieux lagunaires. Le manuscrit s'articule donc sur trois parties principales.

La première partie décrit d'une manière générale les milieux lagunaires, avec deux chapitres. Le premier chapitre, retrace sommairement une description des écosystèmes lagunaires (définitions, classifications, particularités physiologiques et écologiques et niveau de productivité). Le second chapitre présente la lagune Mellah sous des différents aspects : la morphologie, l'hydrodynamisme, la sédimentologie, l'aménagement et l'exploitation de la ressource biologique.

La seconde partie scindée également en deux chapitres, s'occupe du compartiment pélagique de la lagune. Le premier chapitre traite les traits essentiels de l'environnement physico-chimique de la lagune, ainsi que son fonctionnement hydrologique. Le second chapitre s'intéresse à l'étude du phytoplancton du point de vue composition et abondance, ainsi que le processus d'échange avec le littoral adjacent. Le troisième chapitre intègre la fraction zooplanctonique en dressant la liste faunistique et la répartition spatio-temporelle des différentes espèces récoltées avec une tentative d'analyse des échanges avec la mer.

La troisième et dernière partie englobe le système benthique, avec deux chapitres également. Le premier chapitre s'intéresse à l'habitat du zoobenthos avec une analyse sédimentaire du substrat superficiel. Alors que, le second chapitre traite la composition et l'organisation structurale de la macrofaune benthique. L'ensemble des résultats de ce dernier chapitre sont présentés sous forme d'article.

Enfin, on termine par une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE SUR LES ECOSYSTEMES LAGUNAIRES

1. Introduction

Le monde des eaux peut être partagé en deux grands domaines : Le domaine continental où circulent les eaux dites "douces" et dans lequel les phénomènes de dissolution et d'érosion jouent un rôle prépondérant. Le domaine maritime occupé par un énorme volume d'eaux fortement salées, où dominent les phénomènes de concentration et d'accumulation.

La frontière entre ces deux domaines est la ligne de rivage, espace unidimensionnel à l'échelle du monde, peut parfois s'étaler et devenir localement une surface. Il apparaît alors un domaine intermédiaire original qui n'est pas simplement la somme ou la différence des deux autres ; c'est le domaine lagunaire (Boutière, 1979-80).

Le caractère fondamental du domaine lagunaire est son instabilité. Instabilité dans le temps d'abord car le devenir normal d'une lagune est son comblement, à la fois pour des raisons physiques et pour des raisons biologiques. En effet, elle piège une bonne partie des sédiments venant de l'extérieur, et renferme des matériaux organiques qui ne s'évacuent pas. Instabilité de ses caractères physiques, chimiques et biologiques, s'exprimant par des fluctuations et des écarts qui n'ont de signification biologique qu'en fonction de la durée de vie des organismes concernés. L'objectif de ce chapitre est, la connaissance de ces milieux particuliers que sont les lagunes côtières, et la définition des points importants de leur classification.

2. Définitions et classification

Le domaine lagunaire est défini comme le résultat d'un étalement local de la ligne de rivage. Comparativement au milieu marin, la nappe lagunaire possède une inertie extrêmement faible où toutes les caractéristiques physiques et biologiques de ce domaine découlent de cette constatation essentielle.

Le terme saumâtre est d'origine latine "Salmadisu", qui signifie d'un goût proche de l'eau de mer. D'après Dussard (1966), le milieu saumâtre est caractérisé par des eaux poïkilohalines avec une salinité entre 0,5 g.l⁻¹ (eaux oligohalines) et plus de 46 g.l⁻¹ (eaux hyperhalines). Kierner (1978) établit une classification des milieux saumâtres et range au sein desquels toutes les lagunes, qui par définition, correspondent aux plans d'eaux littoraux dont les eaux sont partiellement salées en raison de l'influence des marées. D'autre part, Redeke (in Kierner, 1978) simplifie cette définition et considère ce type de milieu, comme étant un mélange d'eaux marines et douces, d'où l'euryhalinité des biocénoses colonisant ce biotope. Dans le domaine marin, les espèces sont plutôt sténohalines car elles évoluent dans des conditions de salinité relativement stables.

La classification des milieux saumâtres est essentiellement basée sur le degré halin, celui-ci semble être le facteur déterminant pour ces milieux. En effet,

plusieurs auteurs parmi eux [Remane \(1940\)](#), [Petit \(1954\)](#) et [Kierner \(1978\)](#), ont tenté de classer ces milieux en se basant sur le critère "variations halines". Une autre classification s'appuyant sur la comparaison des biocénoses des divers milieux saumâtres s'est avérée pratique à plus d'un titre ([Remane et Schliepper, 1958, 1971](#) ; [Guelorget et al., 1983a](#)). [Petit \(1954\)](#) et [Kierner \(1978\)](#), ont dressé une classification spécifique aux lagunes méditerranéennes, en se basant sur les limites extrêmes de la salinité. Nous citons à titre d'exemple celle proposée par [Petit \(1954\)](#) (**tab. I.1**) :

Tableau I.1 : Classification des eaux en fonction de leur degré halin (d'après [Petit, 1954](#)).

Submarin	15 à 36
Pré-saumâtre	9,50 à 15
Saumâtre proprement	5 à 9,50
Pré-limnique	3 à 5
Limnique	< 3

Les différentes classifications sus-citées se basant toutes sur le degré halin, ne sont en fait que le fruit d'un travail localisé d'où leur limite régionale ; les différentes fluctuations des limites extrêmes de la salinité des différentes zones sont en réalité subordonnées à la latitude. Un travail de synthèse regroupant des études de planctonologie, de benthologie et de chimie pourra dans une certaine mesure aboutir à une classification plus exhaustive.

Le système proposé au cours du symposium qui s'est tenu à Venise en 1958 sur la classification des eaux en fonction de leur degré halin, définit une série d'eaux types, caractérisées par une salinité moyenne allant de 0,5 g.l⁻¹ pour les eaux limniques à plus de 40 g.l⁻¹ pour les eaux hyperhalines ou sursalées.

Une classification faisant le consensus de la majorité des auteurs méditerranéen (**fig. I.1**) et assez similaire à celle du [Système de Venise \(1958\)](#), a été proposée par [Pora et Bacescu \(1977\)](#). Différentes catégories d'eaux sont définies dans cette classification. On appelle une eau mixo-oligohaline une eau dont la salinité est comprise entre 0,5 et 5 g.l⁻¹, limite maximale de salinité totale pour une eau douce. Les eaux ayant une salinité allant de 5 à 18 g.l⁻¹ sont des eaux mixo-mésohalines ; au-dessus ce sont des eaux mixo-polyhalines, jusqu'à une isohalinité de 30 g.l⁻¹. De 30 à 40 g.l⁻¹ les eaux marines sont dites euhalines. Au-dessus de 40 g.l⁻¹, les eaux sont qualifiées d'hyperhalines, telles sont les eaux de surface de certaines parties de la mer Rouge qui peuvent atteindre 45-46 g.l⁻¹, des marais salants, des flaques lagunaires isolées pendant la saison chaude ainsi que certaines flaques supralittorales.

Cependant et comme l'avait déjà signalé [Sacchi et Testard \(1971\)](#), il est extrêmement rare que toute la lagune ou tout un estuaire, puissent entrer dans une

seule catégorie ; variant à la fois dans le temps, en liaison avec les saisons ou le stade évolutif, et dans l'espace, dans toute l'étendue de leurs eaux.

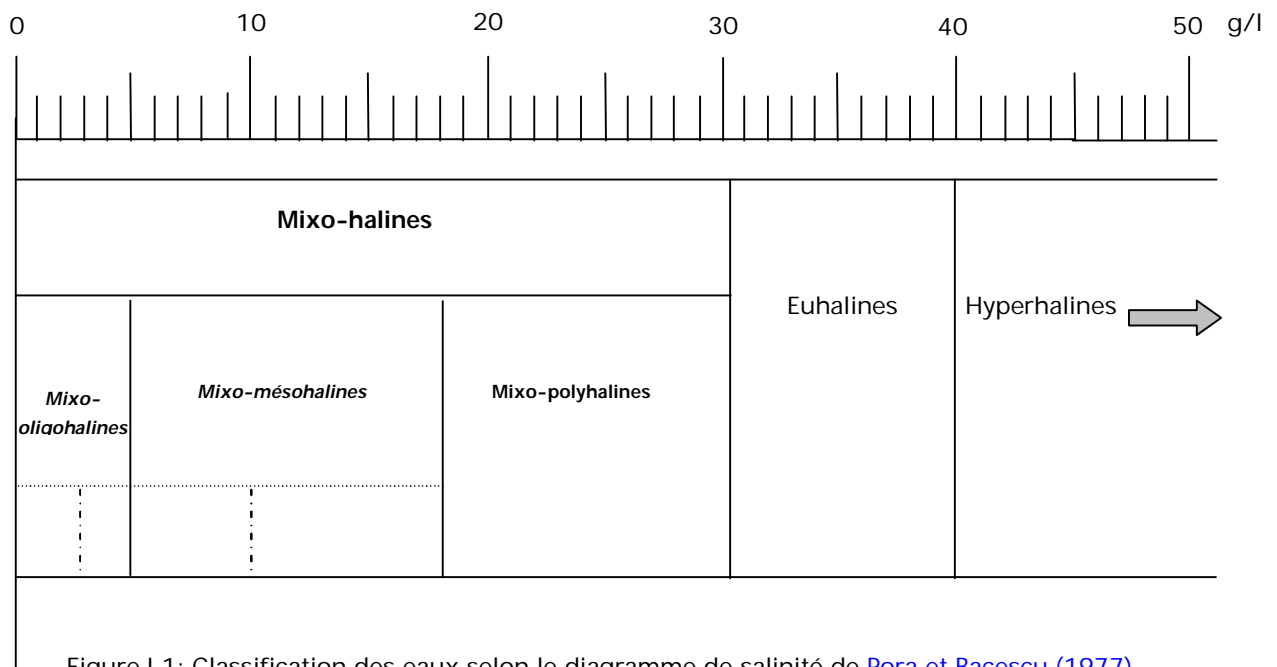


Figure I.1: Classification des eaux selon le diagramme de salinité de Pora et Bacescu (1977).

D'autre part, Guelorget et Perthuisot (1983), qualifie de paralique tous les milieux aquatiques en contact avec la mer, mais distincts des domaines continental et marin, surtout par leur organisation biologique, hydrologique et sédimentologique. Les travaux de Guelorget *et al.* (1981), Ibrahim *et al.* (1982), Guelorget *et al.* (1982), Guelorget *et al.* (1983 a), Elsayed *et al.* (1985), Frisoni et Guelorget (1986), Guelorget *et al.* (1989), ont montré que l'organisation biologique dans ce domaine dépend plutôt d'un autre paramètre complexe : le confinement. Ce dernier correspond au temps de renouvellement des éléments vitaux (éléments nutritifs, oligo-éléments, vitamines, etc.) venant de la mer en un point donné de la lagune. Autrement dit, au cours de leur trajet vers le domaine lagunaire, ces éléments subissent des piègeages chimiques et biologiques, et les peuplements s'organisent selon la raréfaction de ces éléments. Selon cette école du domaine paralique, la salinité se trouve elle-même commandée par le confinement. Il s'établit ainsi des gradients biologiques et chimiques superposés au gradient de confinement. Les auteurs précisent que la salinité n'est pas le facteur écologique directeur des milieux lagunaires : la distribution des espèces et leurs gradients quantitatifs (densités, biomasses) dépendent du confinement, c'est-à-dire le temps de renouvellement des éléments d'origine marine, en un point considéré d'un bassin. Ils ont défini (à partir de la répartition de la macrofaune invertébrée et du phytoplancton), une échelle de confinement pour les zones proches de la mer ou "proche paralique". Ces écosystèmes comportent six zones de confinement (de I à VI) (fig. I.2), et chaque zone est définie par sa composition en macroflore et en macrofaune benthique qui lui correspond.

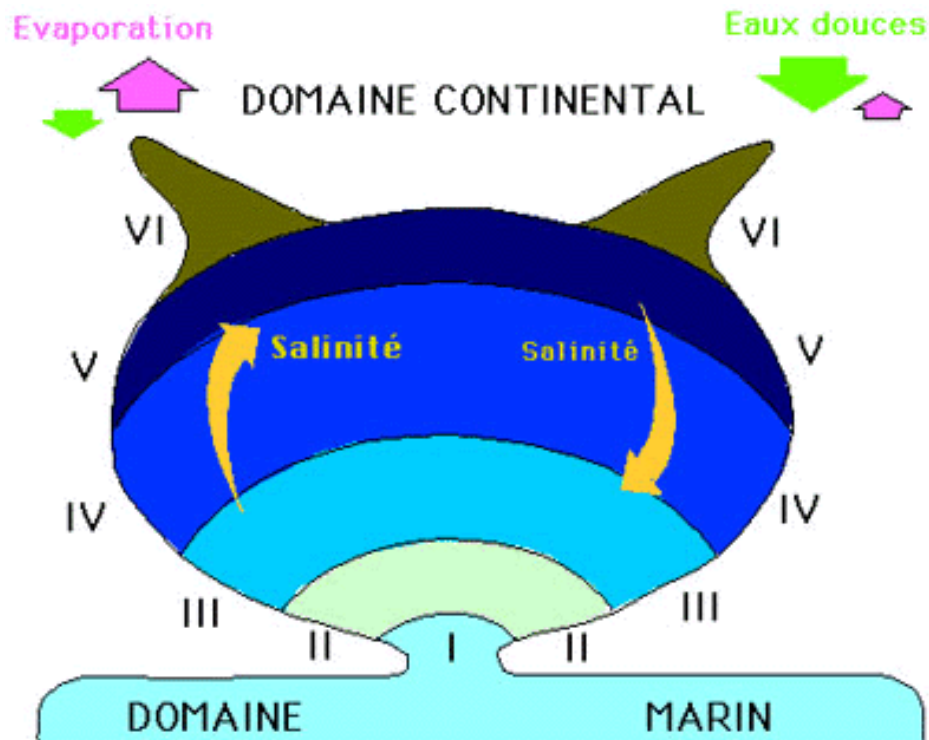


Figure I.2 : Diagramme schématisique de la classification des milieux paralytiques selon leur degré de confinement (I à VI) (D'après [Guelorget et Perthuisot, 1983](#)).

Pour l'établissement de l'échelle de confinement, [Guelorget et Perthuisot \(1983\)](#) rajoutent que d'une manière générale, les organismes caractéristiques des différentes zones dépendent de la situation géographique et de la configuration du milieu, et définissent ainsi les différentes échelles de confinement :

Zone I (degré 0 à 1) : située à proximité de la communication de la mer, elle abrite une macrofaune et une macroflore typiquement marines.

Zone II (degré 1 à 2) : elle se caractérise par la disparition des Echinodermes et des espèces marines les plus sténohalines. Les peuplements phytoplanctoniques sont moins diversifiés mais conservent des caractéristiques des peuplements néritiques.

Zone III (degré 2 à 3) : elle est dominée par des espèces "mixtes" en ce qui concerne la macrofaune, alors que le phytoplancton perd son caractère marin.

Zone IV (degré 3 à 4) : cette zone est caractérisée par la perte de toute la faune thalassique et son remplacement par des peuplements strictement lagunaires.

Zone V (degré 4 à 5) : dans cette zone la production primaire est maximale, la sédimentation est essentiellement organique et le sédiment est hautement réducteur. La faune est particulièrement composée d'espèces vagiles. En milieu sous-salé apparaissent les éléments de la faune dulçaquicole et dans les milieux sursalés, on rencontre éventuellement des espèces de la faune évaporitique.

Zone VI (degré 5 à 6) : cette zone marque le passage au domaine continental soit dulçaquicole soit évaporitique. Le passage à l'eau douce est marqué par l'apparition d'espèces vagiles dulçaquicoles strictes et, en milieu évaporitique, la macrofaune

benthique disparaît à l'exception de quelques brouteurs. Le phytoplancton est constitué d'espèces dulçaquicoles (Diatomées Pennées et Chlorophycées), tandis qu'en domaine évaporitique ne subsistent que des Cyanophycées.

Alors que [Mac Lusky \(1993\)](#), établit une autre classification (**tab. I.2**) basée sur l'influence de la marée, sans utiliser le terme paralique comme le suggère également [Barnes \(1994\)](#).

Tableau I.2 : Classification des estuaires (inspirée de la classification de [Mac Lusky, 1993](#)).

Division	Tidal	Salinity (PSU)	Venice system (1958)	Kinne (1971)
River	Non-tidal	< 0.5	Limnetic	
Head	The highest point reached by tides			
Tidal fresh	Tidal	< 0.5	Limnetic	
Upper	Tidal	0.5-5	Oligohaline	Oligohalinicum
Inner	Tidal	5-18	Mesohaline	
		5-8		Horohalinicum
Middle	Tidal	8-18		Mesohalinicum
		18-25	Polyhaline	
Lower	Tidal	18-30		Polyhalinicum
		25-30	Polyhaline	
Mouth	Tidal	> 30	Euhaline	
Sea	Tidal	30-40		Thalassicum

Jusqu'aujourd'hui des spéculations entre les scientifiques sur le problème de classification des eaux saumâtres persistent toujours. La récente synthèse de [Elliott et Mac Lusky \(2002\)](#) sur le besoin de définir et de comprendre les estuaires, est démonstratif à cet égard. [Barnes \(1994\)](#) a vivement critiqué le concept de milieux paraliques et du confinement.

On peut reprendre ses propos cités dans la synthèse de [Elliott et Mac Lusky \(2002\)](#) « *Some scientists working on brackish-water lagoons in the Mediterranean have used the term paralic. The French scientists, [Guelorget and Perthuisot \(1992\)](#) coined this term and identified these so-called Paralic aquatic ecosystems as being situated between marine and continental domains, inhabited by biological populations which are strictly bound to that environment, with a zonal organization independent of salinity gradients. They further introduce the concept of "confinement" with a range from "thalassic" (=marine) conditions to "far paralic" conditions near freshwater. This approach has been critically appraised by [Barnes \(1994\)](#), who clearly shows that the term "paralic" is in general the environment that in the English-speaking world would be termed "brackish-water". He also comments that all of [Guelorget and Perthuisot's](#) work related to micro- or non-tidal environments. Although [Guelorget and Perthuisot](#) do include estuaries in their paper, [Barnes \(1994\)](#) clearly shows that all species in macro-tidal estuaries originate from and are continuous with marine and freshwater habitats. Although the term "confinement" may be useful for*

describing non-tidal lagoons, he shows that the term "paralic" a term neutral with respect to salinity only has relevance to such lagoons. A computerized literature search by the present authors has shown that the terms paralic and confinement have not been adopted in the English literature. It is considered here that the terms brackish-water or estuary provide sufficient definition, again remembering that all estuaries are brackish, but not all brackish-waters are estuaries. Given the above discussions, the present authors are left a little bemused as to why so many scientists are so keen to extend the definition of "estuaries" in order to include their own local environment, why there is the need to derive alternative definitions or nomenclature, or whether it is possible to summarize a complex environment in a simple definition ».

Nichols et Allen (1981), ont proposé une classification des lagunes selon leur morphologie, et quatre catégories ont été distinguées :

? les lagunes estuariennes dans lesquelles les courants fluviaux et les courants de marée jouent un rôle prépondérant,

? les lagunes ouvertes dans lesquelles la marée a un marnage suffisant pour que le flot et le jusant assurent un autodragage des passes qui échappent à l'obturation,

? les lagunes semi-fermées témoignent d'un rapport de forces inverses ; les apports de la dérive littorale tendent à colmater les passes qui se maintiennent difficilement et,

? les lagunes fermées caractérisées par l'absence de courants de marée, ce qui est l'indice d'un faible marnage, et par des effets de chasse d'origine fluviale.

3. Particularités physiologiques et productivité des eaux saumâtres

Kinne (1971) distingue deux groupes d'espèces : les espèces qui ne régulent pas, à métabolisme à peu près indépendant de la salinité extérieure Mac Lusky (1967, 1968 et 1970) cas de l'Amphipode *Corophium vulgatum*, et les espèces à métabolisme régulé, présentant un minimum d'activité dans un milieu qui leur est favorable, dans lequel la consommation d'oxygène correspond à l'effort osmotique minimum (Macan, 1963), cas des *Corixa* (insectes aquatiques). L'euryhalinité est l'une des particularités biologiques des milieux saumâtres qui met en jeu le mécanisme d'osmorégulation, ces conditions d'euryhalinité sont à la base de ce que Petit (1954) dénomme "le paradoxe des eaux saumâtres", à savoir une pauvreté en nombre d'espèces et une élévation en nombre d'individus.

Par la fluctuation de leurs paramètres physico-chimiques, les milieux lagunaires paraissent très sélectifs. Ils éliminent la quasi-totalité des espèces marines et d'eau douce qui vivent dans son voisinage. Seules quelques unes d'entre elles résistent aux températures extrêmes et aux salinités très différentes de celles de leur milieu d'origine. Les espèces tolérantes occupent alors, la place laissée libre par les

espèces éliminées ou sensibles. Elles peuvent proliférer de façon parfois prodigieuse, accumulant des densités et des biomasses souvent supérieures à celles des milieux voisins.

D'une manière générale, les eaux saumâtres côtières (lagunes, estuaires, mangroves, etc.), sont des milieux eutrophes où la concentration des éléments nutritifs est à l'origine des biomasses élevées (Ballou *et al.*, 1963 ; Blanc *et al.*, 1969). L'étude de Massé (1971) dans l'étang de Berre (France), a permis de signaler la présence de biotopes riches en mollusques tels que *Lentidium mediterraneus*, *Tapes aureus*, *Cardium glaucum* et *Cyclonassa neritea*. Cet auteur conclut que "malgré, la variation importante de la salinité, la production se maintient à un niveau exceptionnellement élevé et supérieure à celle qui peut être évaluée en mer libre dans la Méditerranée occidentale".

Parmi les différents facteurs qui sont à l'origine de la forte production dans ces milieux, l'abondance de la nourriture et la rareté des prédateurs comme les Echinodermes. De même, Wolff et De Wolf (1977) pensent également que les milieux lagunaires et estuariens, représentent des zones à forte productivité biologique.

Selon Nixon (1982), la production halieutique des milieux paraliques à l'échelle mondiale est extrêmement variable, et se situe entre quelques kilogrammes et une tonne par hectare et par an. En Méditerranée, les pêcheries lagunaires contribuent à 10% au moins de l'ensemble des captures de la production halieutique méditerranéenne (Quignard et Mazoyer, 1983), et à environ 30% de la pêche démersale (Levy et Troadec, 1974). On peut toutefois, se convaincre de l'importance économique des pêches lagunaires en constatant avec Amanieu (1972) que pour l'année 1971, la seule production de la pêche aux petits métiers dans les étangs de Thau et de Berre était supérieure en valeur, à la production de chalutiers du littoral français.

On se souvient également de la notoriété de l'étang de Diana en Corse, port principal de cette dépendance romaine, il était en outre, un centre réputé de production d'huîtres (Guelorget *et al.*, 1983 b). On signale également que, la production conchylicole annuelle des étangs méditerranéens oscille aux alentours de 15 t/ha, à titre d'exemple les étangs du Languedoc-Roussillon ont produit en 1980 environ 9 000 t de moules et 5 000 t d'huîtres représentant ainsi 15% et 5% de la production des eaux françaises (Guelorget *et al.*, 1983 b).

Résumé

La lagune Mellah est une partie intégrante du Parc National d'El-Kala et exploitée de façon traditionnelle pour la pêche et la conchyliculture. Le besoin économique et le contexte écologique de la lagune en tant que partie intégrante de la zone humide, ont valorisé cette étendue restreinte (875 ha) mais fortement productive. La lagune communique avec la mer par un seul chenal étroit sujet au colmatage progressif réduisant les échanges. L'objectif de cette étude est de décrire la structure et le fonctionnement de la lagune Mellah à travers l'analyse du plancton, du benthos et de leurs environnements physico-chimiques respectifs.

Le Mellah est soumis essentiellement aux influences climatiques dominantes en période humide et tidales dominantes en période sèche. En raison de la faible profondeur et des turbulences des eaux, les facteurs physico-chimiques sont verticalement et horizontalement homogènes. La lagune se comporte comme un bassin de dilution et est affectée par une circulation estuarienne due à une marée à régime semi-diurne. Chaque année la salinité diminue d'une unité environ et le Mellah évolue ainsi vers un adoucissement. La marée ne permet qu'un faible échange avec un renouvellement chaque 9 mois environ. Le Mellah paraît peu enrichi en sels nutritifs et le problème d'eutrophisation ne s'y pose pas. Les conditions chimiques des eaux se traduisent par un stock en matière primaire modéré, toutefois le Mellah contribue à l'enrichissement du littoral voisin particulièrement en hiver.

Les conditions physico-chimiques impriment une biologie particulière se traduisant par une forte richesse et diversité spécifiques du phytoplancton, rarement observée en Médi-terranée. La composition et l'abondance du zooplancton est le reflet fidèle des conditions climatiques d'hiver avantageant l'établissement d'espèces à affinité lagunaire, et les influences tidales dominantes en période sèche avantageant les espèces immigrantes d'affinité marine. Les immigrants planctoniques ne se maintiennent pas dans la lagune au-delà d'un cycle complet de marée, en raison des mortalités liées à l'écart thermo-halin lagune-mer.

Les facteurs thermiques et halins ainsi que la richesse des sédiments en matière organique, conditionnent la distribution de la macrofaune benthique dans la lagune. En effet, le peuplement opportuniste peu diversifié, est cantonné au centre vaseux où dominant les dépositores. Le peuplement zoobenthique est composé de 43 espèces souvent moins structuré avec un faible indice de diversité (<2,90).

Mots clés : hydrologie, plancton, zoobenthos, échanges lagune-mer, écosystèmes lagunaires, lagune Mellah

ABSTRACT

The Mellah lagoon is an integral part of the National Park of El-Kala and exploited with a traditional method for the fishing and the conchyliculture. The economic need and the ecological context of the lagoon is so much that gone integral of the humid zone, valorized this restricted extent (875 ha) but greatly productive. The lagoon communicates with the sea by only one fairway narrow topic to the progressive sealing reducing exchanges. The objective of this study is to describe the structure and the working of the Mellah lagoon through the analysis of the plankton, the benthos and their physico-chemical environments.

The Mellah is essentially exposed to the dominant climatic influences in humid period and dominant tidal in dry period. By reason of the weak depth and turbulences of waters, the physico-chemical factors are vertically and horizontally homogeneous. The lagoon includes itself like a basin of dilution and is affected by a estuary circulation owed to a tide to semi-diurnal regime. Every year the saltiness decreases about one unit and the Mellah evolves thus toward an alleviation. The tide only permits about a weak exchange with a renewal every 9 months. The Mellah appears enriches little in nourishing salts and the problem of eutrophisation doesn't exist. The chemical conditions of waters translate themselves by a stock in curbed primary matter, however the Mellah contributes to the enrichment of the neighboring coastline particularly in winter.

The physico-chemical conditions inductor a particular biology translating by a strong wealth and specific diversity of the phytoplankton, rarely observed in Mediterranean. The composition and the abundance of the zooplankton is the faithful reflection of the climatic conditions of winter favoring the establishment of species to lagoonar affinity, and influences dominant tidal in dry period favoring the immigrant species of marine affinity. The planktonic immigrant doesn't maintain themselves in the lagoon beyond of a complete cycle of tide, by reason of mortalities bound thermo-halin lagoon-sea aside.

The thermal factors and salinity as well as the wealth of sediments in organic matter, condition the distribution of benthic macrofauna in the lagoon. Indeed, the little varied population opportunist, is quartered to the muddy center where dominates deposit feeding. Macrozoobenthic population is often composed minus of 43 species structured with a weak indication of diversity (<2.90).

Key words: hydrology, plankton, zoobenthos, exchanges lagoon-sea, ecosystems lagoonar, Mellah lagoon,

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA LAGUNE MELLAH

1. Situation géographique

La lagune Mellah se situe à l'extrême Nord-Est algérien ($8^{\circ} 20' E$ et $36^{\circ} 54' N$), en bordure de la mer Méditerranée entre les deux caps Rosa et Roux (**fig. I.3**). Cet écosystème est localisé dans un milieu naturel couvert d'une forêt dense de chêne liège, où on trouve d'autres étendues d'eaux douces ; lacs Oubéira et Tonga (**fig. I.4**). Le site étudié est l'unique milieu lagunaire en Algérie, son originalité réside dans son caractère saumâtre. D'après la configuration et les oueds qui s'y jettent, la lagune Mellah serait une ancienne vallée fluviale envahie par la mer ([Arrignon, 1963](#)). D'autre part, le Mellah est une lagune qui se trouve insérée dans des collines d'alluvions quaternaires, où les mouvements tectoniques y ont fortement contribué ([Morel, 1967](#)). Toutefois, [Guelorget et al. \(1989\)](#) le qualifie comme étant un milieu qui correspond à une dépression endoréique lacustre würmienne, envahie par la mer lors de la remontée eustatique flandrienne.

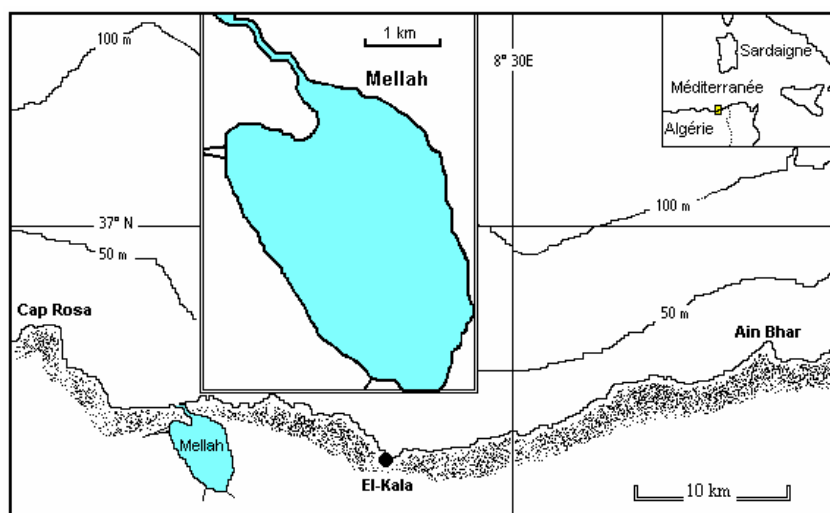


Figure I.3 : Position géographique de la lagune Mellah.

2. Morphométrie

Cette étendue d'eau saumâtre est d'une forme grossièrement ovoïde, tendant à s'allonger du Nord-Nord-Ouest au Sud-Sud-Est. Avec une superficie globale d'environ 865 hectares, elle s'étend sur 4,5 Km du Nord au Sud et 2,5 Km d'Est en Ouest. Dans la région Nord-Est de la lagune, on remarque un cordon dunaire s'élevant jusqu'à plus de 177 m, orienté du Nord-Ouest au Sud-Est ([Thomas et al., 1973](#)).



Figure I.4 : Vue satellitaire du système lacustre de la région d'El-Kala (www.googleearth.com, modifié).

La profondeur de la lagune varie suivant les différents secteurs ; à l'Ouest de l'étendue les fonds sont en pente assez marquée et la profondeur croît rapidement vers le centre jusqu'à moins de 6 m. Dans la partie Est sur près de 500 m la profondeur maximale est de 2 m, au-delà existe une rupture de pente jusqu'à une profondeur à un peu plus de 5 m (fig. I.5) (Guelorget *et al.*, 1982). La lagune est caractérisée par deux plateaux peu profonds (< 2 m), correspondant à l'accumulation périphérique des matériaux détritiques du bassin versant, longeant les rives et on note également l'existence de cônes alluviaux au droit des embouchures des principaux oueds notamment au Sud (Guelorget *et al.*, 1989). D'autre part, Messerer (1999), signale que la profondeur maximale de la lagune ne dépasse pas 5,20 m, relevée dans la partie centrale de l'étendue en octobre 1996.

3. Conditions météorologiques

La lagune Mellah est située sous un climat de type méditerranéen, caractérisé par un hiver froid et humide et un été chaud et sec. Ce type de climat a une grande influence sur l'hydrologie de ce milieu semi-fermé. Les données météorologiques, nous ont été très aimablement fournies par la station météorologique d'El-Kala.

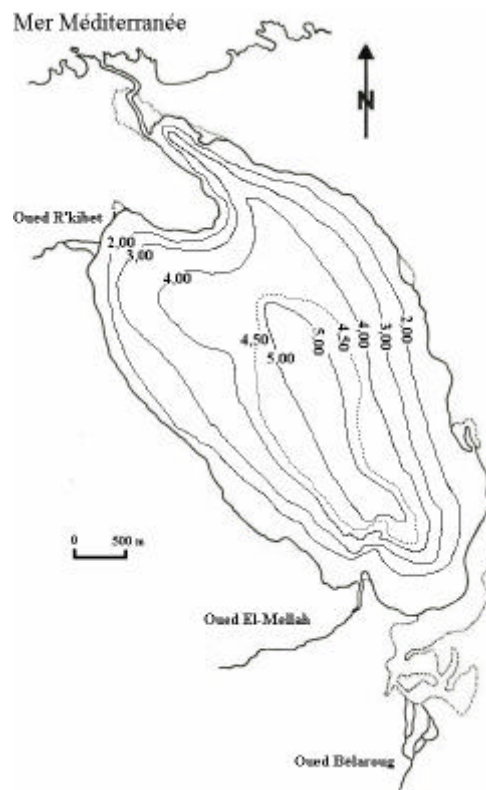


Figure I.5 : Bathymétrie de la lagune Mellah (d'après [Guelorget et al., 1982](#)).

3.1. Température de l'air

Les températures moyennes mensuelles pour la période 1990-2000 (**fig. I.6**), varient de 12,50 (janvier) à 26,60°C (août). Les fluctuations thermiques moyennes mensuelles relevées dans la région d'El-Kala et coïncidant avec la période d'étude d'octobre 1997 à décembre 1998 et de novembre 2000 à décembre 2001, sont importantes (**figs. I.7 et I.8**). On note une augmentation régulière de la température d'avril à août. L'amplitude thermique entre octobre 97 et décembre 98 est de 12,75°C (valeurs extrêmes : 12,83 en janvier et 25,57°C en juillet). Par contre, elle est plus élevée (13,80°C) entre novembre 2000 et décembre 2001. D'une manière générale, on assiste à deux grandes phases thermiques ; une période chaude de mai à octobre et une autre froide de novembre à avril.

3.2. Précipitations et évaporation

La région d'El-Kala est soumise à un régime pluviométrique marin méditerranéen avec des pluies fréquentes et non prolongées, mais d'intensité assez forte en hiver. Le climat est chaud en été avec un taux d'évaporation élevé.

Figure I.6 : Variations mensuelles de la température moyenne de l'air dans la région d'El-Kala (1990 - 2000).

Figure I.7: Variations mensuelles des valeurs moyennes de la température de l'air, des précipitations, de l'évaporation et de la vitesse des vents dans la région d'El-Kala (octobre 97 - décembre 98).

La région de la lagune Mellah reçoit entre 600 et 900 mm par an. L'étendue lagunaire reçoit des précipitations directes de l'ordre de 5 à 8 millions m³ par an, ce qui correspond à une hauteur d'eau variant entre 0,60 et 1 m. Ces hauteurs d'eau apportent 22-36% du volume total de la lagune (Ounissi *et al.*, 2002). On comprend alors que, les conditions météorologiques influencent fortement l'hydrologie de la lagune en particulier les variations de la salinité. Selon l'année, les valeurs mensuelles extrêmes des précipitations oscillent entre 0 en été et 159-241mm en hiver (figs. I.7 et I.8). Généralement, la période pluvieuse s'étale de septembre à mai avec une période sèche entre juin et août (fig. I.9).

L'évaporation suit une évolution inverse aux précipitations (fig. I.9), qui résulte de l'action conjuguée de l'ensoleillement et du vent. Celle-ci s'intensifie en période estivale avec l'élévation du degré thermique de la couche d'eau superficielle. Elle constitue ainsi le principal facteur responsable des pertes d'eau. Ces pertes peuvent être évaluées jusqu'à 90 mm/mois (fig. I.9), ce qui correspond à environ 9 millions m³ pour l'ensemble de la lagune. Le déficit hydrique peut être de l'ordre de 3 millions m³ (Ounissi *et al.*, 2002). L'évaporation dans la région du Mellah (1100 mm/an), est comparable aux estimations de Margat (1992) pour la région littorale d'Algérie (1 250 mm/an).

3.3. Régime des vents

Les vents du Nord (Mistral et Tramontane), ont une action refroidissante marquée en hiver, tandis le Sirocco provenant du Sud est capable de relever la température atmosphérique et par conséquent celle de l'eau de plusieurs degrés en été (Dajoz, 1983). La lagune Mellah est soumise généralement aux vents du Nord et Nord-Ouest de novembre jusqu'à mai et aux vents d'Est de juin jusqu'à octobre.

Pendant la période d'échantillonnage, l'intensité des vents a varié entre 3 en été et 8 m.s⁻¹ en hiver (figs. I.7 et I.8). Dans la lagune, le vent joue un rôle important, puisqu'il engendre des courants de dérive et produit des déplacements sensibles des plans d'eaux, ce qui contribue ainsi au transfert et à la distribution des matériaux sédimentaires (particules minérales, organiques, coquilles, algues, etc.).

Figure I.8 : Variations mensuelles des valeurs moyennes de la température de l'air, des précipitations, de l'évaporation et de la vitesse des vents dans la région d'El-Kala (novembre 2000 - décembre 2001).

Figure I.9 : Variations des valeurs moyennes mensuelles des précipitations et de l'évaporation dans la région d'El-Kala (1990 - 2000).

4. Hydrodynamisme

4.1. Bassin versant

Le bassin versant de la lagune Mellah occupe environ 81 Km². L'activité agricole y étant très réduite et de subsistance, pratiquée par une faible population clairsemée sur ce bassin. Il n'existe aucune activité industrielle au voisinage du Mellah. De ce fait, les apports continentaux ne comportent que les produits du lessivage des sols, par ailleurs limités par la présence d'un couvert végétal homogène de type maquis. Les ruisseaux qui se jettent dans la lagune ont un débit intermittent selon le régime pluviométrique et sont en général secs l'été. De plus, une partie de l'eau recueillie dans le bassin versant du Mellah s'infiltré et alimente les nappes souterraines, elles-mêmes en communication probable avec la lagune. L'apport des ruisseaux peut être estimé à environ 20 millions m³ par an (Messerer, 1999). Les mouvements hydrologiques de cette lagune dépendent des conditions météorologiques, des mouvements d'eaux marines transitant par le chenal et aussi du débit variable (selon les saisons) des eaux douces provenant des oueds.

Les mesures réalisées par Guelorget *et al.*, (1989) et Messerer (1999), ont montré qu'entre le plus bas niveau (en été) et le plus haut (en hiver), l'amplitude pouvait atteindre environ 80 cm. Il est possible d'estimer ces variations de niveau en notant régulièrement les valeurs atteintes sur un repère fixe (une échelle graduée fixée à une digue ou un ponton par exemple). Les résultats peuvent alors, être mis en relation avec d'autres phénomènes observés ou mesurés (précipitations, vents, heures de marée, températures, etc.).

4.2. Marées et courants

Les marées sont mises en évidence par l'alternance de mouvement d'entrées d'eaux de mer vers la lagune (le flot), et les sorties des eaux de celle-ci vers la mer (le jusant). Dans la lagune Mellah, ces marées peuvent atteindre une amplitude de 40 cm (Thomas *et al.*, 1973). Cependant, la dynamique des eaux de la lagune est réglée par le régime des marées non seulement barométriques (Semroud, 1983) qui sont d'ailleurs très faibles, mais surtout d'origines astronomiques (Ounissi *et al.*, 2002). Le régime de marée est de type microtidal semi-diurne. Il peut être occulté par le remplissage de la lagune en hiver et au printemps, où la marée se trouve masquée par l'évacuation d'eau excédentaire continentale. En été, le régime semi-diurne s'affirme avec deux cycles de marée durant 23 heures environ (Ounissi *et al.*, sous presse a).

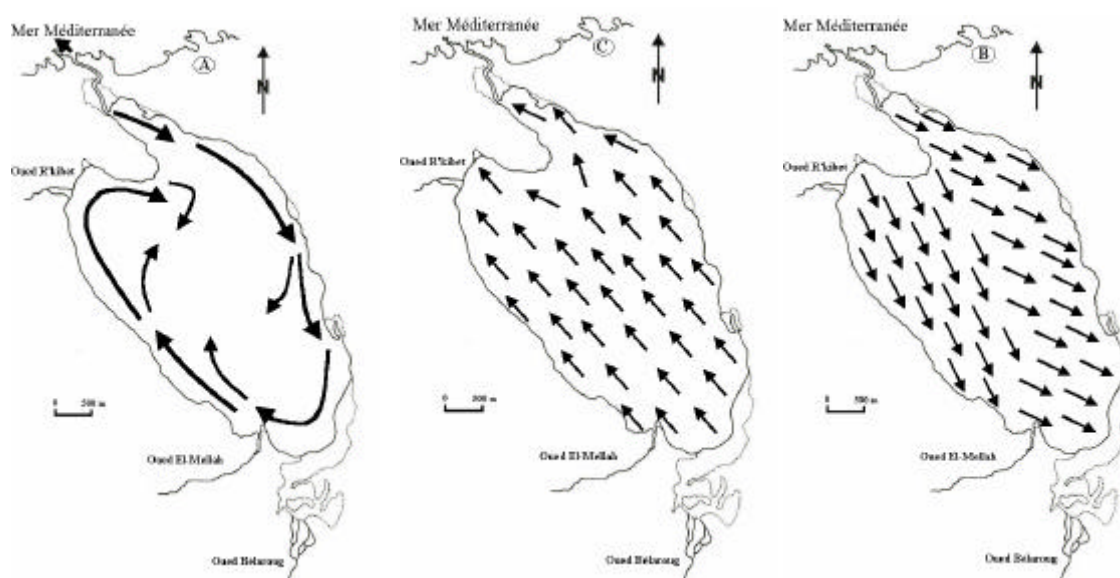


Figure I.10 : Mouvements des eaux superficielles. A: trajectoires hypothétiques (d'après Guelorget *et al.*, 1989). B et C: mouvements rectilignes des eaux respectivement pendant le flot et le jusant (d'après Messerer, 1999).

D'après Messerer (1999), le bilan hydrologique de la lagune calculé sur la base des données de trois cycles effectués au niveau du chenal, montre que les sorties annuelles moyennes sont quatre fois plus importantes que les entrées. Selon Guelorget *et al.* (1989), la circulation des eaux de surface du bassin s'effectue en une lente rotation périphérique dans le sens des aiguilles d'une montre (fig. I.10 A), en concordance avec la direction des vents dominants

Nord-Ouest. Contrairement, Messerer (1999) décrit une courantologie rectiligne des eaux superficielles de la lagune (fig. I.10 B et C), du Nord au Sud pendant la pleine mer (le flot) et inversement durant la basse mer (le jusant).

5. Nature du fond

La granulométrie de la lagune Mellah comme dans la majorité des lagunes méditerranéennes, s'organise d'une façon concentrique ; c'est-à-dire que la taille des grains diminue régulièrement de la rive vers le centre de la lagune. Ce phénomène serait du au processus d'accumulation des particules fines dans la cuvette centrale, ainsi qu'à la courantologie des eaux, accompagnée d'une forte agitation à la périphérie, puis le courant s'affaiblit vers l'intérieur de la lagune (Guelorget *et al.*, 1989). C'est ainsi qu'on rencontre des sables fins au niveau des rives et au fur et à mesure que l'on se dirige vers les grandes profondeurs la fraction fine a tendance à augmenter, et le centre de la lagune n'est formé que d'une vase pure très fluide. Toutefois, Draredja (1992) signale en saison printanière avant l'aménagement du chenal de communication (1988), l'existence de cinq zones lithologiques, allant des sables purs près des rives aux vases pures au centre de l'étendue, en passant par les sables légèrement envasés, les vases sableuses et les vases légèrement ensablées. Selon cet auteur, la fraction pélitique reste également importante dans les sédiments de la zone centrale de l'étranglement de la lagune au Nord. Les tapis de l'herbier *Ruppia* sp. couvrent les sables purs du pourtour lagunaire.

6. Aménagement et exploitation

L'aménagement du chenal réalisé en 1988, a permis de l'élargir à 20 m (section mouillée) et d'approfondir son lit à 2 m, afin d'améliorer les échanges hydriques et d'augmenter la salinité de la lagune. Un système de régulation hydraulique a été prévu afin de renouveler un volume d'eau d'environ $21,5 \cdot 10^6$ m³ par mois et d'autre part, de maintenir la salinité proche de celle de la mer (FAO, 1987).

Les dunes de sables à l'Ouest du chenal, qui sont sous l'influence directe des vents dominants (Nord-Ouest), doivent être stabilisées par la plantation d'espèces locales, afin de réduire les phénomènes d'érosion par le transport éolien et par conséquent le colmatage du chenal. Dix ans après l'aménagement du chenal, on assiste à un ralentissement remarquable de la circulation des eaux lors du flux et du reflux. Cette situation est due à un ensablement très important, qui réduit progressivement la section libre du chenal, et également

aux courants côtiers transportant le sable dans les zones mortes du chenal. D'autre part, les crues hivernale et printanière des oueds charrient d'importantes charges de matériaux, dont une partie pouvant être acheminée vers le chenal lors du jusant.

La pêche artisanale existe dans la lagune Mellah depuis le début du siècle. L'activité de pêche des poissons, repose essentiellement sur le système de pièges à poissons (bordigues) selon la période de migration des espèces. La pêche au trémail est pratiquée également, surtout en bordure de la lagune. La production aquacole est très variable d'une année à une autre (**fig. I.11 et I.12**), en fonction surtout de l'effort de pêche exercé et des conditions hydrologiques très variables de la lagune. La production piscicole est constituée essentiellement de mulets, loup, sole, dorade, marbré et anguille, pêchés à différentes périodes de l'année. L'exploitation de la lagune est basée essentiellement sur la pêche des poissons.

Actuellement, la récolte et la conchyliculture de bivalves sont exercées dans cet écosystème. La cueillette de la palourde (*Ruditapes decussatus*) et accessoirement celle de la coque (*Cerastoderma glaucum*), sont exercées depuis 1990. Celles-ci sont pratiquées manuellement sur les rives accessibles (< 1,20 m). La récolte est concentrée notamment sur les rives Est et Sud, en raison de l'importance du gisement dans ces endroits.

Si la mytiliculture est déjà pratiquée depuis une quarantaine d'années et a connu des périodes de succès et des périodes d'arrêt de l'activité, l'exploitation des huîtres n'a repris qu'en novembre 1998, grâce à l'introduction de naissains de *Crassostrea gigas*.

Figure I.11 : Production piscicole dans la lagune Mellah de 1991 à 2001 (Source : ONDPA).

Cependant, il est intéressant de signaler que la production de la palourde a remarquablement baissé, passant ainsi de 20,50 tonnes en 1998 à 2,40 tonnes seulement en 1999. D'après les responsables de l'organisme exploitant (l'Office National de Développement de la Pêche et de l'Aquaculture : ONDPA), cette chute n'est pas due à la baisse du stock naturel dans la lagune, mais à un problème de commercialisation. En effet, depuis 1997, et pour des raisons de normes d'hygiène exigées par la communauté européenne, l'exportation vers l'Espagne s'est arrêtée, ce qui a obligé l'ONDPA à réduire la pêche de ce bivalve.

Figure I.12 : Production conchylicole dans la lagune Mellah de 1991 à 2001 (Source : ONDPA).

Conclusions

Trois points essentiels peuvent être dégagés à l'issue de cette partie.

- Le problème de classification des milieux à salinité variable, constitue encore de vives spéculations entre scientifiques. Il semble qu'il s'agit plutôt, de problèmes de culture et des effets géographiques sur ces mêmes scientifiques. Il n'y a pas en effet, de culture d'estuaire pour les méditerranéens, comme il n'y a pas de culture de lagune pour les atlantiques ou les anglophones plus généralement.

Les critères de classification des milieux à salinité variable, doivent alors avoir une approche multidisciplinaire comme l'avait proposé [Elliott et Mc Lusky \(2002\)](#), tenant compte de facteurs physiques, chimiques, biologiques, qualité de l'environnement, réglementation et conservation.

- La singularité de la lagune Mellah est surtout, son comportement en tant que bassin de dilution, à l'inverse des lagunes méditerranéennes qui sont pour la plupart des bassins de concentration. La salinité diminue régulièrement en effet d'une année à l'autre, par suite d'abord, d'apports d'eau douce de différentes sources (écoulement, nappe, précipitations directes), et ensuite du fait du colmatage progressif du chenal réduisant les introductions marines. On estime que chaque année la salinité diminue d'une unité environ. En effet, si les lagunes méditerranéennes connaissent des problèmes de salinisation des eaux, le Mellah quant à lui évolue vers un état d'adoucissement graduel.

- Si les lagunes sont connues pour leur productivité, elles sont malheureusement aujourd'hui entachées par de nombreuses contraintes environnementales, liées aux différentes activités anthropiques. Les eutrophisations envahissent la plus part des lagunes et y induisent de graves incidences écologiques. La lagune Mellah est épargnée de ces agressions, en raison de son bassin versant réduit et très peu urbanisé. De ce point de vue, le Mellah représente un site où le regard de conservation primerait sur l'exploitation. Les conflits d'usage de ce site appartenant à la réserve du Parc National d'El-Kala (PNEK), devront disparaître si la gestion revenait au Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement plutôt que le Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques. Il est curieux de pouvoir constater qu'une partie intégrante du PNEK, soit anarchiquement exploitée par des concessions du moins incohérentes.

CHAPITRE I : ENVIRONNEMENT PHYSICO-CHIMIQUE

1. Introduction

Plusieurs auteurs (Guelorget et Michel, 1976 ; Stora, 1976 ; Amanieu *et al.*, 1979-1980 ; Semroud, 1983), ont mentionné l'instabilité et la variabilité des eaux saumâtres. Les milieux lagunaires sont connus comme étant des écosystèmes extrêmement variables et irréguliers tant sur le plan hydrologique que biologique. Cependant, les variations des facteurs physico-chimiques de ces écosystèmes très particuliers induisent une composition faunistique et floristique spécifiques. En effet, la température, la salinité, le pH, la turbidité, la teneur des eaux en oxygène dissous, les courants qui brassent les eaux, la flore et la faune qui y habitent, varient en permanence et confèrent au domaine lagunaire sa composition biologique particulière. En raison des valeurs extrêmes atteintes par ces paramètres et leurs variations rapides, ces écosystèmes sont très sélectifs, d'où l'intérêt d'étudier l'hydrologie de la lagune Mellah, en insistant sur le suivi spatio-temporel des paramètres environnementaux. On décrit d'abord les stations échantillonnées et les méthodes utilisées, suivi d'une analyse du comportement hydrologique et chimique des eaux de la lagune.

2. Matériel et méthodes

2.1. Choix des stations

La stratégie d'échantillonnage doit être liée au thème et aux échelles d'observations tracées, afin d'établir une représentation plus ou moins fidèle de la situation réelle des peuplements (Bachelet, 1987). Le choix d'une méthodologie globale d'échantillonnage et de localisation d'un site favorable constitue une phase préliminaire. En réalité, les contraintes liées au milieu, aux techniques et surtout au but poursuivi, nécessitent un plan d'échantillonnage plus complexe faisant intervenir une stratification ou une systématisation à un niveau quelconque (Frontier, 1983). Le suivi spatio-temporel des paramètres physico-chimiques des eaux de la lagune (température, salinité, pH, oxygène dissous et transparence des eaux) a été réalisé entre novembre 97 et décembre 98 au niveau de 12 stations (**fig. II.1, tab. II.1**), réparties sur l'ensemble de l'étendue suivant un plan d'échantillonnage systématique. Une station placée au niveau du chenal (station C), à mi-distance entre la lagune et la mer (**fig. II.1**), constitue une zone stratégique à considérer en dépit d'un plan systématique. Les teneurs en sels nutritifs, en matière en suspension (M.E.S) et en carbone organique particulaire (C.O.P), ont été suivis dans 5 stations (2, 4, 12, 10 et C). Les stations sont réparties selon un axe longitudinal Nord-Sud superposées à l'axe majeur de trajectoires des courants entrant (flot) et sortant (jusant). La station (10), placée en face de l'oued R'kibet au Nord-Ouest de l'étendue externe aux gradients, est plus soumise aux actions continentales (**fig. II.1**). Généralement, l'ensemble des stations ont été

échantillonnées entre 10 heures et 14 heures selon la trajectoire suivante : 1-2-3-7-8-4-5-9-6-12-11-10-C. La phase de marée n'a malheureusement pas été indiquée aux différents niveaux spatiaux échantillonnés. Il se pourrait en effet que la marée change de phase pendant la durée de l'échantillonnage.

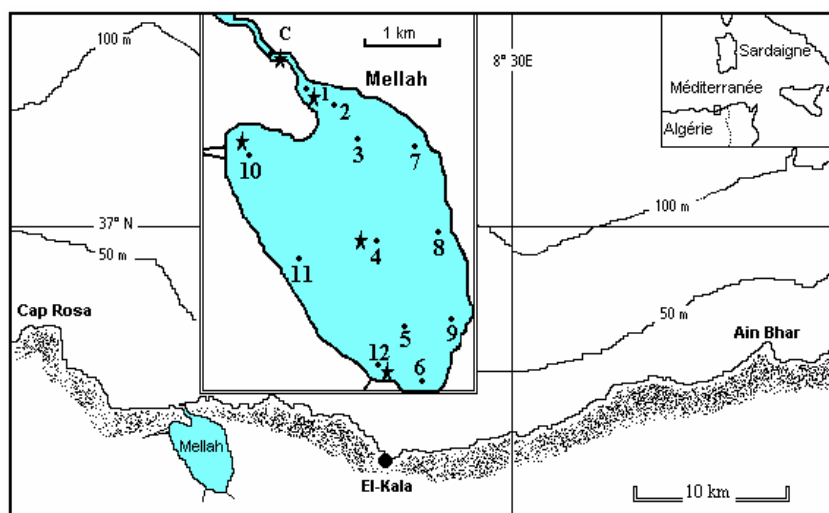


Figure II.1 : Localisation des stations étudiées. ⚡: Stations ayant fait l'objet d'analyses de M.E.S, de C.O.P, des sels nutritifs et de la chlorophylle en plus des relevés hydrologiques.

2.2. Méthodes de prélèvements et d'analyses

2.2.1. Température et salinité

Ces deux paramètres ont été mesurés à la surface et près du fond, grâce à un thermosalinomètre de terrain type "Kent Eil 5005", d'une précision haline et thermique respectives de 0,05 PSU et 0,10°C. Le salinomètre a été étalonné à l'aide d'une solution de KCl à 34,90 PSU. Les valeurs de salinité sont ainsi exprimées en échelle de salinité pratique ou Practical Salinity Unit (PSU).

2.2.2. Oxygène dissous, pH et transparence des eaux

L'oxygène dissous a été mesuré à l'aide d'un oxymètre de terrain type "Oxi 96", comprenant une sonde électrolytique d'une précision de 0,01 mg.l⁻¹. Toutefois, et pour des raisons techniques, les mesures de ce paramètre n'ont commencé qu'à partir du mois d'avril 98.

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre de terrain type "pH-mètre 29", d'une précision de 0,01.

La transparence des eaux a été mesurée à l'aide du disque de Secchi d'un diamètre standard de 30 cm. Celui-ci est lesté, ensuite immergé verticalement à l'aide d'une corde graduée jusqu'à sa disparition totale dans la colonne d'eau, puis on note la profondeur correspondante.

Tableau II.1 : Description des stations échantillonnées. VP : Vase pure, VS : Vase sableuse, VLS : Vase légèrement sableuse, SP : Sable pur, SLV : Sable légèrement envasé.

Stations	Profondeur (m)	Nature du fond (Observée)	Description géographique et particularités
1	2,30	VLS à coquilles	Zone d'entrée du chenal dans la lagune, donc sous l'influence directe des eaux marines.
2	2,50	VP à coquilles	Zone d'étranglement de la lagune, présence des tables à moules.
3	3,50	VP à coquilles	Juste après la zone d'étranglement de la lagune.
4	4,50	VP à coquilles	Au centre de la lagune, zone la plus profonde.
5	3,10	VS	Au Sud de la lagune et proche des influences continentales.
6	1,20	SP à <i>Ruppia</i>	A l'extrême Sud de la lagune, sous influence continentale.
7	1,80	SLV à <i>Ruppia</i>	Au Nord-Est de la lagune, non loin des influences marines.
8	1,50	SP à <i>Ruppia</i>	Sur la rive Est de la lagune, à mi-distance entre le Nord et le Sud du Mellah.
9	1,20	SP à <i>Ruppia</i>	Au Sud-Est de la lagune, loin des influences marines.
10	1,80	VS à coquilles	Au Nord-Ouest de la lagune, zone abritée, en face de l'oued R'kibet.
11	1,30	SP à <i>Ruppia</i>	Au Sud-Ouest du Mellah avec une forte densité de l'herbier à <i>Ruppia</i> .
12	1,50	SLV à <i>Ruppia</i>	Au Sud-Ouest de la lagune, en face de l'oued El-Mellah.
C	1,00	SP	Station chenal placée à mi-distance entre la mer et la lagune (environ 400 m).

2.2.3. Sels nutritifs

Les échantillons d'eau destinés aux dosages des sels nutritifs ont été prélevés mensuellement en surface en immergeant une bouteille de prélèvement à environ 30 cm de la surface. Un volume de 500 ml est filtré sur une soie de 63 μm de vide de maille, puis conservé au congélateur dans un flacon en polyéthylène jusqu'à l'analyse. Les techniques de dosages utilisées sont résumées dans le **tableau II.2**.

2.2.4. Dosage de la chlorophylle a et des phéopigments

Les écologistes utilisent pour la détermination des pigments chlorophylliens, la technique spectrophotométrique (Lorenzen, 1967), simple et rapide, permettant de traiter un nombre important d'échantillons. Après prélèvement et conservation à l'abri de la lumière dans des bouteilles en verre brun, on filtre un litre d'eau afin de concentrer le matériel particulaire. Le filtrat ainsi obtenu fera l'objet du dosage de la chlorophylle a et ses principaux dérivés de dégradation (phéopigments). Le filtre en

fibres de verre (type GF/C Whatman) utilisé est immergé dans l'acétone à 90% (à l'obscurité et au frais pendant 5 à 10 heures) assurant ainsi l'extraction des pigments. On procède par la suite à une centrifugation à 3000 t/mn (durant 10 mn), afin de clarifier les extraits. L'absorbance de l'extrait ainsi obtenu est mesurée à une longueur d'onde λ égale à 665 nm, avant et après acidification.

Tableau II.2 : Méthodes de dosage des sels nutritifs dissous.

Eléments	Méthode	Auteur	Référence
Ammonium NH ₄ ⁺	Dosage par spectromètre (λ = 630 nm)	Koroleff (1969)	Aminot & Chaussepied (1983)
Nitrate NO ₃ ⁻	Dosage par spectromètre (λ = 543 nm)	- Réduction selon Wood <i>et al.</i> (1967) - Dosage selon Bendschneider & Robinson (1952)	Aminot & Chaussepied (1983)
Phosphate PO ₄ ³⁻	Dosage par spectromètre (λ = 543 nm)	Murphy et Riley (1962)	Aminot & Chaussepied (1983)

2.2.5. Matière en suspension (M.E.S)

La détermination des matières en suspension dans l'eau a été réalisée suivant la méthode de pesées différentielles, après filtration sur filtre Whatman GF/C de 0,45 μ m de porosité et dessiccation à 105°C (Aminot et Chaussepied, 1983). La précision de cette méthode, varie entre 0,10 et 0,15 mg. Dans notre étude, 0,50 à 1,50 litres d'eau de la lagune, ont été filtrés en fonction de la charge en seston des stations sélectionnées (fig. I.1).

2.2.6. Carbone organique particulaire (C.O.P)

La matière organique est dosée suivant la méthode de Le Corre (*in* Aminot et Chaussepied, 1983), qui permet d'évaluer la quantité de matière organique particulaire sous la forme d'équivalent en carbone, avec une limite de détection de 10 μ g/l. L'analyse a concerné les mêmes stations retenues pour les mesures de la teneur en M.E.S.

3. Résultats

3.1. Caractères hydrologiques

Les mesures physico-chimiques, température, salinité, oxygène dissous, pH et transparence des eaux (12 stations lagunes et une au chenal) et les teneurs en matière en suspension, et en carbone organique particulaire (4 stations lagunes et une au chenal), ont été effectuées durant la période s'étalant de novembre 97 à décembre 98. L'étude des facteurs physico-chimiques est d'une importance majeure dans l'étude de la dynamique des milieux aquatiques.

3.1.1. Température

Les courbes de variation de la température (**fig. II.2**), présentent toujours la même allure au niveau de toutes les stations. La différence de température entre le fond et la surface est très faible dans l'ensemble des stations et dépasse rarement de peu 1°C. Cette situation témoigne donc d'une forte homogénéité de la colonne d'eau de la lagune, notamment pour les stations situées à la périphérie. Durant la période d'étude, la température minimale atteinte est de 10°C seulement, enregistrée au mois de janvier dans la station 1 (au Nord de la lagune), tandis que la température maximale est de 30,20°C, relevée en août dans les stations 7 et 11. D'une manière générale, la température des eaux de la lagune est proche de celle de l'air. Par conséquent, on décèle un certain parallélisme entre la courbe de la température moyenne des deux milieux (**fig. II.3**). En effet, la masse d'eau est sous l'influence directe de la température atmosphérique, d'où la faible inertie du milieu en particulier au printemps et en été (août). L'écart thermique annuel est de l'ordre de 20°C, indiquant une forte saisonnalité typiquement méditerranéenne.

3.1.2. Salinité

Les valeurs des salinités de surface et de fond sont toujours comparables et révèlent une homogénéité de la masse d'eau, à l'exception des stations 1, 2 et 4 où on a enregistré un écart de 5 unités en mars (**fig. II.2**). Des situations instantanées de marée pourraient engendrer ces différences. Par ailleurs, les écarts de salinité entre les différentes stations ne dépassent guère 3 unités, sauf pour la station 10 (23,50 PSU) située en face de l'oued R'kibet enregistrée en mois de mars, et la station 1 (32,50 PSU) en face du chenal enregistrée durant le même mois. Alors que les variations inter-mensuelles peuvent atteindre 9,50 PSU. Les courbes de variations de salinité des eaux de surface et celles du fond (**fig. II.2**) présentent de très faibles écarts. Néanmoins, cet écart est plus conséquent au niveau de la zone centrale la plus profonde.

Au niveau du chenal (**fig. II.4, A**), les fluctuations halines sont directement liées au sens du courant de la marée. Certaines valeurs de salinité se rapprochent de celles de la mer contiguë, coïncidant sans doute avec les phases de flot.

Le suivi d'un cycle annuel de l'allure générale des salinités moyennes à l'échelle de l'étendue d'eau (**fig. II.4, B**), permet de déceler deux grandes phases halines bien distinctes. Une phase décroissante entre novembre et mars, où les fluctuations de salinité dépendent plutôt de conditions météorologiques, c'est ainsi que la salinité diminue jusqu'à une valeur minimale de 25,50 PSU. Une phase croissante entre avril et octobre, où les influences marines s'affirment d'avantage et font donc augmenter la salinité pour atteindre son maximum de 33,80 PSU (**fig. II.3, B**).

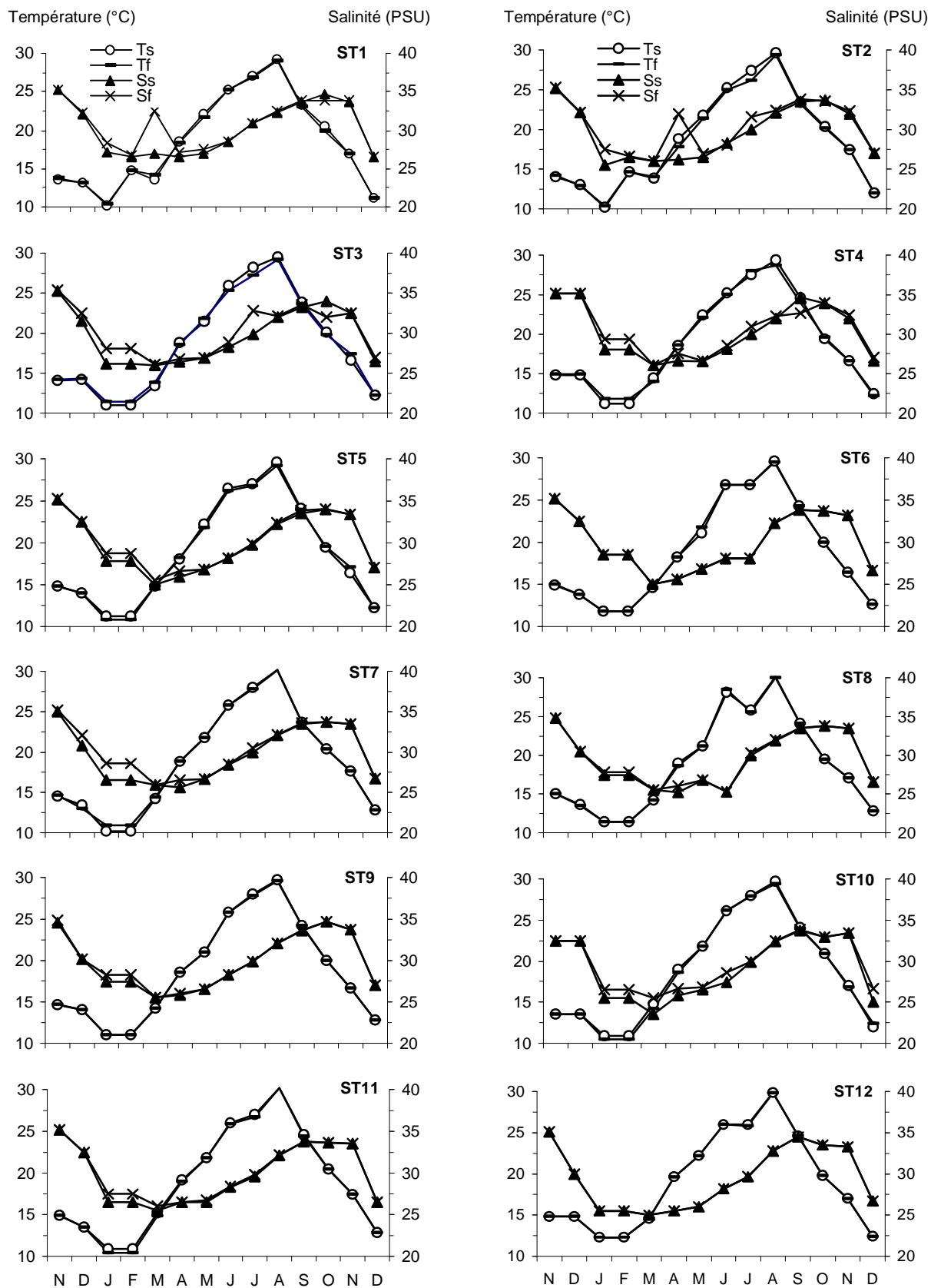


Figure II.2 : Evolution mensuelle de la température et de la salinité dans les stations prospectées dans la lagune Mellah (novembre 97 - décembre 98).

Température (°C)

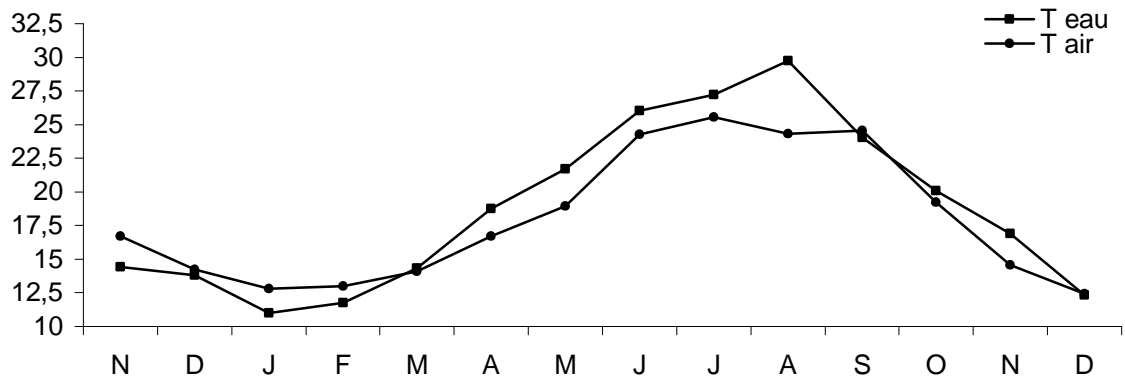


Figure II.3 : Variations mensuelles des températures moyennes de l'air et des eaux de la lagune Mellah (novembre 97 - décembre 98).

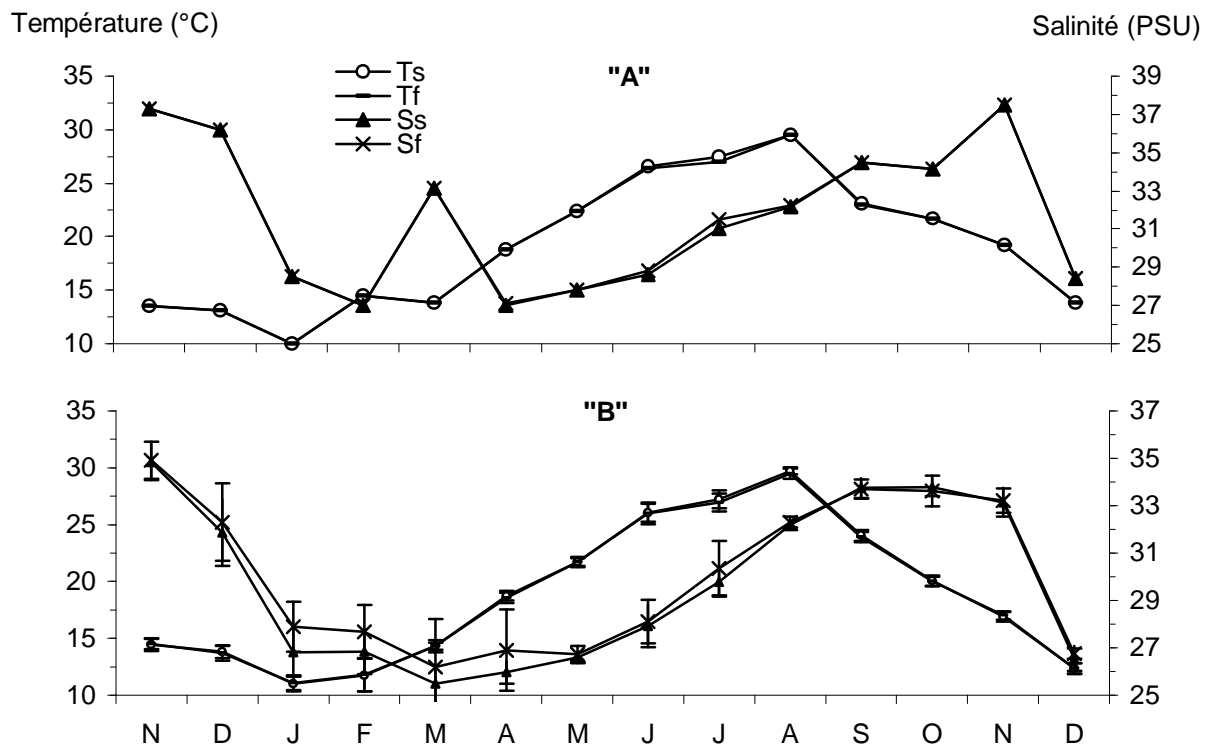


Figure II.4 : Evolution mensuelle de la température et de la salinité dans les eaux du chenal (A) et à l'échelle de la lagune (B) (novembre 97 - décembre 98).

3.1.3. pH

Le pH des eaux est relativement constant et légèrement alcalin pour l'ensemble des stations prospectées (fig. II.5). Les valeurs extrêmes de ce paramètre se situent entre 7 aux stations 9 (en janvier) et 10 (en avril), et 8,50 enregistrée à la station 1 (en octobre). De même le pH des eaux du chenal (fig. II.6, A) ainsi que celui relevé à l'échelle de la lagune varient peu (fig. II.6, B).

3.1.4. Oxygène dissous

L'évolution des teneurs en oxygène dissous dans l'ensemble des stations (**fig. II.5**), présente une certaine similarité. Toutefois, au centre du Mellah (station 4), on enregistre les plus faibles valeurs. Par contre, les taux les plus élevés sont rencontrés au niveau des stations périphériques. L'amplitude de variation mensuelle de l'oxygène dissous dans la lagune, est relativement faible et ne dépasse guère 1,90 mg.l⁻¹. Les valeurs extrêmes sont enregistrées en octobre (8 mg.l⁻¹) à la station 9, et en juin (4,50 mg.l⁻¹) à la station 4. D'autre part, on signale que les eaux du chenal sont relativement plus oxygénées (**fig. II.6, A**) en comparaison avec celles de la lagune. En effet, l'oxygénation des eaux du chenal serait liée à l'intensité hydrodynamique de la colonne d'eau, soumise aux courants de flot et de jusant d'une part, et à la proximité des eaux marines contiguës mouvantes et chargées en oxygène d'autre part.

A l'échelle de la lagune, de mai à décembre le minimum (5,72 mg.l⁻¹) est enregistré en pleine période chaude (août). Dès septembre, les eaux commencent à se refroidir (**fig. II.4**) et reçoivent les apports continentaux, entraînant ainsi une oxygénation supplémentaire faisant augmenter les teneurs jusqu'à 7,14 mg.l⁻¹ (**fig. II.6, B**).

3.1.5. Transparence des eaux

Une eau transparente est supposée moins chargée en matière en suspension. D'une manière générale, la lumière atteint le fond sur presque l'ensemble de la surface de la lagune du fait de la faible profondeur. Dans les eaux du Mellah, le disque de Secchi reste visible pour l'ensemble des stations dont la profondeur n'excédant pas 2 m. Les extrêmes de visibilité du disque de Secchi oscillent entre 3 m pendant les fortes poussées phytoplanctoniques (août) et 4,50 m (juin et juillet 98), où on voit le fond de la lagune lorsque les eaux sont limpides par mode calme. Si l'on considère la profondeur relative de disparition de disque de Secchi $[(Zv/Z)*100]$, on s'aperçoit que la colonne d'eau est à 66-100% transparente (**tab. II.3**). C'est en août et en septembre que les eaux apparaissent plus chargées et par conséquent moins transparentes. D'autre part, pendant la période des crues et tempêtes hivernales la transparence des eaux rechute à nouveau pour une limite qui varie entre 2,10 et 3 m (février), ce qui correspond à une visibilité de 66 à 92% de la colonne d'eau.

Tableau II.3 : Variations de la profondeur relative de disparition de disque de Secchi $[(Zv/Z)*100]$ (exprimées en %) des eaux de la lagune Mellah (novembre 97 - décembre 98).

Mois	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$(Zv/Z)*100$	89	84-91	78-97	66-92	84	89-91	91	100	100	67-91	67-91	93	91	87

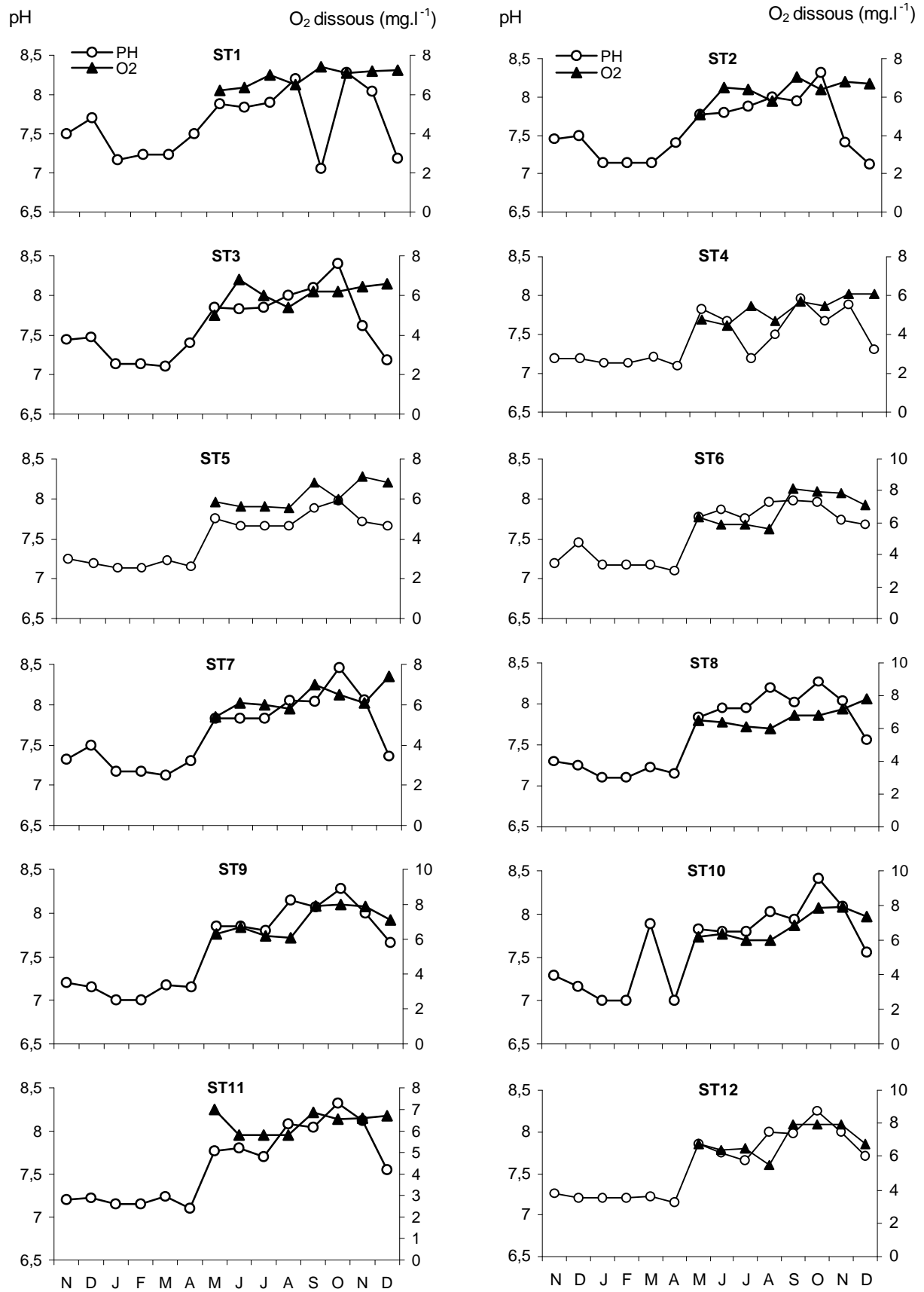


Figure II.5 : Evolution mensuelle du pH et de l'oxygène dissous dans les stations prospectées dans la lagune Mellah (novembre 97 - décembre 98).

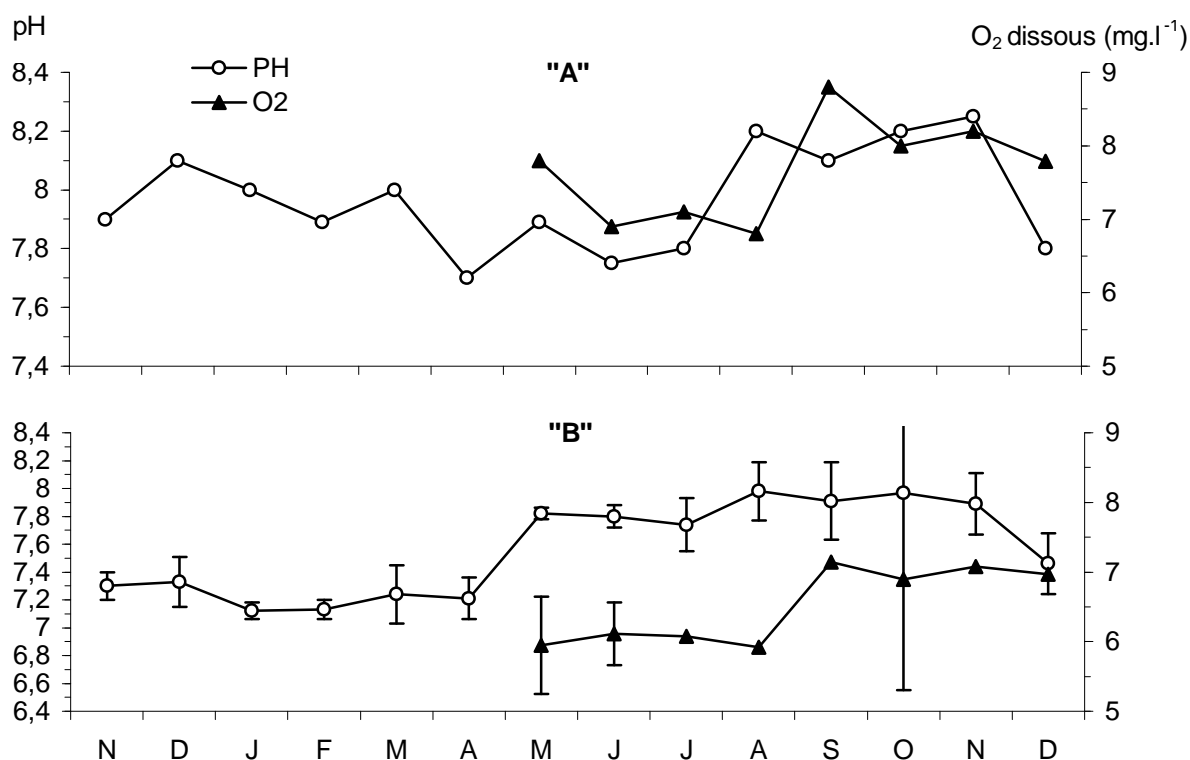


Figure II.6 : Evolution mensuelle du pH et de l'oxygène dissous dans les eaux du chenal (A) et à l'échelle de la lagune (B) (novembre 97 - décembre 98).

3.2. Sels nutritifs

L'azote est un élément constitutif essentiel des cellules végétales, cet élément intervient dans l'édification des protéines, enzymes, précurseur d'acides nucléiques, acides aminés, etc. L'azote est absorbé par les végétaux essentiellement sous forme d'ammonium (NH₄⁺) et de nitrates (NO₃⁻). L'azote représente jusqu'à 8% de la matière organique végétale et constitue ainsi un élément limitant (Aminot et Chaussepied, 1983). L'analyse de l'ammonium et des nitrates dans les eaux, rend compte ainsi de la disponibilité de ces macronutriments et de la fertilité des milieux. Leur suivi étant souvent systématique dans les programmes de surveillance de la qualité générale des eaux. L'azote ammoniacal se rencontre dans le milieu naturel sous deux formes: l'ammoniaque (NH₃⁺) et l'ammonium (NH₄⁺), dont les proportions relatives dépendent du pH, de la température et de la salinité du milieu (Aminot et Chaussepied, 1983). L'ion ammonium, élément le plus apprécié par le phytoplancton est utilisé comme source d'azote sans fournir beaucoup d'énergie à son incorporation dans la formation de la matière organique vivante. De nombreux auteurs ont confirmé que l'ammonium est utilisé préférentiellement aux nitrates par les microphytes (Bougis, 1974 ; Héral et al., 1983 ; etc.). Les ions nitrates sont la forme oxydée de l'azote, rencontrés dans les eaux naturelles. Ils dominent dans les eaux bien oxygénées et les milieux sujets aux apports dulçaquicoles. Les nitrites sont cependant une forme transitoire passant en nitrates lorsque le milieu est riche en oxygène et se réduisent inversement en ammonium dans des conditions d'hypoxies.

Le phosphore se trouve dissous dans l'eau sous forme de phosphates (PO_4^{3-}). Habituellement, les phosphates proviennent pour une bonne part des eaux de ruissellement, qui entraînent les engrais d'origine agricoles et les sous-produits domestiques. Les sédiments sont aussi une source de largage imprévisible de phosphates. L'importance biologique du phosphore réside dans l'incorporation du radical PO_4^{3-} dans diverses molécules vitales (glycérophosphates, phosphatases, ATP, etc.). Le suivi des phosphates constitue une donnée importante pour les aménageurs de l'environnement, en tant que paramètre essentiel de la qualité des eaux. Les ions phosphates mobilisables évoluent de façon imprédictible, en raison de la forte réactivité vis-à-vis de la matière en suspension, en particulier leur adsorption par les argiles. En conséquence, la forme ionique libre dosable (PO_4^{3-}) étant également imprévisible.

3.2.1. Azote ammoniacal (N-NH_4^+)

Le profil général de la répartition des ions NH_4^+ est similaire pour l'ensemble des stations (**fig. II.7**), et les valeurs sont faibles pour un milieu lagunaire méditerranéen qualifié souvent d'eutrophe. La valeur maximale de $15,40 \mu\text{moles.l}^{-1}$ est relevée en mai à la station 1 en face du chenal de communication avec la mer. Alors que la concentration minimale de cet élément est de $0,01 \mu\text{mole.l}^{-1}$, décelée au niveau des stations 4 et 10 e, durant les mois de juillet et août et seulement dans la station 10 lors des mois de novembre et décembre. Ces deux périodes (printemps et été) d'extrêmes concentrations en ammonium correspondraient vraisemblablement ; la première à un apport exogène en relation avec les apports de ruissellements du bassin versant, induisant une augmentation de la teneur en NH_4^+ . Alors que la période de faibles teneurs, coïnciderait avec une phase de grande consommation de cette forme d'azote. A l'échelle de la lagune, les variations mensuelles de l'azote ammoniacal, montrent l'existence de deux pics (**fig. II.8**) ; le premier moins important ($5,20 \mu\text{moles.l}^{-1}$) enregistré en janvier, et le second plus conséquent ($9,91 \mu\text{moles.l}^{-1}$) relevé en mai.

3.2.2. Nitrates (NO_3^-)

Comme pour l'ammonium, les nitrates paraissent peu abondants, sauf en septembre où l'on note une richesse atteignant $2,60 \mu\text{moles.l}^{-1}$, ayant pour origine les apports continentaux. L'évolution des teneurs en NO_3^- dans la lagune (**fig. II.9**), présente une augmentation au début de l'hiver en relation avec les apports du bassin versant en eaux d'écoulements qui charrient des eaux chargées en sels nutritifs. La teneur maximale de $2,60 \mu\text{mole.l}^{-1}$ est relevée au niveau de la station 4 au centre de la lagune pendant le mois de septembre, tandis que la plus faible valeur de $0,03 \mu\text{mole.l}^{-1}$ est rencontrée à la station 10 (en face de l'oued R'kibet) en juin en pleine période sèche.

Teneurs ($\mu\text{moles.l}^{-1}$)

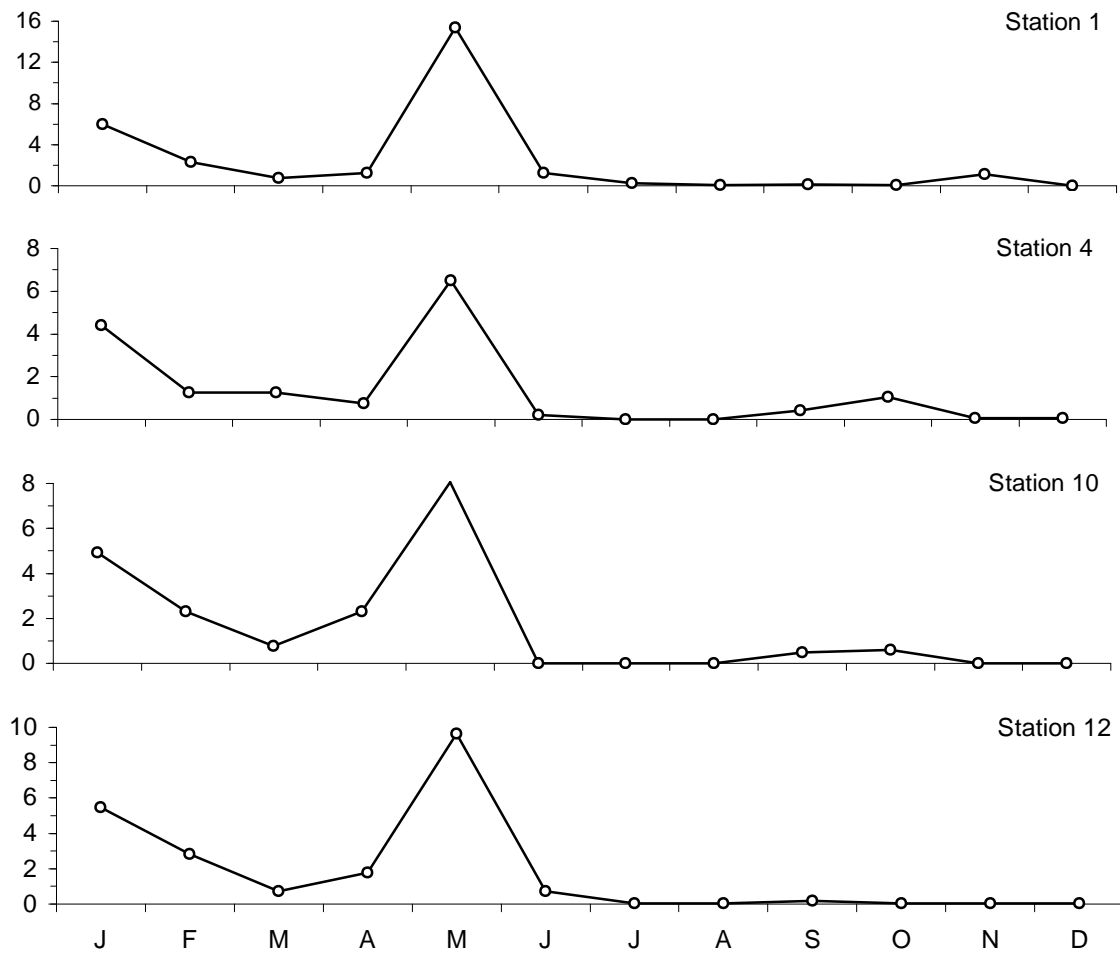


Figure II.7 : Variations mensuelles des teneurs en ammonium dans les stations échantillonnées de la lagune Mellah durant l'année 1998.

Teneurs ($\mu\text{moles.l}^{-1}$)

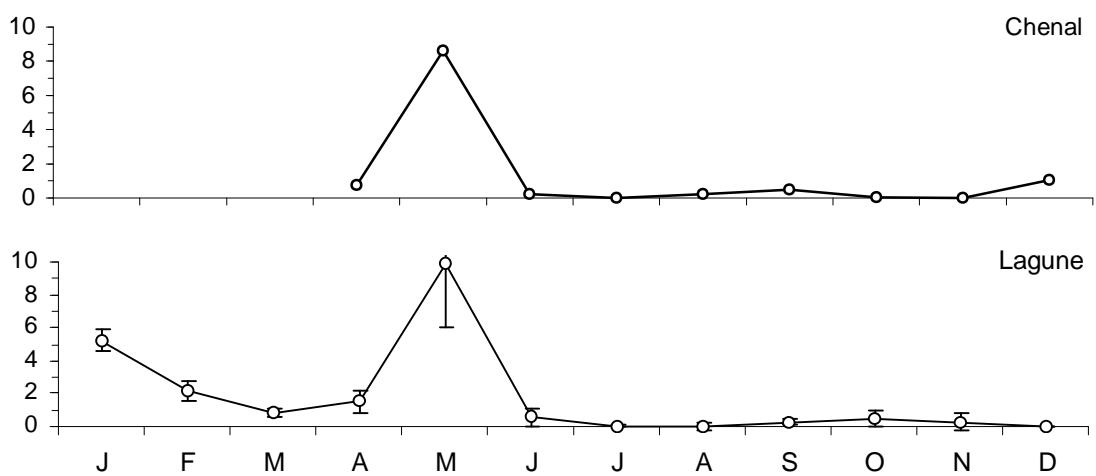


Figure II.8 : Variations mensuelles des teneurs en ammonium dans le chenal et à l'échelle de la lagune Mellah durant l'année 1998.

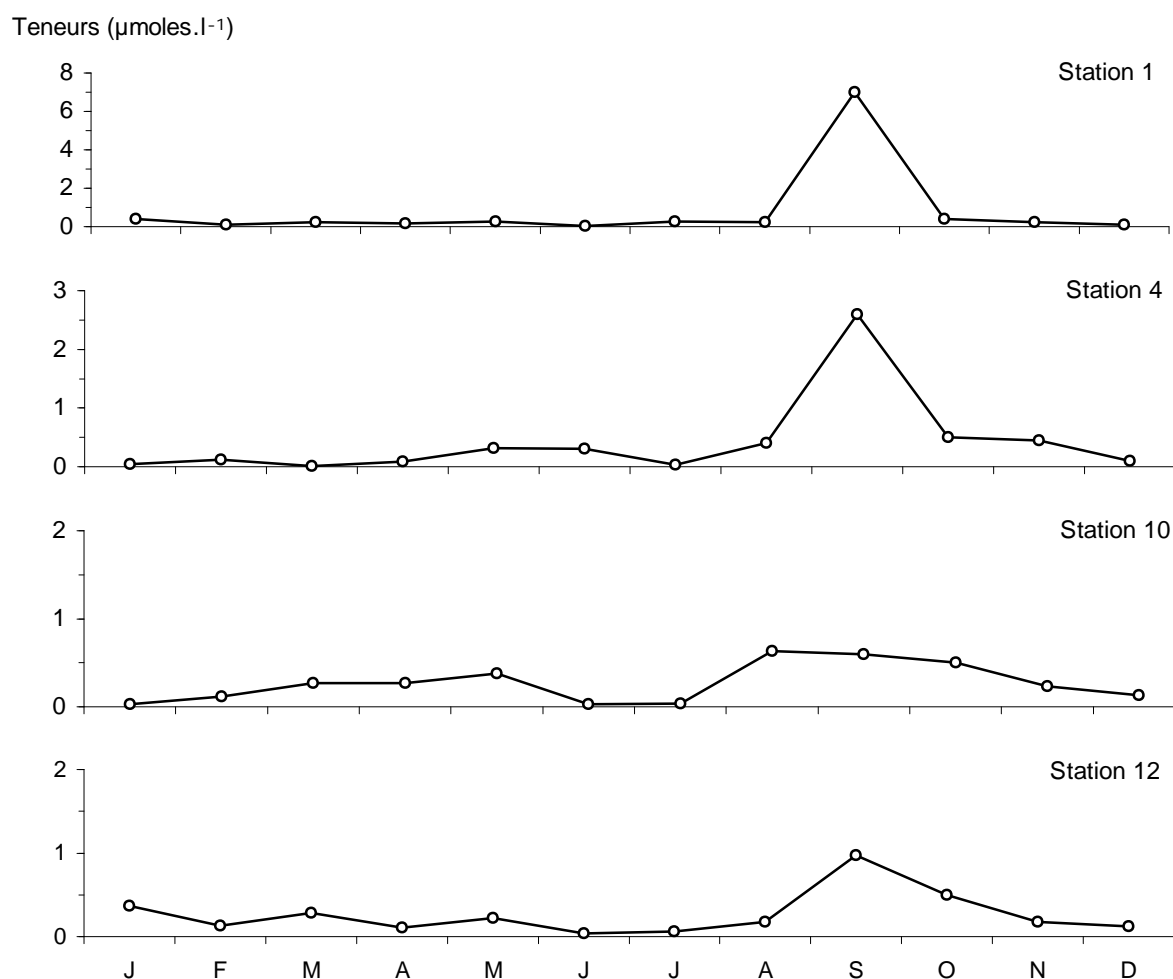


Figure II.9: Variations mensuelles des teneurs en nitrates dans les stations échantillonnées de la lagune Mellah durant l'année 1998.

A l'échelle de la lagune les nitrates sont peu abondants et varient de 0,2 à 0,4 $\mu\text{mole.l}^{-1}$. Toutefois, une augmentation notable de la teneur de ces ions (2,80 $\mu\text{mole.l}^{-1}$) est enregistrée en septembre (fig. II.10).

3.2.4. Phosphates (PO_4^{3-})

Contrairement à l'azote minéral, les phosphates (PO_4^{3-}) semblent plus abondants dans les eaux du Mellah (fig. II.11), en particulier entre l'hiver et le printemps où les valeurs oscillent autour de 1,50 $\mu\text{mole.l}^{-1}$. La lagune s'appauvrit en cet élément nutritif en été où les valeurs diminuent jusqu'à 0,02 $\mu\text{mole.l}^{-1}$. En mai des teneurs élevées sont enregistrées dans l'ensemble des stations prospectées. D'une manière générale, les variations mensuelles de la teneur en PO_4^{3-} (fig. II.12), suivent une allure assez comparable à celles de l'azote ammoniacal, mais avec des teneurs plus importantes.

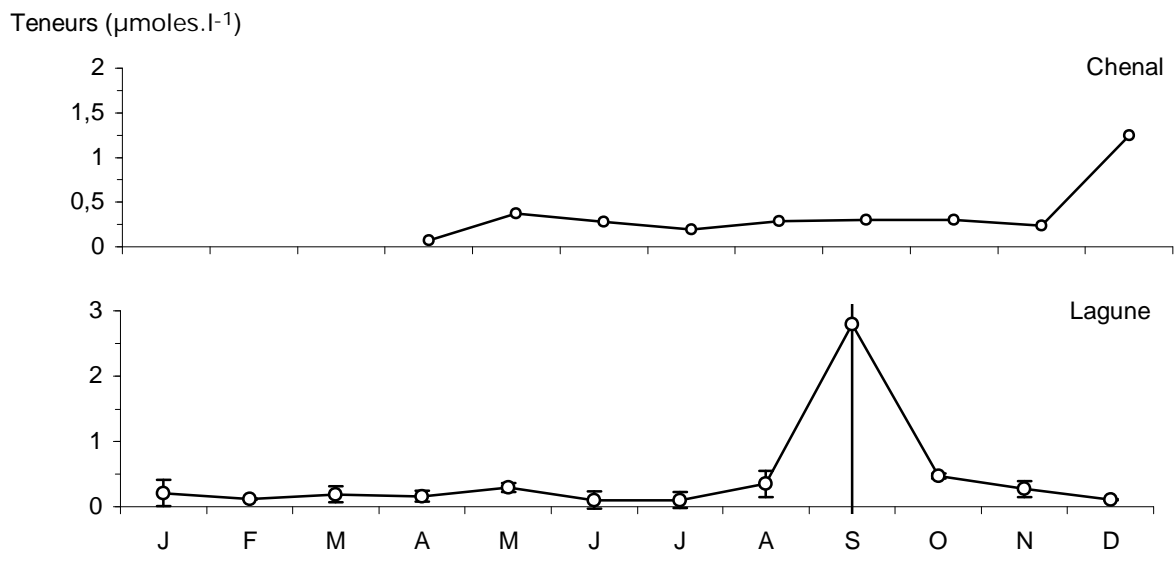


Figure II.10 : Variations mensuelles des teneurs en nitrates dans la station chenel et à l'échelle de la lagune Mellah durant l'année 1998.

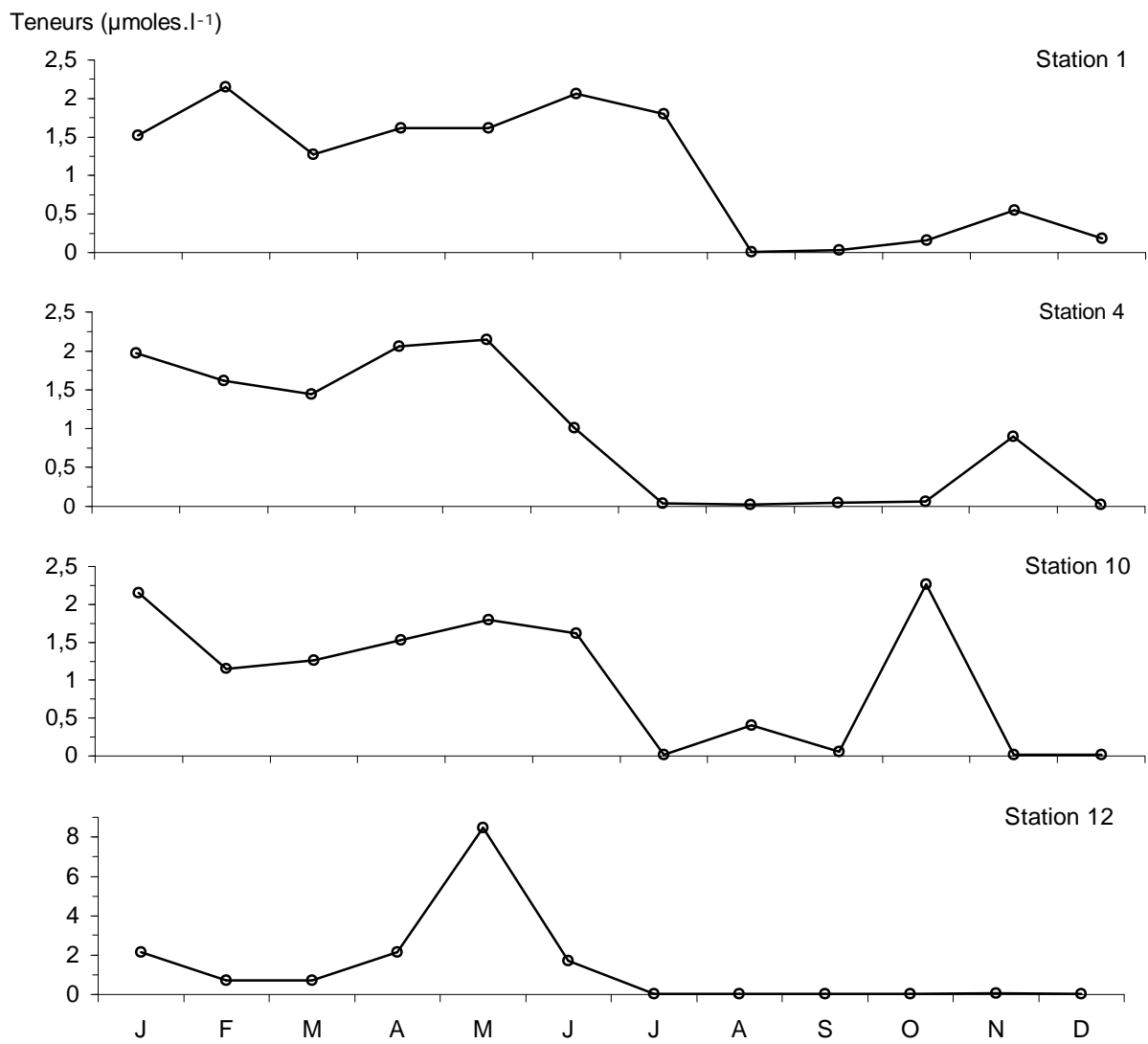


Figure II.11 : Variations mensuelles des teneurs en phosphates dans les stations échantillonnées de la lagune Mellah durant l'année 1998.

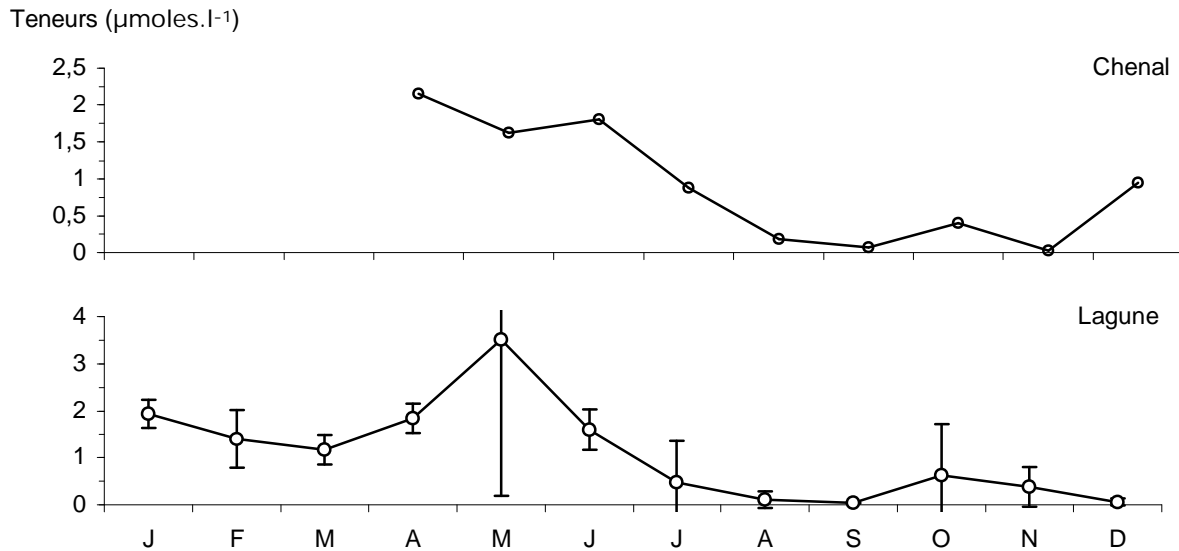


Figure II.12 : Variations mensuelles des teneurs en phosphates dans la station chenal et à l'échelle de la lagune Mellah durant l'année 1998.

3.3. Matières organiques

3.3.1. Chlorophylle *a* et phéopigments

La détermination quantitative globale de la fraction particulaire vivante dans les milieux aquatiques est très importante, pour étudier et comprendre les phénomènes écologiques des différents écosystèmes aquatiques. Le marqueur quantitatif par excellence de la biomasse phytoplanctonique est la chlorophylle *a* (Chl*a*). Une estimation des pigments photosynthétiques (chlorophylle *a* et phéopigments) s'avère nécessaire.

Les résultats du dosage de la Chl*a*, permettent de relever d'importantes variations inter-stations (**fig. II.13**). C'est ainsi qu'en février par exemple, les extrêmes sont de 1,20 µg.l⁻¹ à la station 4 au centre de la lagune et de 16 µg.l⁻¹ à la station 1 en face du chenal. Notons que le centre du Mellah, plus profond, présente des faibles biomasses par rapport au Nord (station 1) et au Sud (station 12).

La lagune montre une richesse en biomasse chlorophyllienne en particulier en hiver (février-mars) et à la fin du printemps (juin), où l'on enregistre des valeurs de l'ordre de 7-8 µg.l⁻¹ (**fig. II.14**). Globalement, la lagune recèle un stock de biomasse algale important fluctuant autour de 4 µg.l⁻¹. En mai la crue se traduit non seulement par des apports enrichissant en sels nutritifs mais également avec une diminution notable de la biomasse chlorophyllienne (**fig. II.14**).

Quant aux formes dégradées de la Chl*a* (phéopigments), elles dominent toujours et témoignent ainsi de fortes mortalités instantanées : souvent les valeurs des phéopigments sont le double de la Chl*a*. La Chl*a* active n'est que de l'ordre de 20-30%, ce qui correspond à des concentrations de l'ordre de 10-12 µg.l⁻¹ (**fig. II.13**). Les phéopigments montrent une répartition spatiale assez similaire à celle de la Chl*a*. (**fig. II.13**). Toutefois, on rencontre une différence remarquable au niveau temporelle comme on peut le constater dans la **figure II.14**.

Teneurs ($\mu\text{g.l}^{-1}$)

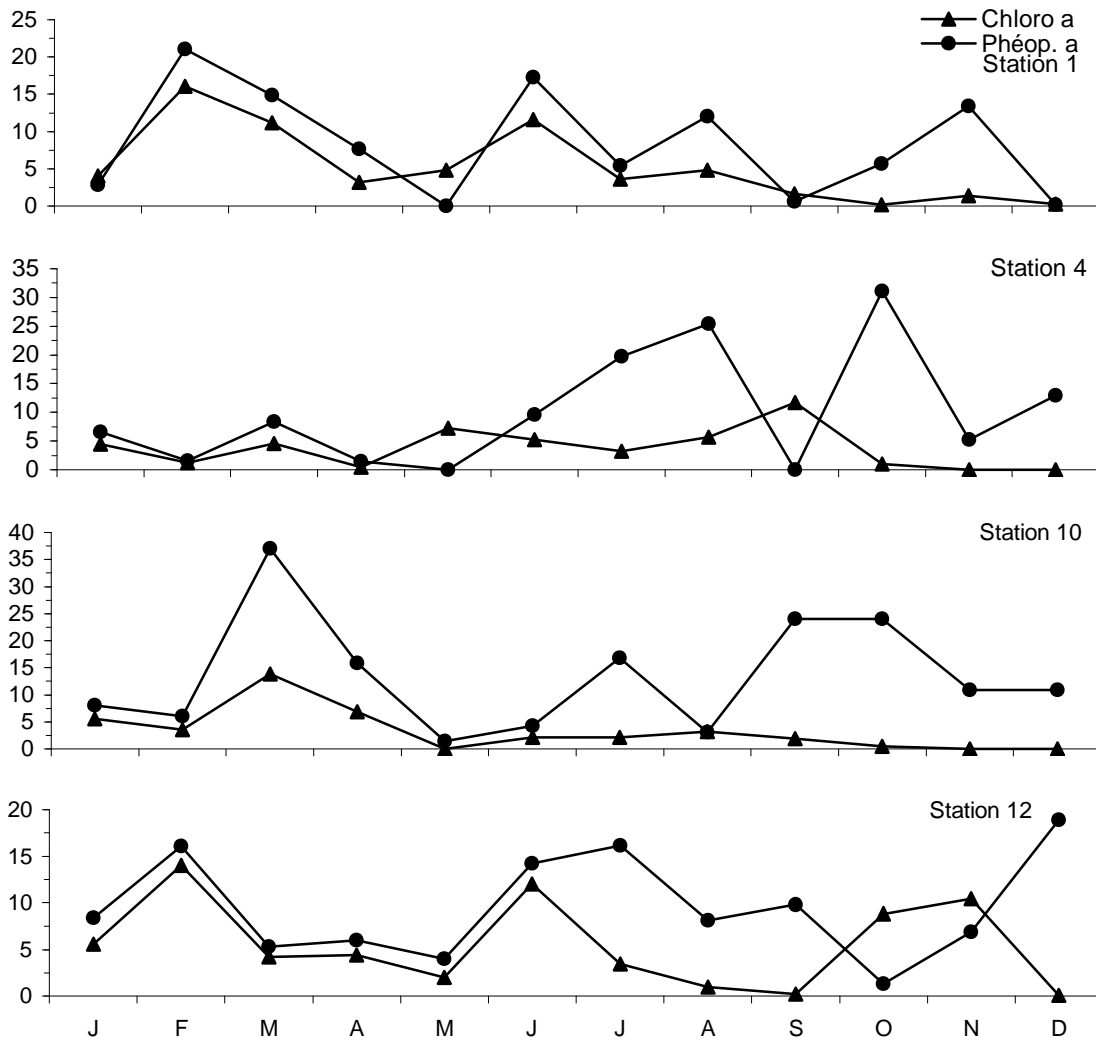


Figure II.13 : Variations mensuelles de la teneur en chlorophylle a et en phéopigments dans les stations échantillonnées de la lagune Mellah durant l'année 1998.

Teneurs ($\mu\text{g.l}^{-1}$)

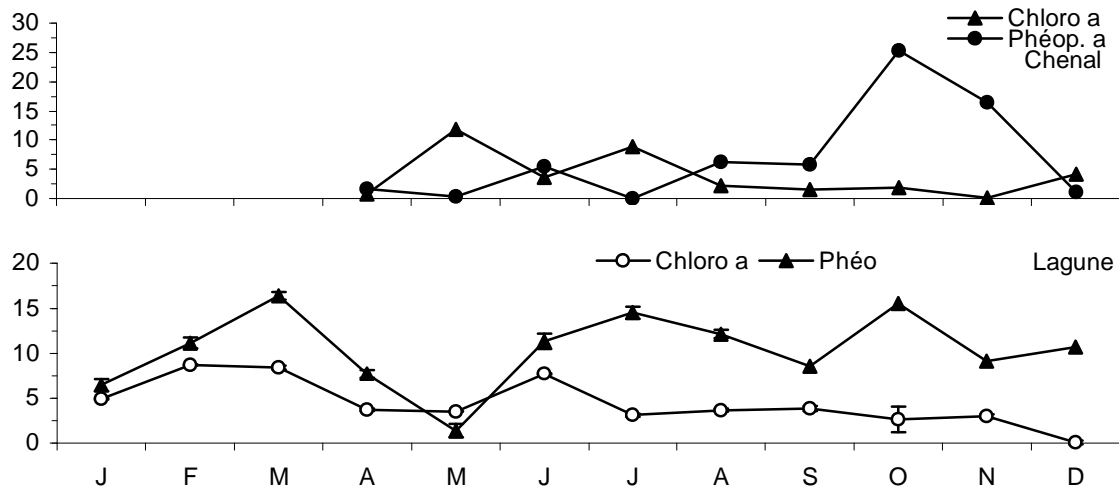


Figure II.14: Variations mensuelles de la teneur en chlorophylle a et en phéopigments a dans la station chenel et à l'échelle de la lagune Mellah durant l'année 1998.

3.3.2. Matières en suspension (M.E.S) et carbone organique particulaire (C.O.P)

Les courbes de variations de la teneur en matière en suspension (**fig. II.15**), présentent une allure assez semblable pour la majorité des stations prospectées. Les plus fortes valeurs de ce paramètre sont enregistrées en janvier dans la plupart des stations échantillonnées, en pleine période de crue. C'est ainsi que les apports pluviométriques par les ruissellements et les oueds, jouent un rôle prépondérant dans l'enrichissement en M.E.S de la colonne d'eau. Les charges maximales sont obtenues dans les stations 12 (66,50 mg.l⁻¹) et 10 (61,80 mg.l⁻¹), en période hivernale (janvier). En effet, ces deux stations se localisent en face des déversements respectifs des oueds El-Mellah et R'kibet. Il en est de même à l'échelle de la lagune (**fig. II.15**), où on enregistre une valeur maximale remarquable de 59,82 mg.l⁻¹, relevée en janvier (période de crue), contre un minimum de 4,72 mg.l⁻¹ en octobre.

Les plus fortes teneurs en carbone organiques particulières (**fig. II.15**), sont relevées en avril aux stations 1 (2 316,01 µg.l⁻¹) et 10 (2 100,38 µg.l⁻¹). A l'échelle de la lagune (**fig. II.15**), les teneurs maximales sont de 1 237 et de 918,21 µg.l⁻¹, mesurés respectivement pendant les mois d'avril et de janvier. Toutefois, la majorité des teneurs en M.E.S et en C.O.P au niveau du chenal (**fig. II.15**), restent très comparables à celles enregistrées dans la lagune.

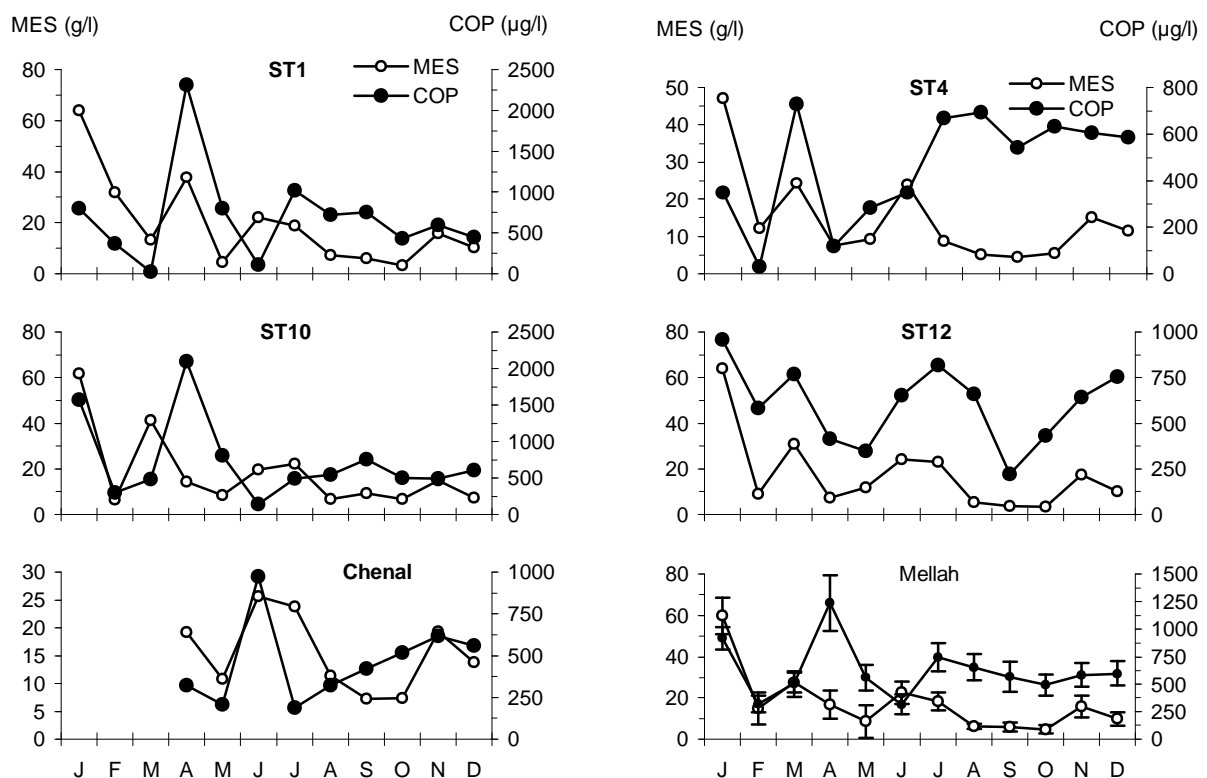


Figure II.15 : Evolution mensuelle de la teneur en matière en suspension (M.E.S) et du taux en carbone organique particulaire (C.O.P), dans les stations prospectées et à l'échelle de la lagune Mellah durant l'année 98.

4. Fonctionnement hydrologique de la lagune

Afin de mieux comprendre le fonctionnement hydrologique de la lagune Mellah, une station (C) située dans le chenal (**fig. II.1**) a fait l'objet de relevés continus de température, de salinité, de vitesse et direction du courant, à l'échelle de la demi-heure sur une période de quatre jours (22-25 août 1999). C'est ainsi que nous nous sommes intéressés au régime de marée et aux échanges hydrologiques avec le littoral adjacent en période estivale (**tab. II.4, fig. II.16**).

Tableau II.4 : Caractéristiques de la marée et des échanges advectifs hydrologiques qu'elle induit entre la lagune Mellah et son littoral adjacent lors de la période d'expériences d'été 1999. Ji : jusant 1 à 7, Fi : flot 1 à 6, Jm : valeur moyenne du jusant, Fm : valeur moyenne du flot, ? : phase de marée, T? : durée de phase, Vm (?): vitesse moyenne du courant de marée, Qp? : volume d'eau cumulé de phase, Qd? : volume d'eau douce cumulé de phase d'origine lagunaire, Sm? : salinité moyenne de phase.

?	J1	F1	J2	F2	J3	F3	J4	F4	J5	F5	J6	F6	J7	Jm	Fm
T? (heure)	7h 30	7h	5h 30	3h 30	7h	6h	6h	3h	7h	7h	5h	3h 30	7h	5h 30	5h
Vm? (cm. s ⁻¹)	15,25	20,65	13,60	9,64	15,85	18,08	13,10	5,25	14,92	19,30	9,72	8,75	15,23	13,95	13,61
Qp? (m ³)	29105	43497	22194	10935	33443	35073	23329	5103	36930	43740	14179	12630	32080	27323	25163
Qd? (m ³)	1922	162	3282	960	6390	450	5559	962	3160	360	6898	96	5130	4620	498
Sm? (P.S.U)	29,60	37,48	30	37,40	29,10	37,27	29,75	37,12	29,20	37,40	30,25	37,27	30	29,70	37,32

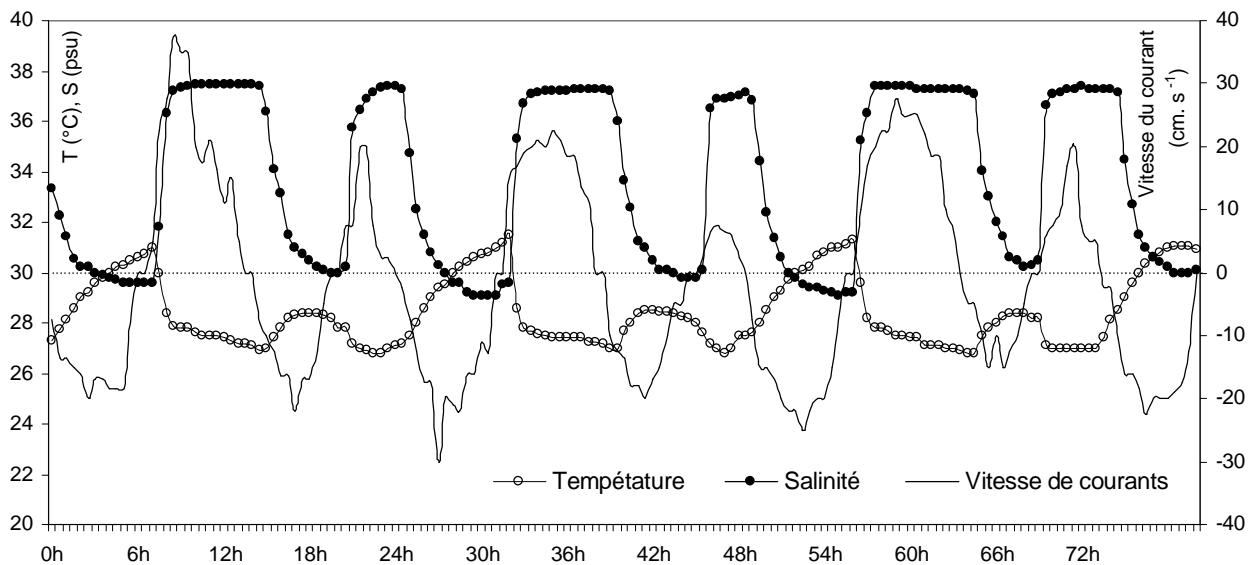


Figure II.16 : Hydrologie et régime de marée du 22 au 25 août 1999 de la lagune Mellah (valeurs négatives en jusant).

La marée montre un régime fondamentalement semi-diurne (**fig. II.16**). Cependant, l'ensemble des cycles complets (jusant-flot) successifs sont très inégaux, comportant des cycles longs de 14 heures alternant régulièrement les cycles courts de 9 heures (**tab. II.4**). Ces deux catégories de cycles longs et courts gardent sensiblement la même période. L'écoulement des courants dans les cycles courts est toujours plus faible (5,25-13,60 cm.s⁻¹) que celui des cycles longs (15-20,65

cm.s⁻¹) (**fig. II.16**). Ces mouvements rythmés d'eau, semblent être modulés par le niveau de remplissage de la lagune, et traduisent le rythme de l'équilibre hydrostatique. Quantitativement, on note que chaque forte évacuation d'eau en jusant (29 000-36 000 m³), entraîne une diminution du niveau et crée un "appel" d'eau en flot presque équivalent (35 000-43 500 m³), et inversement (**tab. II.4**). Si les débits sortants de grands jusants (demi-période de cycle long), sont légèrement inférieurs à ceux entrants de grands flots, les débits sortants de petits jusants (demi-période de cycle court) sont en revanche toujours plus élevés (14 000-23 000 m³) que ceux de petits flots (5 000-12 600 m³). L'équilibre hydrostatique pourrait se réaliser donc en deux cycles complets successifs.

On constate d'autre part, qu'une marée permet d'échanger en moyenne 52 500 m³ (**fig. II.16, tab. II.4**), soit 105 000 m³ par jour ou 3 150 000 m³ par mois. Ce renouvellement mensuel représente 13% du volume total de la lagune (24.10⁶ m³). Ces valeurs doivent être en revanche majorées de 10 à 20% correspondant à la sous-estimation des mesures de courants dues au courantomètre utilisé. Si l'on tient compte de cette majoration, le renouvellement mensuel représenterait 15% du volume total de la lagune.

La température de jour des étales des eaux de jusant reflétant celle de la lagune atteint un maximum de 31,30°C. L'amplitude thermique jours-nuit est de 3°C pour les eaux des étales de jusant, et seulement de 0,70°C pour les eaux de l'étales de flot, où la température n'a pas dépassé 27,50°C (**fig. II.16**).

La salinité de la lagune a fluctué en moyenne entre 29,10 et 30,25 PSU, et celle de la côte voisine (eau du flot) atteint 37,12-37,48 PSU (**tab. II.4**). La lagune garde ainsi une salinité bien inférieure à celle de la mer au cours de cette expérience. La salinité reste basse en raison du faible renouvellement d'une part, et d'apports d'eau douce (par les sources immergées et les apports continentaux accumulés le reste des saisons) d'autre part.

Les apports d'eau douce et le faible renouvellement des eaux de la lagune expliquent la diminution haline de la lagune (29,10 et 30,25). La salinité de la mer (eau du flot) atteint 37,48 PSU. On peut estimer la fraction d'eau douce présente en chaque moment dans la lagune, comme dans le chenal lors du jusant. Cette fraction est donnée par l'équation de [Giovanardi et Tromellini \(1992\)](#) :

$$F(\%) = 100 \cdot (S - s) / S \quad (1)$$

F : la fraction d'eau douce,

S : la salinité de l'eau de mer,

s : la salinité de l'échantillon ou de l'eau du jusant.

Le **tableau II.4**, montre l'évolution des échanges en eau douce (volumes cumulés de phases : Q_d). On y constate que l'eau du jusant exporte entre 1 920 et 6 900 m³, alors que le volume qui retourne à la lagune en flot varie entre 96 et 960 m³

seulement. La lagune exporte ainsi quotidiennement 8 200 m³ d'eau douce à la mer ou 252 000 m³ par mois, ce qui représente 1% du volume total du Mellah. D'autre part, si la salinité du Mellah est maintenue constante autour de 29 PSU, on peut déduire de l'équation (1), que cet écosystème recèle un volume d'eau douce de 5,44.10⁶ m³ (soit une fraction de 22,67%). En outre, l'évaporation au mois d'août estimée à 3 mm par jour, implique par conséquent une perte des eaux du Mellah estimée à environ 788 400 m³ (ou 3,30%) par mois. Malgré cette forte évaporation à laquelle il faut ajouter le volume d'eau douce exporté à la mer, la lagune se comporte comme un bassin de dilution grâce aux apports instantanés de la nappe souterraine, aux apports continentaux antérieurs et au faible renouvellement.

L'étude hydrologique réalisée en été 1999, a montré que la lagune est soumise à une marée semi-diurne qui s'affirme en été (**fig. II.16**). Les données de [Ounissi et al. \(2002\)](#), fournissent un complément de résultats sur le fonctionnement hydrologique traitant le reste de l'année (**tab. II.5**).

Comme le montre le **tableau II.5**, ce régime est cependant, masqué en hiver et en automne sous l'effet des exportations d'eaux excédentaires limitant l'entrée des eaux de pleine mer (**tab. II.5**). Le temps de renouvellement du Mellah n'est ainsi que de l'ordre de 7 à 10 mois et, est plutôt assuré par les apports d'eau douce que par l'apport marin. La salinité diminue ainsi annuellement d'environ une unité, ce qui rend le Mellah un bassin de dilution, contrairement à des sites méditerranéens comparables.

Tableau II.5 : Caractéristiques saisonnières des échanges hydrologiques tidaux entre la lagune Mellah et le littoral adjacent. Les données de chaque période ont été relevées à l'échelle de la demi-heure à la station-chenal. T_j : durée de l'écoulement lagune-mer ou jusant ; T_f : durée de l'écoulement mer-lagune ou flot ; V_m_j : vitesse moyenne du jusant ; V_m_f : vitesse moyenne du flot ; Q_p_f : volume entrant ; Q_p_j : volume sortant ; B : bilan = (Q_p_j - Q_p_f) ; R_j : échange journalier = (Q_p_j + Q_p_f). S_j : salinité de franc jusant ; S_f : salinité de franc flot. (*) : données d'après [Ounissi et al.,\(2002\)](#).

	T _j (Heure)	T _f (Heure)	S _j (P.S.U)	S _f (P.S.U)	V _m _j (cm s ⁻¹)	V _m _f (cm.s ⁻¹)	Q _p _f (m ³)	Q _p _j (m ³)	Bilan (m ³)	R _j (m ³)
2-3.10.96*	18h 30	5h 30	-	-	16,60	12	15 024	65 586	+ 50 562	80 610
2-3.11.96*	18h	6h	33,35	37,60	16,90	11,92	17 052	70 773	+ 53 721	87 825
18-19.5.97*	10h, 7h	4h, 3h	33,35	37,35	12,26	11,50	14 846	42 749	+ 27 903	57 795
22-25.8. 99	6h 30, 4h 30	6h, 4h	29,70	37,32	13,95	13,61	25 163	27 323	+ 2 160	104 972

Le **tableau II.5** présente les valeurs moyennes de vitesses de courants, des débits des phases, des volumes d'eaux échangés entre la lagune et la côte adjacente de quatre cycles circadiens et les températures, les salinités et les vitesses de courants de phase. Il semble que, l'étroitesse du chenal n'assure qu'un faible débit (0,52 et 1,22 m³.s⁻¹), variant avec le niveau de remplissage de la lagune. L'échange journalier, (évaluation sur la base de suivi à l'échelle de la demi-heure, de 3 cycles circadiens), fluctue entre 57 800 et 87 800 m³, selon les saisons.

L'extrusion d'eau lagunaire du 2-3 novembre a duré 18 h tandis que le flot n'a duré que 6 h, et l'écoulement des sorties d'eaux est plus fort (10 à 27,5 cm.s⁻¹) que celui

du flot (10 à 15 cm.s⁻¹) (**tab. II.5**). En effet, durant le suivi de 1998, la salinité maximale de la lagune n'a pas dépassé 32,50 PSU (station 4 en août) inférieures à celles de la mer même à la fin de la saison estivale.

La marée de mai montre, contrairement au cycle de novembre, deux périodes de pleine mer et deux périodes de basse mer de durées variables (**tab. II.5**), ce qui correspond à un régime fondamentalement semi-diurne. On constate, par ailleurs, que la somme des précipitations en mai n'a pas dépassé 0,30 mm, alors que la somme de l'évaporation s'élève jusqu'à 63,60 mm (données non présentées), ce qui laisse supposer une baisse du niveau du Mellah, permettant ainsi de plus fortes intrusions marines. La période du jusant s'allonge avec les apports continentaux, les apports de la nappe et les précipitations directes. En effet, lors des fortes précipitations de l'automne et de l'hiver, la lagune se remplit ce qui ne permet pas l'intrusion marine. Le courant de sortie peut couler ainsi plusieurs jours vers la mer.

5. Discussion et conclusions

La température est un facteur écologique qui conditionne la répartition des organismes aquatiques. En effet, elle revêt une importance capitale directement dans l'activité métabolique des organismes, ou indirectement en modifiant les facteurs écologiques du milieu et par conséquent leur répartition biogéographique. La similarité des fluctuations thermiques enregistrées au niveau de l'ensemble des stations prospectées de la lagune a été signalée par [Grimes \(1994\)](#) et [Refes \(1994\)](#) dans ce même milieu. De telles constatations sont également observées dans d'autres lagunes et étangs méditerranéens, comme c'est le cas de la lagune de Venise ([Solidoro et al., 2004](#)), de la lagune d'Orbetello ([Nuccio et al., 2003](#) et [Lenzi et al., 2003](#)), de l'étang de Thau ([Laugier et al., 1999](#) et [Plus et al., 2001](#)), de la lagune de Di Sacca Goro ([Mistri et al., 2001](#)) et de l'étang de Salses-Leucate ([Boutière et al., 1981](#)). La faible différence de température entre les eaux superficielles et celles du fond, dénote la grande homogénéité thermique des eaux de la lagune, notamment lorsqu'il s'agit d'un écosystème peu profond comme c'est le cas du Mellah ([Guelorget et al., 1989](#) ; [Draredja, 1992](#)). Ceci est typique à plusieurs autres lagunes et étangs méditerranéens peu profonds, comme l'étang de Citis en France ([Baudin, 1980](#)), la lagune d'Orbetello (Italie) et la mer Tyrrhénienne ([Lenzi et al., 2003](#)). Les variations de température font parfois apparaître une inversion thermique de l'ordre de 0,5°C, d'où la superposition des eaux chaudes profondes et froides de surface. Ce phénomène est observé seulement pendant la saison froide (novembre, janvier et mars), dans les stations dont la profondeur dépasse 1,50 m. Selon [Guelorget et al. \(1989\)](#) ce phénomène peut inclure aussi les mois de décembre et février, ceci est valable également pour l'estuaire de la Loire en France ([Rince et al. \(1985\)](#)).

La faible inertie thermique des eaux de la lagune est en relation directe avec la bathymétrie. Par conséquent, les eaux de la lagune sont très sensibles aux

variations extérieures du degré thermique en raison de la faible profondeur de la colonne d'eau. Cette situation est propre à plusieurs milieux lagunaires méditerranéens (Boutière *et al.*, 1981; Semroud, 1983; Arfi, 1991).

Dans le Mellah comme dans la majorité des lagunes et étangs méditerranéens, les écarts thermiques annuels sont de l'ordre de 20°C (tab. II.6).

Non seulement ces écarts influent sur la biologie lagunaire, et exercent une forme de sélection des espèces. En effet, en raison de la forte amplitude thermique, certaines populations hivernales notamment chez les peuplements phytoplanctoniques disparaissent souvent en été (Nuccio *et al.*, 2003; Bianchi *et al.*, 2003; Bernardi Aubry et Acri, 2004) et zooplanctoniques (Gaudy *et al.*, 1995; Haridi, 1999; Lam-Hoai et Rougier, 2001). Des mortalités massives de bivalves d'élevage peuvent aussi survenir à la suite d'un réchauffement exagéré d'été (lagune Mellah, observation personnelle fin août 1999).

Tableau II.6 : Comparaison de la variabilité thermique dans différents écosystèmes lagunaires méditerranéens.

Lagunes et étangs	Valeurs extrêmes thermiques (°C)	Amplitude thermique (°C)	Références
Monastir (Tunisie)	10-30	20	Vincke (1982)
Ghar El-Melh (Tunisie)	9,70-27,40	17,70	Romdane & Chakroun (1986)
Venise (Italie)	2,2-28,7	26,50	Bianchi <i>et al.</i> (2004)
Venise	4-26	22	Solidoro <i>et al.</i> (2004)
Orbetello (Italie)	6-28	22	Lenzi <i>et al.</i> (2003)
Di Sacca Goro (Italie)	5,70-28,50	22,80	Mistri <i>et al.</i> (2001)
Thau (France)	3,20-26,50	23,3	De Casabianca <i>et al.</i> (1997)
Thau	3,20-27,10	23,90	Laugier <i>et al.</i> (1999)
Thau	5-29	24	Plus <i>et al.</i> (2003)
Mellah (Algérie)	13-26	13	Gimazane (1982)
Mellah	12,30-26,20	13,90	Semroud (1983); De Casabianca <i>et al.</i> (1991)
Mellah	10-30,20	20,20	Présente étude

Contrairement aux études antérieures (Semroud, 1983; De Casabianca *et al.*, 1991), les eaux du Mellah ne semblent pas présenter de stratifications quelque soit la saison, en raison d'un fort mixing dû à la marée d'une part, et aux vents dominants du secteur Nord-Ouest d'autre part. Cette situation est également signalée dans d'autres lagunes et étangs méditerranéens, tels que Salses-Leucate (Boutière, 1981) et Berre (Kim, 1988).

La salinité conditionne la répartition et la dynamique des espèces. Les variations halines dans le Mellah, sont sous l'influence directe des échanges avec la mer et les apports d'eaux douces. L'homogénéité verticale de la salinité (ormis la station centrale), témoigne encore du fort brassage de la colonne d'eau, qui n'est stable qu'instantanément lors des étales des courants de marée. Les faibles

différences spatiales de salinité sont dues simplement à l'effet de l'âge (histoire) de la marée. La gamme de variations halines dans le Mellah diffère de celle relevée dans la majorité des lagunes et étangs méditerranéens (**tab. II.7**). En effet, l'intervalle de variations de la salinité dans la lagune Mellah est plus large par rapport à celui relevé dans la lagune de Venise (Solidoro *et al.*, 2004). Par contre, il est inférieur à celui de la lagune Di Sacca Goro (Mistri *et al.*, 2001). Dans l'étang de Thau les eaux sont plus salées (Laugier *et al.*, 1999). Alors que dans l'étang de Berre les eaux sont beaucoup moins salées par rapport à celles du Mellah (Kim, 1988), de même pour les eaux de l'étang de Citis (Baudin, 1980).

Tableau II.7: Comparaison de la variabilité haline dans différents écosystèmes lagunaires méditerranéens.

Lagunes et étangs	Valeurs extrêmes halines (PSU)	Amplitude haline (PSU)	Références
Venise (Italie)	27-32	5	Solidoro <i>et al.</i> , (2004)
Di Sacca Goro (Italie)	17-36	19	Mistri <i>et al.</i> , (2001)
Thau (France)	30,70-43	12,30	Laugier <i>et al.</i> , (1999)
Berre (France)	4,32-11,32	7	Kim (1988)
Citis (France)	5-16	11	Bqudin (1980)
Mellah (Algérie)	24-32	8	Semroud (1983) ; De Casabianca <i>et al.</i> (1991)
Mellah	18,73-33,25	14,52	Refes (1994) ; Grimes (1994)
Mellah	23,50-34,65	11,15	Présente étude

Les variations des teneurs en oxygène dissous dans les milieux aquatiques en général et dans les écosystèmes lagunaires plus particulièrement, sont souvent difficiles à interpréter, car elles sont le reflet d'une part de la balance entre les processus antagonistes de la photosynthèse et de la respiration, et d'autre part des échanges avec la mer et l'atmosphère. En effet, selon Sacchi et Testard (1971), la teneur en oxygène dissous dans ces milieux est le résultat :

- * d'une dissolution directe de l'oxygène atmosphérique,
- * de la photosynthèse des végétaux,
- * de l'arrivée d'eau de mer saturée en oxygène,
- * de la consommation respiratoire de la faune et de la flore et
- * des dégradations de matières organiques qui se traduisent par une demande biologique et chimique en oxygène.

Dans l'ensemble, les eaux du Mellah sont bien oxygénées (autour de 6,50 mg.l⁻¹). Toutefois, les faibles teneurs sont enregistrées au niveau de la station 4 la plus profonde et principalement en saison estivale. Cet état serait en relation avec la nature du sédiment et sa richesse en matières organiques en décomposition (Draredja, 1992 ; Draredja et Beldi, 1999), qui pourrait conduire à une forte consommation d'oxygène dissous par les bactéries benthiques. Par contre, la valeur

la plus élevée est de 8 mg.l⁻¹ enregistrée à la station 9 (en octobre), située à proximité de l'embouchure de l'oued Bélaroug, s'expliquerait par l'enrichissement en oxygène provenant des eaux continentales d'une part, et par l'action hydrodynamique d'autre part, engendrée par la faible profondeur de cette zone (environ 1 m). Les fluctuations saisonnières (4,50-8 mg.l⁻¹) dans les eaux de la lagune, seraient liées essentiellement aux conditions climatiques, notamment en saison chaude et l'effet du réchauffement sur la dissolution de l'oxygène dans les eaux de la lagune.

Des valeurs moyennes comparables à nos résultats ont été déjà signalées par [Draredja \(1992\)](#) et [Samson-Kechacha \(comm. pers.\)](#), signalant des taux d'environ 7 mg.l⁻¹ dans la partie Nord de l'étendue sous l'influence marine, alors que le centre est le moins oxygéné avec 4 mg.l⁻¹ seulement. Toutefois, [Samson-Kechacha et Gaumer \(1979\)](#) et [Semroud \(1983\)](#), situent la zone la mieux oxygénée au centre de la lagune dans les eaux de surface, coïncidant probablement avec une période froide de fortes agitations.

Dans d'autres écosystèmes lagunaires méditerranéens, les variations de la teneur en oxygène dissous sont plus importantes par rapport à celles de la lagune Mellah. En effet, [Laugier et al. \(1999\)](#) décèlent dans les eaux de l'étang de Thau des fluctuations variant entre 3,10 et 16 mg.l⁻¹, où les variations sont directement liées aux conditions climatiques locales ainsi qu'aux activités biologiques dans l'étang. De même, les eaux de la lagune de Di Sacca Goro ([Mistri et al., 2001](#)), montrent des teneurs variant de 1,70 à 14,50 mg.l⁻¹. Par contre, d'autres lagunes et étangs, sont plutôt caractérisés par de basses teneurs en oxygène dissous comparées à la lagune Mellah. C'est le cas de l'étang de Citis où les eaux sont caractérisées par un faible taux en oxygène dissous, indiquant ainsi une sous-saturation du milieu (en moyenne 70%), plus marquée encore au niveau de la couche profonde ([Baudin, 1980](#)). Des situations exceptionnelles d'hypoxie peuvent être également rencontrées, comme c'est le cas dans l'étang de Thau qui connaît parfois des épuisements estivaux en oxygène, où les teneurs peuvent baisser jusqu'à 1,10 mg.l⁻¹, seulement ([De Casabianca et al., 1997](#)).

Sur le plan de la turbidité, on considère que les eaux de la lagune sont peu turbides, puisque la transparence des eaux est toujours supérieure à 60%. Les plus faibles visibilités de disque de Secchi sont observées en août-septembre, en relation avec la charge planctonique des eaux. Il faut souligner le caractère instantané des valeurs de turbidité des eaux, qui varie au gré de la turbulence et de la charge de la masse d'eau transportée par le courant de marée. La visibilité diminue également en hiver lors des crues et des apports continentaux.

Dans la lagune de Venise, la transparence des eaux sous l'influence de l'action hydrodynamique peut remarquablement chuter à 0,5 m ([Bianchi et al., 2004](#)). D'autres facteurs comme l'abondance phytoplanctonique notamment les espèces

ayant une taille moyenne allant de 12 à 45 μm , peuvent influencer significativement sur la turbidité des eaux (Aleya et Devaux, 1988).

Concernant la fertilité chimique, contrairement à la majorité des lagunes méditerranéennes, le Mellah paraît le moins enrichi en sels nutritifs (tab. II.8). Aussi le problème d'eutrophisation ne se pose pas pour la lagune. Il est vrai que pour le phosphore réactif dissous, les valeurs sont presque toujours inférieures 0,50 $\mu\text{mole.l}^{-1}$ tout au long de la saison productive, est bien vivifié par les intrusions marines. Le milieu s'enrichit relativement (0,50-3,50 $\mu\text{moles.l}^{-1}$) lorsque la période d'écoulement s'allonge à la suite des apports hydriques continentaux. La relation inverse salinité-phosphates ($r = -0,61$, $n = 12$), souligne l'importance des facteurs externes (climatiques et tidales) dans l'évolution de la fertilité du milieu.

Tableau II.8 : Variabilités en sels nutritifs dans la lagune Mellah et dans d'autres écosystèmes lagunaires méditerranéens.

Lagunes et étangs	NID ($\mu\text{moles.l}^{-1}$)	PRD ($\mu\text{moles.l}^{-1}$)	Références
Venise (Italie)	2-41,50	0,30-2,90	Sfriso <i>et al.</i> (1989)
Venise	19,70-62,40	0,20-1,60	Bianchi <i>et al.</i> (2003)
Venise	8-32	0,20-0,40	Bianchi <i>et al.</i> (2004)
Venise	1,40-41,90	0,10-0,40	Bernadi-Aubry et Acri (2004)
Orbetello (Italie)	12-85,10	0,10-0,90	Lenzi <i>et al.</i> (2003)
Urbino (Italie)	0-20	0-1,45	De Casabianca <i>et al.</i> (1982)
Sacca di Goro (Italie)	7,10-37,10	3,20-21,40	Viaroli <i>et al.</i> (1993)
Biguglia (France)	0-36	0-4,13	De Casabianca <i>et al.</i> (1982)
Prévoist (France)	0,99-16,98	2,10-13,20	De Casabianca <i>et al.</i> (1983)
Thau (France)	20,70- 136,10	0,10-20,90	De Casabianca <i>et al.</i> (1997)
Mellah (Algérie)	3,10-5,20	1-5	Semroud (1983) ; De Casabianca <i>et al.</i> (1990)
Mellah	0,20-10	0,50-3,50	Présente étude

De même, l'azote est peu abondant (0,20 à 10 $\mu\text{moles.l}^{-1}$), comme on peut le constater dans le **tableau II.8**. En hiver et au printemps, la lagune exporte l'azote ammoniacal et semble importer l'azote oxydé en été et en automne avec les eaux marines qui s'intensifient en cette époque de l'année, mais les concentrations restent très inférieures aux valeurs lagunaires (Lenzi, 1992 ; Cloern, 2001 ; Dell'Anno *et al.*, 2002 ; Bernadi-Aubry et Acri, 2004 ; Bernadi-Aubry *et al.*, 2004) et littorales (Fréhi, 1995 ; Ounissi *et al.*, 1998 ; Khélifi-Touhami, 1998 ; Ounissi et Khélifi-Touhami M., 1999). Or, l'eutrophisation des lagunes méditerranéennes est un constat généralisé (Zaouali, 1977 ; De Casabianca, 1983 ; Comin, 1984 ; Sfriso *et al.*, 1988 ; Viaroli *et al.*, 1993 ; Lunden et Linden, 1993 ; De Casabianca *et al.*, 1994), comme le souligne De Casabianca *et al.* (1997) «*Currently, Mediterranean coastal lagoons are not spared the eutrophication processes which generally result fro increasing anthropogenic pressures such as urban; agricultural and industrial*

sewages. This situation is usually characterized by an increased level of nutrients (NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-}) and suspended particulate matter in the water column; by nitrogen and phosphorus enrichment of sediments; by dissolved oxygen depletion which can lead to anoxic crisis in summer and the frequent occurrence of macroalgal blooms ... ».

Les conditions chimiques du Mellah, se traduisent par une production primaire modérée par rapport aux milieux lagunaires comparables (**tab. II.9**). La biomasse moyenne n'est que de l'ordre $4 \mu g.l^{-1}$. Ainsi en hiver et au printemps (janvier-juin) la biomasse est maximale ($6 \mu g.l^{-1}$), à la suite des apports continentaux, et diminue en été et en automne (juillet-décembre) ($2,80 \mu g.l^{-1}$), lors de l'intensification des entrées marines pauvres, particulièrement en saison estivale. Si la majorité des lagunes méditerranéennes souffrent de problèmes d'eutrophisation, la lagune Mellah tombe même dans l'oligotrophie en considération de l'épuisement du phosphore et de l'ammonium en été et en automne. La lagune fonctionnant ainsi, et par son appartenance au parc national d'El-Kala, est bien épargnée des apports anthropiques conséquents induisant une surcharge nutritive additive. Il s'agit ici d'une singularité remarquable du Mellah parmi les autres lagunes péri-méditerranéennes.

Tableau II.9: Variabilités de la biomasse chlorophyllienne dans la lagune Mellah et dans d'autres écosystèmes lagunaires méditerranéens.

Lagunes et étangs	Chlorophylle a ($\mu g.l^{-1}$)	Références
Venise (Italie)	8-32	Bianchi et al. (2004)
Venise	0-32	Solidoro et al., (2004)
Venise	0,70-36,70	Bernadi Aubry et Aciri (2004)
Orbetello (Italie)	0,50-66	Nuccio et al. (2003)
Thau (France)	0,01-14,04	De Casabianca et al. (1997)
Salses-Leucate (France)	3-30	Boutière et al. (1981)
Gialova (Grèce)	0,10-11,70	Triantafyllou et al. (2000)
Mellah (Algérie)	1-3	Semroud (1983)
Mellah	1-12	De Casabianca et al. (1991)
Mellah	0,10-8,72	Présente étude

Les plus fortes charges en M.E.S et en C.O.P, sont enregistrées en hiver et au début du printemps, avec des teneurs maximales respectives de $66,50 mg.l^{-1}$ et $2\ 316,01 \mu g.l^{-1}$. Cette période, correspond à la dominance du jusant évacuant les excédants hydriques (et leurs charges en matières organiques et minérales) du bassin versant.

Selon [Bianchi et al. \(2004\)](#), il existe une relation de proportionnalité entre le C.O.P et la teneur en chlorophylle. En effet, le C.O.P est un mélange entre la fraction planctonique et les détritiques biologiques remis en suspension.

Par ailleurs, la majorité des teneurs en M.E.S et en C.O.P au niveau du chenal, restent très comparables par rapport à celles enregistrées dans la lagune. Ceci est probablement lié aux moments des relevés coïncidant vraisemblablement avec des phases d'étalement. D'une manière générale, on remarque également un certain parallélisme dans les variations de la teneur en seston et celles du C.O.P, notamment pendant les périodes des floraisons phytoplanctoniques. Selon [Bianchi et al. \(2004\)](#), généralement les teneurs du C.O.P et celles de la chlorophylle ont des tendances semblables, et le rapport C.O.P/Chl_a est souvent supérieur à 130, d'où la grande contribution des débris biogéniques. Ces mêmes auteurs rapportent dans la lagune de Venise, des teneurs en M.E.S allant jusqu'à 135,60 mg.l⁻¹, avec une concentration en C.O.P de 1040 µg.l⁻¹ pour un quotient C.O.P/Chl_a supérieur à 300, montrant ainsi la contribution des cellules mortes et des débris organiques dans la composition de la matière sestonique.

Les quantités du C.O.P obtenues traduisent une richesse modérée de la lagune Mellah. Il est vrai que la valeur moyenne n'est que de l'ordre de 600 µg.l⁻¹, et exprime une concordance avec la biomasse chlorophyllienne (COP/Chl_a = 100). Ce fort rapport ne suppose pas des poussées, mais plutôt un ajout du carbone d'origine zooplanctonique. Le rapport COP/Chl_a est en effet au maximum 70 lors de période de floraison ([Chardy, 1987](#)).

En définitif, sur le plan hydrologique on retient les caractères marquants suivants :

- A l'opposé de la quasi-totalité des lagunes méditerranéennes en tant que bassins de concentration, la lagune Mellah est un bassin de dilution. Cette situation est le résultat d'un double processus ; un approvisionnement en eaux douces provenant de diverses sources (écoulement, nappe, précipitations directes), et aussi du fait d'un faible enrichissement en eaux marines, par suite du colmatage graduel du chenal limitant les entrées marines. Par conséquent, on estime une diminution annuelle de la salinité des eaux lagunaires d'environ 1 unité.

- Si la majorité des lagunes méditerranéennes connaissent des problèmes d'eutrophisation estivale, le Mellah est bien épargné de ce type de crise, en raison de l'absence d'activités anthropogéniques dans la région induisant un enrichissement supplémentaire des eaux en nutriments.

- D'un point de vue fonctionnement hydrologique, la lagune est soumise à une marée semi-diurne qui s'affirme en été. Ce régime est cependant masqué en hiver et en automne sous l'effet des refoulements d'eaux excédentaires limitant l'entrée des eaux de la pleine mer.

CHAPITRE II : PHYTOPLANCTON

1. Introduction

En faisant une synthèse sur la taxonomie du phytoplancton méditerranéen [Margalef \(1994\)](#) fait deux remarques : (i) la Méditerranée peut être assimilée à une forêt amazonienne microscopique pour son exceptionnelle richesse spécifique, (ii) la taxinomie du phytoplancton est presque abandonnée au profit d'études expérimentales. En Algérie, les travaux sur le phytoplancton sont très limités et souvent ponctuels ([Samson-Kechacha et Gaumer, 1979](#) ; [Samson-Kechacha, 1981](#) ; [Illoul, 1987](#) ; [Fréhi, 1995](#) ; [Retima, 1999](#) ; [Ounissi et Frehi, 1999](#) ; [Ounissi et al., sous presse b](#)), De nos jours, très peu de travaux ont été consacrés au phytoplancton du Mellah ([Samson-Kechacha et Gaumer, 1979](#) ; [Guelorget et al., 1989](#) ; [Samson-Kechacha et Touahria, 1992](#) ; [Retima, 1999](#) ; [Ounissi et al., sous presse b](#)). Dans cet ordre d'idées, le littoral de l'Est algérien dont la lagune Mellah, reste presque inexplorée à l'exception de quelques travaux suscités, limités dans le temps.

Il n'est plus à démontrer que le phytoplancton constitue l'élément clé d'indication hydrologique, biologique et halieutique. L'eutrophisation à phytoplancton étant la plus étudiée en milieux littoraux ([Blanc et Leveau, 1973](#) ; [Estrada et al., 1984](#) ; [Estrada et al., 1987](#) ; [Menesguen, 1991](#) ; [Margalef, 1994](#) ; [Fréhi, 1995](#) ; [Mozetic et al., 1998](#) ; [Ounissi et Fréhi, 1999](#) ; [Socal et al., 2002](#) ; etc.), et lagunaires ([Amanieu et al., 1975](#) ; [Kim, 1983](#) ; [De Casabianca et al., 1994](#) ; [Vaquer, 1994](#) ; [Tolomio et Lenzi, 1996](#) ; [Bianchi et al., 2003](#) ; [Nuccio et al., 2003](#) ; etc.).

L'eutrophisation s'exprime non seulement par les efflorescences phytoplanctoniques (phénomènes naturels qui participent aux transferts d'énergie et de matière dans les écosystèmes marins), mais aussi par l'apparition d'espèces toxiques, et par des anoxies fragilisant les espèces en particulier et altérant la qualité du milieu. Bien que l'eutrophisation soit un phénomène naturel, elle constitue par conséquent de véritables menaces pour l'environnement et les peuplements exploités. On comprend alors que le Mellah doit être suivi régulièrement sur le plan biologique et environnemental, en relation avec le phytoplancton et les développements anormaux occasionnels qu'il engendre sur la qualité et sur la production des eaux. La surveillance concerne nécessairement les efflorescences, les espèces toxiques, l'eutrophisation et les conditions d'oxygénation. Il est vrai que le produit conchylicole du Mellah (moules, huîtres, palourdes, coques, etc.) sujet à l'exportation vers l'étranger (Europe), donc un consommateur exigeant (norme CE), doit faire l'objet d'une surveillance rigoureuse. D'un point de vue écologique, les crises dystrophiques ou l'eutrophisation du littoral se manifestant dans les lagunes, retentissent sur toutes les caractéristiques de l'environnement : productivité ; déséquilibre, impasses de flux d'énergie,

hypoxie, fragilité de la faune exploitée (Menesguen, 1991 ; Guillaud et Aminot, 1991).

Ce chapitre consacré au phytoplancton, donne un complément d'informations sur la structure et le fonctionnement écologique du Mellah. Nous nous sommes intéressés particulièrement à la composition taxonomique des peuplements, la diversité et la richesse spécifique, la distribution et l'abondance, ainsi qu'aux échanges avec le littoral contigu.

2. Matériel et méthodes

2.1. Choix des stations

La stratégie d'échantillonnage adoptée repose sur un choix raisonné, selon l'axe médian principal de transport advectif horizontal de l'eau marine par le courant de flot, et de l'eau de la lagune lors du jusant. De tels courants, créent des turbulences empêchant ainsi tout phénomène de stratification de la colonne d'eau, dont la profondeur ne dépasse pas 5,20 m. Le microphytoplancton (taille $> 20 \mu\text{m}$), a été étudié dans trois stations ont été retenues (**fig. II.17**) ; la première "station A" est située au milieu du chenal (1 m de profondeur), à environ 400 m de la mer. La largeur de la section mouillée du chenal à ce niveau est d'environ 8 m, avec un fond de sable grossier. A l'intérieur de la lagune, le nombre de stations a été fixé à deux : la "station B" à l'embouchure du chenal (2,50 m de profondeur) ; point de contact entre les eaux marines et les eaux de la lagune, avec un fond de sable envasé, et la "station C" au centre de l'étendue, la zone la plus profonde (4,80 m) et la plus proche des influences continentales, caractérisée par un fond de vase pure. La période d'étude s'étale de novembre 2000 à décembre 2001, à raison d'un prélèvement par mois. Les prélèvements du phytoplancton ont été réalisés durant l'année 1998, en même temps que le benthos, le zooplancton, et les relevés hydrologiques. Ces échantillons de phytoplancton ont été malheureusement perdus. Pour ces raisons, nous avons tenté de corriger quelque peu cette erreur, par des prélèvements au cours de l'année 2000-2001. Il ne s'agit pas ici d'un rattrapage, car les situations écologiques sont historiques, et les données phytoplanctoniques de 2000-2001 différeraient fort probablement de celles de 1998.

2.2. Echantillonnage et analyse du phytoplancton

L'échantillonnage du phytoplancton a été effectué dans les eaux de surface, où un volume de 100 litres d'eau est filtré sur un tissu de $20 \mu\text{m}$. L'objectif est de se limiter aux tailles supérieures à $20 \mu\text{m}$, en raison de la dominance des formes microphytoplanctoniques, notamment dans les milieux eutrophes (Raimbault *et al.*, 1988), cas de la majorité des écosystèmes lagunaires et littoraux. Le contenu du filtrat est conservé dans une solution de formol à 4%. Les échantillons ont été analysés sur deux fractions représentant chacune 5 à 10% du volume total, selon la

densité. Les numérations sont effectuées dans une cuve spécialement confectionnée, et rapportées au nombre de cellule par litre (ou ind.l⁻¹). La plupart des taxons rencontrés sont identifiés jusqu'à l'espèce. Selon les espèces, la détermination s'est effectuée sous microscope à des grossissements allant jusqu'à GX100. Il convient aussi de rappeler que, plusieurs dizaines d'espèces nanoplanctoniques (5 à 20 µm), n'ont pas été déterminées en raison d'absence de moyens d'observations adéquats. Seules les formes supérieures à 20 µm, ont été correctement déterminées. Selon [Rétima \(1999\)](#), l'ordre de tailles le plus fréquent dans le Mellah se situe entre 20 et 40 µm.

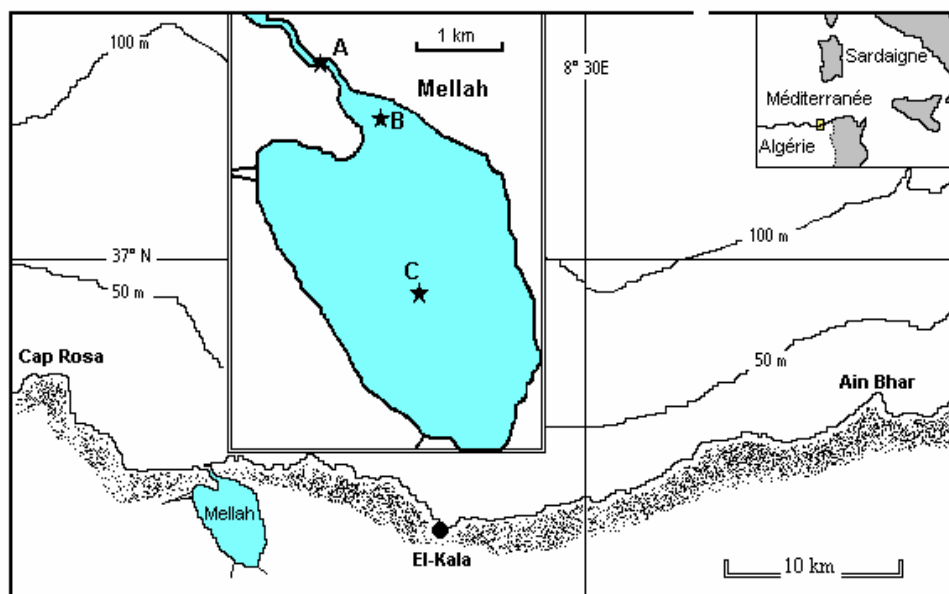


Figure II.17 : Localisation des stations d'échantillonnage du phytoplancton dans la lagune Mellah.

De nombreux ouvrages ont été utilisés pour l'identification des taxons et espèces microphytoplanctoniques de la lagune, parmi eux on cite : [Hendey \(1964\)](#) ; [Sournia \(1967, 1968, 1978, 1984 et 1986\)](#) ; [André \(1970\)](#) ; [Ricard \(1976 et 1987\)](#) ; [Ricard et Bourelly, 1982](#) ; [Jacques \(1977 et 1978\)](#) ; [Tregouboff et Rose \(1978\)](#) ; [Tufaïl \(1981\)](#) ; [Bourelly \(1981, 1985 et 1988\)](#) ; [Ricard et Bourelly \(1982\)](#) ; [Rumeau et Coste \(1988\)](#) ; [Larsen et Moestrup \(1989\)](#) ; [Hallegraeff *et al.* \(1991\)](#) ; [Larsen et Sournia \(1991\)](#) ; [Thomsen \(1992\)](#) ; [Chretiennot-Dinet *et al.* \(1993\)](#) ; [Hallegraeff \(1993\)](#) ; [Skov *et al.* \(1995\)](#).

? **Densité**

La densité (d) est exprimée en nombre de cellules ou individus microphytoplanctoniques dans un litre d'eau (ind.l⁻¹).

? **Dominance**

La dominance ou abondance relative, exprime l'influence exercée par une espèce dans une communauté. La dominance (D en %), correspond au rapport entre le nombre d'individus d'une espèce donnée (n) et le nombre total d'individus de toutes les espèces (N) dans l'échantillon :

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

? **Fréquence**

La fréquence centésimale (F%), est le nombre de relevés dans lesquels l'espèce (i) est rencontrée par rapport au nombre total des relevés, appelés aussi fréquence d'occurrence ou fréquence d'apparition de l'espèce dans l'échantillonnage. Elle est donnée par la formule :

$$F\% = (r_i/R) \times 100$$

r_i : nombre de relevés où l'espèce (i) est présente,

R : nombre total des relevés.

Ce rapport définit trois catégories d'espèces :

? $0 < F < 25\%$: espèce rare,

? $25 < F < 50\%$: espèce commune ou accessoire,

? $50 < F < 100\%$: espèce constante.

? **Indice de Shannon**

L'indice de diversité utilisé est celui de Shannon (H'), exprimé par la formule suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

S : nombre d'espèces du peuplement,

p_i : abondance relative de l'espèce i, ($p_i = N_i/N$),

N_i : effectif de l'espèce i,

N : effectif total du peuplement.

La diversité donnée par l'indice de Shannon, renseigne sur la structure des peuplements. Elle fournit une image sur l'insertion des individus au sein des différentes espèces, pouvant traduire ainsi un aspect fonctionnel des peuplements. L'indice de Shannon a été calculé uniquement pour les espèces contribuant pour 0,1% et plus. D'après [Daget \(1976\)](#), on peut être amené à négliger les espèces rares si elles ont une incidence négligeable et ne change en rien au sens des variations observées. Par ailleurs, l'indice de diversité d'un peuplement, ne reflète qu'une situation instantanée de la collection et non du milieu. Ce dernier étant fortement

complexe, pour l'appréhender avec des indices mathématiques simplistes et généralistes que se soient. A la prudence dans l'interprétation de l'indice de diversité, s'ajoute la fugacité du phytoplancton n'intégrant la variabilité qu'à l'échelle de la journée ou même de la marée affectant la lagune.

? **Equitabilité**

L'équitabilité (E), mesure le rapport de l'indice de diversité et la diversité maximale attendue de la collection, autrement dit c'est l'écart à la valeur théorique quand toutes les espèces ayant la même fréquence de faire partie de l'échantillon.

$$E = H'/H'_{\max}$$

H' : diversité réelle, H'_{\max} : diversité maximale, avec $H'_{\max} = \log_2 S$.

La diversité spécifique maximale, correspond à la diversité d'un échantillon où les espèces présentes auraient toutes la même abondance relative. D'un autre point de vue, le degré de maturité d'un écosystème, peut être apprécié au moyen de l'étude de sa structure. La distribution des individus au sein des espèces dans un peuplement permet de juger de la complexité de la structure et pouvant être exprimée sous une forme mathématique.

3. Conditions physico-chimiques

3.1. Température et salinité

La température varie en 2001 entre 12,60 et 29,40°C pour l'ensemble des stations étudiées (**fig. II.18**), soit une amplitude thermique annuelle de 16,80°C. Les conditions thermiques diffèrent quelque peu par rapport à l'année 1998, où la température a baissé en hiver jusqu'à 10°C.

Comme pour la température, la salinité varie également avec les conditions météorologiques (**fig. II.18**), variant ainsi entre 26 et 35,15 dans la lagune et 26,30-37,40 PSU dans le chenal. Si les faibles salinités d'hiver sont dues aux apports directs et indirects d'eau pluviale, les fortes salinités traduisent quant à elles, l'influence marine qui s'accroît progressivement du printemps jusqu'à la fin de l'automne (**fig. II.18**). Les salinités typiquement marines rencontrées en été et en automne, traduisent une image instantanée due à l'effet de marée. Il est important de souligner le fort écart halin annuel s'élevant jusqu'à 11 unités de salinité. Ces écarts thermo-halins, agissent sur les peuplements planctoniques côtiers échangés biquotidiennement à la cadence de la marée microtidale semi-diurne.

3.2. pH et transparence des eaux

Le pH des eaux superficielles de la lagune Mellah (**fig. II.19**), est relativement constant et légèrement alcalin pour l'ensemble des stations prospectées. Les valeurs extrêmes de ce paramètre, se situent dans un faible intervalle de variations entre

8- 8,31. D'une manière générale, le pH des eaux du chenal présente des valeurs plus élevées par rapport à celui des eaux lagunaires.

Les faibles transparences des eaux ont été enregistrées en janvier et en mai dans la station C (profondeur 4,80 m), où la limite de visibilité du disque de Secchi est de 2,50 et 2,80 m respectivement. En dehors de ces deux périodes, le disque de Secchi reste visible quelle que soit la station et la période. Cette faible turbidité dans une eau pourtant toujours mouvante suivant les courants de marée, traduirait la faible charge sestonique du milieu pélagique.

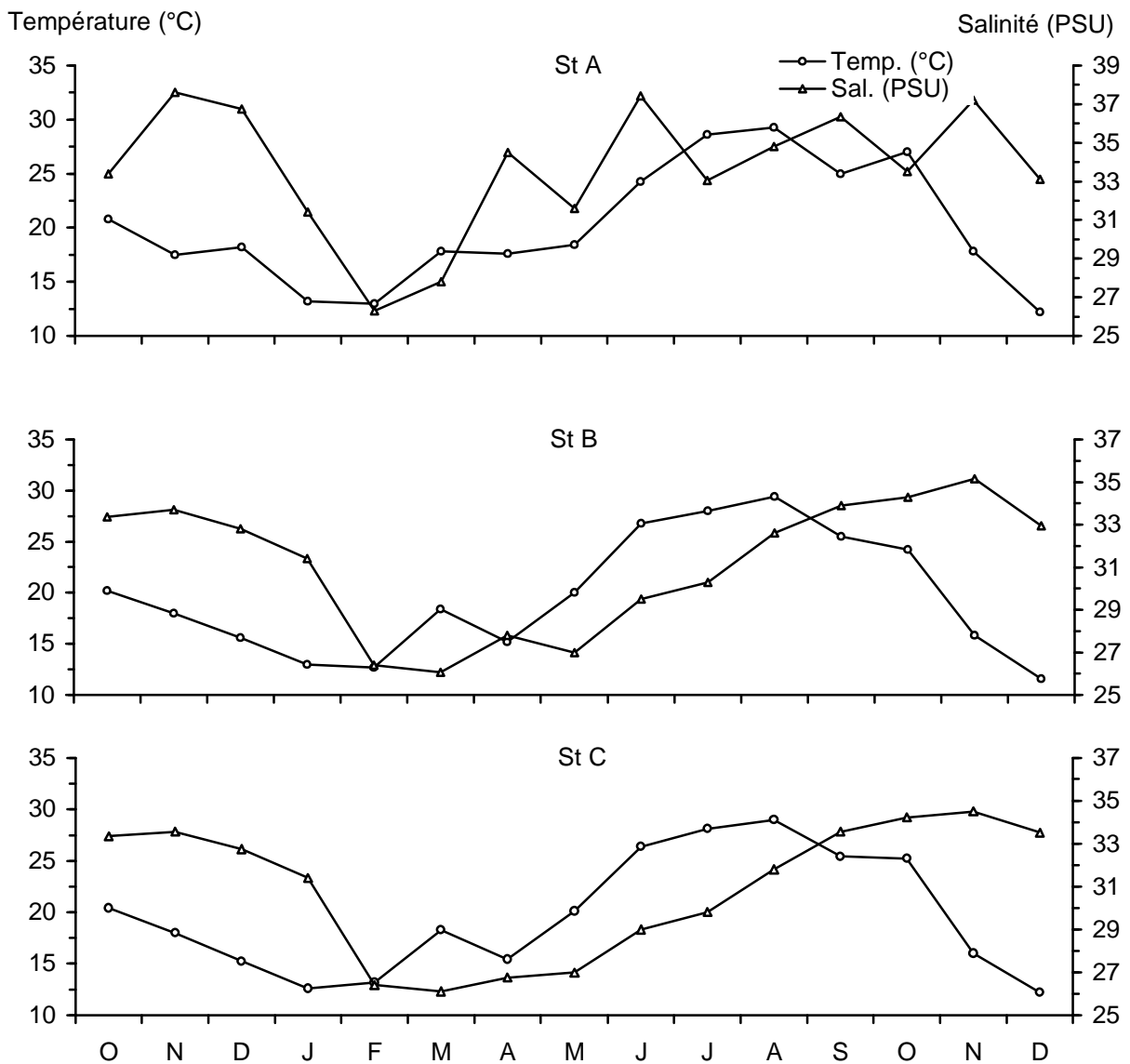


Figure II.18 : Evolution mensuelle de la température et de la salinité dans les stations prospectées de la lagune Mellah (octobre 2000 - décembre 2001).

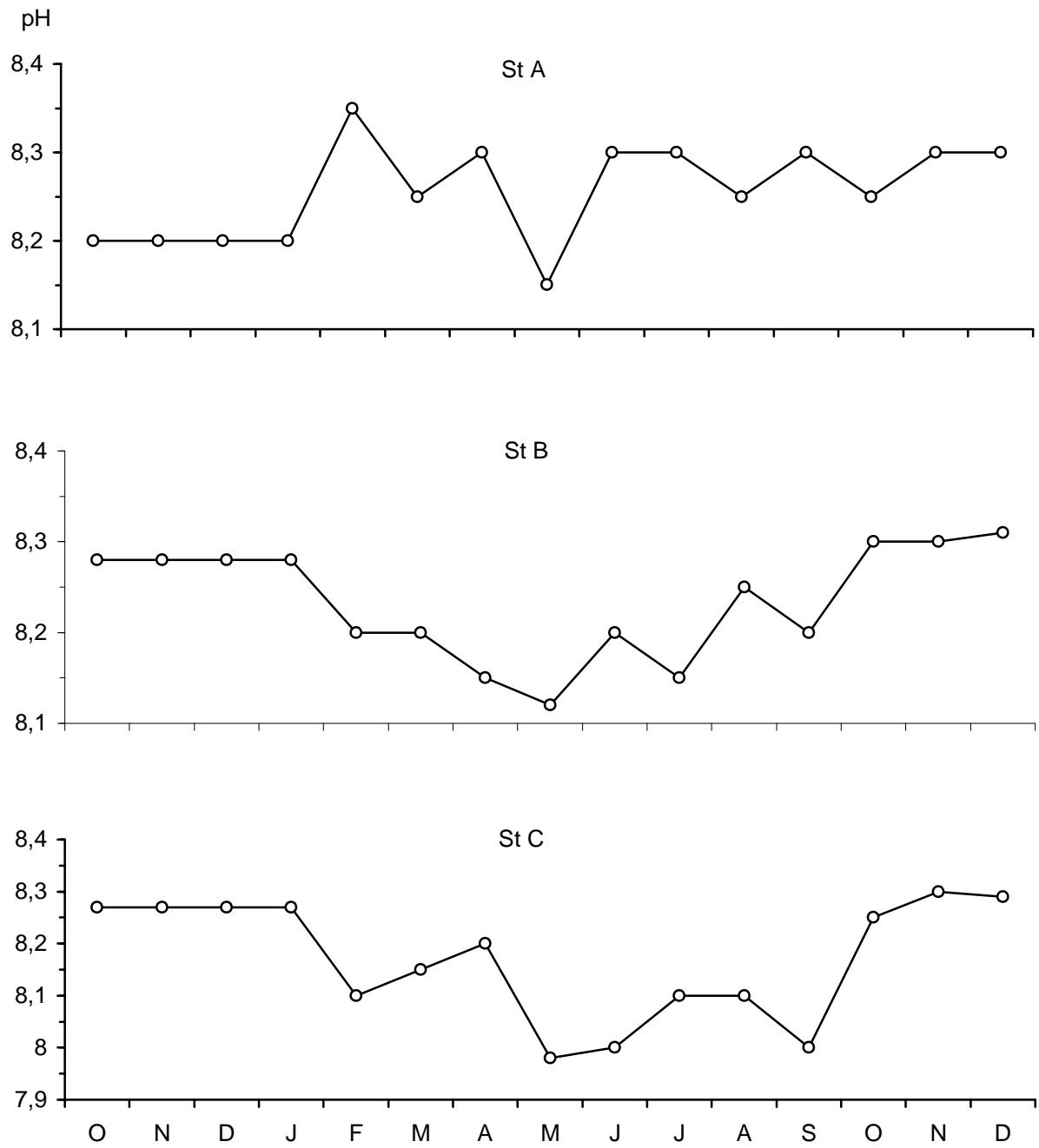


Figure II.19 : Evolution mensuelle du pH dans les stations prospectées de la lagune Mellah (octobre 2000 - décembre 2001).

4. Peuplements phytoplanctoniques

4.1. Composition et distribution taxonomique

Au total, 359 espèces microphytoplanctoniques ont été identifiées et classées selon [Chrétiennot-Dinet et al. \(1993\)](#) (**tab. II.10**). La plupart des espèces recensées appartiennent aux Diatomées d'affinité benthique quelle que soit la station et la période de prélèvement.

Le phytoplancton est constitué principalement de Diatomées (202 taxons) et de Dinophycées (106 taxons). Les Cyanophycées, les Chlorophycées, les Zygothycées et les Dictyochophycées, sont représentées respectivement par 33, 11, 4 et 3 taxons (**tab. II.10**).

Parmi les Diatomées, on dénombre 142 Pennales et 60 Centrales. Il semble que l'importance de cette richesse spécifique soit liée aux mouvements ou aux turbulences des eaux, en perpétuel déplacement à travers les courants alternatifs de flot et de jusant, dans un régime de marée semi-diurne. La plupart des populations des Diatomées récoltées appartiennent aux contingents d'affinité benthique et tychoplanctonique.

Parmi les Dinophycées, on compte 77 Péridinales, 17 Dinophysales, 7 Prorocentrales, 4 Gymnodinales et 1 Protaspidales, toutes semblent parvenir à la lagune avec les intrusions des masses d'eaux marines, lors du flot biquotidien.

Alors que les Cyanophycées sont représentées par 23 Hormogonales et 10 Chroococcales, ces derniers s'avèrent parvenir principalement à la lagune lors des fortes crues par le biais des oueds.

Les Chlorophycées sont représentées par 7 Chlorococcales, 2 Ulothricales, 1 Oedogoniales et 1 Sphaeropleales.

Les Zygothycées sont représentées par 3 Desmidiiales et 1 Zygnemales.

Enfin, Les Dictyochophycées comprennent 4 Dictyochales.

En terme de richesse spécifique, les Diatomées (201 espèces) offrent 56% du peuplement microphytoplantonique, contre 30% pour les Dinophycées (106 espèces) et 9% seulement pour les Cyanophycées (32 espèces).

Il faut signaler également la présence d'un certain nombre d'espèces marines et lagunaires reconnues comme potentiellement toxiques ([Larsen et Moestrop, 1989](#) ; [Hallgraeiff, 1993](#) ; [Skove et al., 1995](#) ; [Truquet et al., 1996](#)), (**tab. II.11**).

A la fin de l'été et au début de l'automne, nous notons une efflorescence remarquable de la Diatomée *Synedra acus* à l'intérieur de la lagune, avec des densités exceptionnelles comprises entre $2,92 \cdot 10^6$ et $3,77 \cdot 10^6$ ind.l⁻¹.

Tableau II.10 : Liste taxonomique du microphytoplancton récolté dans la lagune Mellah (novembre 2000 – décembre 2001), (D : douce, M : marine, L : lagunaire, T : toxique).

<p>CHLOROPHYCEAE (Wille Senu Silva, 1982) CHLOROCOCCALES</p> <p>Hydrodictyacées <i>Pediastrum boryanum</i> (Turpin) Menegh. (D) <i>P. clathratum</i> (Schr?t.) Lemmermann (D) <i>P. duplex</i> Meyen (D) <i>P. sp.</i></p> <p>Scenedesmaccées <i>Scenedesmus accuminatus</i> (Lagerh.) Chodat (D) <i>S. opoliensis</i> P. Right (D) <i>S. tropicus</i> Crown (D)</p> <p>OEDOGONIALES</p> <p><i>Oedogonium sp.</i></p> <p>ULOTHIRICALES</p> <p><i>Hormidinium sp.</i> <i>Ulothrix zonata</i> (Web. & Morh) Kützing (D)</p> <p>SPHAEROPLEALES</p> <p>Sphaeropleacées <i>Schroederia setigera</i> Lemmermann (D)</p> <p>CYANOPHYCEAE (Schaffner, 1909) CHROOCOCCALES (Wettstein, 1924)</p> <p>Chroococcacées (N?geli, 1849) <i>Chroococcus turgidis</i> (Kützing) N?geli (D) <i>Gloecapsa alpina</i> (N?geli) Em. Brand. (D) <i>G. minuta</i> (Kütz.) Hollerb. (D) <i>Gomphosphaeria aponina</i> Kützing (D) <i>Merismopedia elegans</i> Braunn (D) <i>M. geminata</i> Lagerh (D) <i>M. glauca</i> (Ehrenberg) N?geli (D) <i>M. punctata</i> Meyen (D) <i>M. tenuissima</i> Lemmermann (D) <i>Synechocystis diplococcus</i> Pringsheim (D)</p> <p>HORMOGONALES (Atkinson, 1905)</p> <p>Nostocacées (Eichler, 1896) <i>Anabaena macrospora</i> Klebs (D) <i>A. spiroides</i> Klebs (D) <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (Lemmermann) Ralfs (D) <i>Calothrix braunii</i> Bornet & Flahaut <i>Gloeotrichia echinulata</i> (J.E. Smith) Richter <i>Nodularia sp.</i> <i>Nostoc parmelioides</i> Kützing (D)</p> <p>Oscillatoriacées (Engel, 1898) <i>Crinalium endophyticum</i> Crown (D) <i>Lyngbya epiphytica</i> var. <i>aquae-dulcis</i> Gardner (D) <i>L. luridum</i> Gomont (D) <i>L. martensiana</i> Menegh. (D) <i>L. rivulariarum</i> Gomont (D)</p>	<p><i>L. sp.</i> <i>Oscillatoria anquinis</i> (Bory) Gomont (D) <i>O. bonnemaisonii</i> Crouan (M) <i>O. bonnemaisonii</i> var. <i>intermedia</i> Crouan (M) <i>O. platensis</i> Nordst. (D) <i>O. sp.</i> <i>O. subsalsa</i> Oersted (D) <i>O. terebriformis</i> Agardh (D) <i>Pseudoanabaena sp.</i></p> <p>Scytonématacées (Kützing, 1843) <i>Tolypothrix distorta</i> Kützing (D) <i>T. lanata</i> Wartm. (D)</p> <p>DIATOMOPHYCEAE (Rabenhorst, 1864) CENTRALES (Schütt, 1896)</p> <p>Biddulphiaceae (Kützing, 1844) <i>Biddulphia aurita</i> (Lyngb.) Brébisson & Godey (M) <i>B. mobiliensis</i> Bailey (M) <i>B. obtusa</i> (Kützing) Ralfs in Pritchard (M) <i>B. pulchella</i> Gray (M) <i>B. tridens</i> (Ehrenberg) Ehrenberg (M) <i>B. spp.</i> <i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey <i>Terpsinoe americana</i> (Bailey) Ralfs (M) <i>Trigonium formosum</i> Brightwell (M) <i>T. sp.</i></p> <p>Chaetoceracées H.L (Smith, 1872) <i>Chaetoceros affinis</i> Lauder (M) <i>C. atlanticus</i> Cleve (M) <i>C. brevis</i> Chütt (M) <i>C. compressus</i> Lauder (M) <i>C. constrictus</i> Gran (M) <i>C. curvisetus</i> Cleve <i>C. decipiens</i> Cleve (M) <i>C. diadema</i> (Ehrenberg) Gran (M) <i>C. lauderi</i> Raifs (M) <i>C. radicans</i> Schütt (M) <i>C. teres</i> Cleve (M) <i>C. socialis</i> Lauder (M) <i>C. whigami</i> Brightwell (M) <i>C. sp.</i></p> <p>Coscinodiscacées (Kützing, 1844) <i>Coscinodiscus centralis</i> Ehrenberg (M) <i>C. centralis</i> var. <i>pacifica</i> Gran & Angst (M) <i>C. excentricus</i> Ehrenberg (M) <i>C. gigas</i> Ehrenberg (M) <i>C. jonicianus</i> (Greville) Ostenfeld (M) <i>C. karstenii</i> Van (M) <i>C. nodulifer</i> A. Schmidt (M) <i>C. occulo-iridis</i> Ehrenberg (M) <i>C. perforatus</i> Ehrenberg (M) <i>C. radiatus</i> Ehrenberg (M) <i>C. thorii</i> Pavillard (M)</p>
--	--

C. sp.

Eupodiscacées (Kützing, 1849)

Triceratium pelagicum Schr?der (M)

T. pentacrimus forma *quadratum* Hustedt (M)

T. sp.

Heliopeltacées (H.L. Smith, 1872)

Aulacodiscus kittonii forma *africana* (Cottam) Ratray (M)

Leptocylindracées (Lebour, 1930)

Leptocylindrus danicus Cleve (M)

Lithosdemiacées (Peragallo H. & M. Peragallo, 1897 - 1908)

Bellerochea horologicalis Von Stosch (M)

B. malleus (Brightwell) (Van Heurck) (M)

Melosiracées (Kützing, 1844)

Cyclotella chaetoceras (Kützing) Brebisson (M)

Druridgea geminata Donkin (M)

Melosira lineata (Dillwyn) Agardh (M)

M. moniliformis (D.F. Müller) Agardh (M)

M. nummuloides Agardh (M)

M. spp.

Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve (L)

Stephanopyxis palmeriana (Greville) Grunow (M)

Rhizosoleniacées (Petit, 1888)

Rhizosolenia alata Brightwell (M)

R. delicatula Cleve (M)

R. stouterfothii H. Peragallo (M)

R. sp.

Thalassiosiracées (Lebour emend Hasle, 1973)

Cymatodiscus planetophorus (Meister) Hendey (M)

Lauderia borealis Gran (M)

L. sp.

Planktoniella sol (wallisch) Schütt (M)

Skeletonema costatum Greville (M)

PENNALES (Schütt)

Achnanthacées (Kützing, 1844)

Achnanthes brevipes Agardh (L)

A. coactata Brébisson (M)

A. inflata Kützing (M)

A. longipes Agardh (M)

A. spp.

Campyloneis grevillei Wm. Smith (M)

Cocconeis scutellum Ehrenberg (M)

C. placentula Ehrenberg (M)

C. sp.

Auriculacées (Hendy, 1964)

Campylodiscus clypeus Ehrenberg (M)

C. decorus var. *pinnatus* Peragallo (M)

C. ecclesianus Greville (M)

C. echeneis Ehrenberg (M)

C. noricus var. *hibernica* (Ehrenberg) Grun. (D)

C. sp.

Stenopterobia intermedia (Lewis) Van Heurck (D)

Surirella fastuosa Ehrenberg (M)

S. fluminensis Grunow (M)

S. ovata Kützing (D)

S. striatula Turpin (M)

S. sp.

Thalassiophysa hyalina (Greville) Paddock & Sims (M)

Cymbellacées (Kützing, 1844)

Amphora arenaria Donkin (M)

A. arenaria var. *donkinii* Rab. (M)

A. bigiba var. *interrupta* Grunow (M)

A. cingulata Cleve (M)

A. communata Grunow (M)

A. contracta Grunow (M)

A. costata Smith (M)

A. exigua Gregory (M)

A. macilenta Gregory (M)

A. ocellata Donkin (M)

A. ostrearia Cleve (M)

A. ovalis Kützing (M)

A. robusta Gregory (M)

A. salina Sm. (M)

A. spp.

A. truncata Gregory (M)

Entomoneidacées (Reimer in Patrick & Reimer, 1975)

Entomoneis alata (Ehrenberg) Ehrenberg (M)

E. gigantea (Grunow) Poulin (M)

Epithemiacées (Brébisson & Kützing)

Epithemia sorex (Kützing) Kützing (D)

E. zebra (Ehrenberg) Kützing (M)

Rhopalodia gibberula (Ehrenberg) Müller (M)

R. musculus (Kützing) Müller (M)

Fragilariacées (Dumortier, 1823)

Ardissonia formosa Grunow (M)

Asterionella gracillima (Hantsch) Heiberg (D)

A. japonica Cleve (M)

Climacosphenia monoligera Ehrenberg (M)

Fragilaria crotonensis Kitton (M)

Grammatophora angulosa (Ehrenberg) Grunow (M)

G. marina (Lyngbye) Kützing (M)

Licmophora abbreviata Agardh (M)

L. dalmatica Kützing (M)

L. dalmatica var. *tenella* Kützing (M)

L. flabellata (Greville) Agardh (M)

L. flabellata var. *splendida* Sm. (M)

L. gracilis (Ehrenberg) Grunow (M)

L. gracilis var. *anglica* Kützing (M)

L. gracilis var. *elongata* Kützing (M)

L. lyngbei Kützing (M)

L. spp.

Podocystis adriatica Kützing (M)

Rhabdonema adriaticum Kützing (M)

Striatella unipunctata (Lyngbye) Agardh (M)

Synedra acus Kützing (D)

S. fulgens Grunow (M)

S. sp. (L)

S. ulna (Nitzsch) Ehrenberg (M)

Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing (M)

Thalassionema frauenfeldii Grunow (M)

T. longissima Clave & Grunow (M)

T. nitzschioides Grunow (M)

Naviculacées (Kützing, 1844)

Anomoeneis seriens (Brébisson) Cleve (M)
Caloneis fossilis Cleve-Euler (M)
Cymatoneis alata (Gregory.)
C. circumvallata (Cleve) (M)
C. sp.
Diploneis bombus (Ehrenberg) Cleve (M)
D. crabo Ehrenberg (L)
D. elliptica (Kützing) Cleve (M)
D. fusca Gregory (M)
D. lineata (Donkin) Cleve (M)
D. ovalis Var. *oblongella* (N?geli) Mills (L)
D. sp.
Donkinia recta (Donkin) Grunow (M)
Frustulia rhomboïdes Ehrenberg (M)
Gyrosigma attenuatum (W. Smith) Cleve
G. sp.
Lyrella clavata (Peragallo) Karayeva (M)
L. lyra (Ehrenberg) Karayeva (M)
L. lyra var. *recta* Greville (M)
L. sp.
Mastogloia angulata Lewis (M)
M. fimbriata (Brightwell) Cleve (M)
M. grana Ricard (M)
M. hustedtii Meister (M)
M. splendidula Hustedt (M)
M. sp.
Navicula agneta Hustedt (M)
N. arenaria Donkin (M)
N. concellata Donkin (L)
N. cuspidata Kützing (M)
N. delognei Van Heurck (M)
N. faaensis Ricard (M)
N. humerosa Brébisson ex. Wm. Smith (M)
N. mutica Kützing (M)
N. menaiana Hendey (M)
N. monilifera Cleve (M)
N. pygmaea (Ehrenberg) Kützing (M)
N. peregrina (Ehrenberg) Kützing (M)
N. spp.
Plagiotropis concerta (Lewis) Cleve (M)
P. lepedoptera (Gregory) Kützing (M)
P. sp.
Pleurosigma directum Gregory (M)
P. formosum Peragallo (L)
P. itium Ricard (M)
P. sp.
Pinnularia acrosphaeria Brébisson (D)
P. sp.
Scoliolepta sp.
Stauroneis biblos Cleve (M)
S. membranaea (Cleve)
Trachyneis aspera (Ehrenberg) Ehrenberg (M)
Nitzschiacées (Grunow, 1860)
Bacillaria paradoxa Gmelin (M)
Cymatonitzschia sp.

Hantzschia amphioxys (Ehrenberg) Grunow (M)
Nitzschia acicularis Wm. Smith (D)
N. bilobata Wm. Smith (M)
N. closterium (Ehrenberg) Wm. Smith (M)
N. fluminensis Grunow (M)
N. longissima Ralfs
N. lorenziana var. *subtilis* Grunow
N. navicularis (Brébisson) Grunow (D)
N. panduriformis Gregory (M)
N. reversa W. Smith
N. sigma var. *sigma* (Kützing) W. Smith (M)
N. seriata (Cleve) (M)
N. spp.
N. subpacificae
N. turgida
N. ventricosa Kitton (M)

DICTYOCOPHYCEAE (Silva, 1980)

DICTYOCHEALES (H?ckel, 1894)

Dictyochidées (Lemmermann, 1901)

Dictyocha fibula var. *major* Ehrenberg (M)
D. fibula var. *oculeata* Lemmermann (M)
D. octonaria Ehrenberg (M)

DINIOPHYCEAE (West et Fritsch, 1927)

DINOPHYSALES (Lindemann, 1928)

Dinophysacées (Stein, 1883)

Dinophysis acuminata Claparede & Lachmann (M) (T)
D. acuta Ehrenberg (M) (T)
D. caudata Kent-Saville (M) (T)
D. exigua Kofoid & Skogsberg (M)
D. norvegica Claparede & Lachmann (M) (T)
D. ovum Schütt (M)
D. parvulum (Schütt) J?rgensen (M)
D. pavillardi Balech (M)
D. rapa (Stein) Abe & Balech (M)
D. rotundata Claparede & Lachmann (M) (T)
D. sacculus Stein (M) (T)
D. tripos Gouret (M) (T)
D. sp.
Ornithocercus magnificus (Stein) (M)
O. heteroporus Live (M)
Sinophysis sp.
Oxyphysacées (Sournia, 1984)
Oxyphysis sp.

GYMNODINIALES (Lemmermann, 1970)

Gymnodiniacées (Lankester, 1885)

Gymnodinium gracile Kofoid & Swezy (M)
G. sp.
G. splendens (Lebour) (L)
Gyrodinium sp.

PERIDINIALES (Haeckel, 1894)

Ceratiacées (Kofoid, 1907)

Ceratium azoricum Cleve (M)
C. belone Cleve (M)

C. buceros forma *tenuis* (Ost. & Schmidt) Schiller (M)
C. candelabrum (Ehrenberg) Stein (M)
C. carriense Gourret (M)
C. carriense var. *volan* (M)
C. contortum (Gourret) Cleve (M)
C. declinatum (Karsten) J?rgensen (M)
C. extensum (Gourret) Cleve (M)
C. falcatum (Kofoid) J?rgensen (M)
C. furca (Ehrenberg) Claparede & Lachmann (M)
C. fusus (Ehrenberg) Dujardin (M)
C. hexacanthum Gourret (M)
C. hexacanthum Kofoid & Schiller (M)
C. horridum (Cleve) Gran. (M)
C. inflatum (Kofoid) J?rgensen (M)
C. lineatum (Ehrenberg) Cleve (M)
C. macroceros (Ehrenberg) Vanh?ffen (M)
C. massiliense (Gourret) J?rgensen (M)
C. pentagonum Gourret (M)
C. pentagonum var. *tenerum* J?rgensen (M)
C. ranipes Cleve (M)
C. setacum J?rgensen (M)
C. symmetricum Pavillard (M)
C. symmetricum var. *coarctatum* Graham & Bonikovsky (M)
C. trichoceros (Ehrenberg) Kofoid (M)
C. tripos var. *declinatum*
C. tripos var. *atlanticum* (Ostenfeld) Paulsen (M)
Ceratocorythacées (Lindemann, 1928)
Ceratocorys armata (Schütt) Kofoid (M)
C. gorreti Paulsen (M)
C. horrida Stein (M)
Goniodomatacées (Lindemann, 1928)
Goniodoma polyedricum Louch (M)
Gonyaulacacées (Lindemann, 1928)
Alexandrium tamarense (Lebour) Balech & Tangen (M)
Gonyaulax diacantha
G. diegensis Live (M)
G. digitale (Pouchet) Kofoid (M)
G. monacantha Pavillard (M)
G. polyedra Stein (M)
G. polygramma Stein (M)
G. spinifera (Clap. & Lach.) Diesing (M)
G. sp.
Ostreopsidacées (Lindemann, 1928)
Ostreopsis siamensis J. Schmidt (M)
Oxytoxacées (Lindemann, 1928)
Amphidiniopsis sp.
Corythodinium frenguelli
Oxytoxum longiceps Schiller (M)
O. milneri Murr. & Whitt.
O. sceptrum
O. scolopax Stein (M)
O. sp.
O. tessellatum (Stein) Schütt (M)
Protopteridiniacées (Ehrenberg, 1828)
Diplopsalis lenticula Stein (M)
Protopteridinium bipes (Paulsen) Balech (M)

P. claudicans Live (M)
P. conicum (Gran) Ostenfeld & Schmidt (M)
P. depressum (Bailey) Balech (M)
P. diabolus (Cleve) Balech (M)
P. divergens Ehrenberg (M)
P. excentricum Paulsen (M)
P. globulus Stein (M)
P. granii (Ostenfeld) Balech (M)
P. hirobis Abe (M)
P. leonis Pavillard (M)
P. minimum Pavillard (M)
P. ovatum Pouchet (M)
P. ovum Schiller (M)
P. pellucidum (Bergh) Schütt (M)
P. punctulatum (Paulsen) Balech (M)
P. steini J?rgensen (M)
P. subinermis (Paulsen) Loeblich III
P. sp.
P. tenuissimum Kofoid (M)
P. trochoidum (Stein) Lemmermann (M)
P. tuba (Schiller) Balech (M)
Podolampadacées (Lindemann, 1928)
Podolampas bipes Stein (M)
P. palmipes Stein (M)
P. spinefer Okamura (M)
Pyrophacacées (Lindemann, 1928)
Pyrophacus horologium Schiller (M)

PROROCENTRALES (Lemmermann, 1910)

Prorocentracées (Stein, 1883)
Prorocentrum balticum (Lohmann) Loeblich (M)
P. compressum (Bailey) Abe
P. gracile Ostenfeld (M)
P. lima (Ehrenberg) Dodge (M) (T)
P. micans Ehrenberg (L)
P. minimum Schiller (M) (T)
P. scutellum Schiller (M)

PROTASPIDALES (A.R. Loeblich III, 1970)

Protaspidacées (Skuja, 1939)
Protaspis glans Skuja (M)

ZYGOPHYCEAE

(D'après la classification de Chadeaud-Feldman in Dussart, 1966)

DESMIDIALES (Menegh)

Closteriacées
Closterium aciculare T. West (D)
C. chrenbergii var. *chrenbergii* Menegh (D)
Staurastrum seabaldi var. *ornatum* Nordst (D)

ZYGNEMALES

Zygnematacées
Zygnema stellinum (Vauch) Czurda (D)

Tableau II.11: Types de toxicité chez le phytoplancton toxique (Steindinger, 1983 ; Taylor, 1984 a et b et 1985 ; Lassus, 1988), prélevé dans la lagune Mellah (novembre 2000 – décembre 2001). DSP : Diarrheic Shellfish Poison, NSP : Neurotoxic Shellfish Poison, PSP : Paralytic Shellfish Poison, ASP : Amnesic Shellfish Poison, CTX : Ciguatoxine, MTX : Maitoxine, STX : Scaritoxine.

Espèces toxiques	DSP	NSP	PSP	ASP	Mortalité des poissons	CTX MTX STX	Substance toxique
<i>Alexandrium tamarense</i>			*		*		*
<i>Dinophysis accuminata</i>	*						
<i>D. acuta</i>	*		*				*
<i>D. caudata</i>	*						*
<i>D. norvegica</i>	*		*				*
<i>D. rotundata</i>	*						*
<i>D. sacculus</i>	*						
<i>D. tripos</i>				*			
<i>Gonyaulax polyedra</i>							*
<i>Gymnodinium splendens</i>					*	*	*
<i>Ostreopsis siamensis</i>							*
<i>Prorocentrum balticum</i>					*		*
<i>P. lima (= P. marina)</i>						*	*
<i>P. minimum</i>	*	*	*		*		*
<i>Dictyocha fibula var. aculeata</i>							*

4.2. Distribution spatio-temporelle

L'analyse de la composition taxonomique du microphytoplancton est consignée dans les tableaux II.1, II.2 et II.3 en annexes.

La contribution des différents groupes phytoplanctoniques dans les trois stations est assez semblable durant la période d'étude (fig. II.20), avec une quasi-dominance des Diatomées (94-99%). L'homogénéité thermo-haline de la masse d'eau lagunaire et les conditions chimiques, expliquent à la fois l'importance des Diatomées et leur répartition de façon comparable dans les différentes zones de la lagune.

? Station chenal (station A)

Au total, 300 espèces ont été récoltées dans la station chenal (tab. II.1, annexes). Elles sont réparties principalement en trois classes ; les Diatomophycées (170 taxons), les Dinophycées (89 taxons) et les Cyanophycées (30 taxons). Les autres taxons restant sont faiblement représentés au sein du peuplement (tab. II.4, annexes).

La richesse spécifique totale comprend 63 espèces constantes (tab. II.12), 50 espèces accessoires et 187 espèces rares (tab. II.4 annexes). D'autre part, bien que riches en espèces les Diatomées ne présentent que 44 espèces constantes.

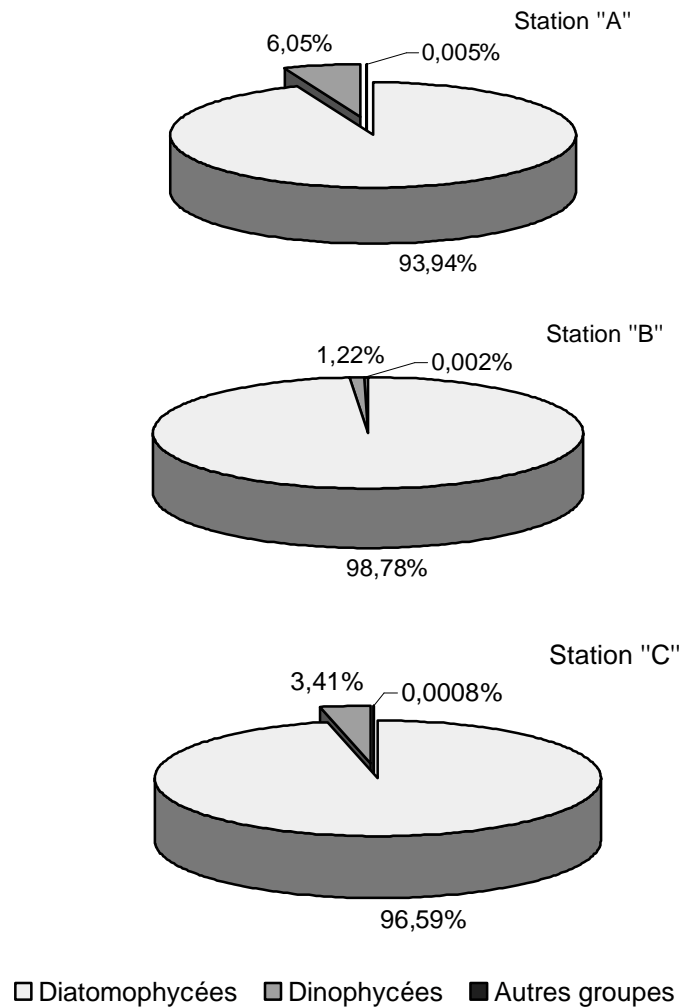


Figure II.20 : Composition numérique (abondances relatives moyennes) des différents groupes phyto-planctoniques récoltés dans la lagune (novembre 2000 - décembre 2001).

La variation de la composition taxonomique pour l'ensemble des prélèvements de la station chenal, révèle d'importantes fluctuations de la richesse spécifique qui oscillent entre 48 et 126 taxons (**tab. II.5, annexes**). Les récoltes sont considérées ainsi comme très riches.

? **Station Nord lagune (station B)**

Au total, 177 espèces ont été récoltées dans la station B (**tab. II.2 annexes**). Elles appartiennent essentiellement aux Diatomées (118 taxons) et aux Dinophycées (43 taxons) (**tab. II.6, annexes**). La flore microalgale est composée d'espèces constantes (34 taxons), accessoires (35 taxons) et rares (108 taxons). Dans cette station, le groupe des Diatomées dominant également avec environ 67% du stock floristique (**tab. II.6, annexes**).

Si le peuplement paraît riche, il comprend cependant de nombreuses espèces rares souvent plus de 50% appartenant aux Diatomées (**tab. II.6 annexes**). La flore de base

Tableau II.12 : Liste des espèces constantes (+ : F>50%), recensées dans les stations échantillonnées de la lagune Mellah (novembre 2000 - décembre 2001). (++ : F>75%).

Espèces	Station A	Station B	Station C
Cyanophycées :			
<i>Merismopedia punctata</i>	++		
<i>Oscillatoria bonnemaisonii</i>	++	+	+
Diatomophycées (Centrales) :			
<i>Bellerochea horologicalis</i>	++		
<i>Biddulphia aurita</i>	++		
<i>B. obtusa</i>	+		
<i>B. pulchella</i>	+		
<i>B. spp.</i>	+		+
<i>Chaetoceros constrictus</i>		+	
<i>C. diadema</i>			+
<i>C. lauderi</i>		+	
<i>Coscinodiscus centralis</i>			+
<i>C. joniscianus</i>			+
<i>C. sp.</i>	+		+
<i>Melosira moniliformis</i>	+		
<i>Paralia sulcata</i>	++	++	++
<i>Trideratium pentacrimus forma aquadratum</i>	+		
Diatomophycées (Pennales) :			
<i>Achnanthes brevipes</i>	++	++	++
<i>Amphora costata</i>	++		
<i>A. ostrearia</i>	++		
<i>A. ovalis</i>	+		
<i>A. spp.</i>	++		
<i>A. truncate</i>	+		
<i>Bacillaria paradoxa</i>	+	++	+
<i>Campylodiscus echeneis</i>	+		
<i>Climacosphenia monoligera</i>	+		
<i>Diploneis crabo</i>	++	++	++
<i>D. ovalis var. oblongella</i>	++	++	++
<i>Gyrosigma sp.</i>			+
<i>Hantzschia amphioxys</i>	++		
<i>Licmophora flabellata</i>	++	+	+
<i>L. gracilis</i>	++	+	
<i>L. lyra</i>	+	+	
<i>Mastogloia angulata</i>	+	+	+
<i>M. fimbriata</i>	+		
<i>M. splendidula</i>	++		
<i>Navicula concellata</i>	++	++	++
<i>N. humerosa</i>	++		
<i>Nitzschia bilobata</i>	+		
<i>N. closterium</i>	++		
<i>N. longissima</i>	++	+	
<i>N. reversa</i>	++		

Tableau II.12 (Suite)

Espèces	Station A	Station B	Station C
<i>N. spp.</i>	++	++	+
<i>Plagiotropis lepedoptera</i>	++	+	
<i>Pleurosigma formosum</i>	++	++	++
<i>Striatella unipunctata</i>	++	++	+
<i>Synedra fulgens</i>	+		
<i>S. sp.</i>	++	++	++
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	+	+	
<i>Thalassiophysa hyalina</i>	+	+	
Dinophycées :			
<i>Dinophysis ovum</i>	+	+	
<i>D. sacculus</i>	+	+	+
<i>D. sp.</i>		+	+
<i>Gymnodinium splendens</i> (= <i>G. sanguinum</i>)	+	++	++
<i>Amphidiniopsis sp.</i>	+		
<i>Ceratium furca</i>	+		
<i>Protoperidinium trochoidum</i>	+		
<i>P. sp.</i>	++	++	+
<i>Prorocentrum compressum</i> (= <i>Exuviella compressa</i>)	+	+	
<i>P. lima</i> (= <i>Exuviella marina</i>)	++		
<i>P. micans</i>	++	++	++
<i>Protaspis glans</i>	+		

(espèces constantes) est limitée à une trentaine d'espèces (**tab. II.12, tab. II.2 annexes**). Cependant, le nombre d'espèces ne montre pas d'importantes fluctuations temporelles (**tab. II.5, annexes**), la richesse spécifique oscille entre 29 et 67 taxons.

? **Station centrale (station C)**

A la station C, on décompte 185 espèces (**tab. II.3, annexes**), réparties essentiellement en trois classes : les Diatomées (111 taxons), les Dinophycées (53 taxons) et les Cyanophycées (13 taxons) **tab. II.8, annexes**).

La microflore est composée de 114 espèces rares et une trentaine régulièrement présentes (**tab. II.12, tab. II.3 annexes**).

Plus généralement, il y a des espèces typiquement lagunaires, dont leur dynamique saisonnière paraît indépendante de l'effet des marées ou des apports continentaux. La salinité ne paraît donc pas contraindre le développement du peuplement lagunaire formé par les espèces : *Paralia sulcata*, *Achnantes brevipes*, *Diploneis crobo*, *D. ovalis* var. *oblongella*, *Navicula concellata*, *Pleurosigma formosum*, *Synedra sp.*, *Gymnodinium splendens*, *Prorocentrum micans*, dont la fréquence est supérieure à 75% (**tab. II.12**).

Le nombre d'espèces a varié au cours de l'année entre 19 et 66 taxons par prélèvement, hormis l'échantillon d'avril qui représente une valeur maximale de 83

taxons (**tab. II.9, annexes**). L'été paraît plus riche, par suite des apports supplémentaires des espèces rares et accidentelles parvenant avec les flots marins qui prédominent pendant la période d'étiage.

Comme on peut le constater, les variations temporelles sont généralement bien plus importantes par rapport aux variations spatiales. Pendant la période d'étude, la communauté phytoplanctonique de la lagune Mellah est représentée presque exclusivement de Diatomées et de Dinoflagellés, alors que les autres groupes sont considérés comme insignifiants (**fig. II.21**). D'une manière générale, les Diatomées dominent avec la baisse du degré thermique des eaux (janvier-mars et septembre-novembre), alors que pendant le reste du cycle ce sont surtout les Dinophycées qui priment, parallèlement au réchauffement des eaux, phase qui coïncide également avec la période des vivifications marines.

Les variations saisonnières des abondances, sont décelables dans la **figure II.22**. C'est ainsi que dans l'ensemble des stations échantillonnées et à l'échelle de la lagune, les plus fortes densités phytoplanctoniques sont observées en pleine période estivale jusqu'au début de l'automne (**fig. II.22 et II.23**).

? **Période hiver - printemps (période froide)**

Pendant cette période généralement les eaux sont plus ou moins froides entre 12,50 et 20°C (**fig. II.13**). Durant cette phase, on relève des faibles valeurs des densités variant entre 69 et 4 536 ind.l⁻¹, c'est une phase qui se prolonge jusqu'à la fin du mois de mai (**fig. II.23**).

D'un point de vue variations saisonnières de la composition du peuplement, on peut remarquer que les espèces d'hiver (**fig. II.24**), reviennent essentiellement aux Dinophycées *Dinophysis sacculus* (1 916 ind.l⁻¹), *Prorocentrum micans* (11 300 ind.l⁻¹) et *P. scutellum* (1 125 ind.l⁻¹) et la Diatomée *Chaetoceros constrictus* (1 428 ind.l⁻¹), qui sont présentes en revanche en grand nombre à la station B (15 553 ind.l⁻¹). De même, à la station C (24 949 ind.l⁻¹) les Diatomées connaissent un assez fort développement à partir de *Chaetoceros constrictus* (13 328 ind.l⁻¹), *C. diadema* (4 760 ind.l⁻¹), *C. socialis* (2 720 ind.l⁻¹), *C. radicans* (2 040 ind.l⁻¹), et les Dinophycées *Alexandrium tamarense* (6 426 ind.l⁻¹), *Dinophysis sacculus* (1 020 ind.l⁻¹) et *Prorocentrum micans* (935 ind.l⁻¹).

? **Période début été –début automne (période chaude)**

Dans la lagune Mellah, le réchauffement intense des eaux débute effectivement en mois de juin (20°C) et se prolonge jusqu'à la mi-automne (25°C), en passant par un maximum au mois d'août (29,50°C) (**fig. II.13**). Parallèlement, l'abondance phytoplanctonique s'intensifie, où l'on assiste à des blooms de quelques taxons, dont le plus spectaculaire est celui de la Diatomée *Synedra acus* : 2,92.10⁶ ind.l⁻¹ à

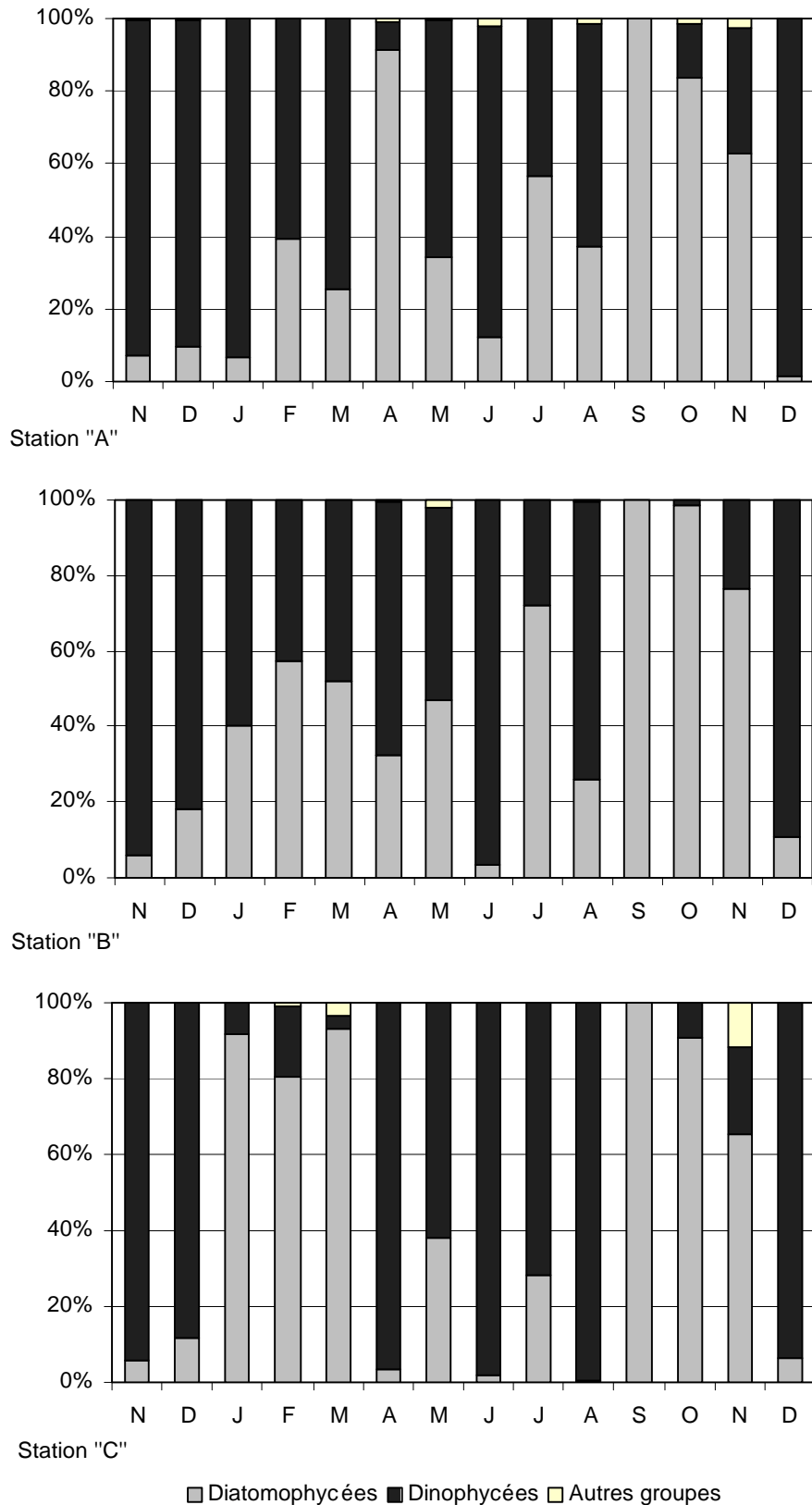
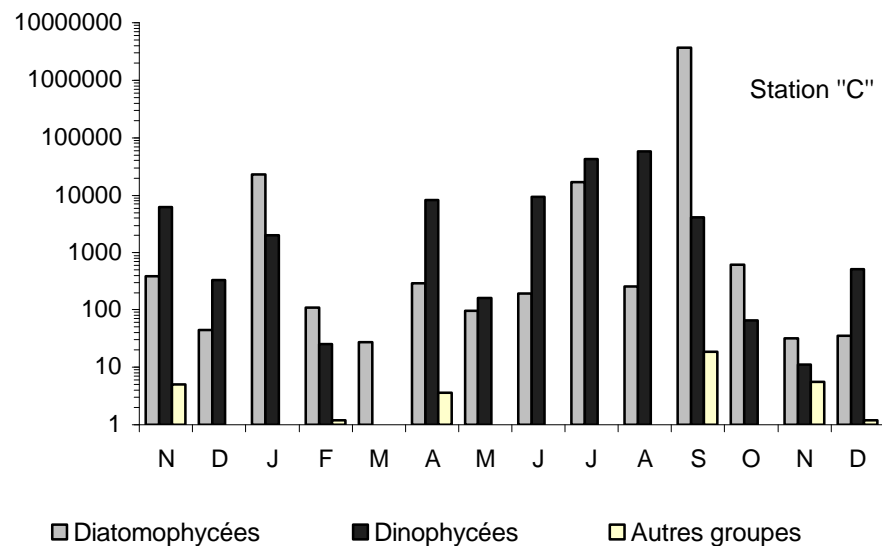
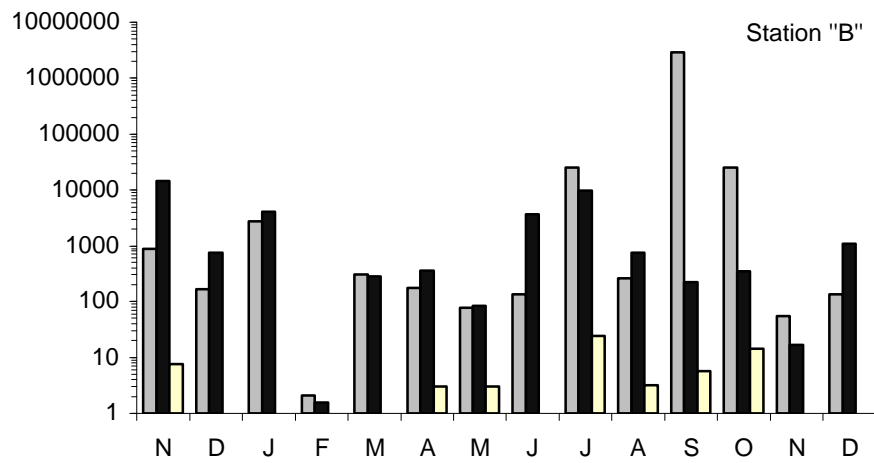
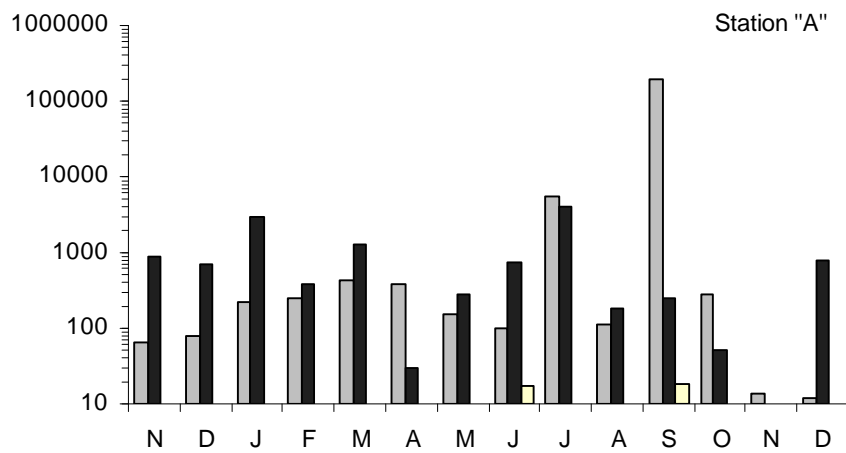


Figure II.21 : Composition du phytoplancton (dominance en %) prélevés dans la lagune Mellah (novembre 2000 - décembre 2001).



Diatomophycées
 Dinophycées
 Autres groupes

Figure II.22 : Variations de la densité (échelle logarithmique) des différents groupes phyto-planctoniques récoltés dans la lagune Mellah (novembre 2000 - décembre 2001).

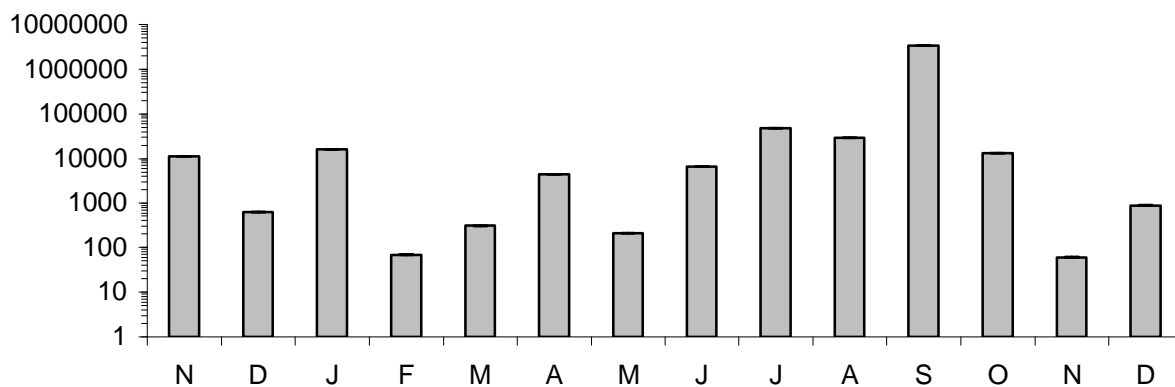


Figure II.23 : Densité moyenne (échelle logarithmique) du phytoplancton récolté dans la lagune Mellah (novembre 2000 – décembre 2001).

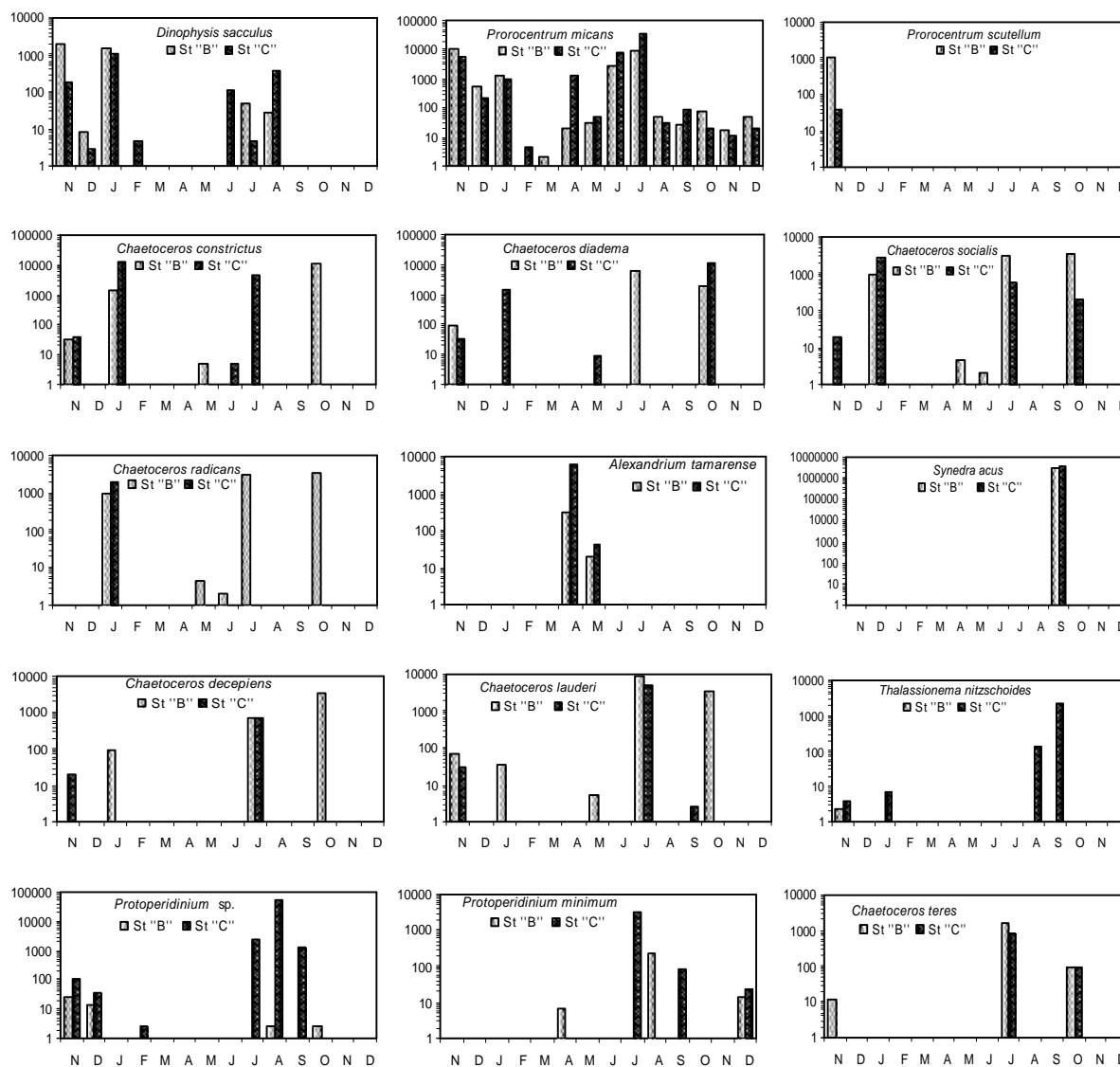


Figure II.24 : Densité (ind.l⁻¹, échelle logarithmique) des espèces phytoplanctoniques à floraison, récoltées dans les stations lagunes (B et C) du Mellah (novembre 2000 - décembre 2001).

la station B et $3,77 \cdot 10^6$ ind.l⁻¹ à la station C en septembre. D'autres espèces abondent durant cette période du cycle mais d'une manière moins intense.

Le contingent d'été (**fig. II.24**) est composé essentiellement de Dinophycées : *Protoperdinium* sp. (2 218 et 56 610 ind.l⁻¹), *Prorocentrum micans* (7 395 et 36 462 ind.l⁻¹), *P. minimum* (3 242 ind.l⁻¹) dans la station C. En plus des Dinophycées, beaucoup d'espèces de Diatomées néritiques sont introduites dans la lagune avec la marée. Parmi ces taxons, on cite les Diatomées *Chaetoceros constrictus* (4 560 ind.l⁻¹), *C. diadema* (4 872 ind.l⁻¹), *C. lauderi* (4 768 ind.l⁻¹), *Thalassionema nitzschoides* (2 200 ind.l⁻¹). Dans la station B durant cette période chaude, on rencontre les Diatomées *Chaetoceros constrictus* (10 578 ind.l⁻¹), *C. decipiens* (3 228 ind.l⁻¹), *C. diadema* (6 336 ind.l⁻¹), *C. lauderi* (9 184 et 3 654 ind.l⁻¹), *C. socialis* (3 168 et 3 498 ind.l⁻¹), *C. teres* (1 552 ind.l⁻¹), ainsi que le Dinophycée *Prorocentrum micans* (2 669 et 9 504 ind.l⁻¹).

4.3. Structure des peuplements

? Station A

La **figure II.25a** montre que, lors de la période novembre 2000 à avril 2001, on assiste à une communauté microphytoplanctonique caractérisée par des valeurs de diversité et de régularité peu élevées, variant entre 1,68 et 2,67 bits.ind.⁻¹. C'est un peuplement peu structuré comme le confirme aussi les faibles valeurs de l'équitabilité de l'ordre de 0,3 - 0,5 (**fig. II.25a, tab. II.22 (A) annexes**).

Entre mai et octobre, lorsque les pénétrations marines envahissent la lagune, celle-ci est soumise à un apport marin faisant augmenter la diversité et tendent à restructurer le peuplement à l'avantage des formes de Dinophycées. L'indice de diversité peut ainsi atteindre des valeurs records de 4 bits.ind.⁻¹.

Alors que les pullulations ont pour effet de déstructurer la communauté et de monopoliser l'espace et la matière, d'où les faibles valeurs de l'indice de Shannon pour les mois de juin et septembre (**fig. II.25a, tab. II.22 (A) annexes**). Cette situation écologique est confirmée par la nette dominance de quelques espèces seulement telles que : *Synedra acus* (99% du stock floristique, en septembre) et *Protaspis glans* (82% du stock floristique en décembre 2001), (**tab. II.12 annexes**).

? Station B

Dans la station B l'indice de diversité a beaucoup fluctué, mais les valeurs restent de l'ordre de 2-2,5 bits.ind.⁻¹ (**figure II.25b, tab. II.22 (B) annexes**), soulignant ainsi un peuplement plus ou moins structuré. Des destructions de l'organisation du peuplement surgissent lors de crues sévères d'hiver, et ne persistent que le Dinophycée *Dinophysis sacculus* (1500 ind.l⁻¹) et la Diatomée *Chaetoceros constrictus* (1428 ind.l⁻¹). On peut assister également à une désorganisation en saison estivale causée surtout par la Diatomée *Synedra acus*

H' (bits.ind.⁻¹)

E

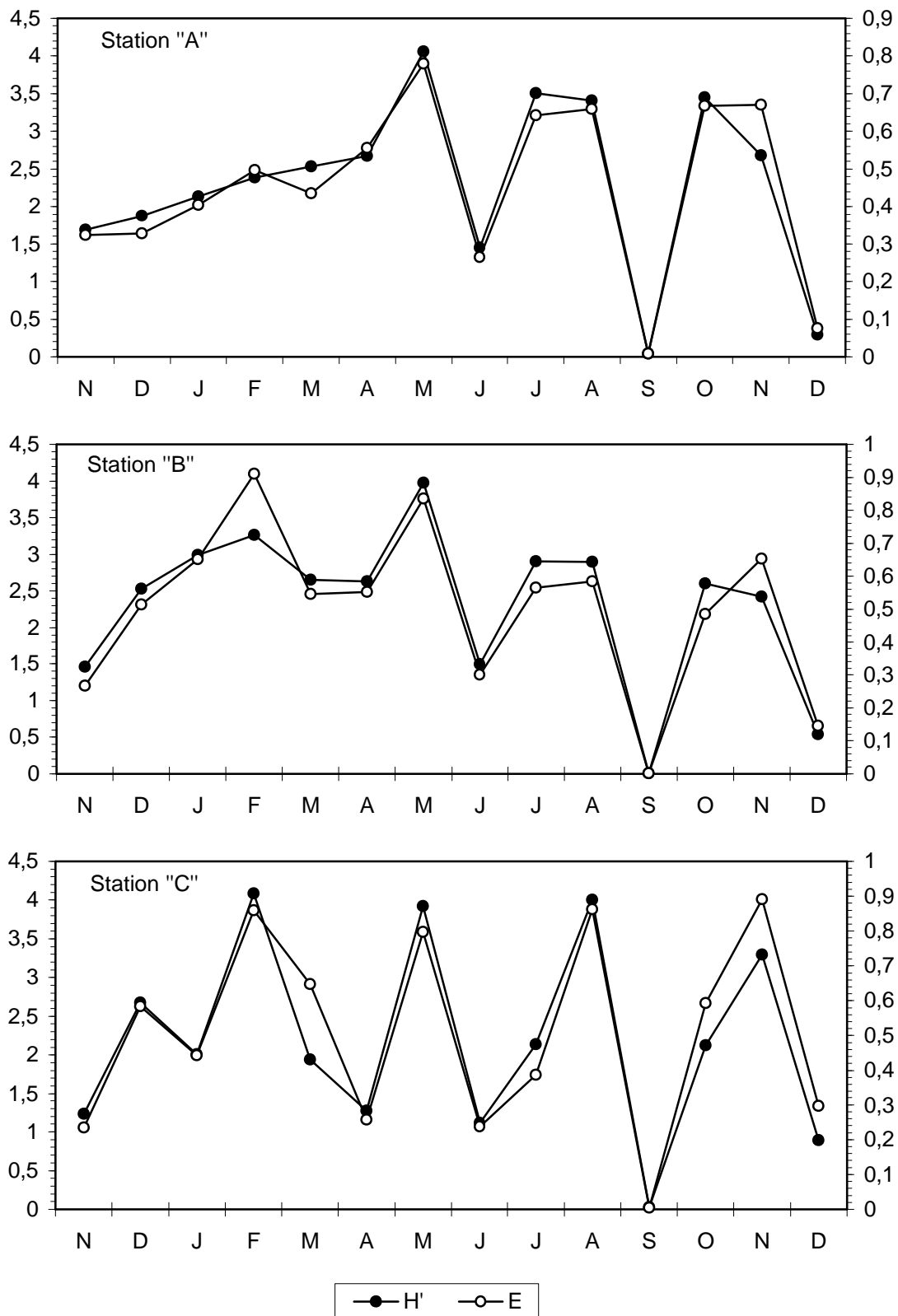


Figure II.25 : Evolution mensuelle de l'indice de diversité (H' en bits/ind.) et de la régularité (E) dans les stations A (a), B (b) et C (c) (novembre 2000 - décembre 2001).

(jusqu'à 3.10^6 ind.l⁻¹), en relation avec les changements hydrologiques avantageant les pénétrations marines enrichissant ainsi la lagune en éléments nutritifs et causant également des remous des sels nutritifs sédimentaires, grâce à l'action hydrodynamique des courants de marée.

? **Station C**

Comme pour les stations précédentes, les valeurs de l'indice de diversité dans la station C (**fig. II.25c, tab. II.22 (C) annexes**), montrent d'importantes variations temporelles. En effet, durant les mois de novembre 2000, avril, juin, août, septembre et décembre 2001, les masses d'eau sont enrichies par des populations microphytoplanctoniques déséquilibrées, avec une exploitation nutritive non équitable entre les espèces. Cet état est ainsi confirmé par des valeurs faibles des indices de diversité ($<1,27$ bits.ind.⁻¹) et de régularité ($<0,29$) (**fig. II.20c**). C'est une situation qui est induite par la dominance de quelques espèces de Dinophycées seulement comme : *Alexandrium tamarense*, *Gymnodinium splendens*, *Protoperidinium* sp., *Prorocentrum micans* et *P. scutellum*, et de Diatomées : *Coscinodiscus* sp. et *Synedra* sp. (**tab. II.19 annexes**).

Par ailleurs, dans les prélèvements du mois de février, mai et novembre 2001, on délimite une troisième évolution attestant alors un peuplement bien structuré.

5. Echanges des peuplements phytoplanctoniques avec le littoral adjacent

Les études antérieures ont tenté de cerner le problème des échanges à travers un suivi de tout un cycle tidal pour les périodes d'automne, d'hiver et du printemps 1997 ([Rétima, 1999](#)). La période d'été n'a pas été étudiée, pour cette raison une campagne d'été 1999 (22-25 août) a été consacrée, pour la problématique du fonctionnement, en insistant sur les échanges d'eau et de plancton. Ce compartiment a été échantillonné pendant treize marées semi-diurnes consécutives. Il s'agit donc, de mesurer les influences réciproques de la lagune et le littoral contigu. En effet, le Mellah est sous la dépendance des pénétrations marines agissant comme cordon d'alimentation en eau et en peuplements. Inversement, il est clair que le littoral adjacent à la lagune s'entretient et s'enrichit essentiellement des extrusions lagunaires rythmées par la marée.

Le phytoplancton a été échantillonné aux maxima et aux étales de treize marées semi-diurnes successives, cela correspond à 26 échantillons. La stratégie d'échantillonnage et les principaux résultats sont présentés sous forme d'article préparé en collaboration avec d'autres chercheurs. L'article a été soumis et accepté pour publication dans le *Journal de Recherche Océanographique*, en attendant sa parution, on se contente de présenter dans ce qui suit l'épreuve du manuscrit sous sa forme agréée.

TRANSPORT DU PHYTOPLANKTON ENTRE TREIZE ÉTALES SUCCESSIVES DE MAREE ENTRE LA LAGUNE MELAH ET LE LITTORAL (MEDITERRANEE SUD-OCCIDENTALE) DURANT L'ÉTE 1999.

OUNISSI M., RETIMA A., DRAREDJA B., MESSERER Y., HARIDI H., ZIOUCH O-R., KHELIFI-TOUHAMI M.

Département des sciences de la mer, Université d'Annaba, B.P. 12, Annaba 23000, Algérie
Email : ounissi_mk@yahoo.com

Mots clés : Hydrologie, phytoplancton, courants de marée, lagune Melah, Méditerranée

Résumé : L'échange entre la lagune Melah et le littoral en phytoplancton, sels nutritifs, azote organique dissous et en carbone organique particulaire a été étudié dans une station fixe du chenal de la lagune Melah au cours de treize étales successives de marée (22 au 25 août 1999). Les échantillons ont été prélevés au rythme de la demi-phase de marée pendant 74 heures successives. La marée a montré un régime semi-diurne permettant un échange journalier d'environ 105 000 m³. Le faible renouvellement auquel s'ajoutent les apports antérieurs d'eaux continentales, a conditionné la salinité de la lagune, restant faible (29,10-30,50). La salinité de l'eau de mer transitant le chenal s'élève cependant à 37,48. Le Melah constitue ainsi un bassin de dilution. La faible salinité de la lagune et l'importance de son amplitude pour un cycle complet flot-jusant est très importante (6,50-8,30) et devrait limiter le maintien des taxons microphytoplanctoniques échangés. Les stocks de sels nutritifs et d'azote organique dissous sont quasiment épuisés cependant que les quantités de carbone organique particulaire restent importantes en particulier lors des extrusions lagunaires pouvant enrichir largement le littoral adjacent. Nous avons identifié 190 espèces phytoplanctoniques dont 112 diatomées, 71 dinophycées et 7 cyanophycées. La densité moyenne du phytoplancton de jusant est trois fois plus élevée que celle des eaux du flot. Les diatomées sont toujours plus denses en jusant qu'en flot et sont dominées principalement par les espèces de *Nitzschia*. Les intrusions d'espèces marines avec le flot sont en revanche toujours peu abondantes mais très riches en dinophycées et très diversifiées : on observe entre 60 et 98 espèces dans un seul échantillon de flot avec un indice de diversité H' moyen de 4,20. Le contingent franchement néritique recèle plus de 62 espèces. Les taxons échangés d'un écosystème vers l'autre sont sujets à de fortes disséminations, le retour au milieu d'origine n'est que très partiellement assuré. Il est clair enfin que le Melah contribue à l'enrichissement du littoral voisin même en été.

TRANSPORT OF PHYTOPLANKTON DURING THIRTEEN SUCCESSIVE TIDE SLACKS BETWEEN THE MELAH LAGOON AND THE ADJACENT COAST (MEDITERRANEAN S-W) DURING SUMMER 1999.

Key words: Hydrology, phytoplankton, tidal current, Melah lagoon, Mediterranean.

Abstract: The exchange between the Melah lagoon and the coast in phytoplankton, nutrient salts dissolved organic nitrogen and in particulate organic carbon was studied in a fixed channel station of the Melah lagoon during thirteen successive tide slacks (22-25 August, 1999). Within the scale of semi-tidal phase, samples were continuously taken during 74 hours. Tidal regime was found semi-diurnal, inducing a diurnal exchange of about 105 000 m³. On the other hand, anterior continental freshwater input and the weak renewing of the water volume in the lagoon have conditioned the salinity, keeping it low (29.10-30.50). Hence, the Melah lagoon represents a dilution basin. Marine water passing through the channel has a high salinity (37.48). The low salinity values and its magnitude into a whole flood-ebb tide cycle (6.5-8.3) could limit the persisting of the exchanged microphytoplanktonic taxa. Nutrients stocks were depleted while the COP concentration remains important in particularly in lagoonal exportation, which enriched largely the adjacent coast. We have identified 190 phytoplanktonic species with 112 diatoms, 71 dinophyceae and 7 cyanophyceae. The mean density of phytoplankton in ebb tide was three times higher than in the flood one. Diatoms were more abundant in the low tide and essentially dominated by *Nitzschia* species. Marine species intrusions, in flood phase, present low densities but were very rich in dinophyceae species: 60-98 species will be advected in flood phase samples, in which the diversity index reaches high values (mean H' values up to 4.20). Neritic contingent comprises over 62 species. The exchanged taxa between the Melah and the adjacent shelf seem to be submitted to strong dissemination and the rate of return to medium background is very weak. It appears finally, that the Melah lagoon contributes, even in summer, to enrich the neighboring coast.

INTRODUCTION

La lagune Melah forme une étendue d'eau saumâtre qui communique avec la mer par un chenal long et étroit n'assurant ainsi qu'un faible débit (0,5 à 3,5 m³.s⁻¹). Cet écosystème essentiellement exploité pour la pêche,

constitue un laboratoire naturel où les phénomènes écologiques sont souvent répétitifs, aux rythmes de la marée et de la saison. De plus, le Melah semble épargner des influences

anthropiques, excepté les intrusions de fertilisants agricoles lors des crues. La lagune a ainsi suscité beaucoup d'intérêts scientifiques (Gimazane, 1982 ; Cataudella, 1982 ; FAO, 1982 ; Semroud, 1983 ; Guelorget *et al.* 1989, Samson-Kechacha & Touahria, 1992). Ces études n'ont cependant pas considéré l'importance que constitue la marée, en particulier après l'aménagement du Melah en 1988. Pour l'aménagement, la FAO (1982) a étudié (sur un cycle complet de marée en octobre 1982) les échanges mer-lagune et a estimé un renouvellement mensuel de toute la masse d'eau avec un échange journalier de 900.000 m³.

Par ailleurs, les récentes études du zooplancton des estuaires, lagunes et milieux côtiers ouverts à l'océan se sont intéressées aux transports, dispersions, échanges et aux zones d'accumulation de plancton selon l'advection tidale et la circulation des masses d'eaux (Lagadeuc, 1992 ; Dewarumez *et al.* 1993 ; Marcano & Cazaux, 1994 ; Thiebaut *et al.* 1994). Le devenir des peuplements et des biomasses phytoplanctoniques n'a pas fait encore l'objet de recherche en milieux lagunaires méditerranéens.

Dans la lagune Melah, les échanges phytoplanctoniques (qualitatifs, liste d'espèces, présence-absence) à l'échelle de la phase de marée ont été étudiés par Rétima (1999) mais ne concernent pas la situation estivale.

Par ailleurs aucune hydrologie n'a été réalisée après l'aménagement du chenal en 1988. Les projets nationaux entrepris en 1996 ont pour objectif l'évaluation écologique de la lagune en rapport avec les échanges marins supposés intensifiés après les récents aménagements (Ounissi *et al.* 2002 ; Ounissi *et al.* sous presse).

D'autre part, les suivis des échanges mer-lagune (hydrologiques, chimiques et planctoniques) à partir de trois cycles de marée représentant trois saisons, semblent insuffisants (Ounissi & Rétima, 2001 ; Ounissi *et al.* 2002) et incitent à tenir le plus grand compte de la situation estivale pour une meilleure compréhension du fonctionnement hydrologique et écologique du milieu. De plus, Ounissi & Khélifi-Touhami (1999), en étudiant l'écologie du plancton du littoral adjacent, ont souligné le fait qu'une station située sur le parcours des extrusions du Melah, étant plus riche que le reste des stations plus éloignées des influences des exportations lagunaires. Ces constatations incitent aussi à s'intéresser aux contributions du lac Melah dans l'enrichissement du littoral contigu.

Nous étudions ici le suivi des échanges hydrologiques et phytoplanctoniques sur plusieurs jours successifs. L'objectif principal de cette étude est de (1) préciser le fonctionnement hydrologique en été et (2) d'établir le déterminisme des échanges en phytoplancton entre la lagune et le littoral voisin.

MATERIEL ET METHODES

Le milieu

Les principales caractéristiques d'après aménagement du Melah ont été décrites dans les travaux de Ounissi *et al.*,

2002 et Ounissi *et al.* (sous presse). Le lac Melah forme une étendue d'eau saumâtre de 876 ha qui communique avec la mer par un chenal long et étroit, n'assurant ainsi qu'un faible débit (figure 1). Le régime hydrologique est variable selon les conditions météorologiques, d'une part, et l'échange avec la mer d'autre part. La lagune devient peu sensible aux intrusions marines lors de la période pluvieuse. De même, la diminution des apports marins par colmatage du chenal de communication avec la mer aboutirait à des problèmes écologiques aigus : diminution de la salinité du lac et des échanges biologiques, mauvais renouvellement des eaux, etc.

Le renouvellement mensuel attendu par les travaux de la FAO (1982) devrait augmenter la salinité de la lagune, auparavant de l'ordre de 25-27. Dix ans après l'aménagement (1997), le Melah ne se renouvelle en revanche qu'en 10 mois (Ounissi *et al.*, 2002) et sa salinité diminue lors des crues saisonnières jusqu'à 21.

La côte adjacente, à plateau continental relativement étroit (figure 1), est affectée par un courant dirigé vers l'Est dont la vitesse est de l'ordre de 10-25 cm.s⁻¹ (Ounissi et Khélifi-Touhami, 1999). La lagune reçoit ainsi l'eau marine provenant de l'ouest et ses extrusions en jusant sont évacuées vers l'Est.

Sur le plan économique, la pêche de poissons néritiques dans la lagune en 1999 a diminué jusqu'à un rendement qui ne dépassant pas 16 kg.ha⁻¹ (Office National de Développement de la Pêche et de l'Aquaculture : ONDPA, com. pers., 2000).

Méthodes de prélèvement et d'analyse

Une station-chenal fixe a fait l'objet de relevés hydrologiques (température, salinité, vitesse et direction du courant), toutes les demi-heures, sur 80 heures correspondant à la période 22-25 août 1999. La station A (figure 1), est située au milieu du chenal, à 400 m environ de la mer, profonde de 1 m.

Les méthodes de mesures hydrologiques sont expliquées dans une étude complémentaire (Ounissi *et al.*, sous presse).

Les prélèvements d'eau destinée aux analyses chimiques (nitrites, nitrates, azote ammoniacal, azote organique dissous (NOD) et carbone organique particulaire (COP) ont été effectués à chaque demi-phase de marée (2 à 3 heures), aux étales et aux maximums de courants de marée. Il s'agit en fait d'un suivi eulérien qui consiste à observer une structure spatiale mobile qui défile devant le point d'observation (Frontier & Pichod-Vialae, 1991).

Chaque échantillon du phytoplancton correspond à un prélèvement de 200 litres d'eau de surface. L'échantillon est ensuite filtré sur tissu à maille de

20 µm et le contenu du filtrat et conservé dans une solution de formol à 4%. Les échantillons ont été analysés sur deux fractions représentant chacune 5 à 10 % du volume total. Les numérations sont effectuées dans une cuve spécialement confectionnée, et rapportées à la cellule par litre ou ind.l⁻¹. L'identification des espèces est basée sur les ouvrages et publications suivants : Sournia (1986) ; Ricard (1987) ; Larsen et Moestrup (1989) ; Thomsen (1992) ; Menezes & Domingos (1994) ; Jomas (1997). Seules les espèces ayant une taille supérieure à 20 µm ont été déterminées. Les formes nano- et picoplanctoniques n'ont pas donc été considérées dans ce travail. La diversité spécifique est estimée par l'indice de Shannon.

L'échantillon de la première étale du jusant (5h 30 mn) du 25 août a été perdu suite à une mauvaise conservation.

RESULTATS

Régime de marée, échanges hydrologiques et chimiques

La marée montre un régime semi-diurne (Tableau I) avec des cycles complets (jusant-flot) successifs très inégaux. Ce régime résulte de l'interaction entre le niveau de remplissage de la lagune et la marée astronomique. On constate d'autre part qu'une marée permet d'échanger en moyenne 52 500 m³ (Tableau I).

Les apports d'eau douce et le mauvais renouvellement de la lagune expliquent la faible salinité de la lagune (29,10 et 30,25). La salinité de la mer (eau du flot) atteint 37,48. On peut estimer la fraction d'eau douce présente en chaque moment dans le lac comme dans chenal lors du jusant. Cette fraction est donnée par l'équation de Giovanardi & Tromellini (1992) :

$$F (\%) = 100 (S - s) / S \quad (1)$$

où F est la fraction d'eau douce, S la salinité de l'eau de mer et s la salinité de l'échantillon ou de l'eau du jusant. Le tableau II donne les caractéristiques des échanges hydrologiques entre la lagune et la mer pour les différentes situations tidales.

Les teneurs en azote ammoniacal (NH₃ + NH₄⁺), en azote nitreux (NO₂⁻) et en orthophosphates (PO₄³⁻) sont pratiquement en dessous du seuil de détection (données non représentées). Il semble que ces formes de sels soient épuisées dans les milieux étudiés. Les teneurs en ions nitrates (NO₃⁻) sont globalement faibles au cours de la période d'expérience. Les valeurs n'excèdent pas 1,4 µmoles. l⁻¹ (Tableau I), les concentrations de flot sont généralement plus élevées que celle de jusant, en particulier pour une phase de marée considérée (flot-jusant). Les analyses ont été faites selon Parsons *et al.* (1989).

Le phytoplancton a été prélevé en même temps que l'eau destinée aux analyses chimiques.

Les valeurs de concentrations en NOD, sont également très faibles et se situent pour la plupart en dessous de la limite de détection de la méthode (Tableau I). Les

concentrations en NOD et en COP augmentent avec le courant de jusant et diminuent avec le courant de flot.

Peuplements phytoplanctoniques

Composition, abondance et structure du phytoplancton

L'observation des 24 échantillons du phytoplancton a permis d'identifier 190 taxons (Tableau II). Parmi les taxons recensés on compte 112 diatomées pour la plupart des espèces d'affinité benthique. On récolte aussi 71 taxons de dinophycées et seulement 7 taxons de cyanophycées. La plupart des dinophycées ont de faibles tailles telles que *Prorocentrum* spp., *Dinophysis* spp., *Gymnodinium* spp., *Gonyaulax* spp. à l'exception des *Ceratium* spp. et des *Protoperdinium* spp., etc. Les cyanophycées *Oscillatoria* spp. sont nombreuses (10 formes) mais n'ont pas été déterminées.

Sur le plan de l'affinité écologique des espèces, (Tableau II), on peut retenir trois grands contingents. (1) Les espèces d'affinité marines toujours dominantes dans les eaux du flot (repérées sur le tableau II par M). Il s'agit de plus de 62 espèces (soit 33% du peuplement total) composées essentiellement de *Hemiaulus hauckii*, *H. sinensis*, *Ceratium* spp., *Protoperdinium* spp., *Oxytoxum*, etc. (2) Les espèces d'affinité lagunaire qui toujours plus fréquentes dans les jusants comprenant 20 espèces seulement (soit 10% du peuplement total). (3) Les 108 taxons restant colonisent les deux milieux avec plutôt une dominance dans les eaux du flot.

La figure 2 présente l'abondance du phytoplancton, le pourcentage d'abondance des trois classes du phytoplancton, le nombre d'espèces et l'indice de diversité spécifique. Le phytoplancton montre de faibles effectifs (110-2140 ind.l⁻¹), il est largement dominé par les diatomées (80-1762 ind.l⁻¹) pendant toute la période du suivi, à l'exception de deux flots dans lesquels les dinophycées sont plus abondants (figure 2). Les cyanophycées sont régulièrement présents et constituées principalement par *Oscillatoria* spp., avec de faibles effectifs (27 ind.l⁻¹ maximum, données non représentées).

Les diatomées sont généralement les plus denses en particuliers dans les eaux du jusant. Alors que les dinophycées, constituent une fraction importante, dans certains flots, variant entre 5 et 87%. Les plus forts pourcentages d'abondances accompagnent l'eau du flot, ce qui atteste de leur caractère néritique (figure 2).

Il faut bien remarquer en outre que l'importance des densités des flots (maximum flot) est directement liée aux volumes de phases (Tableau I), c'est-à-dire que les grands flots entraînent toujours des abondances beaucoup plus élevées

que les flots de courte durée. Les étales de flot en effet sont toujours très pauvres : 110-690 ind. l⁻¹.

La richesse des maximum flots est à relier à un apport supplémentaire d'une certaine fraction du plancton du jusant précédent. Cette situation est généralisable à tous les flots sauf lorsque l'étales du jusant dure assez longtemps (1h 30).

Le maximum d'espèces est généralement observé lors des francs flots (12 cas) et des francs jusants. Cette richesse s'explique par le mélange du contingent lagunaire auquel s'ajoutent les espèces retournées de l'étales du flot précédent. De même, le nombre le plus élevé d'espèces est rencontré au maximum de flot en raison des ajouts néritiques et des espèces de l'étales du jusant retournées et mélangées avec le maximum de flot consécutif. On observe dans ces conditions des richesses de collections variant entre 65 et 98 espèces (figure 2).

Sur le plan structure du peuplement, on note toujours une diversité élevée dans les récoltes du flot (figure 2). Cette diversité atteint des valeurs très élevées ($H' = 3,3-5,7 \text{ bit.ind}^{-1}$) lors des francs flots. Lorsque l'on examine les peuplements récoltés dans les jusants, on observe de faibles diversités de collectes (1,5 et 3,83 bit.ind^{-1}) traduisant une mauvaise structuration du contingent lagunaire.

Echanges mer-lagune en taxons phytoplanctoniques

L'évolution des échanges en espèces principales de diatomées est consignée dans la (figure 3). Il faut souligner la prépondérance des espèces de *Nitzschia* en particulier *Nitzschia* sp. qui constitue une proportion variant de 45 à 85%. Ce genre apparaît en abondance lors des transports de jusants. A l'inverse de *Nitzschia* sp., la population de *N. closterium* semble coloniser les deux milieux mais plus fréquente plutôt dans les eaux de haute (données représentées avec la courbe de *Nitzschia* spp.). *Coscinodiscus* spp. et *Rhizosolenia stolterfothii* pénètrent régulièrement avec les advections marines (Tableau II) et montrent des fréquences assez élevées, allant jusqu'à 24%. A l'opposé de ces deux diatomées, les espèces de *Chaetoceros*, sont entraînées régulièrement avec le courant de jusant avec de faibles proportions (jusqu'à 8%). *Amphora* spp., *Budulphia* spp. et *Navicula* spp. sont présentes régulièrement dans les pénétrations marines avec de faibles fréquences (figure 3). Ces taxons d'affinité benthique littorale semblent être soumis aux turbulences des eaux, au rythme de la marée et se trouvent de ce fait, emportés par le courant de flot. Le jusant consécutif n'assure qu'un retour très partiel de la fraction initial. *Licmophora communis* et *Hemiaulus* spp. parviennent toujours en plus grands nombre avec les entrées marines, ces populations sont rares dans l'eau du jusant (figure 3). De même, *Guinardia flaccida* et *Plagiotropis leptodera* sont assez fréquentes en marée montante.

Si les diatomées sont très riches, elles comprennent cependant 86 espèces rares dont leur fraction globale n'excède pas 5%. Par ailleurs, ces espèces sporadiques et occasionnelles parviennent notamment lors des

pénétrations marines. Ce contingent d'espèces rares subit une forte dilution dans la lagune.

Si l'on excepte *Dinophysis* sp. et *Dinophysis punctata* l'ensemble des taxons de dinophycées sont d'origine marine comme le montre l'évolution de leur pourcentage d'abondance dans les eaux du flot (figure 4). Les dinophycées sont constitués essentiellement de taxons d'origine néritique tels que : *Scropsiella sweeneyae*, (0 à 43%), *Protogonyaulax tamarensis* (0 à 28%), *Dinophysis* sp. (1 à 15%) et *Dinophysis punctata* (figure 4). Ce contingent est presque présent régulièrement dans les récoltes du flot. D'autres dinophycées (*Protaspis*, *Protoperedinium*, *Ceratium*, *Gymnodinium*, *Pyrophacus*, *Diplopsalis lenticula*) sont peu abondantes et appartiennent également aux contingents néritiques, entraînés par la marée montante dans la lagune (figure 5). Les dinophycées sont soumis à une dilution dans la lagune et probablement une mortalité.

Les cyanophycées sont représentées en grande partie par les Oscillatores *Oscillatoria* spp.. *Katagnimen* sp. montre en revanche un caractère néritique et apparaît plus abondante en flot à l'inverse de *Anabaena* (données non représentées) qui n'est présente que dans les eaux de basse mer en très faible proportion par ailleurs.

Les diatomées *Climacosphenia monoligera*, *Hemiaulus sinensis*, *H. hauckii*, *Eucampia zodiacus*, *Synedra* spp., *Rhizosolenia* spp., *Cocconeis scutellum*, *C. placentula*, *Pleurosigma directum*, *Ceratolina pelagica*, *Lyrella clavata*, *L. robertsiana* et *L. sp.*, *Rhoiconeis sponsalia*, *Achnanthes brevipes*, *A. sp.*, sont très faiblement présentes dans les eaux du flot et ne retournent jamais avec la marée basse en raison de leur faible fréquence, facilitant leur dilution dans la lagune (Tableau I).

DISCUSSION ET CONCLUSION

La forte amplitude de salinité d'un cycle complet flot-jusant (7,62) souligne le comportement d'un bassin de dilution. Cet écart devrait limiter le maintien des taxons phytoplanctoniques échangés entre la lagune et la mer.

Le suivi des échanges hydrologiques en hiver et au printemps 1996/97 (Ounissi *et al.*, 2002 ; Messerer, 1999) montre que le Melah présente un bilan hydrologique positif et fonctionne comme un bassin de dilution. La présente étude montre aussi que ce renouvellement a diminué de 88%. Parallèlement, la salinité a diminué de 4 unités et la pêche de poissons marins a diminué de 80% de 1990 à 1999 (ONDPA, com. pers.).

Si les lagunes méditerranéennes tombent généralement en eutrophisation en période estivale, la lagune Melah se distingue par son

caractère oligotrophe avec l'épuisement du stock de sels nutritifs et de NOD. Malgré le renouvellement des eaux, la lagune semble être sévit par des phénomènes de confinement estival et reçoit ainsi les éléments vitaux de la mer telle que les NO_3^- par exemple.

Lorsque l'on examine les peuplements phytoplanctoniques d'été, l'inventaire comprend 190 taxons, dont la taille est comprise généralement entre 30 et 100 μm . La majorité des espèces appartiennent aux diatomées dont beaucoup d'entre elles ont une affinité benthique. Ces formes de diatomées sont toujours fréquentes en milieu lagunaire comme le soulignent Mallissen & Lasserre (1979). Il semble que la richesse des diatomées serait liée non seulement aux turbulences rythmées par le régime de la marée (entraînant les formes benthiques et tychopélagiques dans la colonne d'eau) mais aussi à leur aptitude à puiser directement les nutriments à l'interface eau-sédiment (Mallissen & Lasserre, 1979 ; Bonin, 1988).

Cet inventaire bien que limité dans le temps et dans l'espace, comprend une richesse spécifique très importante et concorde ainsi avec les constatations de Margalef (1994) assimilant la Méditerranée pour une grande « forêt d'Amazonie océanique » à forte richesse phytoplanctonique.

Sur le plan écologique, on rencontre plus de 40 espèces d'affinité marine qui ont toujours dominé dans les eaux du flot, il s'agit essentiellement de *Hemiaulus* spp., *Ceratium* spp. et *protoperidinium* spp. Ces dinophycées connaissent ainsi une forte dissémination dans la lagune. Les espèces d'affinité lagunaire sont peu nombreuses (20) et sont toujours plus fréquentes dans les récoltes de jusant, à la différence des travaux de Guelorget et Perthuisot (1983) recensant seulement 10 espèces dans le Melah.

D'autre part, la composition du phytoplancton étudié est très comparable (59% de diatomées) à celle de Travers & Kim (1988) concernant la prépondérance des diatomées (61% du peuplement total) et les cyanophycées.

D'un point de vue structure du peuplement, on relève toujours une diversité élevée dans les collectes du flot par rapport à celles du jusant. L'indice de diversité de Shannon a ainsi fluctué seulement entre 1,5 et 3,8 pour les peuplements du jusant alors que celui du flot présente des valeurs très élevées, de l'ordre de 4,5.

La raréfaction des ressources nutritives permet aux espèces peu exigeantes à se développer dans les conditions d'oligotrophie du Melah. Les compétences adaptatives et la spécialisation (utilisation de la matière organique dissoute : Bonin, 1988) engendrent une diversité importante que l'on retrouve au niveau du site étudié. En effet le système se complique par sa grande diversité et permet une spécialisation, en phase finale de succession phytoplanctonique (Margalef, 1958 ; Frontier & Leprêtre, 1998).

En termes d'échange spécifique, la lagune exporte essentiellement les diatomées, toujours plus fréquentes en eau du jusant. A l'inverse, les dinophycées sont pour

la plupart d'affinité néritique, fréquents dans les eaux du flot.

Le mélange des peuplements lagunaire et littoral est très important et s'observe entre la succession étale jusant - franc flot. A l'opposé, il n'existe pas un mélange significatif de peuplements lors de la succession étale flot-franc jusant en raison de l'importance numérique des peuplements lagunaires.

Au cours du transport tidal mer-lagune, on peut remarquer la dissémination entière ou en grande partie de plusieurs taxons marins : *Coscinodiscus* spp., *Rhizosolenia* spp., *Licmophora* spp., *Guinardia flaccida*, *Cymatosira lorenziana*, *C. monilegira*, *Thalassiosira decipiens*, *Leptocylindricus danicus*, etc.

A l'opposé, beaucoup de taxons entraînés en jusant vers la mer avec de fortes densités subissent le même sort (*Nitzschia* spp., *Dinophysis* sp., *Pleurosigma* spp., *Gyrosigma* spp., *Melosira* spp., *Chaetoceros* spp., *Biddulphia* sp., etc.). Cette tendance serait imputable au transport advectif par le courant côtier de direction Est entraînant la masse d'eau avec ses peuplements vers l'Est. La stratégie d'échantillonnage adoptée prévoit cette dynamique d'échange. Les prélèvements effectués au maximum de courants, s'observant généralement 2-3 heures après l'étale de courant précédente. Cette stratégie d'échantillonnage permet d'avoir une image sur les taxons de la phase en présence (pleine ou basse mer) en plus de la fraction éventuellement retournée de la phase précédente. En revanche, les prélèvements des étales de courants de marées (vitesses nulles) sont supposés refléter une image aussi fidèle que possible des contingents lagunaires en étale de jusant ou les contingents néritiques en étale de flot. Il est possible qu'à la fin de la basse mer, l'eau de l'étale de jusant comprenne les peuplements du centre et même des confins de la lagune. En effet, un courant de jusant de vitesse 20 $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$, coulant pendant 6 heures, parcourt toute la lagune. De même, lorsque le courant de flot aura coulé pendant toute la phase (3-6 heures), à son étale, l'eau entraîne les peuplements néritiques les plus lointains provenant de l'Ouest du plateau continental d'El-Kala en raison de la direction est du courant littoral au voisinage du Melah. Tandis que l'eau de jusants arrivée à la côte, est rapidement entraînée vers l'Est : les eaux pénétrant la lagune sont donc celles qui proviennent de l'Ouest.

Enfin, cette étude montre clairement que le phytoplancton doit être observé dans une échelle de temps très serré, à l'échelle de la demi-phase de marée, pendant une semaine de chaque saison pour une meilleure compréhension des phénomènes de successions et de biodiversité locales.

Le bilan des échanges en microphytoplacton et en COP montre que la lagune contribue à l'enrichissement du littoral voisin même en été. D'autre part, cette étude s'est limitée aux grandes tendances des échanges hydrologiques et phytoplanctoniques lagune-littoral adjacent, des études ultérieures d'analyse spectrale de séries chronologiques et de modélisation de signaux de systèmes complexes permettront de mieux comprendre les interactions entre ces milieux de maturités différentes.

Remerciements : Ce travail a été entrepris dans le cadre du programme Ecomelah (contrat ANDRU PNR2 CU 39802 et contrat MESRS N° F 2301/04/2000). Les auteurs remercient M. B. Djefjel Directeur du Parc National d'El-kala et la direction du LEM d'Annaba pour leur collaboration logistique et documentaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BONIN, D.-J. 1988. Rôle du phosphate organique dissous dans la production primaire. –*Oceanis*, **14** (2) : 381-387.
- CATAUDELLA, S. 1982. *Rapport de la mission effectuée du 19 au 29 octobre en Algérie (lac Melah et lac Oubeira)*. –FAO / MEDRAP, 37 pp.
- FAO. 1982. *Lac Melah : mise en valeur au titre de la pêche et de l'aquaculture*. –Rapport FAO/ MEDRAP N°79/033. RV/DEC.
- FRONTIER, S. & PICHOD-VIALAE, D. 1991. *Ecosystèmes. Structure, fonctionnement, évolution*. Ed. Masson, Paris, 392 pp.
- FRONTIER, S. & LEPRETRE, A. 1998. Développements récents en théorie des écosystèmes. –*Ann. Inst. Océanogr., Paris*, **74** (1) : 43-87.
- GIMAZANE, J.-P. 1982. *L'exploitation conchylicole du lac Melah, Algérie*. –Rapport de mission FAO (MEDRAP), juin 1982, 13 pp.
- GIOVANARDI, F. & TROMELLINI, E. 1992. An empirical dispersion model for total phosphorus in a coastal area: the Po River-Adriatic system. In: *Marine Coastal Eutrophication*, (Vollenweider R.A., Marchetti, R. & Viviani, R., eds) Bologna (Italy), 21-24 March 1990, 201-210.
- GUELORGET, O., FRISONI, G.F., XIMENS, M.C. & PERTHUISOT, J.P., 1989. Expressions biologiques du confinement dans une lagune méditerranéenne : le lac Melah (Algérie). –*Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, **22** (2) : 87-99.
- GUELORGET, O. & PERTHUISOT, J.-P. 1983. *Le domaine paralique. Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement*. –Travaux du laboratoire de géologie, **16**, presse de l'Ecole Normale Supérieure, Paris : 136 pp.
- JOMAS, C.R., 1997. *Identifying marine phytoplankton*. Academic press, California, 858 pp.
- LARSEN, J. & MOESTRUP, J., 1989. *Guide to toxic and potentially toxic marine algae*. –The fish inspection service, Ministry of Fisheries, Denmark, 61 pp.
- MALLISSEN, M.O. & LASSERRE, P., 1979. Evolution saisonnière des populations de diatomées benthiques dans les lagunes aménagées de Certes. –*Pub. Sci.Tech., CNEXO, Actes colloq.*, N° 7 : 543-558.
- MARCANO, G. & CAZAUX, C. 1994. Influence de l'advection tidale sur la distribution des larves d'Annélides Polychètes dans les chenaux du bassin d'Arcachon. –*Bulletin de la Société zoologique française*, **119** (3) : 263-273.
- MARGALEF, R. 1958. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. In: *Perspectives in marine biology*, (Buzzati-Traverso A.A., ed.) University California Press, Berkeley, 323-349.
- MARGALEF, R. 1994. Through the looking glass: how marine phytoplankton appears through the microscope when graded by size and taxonomically sorted. –*Scientia Marina*, **58** (1-2): 87-101.
- MENEZES, M. & DOMINGOS, P. 1994. La flore planctonique d'une lagune tropicale (Brésil). –*Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, **22** (2) : 273-297.
- MESSERER, Y., 1999. *Etude hydrologique du lac Melah et du lac Oubeira (Algérie)*. –Thèse de Magister, Université d'Annaba (Algérie), 123 pp.
- OUNISSI, M. & KHELIFI-TOUHAMI, M., 1999. Le zooplancton du plateau continental d'El-kala (Méditerranée sud-occidentale). Composition et abondance en mai 1996. –*J. Rech. Océanogr.*, **24** (1) : 5-11.
- OUNISSI, M. & RETIMA, A., 2001. Variabilité des sels nutritifs et des matières organiques dans la lagune Melah. Importance des échanges avec la mer. –*J. Rech. Océanogr., Paris*, n° sp. **26** (3) : 45.
- OUNISSI, M., HARIDI, A. & RETIMA, A., 2002. Variabilité du zooplancton de la lagune Melah (Algérie) selon l'advection tidale en hiver et au printemps 1996-1997. –*J. Rech. Océanogr.*, **27** (1) : 1-13.
- OUNISSI, M., RETIMA, A., DRAREDJA, B., MESSERER, Y., HARIDI, H. & KHELIFI-TOUHAMI, M. Echanges tidaux entre la lagune Melah et le littoral (Méditerranée sud-occidentale). Transport du zooplancton pendant treize étales successives de marée durant l'été 1999. –*J. Rech. Océanogr.*, Paris, sous presse.
- PARSONS, T.R., MAITA Y. & LALLI, C.M. 1989. *A manual of chemical and biological methods for sea water analysis*. Pergamon Press, 173 pp.
- RETIMA, A., 1999. *Incidences des échanges hydrologiques, chimiques et phytoplanctoniques sur la fertilité de la lagune Melah et du littoral voisin (El-Kala, Algérie)*. –Thèse de Magister, Université d'Annaba (Algérie) : 87 pp.
- RICARD, M., 1987. *Atlas du phytoplancton marin. Vol. II. Diatomophycées*. CNRS, Paris, 297 pp.
- SEMROUD, R., 1983. Contribution à l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens : le lac Melah (El-Kala, Algérie). –Thèse 3ème cycle, USTHB, Alger, 137 pp.
- SOURNIA, A. 1986. *Atlas du phytoplancton marin. Vol. I. Cyanophycées, Dictyocophycées, Dinophycées et Raphidophycées*. CNRS, Paris, 219 pp.
- TRAVERS, M. & KIM, K.-T. 1988. Le phytoplancton du golfe de Fos (Méditerranée Nord-occidentale). –*Marine Nature* **1** (1) : 21-35.
- THOMSEN, H.A. 1992. *Plankton i de indre danske farvande. Analyse of forekomsten of algae of heterotrofe protister (ekskl. Ciliater) i kattegat*. **11**, Miljøministeriet Miljøstyrelsen, Denmark, 331 p.
- THIEBAUT, E., DAUVIN, J.-C. & LAGADEUC, Y. 1994. Horizontal distribution and retention of *Owenia fusiformis* larvae (Annelida: Polychaeta) in the Bay of Seine. –*J. mar. Biol. Asso., U.K.*, **74**: 129-142.

Envoyé le: 19 juillet 2002

Accepté le: 28 juillet 2004

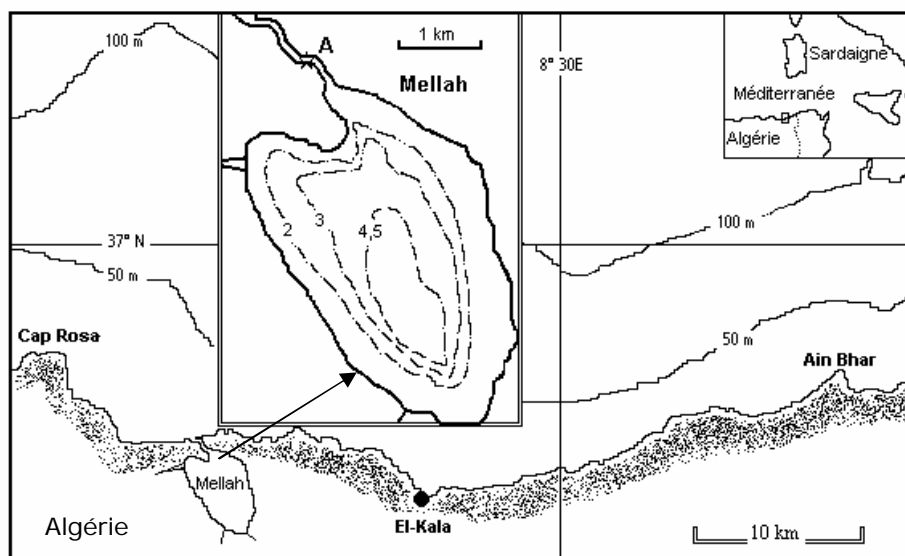


Figure 1 : Situation géographique de la lagune Melah, localisation de la station-chenal (A) et position des principales isobathes de la lagune et du plateau continental d'El-Kala.

Figure 1: Geographical location of the Melah lagoon, position the fixed-channel-station (A) and the principal isolines in the lagoon and in the continental shelf of El-Kala.

Tableau I : Caractéristiques de la marée et des échanges advectifs hydrologiques qu'elle induit entre la lagune Melah et le littoral lors de la période d'étude, 22-25 août 1999. Ji : jusant 1 à 7, Fi : flot 1 à 6, Jm : valeur moyenne du jusant, Fm : valeur moyenne du flot, ? : phase de marée, T(?) : durée de phase, Vm (?) : vitesse moyenne du courant de marée, Qp (?) : volume d'eau cumulé de phase, Qd (?) : volume cumulé de phase en eau douce, Sm (?) : salinité moyenne de phase, NO₃?, NOD?, COP? : valeurs moyennes de phase des nitrates, NOD et du COP respectivement.

Table I: Characteristics of the advective tidal and hydrologic exchange between the Melah lagoon and the sea during summer experiment, 1999. J1 to J7: ebb tide 1 to 7, F1 to F6: flood tide 1 to 6, Jm: mean value of ebb tide, Fm: mean value of flood tide, ?: tidal phase, T(?): duration of phase, Vm (?): mean value of tidal current velocity, Qp (?): water volume of phase, Qd (?): freshwater volume of phase, Sm (?): mean salinity value, NO₃?: mean values of phase of nitrate, NOD?: mean values of phase of Dissolved Organic Nitrogen, COP?: mean values of phase of Particulate Organic Carbon.

?	J1	F1	J2	F2	J3	F3	J4	F4	J5	F5	J6	F6	J7	Jm	Fm
T? (heure)	7h 30	7h	5h 30	3h 30	7h	6h	6h	3h	7h	7h	5h	3h 30	7h	5h 30	5h
Vm? (cm. s ⁻¹)	15,25	20,65	13,6	9,64	15,85	18,08	13,1	5,25	14,92	19,3	9,72	8,75	15,23	13,95	13,61
Qp? (m ³)	29105	43497	22194	10935	33443	35073	23329	5103	36930	43740	14179	12630	32080	27323	25163
Qd? (m ³)	1922	162	3282	960	6390	450	5559	962	3160	360	6898	96	5130	4620	498
Sm? (P.S.U)	29,60	37,48	30	37,40	29,10	37,27	29,75	37,12	29,20	37,40	30,25	37,27	30	29,70	37,32
NO ₃ ? (µM)	0	0,16	0	0,38	0,05	0,15	0,45	1,16	0,50	0,10	0	0,025	0	0,14	0,33
NOD? (µM)	-	-	1,16	0,85	1,48	1,30	1,75	0,76	0,44	0,68	1,80	1,70	1,30	1,30	1,06
COP? (µg. l ⁻¹)	1152	652	817	357	1019	493	795	443	1177	480	678	577	758	942	500

Tableau II : Liste des taxons phytoplanktoniques identifiées dans le chenal de la lagune Melah pendant la période d'expérience (22-25 août 1999). M : espèce marine ; L : espèce lagunaire ; + : espèce abondante.

Table II: List of identified phytoplanktonic taxa in the channel-station during the experiment period (22-25 August, 1999). M: marine species; L: lagoon species; +: abundant species.

<p>? Diatomées <i>Aulacodiscus kittonii</i> (Cattam) Rattray <i>Biddulphia aurita</i> (Lyngbye) Breb. & Godey (M)⁺ <i>Biddulphia obtusa</i> (Kützing) Ralfs in Pritchard (L) <i>Biddulphia pulchella</i> Gray (L) <i>Biddulphia regia</i> (Schultze) Ostenfeld <i>Biddulphia tridens</i> (Ehrenberg) Ehrenberg <i>Biddulphia tuomeyi</i> (Bailey) Roper <i>Biddulphia</i> sp. (L) <i>Bellerochea horologicalis</i> Von Stosch (M) <i>Campylosira</i> sp. <i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey (M)⁺ <i>Eucampia zodiacus</i> Ehrenberg (M) <i>Hemiaulus hauckii</i> (Grunow) (M)⁺ <i>Hemiaulus sinensis</i> Greville (M)⁺ <i>Trigonium formosum</i> f. <i>quadr.</i> (Grev.) Hust. (L) <i>Chaetoceros constrictus</i> Gran <i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve <i>Chaetoceros brevis</i> Shütt <i>Chaetoceros mitra</i> (Bailey) Cleve <i>Chaetoceros lauderi</i> Ralfs <i>Coscinodiscus centralis</i> Ehrenberg (M)⁺ <i>Coscinodiscus thorii</i> Pavillard <i>Coscinodiscus</i> sp. <i>Cymatosira lorenziana</i> Grunow <i>Campylosira</i> sp. <i>Triceratium pentacrimus</i> f. <i>quadratum</i> (Hustedt) <i>Triceratium</i> sp. <i>Druridgea geminata</i> Donkin <i>Melosira moniliformis</i> (D. F. Müller) Agardh <i>Melosira nummuloides</i> Agardh <i>Melosira</i> sp. <i>Neostreptothea subindica</i> Von Stosch (L) <i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve <i>Rhizosolenia alata</i> Brightwell (M) <i>Rhizosolenia calcar avis</i> Schüttze (M) <i>Rhizosolenia styliformis</i> Brightwell <i>Rhizosolenia stouterfothii</i> H. Peragallo (M) <i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell (M) <i>Rhizosolenia</i> sp. (M) <i>Guinardia flaccida</i> (Cast.) Peragallo (M)⁺ <i>Lauderia borealis</i> Gran <i>Thalassiosera decipiens</i> (Grunow) J?rg. <i>Thalasiophysa hyalina</i> (Grev.) Paddock (M) <i>Leptocylindricus danicus</i> Cleve <i>Achnanthes brevipes</i> Agardh <i>Achnanthes</i> sp. <i>Cocconeis scutellum</i> Ehrenberg <i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg <i>Entomoneis alata</i> Ehrenberg <i>Entomoneis</i> sp. <i>Campylodiscus clypeus</i> Ehrenberg <i>Campylodiscus innominatus</i> Ross & Abdin <i>Campylodiscus</i> sp. <i>Surirella fastuosa</i> Ehrenberg <i>Amphora costata</i> Smith (M)⁺ <i>Amphora ostrearia</i> Cleve (M)⁺ <i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing <i>Amphora truncata</i> Greg <i>Amphora</i> sp. (M) <i>Undatella</i> sp. <i>Pinnularia</i> sp. <i>Plagiodiscus martensianus</i> Gru. & Eulenstein (L) <i>Plagiotropis leptopecta</i> (Greg.) Kuntze (M) <i>Plagiotropis</i> sp.</p>	<p><i>Pleurosigma directum</i> <i>Pleurosigma formosum</i> Peragallo (L) <i>Pleurosigma itium</i> Ricard <i>Pleurosigma</i> sp. <i>Podocystis</i> sp. <i>Trachyneis aspera</i> (Ehren.) Ehren. <i>Nitzschia bilobata</i> WM. Smith <i>Nitzschia closterium</i> (Ehren.) WM. Smith + <i>Nitzschia bacillaria paradoxa</i> Gmelin <i>Nitzschia longissima</i> Ralfs <i>Nitzschia socialis</i> Gregory <i>Nitzschia triblionella</i> Hantzsch <i>Nitzschia</i> sp. (L)⁺ <i>Pseudo-nitzschia multiseriis</i> (Hasle) Hasle (M) <i>Epithemia turgida</i> Ehrenberg (M) <i>Rhopalodia musculus</i> (Kützing) O. F. Müller <i>Climacospheonia monoligera</i> Ehrenberg (M) <i>Fragilaria</i> sp. (L) <i>Grammatophora angulosa</i> (Ehren.) Gru. (M) <i>Grammatophora marina</i> (Lyngbye) Kützing <i>Licmophora abbreviata</i> Agardh <i>Licmophora gracilis</i> (Ehren.) Gru. <i>Licmophora communis</i> (Heib) Grunow (M)⁺ <i>Rhabdonema adriaticum</i> Kützing <i>Rhoiconeis sponsalia</i> (Giffen) Medlin <i>Striatella unipunctata</i> (Lyng.) Agardh (M) <i>Synedra fulgens</i> Grunow <i>Synedra undulata</i> Bailey (M) <i>Synedra</i> sp. <i>Thalassionema frauenfeldii</i> Grunow (L) <i>Thalassionema longissima</i> Cleve & Gru. (L) <i>Thalassionema nitzschioides</i> Grunow <i>Rhoicosphenia curvata</i> Grunow <i>Cymatoneis</i> sp. <i>Diploneis crabro</i> (Ehren.) Ehren. <i>Diploneis</i> sp. (M) <i>Gyrosigma</i> sp. <i>Lyrella clavata</i> (Peragallo) Karayeva <i>Lyrella robertsiana</i> (Greville) Karayeva (M) <i>Lyrella</i> sp. (L) <i>Mastogloia grana</i> Ricard <i>Mastogloia fimbriata</i> (Brightwell) Cleve <i>Mastogloia</i> sp. (M) <i>Navicula faaensis</i> Ricard <i>Navicula frauenfeldii</i> Grunow <i>Navicula granulata</i> Bailey <i>Navicula peregrina</i> (Ehren.) Kützing <i>Navicula subforcipata</i> Hustedt ? Dinophycées <i>Amphisolenia globifera</i> Stein <i>Dinophysis accumulata</i> Clap. & Lach. (L) <i>Dinophysis caudata</i> f. <i>peden.</i> Savi.-Kent (M) <i>Dinophysis caudata</i> f. <i>acutiformis</i> Live (M) <i>Dinophysis circumsumum</i> Karsten <i>Dinophysis diegensis</i> Kofoid <i>Dinophysis exigua</i> Kof. & Skogsberg <i>Dinophysis fortii</i> Pavillard <i>Dinophysis ovum</i> Schütt (L) <i>Dinophysis punctata</i> Jörgensen (L)⁺ <i>Dinophysis sacculus</i> Stein (L) <i>Dinophysis</i> sp. (L)⁺ <i>Gymnodinium fuscum</i> (Ehrenberg) Stein <i>Gymnodinium splendens</i> Lebour <i>Gymnodinium merabile</i> Penard (L)</p>	<p><i>Gymnodinium</i> sp. (L) <i>Ceratium belone</i> Cleve (M) <i>Ceratium breve</i> (Osten. & Schm.) Schr?der (M) <i>Ceratium carriens</i> Gourret (M) <i>Ceratium contortum</i> (Gourret) Cleve <i>Ceratium declinatum</i> f. <i>normale</i> J?rg. (M) <i>Ceratium extensum</i> (Gourret) Cleve (M) <i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Clap. & Lach. (M) <i>Ceratium fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin (M) <i>Ceratium hexacanthum</i> Gourret <i>Ceratium inflatum</i> (Kofoid) J?rgensen <i>Ceratium karsteni</i> (Schiller) Pavillard <i>Ceratium longirostrum</i> Gourret (M) <i>Ceratium macroceros</i> (Ehren.) Vanhöffen <i>Ceratium massiliense</i> (Gourret) J?rgen. (M) <i>Ceratium pagellanum</i> Gourret <i>Ceratium pleuroseras</i> Schrank <i>Ceratium teres</i> Kofoid <i>Ceratium tripos</i> (O. F. Müller) <i>Ceratocorys gurreti</i> Paulsen <i>Ceratocorys horrida</i> Stein <i>Goniodoma polyedricum</i> Louch <i>Gonyaulax spinifera</i> (Clap. & Lach.) Diesing (M) <i>Gonyaulax triacantha</i> Kofoid (M) <i>Protogonyaulax tamarensis</i> (Leb.) F.J.R.Tay. (M)⁺ <i>Amphidinium operculatum</i> Clap. & Lach. <i>Amphidiniopsis</i> sp. <i>Oxytoxum milneri</i> Murr. & Whitt (M) <i>Oxytoxum scolopax</i> Stein <i>Corythodinium tessellatum</i> (St.) Loeb. Jr & Loeb. <i>Diplopsalis bomba</i> Stein & J?rgensen (M) <i>Diplopsalis lenticula</i> Bergh (M)⁺ <i>Diplopsalis rotunda</i> (Lebour) Wood <i>Protoperidinium breve</i> Paulsen (M) <i>Protoperidinium depressum</i> Bailey (M) <i>Protoperidinium diabolus</i> Cleve (M) <i>Protoperidinium divergens</i> Ehrenberg (M) <i>Protoperidinium excentricum</i> Paulsen <i>Protoperidinium hirobis</i> Abé (M) <i>Protoperidinium leonis</i> Pavillard (M) <i>Protoperidinium minutum</i> Kofoid (M) <i>Protoperidinium ovum</i> Schiller (M) <i>Protoperidinium pellucidum</i> (Bergh) Schütt (M) <i>Protoperidinium steini</i> J?rgensen (M) <i>Protoperidinium tuba</i> Schiller (M) <i>Podolampas spinefer</i> Okamura <i>Podolampas palmipes</i> Stein <i>Pyrophacus horologium</i> Schiller <i>Prorocentrum compressum</i> (Bailey) Abé (M) <i>Prorocentrum marina</i> Cienkowski (M)⁺ <i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg (M)⁺ <i>Prorocentrum scutellum</i> Sch. (M) <i>Prorocentrum</i> sp. <i>Scrippsiella sweetenae</i> Bal. & A. R. Loeb. (M)⁺ <i>Protaspis glans</i> Skuja (M)⁺ <i>Ostreopsis siamensis</i> J. Schmidt ? Cyanophycées <i>Merismopedia punctata</i> Meyer <i>Merismopedia tenuisema</i> Lemmermann <i>Chroococcus minutus</i> (Kutz) N?g <i>Anabaena hallensis</i> (L) <i>Katagnimena</i> sp. Lemmermann (M)⁺ <i>Lyngbya</i> sp. <i>Oscillatoria</i> spp.</p>
---	--	---

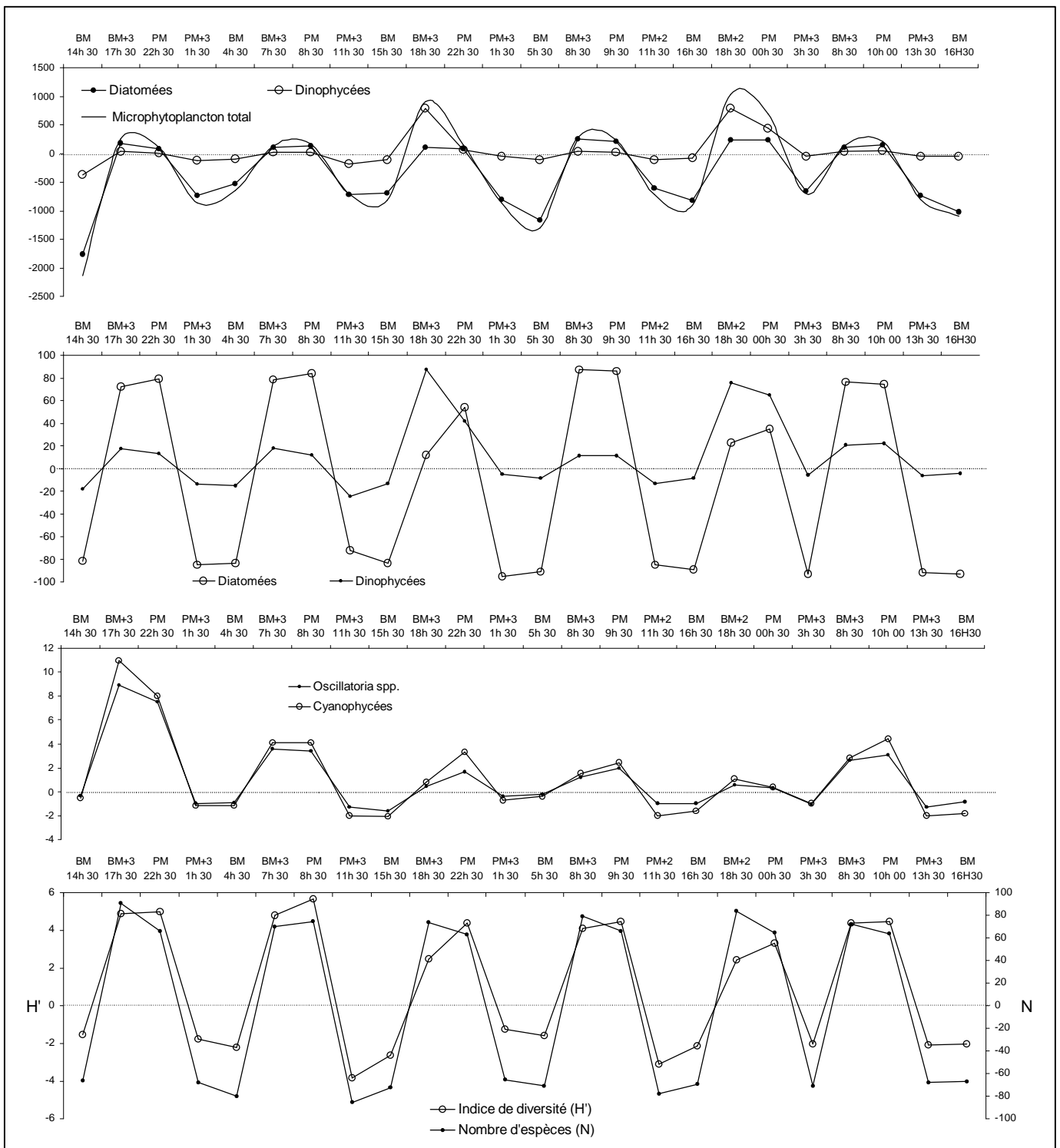


Figure 2 : Evolution des échanges lagune Melah-mer en terme de densité (ind. Γ^1 , courbe lissée avec moyenne mobile du phytoplancton total seulement), de fréquence relative (%) des diatomées, dinophycées et cyanophycées (valeurs négatives en jusant), de la richesse et de la diversité spécifique du phytoplancton, enregistrés à la station-chenal de la lagune Melah entre 13 étales successives (22 au 25 août 1999).

Figure 2: Exchange between the Melah lagoon and adjacent sea in terms of density (ind. Γ^1 smothed curve with moved mean of total phytoplankton) and relative frequency (%) of diatoma, dinofycea and cyanophycea (negative values in ebb tide), richness and diversity index of phytoplankton recorded at the fixed channel-station A for the period 22-25 August, 1999.

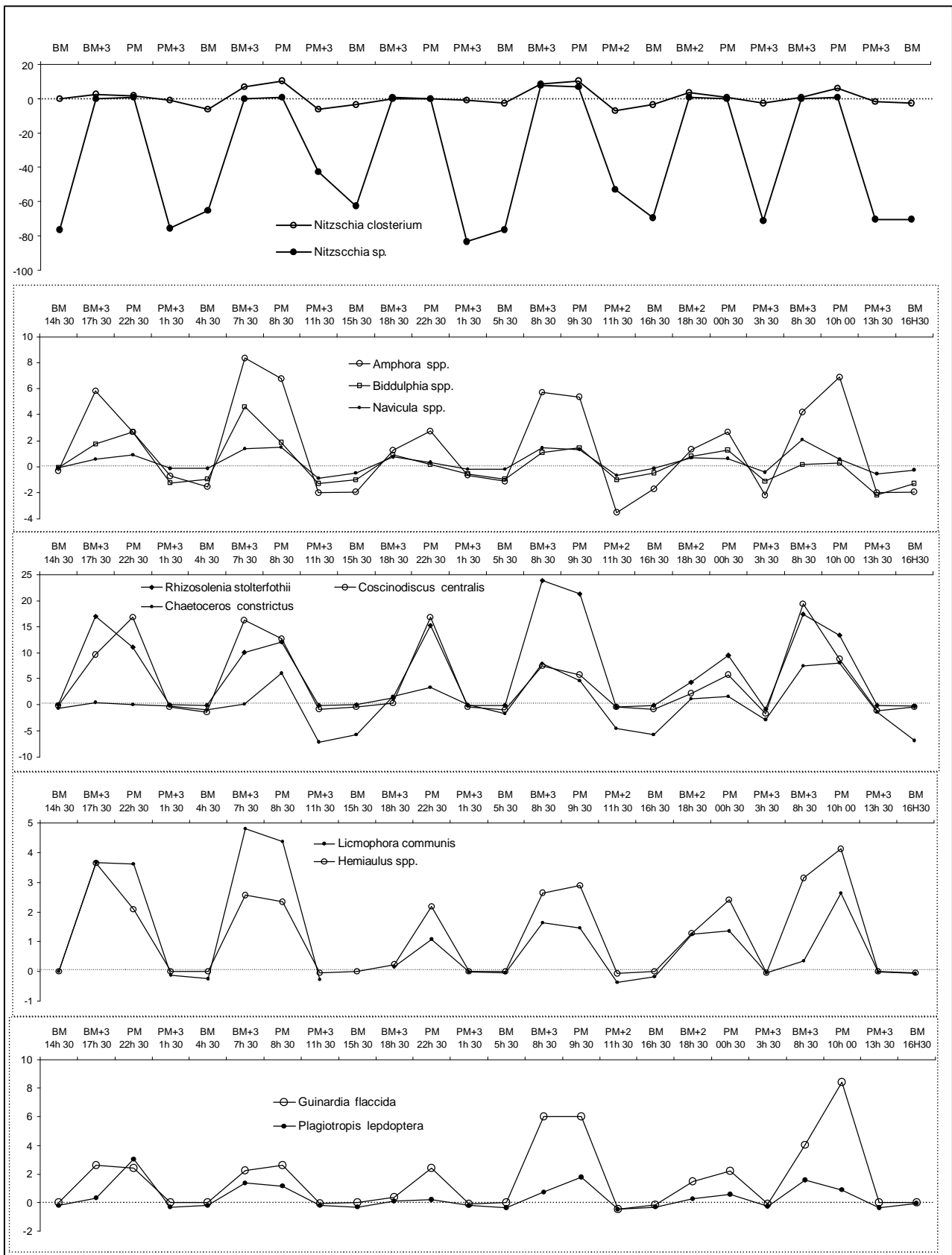


Figure 3 : Evolution des échanges lagune-mer, à l'échelle de la demi-phase de marée, des principaux taxons de diatomées (fréquence relative (%), valeurs négatives en jusant) enregistrés à la station-chenal de la lagune Melah entre 13 étales successives de marée (22 au 25 août 1999).
 Figure 3: Exchange of the mainly diatoma taxa (in term of relative frequency %, negative values in ebb tide period) recorded at the fixed channel-station A during 13 successive tidal slacks (22-25 August, 1999).

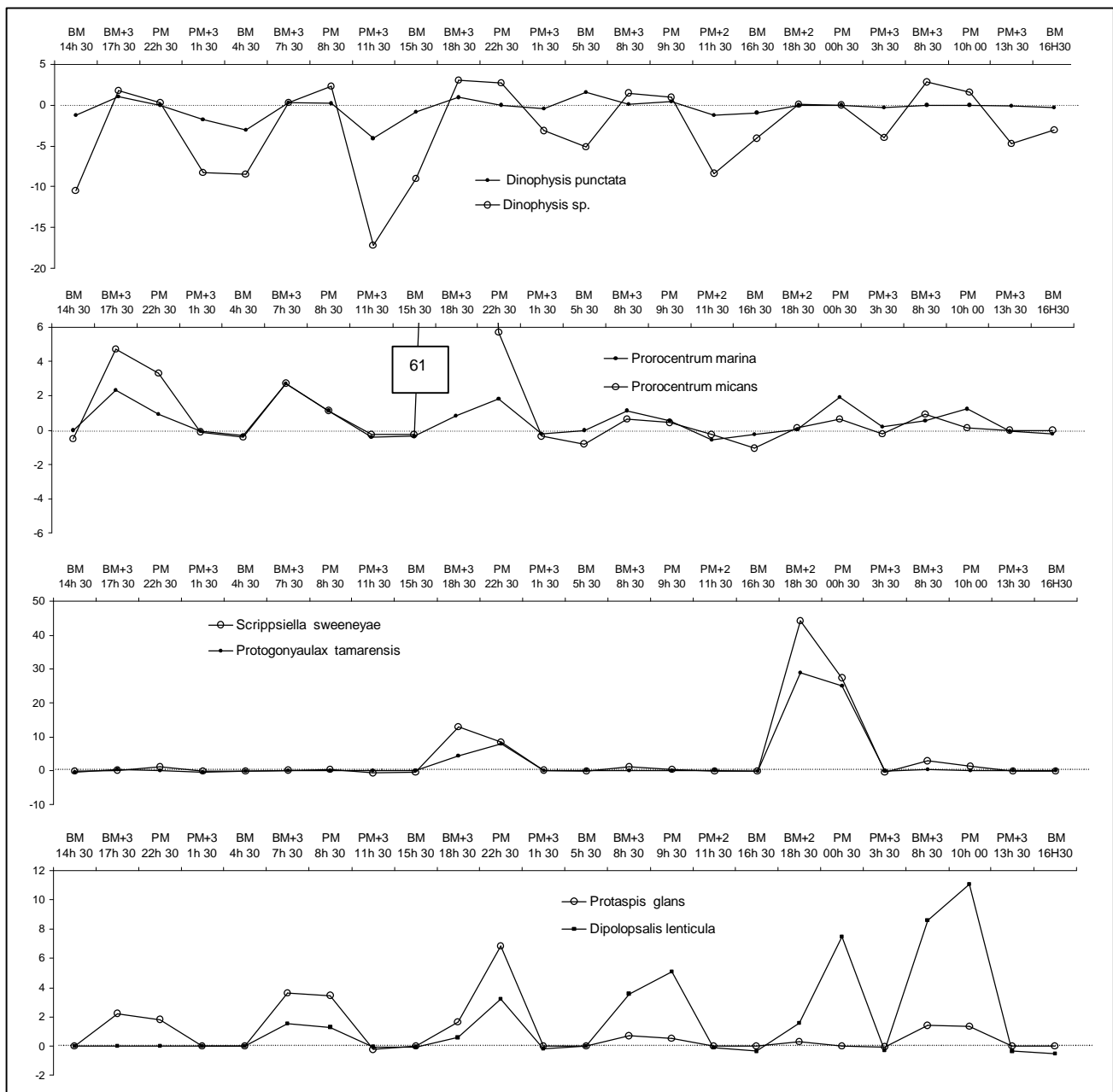


Figure 4 : Evolution des échanges lagune-mer à l'échelle de la demi-phase de la fréquence relative (%) des principaux taxons de dinophycées (valeurs négatives en jusant) enregistrés à la station-chenal de la lagune Melah entre 13 étales successives de marée semi-diurne (22 au 25 août 1999).

Figure 4: Exchange of the mainly dinophyceae taxa (in term of relative frequency %, negative values in ebb tide period) recorded at the fixed channel-station A between 13 successive semidiurnal tidal slacks (22-25 August, 1999).

6. Discussion et conclusions

L'étude des peuplements microphytoplanctoniques de la lagune Mellah, nous a permis de recenser 359 taxons dont, la plupart appartient au contingent marin. Les espèces typiquement lagunaires ($F > 75\%$) sont très peu nombreuses (une dizaine), mais constituent l'essentiel du stock phytoplanctonique. Un grand nombre d'espèces appartient aux Diatomées qui dominent le peuplement. Cette dominance caractérise non seulement la majorité des lagunes méditerranéennes (Kim et Travers, 1984 ; Beker, 1986 ; Tolomio *et al.*, 1999 ; Bernardi Aubry et Acri, 2004), mais également le phytoplancton côtier marin (Travers et Travers, 1975 ; Travers et Kim, 1985 ; Illoul, 1987 ; Fréhi, 1995 ; Estrada, 2005).

Sur le plan qualitatif, Retima (1999) recense en période froide (novembre 96-avril 97) 200 espèces dont les Diatomées représentent 52% de la flore. Cependant dans une étude limitée au mois d'octobre, Guelorget *et al.*, 1989 ne rapportent que 14 espèces. La période froide a été également étudiée par Samson-Kechacha et Touahria, (1992) où les auteurs dénombrent 185 taxons (45% Diatomées 40% Dinoflagellés). Dans l'ensemble de ces études menées dans la lagune Mellah, les Diatomées dominent toujours en richesse et en abondance.

Si l'on examine la composition dimensionnelle du peuplement, on s'apercevra que les espèces les plus fréquentes ($F = 100\%$) comme les Diatomées *Paralia sulcata*, *Diploneis ovalis* var. *oblongella*, *Pleurosigma formosum*, *Synedra* sp. et la Dinophycée *Prorocentrum micans*, ont des tailles importantes parmi le microphytoplancton de la lagune (50-250 μm). Cette composition reflète les conditions trophiques et chimiques du Mellah. En fait, en milieu oligotrophe dominant surtout les espèces de faible taille (Jacques et Treguert, 1986 ; Illoul, 1987 ; Estrada, 2005), en milieu enrichi les espèces à forte taille l'emportent (Ounissi et Fréhi, 1998 ; Estrada, 2005).

Il est intéressant de souligner également qu'à l'inverse des milieux littoraux pollués où les espèces non siliceuses (Dinophycées) dominent (Béthoux *et al.*, 2002 ; Turley, 1999), le Mellah abrite plutôt un peuplement dominé par les espèces qui exigent de silicium (Diatomées). Cette différence traduit la bonne qualité des eaux du Mellah et une meilleure répartition du peuplement.

Cet inventaire bien que limité dans le temps et dans l'espace, comprend une richesse spécifique très importante et concorde ainsi avec les constatations de Margalef (1994), assimilant la Méditerranée pour une grande «forêt d'Amazonie océanique» à forte richesse phytoplanctonique. Aussi la richesse spécifique du Mellah dépasse distinctement celle des milieux saumâtres méditerranéens Nord-occidental (Kim et Travers, 1984 ; Tolomio *et al.*, 1999 ; Bianchi *et al.*, 2003 ; Bernardi Aubry et Acri, 2004 ; Bernardi Aubry *et al.*, 2004) (tab. II.13).

Il est intéressant de signaler également la présence mais d'une manière sporadique de quelques espèces caractéristiques des milieux eutrophes (Lakkis *et al.*, 1985), parmi elles on cite : *Chaetoceros curvisetus*, *Licmophora abbreviata*, *Nitzschia seriata*,

Striatella unipunctata, *Thalassionema frauenfeldii*, *T. nitzschoides*, le genre *Coscinodiscus*, *Ceratium furca*, *Dinophysis caudata*, *Prorocentrum micans*.

Tableau II. 13 : Phytoplancton lagunaire du bassin occidental méditerranéen.

Milieu t salinité (S en PSU)	Richesse spécifique	Diatomées	Dinoflagellés	Autres groupes	Espèces fréquentes	Période d'étude	Référence
Berre (France) S = 3-15	186	111	4	71	<i>Chlorella vulgaris</i> <i>Oscillatoria rubescens</i> <i>Fragilaria crotonensis</i> <i>Cyclotella melosiroides</i>	77-78	Kim & Travers (1984)
Venise (Italie) S = 26-36	261	187	58	17	<i>Skeletonemacostatum</i> <i>Dictyocha speculum</i> <i>Cylindrotheca closterium</i>	88-89	Tolomio <i>et al.</i> (1999)
Venise S = 22,60-36,20	-	(52-74)%	52%	1%	<i>Nitzschia frustulum</i> <i>Cylindrotheca closterium</i> <i>Thalassiosira</i> sp. <i>Chaetoceros compressus</i>	97-99	Bianchi <i>et al.</i> (2003)
Venise S = 29,70-37,30	-	38%	4%	58%	<i>Asterionellopsis glacialis</i> (flot) <i>Cerataulina pelagica</i> (flot) <i>Cocconeis scutellum</i> (jusant) <i>Navicula cryptocephala</i> (jusant)	01-02	Bernardi Aubry & Aciri (2004)
Côte N.W Adriatique (Italie) S = 5,10-38,20	-	(61-72)%	(2-16)%	-	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Pseudonitzschia delicatissima</i> <i>Chaetoceros socialis</i> <i>Thalassionema</i> spp.	90-99	Bernardi Aubry <i>et al.</i> (2004)
Mellah (Algérie) S = 26-34	358	202	106	32	<i>Paralia sulcata</i> , <i>Synedra</i> sp. <i>Diploneis ovalis</i> <i>Pleurosigma formosum</i> <i>Prorocentrum micans</i> ,	00-01	Présente étude

D'autre part, une quinzaine d'espèces considérées comme potentiellement toxiques, déjà signalées par [Retima \(1999\)](#) dans la lagune, sont également rencontrées. Une surveillance de ces microalgues nuisibles surtout vis-à-vis les espèces suspensivores exploitées dans la lagune, serait souhaitable. En effet, la production de bivalves filtreurs (*Mytilus galloprovincialis*, *Crassostrea gigas*, *Ruditapes decussatus*, *Cerastoderma glaucum*), existe déjà dans la lagune depuis plusieurs dizaines d'années.

Le suivi de l'évolution spatio-temporelle du phytoplancton dans la lagune Mellah, a permis de remarquer l'alternance de dominance des Diatomées et des Dinoflagellés. Les Diatomées abondent surtout en période froide, alors que les Dinoflagellés se développent mieux en saison chaude parallèlement au réchauffement des eaux de la lagune, phase qui coïncide également avec la période des vivifications marines. Cette hypothèse de succession entre ces deux classes, a été déjà signalée par [Aubert \(1978\)](#) *in* [Legal \(1988\)](#) en milieu marin, où il explique l'enchaînement des actions et des rétro-actions entre ces deux groupes phytoplanctoniques. Selon cet auteur, c'est un phénomène qui est induit par des médiateurs chimiques libérés dans le milieu, représentant un facteur déterminant dans la succession entre les peuplements phytoplanctoniques, soit en favorisant la prolifération des Diatomées, soit l'inhibition des Dinoflagellés, ou inversement.

Si [Aubert \(1978\)](#), conclue à un contrôle biologique de la succession temporaire Diatomées - Dinophycées en milieu marin, il semble que la cadence de ces classes dans le Mellah soit plutôt liée aux facteurs physiques gouvernant la lagune. Les apports hydriques d'hiver et les apports marins d'été avantagent l'une ou l'autre classe.

Les peuplements microphytoplanctoniques de la lagune Mellah, montrent une diversité qui peut atteindre 4,08 bits.ind.⁻¹ et une régularité de 0,89, montrant ainsi une communauté microphytoplanctonique structurée pendant une période de l'année seulement. Toutefois, la majorité du cycle est caractérisé par un peuplement instable. Dans ce cas, il ne se développent que les espèces opportunistes, bien adaptées aux facteurs défavorables (surtout thermiques et probablement optique) du milieu ([Mozetic et al., 1998](#) ; [Bianchi et al., 2003](#)). Toutefois, les valeurs maximales de diversité (H') dans le Mellah, sont nettement supérieures à celles enregistrées dans d'autres lagunes méditerranéennes. En effet, dans la lagune de Venise [Bernardi Aubry et al. \(2004\)](#) signalent une valeur maximale de H' qui frôle à peine 3 bits.ind.⁻¹, alors que dans l'étang de Berre cet indice se situe autour de 2 bits.ind.⁻¹ seulement ([Beker, 1986](#)).

Enfin, il faut signaler que les flots notamment en périodes d'étiage charrient à la lagune un certain nombre d'espèces eupélagiques (appartenant surtout aux genres : *Chaetoceros*, *Rhizosolenia*, *Cerataulina*, *Thalassionema*, *Ceratium*), qui gardent parfois une présence significative dans la lagune. Ce phénomène de transport et d'enrichissement par des espèces du littoral adjacent a été déjà signalé par [Acri et al. \(2004\)](#) dans la lagune de Venise. Signalons également la présence de plusieurs espèces appartenant au contingent benthique (Melosiracées, Achnanthacées, Cymbellacées (*Amphora*), Fragilariacées (*Licmophora*), Naviculacées), qui sont souvent remises en suspension et arrivent même jusqu'à la couche superficielle sous l'effet des différentes actions hydrodynamiques (courants périodiques, tempêtes chroniques et exceptionnelles, etc.).

Lors de la campagne d'été 99, le suivi du phytoplancton à l'échelle de la demi-heure au niveau de la station chenal, nous a permis d'identifier 190 taxons (112 Diatomophycées, 71 Dinophycées et 7 Cyanophycées). La discussion et les conclusions concernant les échanges avec le littoral contigu sont débattues dans notre article ([Ounissi et al., sous presse b](#)).

CHAPITRE III : ZOOPLANCTON

1. Introduction

Le zooplancton est un indicateur de la richesse trophique des écosystèmes aquatiques (Dimov, 1985, Diallo et Diouf, 1987). La lagune Mellah a suscité beaucoup d'intérêts scientifiques (Gimazane, 1982 ; Cataudella, 1982 ; FAO, 1982 ; Semroud, 1983 ; Guelorget *et al.*, 1989 ; De Casabianca *et al.*, 1990 ; Samson-Kechacha & Touahria, 1992 ; Refes, 1994, etc.). Ces études n'ont cependant pas considéré l'ampleur de l'importance que constituent les peuplements zooplanctoniques dans cet environnement bien particulier. En outre, les récentes études du plancton des estuaires, lagunes et milieux côtiers ouverts à la mer se sont intéressées aux transports, dispersions, échanges et aux aires de concentrations de plancton selon l'advection tidales, et la circulation des masses d'eaux (Mathivat-Lallier & Cazaux, 1990 ; Lagadeuc, 1992 ; Dewarumez *et al.*, 1993 ; Marcano & Cazaux, 1994 ; Thiebaut *et al.*, 1994). Cette problématique se pose aussi bien pour le succès larvaire (méroplancton) des espèces autochtones de mollusques exploitées dans le Mellah (palourde *Ruditapes decussatus* et coque *Cerastoderma glaucum*), l'ichtyoplancton (alevins de poissons et larves de Décapodes) d'origine marine parvenant dans la lagune lors des advections de pleine mer, que pour le devenir des biomasses phytoplanctoniques. Les échanges mer-lagune en zooplancton ont été étudiés par Haridi (1999) à l'échelle de la phase de marée pour une période limitée dans le temps (décembre 96 - mai 97). Cependant, jusqu'à présent aucune étude sur le zooplancton s'étalant sur un cycle n'a été effectuée dans la lagune Mellah, d'où l'intérêt de cette investigation. Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à la composition et à la répartition spatio-temporelle des peuplements zooplanctoniques durant un cycle (1998).

L'objectif d'aborder ce chapitre est de décrire les peuplements zooplanctoniques encore mal connus dans cet écosystème assez particulier, car et comme il est connu le compartiment zooplanctonique occupe une position clés dans les réseaux trophiques aquatiques. Donc, notre but fondamental est de préciser les variations spécifiques et leurs abondances sous l'effet des caractéristiques hydrologiques de la lagune, ainsi que les échanges zooplanctoniques entre la lagune et le littoral adjacent. Les lagunes sont par ailleurs reconnues pour être des milieux eutrophes, ceci est assuré en amont et dans une large mesure par l'importance du zooplancton. Il est connu aussi que l'envahissement des lagunes par les espèces marines lors des périodes de vivifications marines, accentué au printemps et en été, est motivé par l'abondance de la nourriture qu'offrent ces milieux à travers le plancton. A l'inverse, on connaît depuis longtemps que les pêcheries littorales adjacentes et même démersales, sont très productives en raison des extrusions d'aliments d'origine lagunaire (Amanieu et Lasserre, 1981). Le rôle que joue ce compartiment pélagique n'est pas ainsi à démontrer, ce qui justifie et motive à plus fortes raisons notre

intérêt pour ce sujet. Cette étude s'inscrit alors, dans une problématique générale visant l'évaluation écologique de la lagune Mellah à travers un descripteur pertinent comme le zooplancton.

2. Matériel et méthodes

L'échantillonnage du zooplancton a concerné la lagune et le chenal. Dans la lagune, les prélèvements du zooplancton ont été effectués de janvier à décembre 1998 au niveau de deux stations lagunaires (B et C), et afin de mieux comprendre les échanges mer-lagune, une station chenal (A) a été retenue (**fig. II.26**).

En raison des difficultés de terrain, le zooplancton du chenal (station A) a été récolté mensuellement et seulement en sept occasions (d'avril à juillet 98 et d'octobre à décembre 98).

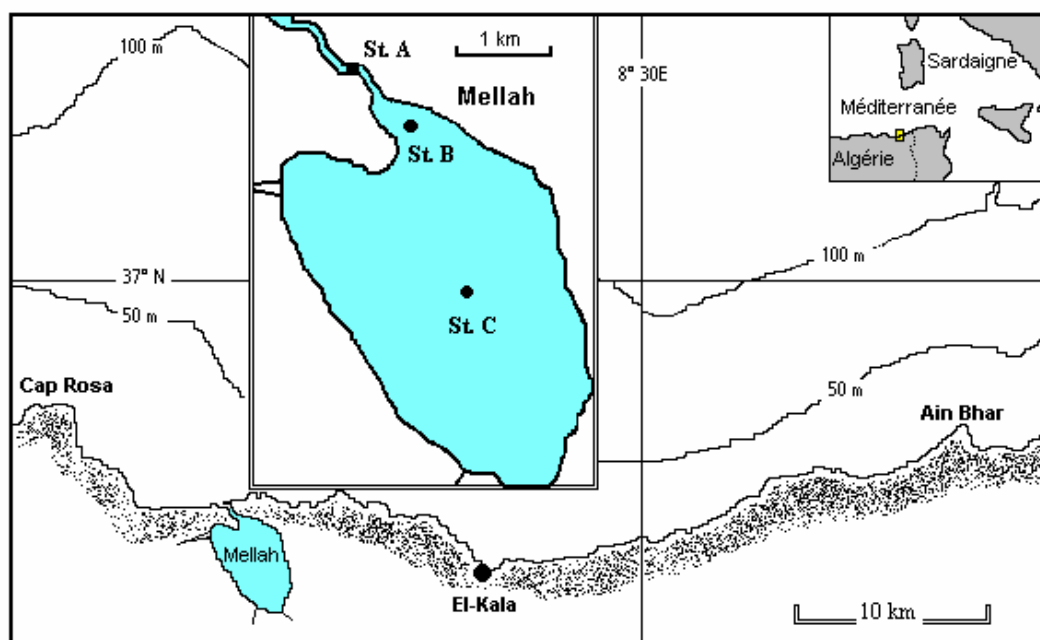


Figure II.26 : Localisation des stations d'échantillonnage du zooplancton dans la lagune Mellah.

Les pêches du zooplancton ont été réalisées selon le trajet C-B-A. Les prélèvements mensuels ont été réalisés à proximité de la surface avec un filet à plancton conique japonais (0,0706 m² de surface d'ouverture et 61 μ m de vide de maille). Ce type de filet devrait avantager quelque peu la prise de petites formes de plancton. L'ensemble des échantillons a été conservé dans une solution d'eau de mer formolée à 4%. Pour chaque échantillon, deux fractions représentant 1 à 100% du volume total, ont été observés (identification et comptage) dans une cuve de Dolffus. En raison de l'importance particulière qualitative et quantitative, les récoltes de la station chenal, ont été entièrement observées.

3. Composition taxonomique

Au total, les récoltes du zooplancton durant un cycle annuel, nous ont permis d'identifier 34 taxons zooplanctoniques (**tab. II.14**) appartenant en grande partie aux crustacés Copépodes (16 espèces).

Tableau II.14 : Liste des espèces zooplanctoniques identifiées dans les stations A (chenal) et B, C (lagunes), durant l'année 1998. (+) : espèces marines (Ounissi, com. pers.).

PROTOZOAIRES	<ul style="list-style-type: none">• Copépodes<ul style="list-style-type: none">• Calanoïdes <i>Acartia clausi</i> (Giesbrecht) (+) <i>Acartia discaudata mediterranea</i> (Steuer) <i>Acartia latisetosa</i> (Krichagin) <i>Acartia grani</i> (Sars) (+) <i>Centropages kr?yeri</i> (Giesbrecht) <i>Centropages typicus</i> (Kr?yer) <i>Paracalanus indicus</i> (Wolfenden) <i>Temora stylifera</i> (Dana) (+)• Cyclopoïdes <i>Oithona nana</i> (Giesbrecht) <i>Oithona ovalis</i> (Herbst) (+) <i>Oithona plumifera</i> (Baird) (+) <i>Oncaea venusta</i> (Philippi) (+)• Harpacticoïdes <i>Euterpina acutifrons</i> (Dana) <i>Harpacticus littoralis</i> (Sars) <i>Microsetella norvegica</i> (Bøeck) <i>Microsetella rosea</i> (Dana) (+)
<ul style="list-style-type: none">• Tintinnides <i>Cyttarocyliis cassis</i> (Haeckel) <i>Cyttarocyliis plagiostoma</i> (Dady) <i>Favella marcozowski</i> (Daday) <i>Helicostomella subulata</i> (Ehrenberg) <i>Petalorika ampulle</i> (Fol)	
ZOOFLAGELLES	
<ul style="list-style-type: none">• Foraminifères• Radiolaires <i>Sticholonche zanclea</i> (Hertwig) <i>Stylotrachus huxleyi</i> (Haeckel)	
CNIDAIRES	
<ul style="list-style-type: none">• Hydroméduses <i>Eucodonium brownei</i> (Hartland) <i>Obelia</i> sp. <i>Podocoryne carnea</i> (Sars)	
ANNELIDES (larves)	
<i>Polydora</i> spp. <i>Pontodora pelagica</i> (Greeff) <i>Sabellaria</i> spp.	Péracarides <ul style="list-style-type: none">• Amphipodes
MOLLUSQUES (Larves de Gastéropodes et Lamellibranches)	Eucarides <ul style="list-style-type: none">• Décapodes (larves) <i>Eryphia spinifrons</i> (Herbst)
ARTHROPODES	TUNICIERS <ul style="list-style-type: none">• Appendiculaires <i>Oikopleura</i> spp. (+)
<ul style="list-style-type: none">• Branchiopodes<ul style="list-style-type: none">• Cladocères <i>Evadne tergestina</i> (Claus) (+)• Ostracodes <i>Leptocythere pellucida</i> (Baird)	VERTEBRES (œufs et larves de poissons) <i>Engraulis encrasicolus</i> (Linnaeus) Larves de Raies Larves d'Égouilles

La plupart de la faune copépodienne appartient au contingent néritique. Les Protozoaires Tintinides sont représentés par de nombreuses espèces dont plusieurs formes n'ont pas été identifiées, en raison du manque de documentation et de guides spécialisés concernant ces Ciliés souvent de très petites tailles. De même, les larves d'Annélides Polychètes sont très riches en espèces, mais leur reconnaissance aux stades trochophore, métatrochophore, et parfois même en stades plus évolués (les nectochètes) est très difficile même pour des spécialistes de ces formes méroplanctoniques. On a identifié également trois formes méroplanctoniques (œufs et larves) de poissons (**tab. II.14**). On a aussi récolté des formes nectobenthiques et phytophiles (Amphipodes) et méiobenthiques (Copépodes Harpacticoïdes). D'autres groupes sont présents dans les prélèvements mais de façon intermittente.

4. Abondance des peuplements zooplanctoniques

Le zooplancton total est constitué du méroplancton et d'holoplancton (**fig. II.27**). Durant la période d'étude, le zooplancton a beaucoup fluctué passant de 70 ind.m⁻³ (station C en décembre) à 81 714 ind.m⁻³ (station B en avril).

D'une manière générale et hormis la saison hivernale, les effectifs les plus élevés sont rencontrés à la station B. En effet, à partir d'avril, le Nord de la lagune (station B), l'emporte avec des abondances variant entre 2 041 et 81 714 ind.m⁻³, par rapport au centre de la lagune (station C). Ces différences de distributions sont imputables au régime des courants de marée.

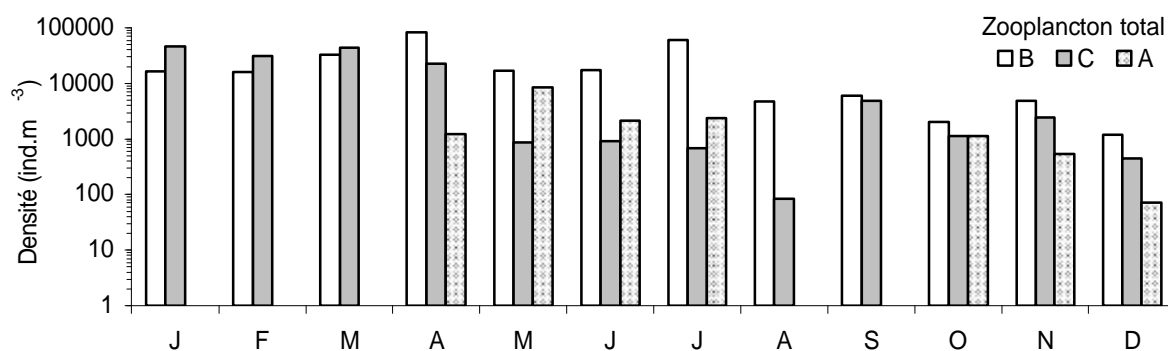


Figure II.27 : Variations mensuelles de la densité (ind.m⁻³, échelle logarithmique) du zooplancton total dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.

De plus, les espèces marines diminuent consécutivement aux faibles pénétrations marines. A l'inverse et à l'issue de l'intensification des flots à partir du mois d'avril (Messerer, 1999), l'eau marine a tendance à gagner l'ensemble de l'étendue, mais les étales de courants de flot créent une zone d'accumulation de plancton, d'où la supériorité des effectifs en ce point d'ombilic (station B). S'ajoute à cela le développement en explosion démographique des Tintinnides, ces protozoaires, abondent plutôt en juillet avec une densité qui s'élève jusqu'à 10 013 ind.m⁻³.

Le méroplancton est notamment fréquent entre avril et juillet (21,60-99,46%) avec une prépondérance à la station B. Suite à cela, les larves de Polychètes développent des populations très denses atteignant 75 387 ind.m⁻³, soit 92,25% du peuplement total relevées en début de la saison printanière. Ces larves ont une distribution spatiale assez comparable à celle des Tintinnides. De même, les Gastéropodes apparaissent en forts effectifs particulièrement à la station B (jusqu'à 1369 ind.m⁻³), cependant en septembre, ces mollusques forment une densité importante à la station C (1 720 ind.m⁻³).

Le recrutement des Copépodes est continu presque toute l'année et l'essentiel de ce recrutement est assuré par *Acartia latisetosa*, *Centropages krøyeri*, *Oithona nana*, présentant de forts effectifs et qui sont comparables dans les deux stations (B et C). Il s'agit en fait de populations d'affinité lagunaire colonisant le Mellah le long de l'année.

Les autres groupes zooplanctoniques comme les Cladocères, les Ostracodes et les Méduses ne forment que de très faibles effectifs dans l'espace et dans le temps.

Le nectobenthos est représenté exclusivement par les Copépodes méiobenthiques (Harpacticoides), par ailleurs minoritaire (en général < 26 ind.m⁻³), il se montre sporadiquement avec une densité exceptionnelle de 220 ind.m⁻³, relevée en avril à la station chenal.

En outre, du fait de leurs différences écologiques et biologiques, les composants holoplanctoniques et méroplanctoniques sont traités séparément dans des paragraphes correspondants.

4.1. Composants holoplanctoniques

L'holoplancton est formé par les Copépodes, les Tintinnides et le zooplancton divers (Cladocères, Ostracodes et Méduses). Cette catégorie de zooplancton abonde surtout en hiver, et se manifeste alors par des explosions démographiques assez importantes. Le maximum de densité est observé en mars (53 8563 ind.m⁻³) à la station C (**fig. II.28**). Cette forte abondance est ainsi élevée grâce surtout à la fraction des jeunes Copépodes (stades nauplii et copépodites).

? Copépodes

Dans la lagune Mellah, les Copépodes sont toujours abondants (**fig. II.29**). Ils constituent une fraction très importante en hiver variant entre 31 et 94%.

Acartia latisetosa est l'espèce dominante au sein des Copépodes de la lagune Mellah, elle présente des effectifs élevés atteignant 5 494 ind.m⁻³ relevés en février à la station C (**fig. II.30**). Ce Calanoïde est rencontré dans les eaux du Mellah durant toute l'année hormis les mois de novembre et de décembre.

Centropages krøyeri, l'autre Copépode d'affinité lagunaire, s'observe surtout de janvier à mars avec un maximum à la station C (1 116 ind.m⁻³) en janvier. Ce Copépode disparaît d'avril à juin, puis réapparaît mais en très faibles densités le

reste de l'année (**fig. II.31**). Cette cinétique d'abondance peut être en rapport en grande partie avec son cycle biologique. En effet, à la station C (461 ind.m⁻³) l'espèce supporte de fortes variabilités des conditions du milieu lagunaire, notamment en période de crue (février), où la salinité est descendue jusqu'à 25 PSU. *Oithona nana* est un Copépode qui est présent presque toute l'année, néanmoins les effectifs restent faibles et peu variables, notamment dans la station C (**fig. II.32**). Le maximum s'observe durant le mois de janvier (681 ind.m⁻³) où la salinité n'est pas encore trop basse (29,40). Donc, c'est un Copépode qui est peu abondant à répartition essentiellement hivernale et printanière (164 ind.m⁻³).

Les plus jeunes stades de Copépodes (nauplii) abondent en fin hiver (mars) pour les deux stations lagunaires (**fig. II.33**). Cependant, durant le mois de mars les densités dans les deux stations précitées sont assez comparables avec respectivement 16 261 et 15 893 ind.m⁻³. On assiste à un second pic en juillet à la station B, mais d'une moindre importance (8 259 ind.m⁻³).

Les jeunes stades de Copépodes (copépodites) sont également abondants et développent parfois de forts effectifs avec un maximum au mois de mars (16 096 ind.m⁻³) à la station C, et (14 462 ind.m⁻³) à la station B (**fig. II.34**). Les jeunes Copépodes se répartissent indifféremment dans les points de prélèvement, et se concentrent d'avantage au niveau de la station B, considérée comme zone d'accumulation planctonique. Leur effectif varie fortement en fonction des saisons avec un pic de densité maximale en pleine période hivernal (**fig. II.34**).

? **Cladocères**

Les Cladocères apparaissent d'une manière très sporadique (trois fois pendant l'année en automne et en hiver). Signalons également qu'ils sont très faiblement représentés dans les récoltes (< 4,25 ind.m⁻³). Par ailleurs, ce groupe holoplanctonique est présent avec une seule espèce *Evadne tergestina*.

? **Ostracodes**

Comme pour les Cladocères, les Ostracodes sont très rares et ne sont observés qu'en décembre avec une densité très faible (0,23 ind.m⁻³). Ce groupe est également représenté par l'unique espèce *Leptocythere pellucida*.

? **Amphipodes**

Les Amphipodes apparaissent d'une manière très irrégulière, leur densité est également limitée quelque soit la station (station B : 4,24 ind.m⁻³ en mai, station C : 1,23 et 1,18 ind.m⁻³ respectivement en mai et en septembre :).

? **Hydroméduses**

Ils constituent une très faible proportion au sein du zooplancton total et apparaissent d'une façon discontinue, avec un maximum enregistré en mars (40 ind.m⁻³) soit 0,47% seulement du zooplancton total.

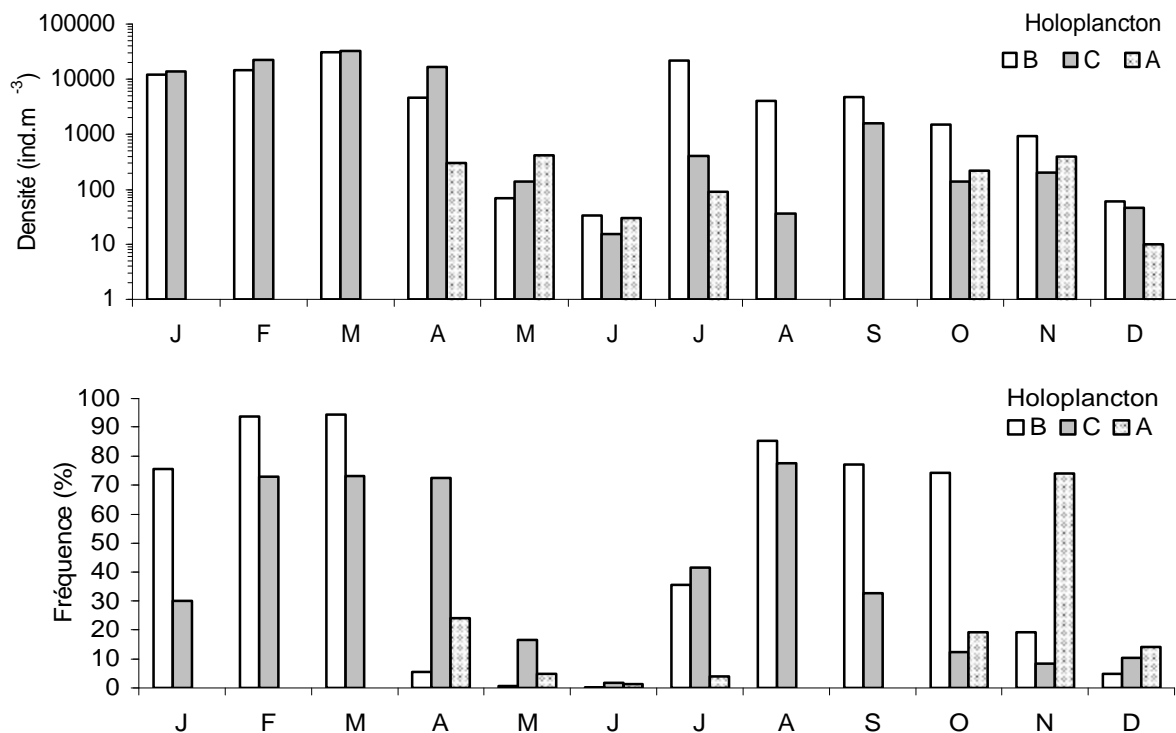


Figure II.28 : Variations mensuelles de la densité (ind.m⁻³, échelle logarithmique) de l'holoplancton et de sa dominance correspondante (fréquence %), dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.

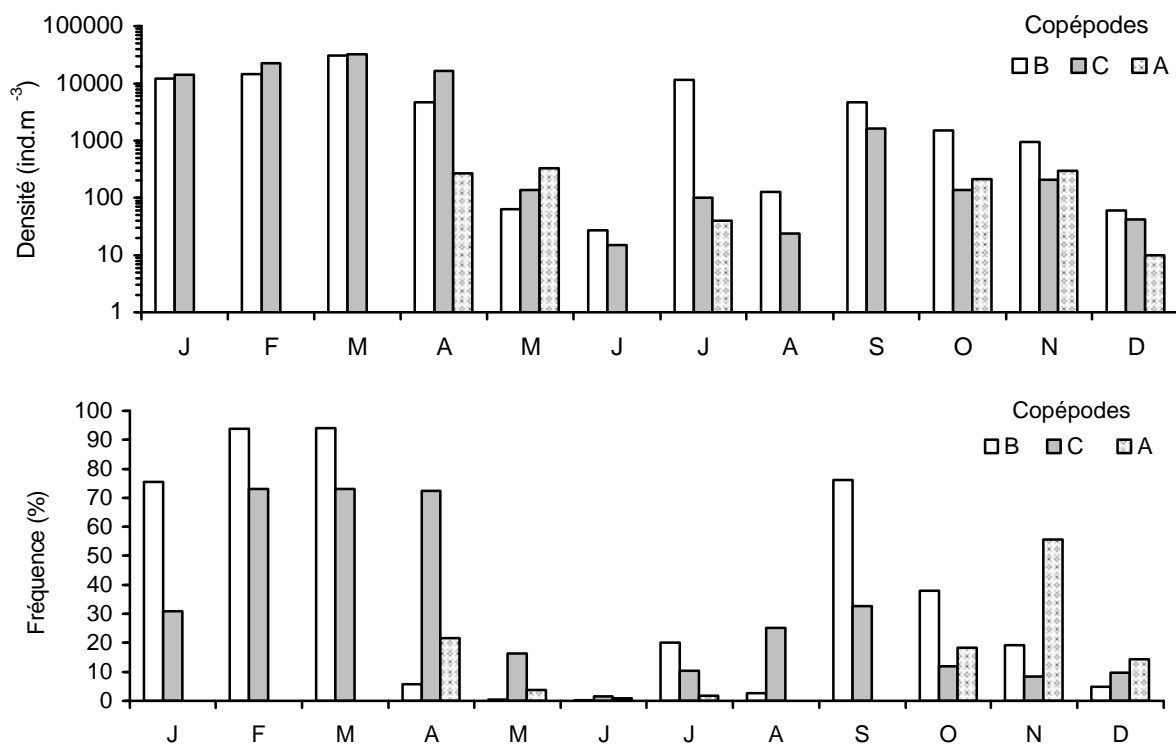


Figure II.29 : Variations mensuelles de la densité (ind.m⁻³, échelle logarithmique) des Copépodes et leur dominance correspondante (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.

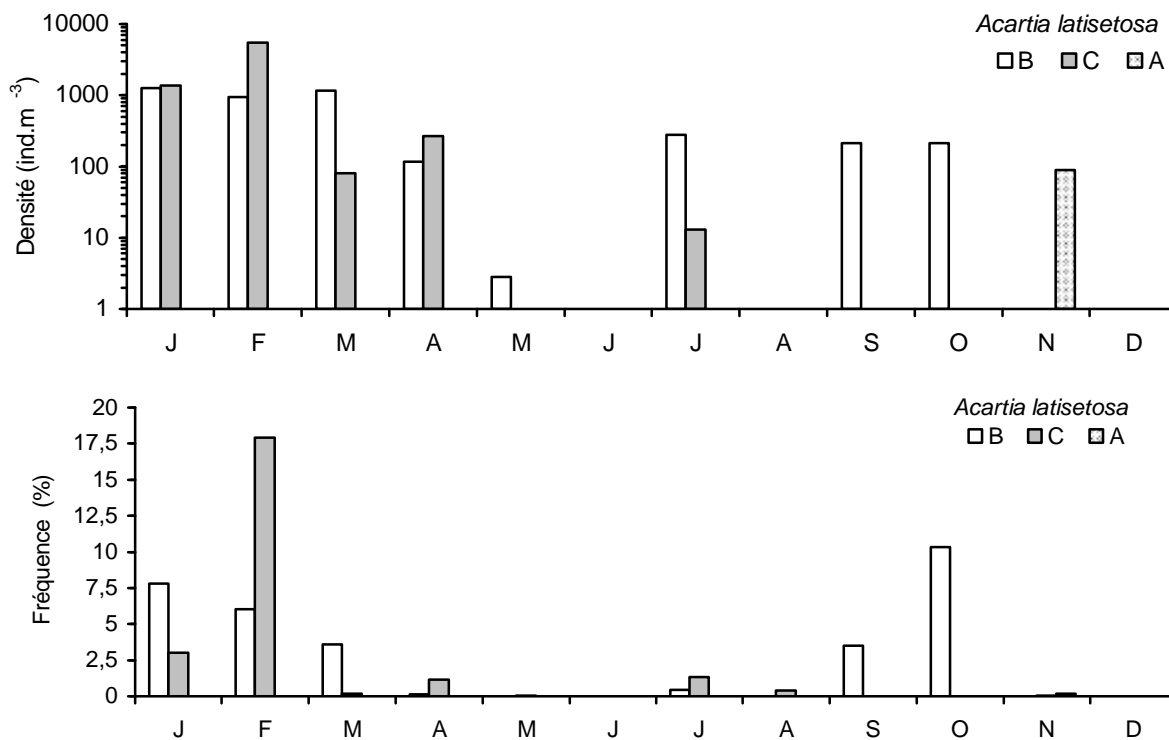


Figure II.30 : Variations mensuelles de la densité (ind.m⁻³, échelle logarithmique) du copépode *Acartia latisetosa* et de sa dominance correspondante (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.

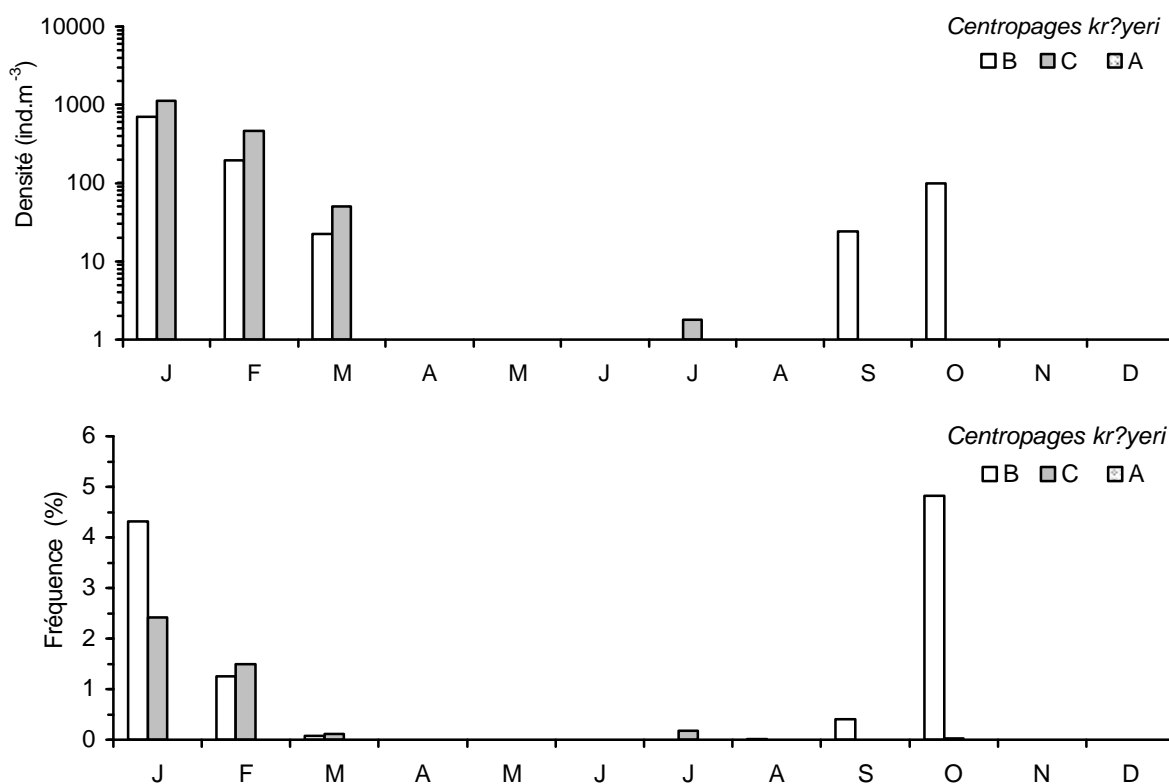


Figure II.31 : Variations mensuelles de la densité (ind.m⁻³, échelle logarithmique) du Copépode de *Centropages kroyeri*, et sa dominance correspondante (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.

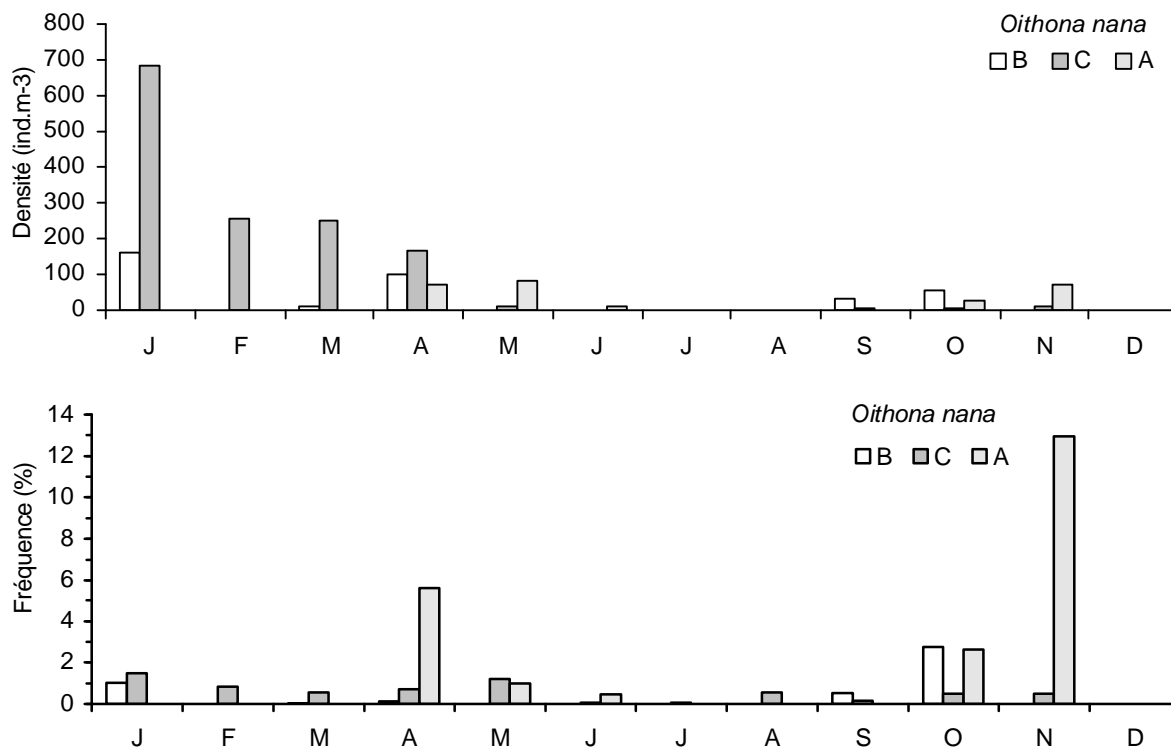


Figure II.32 : Variations mensuelles de la densité (ind.m⁻³) du Copépode de *Oithona nana*, et sa dominance correspondante (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.

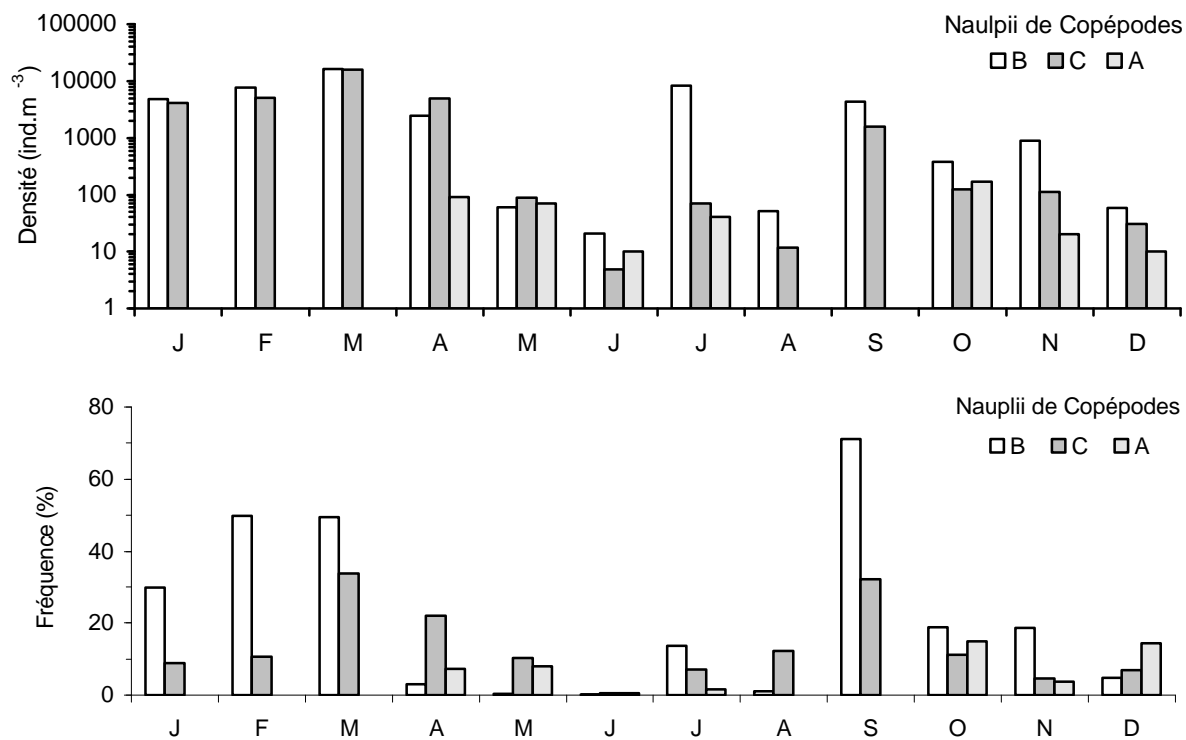


Figure II.33 : Variations mensuelles de la densité (ind.m⁻³, échelle logarithmique) des nauplii de Copépodes et leurs dominances correspondantes (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.

? *Tintinnides*

Ces Protozoaires ciliés se rencontrent surtout à la station B, où ils forment numériquement une fraction importante du zooplancton jusqu'à 82,70% en juillet. Ces ciliés oligotriches apparaissent donc notamment en été et se font toujours rares dans les récoltes durant le reste de l'année. Ils sont constitués principalement par les espèces : *Favella markuzowski*, *Cyrtocylis plagiostoma*, *Cyrtocylis cassis*, *Petalorika ampulle*, *Helicostomella subulata*.

4.2. Composants méroplanctoniques

Ce plancton temporaire constitue en générale une fraction importante du zooplancton des zones littorales. Il est composé essentiellement par les larves de Gastéropodes, les larves d'Annélides Polychètes, les larves de Décapodes, les nauplii de Cirripèdes et de l'ichtyoplancton (œufs et larves de poissons).

Cependant, le méroplancton (**fig. II.35**) se recrute abondamment au printemps (77 068 ind.m⁻³, station B) et en été (38 816 ind.m⁻³, station B), avec un pic moins important en hiver (31 885 ind.m⁻³, station C). Alors que, l'holoplancton abonde surtout en hiver (30 994 et 32 415 ind.m⁻³, en B et C) et en été (21 548 ind.m⁻³, station B).

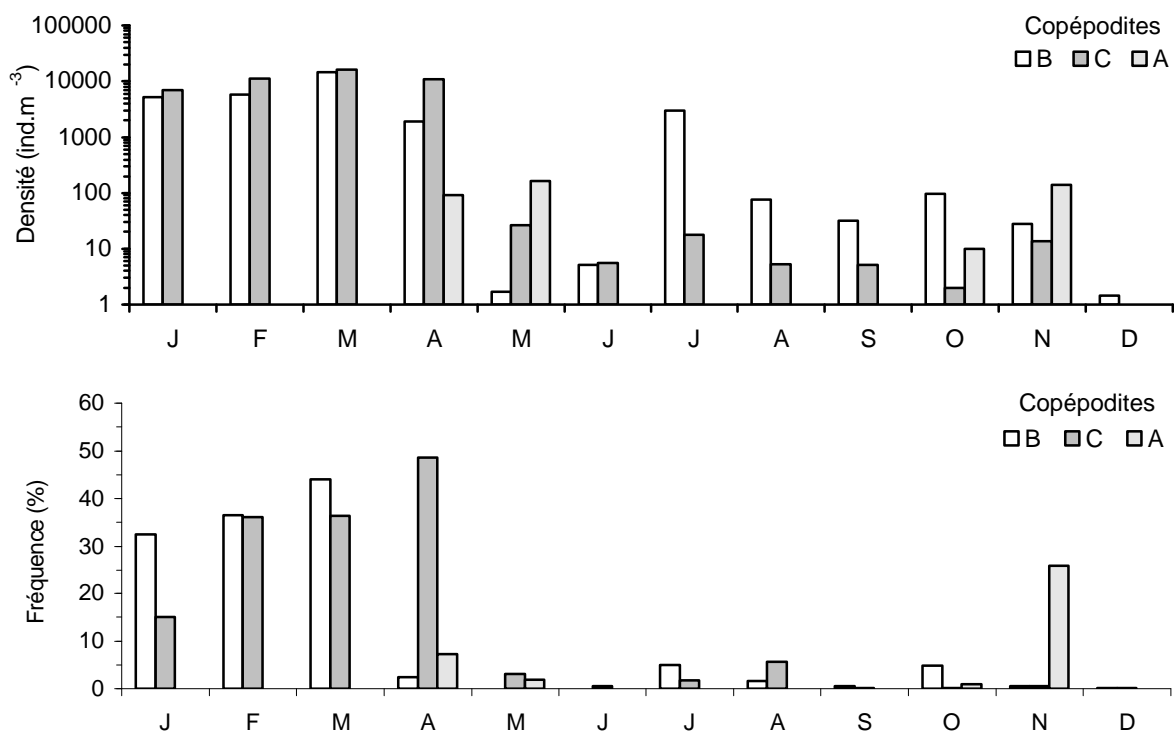


Figure II.34 : Variations mensuelles de la densité (ind.m⁻³, échelle logarithmique) des copépodites et leurs dominances correspondantes (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.

? Larves de Gastéropodes

Leur présence est permanente, avec de fortes densités en septembre à la station C : 1 719 ind.m⁻³, soit 35,14% de l'ensemble de la communauté zooplanctonique (**fig. II.36**) durant cette période de transition thermique. Dans la station B, le maximum de densité est atteint en avril (1 369 ind.m⁻³) (**fig. II.36**).

? Larves de Polychètes

Elles sont présentes dans la lagune en toute saison (**fig. II.37**). Les faibles densités sont enregistrées en octobre à la station B, avec une valeur de 440 ind.m⁻³. En août, l'abondance chute notablement pour atteindre une valeur de 48 ind.m⁻³ seulement. On note cependant, un maximum rencontré à la station B durant le mois d'avril offrant une densité de 75 387 ind.m⁻³ soit 92,25% du zooplancton total, ce qui montre que ces organismes ont un caractère démographique explosif dans la lagune. Par ailleurs, d'avril à juillet, les effectifs de la station C sont plus importants par rapport à ceux de la station B, en raison d'un transport marin supplémentaire accentué en cette période d'intensification des intrusions marines. Ces différences peuvent ne pas être imputables aux répartitions agrégatives naturelles et n'expriment pas forcément des différences écologiques significatives. En effet, il est vrai que la masse d'eaux est sensiblement homogène en salinité comme en température, comme il a été déjà signalé dans le premier chapitre consacré à l'environnement physico-chimique.

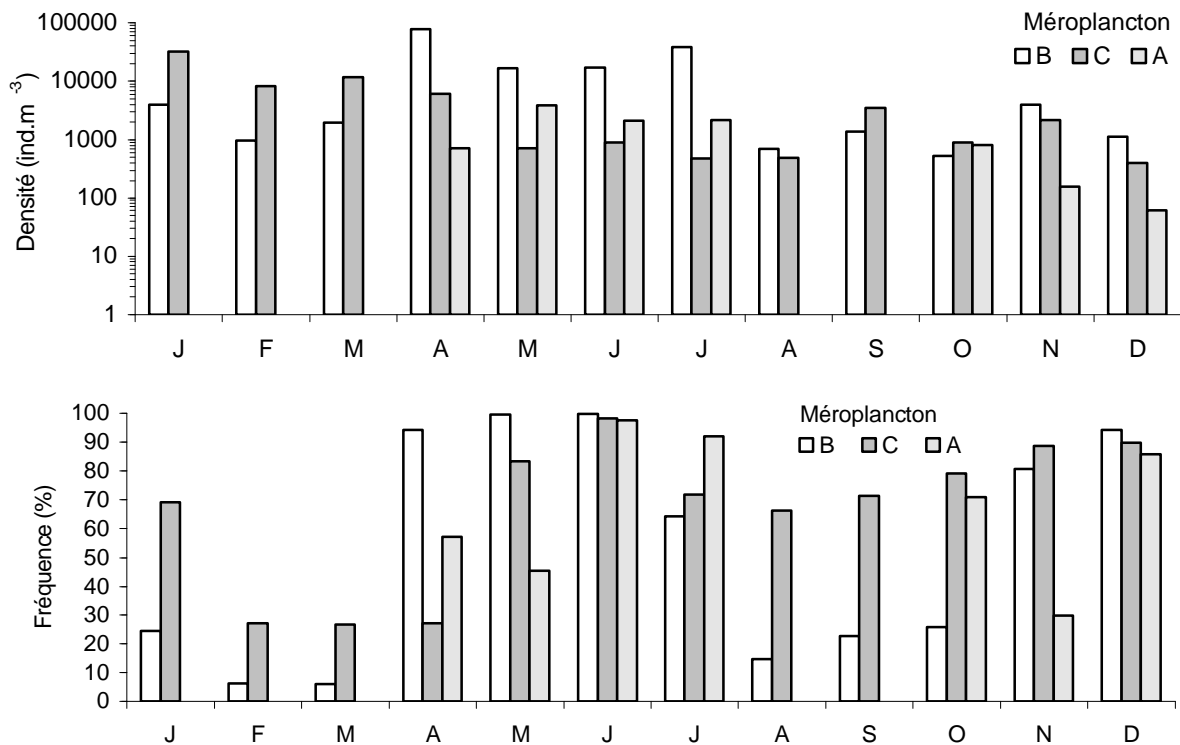


Figure II.35 : Variations mensuelles de la densité (ind.m⁻³, échelle logarithmique) du méroplancton et sa dominance correspondante (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.

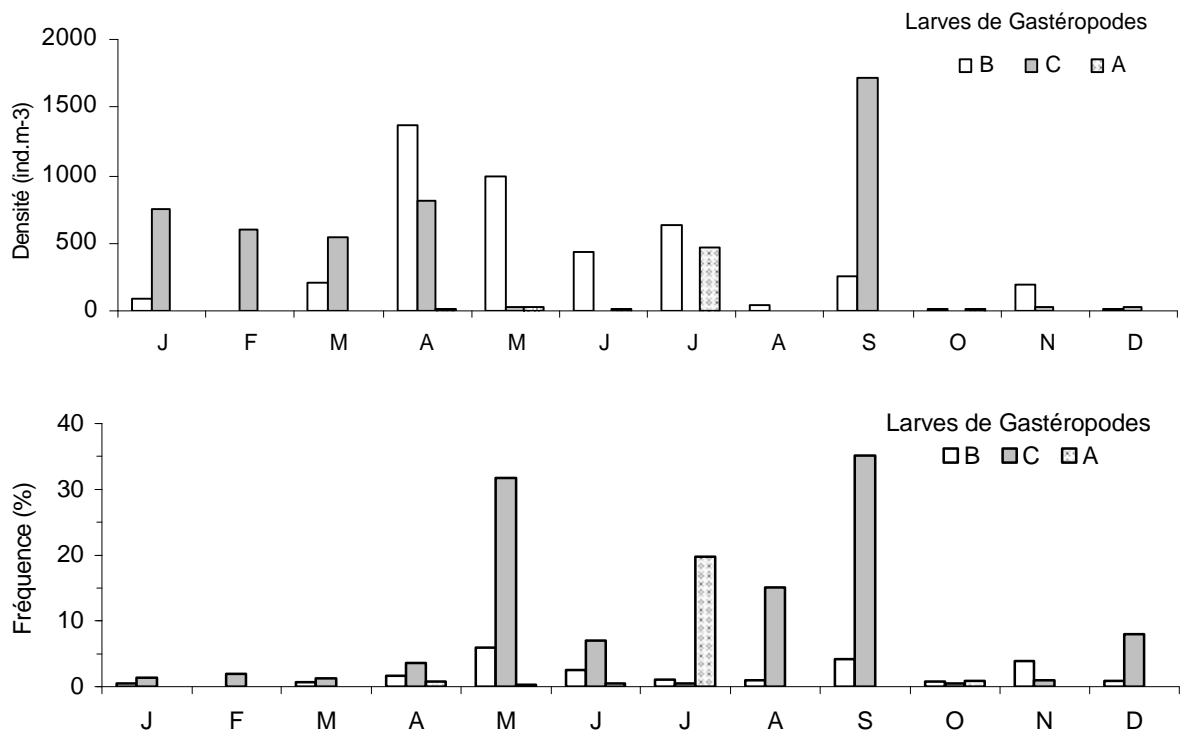


Figure II.36 : Variations mensuelles de la densité (ind.m⁻³) des larves de Gastéropodes et leur dominance correspondante (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.

? Larves de Décapodes

Ils sont représentés en grande partie par les larves du crabe Xantidé *Eryphia spinifrons*, avec des effectifs faibles par rapports aux autres taxons. La densité maximale est observée à la station C (464,60 ind.m⁻³) durant le mois de mars. La station B présente des valeurs numériques très semblables à celles de la station C. Ces crustacés méroplanctoniques sont rarement récoltés dans le chenal.

? Nauplii de Cirripèdes

Ce sont des organismes à affinité plutôt littorale. Les nauplii de Cirripèdes sont observés tout au long de l'année, sauf en hiver au niveau de la station B (fig. II.38). Contrairement à la station C, où on décèle pendant la même période des densités plus élevées (3 132 à 6 148 ind.m⁻³). A la station chenal, le maximum est dénombré en mai (2 105 ind.m⁻³), avec une absence quasi-totale en été et en automne, si on exclue le mois d'octobre.

? Ichtyoplancton

Les œufs et les larves de poissons représentant l'ichtyoplancton ont des valeurs numériques très faibles (<35 ind.m⁻³). En plus, Ils ne sont rencontrés que dans trois échantillons à la station C, aux mois de mars, septembre et novembre. Le minimum est enregistré au mois de septembre (0,25 ind.m⁻³). Avec les œufs d'Anchois européen, on a décelé la présence des alevins de la Raie et de l'Eguille.

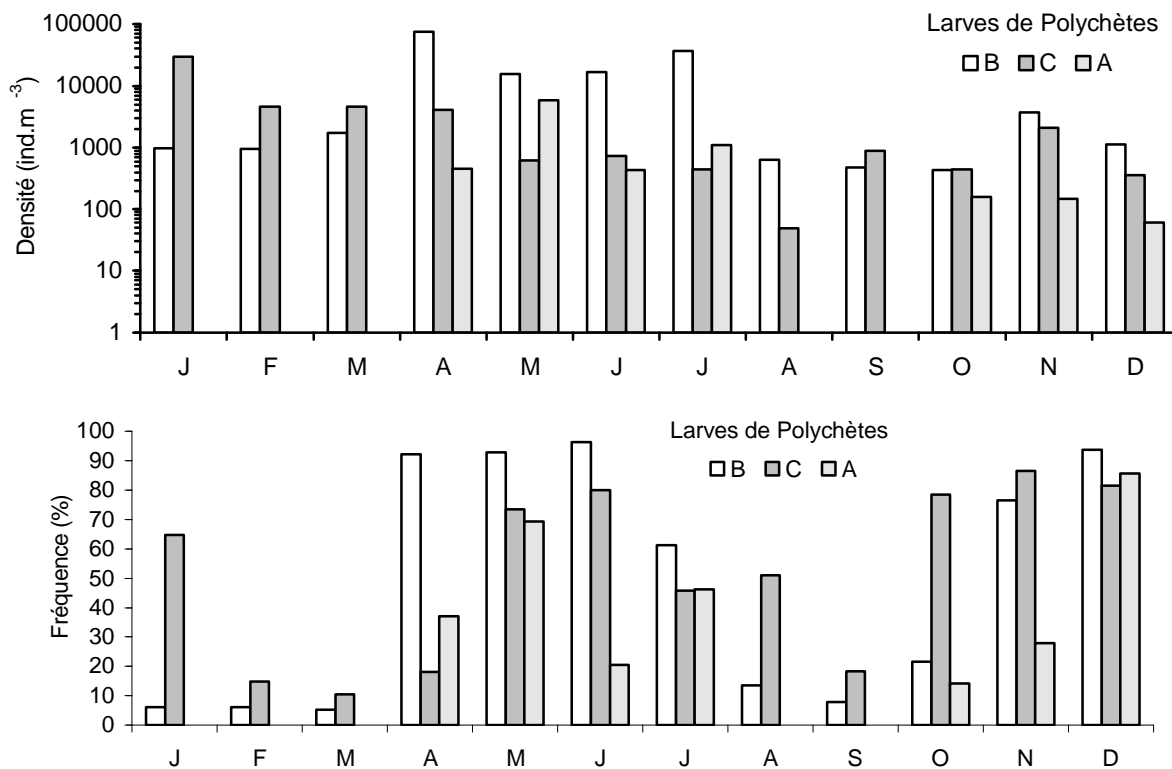


Figure II.37 : Variations mensuelles de la densité (ind.m⁻³, échelle logarithmique) des Polychètes et leur dominance correspondante (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.

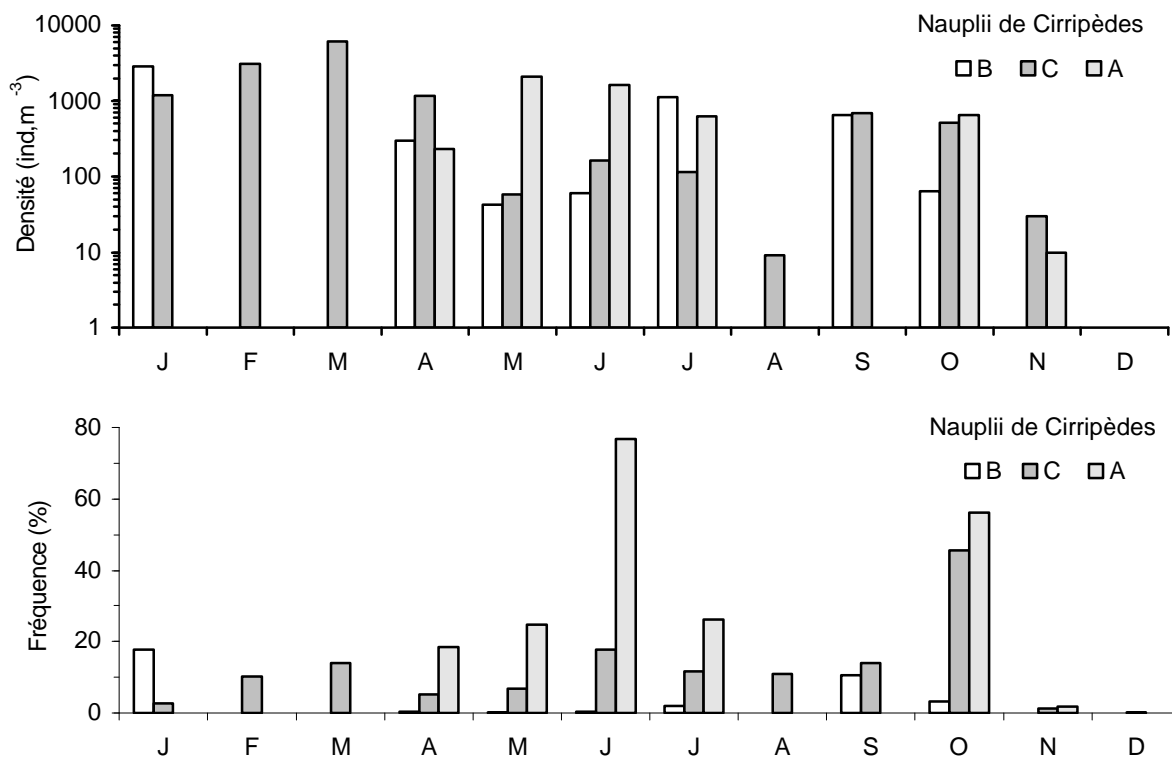


Figure II.38 : Variations mensuelles de la densité (ind.m⁻³, échelle logarithmique) des larves de Cirripèdes et de leur dominance correspondante (fréquence relative %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.

4.3. Nectobenthos

Le nectobenthos apparaît très irrégulièrement, son abondance est également faible quelque soit la station (**fig. II.39**). La densité maximale (220 ind.m⁻³), est relevée en mai à la station chenal. Une absence quasi-totale de cette catégorie de zooplancton est enregistrée en période hivernale. Sa contribution au sein du zooplancton reste faible et ne dépasse guère 7% excepté en avril à la station chenal, où la fréquence relative atteint 17%.

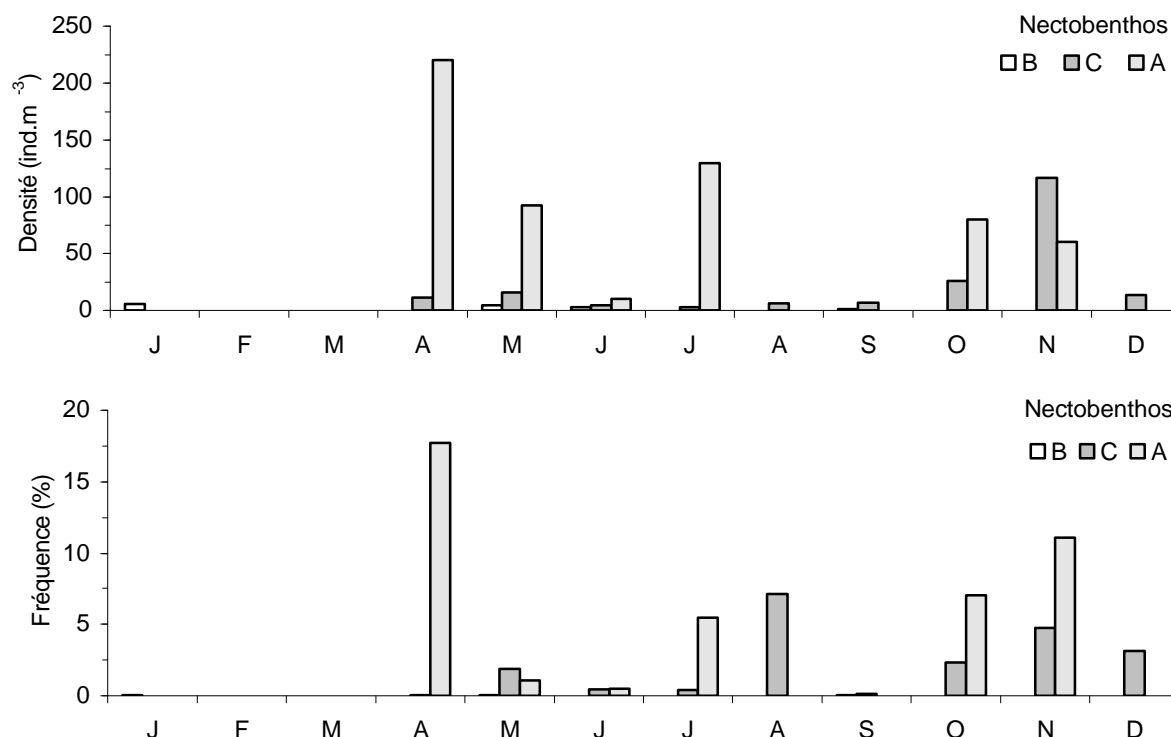


Figure II.39 : Variations mensuelles de la densité (ind.m⁻³) du nectobenthos et sa dominance correspondante (fréquence relative en %) dans les stations A, B et C, durant l'année 1998.

5. Echanges des peuplements zooplanctoniques avec le littoral adjacent

Comme pour le phytoplancton, les études antérieures du zooplancton (Haridi, 1999) n'ont pas cerné la période d'été. En conséquence, une campagne de l'été 1999 (22-25 août) a été consacrée pour la problématique du fonctionnement concernant ce compartiment, en insistant sur les échanges entre la lagune et le littoral contigu. La stratégie d'échantillonnage et les résultats obtenus sont développés dans un article rédigé en collaboration avec d'autres collègues chercheurs, et soumis et accepté pour publication dans le *Journal de Recherche Océanographique*. On expose alors dans ce qui suit l'épreuve du manuscrit sous sa forme acceptée.

ECHANGES TIDAUX ENTRE LA LAGUNE MELAH ET LE LITTORAL ADJACENT(MEDITERRANEE) EN ETE 1999. TRANSPORT DU ZOOPLANCTON DURANT TREIZE ETALES SUCCESSIVES DE MAREE

Makhlouf OUNISSI, Abdelkhalak RETIMA, Brahim DRAREDJA, Yacine MESSERER Ahcène HARIDI & Meriem
KHELIFI-TOUHAMI

Département des sciences de la mer, Université d'Annaba, BP 12, Annaba 23000, Algérie
Email : ounissi_mk@yahoo.com

Mots-clés : zooplancton, courant de marée, lagune Melah, Méditerranée

Résumé : L'échange des populations zooplanctoniques entre la lagune Melah et le littoral adjacent (Méditerranée) a été suivi dans une station-chenal de la lagune Melah à partir de prélèvements effectués aux maximums et aux étales de courants de marée pendant 13 marées successives (74 heures : 22-25 août 1999). Conjointement, des relevés hydrologiques ont été effectués, à l'échelle de la demi-heure : salinité, température, vitesse et direction des courants de marée. Les débits hydriques de phases de marée, l'échange et le renouvellement de la lagune ont été également évalués. La marée a montré un régime semi-diurne permettant un échange journalier de 105 000 m³. Bien que la pleine mer introduise 50.300 m³.j⁻¹ d'eau de salinité moyenne 37,32, le Melah reste un bassin de dilution et sa salinité n'a pas dépassé en moyenne 29,70. L'amplitude de salinité d'un cycle complet flot-jusant, est très importante (7,62). Le suivi des échanges zooplanctoniques lagune-mer a permis de démontrer l'origine et le devenir des taxons transportés dans l'écosystème adjacent. Chaque flot introduit jusqu'à 30 taxons appartenant principalement aux Copépodes (*Oithona nana*, *Acartia* spp.) et aux Zoés de Décapodes (*Eryphia spinifrons*, Diogéniéidae et Caridae). Ces intrus se dispersent rapidement dans la lagune et retournent très partiellement en mer avec le jusant consécutif. Paradoxalement, ce sont les intrusions marines qui enrichissent la lagune, les flots étant en moyenne 6 fois plus denses en holoplancton (1.570 ind. m⁻³) que les eaux de jusant, comprenant principalement les nauplii de Cirripèdes et dans une moindre mesure la Méduse *Obelia* sp. et le Copépode *Acartia latisetosa*. Les zoés de Décapodes apparaissent en grand nombre (383 à 1.970 ind. m⁻³) dans les étales de flots de nuits et suivent sensiblement un rythme nycthémeral régulier. Leur retour, à la mer, au jusant suivant n'est assuré qu'à raison de 6 à 68%. Le zooplancton lagunaire refoulé à la mer en basse mer est entraîné rapidement à l'Est par le courant côtier. Celui-ci permet en outre un renouvellement très rapide de la zone contiguë à l'ouverture du chenal. On constate enfin que les advections tidales approvisionnent la lagune en zooplancton mais que cet enrichissement se limite à la phase de flot. Les immigrants ne se maintiennent pas en effet dans la lagune au-delà d'un cycle complet de marée, en raison des mortalités liées aux fortes températures et à l'écart halin lagune-mer.

TIDAL EXCHANGE EXPERIMENT BETWEEN THE MELAH LAGOON AND THE ADJACENT COAST (MEDITERRANEAN) IN SUMMER 1999. ZOOPLANKTON TRANSPORT DURING THIRTEEN SUCCESSIVE TIDE SLACKS

Key-words: zooplankton, current tide, Melah lagoon, Mediterranean

Abstract: The zooplankton exchange between the Melah lagoon and the adjacent coast (Mediterranean) was studied at a fixed channel-station during 13 successive tidal slacks (74 hours: 22-25 August 1999) using samples collected at maximum and at slack of tidal current. Simultaneously, hydrological parameters were measured every half-hour: salinity, temperature, velocity and tidal current direction. Water flux and water volume of tidal phase and the renewing rate were also evaluated. Semidiurnal tide regime allows to exchange 105 000 m³ d⁻¹ between the Melah and the sea. Although the high tide introduces 50 300 m³ d⁻¹ of marine water with a salinity up to 37.32, the lagoon functions as a dilution basin and its mean salinity did not exceed 29.70. The salinity range for a whole tidal cycle flood tide-ebb tide was very important (7.62). Investigation of the lagoon-adjacent coast zooplanktonic exchange allows demonstrating origin and becoming of the transported taxa into the adjacent ecosystems. Analysis of samples show that every flood tide introduces about 30 taxa constituted principally of copepods (*Oithona nana*, *Acartia* spp.) and of decapoda zoe (*Eryphia spinifrons*, *Diogeniidae* and *Caridae*). These intruders disseminate rapidly into the lagoon and drive-back partially in successive ebb tides. Paradoxically, the marine intrusion forms an enrichment source for the lagoon: the flood tide is 6 times denser in holoplankton (1 570 ind.m⁻³) than ebb tide water, which comprises principally cirripedia nauplii and, in minor importance, the medusa *Obelia* sp. and the copepod *Acartia latisetosa*. Decapods Zoe show large numbers (383 à 1 970 ind.m⁻³) in flood tide slacks of night samples and follow a regular nycthemeral cycle. Their driven back, at successive ebb tide, is only assured up to 6 to 68%. Lagoonal zooplankton exported in low tide is rapidly removed eastward along the coast by coastal current, which renews coastal area in front off the channel entrance. We observe finally that tidal advection enriches the lagoon in zooplankton transportation but such enrichment is limited only to the flood period. As a matter of fact, introduced zooplankton cannot maintain in the lagoon beyond the whole tidal cycle because of the high temperature and the difference of salinity between the lagoon and its adjacent coast.

INTRODUCTION

Le lac Melah forme une étendue d'eau saumâtre qui communique avec la mer par un long chenal n'assurant qu'un faible débit (0,5 à 3,5 m³ s⁻¹). Cet écosystème exploité pour la pêche essentiellement, constitue un véritable laboratoire naturel où les phénomènes écologiques sont répétitifs aux rythmes de la marée et de la saison. De plus, le Melah semble être épargné des influences anthropiques, excepté les intrusions de fertilisants agricoles lors des crues. La lagune a ainsi suscité beaucoup d'intérêts scientifiques (Gimazane, 1982 ; Cataudella, 1982 ; FAO, 1982 ; Semroud, 1983 ; Guelorget *et al.*, 1989 ; Samson-Kechacha & Touahria, 1992). Ces études n'ont cependant pas considéré l'importance de la marée en particulier après l'aménagement qu'a subi le Melah en 1988. Pour les besoins de l'aménagement, la FAO (1982) a étudié (sur un cycle nyctéméral en octobre 1982) les échanges mer-lagune et a calculé le renouvellement mensuel de toute la masse d'eau avec un échange journalier de 900.000 m³.

Les études d'échanges mer-lagune ont un double intérêt, écologique et économique. L'intérêt écologique est manifeste dans la mesure où les échanges chimiques et planctoniques sont traités dans un contexte de flux d'énergie et de matière. On comprend aussi que l'intérêt économique apparaisse clairement dans la mesure où les œufs et les larves des populations exploitables de Mollusques et de poissons peuvent être dispersés dans un milieu défavorable, différent par ses caractéristiques haline et trophique. Il est ainsi utile de préciser le niveau de dispersion et le devenir des taxons méroplanctoniques échangés et de proposer des procédés d'interventions pouvant limiter les pertes pour les deux milieux. Dans ce contexte, les récentes études du plancton des estuaires et milieux côtiers ouverts à l'océan se sont intéressées aux transports, dispersions, échanges et aux aires de concentrations de zooplancton (méroplancton notamment) selon l'advection tidale et la circulation des masses d'eaux (Maranda & Lacroix, 1983, Mathivat-Lallier & Cazaux, 1990 ; Lagadeuc, 1992 ; Dewarumez *et al.*, 1993 ; Marcano & Cazaux, 1994 ; Thiebaut *et al.*, 1994). Cette problématique se pose aussi bien pour le succès larvaire des espèces autochtones de Mollusques exploitées dans le Melah (Palourde *Ruditapes decussatus* Linnaeus et la Coque *Cardium claucum* Bruguière) comme pour le méroplancton (œufs de poissons et larves de Décapodes) d'origine marine, parvenant dans la lagune lors des advections de pleine mer.

Le régime hydrologique de la lagune Melah conditionne le fonctionnement écologique et la mise en valeur de cet écosystème. Ce régime est variable selon les conditions climatiques d'une part et l'échange avec la mer d'autre part. L'hydrologie est un outil pertinent et indispensable pour l'aménagement et la gestion biologique du lac et même du littoral voisin. Pourtant aucune étude n'a été réalisée consécutivement à l'aménagement du chenal en 1988. Le projet 'Ecomellah' entrepris en 1996 a pour objectif l'évaluation écologique de la lagune en rapport avec les échanges marins (Ounissi *et al.*, 2002). Les suivis des échanges mer-lagune (hydrologie et plancton) à partir de trois cycles nyctéméraux représentant trois saisons, (Ounissi *et al.*, 2002) semblaient insuffisants pour aboutir à ce but et incitent à tenir le plus grand compte de la

situation estivale pour une meilleure compréhension du fonctionnement hydrologique et écologique du milieu.

En complément à ces recherches, il est proposé dans la présente étude, le suivi des échanges hydrologiques et zooplanctoniques sur plusieurs jours successifs. L'objectif est de préciser le fonctionnement hydrologique en été et les échanges zooplanctoniques entre la lagune et le littoral voisin.

MATERIEL ET METHODES

Le milieu

Le lac Melah est situé sur le littoral de l'Est algérien (36° 53'N-8° 20'E). C'est une étendue d'eau lagunaire de 876 ha (volume d'environ 24 10⁶ m³) qui communique avec la mer par un chenal long (900 m) et étroit (8-20 m de rayon hydraulique), n'assurant ainsi qu'un faible débit (0,5 à 3,5 m³ s⁻¹) (figure 1). Le régime hydrologique conditionne le fonctionnement écologique et la mise en valeur du lac. Ce régime dépend des conditions météorologiques d'une part et de l'échange avec la mer d'autre part.

Par ailleurs, la faible profondeur du lac (6 m maximum) rend la masse d'eau sensible aux influences climatiques et marines. Ainsi des apports hydriques importants pendant 3-4 jours, en période pluvieuse, pourraient modifier profondément la qualité du milieu et même du littoral voisin (diminution de la salinité jusqu'à des valeurs seuil pour les peuplements exploités, exportations en masse du plancton, limitation de l'intrusion marine, inondation, pollution par fertilisants chimiques, enrichissement de la côte voisine, prolifération de microalgues toxiques, etc.). De même, la diminution des apports marins par colmatage du chenal de communication avec la mer aboutirait à des destructions comparables.

Les apports d'eau douce arrivent par trois ruisseaux de faible débit et dont le bassin versant ne dépasse pas 82 km². La région est cependant pluvieuse (910 mm an⁻¹ en moyenne) et l'apport moyen annuel en eau douce s'élève ainsi à 20.10⁶ m³ environ. Le bilan hydrique global annuel est positif avec un volume excédentaire de 4.10⁶ m³ (Messerer, 1999). Le renouvellement mensuel (FAO, 1982) devrait augmenter la salinité de la lagune, auparavant de l'ordre de 25-27. Cependant, dix ans après l'aménagement (1997), le Melah ne se renouvelle qu'en 10 mois environ (Ounissi *et al.*, 2002) et sa salinité minimale atteint 30,5 et diminue même jusqu'à 21 lors des crues saisonnières.

La côte adjacente, à plateau continental relativement étroit (figure 1), est affectée par un courant de direction Est dont la vitesse est de l'ordre de 10-25 cm. s⁻¹ (Ounissi & Khelifi-Touhami, 1999). La lagune reçoit ainsi l'eau marine provenant de l'ouest et ses extrusions en jusant sont rapidement évacuées vers l'est par le fait du courant.

En 1999, la pêche de poissons néritiques dans la lagune a chuté jusqu'à un rendement ne dépassant pas 16 kg. ha⁻¹ (Office National de Développement de la Pêche et de l'Aquaculture : ONDPA, com. pers., 2000).

Prélèvements et analyse des échantillons

Afin de mieux comprendre les échanges mer-lagune, une station-chenal a fait l'objet de relevés continus de température, salinité, vitesse et direction du courant à

l'échelle de la demi-heure sur quatre jours (22-25 août 1999). La station-chenal (A), profonde seulement de 1 m est située au milieu du chenal, à 400 m environ de la mer (figure 1).

La température et la salinité ont été mesurées par un thermosalinomètre de type Kent EIL 5005 et la vitesse et la direction du courant ont été relevées par un courantomètre de type T.D.CM2. Les données de vitesses de courants ont permis d'estimer le débit et le volume d'eau échangé chaque demi-heure, connaissant le profil moyen (14 m de longueur), le pas de mesure dans le profil (0,30 m), les surfaces partielles et la surface totale de la section mouillée (9 m²). Les débits moyens (m³.s⁻¹) pour une demi-heure et pour une phase de marée donnée (jusant ou flot) sont calculés.

Parallèlement, le zooplancton a été récolté aux étales de marées et de courants de marée (Tableau I). Les prélèvements des étales de marées ont été effectués aux maximums de courants, s'observant généralement entre 1 à 3 heures après l'étales de courant précédent. Cette stratégie d'échantillonnage permet d'avoir une image sur les taxons de la phase en présence (pleine ou basse mer) en plus de la fraction retournée de la phase précédente. Les prélèvements des étales de courants de marée devraient refléter une image aussi fidèle que possible des contingents lagunaires en étales de jusant ou néritiques en étales de flot. Il est supposé en fait qu'à la fin de la basse mer, l'eau de l'étales de jusant comprend les peuplements du centre et même des confins de la lagune. En fait, un courant de jusant de vitesse 20.cm s⁻¹, coulant pendant 6 heures par exemple, parcourt presque toute la lagune et peut entraîner ainsi les peuplements des confins lagunaires. De même, lorsque le courant de flot aura coulé pendant toute la phase (3-6 heures), à son étales, l'eau entraîne théoriquement les peuplements néritiques les plus lointains provenant de l'ouest du plateau continental d'El-Kala. En effet, eu égard à la direction Est du courant littoral au voisinage du Melah (Ounissi & Khélifi-Touhami, 1999), les eaux de jusants arrivées à la côte, sont rapidement emportées vers l'Est. Les eaux pénétrant la lagune sont celles qui proviennent de l'Ouest. La salinité typiquement marine des eaux de l'étales de flot (37,48) montre en effet le bon renouvellement du secteur côtier adjacent. Il s'agit en fait d'un suivi eulérien qui consiste à observer une structure spatiale mobile qui défile devant le point d'observation (Frontier & Pichod-Vialae, 1991). Dans le même contexte, Gagnon & Lacroix (1982), montrent que le suivi eulérien du zooplancton du haut Saint-Laurent, permet de reconnaître facilement les effets advectifs de marée. Il est difficile en effet de caractériser les peuplements dans un suivi lagrangien des courants, en raison des turbulences des eaux occasionnées par les courants de marées.

Faute d'annuaire des marées pour le site d'étude, les horaires de marée sont déduits du suivi *in situ* (à l'échelle de la demi-heure) des courants de marée à l'aide des enregistrements des vitesses de courants.

D'autre part, Si la lagune est soumise aux apports continentaux et de sources immergées, on peut estimer la fraction d'eau douce présente en chaque moment dans le milieu ainsi que celle transitant par le chenal lors du jusant. L'équation suivante (Giovanardi & Tromellini, 1992) permet de calculer cette fraction :

$$F (\%) = 100 (S - s) / S \quad (1)$$

Où F est la fraction d'eau douce, S la salinité de l'eau de mer et s la salinité de l'échantillon ou de l'eau du jusant.

La fraction d'eau douce exportée à la mer puis retournée à la lagune par la marée montante, peut être calculée également à partir de l'équation (1). Connaissant le volume des échanges mer-lagune chaque demi-heure et le volume cumulé de phase (Q_p), on peut calculer la fraction et le volume d'eau douce qui leur sont associés.

Chaque échantillon du zooplancton correspond à un prélèvement de 300 litres d'eau de surface (5 coups de seau). L'échantillon est ensuite filtré sur tissu de filet à plancton de maille 200 µm et le contenu du filtrat est conservé dans une solution de formol à 4%. Les 24 récoltes ont été analysées sans fractionnement. L'échantillon de la première étales du jusant (5h 30 mn) du 25 août a été perdu suite à une mauvaise conservation.

RESULTATS

Régime de marée et échanges hydrologiques

La marée montre un régime fondamentalement semi-diurne (figure 2A). Cependant, l'ensemble des cycles complets (jusant-flot) successifs sont très inégaux, avec des cycles longs de 14 heures alternant régulièrement avec des cycles courts de 9 heures (Tableau II). Ces deux catégories de cycles longs et courts gardent sensiblement la même période. La figure 2 montre aussi que l'écoulement des courants dans les cycles courts est toujours plus faible (5,25-13,60 cm.s⁻¹) que celui des cycles longs (15-20,65 cm.s⁻¹). Quantitativement, on note que chaque forte évacuation d'eau en jusant (29 000 - 36 000 m³) entraîne une diminution du niveau et crée un 'appel' d'eau en flot presque équivalent (35 000-43 500 m³) et inversement (figure 2B). Si les débits sortants de grands jusants (demi-période de cycle long) sont un peu inférieurs aux débits entrants de grands flots, les débits sortants de petits jusants (demi-période de cycle courts) sont en revanche toujours plus élevés (14 000 - 23 000 m³) que ceux de petits flots (5 000 - 12 600 m³). L'équilibre hydrostatique pourrait se réaliser donc en deux cycles complets successifs.

On constate d'autre part qu'une marée permet d'échanger en moyenne 52 500 m³ (figure 2B, Tableau II), soit 105 000 m³ par jour ou 3 150 000 m³ par mois. Ce renouvellement mensuel représente 13% du volume total de la lagune (24.10⁶ m³). La température de jour des étales des eaux de jusant, reflétant celle de la lagune, atteint un maximum de 31,30°C. L'amplitude thermique jour-nuit est de 3°C pour les eaux des étales de jusant et seulement de 0,70°C pour les eaux de l'étales de flot où la température n'a pas dépassé 27,50°C (figure 2A).

La salinité de la lagune a fluctué en moyenne entre 29,10 et 30,25 et celle des eaux marines (eau du flot) entre 37,12-37,48 (Tableau II). La lagune garde ainsi une salinité très inférieure à celle de la mer au cours de cette étude. La salinité reste faible en raison du faible renouvellement d'une part et d'apports d'eau douce (par les sources immergées et les apports continentaux accumulés le reste des saisons) d'autre part.

La figure 2 B montre l'évolution des échanges en eau douce (volumes cumulés de phases : Q_d) On y constate que l'eau du jusant exporte entre 1 920 et 6 900 m³ alors que le volume retourné à la lagune en flot a varié seulement entre 96 et 960 m³. La lagune exporte ainsi quotidiennement 8 400 m³ d'eau douce à la mer ou 252 000 m³ par mois, ce qui représente 1% du volume total du Melah. D'autre part,

si la salinité du Melah est maintenue constante autour de 29, on peut déduire de l'équation (1) que cet écosystème recèle un volume d'eau douce de $5,44 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (soit une fraction de 22,67%). En outre, l'évaporation régnant la région au mois d'août est estimée à 3mm par jour, ce qui implique que le Melah perd environ $788 \cdot 400 \text{ m}^3$ (ou 3,30%) en ce mois. Malgré cette forte évaporation à laquelle il faut ajouter le volume d'eau douce exporté à la mer, la lagune se comporte comme un bassin de dilution grâce aux apports continentaux antérieurs et au faible renouvellement.

Composition et échange du zooplancton

Composition globale

Le tableau III donne la liste systématique des taxons récoltés. Le zooplancton récolté comprend essentiellement des Copépodes, des larves zoé de Décapodes, des nauplii de Cirripèdes, l'Hydroméduse *Obelia* sp. et le Foraminifère *Tretemphalus bulloides*. Les autres groupes (larves de Polychètes, Ostracodes, Cladocères, Appendiculaires, Chaetognates, Amphipodes, Tintinnides, Méduses, Mollusques, Mysidacés) sont très minoritaires. Les récoltes contiennent aussi régulièrement des Copépodes méiobenthiques représentés notamment par *Canuella perplexa* et *Harpacticus littoralis*. Au sein de la population de *Canuella perplexa* dominent les jeunes copépodites. Les Amphipodes phytophiles et les Nématodes méiobenthiques sont rares.

Les Copépodes planctoniques sont représentés par 28 espèces dont seule la population de *Acartia latisetosa* semble coloniser la lagune en cette période, le reste des espèces provient du littoral adjacent (Tableau III).

Les larves de Décapodes sont diversifiées, abondantes et n'apparaissent que dans les récoltes de nuit. Le Xantidae *Eryphia spinifrons* et quelques espèces de Caridea (non identifiées) dominent très largement ce peuplement méroplanctonique.

Le Foraminifère *Tretemphalus bulloides*, la Méduse *Obelia* sp., les larves d'Annélides ainsi que les nauplii du Balane *Balanus* sp. sont presque toujours présents dans les récoltes. Au sein des Cladocères on rencontre sporadiquement *Podon polyphemoides*, *P. intermedius*, *Evadne spinifera*, *Evadne tergestina* et *Penilia avirostris*. Le Mysidacé *Leptomysis mediterranea* n'a été récolté que pendant la nuit du 24-25 août.

Echanges zooplanctoniques

Echange du zooplancton total et du nectobenthos

La densité est assez élevée atteignant $7 \cdot 900 \text{ ind.m}^{-3}$ (figure 3). Les exportations zooplanctoniques à la mer sont largement compensées par le flux marin, le bilan des échanges numériques est positif pour la lagune. On peut remarquer par ailleurs (figure 3) que le reflux lagunaire est constitué principalement par les formes méroplanctoniques alors que le flux marin comprend notamment les formes holoplanctoniques. Le bilan des échanges en méroplancton est ainsi négatif pour la lagune et positif en holoplancton à l'échelle de la phase de marée pour toute la période d'étude. Le rapport des densités de phases flot-jusant successives (déduit de la figure 3) pour le méroplancton fluctue entre 0,29 et 0,70 sauf pour la nuit du 23-24 août où les larves de Décapodes abondent dans le flot. Les pénétrations de l'holoplancton connaissent une forte

dispersion dans la lagune et la fraction retournée en mer (inverse du rapport des densités de phases flot-jusant successives, déduit de la figure 3), ne représente que 0,20 à 0,50 excepté pour la première marée.

On rencontre dans les récoltes les Copépodes Harpacticoides nectobenthiques en grand nombre par phase de marée en particulier les formes jeunes. Pratiquement la quasi-totalité des copépodites appartiennent à la population de *Canuella perplexa*. Il s'agit de formes phytophiles colonisant probablement les herbiers de *Posidonia* abondants sur la bande côtière voisine et les herbiers de *Ruppia* et de *Zostera*, dans le Melah. Comme on peut le remarquer sur la figure 3, les populations de ces Copépodes jeunes ou adultes montrent un comportement nocturne et apparaissent notamment dans les flots de nuit. La majorité des adultes appartiennent à *Harpacticus littoralis*. On constate également que le transport advectif des Copépodes nectobenthiques est fonction de la vitesse et de la durée du courant de flot : les densités les plus élevées s'observent lors des flots prolongés coulant fortement (figures 2 et 3).

Le suivi des entrées-sorties des Copépodes Harpacticoides, montre par ailleurs que les copépodites de *Canuella* proviennent de la lagune et sont ainsi transportés à la mer au jusant tant que les adultes d'*Harpacticus* parviennent à la lagune à partir de la côte voisine. *Harpacticus* semble se disséminer rapidement dans le Melah seulement 5 à 50% des individus retournent par le biais du jusant consécutif (figure 3).

Echange des composants holoplanctoniques

Les échanges numériques mer-lagune des principaux composants holoplanctoniques, représentés à la figure 4, soulignent l'origine marine de ce compartiment. Les Copépodes pénètrent au flot dans la lagune toujours en grand nombre (jusqu'à $3 \cdot 330 \text{ ind.m}^{-3}$) mais ne sont récoltés dans le jusant ultérieur qu'en faible effectif. Il s'agit d'une forte et rapide dissémination dans le milieu lagunaire. La récolte de l'étale de jusant du 23 août à 4h 30 mn, comprend essentiellement *Acartia latisetosa* (340 ind.m^{-3} adultes et 120 ind.m^{-3} copépodites, données confondues avec *Acartia* spp.) plus inféodée à la lagune (figure 4). Parmi les espèces d'*Oithona*, on observe plus fréquemment *Oithona nana*, *Oithona plumifera* étant rare. Le suivi du transport tidal de *O. nana*, montre des fortes intrusions marines en particulier lors des flots du 24 et 25 août. Les effectifs refoulés à la mer sont très faibles et attestent d'une dispersion rapide en milieu lagunaire (figure 4). Le comportement de *Euterpina acutifrons* est semblable sauf qu'il s'agit d'une population à faible effectif ne dépassant pas 70 ind.m^{-3} (figure 4). Les autres espèces de Copépodes sont tous d'origine marine, apparaissant en faibles densités dans les récoltes de flot et ne s'observent au jusant que très rarement. *Acartia grani* est signalée pour la première fois dans région ; sa densité dans l'eau du flot a varié entre 0 et 73 ind.m^{-3} . (données présentées avec *Acartia* spp., figure 4).

Au sein de l'holoplancton on rencontre également en abondance le Foraminifère *Tretemphalus bulloides*. Cette espèce est abondante surtout dans les pêches de nuit en pleine mer comme en basse mer (figure 4). En revanche, ce Foraminifère se fait rare et disparaît même dans les récoltes de jours, ce qui laisse supposer un comportement nocturne de l'espèce. Contrairement aux autres taxons, *Tretemphalus bulloides* montre un équilibre de ses

échanges d'effectifs entre la mer et la lagune, les densités d'entrée sont comparables à celles de sortie. Il s'agit pourtant d'une espèce d'origine marine.

Les Crustacés Cladocères et Ostracodes sont très peu abondants dans les pêches et montrent une origine marine (figure 4). *Penelia avirostris* forme l'essentiel des effectifs des Cladocères et apparaît dans les récoltes de flot. Les eaux du jusant sont toujours très pauvres en Cladocères et Ostracodes et attestent d'une certaine dispersion dans le Melah de ces microcrustacés.

Il faut souligner en outre la pénétration dans la lagune d'un petit banc (60 ind.m⁻³) du Mysidacé *Leptomysis mediterranea* lors de l'étalement du flot (00 h 30 mn) du 25 août (données non représentées). Cette population est rapidement disséminée dans le Melah et ne retourne avec le jusant successif qu'une fraction de 28% de l'effectif entrant.

Echange des composants méroplanctoniques

Le méroplancton est composé principalement des larves de Décapodes, des nauplii de Cirripèdes et de la Méduse *Obelia* sp. (figure 5). Les Décapodes apparaissent toujours en grand nombre (383 à 1 970 ind.m⁻³) dans les étales de flots de nuit selon un rythme nyctéméral très régulier. La présence de jour avec la marée montante est limitée seulement à quelque ind.m⁻³ appartenant aux Caridea et à *Eryphia spinifrons*. Au sein des Décapodes le barchioure Xantidae *Eryphia spinifrons* est le plus abondant et présente des variations nyctémérales bien rythmées. L'intrusion de *E. spinifrons* par les flots de nuit est suivie par une forte dissémination dans la lagune et seulement 6 à 68% de la population retourne dans les eaux du jusant. A l'opposé, au moins 60% des Caridea retournent toujours (au jusant) à la mer, en raison probablement d'un apport supplémentaire d'espèces d'affinité lagunaire (figure 5) : les Caridea regroupent en fait plusieurs espèces appartenant en grande partie à la famille des Alphaeidae.

Les Anomoures Diogenidae *Clibanarius erythropus* et *Calcinus ornatus* sont peu abondants sauf lors de l'intrusion de la nuit du 23 août où leur densité atteint 200 ind.m⁻³. Il faut remarquer aussi que les larves de Décapodes n'apparaissent que dans les eaux d'étalement de courants et ne s'observent jamais avec les francs courants de flot comme de jusant. Les larves de Mollusques Gastéropodes parvenant de la côte voisine lors de la pleine mer, se dispersent rapidement dans le Melah (figure 5). En revanche les larves d'Annélides Polychètes sont parfois plus abondantes dans les eaux de basse mer que dans celles de pleine mer.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les lagunes méditerranéennes sont pour la plupart des milieux confinés (Guelorget et Perthuisot, 1983 ; Gaudy *et al.*, 1995) en raison de leur faible renouvellement hydrologique : les chenaux de communications avec la mer sont étroits et parfois long et ne permettent qu'un faible échange. La problématique du transport tidal instantané de faunes planctoniques n'est pas encore abordée en Méditerranée. L'échelle de confinement établie par Guelorget et Perthuisot (1983), qui traduit le degré de renouvellement de l'étendue lagunaire, n'est basée que sur la distribution du macrobenthos et de la biomasse

phytoplanctonique. Ces auteurs considèrent par ailleurs que les milieux lagunaires sont conditionnés par l'importance des échanges avec la mer plutôt que par la salinité, celle-ci étant d'ailleurs que le résultat de ces mêmes échanges.

L'objectif principal de cette étude est de décrire les échanges et le devenir des faunes planctoniques transportées au gré de la marée entre la mer et le Melah. D'un point de vue hydrologique, le régime semi-diurne de marée permet un échange journalier de 105 000 m³, les apports marins contribuant pour 48%. Ce renouvellement n'est pas suffisant pour une exploitation optimale du Melah puisque la salinité de celui-ci (29,70) reste très inférieure à celle du littoral voisin (37,32). Le suivi des échanges hydrologiques en hiver et au printemps 1996/97 (Messerer, 1999 ; Ounissi *et al.*, 2002) montre que le Melah présente un bilan hydrologique positif et fonctionne comme un bassin de dilution. D'autre part, si les données de la FAO (1982) supposent un renouvellement journalier de 9.10⁵ m après l'aménagement du chenal en 1988, la présente étude montre que ce renouvellement a diminué de 88%. Parallèlement, la pêche de poissons marins a diminué de 80% de 1990 à 1999 (ONDPA, com. pers., 2000) : la production n'est que de l'ordre de 16 kg. ha⁻¹ en 1999. Le colmatage du chenal semble ainsi atteindre un niveau critique et le chenal devra impérativement être aménagé et recalibré pour assurer un renouvellement des eaux approprié à la mise en valeur de la lagune.

Ces conditions hydrologiques retentissent amplement sur l'établissement des immigrants échangés entre les deux écosystèmes contigus. Ainsi, les Copépodes marins introduits en abondance en période de flot, subissent de fortes dispersions (et probablement de fortes mortalités) et ne retournent au jusant consécutif qu'une fraction de 2 à 29% (excepté le premier flot), les zoés de Décapodes et les Harpacticoïdes méiobenthiques suivent globalement la même dynamique.

Si les lagunes sont connues pour leur vocation eutrophe, contribuant à l'enrichissement du littoral voisin et même des pêcheries démersales d'une part, et constituant de véritables nurseries pour les poissons marins immigrants d'autre part (Amanieu & Larrère, 1981 ; Nixon, 1982 ; Lam Hoai *et al.*, 1985), le Melah paraît pauvre en été et est entretenu paradoxalement par les apports marins. Les introductions holoplanctoniques de flot sont en moyenne 6 fois plus denses que par les eaux de jusant. Cet apport, assuré par tous les compartiments de l'écosystème ne semble profiter aux poissons marins immigrants dans la lagune qu'à l'échelle de la marée. Les immigrants zooplanctoniques ne se maintiennent pas en effet dans la lagune au-delà d'un cycle complet de marée, en raison probablement des fortes températures et de l'écart halin lagune-mer. La chute des débarquements de poissons marins peut s'expliquer par les mauvaises conditions hydrologiques et trophiques. Les étangs et lagunes de l'Atlantique Nord et de Méditerranée Nord-occidentale, sont en revanche sujets à des eutrophisations estivales non contrôlées (Lasserre, 1979 ; Boutière *et al.*, 1981). D'autre part, les exportations à la mer constituées en grande partie des nauplii de Cirripèdes et de la Méduse *Obelia* sp., subissent également de fortes disséminations dans les eaux littorales adjacentes. La réintroduction dans la lagune avec le flot successif d'*Obelia* sp. et dans une moindre mesure des nauplii de Cirripèdes, représente une fraction peu importante de leur population. Si la dispersion du

zooplancton marin dans la lagune est imputable aux différences hydrologiques mer-lagune, celle du zooplancton d'affinité lagunaire est conditionnée surtout par l'hydrodynamisme de la côte voisine. Le courant côtier de direction Est et de vitesse de l'ordre de 10-20 cm.s⁻¹ (Ounissi & Khélfli-Touhami, 1999), entraîne rapidement l'eau sortante de la lagune avec ses peuplements vers l'Est et permet un renouvellement très rapide de la zone contiguë à l'ouverture du chenal. En effet, après l'étalement de jusant, la salinité du flot successif augmente de 6 à 8 unités en 2 à 3 heures, ce qui laisse supposer l'éloignement par déplacement rapide de la masse d'eau en direction de la zone Est de la côte. Marcano et Cazaux (1994) ont montré que les cohortes larvaires de Polychètes échangées, dans un régime macrotidal semi-diurne, entre le bassin d'Arcachon et l'océan Atlantique, retournaient en quelques jours dans leurs milieux d'origine. Pour les peuplements du Melah ce retour est très partiel, en hiver et au printemps en raison de la longue période d'extrusion lagunaire pouvant dépasser la période de jusant et s'allonger sur plus de 18 heures (Ounissi *et al.*, 2002), et en été par suite des différences halines empêchant l'établissement des peuplements immigrants.

Dans ce contexte, Cervetto *et al.* (1999) rapportent que la survie du Copépode *Acartia tonsa* pourtant très euryhalin, dominant dans l'étang de Berre, est largement conditionné par la variabilité instantanée de la salinité : en condition expérimentales, l'espèce ne peut supporter une variation instantanée de salinité supérieure à 10. Ces auteurs rajoutent que lorsque le temps de transit de l'espèce entre la lagune et la mer est court (2 heures), la mortalité d'*Acartia tonsa* s'accroît en raison de l'augmentation rapide de la salinité des eaux du chenal. L'absence d'*Acartia tonsa* dans les eaux du littoral adjacent (golfe de Fos) serait ainsi directement liée à l'augmentation rapide la salinité lors du transit. De ce point de vue écologique, les constatations de Cervetto *et al.* (1999) sont utiles pour interpréter le devenir du zooplancton d'été transporté dans un milieu à caractère halin très différent (Melah ou littoral voisin).

Il apparaît enfin que les relations d'échanges zooplanctoniques entre la lagune et le littoral voisin en terme de biomasse, sont largement à l'avantage de la lagune en été. La lagune reçoit de denses populations de Copépodes et de zoés de Décapodes à fort poids individuel (dizaines de µg pour les Copépodes et centaines de µg pour les zoés de Décapodes) et exporte essentiellement les nauplii de Cirripèdes de faible poids individuel (de l'ordre du µg).

En conclusion, on peut retenir que le Melah paraît fonctionner comme un bassin de dilution quelle que soit la saison. Le flux marin d'été bien que insuffisant pour assurer un bon renouvellement, introduit des populations zooplanctoniques mais celles-ci ne peuvent s'établir dans la lagune par suite de difficultés d'osmorégulation auxquelles s'ajoutent des phénomènes de dispersion dus aux courants de marée. La fonction d'enrichissement du littoral voisin par les extrusions lagunaire s'efface et les relations d'échange entre ces deux systèmes de maturité différente s'inversent à l'avantage de la lagune. Des traitements de séries chronologiques et des analyses déterministes de données hydrologiques et planctoniques seraient souhaitables pour mieux comprendre l'évolution et la tendance des échanges mer-lagune à une échelle de temps plus étendue.

Remerciements. Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme National Ecomellah (contrats ANDRU PNR2 CU 39802 et MESRS N° F 2301/04/2000). Les auteurs remercient Monsieur B. Djefjel, Directeur du Parc National d'El-kala pour sa collaboration logistique ainsi que le Pr R. Gaudy pour son apport documentaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMANIEU, M. & LARRERRE, G., 1981. Niveaux de production des lagunes littorales méditerranéennes et contributions des lagunes à l'enrichissement des pêches démersales. –*Etude Rev. Gén. Pêches Méditer.* Ed., C.G.P.M., **58** : 81-94.
- CASTEL, J. & COURTIES, C., 1979. Structure et importance des peuplements zooplanctoniques dans la baie d'Arcachon : milieux ouverts et lagunes aménagées. –*Pub. Sci.Tech., CNEXO, Actes colloques*, N° **7** : 559-574.
- BOUTIERE, H., DE BOVEE, F., DELLILE, D., FIALLA, M., GROS, C., JACQUES, J., KNOEFFLER, M., LABAT, J.-P., PANOUSE, M. & SOYER, J., 1981. Effet d'une crise dystrophique dans l'étang de Salses-Leucate. –*Oceanologica Acta*, N° **sp** : 231-242.
- CATAUDELLA, S., 1982. *Rapport de la mission effectuée du 19 au 29 octobre en Algérie (lac Melah et lac Oubeira)*. –Rapport FAO / MERDAP, 37 pp.
- CERVETTO, G., GAUDY, R. & PAGANO, M., 1999. Influence of salinity on the distribution of *Acartia tonsa* (Copepoda, Calanoida). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **239**: 33-45.
- DEWARUMEZ, J.-M., BELGRANO, A., CRAEYMEERSCH, A., DUQUESNE, S., HEIP, C., HIDLE, D. & VINCX, M., 1993. Influence de la circulation des masses d'eaux dans la dynamique du peuplement à *Abra alba* de la baie sud de la Mer du Nord. *J. Rech. Océanogr.*, **18**: 1-4.
- FAO., 1982. *Lac Melah : mise en valeur au titre de la pêche et de l'aquaculture*. Rapport FAO (MEDRAP) N°79/033. RV/DEC.
- FRONTIER, S. & PICHOD VIALAE, D., 1991. *Ecosystèmes. Structure, fonctionnement, évolution*. Masson, Paris, 392 pp.
- GAGNON, M. & LACROIX G., 1982. The effects of tidal advection and mixing on the statistical dispersion of zooplankton. –*J. exp. Biol. Ecol.* **56** : 9-22.
- GAUDY, R., 1995. Space and time distribution of zooplankton in a Mediterranean lagoon (Etang de Berre). –*Hydrobiologia*, **300/301**: 219-236.
- GIMAZANE, J-P., 1982. *L'exploitation conchylicole du lac Melah, Algérie*. –Rapport de mission FAO (MEDRAP), juin 1982, 13 pp.
- GIOVANARDI, F. & TROMELLINI, E., 1992. An empirical dispersion model for total phosphorus in a coastal area: the Po River-Adriatic system. In: *Marine Coastal Eutrophication*. (R.A. Vollenweider, R. Marchetti & R. Viviani eds), Bologna (Italy), 21-24 March 1990.: 201-210.
- GUELORGET O., FRISONI, G.F, XIMENS, M.C. & PERTHUISOT, J.P., 1989. Expressions biologiques du confinement dans une lagune méditerranéenne: le lac Melah (Algérie). –*Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, **22** (2) : 87-99.
- GUELORGET, O. & PERTHUISOT, J-P., 1983. Le domaine paraliq. Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. Travaux du laboratoire de géologie, 16 : 136 p.
- LAGADEUC, Y., 1992. Transport larvaire en Manche. Exemple de *Pectinaria koreni* (Malmgren), Annélide Polychète, en Baie de Seine. –*Oceanologica Acta*, **15** : 383-395.
- LAM HOAI, T., AMANIEU, M. & LASSERRE, G., 1985. Communautés du zooplancton superficiel des trois sites différemment éloignés de l'entrée des eaux marines. –*Cah. Biol. Mar.* **26** : 445-467.
- LASSERRE, P., 1979. Contrôle de la production biologique marine dans un écosystème lagunaire aménagé (Réservoirs à poissons). Bilan, synthèse et perspectives. –*Publ. Sci. Tech., CNEXO, Actes Colloq.* **7** : 543-558.
- MARANDA, Y. & LACROIX, G., 1983. Temporal variability of zooplankton biomass (ATP content and dry weight) in the St. Lawrence estuary: Advective phenomena during neap tide. –*Marine Biology*, **73**: 247-255.
- MARCANO, G. & CAZAUX, C., 1994. Influence de l'advection tidale sur la distribution des larves d'Annélides Polychètes dans les chenaux du bassin d'Arcachon. –*Bull. Soc. zool. Fr.*, **11** (3) : 263-273
- MATHIVAT-LALLIER, M-H. & CAZAUX, C., 1990. Larval exchange and dispersion of Poychaetes between the Bay and the ocean. –*J. Plankton Res.*, **12**: 1163-1172.
- MESSERER, Y., 1999. Etude morphométrique et hydrologique du lac Melah et du lac Oubeira (Algérie). –Thèse de Magister, Université d'Annaba (Algérie), 123 pp.

- NIXON, S.W., 1982. Nutrient dynamics, primary production and fisheries yields of lagoons. – *Oceanologica Acta*, **15**: 383-395.
- OUNISSI, M. & KHELIFI-TOUHAMI, M., 1999. Le zooplancton du plateau continental d'El-kala (Méditerranée sud-occidentale). Composition et abondance en mai 1996. – *J.Rech. Océanogr.*, **24**(1): 5-11.
- OUNISSI, M. HARIDI, A. & RETIMA, A., 2002. Variabilité du zooplancton de la lagune Melah (Algérie) selon l'advection tidale en hiver et au printemps 1996-1997. – *J. rech. Océanogr.*, **27**(1) :1-13 .
- SAMSON-KECHACHA, F-L. & TOUAHRIA, T., 1992. *Populations phytoplanktoniques et successions écologiques dans une lagune saumâtre : le lac Melah (Algérie)*. –Rapport de la Commission Internationale de la Méditerranée, CIESM, **33** : 103.
- SEMROUD, R., 1983. *Contribution à l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens : le lac Melah (El-Kala, Algérie)*. –Thèse 3ème cycle, USTHB, Alger, 137 pp.
- THIEBAUT, E., DAUVIN, J-C. & LAGADEUC, Y., 1994. Horizontal distribution and retention of *Owenia fusiformis* larvae (Annelida: Polychaeta) in the Bay of Seine. – *J. mar. Biol. Ass., U.K.*, **74**: 129-142.

Envoyé le: 19 juillet 2002

Accepté le: 28 juillet 2004



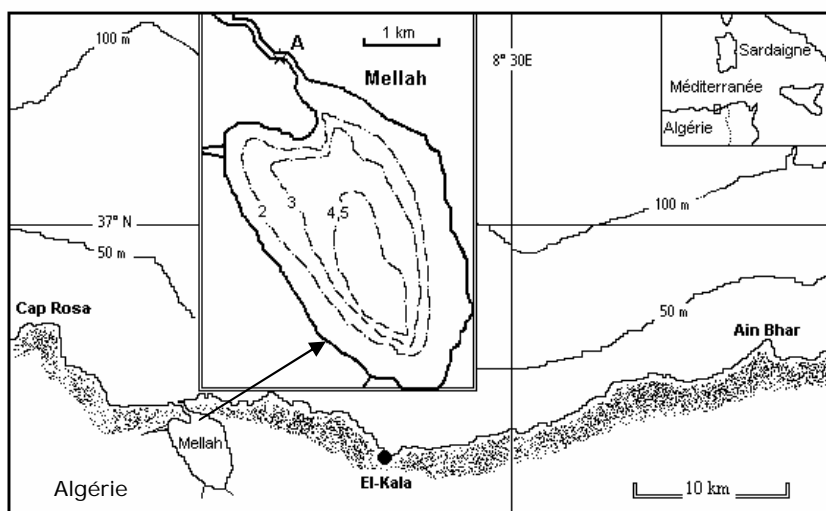


Figure 1 : Situation géographique de la lagune Melah, localisation de la station-chenal (A) et position des principales isobathes de la lagune et du plateau continental d'El-Kala.

Figure 1: Geographical situation of the Melah lagoon, location of the channel-station A and position of the principal isolines in the lagoon and in the continental shelf of El-Kala.

Tableau I. Caractéristiques de la marée et des échanges advectifs hydrologiques qu'elle induit entre la lagune Melah et son littoral adjacent lors de la période d'expérience d'été 1999. Ji : jusant 1 à 7, Fi : flot 1 à 6, Jm : valeur moyenne du jusant, Fm : valeur moyenne du flot, ? : phase de marée, T? : durée de phase, Vm (?) : vitesse moyenne du courant de marée, Qp? : volume d'eau cumulé de phase, Qd? : volume d'eau douce cumulé d'origine lagunaire de phase, Sm? : salinité moyenne de phase.

Table I: Characteristics of the advective tidal and hydrologic exchange between the Melah lagoon and the sea during summer experiment, 1999. J1 to J7: ebb tide 1 to 7, F1 to F6: flood tide 1 to 6, Jm: mean value of ebb tide, Fm: mean value of flood tide, ?: tidal phase, T?: duration of phase, Vm?: mean value of tidal current velocity, Qp?: water volume of phase, Qd?: freshwater volume of phase, Sm?: mean salinity value.

?	J1	F1	J2	F2	J3	F3	J4	F4	J5	F5	J6	F6	J7	Jm	Fm
T? (heure)	7h 30	7h	5h 30	3h 30	7h	6h	6h	3h	7h	7h	5h	3h 30	7h	5h 30	5h
Vm? (cm. s ⁻¹)	15,25	20,65	13,6	9,64	15,85	18,08	13,1	5,25	14,92	19,3	9,72	8,75	15,23	13,95	13,61
Qp? (m ³)	29105	43497	22194	10935	33443	35073	23329	5103	36930	43740	14179	12630	32080	27323	25163
Qd? (m ³)	1922	162	3282	960	6390	450	5559	962	3160	360	6898	96	5130	4620	498
Sm? (P.S.U)	29,60	37,48	30	37,40	29,10	37,27	29,75	37,12	29,20	37,40	30,25	37,27	30	29,70	37,32

Tableau II. Date et horaire de prélèvements du plancton dans la station-chenal selon la situation de marée du 22 au 25 août 1999. BM + 0 ou BM : étale de jusant, PM + 0 ou PM : étale de flot BM + 3 : 3 heures après la basse mer (ou 3 heures de pleine mer : flot). PM + 3 : 3 heures après la pleine mer (ou 3 heures de basse mer : jusant), etc.

Table II. Date and timing of zooplankton sampling at the fixed channel-station of Melah lagoon according to tidal phase for the period 22-25 August, 1999. BM + 0 or BM: ebb slack, PM + 0 or PM: flood slack, BM + 3: 3 hours after low tide (or 3 hours of flood tide), PM + 3: 3 hours after high tide (or 3 hours of ebb tide) and so on.

Date	22 août												23 août												24 août																						
Temps	0h	3h	8h	11h	14h	17h	18h	21h	25h	28h	32h	35h	14h	17h	22h	30h	1h	3h	4h	30h	7h	30h	8h	30h	11h	30h	15h	30h	18h	30h	22h	30h	1h	30h	39h	42h	43h	45h	50h	52h	58h	61h	66h	67h	30h	71h	74h
Heure	14h 30	17h 30	22h 30	1h 30	4h 30	7h 30	8h 30	11h 30	15h 30	18h 30	22h 30	1h 30	5h 30	8h 30	9h 30	11h 30	16h 30	18h 30	00h 30	3h 30	8h 30	10h 00	13h 30	16h 30	5h 30	8h 30	9h 30	11h 30	16h 30	18h 30	00h 30	3h 30	8h 30	10h 00	13h 30	16h 30											
Marée	BM	BM+3	PM	PM+3	BM	BM+3	PM	PM+3	BM	BM+3	PM	PM+3	BM	BM+3	PM	PM+2	BM	BM+2	PM	PM+3	BM+3	PM	PM+3	BM	BM	BM+3	PM	PM+2	BM	BM+2	PM	PM+3	BM+3	PM	PM+3	BM											

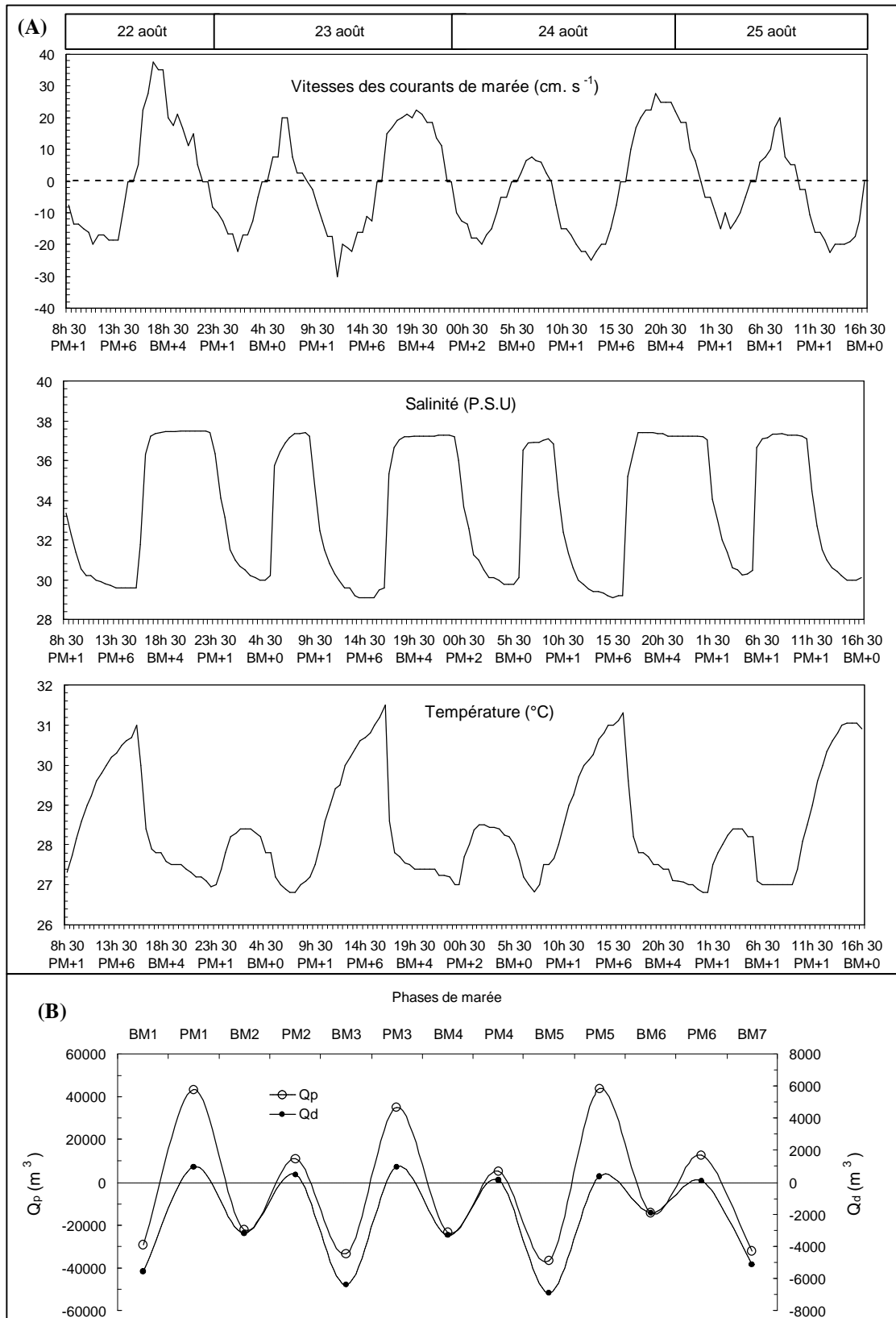


Figure 2 : (A) Evolution des paramètres hydrologiques (négatives en jusant pour les vitesses de courants) enregistrés à la station A (chenal de la lagune Melah) pour 13 étales successives (22 au 25 août 1999) de marée semi-diurne. PM + 0 ou PM : 0 heure après la pleine mer ou étale de flot, PM + 1 : 1 heure après la pleine mer ou 1 heure de jusant, BM + 0 ou BM : 0 heure après la basse mer ou étale de jusant, BM + 1 : 1 heure après la basse mer ou 1 heure de flot, etc. Chaque graduation de l'axe des abscisses représente une demi-heure. (B) Evolution des flux d'eau échangé (Q_p : volume cumulé de phase et Q_d : volume d'eau douce d'origine lagunaire, négatif en flot) entre la lagune Melah et littoral voisin. BM à BM7 : basse mer 1 à 7 et PM1 à PM6 : pleine mer 1 à 6. Voir figure (A) pour la période et la durée des phases de marée.

Figure 2: (A) Evolution of hydrological parameters (negative values in ebb tide for current velocity) recorded in the fixed channel-station of the Melah lagoon during 13 successive semi-diurnal tidal slacks (22-25 August, 1999). BM + 0 or BM: ebb slack, PM + 0 or PM: flood slack, BM + 3: 3 hours after low tide (or 3 hours of flood tide), PM + 3: 3 hours after high tide (or 3 hours of ebb tide) and so on. Every graduation represents one half-hour. (B) Evolution of water volume exchanged (Q_p : water volume of phase, Q_d : lagoonal freshwater volume of phase, positive in flood tide) between the Melah lagoon and its adjacent coast. J1 to J7: ebb tide 1 to 7, F1 to F6: flood tide 1 to 6.

Tableau III : Liste des espèces zooplanctoniques identifiées dans le chenal de la lagune Melah le 22-25 août 1999. + : espèces récoltées en flot.

Table III: List of identified zooplanktonic taxa at the channel of the Melah lagoon, 22-25 August 1999. +: species found in flood tide.

<p>PROTOZOAIRES ? Tintinnides Favella sarrata <i>M?bius</i> <i>Favella marcozowski</i> Daday <i>Amphorella quadrilineata</i> Clap.& Lach. ZOOFLAGELLES ? Foraminifères Tretemphallus bulloides <i>d'Orbiny</i> <i>Globigerina</i> sp. ? Radiolaires CNIDAIRES HYDROMEDUSES <i>Rhopanolema velatum</i> Gegenbaur + <i>Phialidium hemisphaericum</i> Leuckart + <i>Obelia</i> spp. ANNELIDES (larves) <i>Sabellaria</i> spp. <i>Polydora</i> spp. <i>Pygospio</i> sp. <i>Autolytus</i> sp. (forme benthique) Nephtis sp. MOLLUSQUES (larves de Gastér. Lamellib.) ARTHROPODES BRANCHIOPODES ? Cladocères <i>Podon polyphemoides</i> (Leukhart) + <i>Podon intermedius</i> Lilljeborg + <i>Evadne spinifera</i> (P. E. Müller) + <i>Evadne tergestina</i> Claus + <i>Penilia avirostris</i> Dana +</p>	<p>COPEPODES ? Calanoïdes <i>Labidocera wollastoni</i> Lubbock + <i>Calocalanus pavo</i> (Dana) + <i>Calocalanus pavoninus</i> Farran + <i>Calocalanus contractus</i> Farran + <i>Mecynocera clausi</i> I.C Thompson + <i>Clausocalanus arcuicornis</i> (Dana) + <i>Clausocalanus furcatus</i> (Brady) + <i>Paracalanus indicus</i> Wolfenden <i>Centropages typicus</i> Kr?yer <i>Candacia armata</i> (Boeck)+ <i>Temora stylifera</i> (Dana) + <i>Acartia clausi</i> Giesbrecht + <i>Acartia discaudata mediterranea</i> Steuer <i>Acartia latisetosa</i> (Krichagin) <i>Acartia grani</i> Sars + ? Cyclopoïdes <i>Oithona nana</i> Giesbrecht <i>Oithona plumifera</i> Baird + <i>Oithona</i> spp. <i>Oncaea mediterranea</i> (Claus) + <i>Oncaea venusta</i> Philippi + <i>Corycaeus typicus</i> (Kr?yer) + <i>Corycaeus crassiusculus</i> Dana + <i>Farranula rostrata</i> Claus + ? Harpacticoïdes <i>Microsetella norvegica</i> (Boeck) <i>Microsetella rosea</i> (Dana) + <i>Harpacticus littoralis</i> Sars Canuella perplexa <i>T. & A. Scott</i> <i>Euterpina acutifrons</i> (Dana)</p>	<p>CIRRIPÉDES (nauplii) <i>Balanus</i> spp. PERACARIDES ? Amphipodes EUCARIDES ? Euphausiacés (larves) ? Décapodes (larves) <i>Caridea</i> spp. var. <i>Plesionica</i> sp. + <i>Dardanus</i> sp. + <i>Eryphia spinifrons</i> (Herbst) <i>Clibanarius erythropus</i> (Latreille) <i>Calcinus ornatus</i> (Roux) <i>Pachygrapsus marmoratus</i> (Fabricius) ? Mysidacés <i>Leptomysis mediterranea</i> Sars + CHETOGNATES <i>Sagitta</i> spp. + TUNICIERS APPENDICULAIRES <i>Oikopleura</i> spp. + VERTEBRES Poissons (œufs et larves) ACTINOPTERYGIENS (Mugilidae)</p>
--	---	--

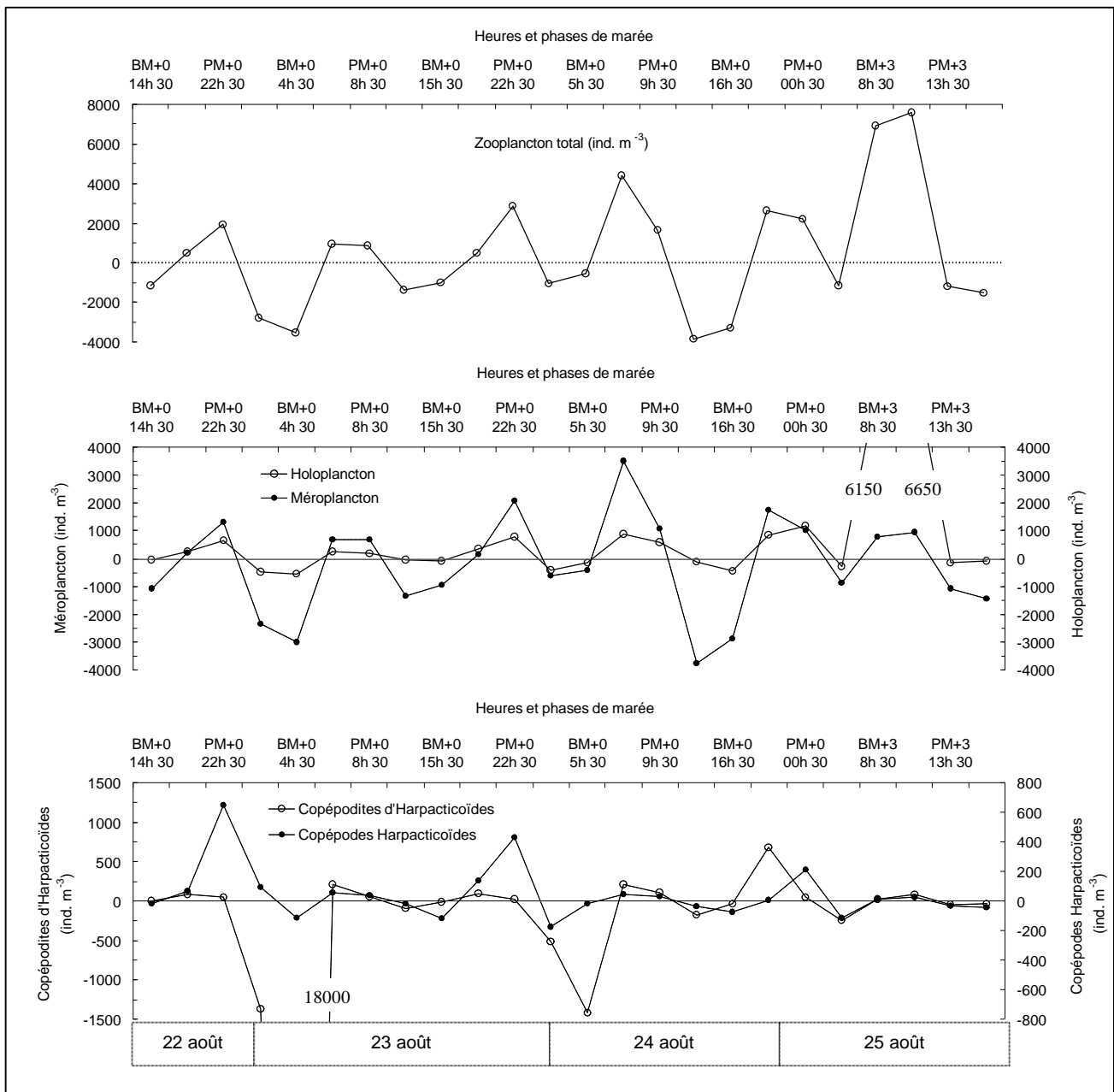


Figure 3 : Evolution des échanges en densité (valeurs négatives en jusant) du zooplancton total, holoplancton, méroplancton, Copépodes Harpacticoïdes et des copépodites d'Haracticoïdes nectobenthiques entre la lagune et littoral adjacent récoltés à la station-chenal durant 13 étales successives de marée semi-diurne (22-25 août 1999).

Figure 3: Density exchange (negative values in ebb tide) of zooplankton, meroplankton, holoplankton, Harpacticoid copepods and Harpacticoid copepodites between the Melah lagoon and its adjacent coast recorded in the Melah channel-station for the period 22-25 August 1999.

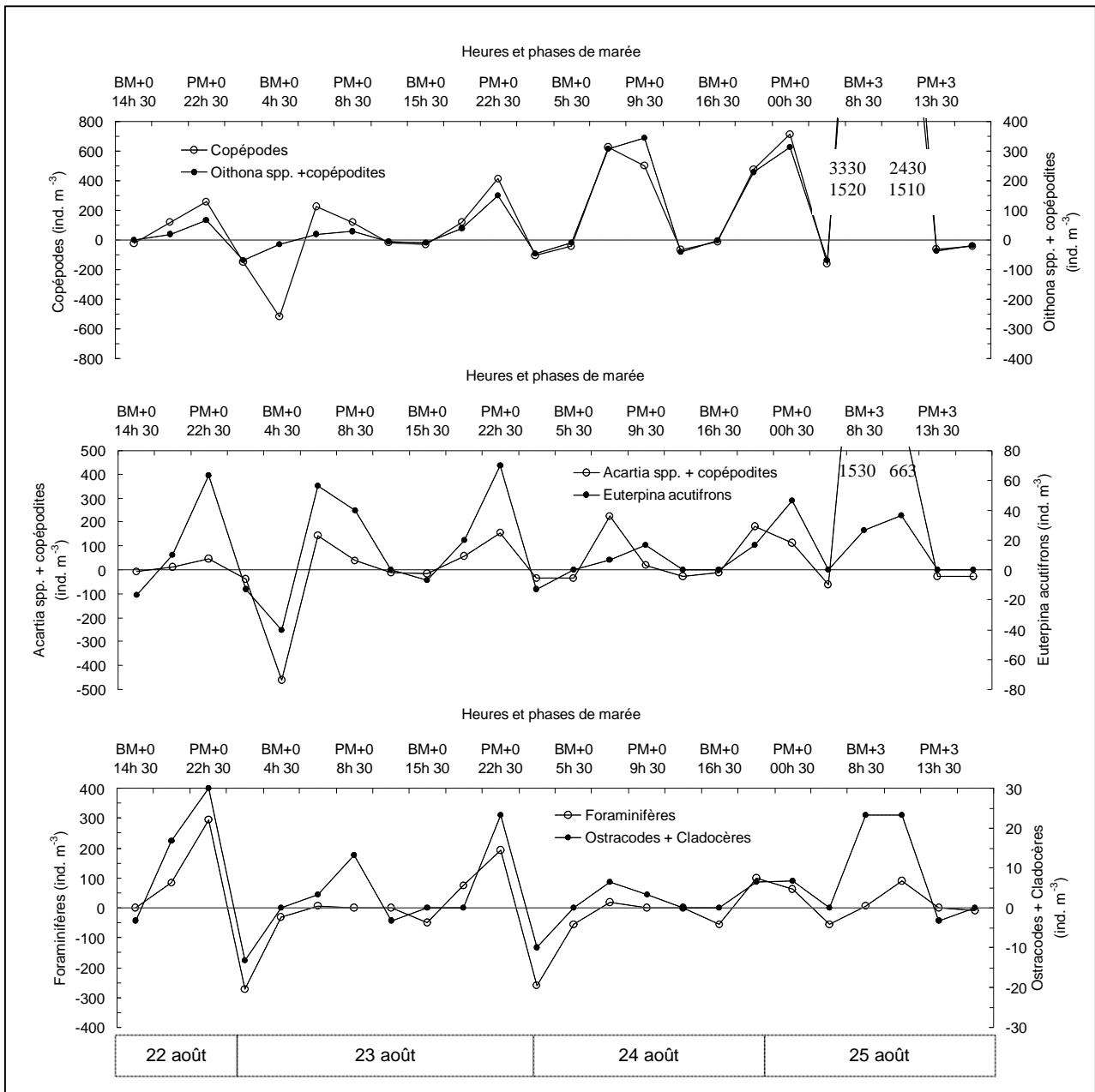


Figure 4 : Evolution des échanges en densité (valeurs négatives en jusant) des différents composants holoplanktoniques entre la lagune et le littoral adjacent récoltés à la station-chenal durant 13 étales successives de marée semi-diurne (22-25 août 1999).

Figure 4: Density exchange (negative values in ebb tide) of the different holoplanktonic components between the Melah lagoon and its adjacent coast recorded in the Melah channel-station for the period 22-25 August 1999.

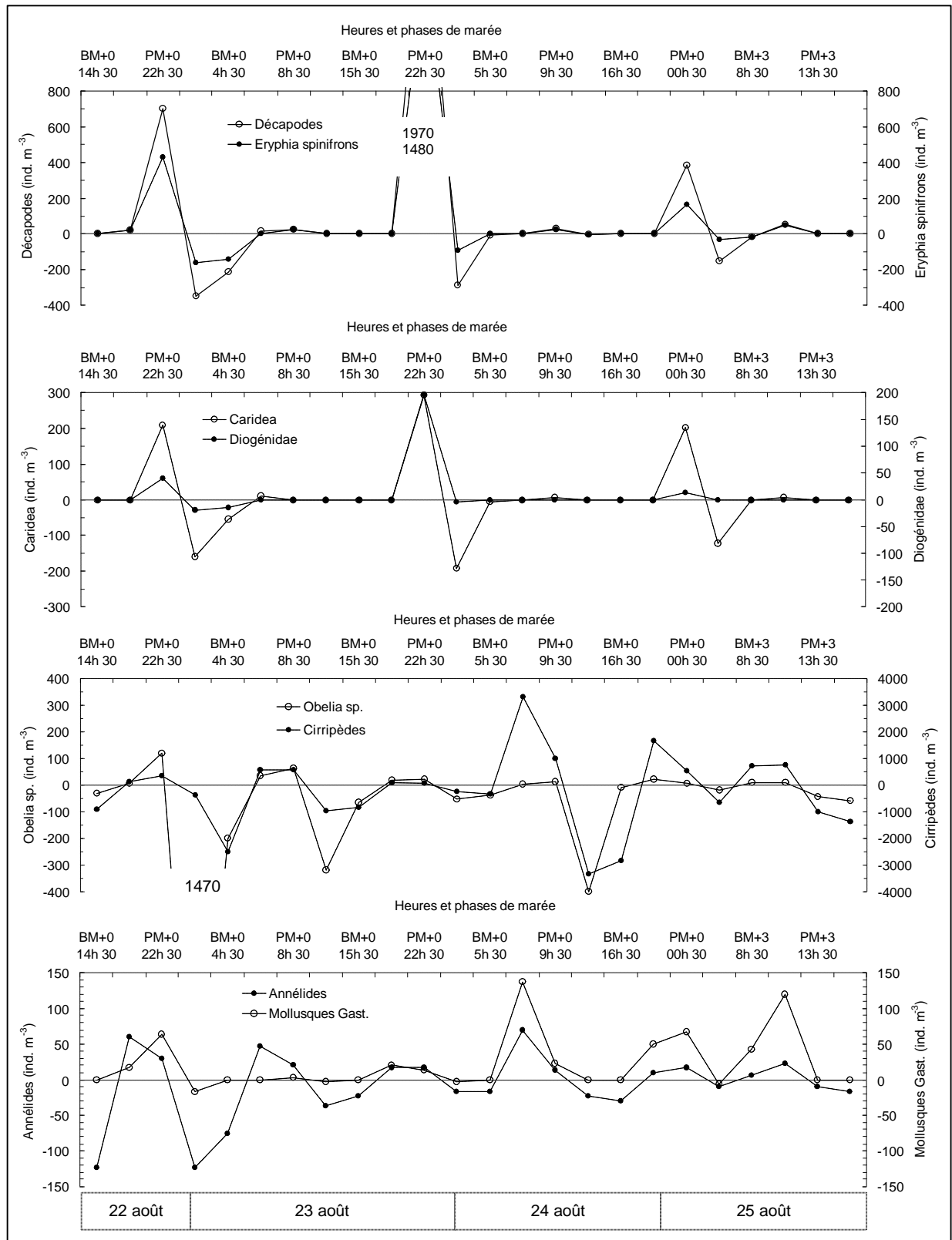


Figure 5 : Evolution des échanges en densité (valeurs négatives en jusant) des différents composants méroplanctoniques entre la lagune et le littoral adjacent récoltés à la station-chenal durant 13 étales successives de marée semi-diurne (22-25 août 1999).

Figure 5: Density exchange (negative values in ebb tide) of the different meroplanktonic components between the Melah lagoon and its adjacent coast recorded in the Melah channel-station for the period 22-25 August 1999.

6. Discussion et conclusions

La composition spécifique du zooplancton du Mellah (34 taxons) est moins riche en comparaison avec celle évoquée par [Lam Hoai et al. \(1984\)](#), dans la lagune Nord méditerranéenne de Sarrazine, où on recense jusqu'à 48 taxons.

En raison de la forte homogénéité horizontale des eaux de la lagune pour une période donnée, on note l'absence d'une différence majeure de la composition qualitative entre le centre (station C) et le Nord de la lagune (station B). Le gradient classique de la richesse spécifique lié à la position par rapport à la mer, est fortement masqué ici par l'homogénéisation des eaux notamment en hiver.

Le zooplancton total du Mellah fluctue beaucoup, présentant ainsi de fortes densités hivernales atteignant 81 714 ind.m⁻³ et 46 148 ind.m⁻³. Notons un second pic au niveau de la station B (60 371 ind.m⁻³) en période estivale, coïncidant probablement avec un apport marin (essaim de la côte voisine) intensifié en cette période d'étiage. En effet, en hiver l'évacuation de l'eau excédentaire avec les peuplements dans le Mellah, tend à concentrer le plancton au Nord de la lagune avant de l'acheminer à travers le chenal vers le littoral voisin. Il se produit ainsi une sorte d'aire de concentration planctonique dans cette partie de la lagune pendant la période de crue.

Le zooplancton total est composé souvent de méroplancton avec des pourcentages qui dépassent parfois les 99%. La forte présence de cette catégorie de zooplancton est liée essentiellement aux émissions larvaires, qui parfois d'une manière spectaculaire masquent le cortège holoplanctonique. Par conséquent, dans la majorité de nos échantillons, l'abondance élevée du zooplancton est fréquemment liée au contingent méroplanctonique. A titre de comparaison, [Lam Hoai et al., \(1983\)](#), rapportent une faible moyenne de zooplancton total de l'ordre de 1 600 ind.m⁻³, prélevée dans la lagune de Thau (France). D'autre part, dans le bassin d'Arcachon soumis aux influences atlantiques [Castel et Courties \(1979\)](#) notent une densité de 12 157 ind.m⁻³.

Les Copépodes est le groupe dominant dans le compartiment holoplanctonique ([Lacroix et Legendre, 1964](#) ; [Perez-Siejas et al., 1987](#) ; [Nascimento-Vieira et Do-Sant-Anna, 1989](#) ; [Jansa et Fernandez De Puellas, 1990](#) ; [Pagano et Sainst-Jean, 1991](#)).

Dans la lagune Mellah, les Copépodes constituent une fraction supérieure en hiver variant entre 31 et 94%. On trouve dans des milieux saumâtres similaires, des valeurs numériques hivernales très semblables à celles du Mellah. En effet, [Lam Hoai et Gril \(1991\)](#) en comptent 85% dans l'étang de Thau, de même [Castel et Courties \(1979\)](#) en signalent jusqu'à 71% dans le bassin d'Arcachon. Si les densités totales des Copépodes sont largement comparables dans l'ensemble de la lagune, cependant et à l'échelle spécifique, on constate des distributions différentielles. L'homogénéité hydrologique du Mellah s'accompagnerait d'une certaine répartition assez similaire des populations de Copépodes d'affinité lagunaire. Par ailleurs,

notons que les densités rencontrées dans la lagune Mellah atteignant 32 382 ind.m⁻³, sont distinctement inférieures en comparaison avec la faune copépodienne de l'estuaire d'Oum Er-rbia (Maroc), où on en dénombre en été jusqu'à 58 680 ind.m⁻³ (El-Khalki, 2000).

Il est très intéressant de remarquer l'absence d'*Acartia clausi*, à l'intérieur de la lagune Mellah et se limite uniquement à la station B proche des intrusions marines. Son apparition en hiver serait liée à son cycle biologique dans la zone néritique contiguë, comme l'avait déjà constaté Haridi (1999). Aboutissant à cette même remarque, la sensibilité de *A. clausi* aux faibles salinités hivernales (25,50 PSU), ne lui permet pas de se maintenir longtemps dans le Mellah. Elle devrait subir alors des fortes mortalités à l'intérieur de la lagune, comme l'atteste sa disparition à la station centrale. Toutefois, Ouldessaib (1997), signale dans la lagune de Oualidia (Maroc), la présence d'un pic estival d'*A. clausi*, suivi de plusieurs pics secondaires qui s'étalent sur toute la période de prélèvement notamment au printemps et en automne conformément aux augmentations des salinités. Selon Chiahou (1997) ayant travaillé sur l'estuaire de Bou Regreg (Maroc), le maximum de densité de cette même espèce est enregistré en mois de mai. Cependant, et comme l'avait déjà signalé El-Khalki (2000), ainsi que d'autres auteurs (Conover, 1956 ; Jeffries, 1962 et 1967 ; Landry, 1978, Durbin et Durbin, 1981 ; Arfi et al., 1987 ; Pagano et Saint-Jean, 1989), *A. clausi* colonise beaucoup de régions côtières estuariennes et lagunaires. D'autre part, Petran (1985), rapporte que ce même Copépode qui dominait dans la lagune de Sinoë (en Roumanie) autrefois, a quasiment disparu en 1981, à la suite d'une chute remarquable de la salinité du milieu.

Contrairement à *A. clausi*, sa congénère *A. latisetosa* semble bien s'adapter à la vie dans la lagune Mellah, notamment en période hivernale (jusqu'à 5 494 ind.m⁻³). Elle se concentre beaucoup plus au centre de la lagune, grâce à ces compétences adaptatives dans ce type d'écosystème. Malgré les conditions hydrologiques contraignantes durant la période de crue, *A. latisetosa* se maintient parfaitement et arrive même à se multiplier. Donc, ce calanoïde manifeste un opportunisme remarquable dans la lagune. De plus, et comme l'avait également signalé Haridi (1999), la présence de cette espèce durant presque tout le cycle et sa dominance hivernale, est probablement un indice de son aptitude de se reproduire pendant toute l'année.

Centropages kroyeri semble adaptée à coloniser les eaux de la lagune également, comme l'atteste sa pullulation en pleine période hivernale. Alors que son abondance décroît rapidement à l'approche de la saison estivale.

A l'image des autres Copépodes, *Oithona nana* n'abonde qu'en saison hivernale. C'est une espèce qui est présente toute l'année, mais avec des effectifs généralement faibles (< 681 ind.m⁻³).

Les Tintinides sont des formes ciliées qui se développent surtout en été. Toutefois, ces protozoaires sont très fréquents toute l'année dans le proche littoral d'Annaba

(Ounissi et Fréhi, 1999). Les périodes d'apparition de *Favella serata*, *Eutintinus fraknoi* et *Helicostomella subulatta* sont très comparables aux données de ces auteurs. Par ailleurs, signalons que ces ciliés sont souvent qualifiés d'indicateurs d'eaux littorales eutrophes (Estrada *et al.*, 1987 ; Cattani et Corni, 1992).

Le nectobenthos formé par les Copépodes méiobenthiques est représenté par la majorité des Copépodes Harpacticoides et Nématodes (Raibaut, 1967 ; Castel, 1980). En milieu lagunaire, les processus benthiques l'emportent très largement sur ceux de la colonne d'eau, l'énergie étant alors en grande partie monopolisée (jusqu'à 66%) par les formes nectobenthiques et benthiques (Thimel, 1988 ; Ounissi, 1991).

Les jeunes stades des Copépodes composés de nauplii et de copépodites, sont présents dans la lagune le long de l'année avec des densités souvent élevées. C'est ainsi que ces forts effectifs contrebalancent nettement le rapport holoplancton-méropiancton. Par conséquent, nous pensons que la reproduction de cette fraction zooplanctonique se poursuit durant toute l'année avec un taux plus élevé en saison froide.

D'une façon générale, le méropiancton est constamment bien représenté en milieux lagunaires (Ferrari *et al.*, 1982 ; Lam Hoai et Amanieu, 1989). En effet, Lam Hoai (1985) enregistre une abondance relative de 53,51% dans les eaux de l'étang de Thau. De même Castel et Courties (1979), signalent des proportions de 71% dans le bassin d'Arcachon. Cette dominance est due en grande partie au stock d'affinité lagunaire que renferme cette fraction du zooplancton temporaire.

Dans la lagune Mellah, le méropiancton est notamment fréquent entre avril et juillet. De ce fait, c'est surtout à cette phase du cycle que les larves de Polychètes développent des populations très denses atteignant des effectifs records. En effet, dans l'étang de Thau le méropiancton est formé essentiellement par les larves des Polychètes Spionidés et des Crustacés Cirripèdes (Lam Hoai, 1987). D'autre part, Sei *et al.* (1996) ayant travaillé dans la lagune de Sacca de Goro, enregistrent des densités des larves de Polychètes allant de 106 500 à 206 000 ind.m⁻³. Alors que dans la lagune de Sarrazine, Lam Hoai *et al.* (1984 b) attribuent une fréquence moyenne de 14,23% aux seules larves du genre *Polydora*.

Les Nauplii de Cirripèdes sont des organismes habituellement d'affinité littorale, pourtant leur densité dans la lagune Mellah est parfois conséquente (jusqu'à 6 148 ind.m⁻³). Dans la lagune de Sacca de Goro, Sei *et al.* (1996) décèlent des densités supérieures (31 800 ind.m⁻³) de ces jeunes stades de Crustacés.

Les larves de Décapodes sont représentées essentiellement par le crabe *Eryphia spinifrons*. En fait, les Décapodes sont plutôt des Crustacés à activité nocturnes rythmée par un cycle circadien très marqué (Ounissi, 2002). Par ailleurs, Sei *et al.* (1996) dans une lagune Nord Adriatique, mentionnent des densités de ces larves de l'ordre de 1000 ind.m⁻³.

L'ichtyoplancton formé par les œufs et les larves de poissons, est rare dans la lagune. Il est constitué des œufs de l'anchois d'Europe *Engraulis encrasicolus* et du loup *Dicentrarchus labrax*. On a constaté aussi la présence d'alevins de raie et d'éguille. L'ensemble de ces formes planctoniques immigrantes sont d'origine marine, et leur devenir dans la lagune est voué à une forte dissémination voire mortalité. Les absences hivernales de ce méroplancton sont à relier avec le régime hydrologique de la lagune, caractérisé ainsi par des exportations de longue durée pendant les fortes crues, ce qui limite leur intrusion lors de la phase du flot nettement dominée par le jusant durant la saison humide.

Lors de la campagne d'été 99, le suivi du zooplancton à l'échelle de la demi-heure au niveau de la station chenal, nous a permis d'identifier 60 taxons, où les Copépodes représentent 50% environ de la richesse spécifique globale (28 espèces). La discussion et les conclusions concernant les échanges en zooplancton avec le littoral contigu sont débattues dans notre article ([Ounissi et al., sous presse, a](#)).

CHAPITRE I : SEDIMENTS

1. Introduction

L'étude du sédiment est considérée actuellement par de nombreux scientifiques comme une base à toute étude bionomique. Les relations étroites qui existent entre la répartition de la macrofaune benthique des substrats meubles, et la texture des sédiments, mettent en évidence l'intérêt d'étudier parallèlement la répartition zonale des sédiments, et celle de la faune. Cependant, il est admis par de nombreux auteurs que les études sédimentologiques et celles de la physico-chimie constituent la base de toute investigation dans les milieux aquatiques. C'est ainsi que les relations existant entre la répartition des peuplements benthiques et les substrats meubles mettent en évidence l'intérêt d'étudier la texture des sédiments. En effet, la nature du substrat est un élément fondamental pour la distribution des invertébrés benthiques. La dépendance de la faune benthique vis-à-vis du substrat est d'ordre mécanique et physico-chimique, d'où l'intérêt de la présente investigation dans un écosystème très particulier et à double intérêt ; écologique en raison de son appartenance au parc national d'El-Kala et économique pour son exploitation halieutique.

J'ai donc envisagé cette étude, plus du point de vue de l'écologiste que de celui du sédimentologiste.

2. Matériel et méthodes

2. 1. *Choix des stations et prélèvement*

Dans ce chapitre, on s'intéresse à l'analyse granulométrique des sédiments, composés uniquement de matériaux meubles, allant des sables purs aux vases pures très fluides. Notre objectif est de définir la taille et la répartition des particules formant le substrat, aux différents endroits de la lagune.

L'échantillonnage des sédiments a été effectué au début du printemps (mars) à bord d'un chaland, de force motrice 80 CV, où 33 stations ont été échantillonnées systématiquement de telle manière à couvrir l'ensemble de l'étendue (**fig. III.1**). Le prélèvement du sédiment est assuré grâce à l'utilisation d'une benne Van Veen. Pour des raisons de maniabilité et d'efficacité, il est indispensable d'utiliser ce type de benne dans des fonds à sédiments mous et peu profonds (< 10 m). La mise à l'eau de la benne s'effectue verticalement en raison de son propre poids (environ 15 kg), tout en maintenant ces deux mâchoires ouvertes jusqu'au fond grâce à un dispositif de blocage. La fermeture se fait après le relâchement de ce dernier, et la traction du câble à la remontée. On récupère ainsi une portion suffisante (1000 - 500 g) pour l'ensemble des analyses sédimentaires envisagées (granulométrie, teneurs en pélites, en matières organiques sédimentaires et en carbonates totaux).

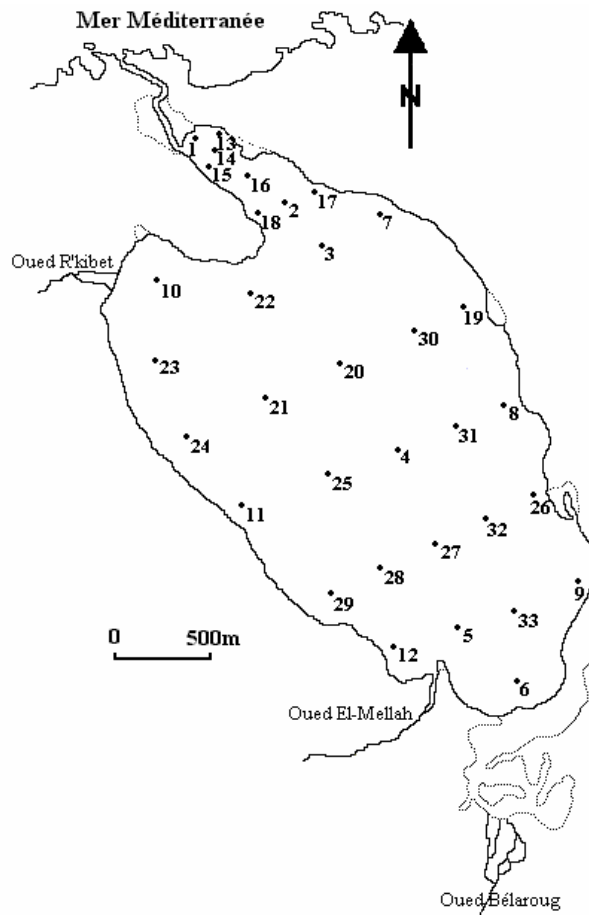


Figure III.1 : Localisation des stations d'échantillonnage des sédiments dans la lagune Mellah.

2. 2. Analyses sédimentaires

2. 2. 1. Evaluation des pélites

Avant qu'on effectue l'analyse granulométrique, on procède d'abord à l'évaluation du taux de pélites que renferme le sédiment dans chaque station. La méthode consiste à sécher le sédiment dans une étuve à 100°C pendant 24 heures jusqu'à déshydratation complète. Ensuite, l'échantillon est pesé (P_1) grâce à une balance de type Sartorius d'une précision de 0,01 g, puis laver sur un tamis de 40 μm , jusqu'à l'obtention d'une eau limpide, afin d'éliminer toute la fraction fine. La fraction restante est reséchée, puis repesée (P_2) dans les mêmes conditions que précédemment. La différence de poids ($P_1 - P_2$) est rapportée en pourcentage et représente ainsi le taux de pélites dans l'échantillon considéré.

2. 2. 2. Analyse granulométrique

Un des avantages de la granulométrie est de pouvoir classer les sédiments les uns par rapport aux autres et de donner des bases numériques à une classification. L'analyse granulométrique des différents sédiments est effectuée sur la fraction grossière ($> 40 \mu\text{m}$). Cette dernière est tamisée à l'aide d'une série de tamis superposés par ordre de diamètres de mailles décroissants : 2000, 1600, 1400,

1250, 1000, 710, 500, 355, 280, 250, 180, 140, 125, 90, 80, 63, 50 et 40 μm . Cette phase est assurée grâce à un vibreur automatique de type Retch VS 1000. Cette opération dure 15 minutes en vibration continue, avec une amplitude de 50 Hz. Le refus de chaque tamis est récupéré, puis pesé. Les résultats sont transformés en pourcentages pondéraux puis en pourcentages cumulés.

2. 2. 3. Autres analyses sédimentaires

? **Détermination de la teneur en matière organique sédimentaire (M.O.S) :** Les teneurs de la matière organique dans les sédiments sont estimées grâce à la technique de combustion, c'est à dire la perte au feu. Cette méthode est justifiée en raison de la faible teneur sédimentaire en minéraux phylliteux, seuls pouvant entraîner des erreurs sur cette mesure (Guelorget *et al.*, 1982). Juste après l'échantillonnage, une partie du sédiment est mise dans un sac en plastique numéroté puis conservée à -5°C . Une fois à au laboratoire, on procède à la décongélation puis le séchage dans l'étuve à 80°C , pendant 24 heures, jusqu'à poids constant. Ensuite, 5 g (P_1) de sédiment sont incinérés à 600°C dans un four à moufle durant deux heures ; puis repeser (P_2) sur une balance sensible de type Mettler H80 d'une précision de 0,1 mg. La différence entre les deux poids ($P_1 - P_2$), représente la quantité de matière organique contenue dans le sédiment analysé, celle-ci est transformée en pourcentage pour, ensuite établir la carte de la répartition de la matière organique dans les sédiments des 33 stations sélectionnées de la lagune. On rappelle que chaque station a fait l'objet de deux mesures puis on calcule la moyenne.

? **Détermination des carbonates totaux dans le sédiment :** La détermination de la teneur en calcaire sédimentaire, est obtenue à partir de 5 g de sédiment séché dans une étuve à 80°C pendant 24 heures jusqu'à déshydratation complète. Le sédiment séché est ensuite soumis à l'action de l'acide chlorhydrique dilué à 50%, jusqu'à la disparition totale de toute effervescence. Le sédiment décarbonaté est rincé à l'eau distillée, puis reséché dans les mêmes conditions que précédemment, jusqu'à poids constant. Le poids de calcaire représente la différence entre les poids des sédiments carbonatés et les sédiments décarbonatés. A partir des différents résultats obtenus, on établit également une carte de répartition des carbonates totaux dans les sédiments de la lagune. De même que pour les teneurs en M.O.S, chaque station a fait l'objet de deux mesures puis on calcule la moyenne.

3. Expression des résultats

Les résultats de l'analyse de la taille des grains des différentes stations sont représentés graphiquement, sous forme d'histogrammes de fréquence et des courbes cumulatives semi-logarithmiques qui permettent d'obtenir les paramètres caractérisant les sédiments.

3. 1. Histogrammes de fréquence

Le pourcentage de chaque fraction sédimentaire est représenté sous forme d'histogrammes de fréquence. Ces derniers permettent d'apprécier la distribution des modes granulométriques en déterminant la fraction dominante dans l'échantillon. Les irrégularités de la suite dimensionnelle, sont dues à l'absence de certaines classes, alors que le nombre de modes traduit l'existence du nombre de stocks sédimentaires. Le sédiment homogène est expliqué par l'aspect unimodal, tandis que l'aspect bi ou plurimodal signifie un sédiment hétérogène.

3. 2. Courbes cumulatives semi-logarithmiques

Pour chaque échantillon analysé, une courbe cumulative est réalisée sur du papier semi-logarithmique, dont le pourcentage cumulé des sédiments est exprimé en fonction du diamètre des mailles des tamis. Ceci nous permettra de calculer les paramètres ou indices granulométriques, afin de déterminer les faciès sédimentaires existants ainsi que l'intensité de l'hydrodynamisme dans les différentes zones de la lagune.

3. 3. Indices granulométriques

Médiane (Q_2) : Elle est déduite de la courbe cumulative et représente les diamètres des grains moyens, elle correspond au 50% du poids relatif cumulé. Ce paramètre nous permet de définir la nature du sédiment de l'échantillon analysé. Dans notre étude nous avons adopté la classification de [Monbet \(1977\)](#), car c'est la plus utilisée. Toutefois, on a porté une légère modification sur la taille limite de la fraction fine, qui a été fixée à 40 μm au lieu de 50 μm ([Chassefiere, 1968](#) ; [Guelorget et Michel, 1976 et 1977](#)).

- ? Graviers : fraction > 2 mm,
- ? Sables de 0,04 à 2 mm et comprenant sous fractions :
 - * sables grossiers : fraction de 0,5 à 2 mm,
 - * sables moyens : fraction de 0,2 à 0,5 mm,
 - * sables fins : fraction de 0,04 mm à 0,2 mm,
- ? Pélites (vases) : fraction < 0,040 mm.

Indice de classement ou le Sorting de Trask (S_o) : Il évalue la pente de la partie centrale des courbes cumulatives semi-logarithmiques. Ce coefficient est calculé par la formule suivante :

$$S_o = (Q_3/Q_1)^{1/2}$$

Q_1 : maille (μm) correspondant au refus de 25% de sédiment,

Q_3 : maille (μm) correspondant au refus de 75 % de sédiment.

Plus la valeur de cet indice est faible, plus la pente est forte et le sédiment est bien classé par les actions hydrodynamiques. La classification retenue est celle proposée par Folk et Ward (1957) :

- ? $S_o < 2$: sédiment très bien classé.
- ? $2 \leq S_o \leq 2,6$: sédiment bien à moyennement bien classé.
- ? $S_o > 2,6$: sédiment mal à très mal classé.

Facteur hydrodynamique (FH) : Il a été utilisé par différents auteurs notamment Weydert (1973) et Thomassin (1978). Ce facteur permet de déduire l'intensité de l'hydrodynamisme à partir de la maille des percentiles 25%, 75% et 95%. Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$FH = [(\log_2 95 - \log_2 75) / 2,44 (\log_2 75 - \log_2 25)] - [(\log_2 95 - \log_2 25) / 2]$$

Les unités \log_2 sont les logarithmes à base 2 de l'inverse de dimension des particules en mm. L'échelle de FH proposée par Thomassin (1978) est la suivante :

- ? $FH > 2$: hydrodynamisme très fort,
- ? $1 < FH < 2$: hydrodynamisme fort,
- ? $0,5 < FH < 1$: hydrodynamisme moyen,
- ? $FH \approx 0$: hydrodynamisme faible,
- ? $FH \approx -1$: hydrodynamisme très faible.

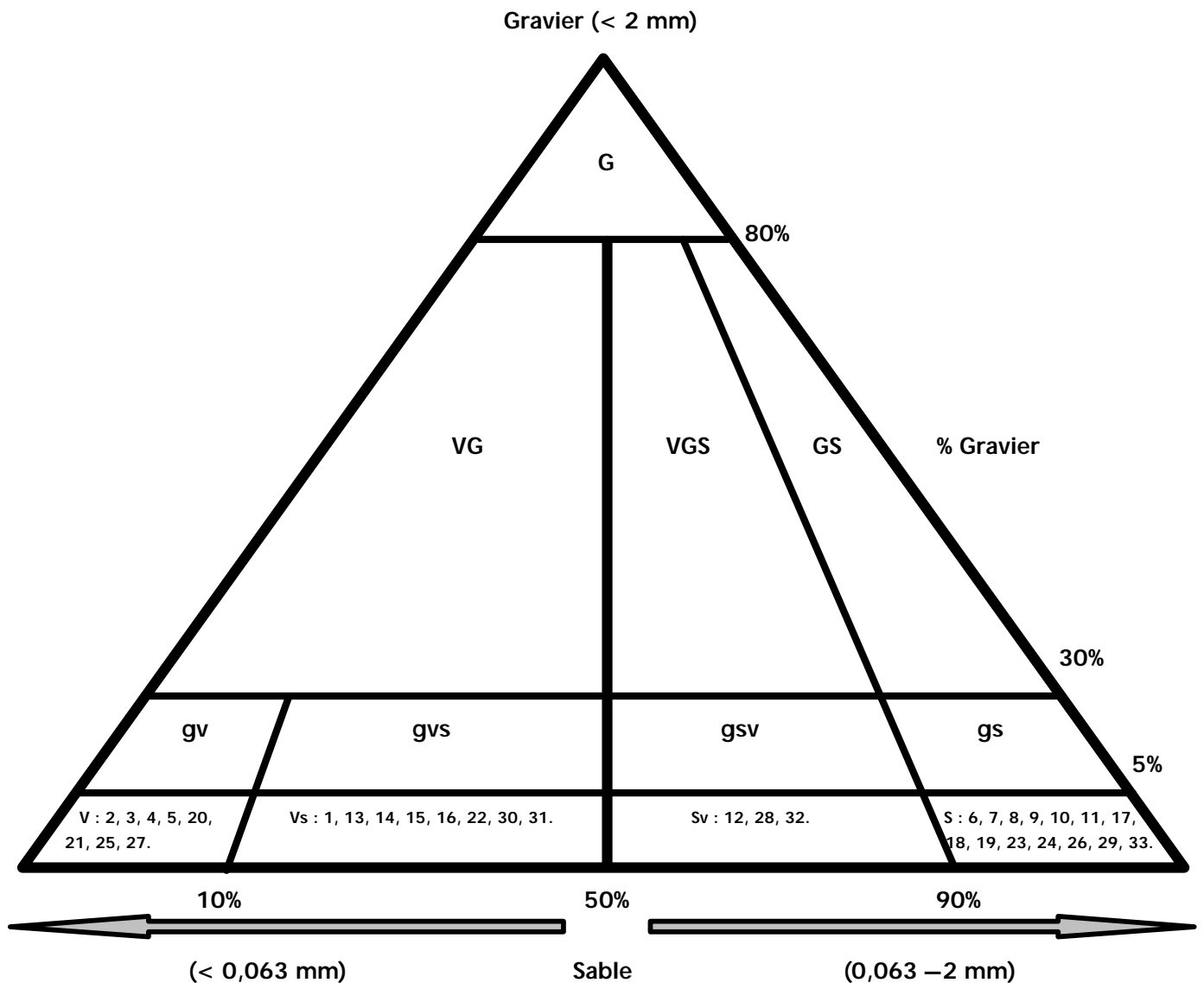
3. 4. Triangle de Folk

Pour établir la carte sédimentaire, il faut d'abord déterminer la texture du sédiment au moyen du triangle de Folk (Folk, 1965). Le principe de ce triangle est résumé comme suit ; les points représentatifs des trois classes sédimentaires de base : gravier, sable et vase, sont les trois sommets du triangle équilatéral, puisque la distance d'un sommet au côté opposé est égale à 100% (Aitcin et al., 1983).

4. Résultats

4.1. Caractéristiques granulométriques

L'analyse granulométrique a concerné les 33 stations retenues dans la lagune. Les résultats sont représentés sous forme de courbes granulométriques (fig. III.1 et III.2, annexes), d'histogrammes de fréquences (fig. III.3 et III.4, annexes) et dans le triangle de Folk (fig. III.2). Cependant, l'ensemble des stations prospectées, notamment celles se trouvant à la périphérie de l'étendue, présentent un fort taux de sable moyen, dont la médiane (Q_2) est comprise entre 0,15 et 0,28 mm (fig. III.1 et III.2, annexes).



G : Gravier pur
 SG : Sable graveleux
 VG : Vase graveleuse
 SVG : Sablo-vaseux graveleux
 S : Sable pur
 Gvs : Gravier vaso-sablonneux.

V : Vase pure
 Sv : Sable vaseux
 gsv : Gravier sable vaseux
 Vs : Vase sableuse
 Gs : Gravier sablonneux

Figure III.2 : Caractéristiques granulométriques des stations prospectées selon le triangle de Folk (1965).

Par ailleurs, la répartition unimodale de la majorité des histogrammes de fréquences obtenue (**fig. III.3 et III.4, annexes**), témoigne parfaitement l'homogénéité du stock sédimentaire de la quasi-totalité des stations échantillonnées dans la lagune. L'indice de classement ou Sorting (S_o) varie très peu pour l'ensemble des stations étudiées, avec des valeurs comprises entre 1,06 et 1,40 ce qui explique qu'on est en présence d'un sédiment très bien classé ($S_o < 2$), donc très homogène. La majorité des stations prospectées sont caractérisées par un facteur hydrodynamique (FH) proche de la valeur zéro, témoignant ainsi qu'on est en présence d'un hydrodynamisme faible, avec des valeurs comprises entre -0,45 et 0,45, sauf pour la station 18, où l'hydrodynamisme est moyen avec un FH égal à 0,72.

4.1.1. Teneurs en pélites

Les teneurs en fraction fine ($< 40 \mu\text{m}$), déterminées pour l'ensemble des stations (**fig. III.1**), nous ont permis d'établir la carte de répartition des pélites (**fig. III.3**). Cependant, la fraction pélitique est représentée dans la quasi-totalité des prélèvements avec des taux variables d'une station à une autre.

D'autre part, les résultats obtenus montrent que la teneur en fraction fine est croissante de la rive jusqu'au centre de l'étendue. Les teneurs les plus élevées ($> 90\%$), sont enregistrées dans les zones profondes de la lagune ; cas des stations 2, 3, 4, 5, 20, 25 et 27 où l'immersion dépasse généralement 2 m. La station 25, localisée au centre Ouest de l'étendue, avec une profondeur de 4,80 m, renferme la teneur la plus élevée avec 94,57%. D'une manière générale, en fonction de la teneur des sédiments en pélites la lagune Mellah renferme six zones différentes (**fig. III.3**) :

? Zone I ($>90\%$) : englobant les stations 2, 3, 4, 5, 20, 25 et 27 situées dans la partie centrale et la zone d'étranglement de la lagune (profondeur $> 3,5$ m).

? Zone II (70 – 90%) : renfermant les deux stations 1 et 30, situées respectivement au Nord et le centre Est de l'étendue, où la bathymétrie est de 2,50 pour la première et 4 m pour la seconde.

? Zone III (50 – 70%) : rassemblant les stations 21 et 22 au Nord-Ouest de la partie centrale de la lagune, donc une zone plus ou moins abritée. La profondeur respective est de 3,15 et 3,50 m.

? Zone IV (30 – 50%) : avec 4 stations (14, 16, 28 et 32), situées dans la zone d'étranglement de la lagune, près des tables conchyliques pour les deux premières et au Sud-Ouest et au Sud-Est de la partie centrale de l'étendue. A ce niveau l'immersion varie entre 1,5 et 3 m.

? Zone V (10 – 30%) : une seule station représente cette zone, il s'agit de la station 12, située non loin des rejets de l'oued El-Mellah au Sud-Ouest de la lagune. A ce niveau la bathymétrie est de 1,80 m.

? Zone VI (< 10%) : englobant le plus grand nombre de stations (6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 18, 19, 23, 24, 26, 29, 31 et 33), situées à la périphérie de l'étendue, caractérisées donc par des faibles profondeurs (< 1,50 m) et par conséquent un hydrodynamisme plus intense. Parmi ces stations 3 sont localisées à l'embouchure des cours d'eau, il s'agit des stations 6 (en face de l'oued Bélaroug) et 10 et 23 (en face de l'oued R'kibet).

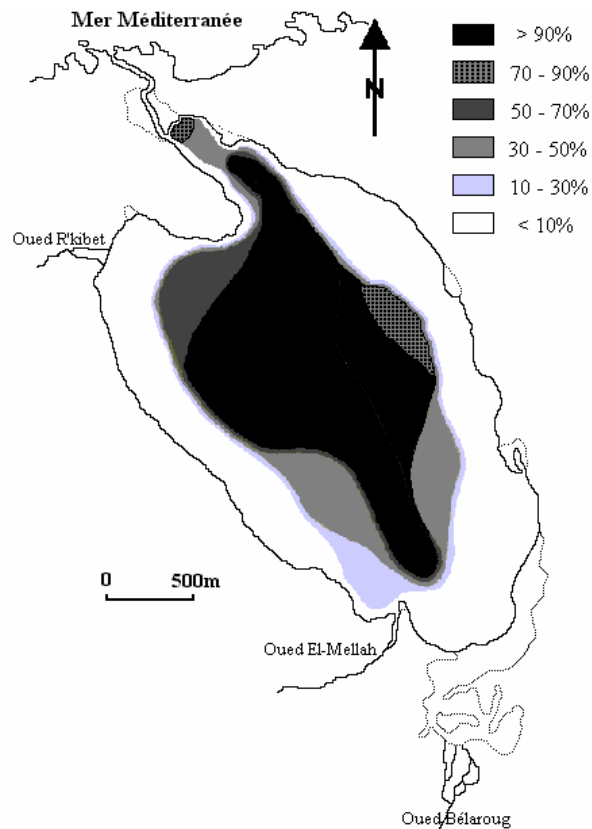


Figure III.3 : Répartition de la teneur en pélites (%) dans les sédiments de la lagune Mellah.

4.1.2. Granulométrie

L'analyse granulométrique en se référant à l'étude de la médiane (Q2), du taux de pélites et de l'utilisation du triangle de Folk (**fig. III.2**), a permis de dégager quatre lithologies sédimentaires distinctes au sein de la lagune (**fig. III.4**) :

? **Sables purs** : Ce sédiment dont la fraction sableuse est supérieure à 90% se rencontre dans un grand nombre de stations localisées, généralement en périphéries, dont la profondeur ne dépasse pas 1,50 m, cas des stations 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 18, 19, 23, 24, 26, 29, 31 et 33. En effet, nos résultats sont en parfait accord avec ceux de [Semroud \(1983\)](#) et de [Draredja \(1992\)](#), signalant des sables purs qui s'étendent le long des rives de la lagune, caractérisant ainsi les zones de faible profondeur (? 1,50 m).

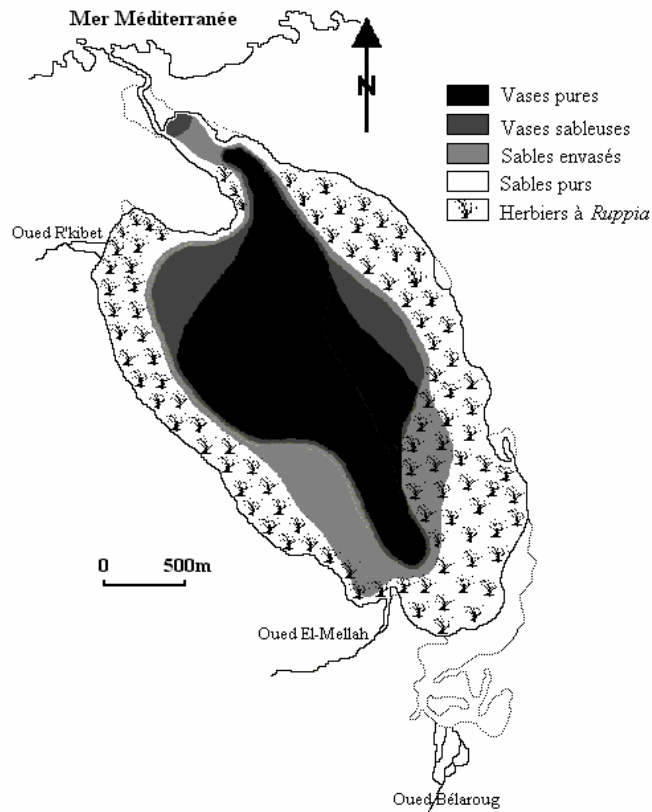


Figure III.4 : Couverture sédimentaire de la lagune Mellah et répartition des herbiers à *Ruppia* sp.

? **Sables envasés** : Ce type de substrat, où la fraction de sable varie entre 50 et 90%, se trouve dans trois stations seulement (stations 12, 28 et 32), localisées au Sud-Ouest de la lagune à des profondeurs allant de 1,50 m jusqu'à 3,50 m.

? **Vases sableuses** : Ce fond est caractérisé par une fraction vaseuse qui est dominante ; variant entre 50 et 90%. Il est rencontré au niveau de quatre stations (1, 21, 22 et 30), réparties au Nord et près du centre de l'étendue, où la profondeur dépasse généralement 2,5 m, favorisant ainsi le phénomène de décantation et par conséquent une accumulation de la fraction fine.

? **Vases pures** : Dans ce cas, le sédiment est composé essentiellement de vase avec plus de 90% de la fraction fine ($< 63 \mu\text{m}$). Ce substrat est décelé principalement dans les stations 2, 3, 4, 5, 20, 25 et 27. Dans l'ensemble, ces stations sont localisées au centre de la lagune, où la profondeur est maximale dépassant souvent 4 m. En effet, cette importante bathymétrie dans le centre et la zone d'étranglement de l'étendue, entraîne une forte sédimentation des particules fines, favorisée par la faible intensité hydrodynamique de la colonne d'eau, notamment près du fond.

4.2. Cartographie sédimentaire

Bien que schématique, la cartographie sédimentaire présente de nombreux avantages (Monbet, 1972) ; (i) : elle est une base de travail sérieuse pour la mise en place de certains paramètres tels que les courants, l'hydrologie, la bionomie et la biomasse, (ii) : elle peut servir de point de comparaison à toute étude ultérieure sur la même zone, (iii) : enfin par son caractère synthétique, elle contribue beaucoup à l'exploitation des résultats.

Les différentes analyses granulométriques des sédiments de la lagune ont permis d'identifier quatre zones lithologiques distinctes (fig. III.4) :

- ? zone de sables purs,
- ? zone de sables envasés,
- ? zone de vases sableuses,
- ? zone de vases pures.

On signale que la zone de sables purs occupe la majeure partie de la lagune. Elle est plus élargie sur le versant Est de l'étendue, d'où l'influence des apports dunaires à partir des rives par l'action éolienne ou celle des courants qui s'intensifient à la périphérie de la lagune. En se dirigeant d'avantage vers le centre de l'étendue, on rencontre les sables envasés, puis les vases sableuses. Le centre du bassin et la zone d'étranglement au Nord, sont caractérisés par la dominance de la fraction fine, en raison de l'importance bathymétrique qui favorise la décantation des particules ainsi que les plus fines. D'autre part, des prairies du phanérogame *Ruppia* sp. envahissent les berges jusqu'à une profondeur de 1,50 m notamment sur les rives Est, Sud et Ouest de la lagune. Ces herbiers jouent un rôle important dans la vie d'un certain nombre d'espèces de la macrofaune benthique, notamment chez les Amphipodes épiphytes.

4.3. Matière organique sédimentaire (M.O.S)

La teneur en matière organique dans les sédiments a été déterminée pour les 33 stations sélectionnées. La figure III.5, nous permet de connaître la répartition zonale de ce paramètre dans l'ensemble du Mellah. On note que les taux les moins élevés sont localisés en périphérie, autrement dit au niveau des sites où la fraction grossière est plus ou moins dominante, notamment dans les stations 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 19, 23, 24, 26 et 29, situées près des rives, dont la profondeur ne dépasse pas 1,5m.

En effet, la plus faible valeur (0,56%) a été enregistrée au niveau de la station 8, localisée à l'Est de la lagune avec une profondeur qui n'excède pas 1,20 m. Tandis que, les taux les plus élevés sont enregistrés vers l'intérieur de l'étendue et la zone d'étranglement de la lagune. C'est ainsi que la teneur maximale de 23,58%, est décelée au niveau de la station 25 au centre avec 4,80 m de profondeur, où la

fraction pélitique (94,57%) domine nettement. C'est ainsi que la répartition de la teneur en M.O.S est très hétérogène pour l'ensemble de la lagune, avec une moyenne de $(9,38 \pm 8,66\%)$.

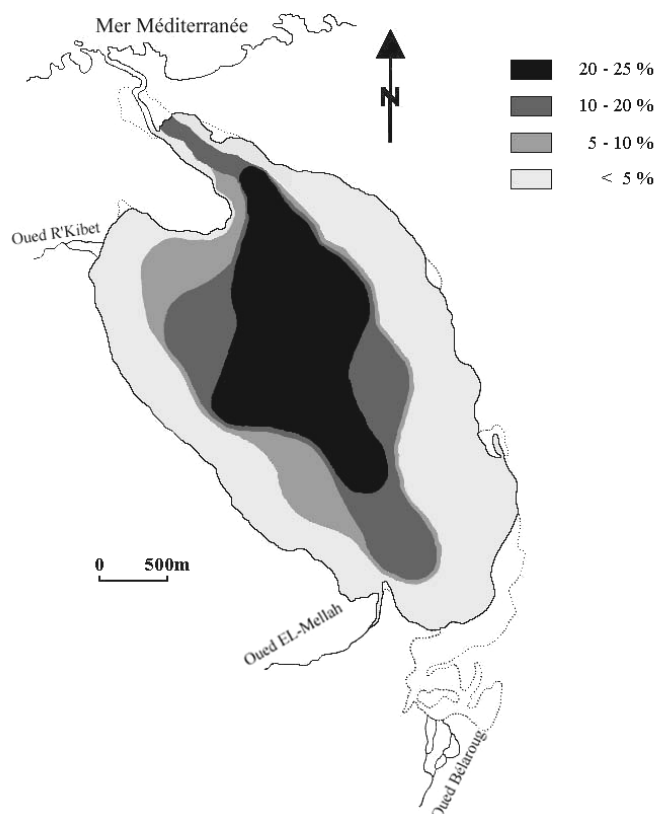


Figure III.5: Répartition de teneur en matière organique (en %) dans les sédiments de la lagune Mellah.

4.4. Teneur en carbonates totaux

La détermination des carbonates totaux dans les sédiments dans l'ensemble des stations prospectées (33 stations), nous a permis d'établir une carte de répartition des carbonates sédimentaires dans la lagune (**fig. III.6**). La plus grande valeur en calcaire est de 40,05% enregistrée au niveau de la station 25, située dans la partie centrale de la lagune. Alors que la plus faible valeur est de 2% seulement relevée dans la station 11, localisée dans la zone périphérique sur la rive Ouest de l'étendue, montrant ainsi le rôle de la bathymétrie dans la répartition des carbonates dans les sédiments.

De même que pour la matière organique sédimentaire, les valeurs des carbonates dans les sédiments de la lagune sont très inégales et oscillent autour d'une moyenne de $(11,83 \pm 11,17 \%)$.

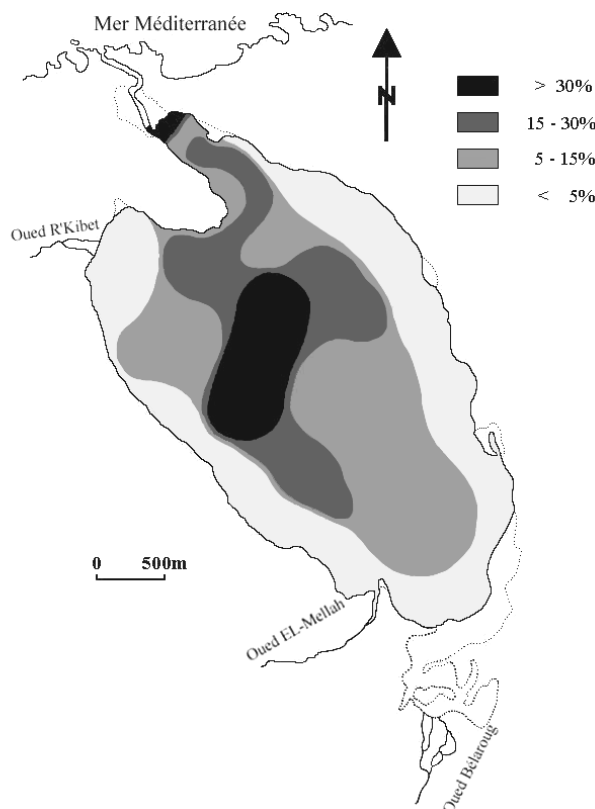


Figure III.6 : Répartition de teneur en carbonates totaux (en %) dans les sédiments de la lagune Mellah.

5. Discussion et conclusions

La nature de substrat est un élément fondamental dans la distribution de la faune benthique (Pères et Picard, 1964). La dépendance des benthontes vis-à-vis du substrat est d'ordre mécanique et physico-chimique.

Les résultats de l'analyse granulométrique, font ressortir un gradient négatif de la fraction grossière de la périphérie vers le centre de la lagune. Autrement dit, la granulométrie diminue régulièrement des rives vers la partie centrale. Cette constatation a été déjà signalée par Semroud (1983) et Draredja (1992). Ce phénomène serait en relation avec le processus d'accumulation des particules fines dans la cuvette centrale de cet écosystème, ainsi que la courantologie des eaux. Par ailleurs, il faut signaler que les deux substrats qui dominent dans la lagune Mellah sont ceux des sables et des pélites. Le premier occupe tout le pourtour de la lagune (17 stations) et le second (7 stations) au centre (profondeur > 4 m) et dans la zone d'étranglement du Mellah, en raison surtout de la profondeur qui dépasse généralement 2,50 m.

Notons que la répartition des sédiments dans les différentes stations n'a pas subi d'importantes variations depuis les travaux de Draredja (1992). Avec des bandes de sables purs au niveau des rives, s'élargissant d'avantage à l'Est de la lagune. Au-delà vers le centre et la zone d'étranglement de l'étendue, on rencontre des

fractions de plus en plus fines. Semroud (1983) signale des teneurs maximales de pélites qui ne dépassent pas 40% et considère que les valeurs ainsi trouvées sont sous estimées en raison du manque de l'étanchéité de l'engin de prélèvement utilisé à savoir la benne "Orange Peel" et considère les fonds supérieurs comme étant de vase pure et il appuie ses constatations par des observations *in situ*. Ces présents travaux confirment ses hypothèses. Toutefois, depuis avril 1988 (Draredja, 1992), on remarque que l'aire de répartition des pélites accuse une très légère augmentation dans la partie centrale de la lagune. Cette augmentation peut être expliquée par la diminution de l'intensité hydrodynamique en relation directement avec le colmatage du chenal de communication avec la mer depuis son dernier aménagement en 1988. Ce colmatage favorise ainsi la décantation des particules fines, notamment dans la partie profonde de la lagune. Sur la bordure côtière, les caractéristiques granulométriques montrent la dominance des sables moyens. Les sables envasés qui ont une aire de répartition très limitée dans notre étude, occupent un espace plus important dans la lagune et ce à partir de 1 m de profondeur dans des études antérieures (Semroud, 1983 ; Draredja, 1992).

Par ailleurs, on relève une certaine similarité entre la distribution des taux en pélites et le la teneur en matière organique dans les sédiments ($r = 0,92$), notamment en ce qui concerne les valeurs élevées décelées au centre de la lagune, celle-ci peut être considérée comme une zone d'accumulation des débris végétaux et animaux. La partie centrale est caractérisée par une accumulation des détritiques (Guelorget *et al.*, 1989). En effet, selon ces auteurs la profondeur relativement importante dans la zone centrale isole le fond de la lagune des influences des eaux superficielles, produisant alors un confinement dit bathymétrique. D'autre part, les résultats obtenus sont assez similaires à ceux de Draredja (1992), qui a enregistré le plus faible taux (0,64%) à la périphérie de l'étendue, et un maximum de 23,34% dans la zone d'étranglement de la lagune où sont implantées les tables à moules, et 22,45% au centre.

La répartition des teneurs en carbonates totaux dans les sédiments comme celles des pélites, se fait d'une façon concentrique également. De ce fait, la périphérie de la lagune est très pauvre en carbonates, tandis que, la zone centrale est caractérisée par des teneurs élevées. Notant également l'existence d'un certain parallélisme dans la répartition de la fraction fine et la teneur en carbonates totaux, mais cette fois-ci la corrélation ($r = 0,71$) est moins importante en comparaison avec les teneurs de la matière organique dans les sédiments. Or, il faut rappeler que des valeurs de carbonates plus ou moins élevées par rapport aux travaux antérieurs (Draredja, 1992), seraient dues à la forte mortalité observée chez certains mollusques comme c'est le cas de la coque *Cerastoderma glaucum*, et du gastéropode *Cerithium vulgatum*, en raison probablement de la diminution des échanges mer-lagune ou par prédation de ces deux mollusques testacés. Draredja (1992), mentionne une grande variabilité des teneurs en carbonates, avec des

valeurs extrêmes de 0,24% et 35,39%. Par ailleurs, nos résultats sont assez semblables à ceux recueillis dans l'étang de Berre par [Minas \(1964\)](#) et [Febvre \(1968\)](#). Cependant [Febvre \(1968\)](#), montre que les sources de carbonates sont essentiellement dues aux apports des rivières et des tests des mollusques.

CHAPITRE II : MACROFAUNE BENTHIQUE

1. Introduction

Le présent chapitre est consacré au compartiment benthique de la lagune Mellah, compartiment d'une importance essentielle dans l'écologie des milieux lagunaires. Il englobe ainsi une analyse écologique détaillée de la macrofaune benthique, en étudiant sa composition, sa répartition et son évolution temporelle au cours d'un cycle.

Les différentes définitions qui ont été proposées pour le benthos sont basées sur la taille et ceci pour le macrobenthos comme pour le méio- et le microbenthos. La première subdivision des organismes benthiques selon la taille a été établie par [Mare \(1942\)](#).

La classification la plus récente et la plus fréquemment utilisée par la majorité des benthologues, est proposée par [Vitiello et Dinet \(1979\)](#), qui subdivisent les organismes benthiques en :

? Macrobenthos : organismes retenus par une maille de 1X1 mm,

? Meiobenthos : ensemble des métazoaires passant à travers une maille de 0,5X0,5 mm, et retenus par une maille carrée de côtés compris entre 0,04 et 0,1 mm,

? microbenthos : organismes benthiques unicellulaires.

L'étude de l'inventaire et de la distribution des peuplements macrobenthiques de la lagune, sont établis afin de comprendre la situation et l'évolution dix ans après l'aménagement du chenal de communication avec la mer. Cette partie relative à la macrofaune benthique, traite deux principaux aspects ; (i): un aspect descriptif présentant la dominance globale des organismes, les principaux groupes zoologiques, la structure trophique des peuplements, ainsi qu'une comparaison de l'évolution spécifique du macrozoobenthos en fonction du temps, (ii): la structure et l'organisation de la macrofaune benthique est présentée sous forme d'article publié dans le *Journal de Recherche Océanographique* ([Draredja, 2005](#)).

2. Matériel et méthodes

2.1. *Choix et localisation des stations*

Dans cette étude 5 stations ont été retenues réparties suivant un axe longitudinal du Nord au Sud de la lagune, en plus d'une station située en face de l'oued R'kibet au Nord-Ouest de l'étendue (**fig. III.7**). Notre échantillonnage à choix raisonné a tenu compte de l'influence marine, d'eau douce, de la bathymétrie et de la nature de substrat. La description des stations retenues pour l'étude du macrobenthos a été déjà mentionnée (**tab. II.1**).

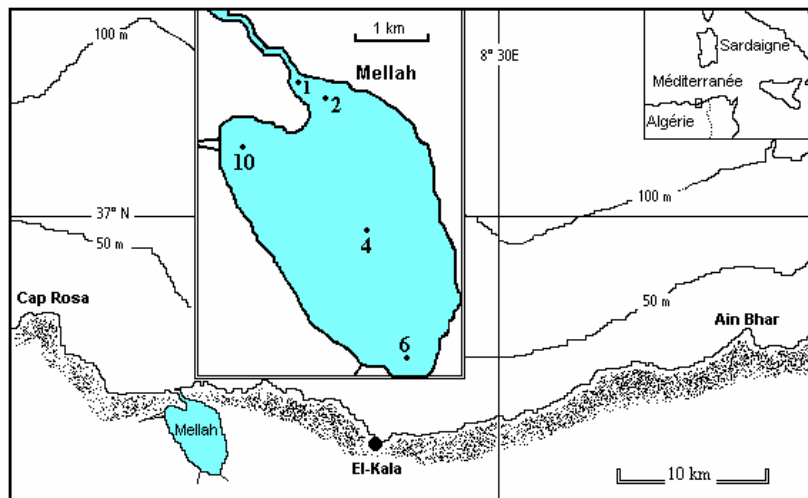


Figure III.7 : Localisation des stations d'échantillonnage de la macrofaune benthique dans la lagune Mellah.

2.2. Echantillonnage

L'étude de la macrofaune benthique nécessite le choix d'un engin approprié, d'un volume minimum et d'une maille de tamis relative aux organismes qu'on veut étudier. La benne Van Veen est efficace surtout pour les prélèvements des sédiments envasés (Bakalem et Romano, 1979). Par contre, son utilisation dans les fonds sablonneux et les sables compacts, cette benne présente deux inconvénients ; en raison d'une faible pénétration des mâchoires dans ce type de sédiment d'une part, ainsi que leur fermeture non hermétique lors de la remontée de la benne d'autre part (Lie et Pamatmat, 1965).

La pénétration de la macrofaune dans les sédiments est liée à la constitution granulométrique de ces derniers (Guelorget et Michel, 1976). Dans les vases coquillières la macrofaune peut atteindre 15 cm de profondeur. La macrofaune des vases sableuses disparaît entre 5 et 10 cm, seuls certains polychètes pénètrent plus profondément. En général, la macrofaune pénètre jusqu'à 20 cm dans les sables envasés et pour un fond de sable pur, elle est présente jusqu'à 15 cm. D'une manière générale, la majorité des individus macrozoobenthiques s'établissent entre la surface et une profondeur moyenne de 5 cm (Guelorget et Michel, 1976), quelque soit le type de substrat mis en jeu. L'échantillonnage de la macrofaune benthique de la lagune Mellah a été effectué mensuellement au cours d'un cycle annuel (de décembre 1997 à décembre 1998), à l'aide d'une benne Van Veen de 0,1 m² d'ouverture de mâchoires. Deux échantillons par station, ont été effectués, pour une surface de prélèvement de 1/5 m².

2.3. Traitement des échantillons

? Conservation

Les sédiments prélevés sont tamisés sur place grâce à un tamis de 1 mm de côté. Le refus du tamis est fixé au formol à 10% neutralisé au borax, puis conservé dans des bocaux contenant une étiquette portant le numéro de la station et la date de prélèvement. Cette conservation est maintenue jusqu'à l'opération de tri, puis l'identification des différentes espèces au laboratoire.

? Tri et identification

Les échantillons ramenés sont lavés une nouvelle fois sur un tamis de 1 mm. Un tri hydraulique permet de séparer les fractions les plus légères (débris de végétaux, petites Polychètes, Amphipodes, etc.) des fractions les plus grossières (sables, coquilles et gros invertébrés). Lors du tri les espèces zoobenthiques sont séparées selon quatre groupes zoologiques : Mollusques, Polychètes, Crustacés et le groupe nommé Divers regroupant les Echinodermes, Spongiaires, Planaires et Sipunculidés qui sont généralement moins fréquents dans la lagune. Les différentes espèces sont déterminées à la loupe binoculaire et parfois à l'aide d'un microscope pour plus de détails. La majorité des invertébrés benthiques, ont été identifiés jusqu'à l'espèce, sauf pour certains individus, en raison de l'absence de critères fiables de détermination. Pour la reconnaissance des différents taxons nous avons utilisé des clés d'identification parmi lesquelles on cite : [Bellon-Humbert, 1962 a, b et 1973](#) ; [Parenzan, 1970 et 1974](#) ; [Fauvel, 1923 a, b](#) ; [Sandro, 1982](#) ; [Naylor, 1972](#) ; [Lincoln, 1979](#) ; [Tortonesi, 1963](#) ; etc.

2.4. Expression des résultats

2.4.1. Caractéristiques analytiques

Dans un peuplement considéré, il est intéressant de connaître pour chaque espèce son importance, sa place et son influence sur les autres espèces du même peuplement en cohabitation. D'autre part, il est intéressant d'étudier quelques paramètres dits analytiques qui permettent de connaître et d'apprécier la valeur de chaque espèce répertoriée.

? Densité : Dans les études de la macrofaune benthique, la densité correspond au nombre d'individus d'une espèce par unité de surface. Dans notre étude, on se réfère au mètre carré.

? Dominance : Déjà définie (voir page 53).

2.4.2. Indices biocénotiques

En plus des paramètres analytiques des peuplements (densité, fréquence, dominance), les études écologiques font appel à des indices généraux associés aux paramètres synthétiques parmi lesquels l'indice de diversité spécifique et celui d'équitabilité sont les plus utilisés.

? **Indice de diversité spécifique** : L'indice de diversité utilisé est celui de Shannon (Blondel *et al.*, 1973 ; Amanieu *et al.*, 1979-1980). Cet indice présente l'avantage d'avoir été le plus fréquemment employé dans les études d'écologie benthique (Le Bris, 1988). Il nous donne une indication sur l'organisation des individus au niveau des stations. Son expression est déjà définie (voir page 54)

? **Indice d'équitabilité** : Il nous renseigne sur le niveau d'équitabilité d'une biocénose (Lloyd et Ghelardi, 1964 ; Pielou, 1966 ; Sheldon, 1969). Son expression est déjà définie (voir page 55)

2.4.3. Autres analyses

En plus des différentes méthodes analytiques et synthétiques employées pour comparer l'évolution spatiale et temporelle des peuplements (Legendre et Legendre 1984), nous nous sommes intéressés à la comparaison des stations en utilisant le coefficient qualitatif de Sorensen et quantitatif de Bray-Curtis (Legendre et Legendre, 1984) au moyen du logiciel Primer 5 de Clarke Warwick (2001).

3. Description des peuplements macrobenthiques

3.1. Description générale

Le **tableau III.1** renferme les différentes espèces recueillies dans la lagune Mellah pendant la période d'étude, avec un total de 43 taxons (13 Mollusques, 14 Polychètes, 11 Crustacés et 5 taxons appartenant au groupe des Divers : 2 Echinodermes, 1 Spongiaire, 1 Planaire et 1 Sipunculidé).

L'inventaire de la macrofaune benthique de la lagune présente des dominances moyennes très fluctuantes d'une espèce à une autre (**tab. III.1**). Ils se répartissent en 4 groupes taxonomiques prépondérants dont l'importance relative est illustrée dans la **figure III.8**. Le groupe des Mollusques (57,58%) étant le plus fortement représenté, avec un peu plus de la moitié du stock macrobenthique global, suivi des Polychètes (24,17%), des Crustacés (15,76%) et enfin le groupe nommé Divers (2,48%).

Par ailleurs, les principales espèces macrozoobenthiques exprimées en terme de dominance moyenne à l'échelle de la lagune (**fig. III.9**), sont nettement dominées par les deux bivalves *Loripes lacteus* et *Brachydontes marioni* caractéristiques des milieux

lagunaires et représentent ainsi 41,79% de toute la macrofaune, avec des valeurs très similaires de 21,98 et 19,81% respectivement. La troisième place est occupée par le Crustacé Isopode *Cyathura carinata* (8,93%). La quatrième place revient au Polychète Capitellidé *Heteromastus filiformis* (7,18%). La densité moyenne du macrobenthos dans la lagune s'élève à 2 821,74 ind.m⁻².

Tableau III.1 : Dominance moyenne (Dm en %) de la macrofaune benthique dans la lagune Mellah.

Espèces	Dm	Espèces	Dm
<u>Mollusques :</u>		<i>Lumbriconereis gracilis</i>	1,40
<i>Brachydontes marioni</i>	19,81	<i>Micronereis variegata</i>	0,33
<i>Loripes lacteus</i>	21,98	<i>Platynereis dumerilii</i>	1,21
<i>Abra ovata</i>	4,48	<i>Glycera convulata</i>	0,54
<i>Cardium glaucum</i>	1,96	<i>Phyllodoce pusilla</i>	0,16
<i>Venerupis decussata</i>	2,34	<u>Crustacés :</u>	
<i>Cerithium vulgatum</i>	1,86	<i>Corophium insidiosum</i>	2,80
<i>Hydrobia ventrosa</i>	1,19	<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	2,52
<i>Rissoa</i> sp.	1,89	<i>Amphithoë ferox</i>	0,48
<i>Nassa pygmaea</i>	0,40	<i>Gammarus aequicauda</i>	0,18
<i>Haminoea navicula</i>	0,13	<i>Gammarus</i> sp.	0,02
Scaphopode indet.	0,99	<i>Maera grossimana</i>	0,01
<i>Bulla utriculata</i>	0,14	<i>Cyathura carinata</i>	8,93
<i>Cyclonassa neritea</i>	0,41	<i>Idotea baltica</i>	0,04
<u>Polychètes :</u>		<i>Anthura gracilis</i>	0,69
<i>Aricia foetida</i>	4,36	<i>Penaeus kerathurus</i>	0,03
<i>Nainereis laevigata</i>	3,16	<i>Carcinus aestuarii</i>	0,003
<i>Heteromastus filiformis</i>	7,18	<u>Divers :</u>	
<i>Capitella capitata</i>	0,81	<i>Ophiura texturata</i>	0,48
<i>Serpula vermicularis</i>	1,91	<i>Amphiura chiajei</i>	0,79
<i>Pectinaria koreni</i>	0,45	Planaires indet.	0,003
<i>Salmacina dysteri</i>	0,43	Spongiaires indet.	0,44
<i>Harmathoë spinifera</i>	0,54	Sipunculidae indet.	0,75
<i>Nereis caudata</i>	1,62		

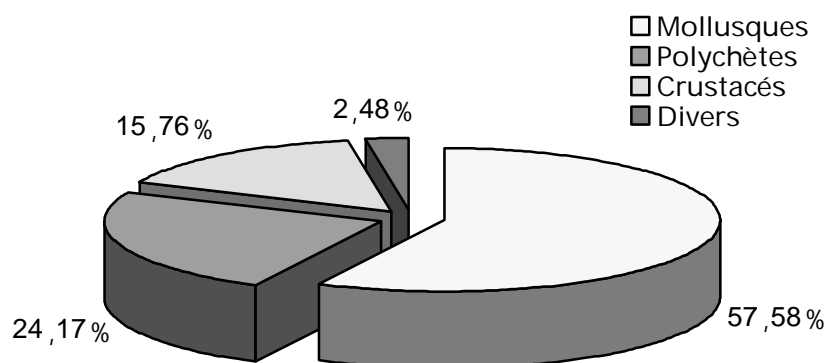


Figure III.8 : Dominance moyenne des différents groupes zoologiques récoltés dans la lagune Mellah.

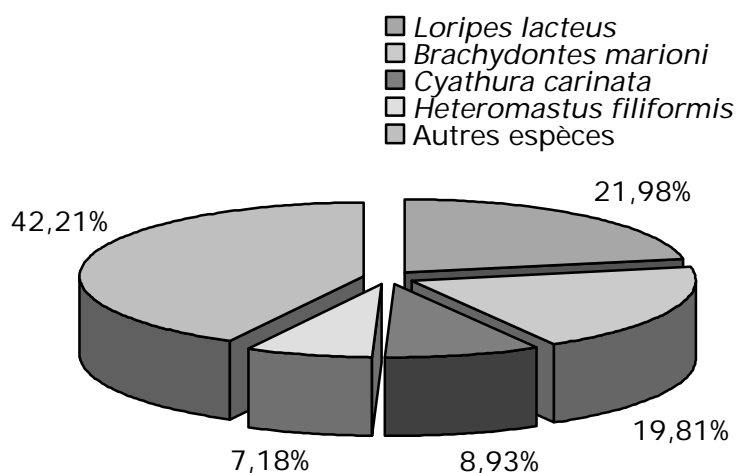


Figure III.9 : Dominance moyenne des principales espèces macrozoobenthiques récoltées dans la lagune Mellah.

3.2. Organisation trophique

Chaque espèce développe pour se nourrir un type d'activité qui peut être répertorié selon des groupes étho-écologiques reconnus : déposivores, suspensivores, carnivores, etc. Il devient ainsi possible, en tenant compte des différents modes alimentaires spécifiques et de leurs dominances, de déterminer la structure trophique de chaque peuplement. Toutefois, plusieurs travaux de synthèse (Pearson, 1971 ; Wolf, 1973 ; Fauchald et Jumars, 1979 ; Maurer et Leathem, 1981), montrent que des espèces de la macrofaune benthique possèdent une certaine souplesse dans leurs modes de nutrition, notamment chez certains mollusques bivalves. Elles peuvent être aussi bien déposivores que suspensivores, et on les considère ainsi comme mixtes.

La **figure III.10** représente l'organisation trophique de la macrofaune benthique à l'échelle de la lagune. C'est ainsi que les dépositivores de subsurface dominent nettement (42,10%), représentant ainsi près de la moitié du stock de la macrofaune, où le bivalve fouisseur *Loripes lacteus* prime avec 21,98%. Les suspensivores suivent avec environ 27% et sont représentés presque exclusivement par le bivalve sessile *Brachydontes marioni* (19,81%). Les carnivores occupent le troisième rang avec 20,65%, représenté essentiellement par l'Isopode *Cyathura carinata* (8,93%). Le reste des formes trophiques tels que les omnivores, les dépositivores de surface et les brouteurs restent très faiblement représentés avec des dominances respectives de 4,70, 3,75 et 1,90% seulement.

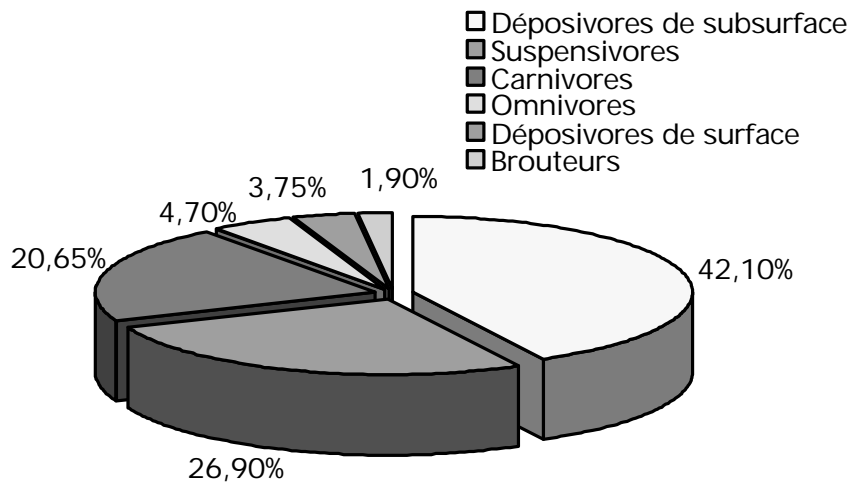


Figure III.10 : Organisation trophique (dominance moyenne) de la macrofaune benthique de la lagune Mellah.

3.3. Variations temporelles de la composition spécifique

Les débuts des travaux sur le macrozoobenthos de la lagune Mellah ont été réalisés par [Bakalem et Romano \(1979\)](#), suivis de ceux de [Semroud \(1983\)](#), puis de [Draredja \(1992\)](#). Dans une étude consacré à la dynamique de quelques bivalves, [Grimes \(1994\)](#), a évoqué un inventaire de la macrofaune benthique de la lagune. A cet effet, un tableau synthétique (**tab. III.2**) a été établi afin de suivre les variations temporelles de la composition qualitative du macrozoobenthos du Mellah de 1979 à 1998.

Il est évident que cet inventaire va largement dépendre de l'effort d'échantillonnage, de l'engin de prélèvement utilisé et de la période de l'étude effectués par les différents auteurs. Cependant, on a voulu par cette comparaison voir si en fonction des aménagements réalisés on pouvait observer un changement marqué de la composition qualitative des peuplements en place.

Tableau III.2 : Liste des espèces macrozoobenthiques récoltées dans la lagune Mellah de 1979 à 1998. (+ : présence, - : absence).

	Bakalem et Romano (1979)	Semroud (1983)	Draredja (1992)	Grimes (1994)	Présente étude (1998)
<u>Mollusques :</u>					
<i>Brachydontes marioni</i>	+	+	+	+	+
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	-	-	+	-	-
<i>Loripes lacteus</i>	+	+	+	+	+
<i>Cardium glaucum</i>	+	+	+	+	+
<i>Cardium</i> sp.	-	+	-	-	-
<i>Abra ovata</i>	+	+	+	+	+
<i>Venerupis decussata</i>	-	-	+	+	+
<i>Venus gallina</i>	+	-	-	-	-
<i>Anemonia sulcata</i>	+	-	-	-	-
<i>Rissoa lineolata</i>	-	-	+	-	-
<i>Rissoa</i> cf. <i>ventricosa</i>	-	-	+	-	-
<i>Rissoa elata</i>	-	-	+	-	-
<i>Rissoa</i> sp.	-	-	-	-	+
<i>Haminoea navicula</i>	-	-	+	-	+
<i>Hydrobia</i> cf. <i>acuta</i>	-	-	+	-	-
<i>Hydrobia ventrosa</i>	-	-	-	-	+
<i>Nassa reticulata</i>	+	+	+	+	-
<i>Nassa pygmaea</i>	-	-	+	-	+
<i>Cyclonassa neritea</i>	+	+	+	+	+
<i>Gibbula richardi</i>	-	-	+	-	-
<i>Cerithium vulgatum</i>	-	+	-	-	+
<i>Acanthochiton communis</i>	-	+	-	-	-
<i>Bulla utriculata</i>	-	-	-	+	+
<i>Bulla striata</i>	-	-	-	+	-
Scaphopoda indet.	-	-	-	-	+
<u>Polychètes :</u>					
<i>Harmathoë spinifera</i>	+	-	+	+	+
<i>Harmathoë impar</i>	-	-	-	+	-
<i>Harmathoë</i> sp.	-	+	-	-	-
<i>Polynoë scolopendrina</i>	-	-	+	-	-
<i>Lagisca</i> cf. <i>extenuata</i>	-	-	+	-	-
<i>Audouinia tentaculata</i>	-	-	-	+	-
<i>Nereis diversicolor</i>	-	+	+	+	-
<i>Neanthes succinea</i>	-	-	-	+	-
<i>Nereis caudata</i>	-	-	-	-	+
<i>Lumbriconereis gracilis</i>	-	-	-	-	+
<i>Micronereis variegata</i>	-	-	-	-	+
<i>Platynereis dumerilii</i>	-	-	-	+	+
<i>Capitella capitata</i>	+	+	+	+	+
<i>Heteromastus filiformis</i>	+	+	+	+	+

Tableau III.2 (suite).

	Bakalem et Romano (1979)	Semroud (1983)	Draredja (1992)	Grimes (1994)	Présente étude (1998)
<i>Pseudoleiocapitella fauveli</i>	-	-	-	+	-
<i>Mediomastus</i> sp.	-	-	-	+	-
<i>Aricia foetida</i>	-	-	+	-	+
<i>Aricia latreilli</i>	-	-	-	+	-
<i>Nainereis laevigata</i>	+	+	+	+	+
<i>Theostoma oerstedii</i>	-	-	+	-	-
<i>Prionospio spinifera</i>	-	-	+	-	-
<i>Spio filicornis</i>	-	-	+	-	-
<i>Nephtys hombergii</i>	+	-	-	-	-
<i>Scololepis fuliginosa</i>	+	-	-	-	-
<i>Polydora antennata</i>	+	+	+	+	-
<i>Phyllodoce pusilla</i>	-	-	+	-	+
<i>Phyllodoce</i> cf. <i>kosteriensis</i>	-	-	+	-	-
<i>Phyllodoce mucosa</i>	-	+	-	+	-
<i>Phyllodoce</i> sp.	-	+	-	-	-
<i>Syllis gracilis</i>	-	-	+	-	-
<i>Syllis</i> sp.	-	-	-	+	-
<i>Tomopteris helgolandica</i>	-	-	+	-	-
<i>Amphitrite edwardsi</i>	-	-	-	+	-
<i>Amphitrite</i> sp.	-	-	+	-	-
<i>Oriopsis armandi</i>	-	-	+	-	-
<i>Polyphthalmus pictus</i>	-	-	+	-	-
<i>Staurocephalus kefersteini</i>	-	-	+	-	-
<i>Arabella iricolor</i>	+	-	-	-	-
<i>Aonides oxycephala</i>	+	+	-	-	-
<i>Arenaria cristita</i>	-	-	-	+	-
<i>Scolaricia typica</i>	+	-	-	-	-
<i>Spio decoratus</i>	+	-	-	-	-
<i>Armandia cirrosa</i>	+	+	-	-	-
<i>Serpula vermicularis</i>	-	-	-	-	+
<i>Pectinaria koreni</i>	-	-	-	-	+
<i>Salmacina dysteri</i>	-	-	-	-	+
<i>Glycera convoluta</i>	-	-	-	+	+
Crustacés :					
<i>Corophium insidiosum</i>	+	+	+	+	+
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	+	+	+	+	+
<i>Gammarus aequicauda</i>	-	-	+	+	+
<i>Gammarus</i> sp. I	+	+	+	-	+
<i>Gammarus</i> sp. II	-	+	-	-	-
<i>Gammarus</i> sp. III	-	+	-	-	-
<i>Melita palmata</i>	-	-	+	-	-
<i>Amphitoë ferox</i>	-	-	+	-	+

Tableau III.2 (suite).

	Bakalem et Romano (1979)	Semroud (1983)	Draredja (1992)	Grimes (1994)	Présente étude (1998)
<i>Amphitoë cf. riedli</i>	-	-	+	-	-
<i>Maera grossimana</i>	-	-	+	-	+
<i>Lembos</i> sp.	-	-	-	+	-
<i>Eurydice affinis</i>	-	-	-	+	-
<i>Cyathura carinata</i>	+	+	+	+	+
<i>Idotea baltica</i>	-	+	+	+	+
<i>Sphaeroma cf. hookeri</i>	+	+	+	-	-
<i>Anthura gracilis</i>	-	-	-	-	+
<i>Tanais cavolinii</i>	-	+	+	+	-
<i>Heteropanopeus laevis</i>	-	-	+	-	-
<i>Clibanarius erythropus</i>	-	-	+	-	-
<i>Penaeus kerathurus</i>	-	-	-	+	+
<i>Carcinus aestuarii</i>	-	-	-	+	+
Mysidacea indet.	-	-	+	-	-
Echinodermes					
<i>Amphiura chiajei</i>	-	+	-	-	+
<i>Ophiura texturata</i>	+	-	-	-	+
Cnidaires					
Actinaires indet.	-	+	+	-	-
<i>Cereus pedunculatus</i>	-	+	-	-	-
Ascidies					
<i>Ciona intestinalis</i>	+	+	-	-	-
<i>Molgula</i> sp.	-	-	+	-	-
Divers					
Spongiaires indet.	-	-	-	-	+
Planaires indet.	-	-	+	-	+
Nemertes indet.	+	+	+	-	-
Oligochètes indet.	-	+	+	-	-
Larves de Chironomidés	+	+	+	-	-
Larves de Diptères	-	+	-	-	-
Turbellaires indet.	-	+	-	-	-
Sipunculidae indet.	-	-	-	-	+
Richesse spécifique	29	37	56	37	43

Cette série d'études, montre bien l'évolution temporelle des peuplements de la macrofaune benthique en fonction des changements des conditions environnementales de l'écosystème. A travers cette succession de travaux, on constate une certaine variation de la composition faunistique des peuplements directement liée à l'évolution des conditions écologiques du milieu. En effet, une étude comparative des listes

faunistiques de la lagune depuis les premiers travaux jusqu'à notre étude (**tab. III.2**), montre l'apparition de certaines espèces et la disparition d'autres, en fonction de leur tolérance vis-à-vis le milieu.

C'est ainsi que [Bakalem et Romano \(1979\)](#) signalent la présence de 29 espèces (12 Polychètes, 7 Mollusques et 6 Crustacés) (**tab. III.2**). Alors que [Semroud \(1983\)](#), décèle 37 espèces réparties d'une manière similaire entre les trois principaux groupes zoologiques (Polychètes : 10 espèces, Mollusques : 9 espèces, Crustacés : 9 espèces). Au sein de cet inventaire, l'auteur enregistre trois nouvelles espèces de Polychètes et sept autres espèces de Crustacés. Toutefois, ce même auteur note la disparition de 2 Mollusques et de 5 Polychètes, signalées auparavant par [Bakalem et Romano \(1979\)](#).

Durant la période d'aménagement du chenal de communication avec la mer en 1988, [Draredja \(1992\)](#), signale une nette augmentation du nombre d'espèces dans la lagune atteignant 56 espèces (**tab. III.2**), réparties comme suit : 20 espèces de Polychètes, 15 espèces de Mollusques et 15 Crustacés. A cette époque, l'auteur note l'installation de 21 espèces nouvelles espèces (8 Mollusques, 13 Polychètes et 7 Crustacés), non signalées dans les études antérieures. L'inventaire dressé par [Grimes \(1994\)](#) sur les berges Est et Sud de la lagune (mai 91-mai 92), révèle la présence de 37 espèces : 9 Mollusques, 17 Polychètes et 11 Crustacés. Lors de cette étude 15 nouvelles espèces sont signalées (10 Polychètes, 3 Crustacés et 2 Mollusques) non évoquées dans l'étude précédente (**tab. III.2**). Dans la présente étude 43 espèces sont dénombrées, avec l'apparition de 8 nouvelles espèces (5 Polychètes, 2 Crustacés et 1 Sipunculidé) comparativement avec la situation après aménagement ([Grimes, 1994](#)).

Les milieux lagunaires sont reconnus comme étant des sites très changeants et instables ([Holling, 1973](#) ; [Zaret, 1982](#) ; [Giangrande et Frascchetti, 1996](#) ; [Bianchi et al., 1998](#)). La dynamique des peuplements macrozoobenthiques durant environ deux décennies (de 1979 à 1998), est directement liée aux changements des conditions environnementales du milieu à travers les aménagements (en 1988), les influences climatiques, l'état de colmatage du chenal de communication avec la mer, et les exploitations de diverses espèces piscicoles et conchylicoles dans la lagune.

L'affinité qualitative entre les cinq périodes d'étude de [Bakalem et Romano \(1979\)](#) réalisée en juin 79, [Semroud \(1983\)](#) réalisée en 79-80, [Draredja \(1992\)](#) en avril 88, [Grimes \(1994\)](#) effectuée en 91-92 et la présente étude réalisée en 98, établie en utilisant l'indice de Sorensen ([Clarke Warwick, 2001](#)), fait ressortir deux principaux groupes (**G1** et **G2**) (**fig. III.11**).

Le premier groupe (**G1**) rassemble les études réalisées respectivement en 1979 -1980 et 1988 et le deuxième groupe (**G2**) les études réalisées en 1991 -1992 et 1998. Chaque groupe présente une similarité proche ou supérieure à 50%, montrant ainsi une composition qualitative très semblable. Bien que les engins de pêche et le nombre de

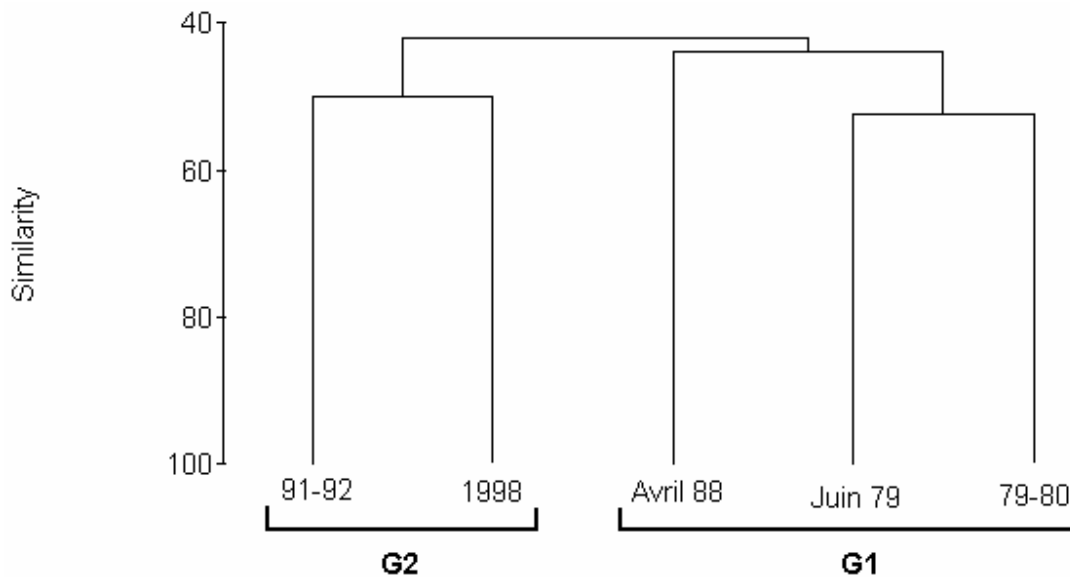


Figure III.11 : Similarité (indice de Sorensen) entre les différentes périodes d'étude (Bakalem et Romano, 1979 : juin 79 ; Semroud, 1983 : 79-80 ; Draredja, 1992 : avril 88 ; Grimes, 1994 : 91-92 et la présente étude (98) de la macrofaune benthique de la lagune Mellah.

stations étaient différents pouvant éventuellement modifier le nombre d'espèces prélevées par période d'échantillonnage, on constate cependant un regroupement chronologique des prélèvements aisément décelable dans le dendrogramme mentionné dans la **figure III.11** ci-dessus. La différence entre les deux périodes mise en évidence tient plus particulièrement à la marinisation de la lagune Mellah à partir des années 1988, liée à l'élargissement et l'approfondissement du chenal reliant la lagune à la mer montrant une évolution qualitative des peuplements en 1992 et 1998 par rapport aux autres années de prélèvements.

4. Structure et organisation de la macrofaune benthique

Il est évident selon de nombreux auteurs que, les études sédimentologiques et celles de la physico-chimie sont à la base de toute investigation dans les milieux aquatiques d'une manière générale et les écosystèmes lagunaires en particulier. Par ailleurs, les peuplements benthiques qui monopolisent le flux d'énergie de la matière organique (Thimel, 1988 ; Ounissi, 1991), sont par conséquent d'une grande importance dans l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes lagunaires. C'est ainsi que l'étude de la structure démographique de la macrofaune benthique, peut être en effet un élément de réponse à l'esprit du fonctionnement abordé dans ce travail. La structure et l'organisation de la macrofaune benthique dans la lagune ainsi que les conclusions générales de ce chapitre sont reproduits *in extenso* dans la publication ci-après (Draredja, 2005), parue dans le *Journal de Recherche Océanographique*.

STRUCTURE ET ORGANISATION DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE DE LA LAGUNE MELLAH (ALGÉRIE, MEDITERRANÉE SUD OCCIDENTALE)

Brahim DRAREDJA

Département des Sciences de la Mer, Faculté des Sciences, Université Badji Mokhtar - Annaba
BP. 12 ANNABA – Algérie
draredja_brahim@yahoo.fr

Mots clés : Macrobenthos – structure - évolution temporelle - lagune Mellah - Méditerranée Sud occidentale.

Résumé : Une étude de la structure et de la distribution de la communauté macrobenthique de la lagune Mellah a été menée pendant un cycle annuel (1998), au niveau de 5 stations réparties selon un choix raisonné. Un total de 43 espèces sont inventoriées. L'indice de diversité exprimé par celui de Shannon-Wiener (0,76 et 2,85 bits) et l'indice d'équitabilité (0,30 et 0,90), restent faibles dans plusieurs cas, montrant ainsi la fragilité de ce type d'écosystème. Les analyses multivariées (AFC et affinités des groupes selon les indices de Sorensen et celui de Bray-Curtis), montrent que la structure des peuplements macrobenthiques dans la lagune, est surtout régie par les fluctuations halines, thermiques et hydrodynamiques, en fonction des saisons. Par ailleurs, la teneur des sédiments en matière organique, notamment dans les fonds à vase pure, peut favoriser un développement optimum de certaines espèces dépositivores ; cas du bivalve fouisseur *Abra ovata*. Il faut aussi signaler le rôle joué par certains facteurs ponctuels de stress induits par le déclenchement des tempêtes locales. En effet, ces phénomènes climatiques agissant à court terme, affecteraient également la composition et l'organisation de la communauté macrobenthique dans la lagune.

STRUCTURE AND ORGANIZATION OF THE BENTHIC MACROFAUNA OF THE LAGOON MELLAH (ALGERIA, MEDITERRANEAN SOUTH WESTERN)

Key words: *macrobenthos – structure - temporal change - lagoon Mellah - Mediterranean south western.*

Abstract: *A study of the community structure and the macrobenthic distribution in the Mellah lagoon have been completed during one year cycle (1998), in 5 stations distributed according to a reasoned choice. Thus 43 species have been inventoried. The diversity index expressed by the Shannon-Wiener (0.76 and 2.85 bits) and the evenness index (0.30 and 0.90), remain weak in most cases, showing the fragility of this ecosystem. Multivariate analysis (FCA and affinities between groups according to the Sorensen and the Bray-Curtis index) indicates that the macrobenthic populations structure in this lagoon is governed by salinity, temperature fluctuations and hydrodynamism, in relation with different seasons. The silty sediment rich in organic matter encourage a high development of some deposit feeding species such as the burrowing bivalve *Abra ovata*. Climatic phenomena acting at short term, induced by local storm, can also affect the composition and the macrobenthic community organization in this lagoon.*

INTRODUCTION

Les milieux lagunaires caractérisés généralement par de fortes productions biologiques, occupent environ 13% du littoral mondial (Nixon, 1982). Ces écosystèmes sont caractérisés également par les variations des paramètres physico-chimiques qui s'accompagnent souvent de modifications des structures démographiques des peuplements, notamment à l'échelle saisonnière. La plupart des modifications environnementales et biotiques qui se produisent dans les milieux lagunaires sont liées souvent à l'importance et la variabilité des échanges hydrologiques et biologiques dans le sens eaux marines-lagunes (Ounissi, 1991). En effet, les lagunes côtières sont des environnements typiquement instables, et par conséquent le concept des variations à court terme est dominant, alors que les changements à long terme sont incontestables pour ces écosystèmes en comparaison avec le

milieu marin (Giangrande & Fraschetti, 1996 ; Bianchi *et al.*, 1998).

Beaucoup de travaux ont été effectués sur le macrobenthos des lagunes périméditerranéennes notamment dans la Méditerranée Nord occidentale ; l'étang de Prévost (Amanieu *et al.*, 1975 ; Guelorget & Michel, 1977 ; Guelorget & Michel, 1979 a, b ; Perthuisot & Guelorget, 1983) et l'étang de Berre en France (Stora, 1976 a, b ; Stora & Arnoux, 1983 ; Gaudy *et al.*, 1995 ; Kim et Travers, 1997 a, b ; Travers et Kim 1997), la lagune de Venise en Italie (Bendoricchio *et al.*, 1993 ; Bendoricchio *et al.*, 1996 ; Bianchi *et al.*, 1996 ; Tagliapietra *et al.*, 1997 ; Tagliapietra *et al.*, 1998 ; Tolomio *et al.*, 1999). Sur la rive Sud occidentale de la Méditerranée, on cite essentiellement la lagune du Nador au Maroc (Guelorget *et al.*, 1987), le lac de Bizerte (Zaouali, 1979 et 1980) et celui de Tunis (Ktari-Chakroun, 1972) en Tunisie. La lagune Mellah, représente un site unique en Algérie, pour son double intérêt ; tout d'abord écologique en raison de l'absence de toute pollution d'origine anthropogénique (Boudjellel *et*

al., 1993), par son appartenance au parc national d'El-Kala, et économique, avec une exploitation piscicole artisanale, essentiellement des muges, bar, daurade et anguille, et une exploitation conchylicole notamment la moule *Mytilus galloprovincialis* et l'huître creuse *Crassostrea gigas* en élevage et la palourde *Ruditapes decussatus* et la coque *Cardium glaucum*, prélevées sur les rives de la lagune, où existent des gisements naturels (Refes, 1994 ; Grimes, 1994). Peu de travaux consacrés à l'écologie de la macrofaune benthique ont été réalisés jusqu'ici dans la lagune Mellah (Bakalem *et al.*, 1979 ; Semroud, 1983 ; Draredja, 1992 ; Refes, 1994 ; Grimes, 1994), d'où l'intérêt de la présente investigation.

MATERIEL ET METHODES

Milieu

Le Mellah est l'unique milieu lagunaire en Algérie, situé à l'extrême Est du pays ($8^{\circ}20'E - 36^{\circ}54'N$), près de la frontière tunisienne (figure 1). Il totalise une superficie d'environ 865 hectares, avec une profondeur maximale qui ne dépasse pas 6 m. Cette étendue d'eaux saumâtres est reliée à la mer dans sa partie Nord par un long (900 m) et étroit (2 à 10 m) chenal sinueux et reçoit ainsi des eaux marines. Les apports en eaux douces sont assurés par le biais de trois cours d'eau saisonniers ; R'kibet au Nord-Ouest, El-Mellah au Sud-Ouest et Bélaroug au Sud. La lagune Mellah est soumise à un climat Sud méditerranéen caractérisé par un été sec et chaud et un hiver humide et froid. Cette région reçoit la plus importante pluviométrie de l'Algérie avec 1200 mm/an, avec un maximum en hiver de 600 mm. La température des eaux de la lagune varie entre $10,1$ et $29,3^{\circ}C$, la salinité entre 25,52 et 34,42 psu, l'oxygène dissous entre 4,56 et 8,23 mg/l, le pH entre 7,52 et 8,32 (Draredja & Kara, 2004 a). Comme dans la majorité des lagunes méditerranéennes, la sédimentologie s'organise d'une manière concentrique, où la fraction fine augmente de la périphérie jusqu'au centre de la lagune (Semroud, 1983 ; Draredja & Beldi, 2001).

Stations de prélèvement

Les stations retenues pour cette étude, sont au nombre de 5, réparties pour la plupart selon un axe longitudinal Nord-Sud (figure 1). La station 1, se trouve à l'extrême Nord de la lagune en face de l'embouchure du chenal de communication avec la mer, directement sous influence marine pendant les courants du flot, sa profondeur est de 2,3 m, avec un sédiment vaseux légèrement sablonneux. La station 2, à 2,5 m de profondeur est située au niveau de la

zone d'étranglement de la lagune, où se trouvent les tables d'élevage des moules. A cet endroit, le fond est constitué de vase pure à coquilles. La station 4 au centre de l'étendue, est la plus profonde (4,5 m), le substrat est formé de vase pure avec la présence de l'algue brune *Hypnea* sp. (Draredja & Beldi, 2001). Toujours sur le même axe à l'extrême Sud et sous influence continentale, se localise la station 6, située en face des apports d'eaux douces de l'oued Bélaroug. Elle se trouve à 1,2 m de profondeur, le fond est formé de sable pur à herbier de *Ruppia* sp. La station 10, se trouve au Nord-Ouest en face de l'oued R'kibet dans une zone plus ou moins abritée en raison de la configuration géomorphologique de la lagune (figure 1), la profondeur à ce niveau est de 1,8 m, avec un sédiment de sable envasé où prolifère la phanérogame *Ruppia* sp.

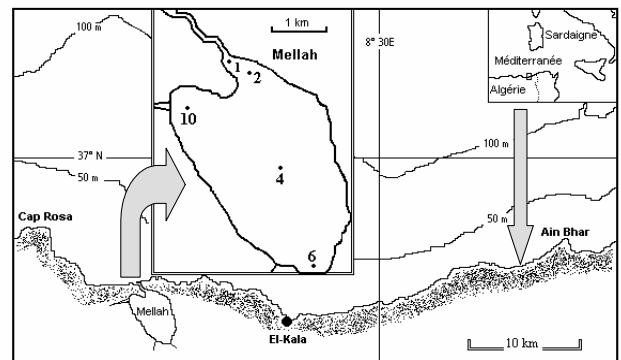


Figure 1. Position géographique de la lagune Mellah et choix des stations.
Figure 1. Geographical position of Mellah lagoon and emplacement of stations.

Échantillonnage

L'échantillonnage de la macrofaune et du sédiment a été effectué mensuellement (de décembre 1997 à décembre 1998), à l'aide d'une benne Van Veen de $0,1 \text{ m}^2$ d'ouverture de mâchoires. Deux échantillons par station, ont été effectués, pour une surface de prélèvement de $1/5 \text{ m}^2$. Le tamisage a été réalisé sur une maille de 1 mm, le refus du tamis étant stocké puis fixé au formol à 10% neutralisé, jusqu'à l'identification des espèces appartenant aux différents groupes zoologiques.

Traitement des données

Pour le traitement des données, nous avons utilisé différents paramètres quantitatifs des peuplements ; tels que la richesse spécifique, la densité et la dominance, ainsi que l'indice de Shannon (H') et celui d'équitabilité (E). Nous avons aussi effectué une analyse factorielle des correspondances (AFC) (logiciel ADE-4, CNRS-Lyon1), ainsi qu'une classification hiérarchique en utilisant les indices de Sorensen et celui de Bray-Curtis (logiciel Primer 5). Pour ces dernières analyses, nous avons utilisé un tableau de contingence renfermant 43 observations et 63 variables.

<p>Mollusques <i>Brachydontes marioni</i>, Locard <i>Loripes lacteus</i>, Linnaeus <i>Abra ovata</i>, Philippi <i>Cardium glaucum</i>, Bruguière <i>Venerupis decussata</i>, Linnaeus <i>Cerithium vulgatum</i>, Bruguière <i>Hydrobia ventrosa</i>, Montagu <i>Rissoa</i> sp. <i>Nassa pygmaea</i>, Lamarck <i>Haminoea navicula</i>, Dacosta <i>Bulla utriculata</i>, (Brocchi) <i>Cyclonassa neritea</i>, Linnaeus Scaphopode ind.</p> <p>Polychètes <i>Aricia foetida</i>, Grube <i>Nainereis laevigata</i>, Grube</p>	<p><i>Heteromastus filiformis</i>, Clapadère <i>Capitella capitata</i>, Fabricius <i>Serpula vermicularis</i>, Linnaeus <i>Pectinaria koreni</i>, Malmgren <i>Salmacina dysteri</i>, Huxley <i>Harmathoë spinifera</i>, Ehlers <i>Nereis caudata</i>, Delle Chiaje <i>Lumbriconereis gracilis</i>, Ehlers <i>Micronereis variegata</i>, Clapadère <i>Platynereis dumerilii</i>, Audouin et Milne-Edwards <i>Glycera convulata</i>, Keferstein <i>Phyllodoce pusilla</i>, Clapadère</p> <p>Crustacés <i>Corophium insidiosum</i>, Crawford <i>Microdeutopus gryllotalpa</i>, Costa <i>Amphithoë ferox</i>, Chevreux</p>	<p><i>Gammarus aequicauda</i>, Martynov <i>Gammarus</i> sp. <i>Maera grossimana</i>, Montagu <i>Cyathura carinata</i>, Kröyer <i>Idotea baltica</i>, Pallas <i>Anthura gracilis</i>, Montagu <i>Penaeus kerathurus</i>, Forskal <i>Carcinus aestuarii</i>, Nardo</p> <p>Échinodermes <i>Ophiura texturata</i>, Lamarck <i>Amphiura chiajei</i>, Forbes</p> <p>Divers Planaire ind. Spongiaire ind. Sipunculidae ind.</p>
---	--	--

Tableau I : Liste des espèces macrobenthiques recensées dans la lagune Mellah.
 Table I: List of macrobenthic taxa identified in the Mellah lagoon.

RESULTATS

Le tableau I présente les espèces récoltées. Parmi les 43 espèces recensées, on enregistre 13 Mollusques, 14 Polychètes, 11 Crustacés et 2 Échinodermes, 1 Planaire, 1 Spongiaire et 1 Sipunculide. Les variations de la richesse spécifique, des densités, des indices de Shannon et d'équitabilité sont présentées par les figures 2 et 3.

Station 1 : La richesse spécifique varie entre 14 et 25 espèces relevées respectivement en janvier et en avril. Les principales espèces se répartissent comme suit : le bivalve *Loripes lacteus* domine durant trois mois ; janvier (26,78%), février (29,41%) et novembre (43,90%), puis l'amphipode *Corophium insidiosum* durant le mois de mars (22,25%), le gastéropode *Cerithium vulgatum* pendant les mois d'avril (15,52%) et juin (14,34%), l'isopode *Cyathura carinata* domine en mois de mai (53%) et juillet (31,36%), le bivalve *Brachydontes marioni* en mois d'août (71,15%), un autre bivalve *Venerupis decussata* pendant septembre (19,91%) et décembre (16,46%). La variation des densités au niveau de cette station, passent par les extrêmes de 1180 (en septembre) et 2650 ind./m² (en juin). Pour les indices de Shannon et d'équitabilité, le maximum est décelé durant le mois d'avril (2,85 bits et 0,88), alors que les minima sont rencontrés en août (1,28 bits et 0,44).

Station 2 : La richesse spécifique varie entre 12 (en septembre) et 30 (en janvier). Les principales espèces sont les suivantes : le bivalve *Loripes lacteus* domine durant huit mois ; janvier (22,68%), février (19,21%), mars (17,29%), avril (42,98%), mai (41,69%), octobre (65,64%), novembre (51,31%) et décembre (36,73%), puis un autre bivalve *Brachydontes marioni* en mois de juillet (42,50%), août (46,57%) et septembre (14,88%) et enfin le polychète Aricidae *Nainereis laevigata* en mois de juin (12,54%). Les fluctuations des densités au niveau de cette station,

passent par un minimum de 840 ind./m² (en septembre) et un maximum de 7495 ind./m² (en octobre). Pour les indices de Shannon et d'équitabilité, les maxima sont relevés durant le mois de juillet (2,69 bits et 0,91), alors que les minima sont rencontrés en juillet (1,32 bits) et octobre (0,44).

Station 4 : La richesse spécifique oscille entre 11 (en septembre) et 24 (en janvier et février). Les principales espèces se classent comme suit : le bivalve *Loripes lacteus* domine durant six mois ; janvier 97 (62%), janvier 98 (51,51%), février (49,02%), mars (84,12%), avril (69,19%), et octobre (82,01%), un autre bivalve *Brachydontes marioni* en quatre mois ; juin (29,11%), juillet (32,95%), novembre (52,17%) et décembre (46,77%), puis l'autre bivalve *Abra ovata* durant deux mois ; août (72,20%) et septembre (60,58%). Les valeurs de la densité à ce niveau, passent par les extrêmes de 790 (en juin) et 14575 ind./m² (en avril). Alors que pour les indices de Shannon et d'équitabilité, les maxima sont décelés durant le mois de juin (1,95 bits et 0,78) et les minima paraissent en octobre (0,76 bits et 0,30).

Station 6 : La richesse spécifique passe de 8 (en octobre) à 27 (en décembre 97 et janvier 98). Les principales espèces s'organisent comme suit : l'amphipode *Microdeutopus gryllotalpa* : décembre 97 (30%), janvier 98 (16,59%), février (19,17%), mars (32,90%), le bivalve *Loripes lacteus* domine durant le mois d'avril (40,41%), puis un autre bivalve *Brachydontes marioni* en mois de mai (44,41%), le polychète *Heteromastus filiformis* domine en juin ((21,42%), alors que *capitella capitata* est dominante en juillet (35,41%) et août (21,97%), le bivalve *Cardium glaucum* (en septembre (28,75%), le gastéropode *Cyclonassa neritea* en octobre (36,17%) et en novembre (34,78%) et enfin l'amphipode *Amphithoë ferox* lors du mois de décembre (34,28%). Les densités au niveau de la station 6, passent par les

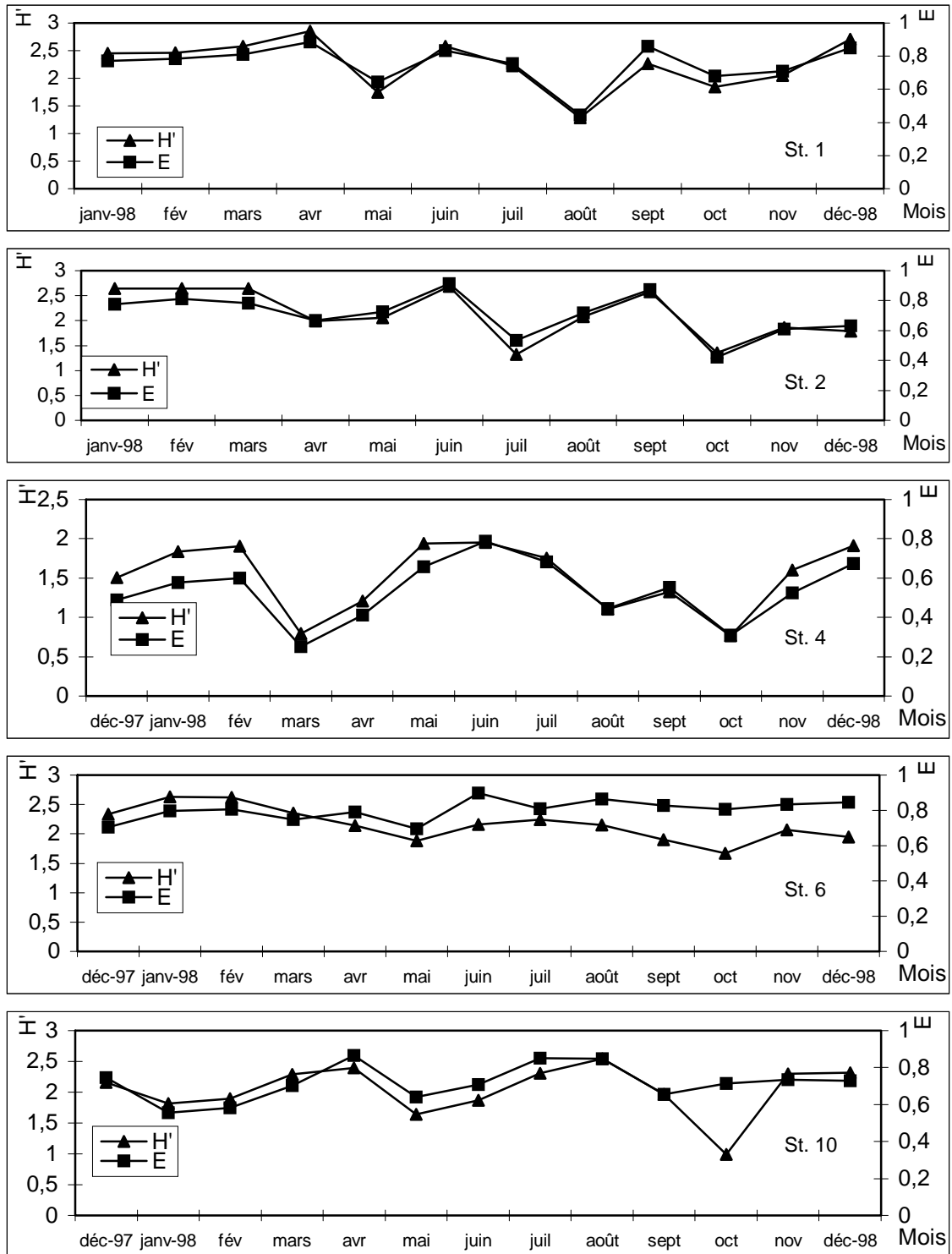


Figure 2 : Variations mensuelles des indices de Shannon (H') et d'équitabilité (E) dans les différentes stations de la lagune Mellah.
 Figure 2: Variations of Shannon (H') and evenness (E) index for each site at each sampling date in the lagoon Mellah.

extrêmes de 175 (en décembre) et 3115 ind./m² (en juin). Pour les indices de Shannon et d'équitabilité, les maxima sont remarqués durant le mois de janvier (2,62 bits) et août (0,86), alors que les minima sont remarqués le mois d'octobre (1,67 bits) et mai (0,69).

Station 10: La richesse spécifique varie entre 4 (en octobre) et 26 (en janvier, février et mars). Les principales espèces se répartissent comme suit : le polychète *Heteromastus filiformis* domine en décembre 97 (39,85%),

juillet (22,22%), et octobre (57,89%), l'isopode *Cyathura carinata* en janvier (44,43%), février (45,99%), et mai (45,47), puis le bivalve *Brachydontes marioni* en mars (34,40%), ensuite un autre bivalve *Loripes lacteus* en juin (49,33%) et novembre (20,85%), le gastéropode *Cerithium vulgatum* (en août (14,20%), le bivalve *Abra ovata* en septembre (32,16%) et enfin le polychète Aricidae *Aricia foetida* en décembre (26,47%). La variation des densités dans la station 10, oscillent entre 95 (en octobre) et 9575 ind./m² (en janvier). Les indices de Shannon et

d'équitabilité, montrent des maxima durant le mois d'août (2,54 bits) et avril (0,86), alors que les minima sont enregistrés en octobre (0,99 bits) et janvier (0,55).

Analyse factorielle des correspondances (AFC)

Les trois premiers axes retenus expliquent 41,42% de l'information initiale (15% pour l'axe F1, 14,13% pour l'axe F2 et 12,29% pour l'axe F3) (figure 4).

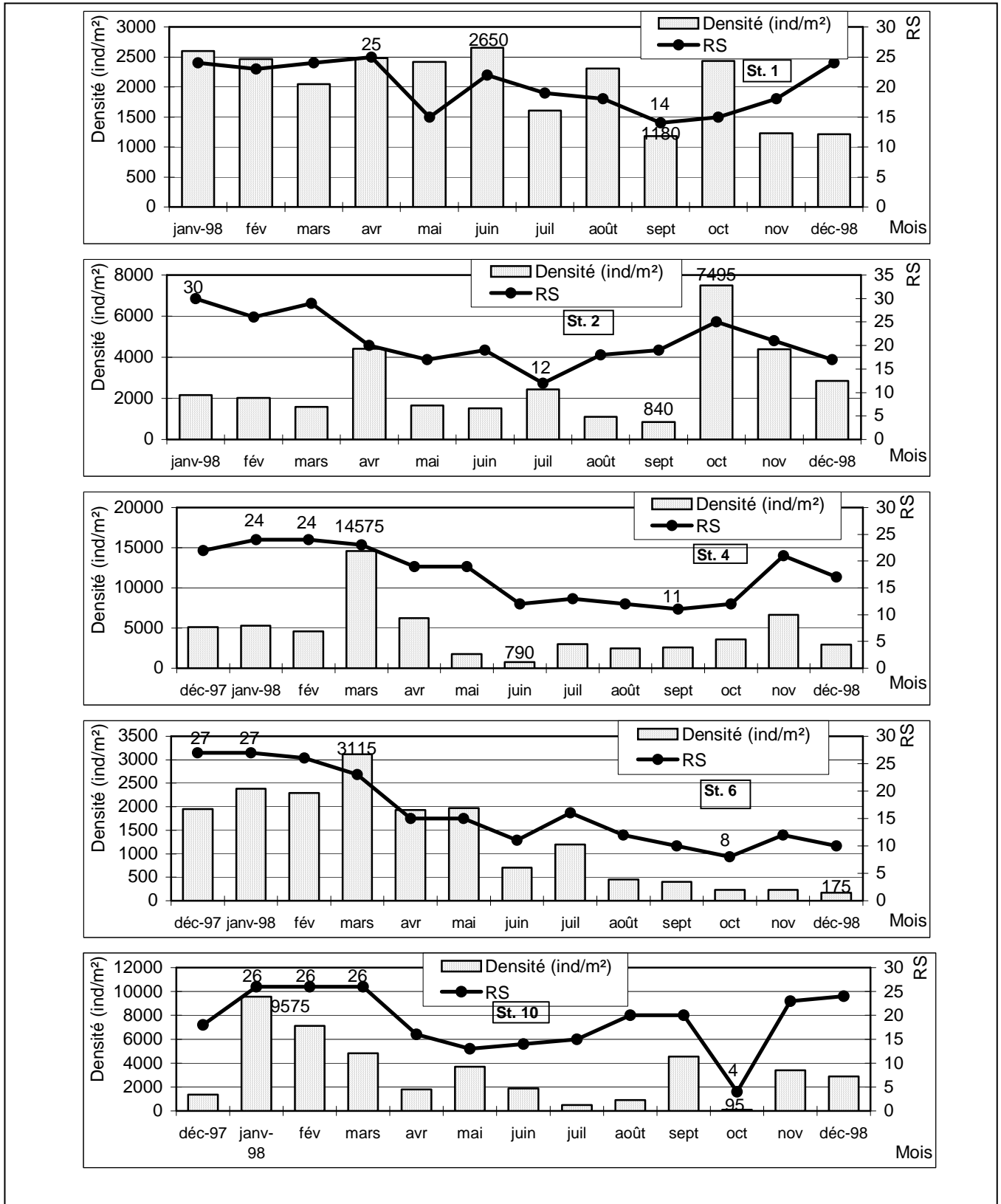


Figure 3 : Variations mensuelles de la densité (ind./m²) et de la richesse spécifique dans les différentes stations de la lagune Mellah.
 Figure 3: Variations of the density (ind./m²) and of the specific wealth for each site at each sampling date in the lagoon Mellah.

* Plan des axes F1 et F2 : L'axe F1 est déterminé (en contribution absolue) surtout par les stations suivantes : 1A10 (18,32%), 2A10 (13,66%) et 11A4

(9,68%). D'autre part, les espèces contribuant à la formation de cet axe sont : l'isopode *Cyathura*

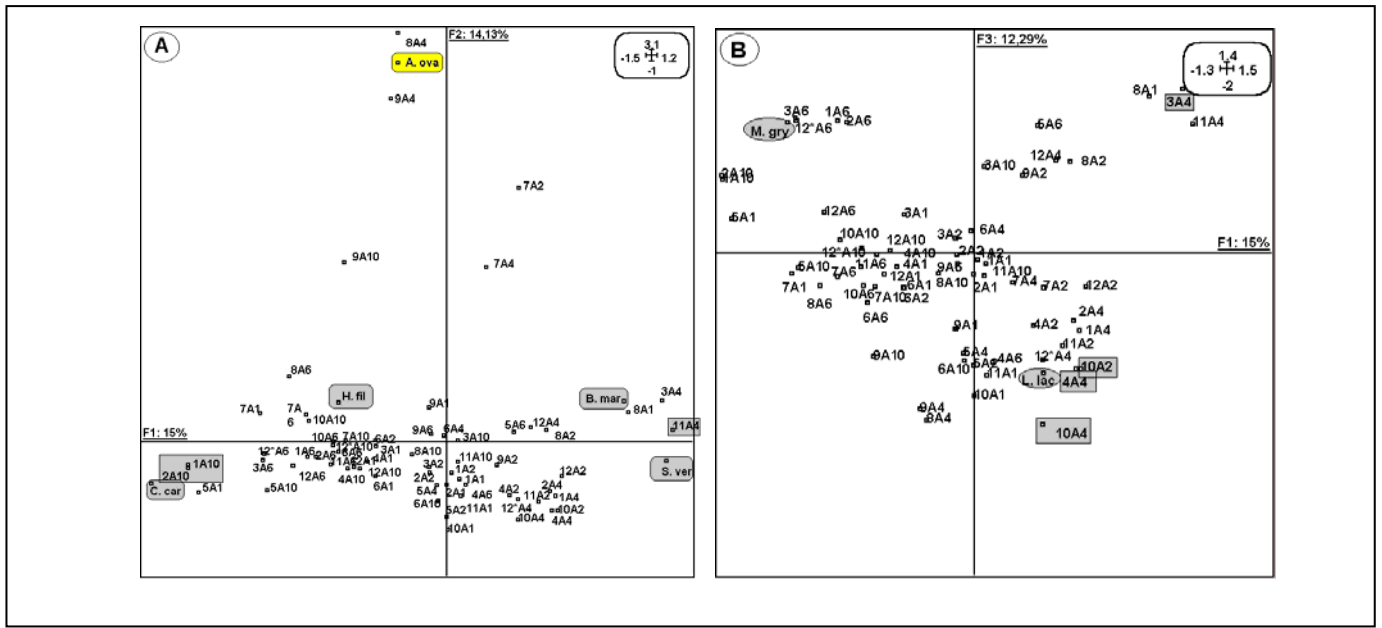


Figure 4 : Analyse factorielle des correspondances (A: l'axe 1-2, B: l'axe 1-3). Ici sont retenues uniquement les observations (*A. ovata*, *B. marioni*, *L. lacteus*, *S. vermicularis*, *H. filiformis*, *C. carinata*, *M. gryllotalpa*) et les variables (symbolisées par mois A st), dont la contribution est supérieure à 5%.
 Figure 4: Factorial analysis of correspondences (A: axis 1-2, B: axis 1-3). Here is kept observations solely (*A. ovata*, *B. marioni*, *L. lacteus*, *S. vermicularis*, *H. filiformis*, *C. carinata*, *M. gryllotalpa*) and variable (symbolized by month A st), whose contribution is superior to 5%.

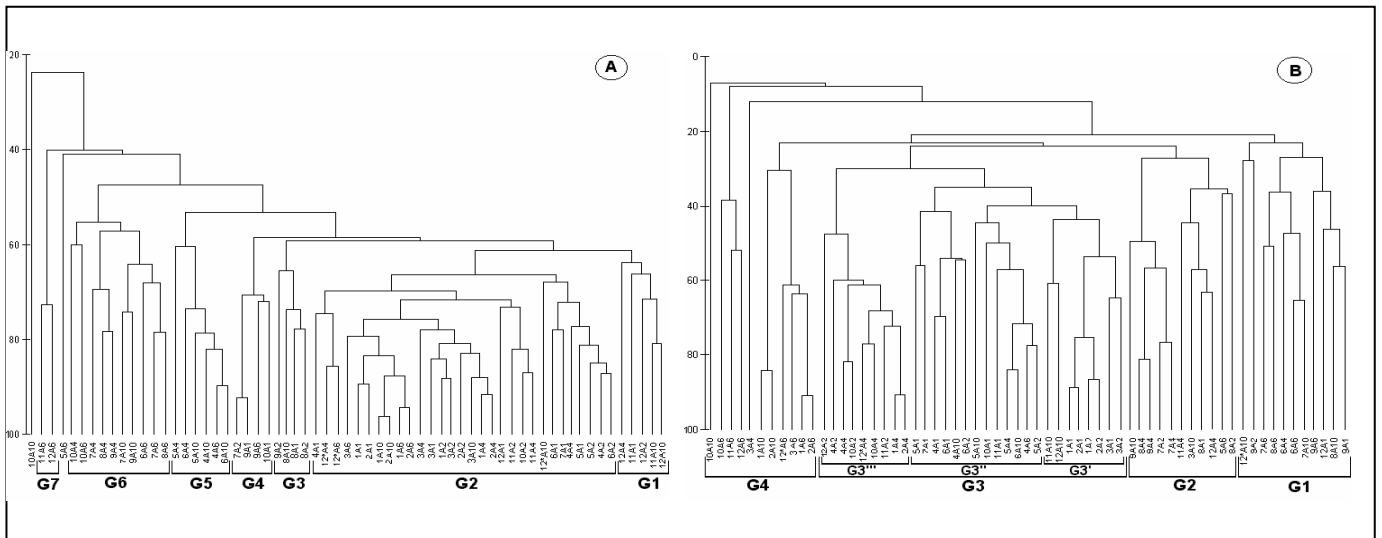


Figure 5 : Dendrogrammes des échantillons de la lagune Mellah regroupés selon l'indice de Sorensen (A) et l'indice de Bray-Curtis (B).
 Figure 5: Dendrograms of lagoon Mellah samples clustered with Sorensen's index (A) and Bray-Curtis's index (B).

carinata (33,71%), le bivalve *Brachydontes marioni* (32,08%). Deux autres espèces contribuent aussi à la formation de cet axe ; les polychètes *Heteromastus filiformis* (4,66%) et *Serpula vermicularis* (4,60%). L'axe F2 est formé principalement par cinq stations : 8A4 (29,59%), 9A4 (29,59%), 7A2 (11,11%), 9A10 (10,48%) et 7A4 (6,55%). Par ailleurs, l'espèce qui caractérise cet axe est incontestablement le bivalve fouisseur *Abra ovata*, qui présente une contribution absolue de 76,56%. Le reste des espèces est faiblement représenté.

* Plan des axes F1 et F3 : Dans le plan de projection F1-F3, l'axe F3 est formé essentiellement par les stations : 3A4 (22,65%), 10A4 (5,85%) et 10A2 (5,53%), et la station 4A4 (4,62%). Les espèces formant cet axe sont représentées surtout par le bivalve fouisseur *Loripes lacteus* (35,77%) très abondant et prédominant dans la lagune (Draredja & Kara, 2004 b) et de façon moindre par l'amphipode *Microdeutopus gryllotalpa* (5,53%).

Affinités selon l'indice de Sorensen

L'affinité entre les stations exprimée par l'indice de Sorensen, fait ressortir 7 groupes qu'on peut

identifier dans le dendrogramme présenté dans la figure 5 A.

Le premier groupe (G1): rassemble les stations 12A4, 11A1, 12A2, 11A10, et 12A10 appartenant dans leur majorité à la saison automnale. Toutefois, le mois de décembre représente une période de transition, marquant la fin de l'automne.

Le second groupe (G2): renferme le plus important nombre de stations (30 stations) 4A1, 12*A4, 12*A6, 3A6, 1A1, 2A1, 1A10, 2A10, 1A6, 2A6, 3A4, 3A1, 1A2, 3A2, 2A2, 3A10, 1A4, 2A4, 12A1, 11A2, 10A2, 11A4, 12*A10, 6A1, 7A1, 4A4, 5A1, 5A2, 4A2 et 6A2. Dans son ensemble ce groupe correspond à une période de transition automne-hiver, avec la présence de quelques stations qui témoignent de l'apparition d'un début de la saison printanière.

Le troisième groupe (G3): est formé de quatre stations seulement; 9A2, 8A10, 8A1 et 8A2, ces dernières sont situées dans leur majorité, au Nord de la lagune et exprimant une situation en pleine période estivale.

Le quatrième groupe (G4): réunit quatre stations également; 7A2, 9A1, 9A6 et 10A1, expliquant une situation automnale, donc une période plus ou moins sèche et par conséquent une phase dominante de flot, d'où l'influence marine, surtout lorsqu'il s'agit de stations proches de l'embouchure du chenal de communication avec la mer, à l'exception de la station 6, située à l'extrême Sud de l'étendue.

Le cinquième groupe (G5): est constitué par six stations 5A4, 6A4, 5A10, 4A10, 4A6 et 6A10. La plupart de celles-ci expriment une situation printanière loin des influences marines, car la majorité de ces stations sont nettement distantes ou à l'abri des apports marins, à l'exception de la station 4 située au centre de la lagune donc, à mi-distance entre les deux extrêmes de l'axe longitudinal Nord-Sud.

Le sixième groupe (G6): celui-ci est formé par dix stations 10A4, 10A6, 7A4, 8A4, 9A4, 7A10, 9A10, 6A6, 7A6 et 8A6. De même que les précédentes, l'ensemble de ces stations sont éloignées des apports marins, mais cette fois-ci en saison chaude (été début automne), donc d'une manière générale en période sèche.

Le septième groupe (G7): le plus petit groupe, il s'isole avec deux stations seulement 11A6 et 12A6. L'individualisation de ce groupe est à l'origine des influences des apports d'eau douce en fin automne début hiver, grâce aux apports de l'oued Bélaroug en face de la station 6 à l'extrême Sud de l'étendue, sous influence continentale.

Affinité selon l'indice de Bray-Curtis

L'affinité entre les stations exprimée par l'indice de Bray-Curtis, dégage 4 principaux groupes (figure 5 B).

Le premier groupe (G1): celui-ci comporte les stations 12*A10, 9A2, 7A6, 8A6, 6A4, 6A6, 7A10,

9A6, 12A1, 8A10, et 9A1. Ces stations décrivent globalement une situation été-automne, parmi elles deux (stations 6 et 10) sont nettement isolées des autres. La première (station 6) à l'extrême Sud et la seconde (station 10) dans une péninsule au Nord-Ouest de l'étendue (figure 1), devenant identiques aux autres stations pendant la saison estivale, en raison d'absence des apports continentaux après la mise à sec des oueds durant cette période.

Le second groupe (G2): refermant les stations 9A10, 8A4, 9A4, 7A2, 7A4, 11A4, 3A10, 8A1, 12A4, 5A6 et 8A2. Dans leur majorité ces stations sont les plus profondes du secteur étudié. De ce fait, un facteur bathymétrique qui se démarque, en plus ces mêmes stations caractérisent dans l'ensemble une période à tendance chaude.

Le troisième groupe (G3): il englobe le plus important nombre de stations (30): 12A2, 4A2, 4A4, 10A2, 12*A4, 10A4, 11A2, 1A4, 2A4, 5A1, 7A1, 4A1, 6A1, 4A10, 6A2, 5A10, 10A1, 11A1, 5A4, 6A10, 4A6, 5A2, 11A10, 12A10, 1A1, 2A1, 1A2, 2A2, 3A1 et 3A2. Cet ensemble de stations montre nettement les transitions des différentes saisons chaudes et froides. Toutefois, on constate que ce grand noyau de stations est formé de trois sous-groupes: le premier (G3') renferme 8 stations (11A10, 12A10, 1A1, 2A1, 1A2, 2A2, 3A1 et 3A2). Il explique une situation d'hiver. Alors que le second sous-groupe (G3'') rassemblant 12 stations (5A1, 7A1, 4A1, 6A1, 4A10, 6A2, 5A10, 10A1, 11A1, 5A4, 6A10, 4A6, 5A2), celui-ci représente une situation chaude sous influence marine, où les courants du flot jouent un rôle important. Le troisième et dernier sous-groupe (G3''') englobe 9 stations (12A2, 4A2, 4A4, 10A2, 12*A4, 10A4, 11A2, 1A4, 2A4), dans leur majorité ces stations sont profondes et expliquent une situation froide.

Le quatrième groupe (G4): réunissant les 9 stations suivantes: 10A10, 10A6, 11A6, 12A6, 3A4, 1A10, 2A10, 12*A6, 3A6, 1A6, et 2A6. L'ensemble de ces stations sont sous l'influence des apports des oueds; Bélaroug au Sud (station 6) et R'kibet au Nord-Ouest (station 10), pendant le début (fin automne) et la pleine période de crue (en hiver).

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Le suivi d'un cycle annuel de la diversité spécifique et de la structure de la communauté macrozoobenthique de la lagune Mellah, a révélé d'importantes variations. Ces dernières semblent être gouvernées par des paramètres abiotiques tels que la salinité et la température et d'autres facteurs externes comme les changements climatiques brusques (effets des tempêtes locales).

Sur le plan diversité spécifique, la lagune Mellah avec 43 espèces inventoriées, se classe parmi les lagunes méditerranéennes moyennement riche. C'est ainsi que Tagliapietra *et al.* (1998), recense 60

taxons dans la lagune de Venise, une richesse spécifique très proche de celle de la lagune de Lésina dans l'Adriatique Sud, où on en compte 53 taxons (Merzano *et al.*, 2003). Alors que Mistri *et al.* (2000), ayant travaillé dans la lagune de Valli di Comacchio dans l'Adriatique Nord, ne signalent que 37 espèces macrozoobenthiques. De même Mistri *et al.* (2001), dans la lagune de Sacca Goro au Nord-Est de l'Italie, indiquent la présence de 37 espèces dominées surtout par le petit gastéropode *Hydrobia* sp. Toutefois, la richesse spécifique enregistrée dans la lagune Mellah au cours de cette étude est plus élevée par rapport à celles rencontrées par d'autres auteurs, ayant travaillé sur ce même site : Bakalem & Romano (1979) (29 espèces), Semroud (1983) (37 espèces), Guelorget *et al.* (1989) (21 espèces), Grimes (1994) (37 taxons). Cependant, Draredja (1992), relève en 1988 un nombre d'espèces de 56, donc plus élevé par rapport au résultat de ce travail. Ces différences dans le temps peuvent être liées aux changements des conditions du milieu en relation avec l'état de colmatage du chenal modifiant ainsi les échanges mer-lagune ou aux événements climatiques de la région. L'indice de diversité exprimé par celui de Shannon-Wiener, montre des variations qui oscille entre 0,76 et 2,85 bits. La diversité maximale est observée durant le mois d'avril au niveau de la station 1, localisée à l'extrême Nord de la lagune. Cette station est sous l'influence marine d'où le rôle des apports marins dans la diversité des peuplements macrozoobenthiques. La diversité minimale est rencontrée à la station 4, située au centre de la lagune, c'est également la zone la plus profonde où le pourcentage de la fraction de vase dépasse 90% (Draredja & Beldi, 2001). Dans ce biotope ne persistent que les espèces qualifiées d'opportunistes comme le polychète *Capitella capitata*. Au niveau de cette station, on enregistre également la plus basse valeur d'équitabilité de 0,30 seulement (en octobre), témoignant ainsi un état de déséquilibre avancé des peuplements macrobenthiques. Dans cette zone, on ne retrouve que certaines espèces tolérantes comme le bivalve *Abra ovata* et le polychète *Heteromastus filiformis*. La plus forte valeur d'équitabilité de 0,91 (en juillet), revient à la station 2, qui est située dans la zone d'étranglement de la lagune, non loin des enrichissements marins, notamment lors des courants de flot qui dominant à l'approche de la saison estivale (Messerer, 1999). Il faut signaler que les valeurs des indices de diversité et d'équitabilité sont très similaires par rapport à ceux citées par Mistri *et al.* (2001) (0,52 à 2,56 pour le H' et 0,25 à 0,90 pour le E) dans la lagune de Sacca Goro en Italie Nord-Est, où la biomasse algale joue un rôle déterminant dans la structure de la macrofaune benthique ; tout d'abord en tant que support pour les espèces épiphytes, ensuite en tant que précurseur de crise de dystrophie après décomposition de ces macrophytes, notamment période chaude.

Dans l'analyse factorielle des correspondances (AFC), l'axe F1 montre une franche opposition entre les stations placées loin des influences marines (1A10 et 2A10), notamment lors de la période de crue (apports de l'oued R'kibet), et les stations proches de l'embouchure du chenal de communication avec la mer, donc des apports marins, en particulier en été où le flot est nettement dominant (Messerer, 1999). On signale également l'effet probable d'une masse d'eau profonde légèrement plus salée pour la station 4, située au centre de la lagune (profondeur \approx 5,2 m). Cette hypothèse est confirmée par l'opposition de l'isopode *Cyathura carinata* (espèce caractéristique des eaux plutôt dessalées), des autres espèces contribuant à la formation de cet axe, notamment le polychète Serpulidae *Serpula vermicularis* (espèce surtout marine). Ceci nous amène à qualifier l'axe F1 en tant que facteur de variation de salinité en fonction des saisons et des positionnements des stations dans la lagune (stations 3A4 et 11A4). Malgré l'homogénéité haline verticale observée dans l'ensemble du Mellah, la station 4 qui est au centre et la plus profonde, présente un caractère stratifié. Par ailleurs, la salinité évolue en fonction du temps. En effet, les fluctuations inter-saison sont remarquables et peuvent atteindre 10 unités (Draredja & Kara, 2004). Dans des travaux antérieurs, le facteur halin a été déjà évoqué en tant qu'élément prépondérant dans la distribution de la macrofaune benthique dans la lagune (Semroud, 1983 ; Zaouali *et al.*, 1985 ; Draredja, 1992). De même Teske et Wooldridge (2003), en étudiant une série d'estuaires, évoquent le rôle déterminant de l'effet de la variation de la salinité dans la répartition du macrobenthos ; et ceci en fonction de l'éloignement des influences marines (amont et aval des estuaires) et les saisons pluvieuses et sèches.

Dans cette AFC, le second facteur responsable de la distribution et de la structuration des peuplements semble être lié à la richesse des sédiments en matières organiques. En effet, l'axe F2, oppose la station 4 (au centre du Mellah correspondant à un fond de vase pure) en pleine période estivale ; telles 8A4 (29,59%) et 9A4 (21,75%), donc très riche en matière organique sédimentaire et par conséquent perturbée, notamment en période chaude, par rapport aux autres stations. Cette situation particulière de déséquilibre a favorisé la prolifération du bivalve dépositif *Abra ovata* (76,56%), opportuniste des fonds riches en détritiques (Guelorget & Michel, 1976 ; Charles, 1993 ; Charles *et al.*, 1996). A partir de ces observations, l'axe F2 peut caractériser le degré de perturbation lié à la richesse des sédiments en matière organique, notamment en saison chaude au niveau de la station 4, où le taux de vase dépasse 90% et par conséquent une teneur élevée en matière organique dans les sédiments (Draredja et Beldi, 2001), favorisant ainsi un développement optimum du bivalve dépositif *A. ovata*, colonisant les fonds vaseux (Glémarec, 1969).

Cette hypothèse a été déjà signalée dans cette lagune par Draredja (1992).

En suivant l'évolution temporelle des différentes stations le long de l'axe 3, on constate qu'il existe d'importantes variations de type aléatoire des variables de part et d'autre de cet axe. Seuls des phénomènes aléatoires tels que les vents, les averses et les petites tempêtes locales, peuvent générer des variations thermiques brusques des eaux, sachant que l'inertie thermique de celles-ci est très faible en raison de la faible bathymétrie de la lagune (profondeur moyenne 3,5 m) et affectant ainsi la répartition des organismes macrobenthiques, et par conséquent l'apparition et la disparition de certaines populations à l'échelle mensuelle. Les stations et les espèces les plus affectées par ces perturbations sont représentées respectivement par les stations 3A4, 10A4 et 10A2, le bivalve *L. lacteus* et l'amphipode *M. gryllotalpa*. De ce fait, le troisième axe peut traduire l'influence des variations brutales des conditions environnementales qui structurent la faune en place. Ces variations aléatoires (climatiques), résultent des phénomènes locaux qui surgissent pendant un temps généralement court, mais efficace pour provoquer des changements dans la distribution de la macrofaune. Parmi ces facteurs de stress on peut citer les variations thermiques, les variations halines et les variations d'intensité hydrodynamique, issues de changements brutaux d'intensité des vents, ou du déclenchement des petites tempêtes locales qui sont fréquentes dans cette région du pays. Ces phénomènes climatiques affectent directement l'organisation du macrobenthos dans la lagune. A travers ces constatations, il semble donc que l'axe F3 peut-être un facteur de stress aléatoire lié à des phénomènes surtout climatiques qui apparaissent localement, et par conséquent influent directement sur la répartition des stations et des espèces le long de cet axe.

Le regroupement des échantillons en utilisant l'indice de Sorensen, montre l'existence de 7 groupes aisément identifiables. Généralement ces assemblages sont sous la dépendance directe des effets des saisons ou de leur transition. En effet, les regroupements ainsi identifiés résultent de l'action des conditions écologiques du milieu, eux-mêmes sont directement régis par les conditions climatiques au courant de l'année. Parmi ces conditions on peut citer les précipitations, les apports des oueds, les apports marins lors des flots et également l'emplacement des stations dans la lagune. Les affinités entre les stations sont facilement reconnaissables et bien structurées. En effet, la majorité des contributions de ces stations sont souvent supérieures à 50%. A partir de la répartition des stations selon l'indice de Sorensen, on constate que les regroupements et l'évolution des stations au sein des 7 groupements obtenus ne se font pas d'une manière aléatoire, mais selon l'influence des saisons

tout d'abord et également le positionnement de ces stations ; cas des groupes G4, G5 et G6, où la localisation des stations caractérise ces regroupements.

L'affinité entre les stations en fonction de l'indice de Bray-Curtis fait ressortir 4 principaux noyaux, avec un noyau renfermant 3 sous-groupes. Ces différents assemblages sont également régis par les conditions écologiques du milieu en fonction des différentes saisons du cycle. Dans cette représentation, il est intéressant de signaler que certaines stations se trouvent plus ou moins isolées par rapport à leur groupe respectif, ceci est lié à leur faible contribution qui ne dépasse pas 50% ; cas des stations : 9A10 (groupe G2), 7A1 et 12A10 (groupe G3), et 3A4 et 10A10 (groupe G4).

Très peu de travaux décrivent l'évolution temporelle des peuplements macrobenthiques dans la lagune Mellah. Dans cette étude on constate que le facteur granulométrie n'apparaît pas avec évidence en tant que facteur déterminant dans la répartition du macrobenthos du Mellah, alors que dans des études antérieures (Semroud, 1983 ; Zaouali *et al.*, 1985 ; Draredja, 1992), ce paramètre influençait grandement l'organisation de la faune benthique. Les résultats obtenus dans cette étude montrent que les principaux facteurs exerçant une influence prépondérante sur la répartition et l'évolution des peuplements macrozoobenthiques de la lagune, comme dans la majorité des lagunes méditerranéennes, sont essentiellement les variations halines, la richesse des sédiments en matière organiques favorisant ainsi le développement des espèces dites opportunistes. Le troisième facteur qui est moins évident dans d'autres lagunes périméditerranéennes paraît lié à des changements climatiques brusques et locaux capables d'influencer l'organisation et la répartition des benthontes dans la lagune Mellah.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMANIEU M., BALEU B., GUELORGET O. & MICHEL P., 1975. Étude biologique et hydrologique d'une crise dystrophique (malaïgue) dans l'étang de Prévost à Pallavas (Hérault). *Vie Milieu, (Sér. B)*, **25** (2): 175-204.
- BAKALEM A. & ROMANO J.C., 1979. *Les peuplements benthiques du lac Mellah*. Rapport de la mission du CROP sur le lac Mellah, juin 1979 : 13-22.
- BAKALEM A., ROMANO J.C. & SEMROUD R., 1979. Contribution à l'étude des milieux saumâtres en Algérie, les peuplements benthiques du lac Mellah. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, **27**(4): 135-136.
- BENDORICCHIO G., DI LUZIO M., BASCHIERI P. & CAPODAGLIO A.G., 1993. Diffuse pollution in the lagoon of Venice. *Water Science Technology*, **28**: 69-78.
- BENDORICCHIO G., BOCCI M., CARRER G.M., COFFARO G., TODESCO G. & SFRISO A., 1996. *Modeling the trophic evolution of the lagoon of Venice*. In: Venice Lagoon Ecosystem Project – Summary of results. LASSERRE P. & MARZALLO A., (eds), UNESCO/MURST Venice 1996.
- BIANCHI C.N., ACRI F., ALBERIGHI L., BASTIANINI M., BOLDRIN A., CAVALLONI B., CLOCE F., COMASCHI A., RABITTI S., SOCAL G. & TURCHETTO M.M., 1996. *The Lagoon of Venice: a biological variability study. A general Review*. In: Venice Lagoon Ecosystem Project – Summary of results. LASSERRE P. & MARZALLO A., (eds), UNESCO/MURST Venice 1996.

- BIANCHI C.N., BOERO F., FONDA UMANI S., MORRI C. & VACCHI M., 1998. Successione e cambiamento negli ecosistemi marini. *Biol. Mar. Medit.* **5**(1): 117-135.
- BOUDJELLEL B., HOCINI B. & SELLALI B., 1993. *Contamination des sédiments superficiels du lac Mellah par les hydrocarbures polyaromatiques*. Colloque méditerranéen sur la pollution par les hydrocarbures, Alger, 5-6 juin 1993.
- CHARLES F., 1993. Utilization of fresh detritus derived from *Cystoseira mediterranea* and *Posidonia oceanica* by the deposit-feeding bivalve *Abra ovata*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **174**: 43-64.
- CHARLES F., GRÉMARE A. & AMOUREUX M., 1996. Ingestion rates and absorption efficiencies of *Abra ovata* (Mollusca: Bivalvia) fed on macrophytobenthic detritus. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **42**: 43-64.
- DRAREDJA B., 1992. *Conditions hydrosédimentaires et structure de la macrofaune benthique en période printanière d'un écosystème lagunaire méditerranéen: lac Mellah (Algérie)*. Thèse Magister, ISMAL (Alger), 147 pp.
- DRAREDJA B. & BELDI H., 2001. *Caractères hydrologiques et sédimentologiques d'un milieu lagunaire méditerranéen (lac Mellah, Algérie). Effets d'ensablement du chenal de communication avec la mer*". International Workshops on the marine biodiversity in Islamic countries. Algiers, October 22nd, 23rd & 24th 2001.
- DRAREDJA B. & KARA M.H., 2004 a. Caractéristiques physico-chimiques de la lagune Mellah (Algérie Nord-Est). *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, **37**: 93.
- DRAREDJA B. & KARA M.H., 2004 b. Diversité de la macrofaune benthique de la lagune Mellah (Algérie Nord-Est)". *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, **37**: 515.
- GAUDY R., VERRIOPOULOS G. & CERVETTO G., 1995. Space and time distribution of zooplankton in a Mediterranean lagoon (étang de Berre). *Hydrobiologica* **300/301**: 219-236.
- GIANGRANDE A. & FRASCHETTI S., 1996. Effects of a short-term environmental change on a brackish-water Polychaete community. *P.S.Z.N.I. Mar. Ecol.* **17**(1-3): 321-332.
- GLEMAREC M., 1969. *Les peuplements benthiques du plateau continental Nord Gascogne*. Thèse Doct. État, Fac. Sci., Paris, 167 pp.
- GRIMES S., 1994. *Contribution à la connaissance des populations de Cardium glaucum (Bruguère, 1789), Loripes lacteus (Linnaeus, 1758) et Brachydontes marioni (Locard, 1889) du lac Mellah (El-Kala, Algérie): Écologie et dynamique*. Thèse Magister, ISMAL (Alger), 211 pp.
- GUELORGET O. & MICHEL P., 1976. *Recherche écologique sur une lagune saumâtre méditerranéenne: l'étang de Prévost (Hérault)*. Thèse 3^{ème} Cycle. USTL, Montpellier, Tome I, 95 pp., Tome II, 122 pp.
- GUELORGET O. & MICHEL P., 1977. Étude sédimentologique d'une lagune saumâtre méditerranéenne l'étang de Prévost (Hérault). *Vie Milieu*, **XXVII**(1), série B : 111-130.
- GUELORGET O. & MICHEL P., 1979 a. Les peuplements benthiques d'un étang littoral languedocien, l'étang de Prévost (Hérault). 1- Étude quantitative de la macrofaune des vases. *Téthys*, **9**(1) : 49-64.
- GUELORGET O. & MICHEL P., 1979 b. Les peuplements benthiques d'un étang littoral languedocien, l'étang de Prévost (Hérault). 2- Étude quantitative de la macrofaune des sables. *Téthys*, **9**(1) : 65-71.
- GUELORGET O., PERTHUISOT J.P., FRISONI G.F. & MONTI D., 1987. Le rôle du confinement dans l'organisation biologique de la lagune Nador (Maroc). *Oceanologica Acta*, **10**(4): 435-444.
- KIM K.T. & TRAVERS M., 1997 a. Les nutriments de l'étang de Berre et des milieux aquatiques contigus (eaux douces, saumâtres et marines ; Méditerranée N.W) 2- Les nitrates. *Marine Nature*, **5**: 35-48.
- KIM K.T. & TRAVERS M., 1997 a. Les nutriments de l'étang de Berre et des milieux aquatiques contigus (eaux douces, saumâtres et marines ; Méditerranée N.W) 4- Les nitrites. *Marine Nature*, **5**: 65-78.
- KTARI-CHAKROUN F., 1972. Étude physico-chimique et microbiologique du lac de Tunis (Partie Nord). *Bull. Inst. Océanogr. Pêche., Salammbô*, **2**(3): 107-140.
- NIXON S.W., 1982. Nutrient dynamics, primary production and fisheries yields of lagoons. *Oceanologica Acta*, **N° sp**: 357-370.
- MESSERER Y., 1999. *Étude morphométrique et hydrologique du complexe lacustre d'El-Kala (Cas du lac Mellah et du lac Oubéira)*. Thèse Magister, Univ. d'Annaba, 123 pp.
- OUNISSI M., 1991. *Étude écologique des étangs saumâtres du bassin d'Arcachon remis en eau après un assec prolongé: processus de recolonisation biologique et confinement*. Thèse Doct., Univ. Bordeaux I, 153 pp.
- PERTHUISOT J.P. & GUELORGET O., 1983. Le confinement, paramètre essentiel de la dynamique biologique du domaine paraliq. *Sci. Géol., Bull.*, **36**(4): 239-248.
- REFES W., 1994. *Contribution à la connaissance de la population de Ruditapes decussata (Linnaeus, 1758) du lac Mellah (El-Kala, Algérie): écologie, reproduction, dynamique des populations et exploitation*. Thèse Magister en océanographie biologique, ISMAL (Alger): 197p.
- SEMROUD R., 1983. *Contribution à l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens : le lac Mellah (El-Kala, Algérie)*. Thèse 3^{ème} Cycle, USTHB (Alger) : 137p.
- STORA G., 1976 a. Évolution des peuplements benthiques d'un étang marin soumis à un effluent d'eaux douces. *Bull. Ecol.*, **7**: 275-281.
- STORA G., 1976 b. Étude des peuplements benthiques de substrats meubles de l'étang de Berre. *Act. Ecol. Ir.* **1**: 51-67.
- STORA G. & ARNOUX A., 1983. Effects of large freshwater diversion on benthos of a Mediterranean lagoon. *Estuaries*, **6**(2): 115-125.
- TAGLIAPIETRA D., PAVAN M., TARGA C. & WAGNER C., 1997. La fauna macrobenthica della Palude della Rosa, laguna di Venezia – Dati tabulati. *Lavori della società Veneziana di Scienze Naturali*, **22**: 13-19.
- TAGLIAPIETRA D., PAVAN M., TARGA C. & WAGNER C., 1998. Macrobenthic community changes related to eutrophication in Palude della Rosa (Venetian lagoon, Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **47**: 217-226.
- TOLOMIO C., MOSCHIN E., MORO I. & ANDREOLI C., 1999. Phytoplankton de la lagune de Venise I. Bassin Nord et Sud (avril 1988 – 1989). *Vie Milieu*, **49** (1) : 33-44.
- TRAVERS M. & KIM K.T., 1997. Les nutriments de l'étang de Berre et des milieux aquatiques contigus (eaux douces, saumâtres et marines ; Méditerranée N.W) 1- Les phosphates. *Marine Nature*, **5**: 21-34.
- TESKE P.R. & WOOLDRIDGE T.H., 2003. What the limits distribution of subtidal macrobenthos in permanently open and temporarily open/closed South African estuaries? Salinity vs. sediment particle size. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **57**: 225-238.
- ZAOUALI J., 1979. Étude écologique du lac de Bizerte. *Bull. Off. Nat. Pêche., Tunisie*, **3** (2): 107-140.
- ZAOUALI J., 1980. Flore et faune benthiques de deux lagunes tunisiennes : le lac de Bizerte, Tunisie septentrionale et la Mer de Bou Grara, Tunisie méridionale. *Bull. Off. Nat. Pêche., Tunisie*, **4** (1): 169-200.
- ZAOUALI J., BAETEN S. & SEMROUD R., 1985. Contribution à l'étude écologique du lac Mellah (Algérie septentrionale) les peuplements macrobenthiques : Analyse factorielle des correspondances. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, **29**, **4**: 205-208.

Conclusion générale

A l'issue de cette étude on peut retenir les points fondamentaux suivants :

- Les critères de classification des milieux à salinité variable, doivent avoir une approche multidisciplinaire, tenant compte de facteurs physiques, chimiques, biologiques, qualité de l'environnement, réglementation et conservation.

- La singularité de la lagune Mellah se manifeste surtout par son comportement en tant que bassin de dilution, à l'inverse des lagunes méditerranéennes qui sont pour la plupart des bassins de concentration. D'une année à l'autre le degré halin diminue par suite d'apports d'eau douce, et aussi du fait du colmatage progressif du chenal, réduisant ainsi les introductions marines. On estime que chaque année la salinité diminue d'une unité environ, entraînant un adoucissement graduel du Mellah. La marée semi-diurne ne permet qu'un faible échange équivalent à un renouvellement chaque 9 mois environ. En effet, ce faible renouvellement auquel s'ajoutent les apports d'eaux continentales favorisent la diminution de la salinité des eaux de la lagune.

Le Mellah est fortement sous la double influence ; climatique dominante en période humide, et tidale dominante en période sèche. Le bilan hydrologique est ainsi conditionné par les apports continentaux et les intrusions marines, rendant la lagune fonctionnant comme un véritable estuaire.

- Concernant la fertilité chimique, contrairement à la majorité des lagunes méditerranéennes, le Mellah paraît le moins enrichi en sels nutritifs. Par conséquent, le problème d'eutrophisation ne se pose pas pour la lagune. Les conditions chimiques du Mellah, se traduisent par un stock de matière primaire modéré par rapport à d'autres milieux lagunaires comparables. La fonction d'enrichissement du littoral voisin par les extrusions lagunaires s'efface en été, et les relations d'échange entre ces deux systèmes de maturité différente s'inversent à l'avantage de la lagune.

- Les conditions chimiques et physiques (sous influence tidale) impriment une biologie particulière se traduisant par une forte richesse et diversité spécifique du phytoplancton, rarement observée en Méditerranée. Le phytoplancton du Mellah avec 359 espèces peut s'assimiler ainsi à une grande «forêt d'Amazonie océanique» microscopique. Le peuplement est dominé par les espèces exigeant le silicium (Diatomées), contrairement aux eaux littorales méditerranéennes surtout peuplées par les Dinophycées non exigeant vis-à-vis le silicium.

Par ailleurs, la présence de certaines espèces toxiques, nécessite une surveillance régulière de la pullulation de ces dernières, d'autant plus que la conchyliculture est pratiquée dans la lagune.

- La composition et l'abondance du zooplancton est le reflet fidèle des conditions climatiques. En période humide, les apports continentaux favorisent l'établissement d'espèces à affinité lagunaire, alors qu'en période sèche les influences tidales dominantes avantagent plutôt les espèces immigrantes d'affinité marine. C'est alors que les advections tidales d'été approvisionnent la lagune en zooplancton, mais que cet enrichissement se limite à la phase de flot. Cependant, les immigrants planctoniques ne se maintiennent pas dans la lagune au-delà d'un cycle complet de marée, suite à des mortalités liées aux fortes températures et aux écarts halins lagune-mer.
- On admet que l'organisation de la macrofaune benthique du Mellah est sous l'effet direct des facteurs thermo-halins liés aux conditions climatiques et aux advections tidales. C'est ainsi qu'on observe une importante richesse spécifique près des arrivées marines au Nord. Alors que le peuplement opportuniste peu diversifié avec une présence surtout de dépositivores, est cantonné au centre vaseux riche en matières organique.
- Le conflit d'usage de ce site, appartenant à la réserve du Parc National d'El-Kala (PNEK), amène à des exploitations anarchiques non coordonnées. Cette gestion a conduit à une prolongation de l'état de colmatage du chenal de communication, ayant pourtant des conséquences écologiques décisives.
- Cette étude s'est limitée à la structure des peuplements planctoniques et benthiques de la lagune et aux grandes tendances des échanges lagune-littoral adjacent. Des études ultérieures complémentaires relatives aux analyses spectrales de séries chronologiques et de modélisation de signaux de systèmes complexes, permettront de mieux comprendre les interactions entre ces deux milieux de maturités différentes.

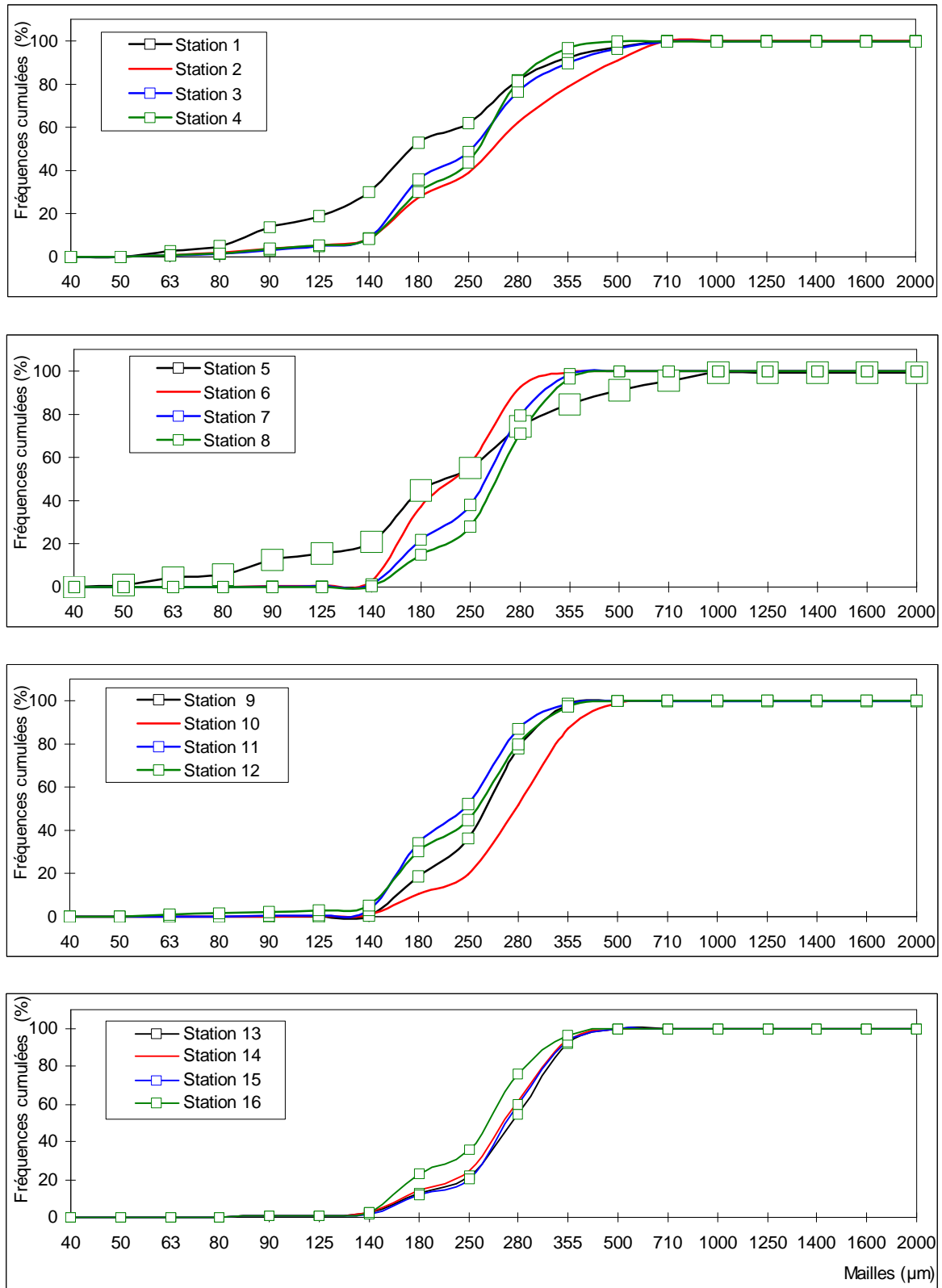


Figure III.2 : Courbes des fréquences cumulées des stations (de 1 à 16) prospectées dans la lagune Mellah.

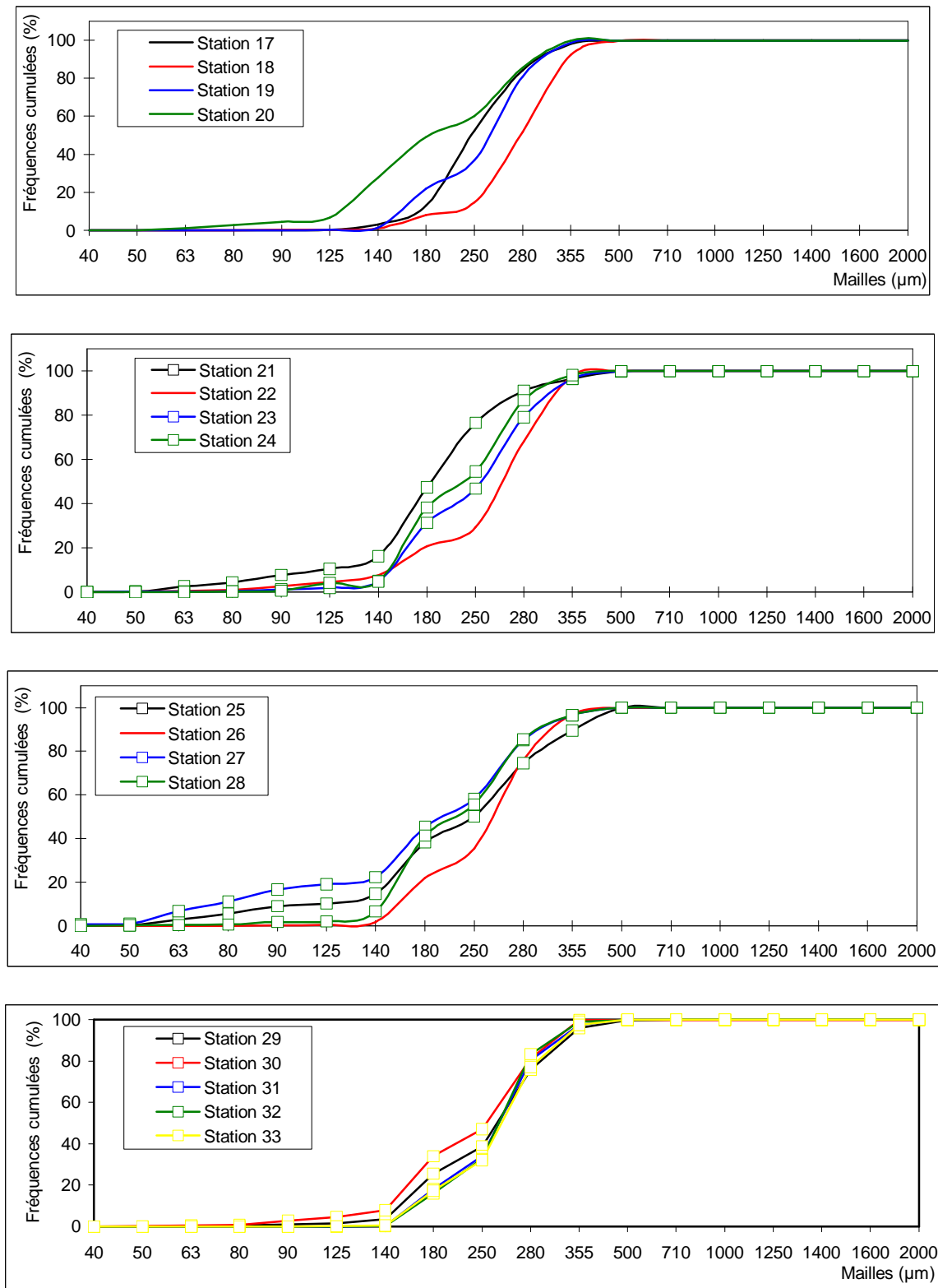


Figure III.2: Courbes des fréquences cumulées des stations (de 17 à 33) prospectées dans la lagune Mellah.

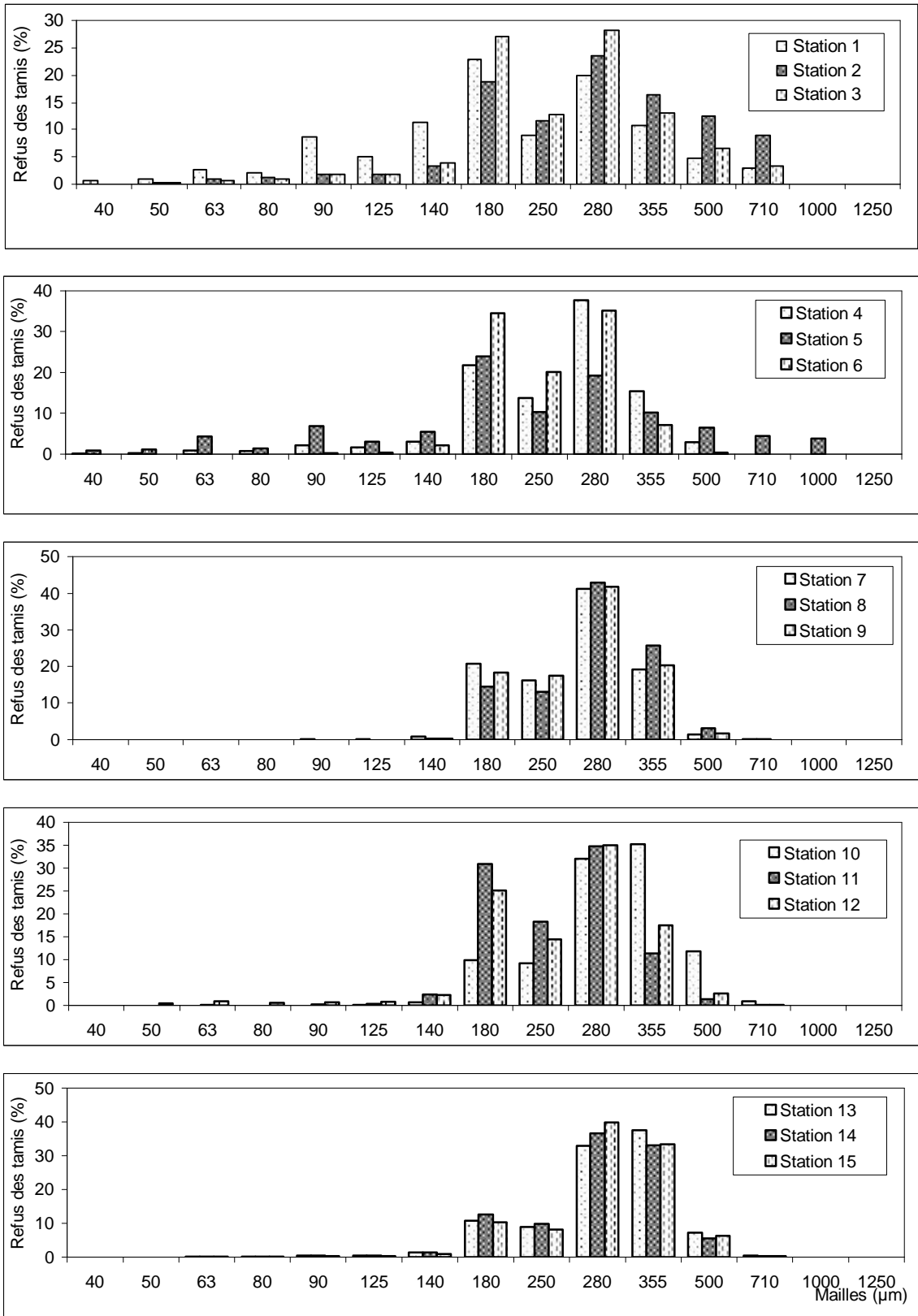


Figure III.3 : Histogrammes de fréquence des stations (de 1 à 15) prospectées dans la lagune Mellah.

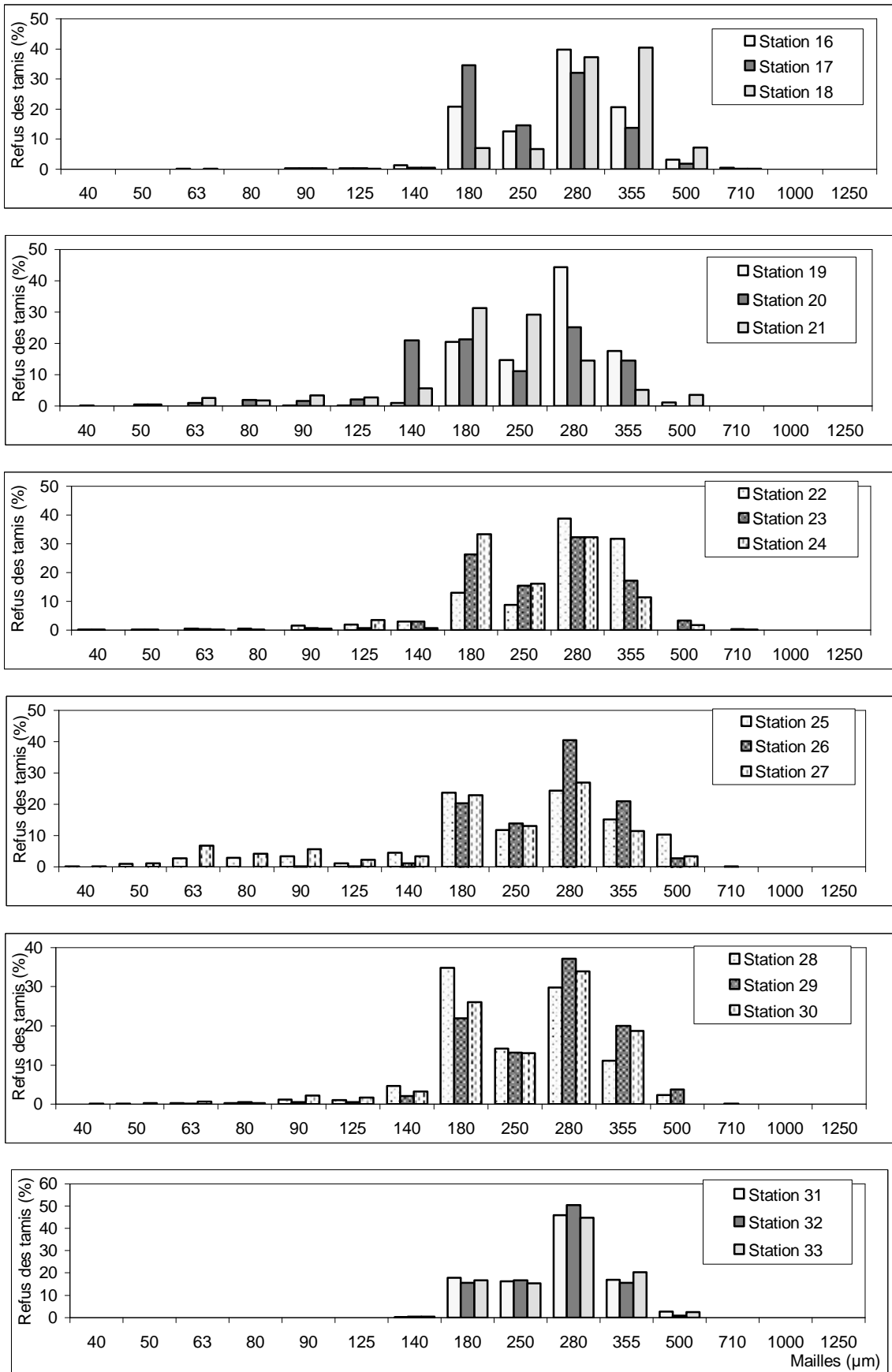


Figure III.4 : Histogrammes de fréquence des stations (de 16 à 33) prospectées dans la lagune Mellah.

Planche I : Lagune Mellah

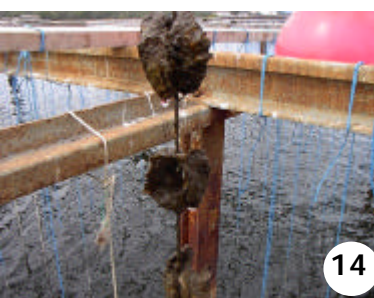
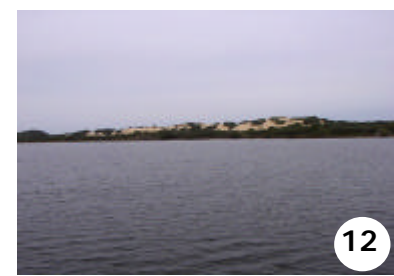


Planche II : Appareils de mesures et engins de prélèvements



Planche III : Principales espèces microphytoplanctoniques du Mellah

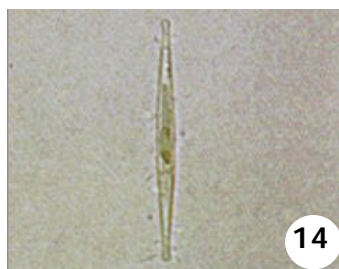
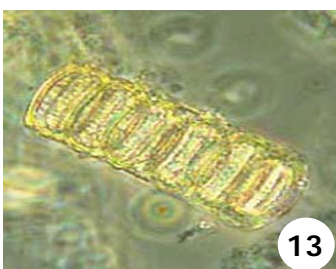
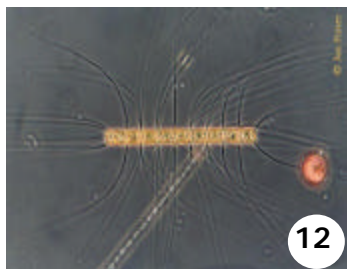
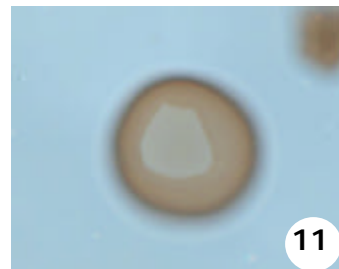
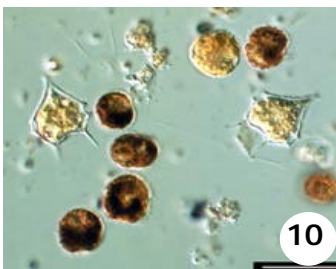
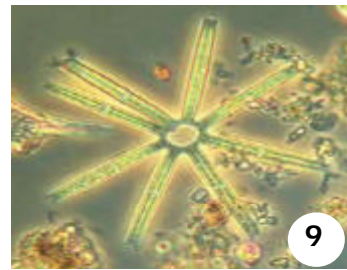
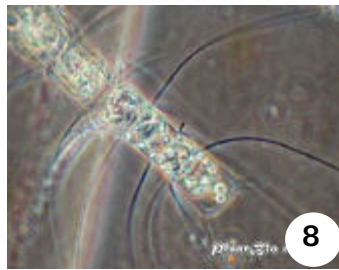
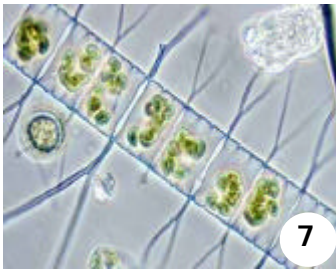
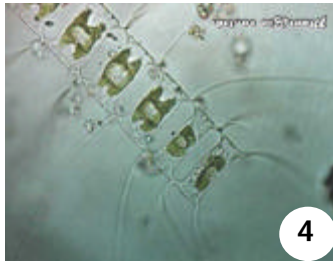
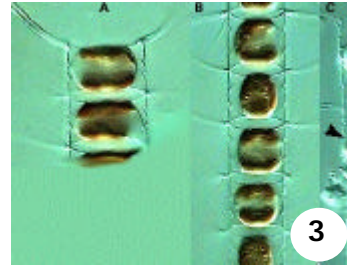


Planche IV : Quelques espèces zooplanctoniques du Mellah

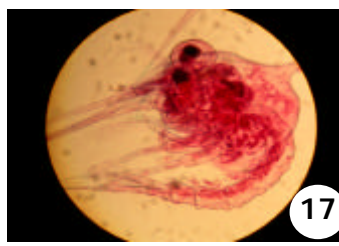
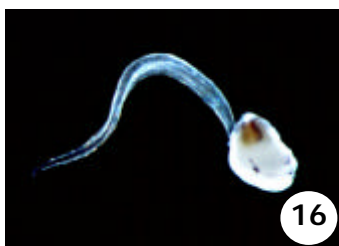
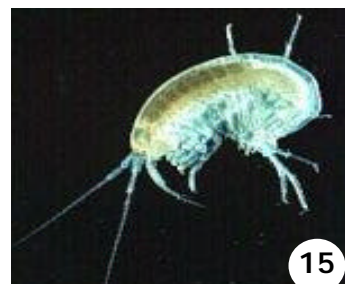
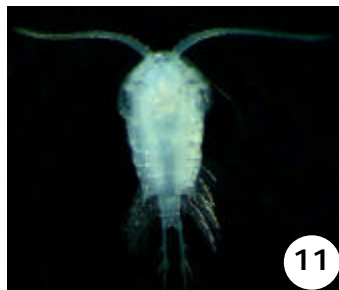
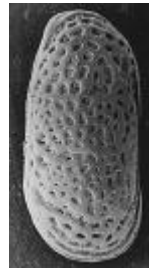
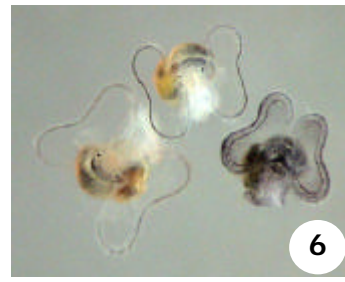
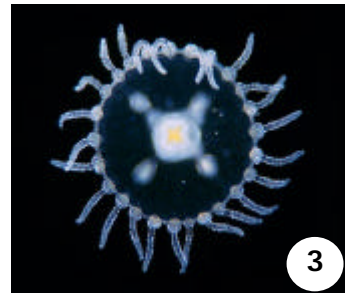
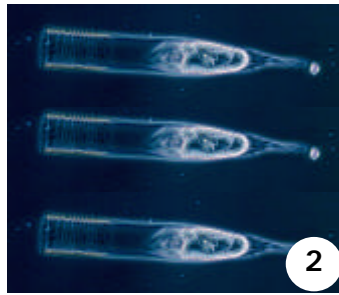
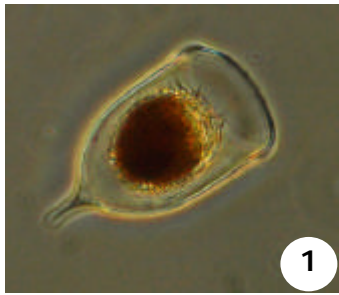


Planche V : Quelques espèces macrozoobenthiques du Mellah



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Acri F., Bernardi Aubry F., Berton A, Bianchi F, Boldrin A, Camatti E., Camaschi A., Rabittis S. & Socal G., 2004. Plankton communities and nutrients in the Venise Lagoon. Comparison between current and old data. *Journal of Marine Systems*, **51**: 321-329.
- Aitcin P.C., Jolicoeur G. & Mercier M., 1983. Technologie des granulats. 106p.
- Aleya L. & Devaux J., 1988. Relation entre la transparence de l'eau et les teneurs en chlorophylle *a* de trois fractions de taille phytoplanctoniques d'un lac eutrophe (lac d'Aydat). *Annales de sciences naturelles. Zoologique*, Paris, 13ème série, 9: 257-262.
- Amanieu M., 1972. Ecologie et exploitation des étangs et lagunes saumâtres du littoral français. *Ann. Soc. Roy. Zool. Belgique*, **103** (1) : 79-94.
- Amanieu M., Baleux B., Guelorget O., & Michel P., 1975. Etude hydrologique, chimique et microbiologique de l'étang du Prévost à Palavas (Hérault) de mars à novembre 1975. Rapport présenté à E.D.F : 37p.
- Amanieu M., Ferri J. & Guelorget O., 1979-1980. Structure des communautés et stratégie d'échantillonnage adaptative en milieu lagunaire. *Oceanis*, vol. **5**, Fasc. 5 : 833-861.
- Amanieu M. & Lasserre G., 1981. Niveau de production des lagunes littorales méditerranéennes et contribution des lagunes à l'enrichissement des pêches démersales. *Etud. Rev. C.G.P.M* : 81-94.
- Aminot A. Chaussepied M. 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Ed. CNEXO, Brest : 395 p.
- André F., 1970. Contribution à l'étude des algues marines du Portugal. *Portugalia Acta Biologica* (B). Vol **X**, N° 1/4 : 37-49.
- Arfi R., Champalbert G., Patrity G., Puddu G. & Reys J.P., 1982. Etude préliminaire comparée du plancton du vieux port, de l'avant-port et du Golfe de Marseille (liaison avec des paramètres physiques, chimiques et de pollution). *Téthys*, **10** (3) : 211-217.
- Arfi R., Pagano M. & Saint-Jean L., 1987. Communautés zooplanctoniques dans une lagune tropicale (lagune Ebrie, Côte d'Ivoire) : variations spatio-temporelles. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, **20** (1) : 21-35.
- Arfi R., 1991. Qualité des eaux, hydrologique, matériel particulaire et plancton : Etang de Berre. Suivi exceptionnel du milieu. Rapport de convention : 156p.
- Arin L., Estrada M., Salat J. & Cruzado A., 2005. Spatio-temporal variability of size fractionated phytoplankton of the shelf adjacent to the Ebro river (N.W Mediterranean). *Continental Shelf Research*, 25: 1081-1095.
- Arrignon J., 1963. Contribution à l'inventaire des marécages tourbières et autres zones humides d'Algérie. *Ann. Cent. Rech. Exp. Forêt. Alger*, 5 : 30-32.

- Bachelet G., 1987. Processus de recrutement et rôle des stades juvéniles d'invertébrés dans le fonctionnement des écosystèmes benthiques de substrats meubles en milieu estuarien. Thèse Doct. d'Etat, Univ. Bordeaux I : 478p.
- Bakalem A. & Romano J.C., 1979. Les peuplements benthiques du lac Mellah. Rapport de la mission CROP sur le lac Mellah, juin 1979 : 13-22.
- Ballow J. P., Lorenzen C. J. & Myren R. T., 1963. Eutrophication of tidal estuary. *Limnol. Oceanography*, **8** (2): 251-262.
- Barnes R.S.K., 1994. A critical appraisal of Guelorget and Perthuisot's concepts of the paralic ecosystem and confinement to macrotidal Europe. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **38**: 41-48.
- Baudin J.P., 1980. Contribution à l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens 1- Les principaux caractères physiques et chimiques des eaux de l'étang de Citis. *Vie Milieu*, **30** (2) : 121-129.
- Beker B., 1986. Communautés phytoplanctoniques en milieu côtier à salinité variable (Etang de Berre et Golfe de Fos). Thèse de Diplôme de recherche universitaire, Univ. Aix Marseille II : 114p.
- Bellon-Humbert C., 1962 a. Les Mollusques marins testacés du Maroc. I- Gastéropodes. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien. *Série zoologie* N°23, Rabat 1962 : 144p.
- Bellon-Humbert C., 1962 b. Les Mollusques marins testacés du Maroc. II- Lamellibranches et les Scaphopodes. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien. *Série zoologie* N°28, Rabat 1962 : 184p.
- Bellon-Humbert C., 1973. Les Mollusques marins testacés du Maroc. Premier supplément. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien. *Série zoologie* N°37, Rabat 1973 : 144p.
- Bernardi Aubry F. & Acri F., 2004. Phytoplankton seasonality and exchange at the inlets of the Lagoon of Venice (July 2001-June 2002). *Journal of Marine Systems*, **51**: 65-76.
- Bernardi Aubry F., Breton A., Bastianini M., Socal G. & Acri F., 2004. Phytoplankton succession in a coastal area of the NW Adriatic, over a 10-year sampling period (1990-1999). *Continental Shelf Research*, **24**: 97-115.
- Béthoux J.P., Morin P. & Ruiz-Pino D., 2002. Temporal trends in nutrient ratios: chemical evidence of Mediterranean ecosystem changes driver by human activity. *Deep-Sea Research II* (49): 2007-2016.
- Bianchi C.N., Boero F., Fonda Umani S., Morri C. & Vacchi M., 1998. Successione e cambiamento negli ecosistemi marini. *Biol. Mar. Medit.* **5** (1): 117-135.
- Bianchi F., Acri F., Bernardi-Auby F., Berton A., Boldrin A., Camatti E., Cassin D. & Comaschi A., 2003. Can plankton be considered a bio-indicator of water quality in the lagoon of Venice? *Marine Pollution Bulletin* **46**: 964-971.

- Bianchi F., Ravagnan E., Acri F., Bernardi-Auby F., Boldrin A., Camatti E., Cassin D. & Turchetto M., 2004. Variability and fluxes of hydrology, nutrients and particulate matter between the Venice lagoon and the Adriatic Sea. Preliminary results (years 2001-2002). *Journal of Marine Systems*, **51**: 49-64.
- Blanc F., 1968. Etude comparée de quelques méthodes d'estimation quantitative et qualitative du matériel particulaire en suspension dans l'eau de mer. Thèse 3ème Cycle, Université d'Aix Marseille II : 72p.
- Blanc F., Leveau M. & Szekiolda K. H., 1969. Effets eutrophiques au débouché d'un grand fleuve (grand Rhône). *Mar. Biol.*, **3** (3) : 233-242.
- Blanc F., & Leveau M., 1973. Plancton et eutrophie : aire d'épandage rhodanienne et golfe de Fos (Traitement mathématique des données). Thèse Doct. Es-Sciences, Univ. Aix-Marseille : 981p.
- Blondel J., Ferry C. & Frochet B., 1973. Avifaune et végétation. Essai d'analyse et de diversité. *Alauda*, **46** : 63-84.
- Bonin D.J., 1988. Rôle du phosphate organique dissous dans la production primaire. *Oceanis*, **14** (2) : 381-387.
- Bougis P., 1974. Méthode pour l'étude quantitative de la microfaune des fonds marins (meiobenthos). *Vie et Milieu*, **1** : 23-27.
- Bounhiol J., 1907. Sur quelques conditions physico-biologiques du lac Mellah, la Calle, Algérie. *C. R. Acad., Sci.*, **145** : 443-445.
- Bourdillon-Casanova L., 1960. Le méroplancton du golfe de Marseille : Les larves de Crustacés Décapodes. *Rec. Trav. St. Mar. End. Bull.* **18**. Fasc. 30 : 286p.
- Bourrelley P., 1981. Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome II : Les algues jaunes et brunes chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées. *Eds. Boudée Rev.* : 399p.
- Bourrelley P., 1985. Les algues d'eau douce. Les Eugliniens, Péridiniens et initiation à la systématique Cryptomonadine. Vol III les algues bleues et rouges, *Eds. Boudée Rev.* : 606p.
- Bourrelley P., 1988. Complément, les algues d'eau douce, initiation à la systématique. Tome I : Les algues vertes. *Eds Boudée* : 182p.
- Boutière H., 1979-80. Introduction à la connaissance des milieux lagunaires. *Océanis*, Vol. **5**, Fasc.5 : 823-832.
- Boutière H., De Bovée F., Delille D., Fiala M., Gros C., Jacques G., Knoepffler M., Labat J.P., Panouse M., & Soyer J., 1981. Les effets d'une crise dystrophique dans l'étang de Salses-Leucate. *Oceanol. Acta*, N° SP. Symposium International sur les eaux côtières, SCOR/IABO/UNESCO, Bordeaux, 8-14 septembre 1981 : 231-242.
- Castel J. & Courties C., 1979. Structure et importance des peuplements zooplanctoniques dans la baie d'Arcachon : Milieux ouverts et lagunes aménagées de Certes. *Publ. Sci. Tech. CNEOXO* : Actes Colloq., n° **7** : 559-574.

- Castel J., 1980. Description des peuplements de copépodes méiobenthiques dans un système lagunaire du bassin d'Arcachon. Utilisation de modèles de distribution d'abondances. *Cah. Biol. Mar.*, **21** : 73-89.
- Cataudella S., 1982. Analyse et développement d'exploitation lagunaire intensive. Exemple du lac Mellah (Algérie). Projet régional du développement de l'aquaculture en Méditerranée, F.D/82/07, F.A.O., Novembre 1982 : 37p.
- Cattani O. & Corni M.G., 1992. The role of zooplankton in eutrophication, with special reference to the Northern Adriatic Sea. *Science of the total environment*, **suppl.** : 137-158.
- Cervetto G., Pagano M. & Gaudy R., 1995. Adaptation aux variations de la salinité chez le copépode *Acartia clausi*. *J. Rech. Oceanogr.*, **20** (1-2) : 42-49.
- Chaoui L. & Kara M. H., 2004. Nouveau signalement de la sole du Sénégal *Solea senegalensis* dans la lagune du Mellah (Algérie Nord-Est). *Cybium*, **28** (3) : 267-268.
- Chaoui L., Kara M. H., Faure E. & Quignard J. P., 2006. L'ichtyofaune de la lagune du Mellah : diversité, production et analyse des captures commerciales. *Cybium*, **30** (2) : 123-132.
- Chardy P., 1987. Modèle de simulation du système benthique des sédiments grossiers du golfe Normand Breton (Manche). *Oceanol. Acta*, **10** (4) : 421-433.
- Chassefiere B., 1968. Sur la sédimentologie et quelques aspects de l'hydrologie de l'étang de Thau. Thèse 3^{ème} cycle, Université de Montpellier : 131p.
- Chiahou B., 1997. Les Copépodes pélagiques de la région d'El-Jadida (côte Atlantique du Maroc). Etude faunistique, écologique et biogéographique. Thèse Doct. Univ. El-Jadida (Maroc) : 186p.
- Chrétiennot-Dinet M.J, Sournia A., Ricard M. & Billard C., 1993. A classification of the marine phytoplankton of the world from class to genus. *Phycologia*, **32** (3): 159-179.
- Clarke K.R. & Warwick R.M., 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition. PRIMER-E: Plymouth.
- Cloern J.E., 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series* **210**: 223-253.
- Comin F.A., 1984. Características físicas, químicas y fitoplancton de las lagunas costeras Encanizada, Tancada y Buda (Delta del Ebro). *Oecologia Aquatica*, **7** : 79-157.
- Conover R.J., 1956. Oceanography of Long Island Sound, 1952-1954. VI. Biology of *Acartia clausi* and *Acartia tonsa*. *Bull. Bingh. Ocean. Coll.* : 156-23.
- CROP., 1979. Etude préliminaire du lac Mellah (El-Kala). Rapport de mission. Centre de Recherche Océanographique et de la Pêche (CROP). Juin 79 : 79p.
- Daget J., 1976. Les modèles mathématiques en écologie. *Ed. Masson*, Paris : 172p.
- Dajoz R., 1982. Précis d'écologie. *Ed. Gauthier-Villard*, 4^{ème} éd., Paris : 503p.

- De Casabianca M.L., 1982. Lisières saumâtres et leurs indicateurs de fonctionnement. *Bulletin de la Science d'Ecologie*, **13** : 165-168.
- De Casabianca M.L., 1983. Relations entre la production algale macrophytique et le degré d'eutrophisation du milieu dans une lagune méditerranéenne (Etang de Prévost-Languedoc). Rapport de la commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée, **28** : 359-363.
- De Casabianca M.L., Boone C. & Semroud R., 1990. Relations entre les variables physico-chimiques dans une lagune méditerranéenne par l'analyse en composante principale (lac Mellah, Algérie). *Compte rendu de l'Académie des Sciences Paris*, **310** : 397-403.
- De Casabianca M.L., Samson-Kechacha F.L. & Bone C., 1991. Etude spatio-temporelle des sels nutritifs et des principales variables hydrobiologiques dans une lagune méditerranéenne: le lac Mellah (Algérie) : *Mesogée*, **51** : 15-23.
- De Casabianca M.L., Laugier T., Collart D. & Rigollet V., 1994. Macrophyte populations and eutrophication (Thau lagoon, France). First results. *Proc. Okeanos*, Montpellier, France: 50-55.
- De Casabianca M.L., Laugier T. & Marinho-Soriano E., 1997. Seasonal changes of nutrients in water and sediment in a Mediterranean lagoon with shellfish farming activity (Thau lagoon, France). *ICES Journal of Marine Science*, **54**: 905-916.
- Dell'Anno A., Mei M.L., Pusceddu A. & Danovaro R., 2002. Assessing the trophic state and eutrophication of coastal marine system: a new approach based on the biochemical composition of sediment organic matter. *Marine Pollution Bulletin* **44**: 611-622.
- Dewarumez J.M., Belgrano A., Craeymeersch A., Duquesne S., Heip C., Hide D. & Vincx M., 1993. Influence de la circulation des masses d'eaux dans la dynamique du peuplement à *Abra alba* de la Baie sud de la Mer du Nord. *Journ. Rech. Océanogr.*, **18** : 1-4.
- Dimov I., 1985. Certain quantitative correlation between the zooplankton and sprat (*Sprattus salinus*) in the Black Sea, of the Bulgarian coast. *Proc. Res. Inst. Fish. Oceanogr.*, **6** : 49-62.
- Diouf P.S. & Diallo A., 1987. Variations spatio-temporelles du zooplancton d'un estuaire hyperhalin : la Casamance. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, **20** (3-4) : 257-269.
- Diouf P.S. & Diallo A., 1990. Succession de dominance de trois espèces d'*Acartia* dans un estuaire hyperhalin : la Casamance. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, **23** (3) : 195-207.
- Draredja B., 1992. Conditions hydrosédimentaires et structure de la macrofaune benthique en période printanière d'un écosystème lagunaire méditerranéen: lac Mellah (Algérie). Thèse Magister en Océanographie biologique, ISMAL (Alger) : 147p.

- Draredja B. & Derbal F., 1997. Données synthétiques sur les peuplements florofaunistiques du lac (Algérie septentrionale). *Synthèse revue des sciences et technologie*, N° 2, Univ. Annaba : 79-89.
- Draredja B. & Beldi H., 1999. Cartographie sédimentaire actuelle du lac Mellah, dix ans après l'aménagement du chenal de communication avec la mer. Journées internationales d'études sur les sciences marines, "J'NESMA-99". 29, 30 et 31 mai 1999.
- Draredja B., 2005. Structure et organisation de la macrofaune benthique de la lagune Mellah (Méditerranée Sud-Occidentale, Algérie). *J. Rech. Océanographique*, vol. **30**, fasc. 1-2 : 24-33.
- Draredja B., Como S. & Magni P., 2006. Regional cooperation in the Mediterranean Sea. Joint analysis of macrobenthic assemblages in the lagoons of Mellah (Algeria) and Cabras (Italy). ATTI XXXVII Congresso SIBM, Grosseto, 5-10 Giugno. *Biol. Mar. Medit.*, **13** (2): 50-51.
- Durbin A.G. & Durbin E.G., 1981. Standing stock and estimated production rates of phytoplankton and zooplankton in Narragansett Bay, Rhode Island. *Estuaries*, **4**: 24-41.
- Dussard B., 1966. Limnologie des eaux continentales. Ed. Gauthier-Villars, Paris : 618p.
- El-Khalki A., 2000., Etude du peuplement de Copépodes de l'estuaire de l'Oum Arrabia : succession saisonnière, dynamique des populations, migrations nyctémérales et impact de la pollution. Thèse de Doctorat. Univ. El-Jadida (Maroc): 214p.
- Elliott M. & Mc Lusky D.S., 2002. The need for definitions in understanding estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **55**: 815-827.
- El-Sayed A.I.W, Guelorget O., Frisoni G.F., Rdouchy J.M., Maurin A. & Perthuisot J.P., 1985. Expressions hydrochimiques, biologiques et sédimentologiques des gradients de confinement dans la lagune de Guemsah (Golfe de Suez, Egypte). *Océanol. Acta*, **8** (3) : 303-320.
- Estrada M., Vives F. & Alcaraz M., 1984. Life and productivity of the open sea, *in*: Keys Environments: The Western Mediterranean, R. Margalef, (ed), Pergamon Press Ltd. Oxford, UK: 148-197.
- Estrada M., Vives F. & Alcaraz M., 1987. Life and productivity of the open sea, *In*: Keys Environments: The Western Mediterranean, R. Margalef, (ed), Pergamon Press Ltd. Oxford, UK: 148-197.
- FAO-PNUD-Médrap, 1982. Lac Mellah : Mise en valeur au titre de la pêche et de l'aquaculture. FAO-PNUD-MEDRAP. Rapport interne 79/033. RV/DEC : 70p.
- FAO, 1987. Aménagement du chenal du lac Mellah. FAO et Ministère de l'hydraulique, de l'environnement et des forêts, division de développement des activités hydrauliques et agricoles, note préliminaire, janvier 1987 : 25p.

- Fauchald K. & Jumars P., 1979. The diet of worms: a study of Polychaete feeding guilds. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, (17) : 193-284.
- Fauvel P., 1923 a. Faune de France 5 : Polychètes errantes. Librairie de la faculté des sciences, *Kraus reprint. Nenn/Liechtenstein* : 416p.
- Fauvel P., 1923 b. Faune de France 16 : Polychètes sédentaires. Librairie de la faculté des sciences, *Kraus reprint. Nenn/Liechtenstein* : 194p.
- Febvre J., 1968. Etude bionomique des substrats meubles de l'étang de Berre. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume. Bull.* **44**. Fasc. 60 : 1-349.
- Ferrari I., Ceccherelli V.U. & Mazzocchi M.G., 1982. Structure du zooplancton dans deux lagunes du Delta du Pô. *Oceanol. Acta. Proceedings International Symposium on coastal lagoons, SCOR/IABO/UNESCO, Bordeaux, France, 8-14 Septembre, 1981*: 293-302.
- Folk R.L. & Ward W.C., 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sedim-petrology*, **27** (1): 3-27.
- Folk R.L., 1965. Petrology of sedimentary rocks. Ed. *Hemphis Texas*: 139 p.
- Fréhi H., 1995. Etude de la structure et du fonctionnement du système phyto-planctonique dans un écosystème marin côtier : eutrophisation de la Baie de Annaba. Thèse magister, Univ. Annaba, Algérie : 160p.
- Frisoni G.F. & Guelorget O., 1986. De l'écologie à l'aquaculture. *Pour la science*. Mai 1986, Hors série : 58-69.
- Frontier S., 1969. Utilisation des diagrammes rangs-fréquences dans l'analyse des écosystèmes. *J. Rech. Océanographique*, **1** : 35-47.
- Frontier S., 1983. Stratégie d'échantillonnage en écologie. Ed. *Masson, P. 4*, Paris – Québec : 494p.
- Frontier S. & Pichod-Viale D., 1991. Ecosystèmes : structure, fonctionnement, évolution. Ed. *Masson, Paris* : 392p.
- Frontier S & Leprêtre A., 1998. Développements récents en théorie des écosystèmes. *Annales de l'Institut Océanographiques, Paris*, **74** (1) : 43-87.
- Garcia-Rodriguez M., 1985. The plankton from the coastal lagoon Mar Menor (SE of Spain). I: Copepod community in February-March. *Biol. Inst. Esp. Oceanogr.*, **3** (2): 37-40.
- Gaudy R., Pagano M. & Lochet F., 1990. Zooplankton feeding on seston in the Rhône River Plume area (NW Mediterranean sea) in May 1988. *Hydrobiologia*, **207**: 241-249.
- Gaudy R., Verriopoulos G. & Cervetto G., 1995. Space and time distribution of zooplankton in a Mediterranean lagoon (Etang de Berre). *Hydrobiologia* **300/301**: 219-236.
- Gauthier-Lièvre L., 1931. Recherche sur la flore des eaux continentale de l'Afrique du Nord. *Soc. Hist. Nat. Afr. Nord. Mémoire hors série* : 298p.

- Giangrande A. & Frascchetti S., 1996. Effects of a short-term environmental change on a brackish-water Polychaete community. P.S.Z.N.I. *Mar Ecol.* **17** (1-3): 321-332.
- Gimazane J.P., 1982. L'exploitation conchylicole du lac Mellah, Algérie. Mission F.A.O/MEDRAP du 8/6/82 : 37p.
- Giovanardi F. & Tromellini E., 1992. An empirical dispersion model for total phosphorus in a coastal area: the Po River-Adriatic system. *In: Marine Coastal Eutrophication*, (Vollenweider R.A., Marchetti R. & Viviani R., eds) Bologna (Italy), 21-24 March 1990 : 201-210.
- Grimes S., 1994. Contribution à la connaissance des populations de *Cardium glaucum* (Bruguère, 1789), *Loripes lacteus* (Linnaeus, 1758) et *Brachydontes marioni* (Locard, 1889) du lac Mellah (El-Kala, Algérie) : Ecologie et dynamique. Thèse magister en océanographie biologique, ISMAL (Alger) : 211p.
- Guelorget O. & Michel P., 1976. Recherche écologique sur une lagune saumâtre méditerranéenne: l'étang de Prévost (Hérault). Thèse 3^{ème} cycle. USTL, Montpellier, Tome I : 95p., Tome II : 122p.
- Guelorget O. & Michel P., 1977. Etude sédimentologique d'une lagune saumâtre méditerranéenne, l'étang de Thau (Hérault). *Vie Milieu*, **27** (1b) : 111-130.
- Guelorget O., Frisoni G.F. & Perthuisot J.P., 1981. Les communautés phytoplanctoniques et benthiques d'un milieu paralytique hypersalé : la bahiret El-Biban (Tunisie). Critère d'analyse du fonctionnement d'un écosystème lagunaire. Communication présentée au Symposium international sur les lagunes côtières (ISCOL), UNESCO, Bordeaux, septembre 1981.
- Guelorget O., Ximenes M.C., Frisoni G.F. & Perthuisot J.P., 1982. Diagnose écologique du lac Mellah (Algérie), pour l'évaluation de ses potentialités halieutiques et aquacoles. Rapport de la mission FAO, (ONUD/MEDRAP), Octobre 1982 : 130p.
- Guelorget O. & Perthuisot J.P., 1983. Le domaine paralytique : expression écologique, biologique et économique du confinement. *Trav. Lab. Géol., ENS, Paris*, **16** : 136p.
- Guelorget O., Perthuisot J.P. & Frisoni G.F., 1983a. La zonation biologique des milieux lagunaires: définition d'une échelle de confinement dans le domaine paralytique méditerranéen. *Journ. Rech. Océanogr.*, **VIII**, I : 15-36.
- Guelorget O., Mazoyer-Mayere C., Perthuisot J.P. & Amanieu M., 1983b. La production malacologique d'une lagune méditerranéenne : l'étang de Prévost (Hérault, France). *Rapp. Commn int. Explor. Scient. Mer Médit.* **28** (6) : 107-112.
- Guelorget O., Frisoni G.F., Ximenes M.C. & Perthuisot J.P., 1989. Expression biologique du confinement dans une lagune méditerranéenne : le lac Mellah (Algérie). *Rev. Hydrobiol. Trop.* **22** (2) : 87-99.

- Guelorget O. & Perthuisot J.P., 1992. Paralic ecosystems, biological organisation and functioning. *Vie Milieu* **42**: 215-251.
- Guillaud J.F. & Aminot A., 1991. Apports en matière organique et en sels nutritifs par les stations d'épuration. La mer et les rejets urbains. Bendor, 13-15 juin 1990. IFREMER. Actes de colloque 11 : 11-26.
- Hallegraeff G.M., 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*. **32** (2): 79-99.
- Haridi A., 1999. Le zooplancton de la lagune Mellah (El-Kala, Algérie). Bilan d'échange avec la mer et incidences écologiques en hiver et au printemps 96-97. Thèse magister, Océanographie biologique. ISMAL (Alger) : 59p.
- Héral M., Razet D., Deslous-Pzoli J.M., Berthomé J.P. & Garnier J., 1983. Caractéristiques saisonnières de l'hydrobiologie du complexe estuarien de Marennes-Oléron (France). *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **46** (2) : 97-119.
- Hendey N.I., 1964. An introductory Account of the smaller algae of British coastal waters. Part V: Bacillariophyceae (Diatoms). *H.M. Stationery Office by F. Mildner & Sons*, London, E.C.1: 317p + XLV planches.
- Holling C.S., 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **4**: 1-23.
- Ibrahim A., Guelorget O. & Perthuisot J.P., 1982. Contribution à l'étude hydrologique et sédimentologique de la lagune de Guemsah. Rapport CFP-GREDOPAR : 36p.
- Illoul H., 1987. Contribution à l'étude qualitative, quantitative et structurale des populations phytoplanctoniques au large du Cap Caxine (région algéroise). Thèse 3ème Cycle, ISMAL (Alger) : 170p.
- Jacques G., 1977. Phytoplancton : Méthodes d'études. *Doc. Laboratoire Arago*, Banyuls-sur-Mer : 19p.
- Jaque G., 1978. Production primaire (Phytoplancton) 1. Guide floristique (surtout Diatomées). *Doc. Laboratoire Arago*, Banyuls-sur-Mer : 50p.
- Jacques G. & Tréguer P., 1986. Ecosystèmes pélagiques marins. Ed. Masson, Paris : 242p.
- Jansa J. & Fernandez De Puellas M.S., 1990. Distribution of zooplankton in the Balearic Sea. *Boln Inst. Esp. Oceanogr.*, **6** (2): 107-136.
- Jeffries H.P., 1962. Succession of two *Acartia* species in estuaries. *Limnol. Oceanogr.*, **7**: 355-364.
- Jeffries H.P., 1967. Saturation of estuarine zooplankton by congeneres associate. *Estuaries*, **83**: 500-508.
- Khélifi-Touhami M., 1998. Composition et abondance du zooplancton dans les eaux côtières de l'Est algérien (secteur eutrophe du golfe d'Annaba et le plateau continental d'El-Kala). Thèse magister, Univ. Annaba, Algérie : 131p.
- Kienner A., 1978. Ecologie physiologie et économie des eaux saumâtres. Collection de biologie des milieux marins. *Eds. Masson* : 220p.

- Kim K., 1983. Production primaire pélagique de l'étang de Berre en 1977 et 1978. Comparaison avec le milieu marin (Méditerranée Nord-Occidentale). *Mar. Biol.* **73** (3) : 325-341.
- Kim K. & Travers M., 1984. Le phytoplancton des étangs de Berre et Vaine (Méditerranée nord-occidentale). *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* **69** (3) : 361-388.
- Kim K., 1988. La salinité et la densité des eaux des étangs de Berre et de Vaine (Méditerranée Nord-occidentale) relation avec les affluents et le milieu marin voisin. *Marine Nature* **1** (1) : 37-58.
- Kinne O., 1971. Invertebrates. *In: marine ecology.* (Kinne O., ed). *Wiley Interscience*, London: 822-995.
- Lacroix G. & Legendre L., 1964. Le zooplancton de l'estuaire de la rivière Restigouche (baie des chaleurs). *Neutraliste can.*, **1** : 21-39.
- Lagadeuc Y., 1992. Transport larvaire en Manche. Exemple de *Pectinaria koreni* (Malmgren), Annélide Polychète, en Baie de Seine. *Oceanologica Acta*, **15** : 383-395.
- Lakkis S. & Zeidane R., 1985. Modification de l'écosystème planctonique par la pollution des eaux côtières libanaise. *In: Les effets de la pollution sur les écosystèmes marins. Réunion FAO, PNUE Blanc, Espagne, 7-11 octobre 1985, FIRI/R /R 352 (Suppl.)* : 123-159.
- Lam Hoai T., Amanieu M. & Lasserre G., 1983. Une procédure intégrée pour l'étude des distributions d'abondances en écologie. *Ann. Stat. Biol. Besse en Chandesse*, **17** : 1-22.
- Lam Hoai T., Amanieu M. & Lasserre G., 1984 a. Microfaune des eaux libres de la Sarrazine, écosystème lagunaire semi-contrôlé méditerranéen. *Vie milieu*, **34** (4) : 209-219.
- Lam Hoai T., Amanieu M. & Lasserre G., 1984 b. Distributions et abondances du zooplancton d'un écosystème lagunaire méditerranéen : la lagune de la Sarrazine. *Acta Oceanol. Oecol. Gener*, **5** (3) : 301-315.
- Lam Hoai T., 1985. Evolution saisonnière du zooplancton dans trois sites peu profonds de Thau, une lagune littorale nord-méditerranéenne. *Hydrobiologia*, **128** : 161-174.
- Lam Hoai T., 1987. Contribution à l'étude du zooplancton superficiel dans deux écosystèmes lagunaires méditerranéens : Etang de la Sarrazine et Etang de Thau. Thèse Doct. d'Etat, USTL, Montpellier : 247p.
- Lam Hoai T. & Amanieu M., 1989. Structure spatiale et évolution saisonnière du zooplancton superficiel dans deux écosystèmes lagunaire nord-méditerranéens. *Oceanol. Acta*, **12** : 65-77.
- Lam Hoai T. & Gril C., 1991. Biomasse et structure de taille du zooplancton hivernal dans une lagune nord méditerranéenne. *Cah. Biol. Mar.*, **(32)**: 185-193.

- Lam Hoai T., Amanieu M. & Lasserre G., 1997. Tintinids and Rotifers in a northern-mediterranean coastal lagoon. Structural diversity and function through biomass estimations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **152** (13): 13-25.
- Lam-Hoai T. & Rougier C., 2001. Zooplankton assemblages and biomass during a 4-period survey in a northern Mediterranean coastal lagoon. *Wat. Res.* **35** (1): 271-283.
- Landry M.R., 1978. Population dynamics and production of a marine planktonic copepod, *Acartia clausi*, in a small temperate lagoon on San Juan Island. Washington. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, **63**: 77-119.
- Larsen J. & Moestrup O., 1989. Guide to toxic and potentially toxic marine algae. Published by The fish inspection service, Ministry of fisheries, Copenhagen (Denmark): 61p.
- Larsen J. & Sournia A., 1991. The diversity of heterotrophic Dinoflagellates. *Systematics associations*, special vol, N°45: 313-32.
- Lasserre G., 1976. Dynamique des populations ichtyologiques lagunaires. Application à *Sparus aurata* L. Thèse Doc. Etat, Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier : 306p.
- Lasserre G. & Postma H., 1982. Les lagunes côtières. Actes du Symposium International sur les lagunes côtières, 8-14 septembre 1981, Bordeaux, France. *Oceanol. Acta*, N° sp : 461p.
- Lassus P., 1988. Plancton toxique et plancton d'eaux rouges sur les côtes européennes. Service de Documentation et des Publications (S.D.P), IFREMER (Brest) : 111p.
- Laugier T., Rigollet V. & De Casabianca M.L., 1999. Seasonal dynamics in mixed eelgrass beds, *Zostera marina* L. and *Z. noltii* Hornem., in a Mediterranean coast lagoon (Thau lagoon, France). *Aquatic Botany*, **63**: 51-69.
- Le Bris H., 1988. Fonctionnement des écosystèmes benthiques côtiers au contact d'estuaires : la Rade de Lorient et la Baie de Vilaine. Thèse Doct., Univ. Bretagne Occidentale, Brest : 311p.
- Legal Y., 1988. Biochimie marine. *Ed. Masson*, Paris : 285p.
- Legendre L. & Legendre P., 1984. Ecologie numérique. Tome 1 : Le traitement multiple des données écologiques. Tome 2 : La structure des données écologiques. *Masson*, Paris et les Presses de l'université du Québec : 260p et 335 p.
- Lenzi M., 1992. Experiences for the management of Orbetello lagoon: eutrophication and fishing. *Science of the Total Environment* **5** (suppl.): 1189-1198.
- Lenzi M., Palmieri R. & Porello S., 2003. Restoration of the trophic Orbetello lagoon (Tyrrhenian Sea, Italy), water quality management. *Marine Pollution Bulletin*, **46** : 1540-1548.
- Levy D. & Troadec J.P., 1974. Les ressources halieutiques de Méditerranée. *Etude Rev., C.G.P.M.*, **54** : 29-52.

- Lie U. & Pamatmat M. N., 1965. Dragging characteristics and sampling efficiency of the 0.1m² Van - Veen grab. *Limnol. Oceanogr.*, **10** (3) : 379-384.
- Lincoln R. J., 1979. British marine Amphipoda: Gammaridea. British Museum (Natural History), London 1979 : 610p.
- Lloyd M. & Ghelardi J. R., 1964. A table for calculating the "equitability" component of the species diversity. *J. Animal Ecol.*, **3** : 217-225.
- Lorenzen C. J., 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, **12**: 343-346.
- Lundin C.G. & Linden O., 1993. Coastal ecosystems: attempts to manage a threatened resource. *Ambio*, **22**: 468-476.
- Macan T., 1963. Freshwater ecology. Eds. Longman, London and Wiley, New York : 338p.
- Mac Lusk D.S., 1967. Some effects of salinity on the survival, moulting and growth of *Corophium volutator* (Amphipode). *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **43** (3) : 607-617.
- Mac Lusk D.S., 1968. Aspects of osmotic and ionic regulation in *Corophium volutator* (Pallas). *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **48**: 469-781.
- Mac Lusk D.S., 1970. Salinity preference in *Corophium volutator*. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **50**: 749-752.
- Mac Lusk D.S., 1993. Marine and estuarine gradients. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* **27**: 489-493.
- Mare M.F., 1942. A study of a marine benthic community with special reference to the microorganisms. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **25**: 517-554.
- Marcano G. & Cazaux C., 1994. Influence de l'advection tidale sur la distribution des larves d'Annélides Polychètes dans les chenaux du bassin d'Arcachon. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, **119** (3) : 263-273.
- Margalef R., 1958. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. In: Perspectives in marine biology, ed. Buzzati-Traverso A.A., University California Press, Berkeley: 323-349.
- Margalef R., 1967. V: Peridineas. VII: Diatomeas. *Capitulo* : 102p.
- Margat J., 1992. L'eau dans le bassin méditerranéen : situation et perspective. Les fascicules du Plan Bleu, Supplément, N°6. UNEP-RAC/BP. Diffusion Economica, Paris : 188p.
- Margalef R., 1994. Through the looking glass how marine phytoplankton appears through the microscope when graded by size and taxonomically sorted. *Scientia Marina*, **58** (1-2): 87-101.
- Massé H., 1971. Etude quantitative d'un peuplement de sables fins infralittoraux de l'étang de Berre. Evaluation de la production de quelques espèces. *Vie et Milieu, suppl.*, **22** : 329-346.
- Maurer D. & Leathem W., 1981. Polychaete feeding guilds from George Bank, U.S.A. *Mar. Biol.*, (62): 161-171.

- Mathivat-Lallier & M.H., Cazaux C., 1990. Larval exchange and dispersion of polychaetes between the bay and the ocean. *J. Plank. Res.*, **12** : 1163 –1172.
- Menesguin A., 1991. Présentation du phénomène d'eutrophisation littorale. *In* la mer et les rejets urbains. *Acts du colloque, Bendor* 13-15 juin 1990, 11 (IFREMER) : 35-52.
- Messerer Y., 1999. Etude morphométrique et hydrologique du complexe lacustre d'El-Kala (Cas du lac Mellah et du lac Oubéira). Thèse de magister en Ecologie et Environnement, Univ. Annaba : 123p.
- Minas M., 1964. Etude de la répartition de quelques facteurs géochimiques dans les sédiments de l'étang de Berre. *Rev. Trav. St. Mar. End. Bull.* **32**. Fasc. 48: 5-47.
- Mistri M., Rossi R. & Fano A., 2001. Structure and secondary production of a soft bottom macrobenthic community in a brackish lagoon (Sacca di Goro, north-eastern Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **52**: 605-616.
- Monbet Y., 1972. Etude bionomique du plateau continental au large d'Arcachon (Application de l'analyse factorielle). Thèse 3^{ème} Cycle. Univ. d'Aix Marseille : 91p.
- Morel P., 1967. Faune marine des Pyrénées orientales: Mollusques aplacophores, Scaphopodes et Bivalves. *Ed. Masson*. Publication du laboratoire Arago, Univ. Paris, **5** : 156p.
- Mozetic P., Fonda Umani S., Ctaletto B. & Malej A., 1998. Seasonal and inter-annual planktonic variability in the Gulf of Trieste (northern Adriatic). *ICES Journal of Marine Sciences*, **55**: 711-722.
- Nascimento-Vieira D.A. & Do-Sant-Anna E.M.E., 1989. Composition of zooplankton in the Timbo River estuary (Pernambuco, Brazil). *Trabhs Inst. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco*, **20**: 77-97.
- Nichols M.M. & Allen G., 1981. Sedimentary processes in coastal lagoons. *In*: NESCO Coastal lagoon research present and future. Tech Papers in *Mar. Sci.* **33**: 27-80
- Nixon S.W., 1982. Nutrient dynamics, primary production and fisheries yields of lagoons. Actes du Symposium International sur les lagunes côtières, 8-14 septembre 1981, Bordeaux, France. *Oceanol. Acta*, N° sp : 357-371.
- Nuccio C., Melillo C., Massi L. & Innamorati M., 2003. Phytoplankton abundance, community structure and diversity in the eutrophicated Orbetello lagoon (Tuscany) from 1995 to 2001. *Oceanologica Acta*, **26**: 15-25.
- Nylor E., 1972. A synopsis of the British marine Isopods. Department of zoology, Univ. College of Swansea, Wales. *Linnaean Society Synopses of the British fauna*: 86p.
- Ouldessaib E.T., 1997. Etude du peuplement de Copépodes de la lagune de Oualidia : succession, dynamique des populations, migrations nyctémérales. Thèse 3^{ème} Cycle. Univ. El-Jadida (Maroc) : 145p.

- Ounissi M., 1991. Etude écologique des étangs saumâtres du bassin d'Arcachon remis en eau après un assec prolongé: processus de recolonisation biologique et confinement. Thèse Doct., Univ. Bordeaux I : 153p.
- Ounissi M., Fréhi H. & Khélifi-Touhami M., 1998. Composition et abondance du zooplancton en situation d'eutrophisation dans un secteur côtier du golfe d'Annaba (Algérie). *Annales de l'Institut Océanographique*, Paris, **74**(1) : 65-77.
- Ounissi M. & Fréhi H., 1999. Variabilité du microphytoplancton et des Tintinidés (Protozoaires ciliés) d'un secteur eutrophe du golfe d'Annaba (Méditerranée Sud-occidentale). *Cahier de Biologie Marine*, **40** : 141-153.
- Ounissi M. & Khélifi-Touhami M., 1999. Le zooplancton du plateau continental d'El-Kala (Méditerranée sud-occidentale) : composition et abondance en mai 1996. *J. Rech. Océanographique*, **24** (1) : 5-11.
- Ounissi M., Haridi A. & Rétima A., 2002. Variabilité du zooplancton de la lagune Mellah (Algérie) selon l'advection tidale en hiver et au printemps 1996-1997. *J. Rech. Océanographique*, **27** (1): 1-13.
- Ounissi M., Rétima A., Draredja B., Messerer Y., Haridi A. & Khélifi-Touhami M. Echanges tidaux d'été entre la lagune Melah et le littoral adjacent (Méditerranée). Transport du zooplancton entre treize étales successives de marée. *J. Rech. Océano-graphique* (sous presse, a).
- Ounissi M., Rétima A., Draredja B., Messerer Y. & Haridi A. & Khélifi-Touhami M. Hydrologie et transport d'été du microphytoplancton entre treize étales successives de marée entre la lagune Melah et le littoral adjacent (Méditerranée sud-occidentale). *J. Rech. Océanographique* (sous presse, b).
- Pagano M. & Saint-Jean L., 1988. Importance et rôle du zooplancton dans une lagune tropicale, la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) : peuplements, biomasse, production et bilan métabolique. Thèse Doct. Etat, Univ. d'Aix-Marseille II : 390p.
- Pagano M. & Saint-Jean L., 1989. Biomass and production of the calanoid copepod *Acartia clausi* in a tropical coastal lagoon: Ebrié, Ivory Coast. *Scient. Mar.*, **53**: 617-624.
- Pagano M. & Saint-Jean L., 1991. Importance et rôle du zooplancton dans une lagune tropicale, la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) : peuplements, biomasse, production et bilan métabolique. Paris-France Orstom, **70** : 446p.
- Parenzan S., 1970. Carta d'identita delle conchiglie del Mediterraneo. Vol.: Gastéropodi. *Ed. Bios Taras*. Toronto : 284p.
- Parenzan S., 1974. Carta d'identita delle conchiglie del Mediterraneo. Vol. II: Bivalvi *Ed. Bios Taras*. Toronto: 279p.
- Pearson T.H., 1971. Studies on the ecology of the macrobenthic fauna of lochs Linnhe and Eil, West coast of Scotland. II. Analysis of the macrobenthic fauna by comparison of feeding groups. *Vie et Milieu*, suppl. (22) : 53-91.

- Pérès J.M. & Picard J., 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Rec. Trav. St. Mar. End. Bull.* **31**. Fasc. 47: 137p.
- Perez-Siejas G.M. , Ramirez F.C. & Vinas M.D., 1987. Variation of the dynamic abundance and biomass of the zooplankton at San Jorge Gulf. *Rev. Invest. Pesq.*, **7** : 5-20.
- Perthuisot J.P. & Guelorget O., 1982. Le domaine paralytique : dynamique biologique et sédimentaire. XXI^{ème} Congrès international de sédimentologie, Hamilton (Canada), Abstracts : 26p.
- Petit G., 1954. Introduction à l'étude écologique des étangs méditerranéens. *Vie et Milieu*, **4** (4) : 569-604.
- Petran A., 1985. Données quantitatives sur le zooplancton de la lagune Sinoe. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, **29** (4): 131-132.
- Pielou E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collection. *J. Theor. Biol.*, **13**: 131-144.
- Plus M., Deslous-Paoli J.M., Aubyd I. & Degault F., 2001. Factors influencing primary production of seagrass beds (*Zostera noltii* Hornem) in the Thau lagoon (French Mediterranean coast). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **259**: 63-84.
- Plus M., Chapelle A., Menesguen A., Deslous-Paoli J.M. & Aubyd I., 2003. Modelling seasonal dynamics of biomass and nitrogen contents in a seagrass meadow (*Zostera noltii* Hornem): application of the Thau lagoon (French Mediterranean coast). *Ecological Modelling*, **161**: 213-238.
- Pora J. & Bacescu R., 1977. Biologie des eaux saumâtres de la mer Noire. Les problèmes de l'eau saumâtre en général. *Inst. Roum. Rech. Mar. Constanta Roumanie*, **1** : 7-16.
- Quignard J.P. & Mazoyer C., 1983. Un exemple d'exploitation lagunaire en Languedoc : l'étang de l'Or (Mauguio). Pêche et production. *Science et Pêche. Bull. Inst. Pêche marit.*, N° 336 : 3-23.
- Raibaut A., 1967. Recherche écologique sur les copépodes harpacticoides des étangs côtiers et des eaux saumâtres temporaires du Languedoc et de Camargue. Thèse Doct. Etat, USTL (Montpellier) : 238p.
- Refes W., 1994. Contribution à la connaissance de la population de *Ruditapes decussata* (Linnaeus, 1758) du lac Mellah (El-Kala, Algérie) : écologie, reproduction, dynamique des populations et exploitation. Thèse de magister en océanographie biologique, ISMAL (Alger) : 197p.
- Remane A., 1940. Ein führung in die zoologische ökologie der Nord-und Ostree Tiernelt. *4 Ostress*, **1** (1a) : 238p.
- Remane A. & Schliepper C., 1958. Die biologie des brackwassers. 1- écologie des brackwassers; 2- physiologie des brackwassers, *Stuttgart, Binnenge wasser* (coll. A. thienemann), **22** : 348p.

- Remane A. & Schliepper C., 1971. Biology of brackishwasser. *Stuttgart, Binnengewasser* (coll. A. thienemann), **25**: 372p.
- Retima A., 1999. Incidences des échanges hydrologiques, chimiques, biochimiques et phytoplanctoniques sur la fertilité de la lagune Mellah et du littoral voisin (El-Kala, Algérie), selon le régime de la marée dix ans après l'aménagement du chenal de communication. Thèse de magister en Ecologie et environnement, Univ. Annaba : 87p.
- Raimbault P., Taupier L. & Radier M., 1988. Vertical size of phytoplankton in the Western Mediterranean sea during early summer. *Mar. Ecol. Prog ser*, **45**: 225-231.
- Ricard M., 1976. Premier inventaire des Diatomées marines du lagon de Tiahura (Ile de Moorea Polynésie française). *Rev. Algol.*, N.S **XI**, 3-4: 343-355.
- Ricard M. & Bourelly P. 1982. Quelques algues microscopiques du lagon de l'atoll de Clipperton (Pacifique tropical Nord). *Cryptogamie : Algologie*, **III**, 1 : 25-31.
- Ricard M., 1987. Atlas du phytoplancton marin. Vol **II** : Diatomophyceae. Eds. CNRS. Paris, France : 297p.
- Rince Y., Guillard J.F., Gallenne B., 1985. Qualité des eaux en milieu estuarien : Suivi annuel de critères physiques et chimiques dans les eaux de l'estuaire de la Loire hydrologique. **124** : 199-210.
- Romdhane M.S. & Chakroune F.K., 1986. Les peuplements benthiques de la lagune de Ghar El-Melh. *Bull. Inst. Natn. Sci. Techn. Océanogr. Pêche Salombô*, **13**: 45-108.
- Rouhiainen L. & Georgieva A., 1982. Phytoplankton in the Ionian and Sardinian seas (en russe). *Ekologija Morija*, **8**: 24-37.
- Rumeau A. & Coste M., 1988. Initiation à la systématique des Diatomées d'eau douce pour l'utilisation pratique d'un indice Diatomique générique *Bull. Fr Pêche Piscic.* **309** : 1-69.
- Sacchi C.F. & Testard A., 1971. Ecologie animale, organismes et milieu. *Ed. Doin Paris* : 444p.
- Samson-Kechacha F.L. & Gaumer G., 1979. Données préliminaires sur l'hydrologie et le phytoplancton du lac Mellah. Rapport du CROP, juin 1979 : 36-42.
- Samson-Kechacha F.L., 1981. Variations saisonnières des matières nutritives de la Baie d'Alger : Recherche des facteurs contrôlant le développement du phytoplancton. Thèse 3^{ème} Cycle, USTHB (Alger) : 98p.
- Samson-Kechacha F.L. & Touahria T., 1992. Populations phytoplanctoniques et successions écologiques dans une lagune saumâtre : le lac Mellah (Algérie). *Rapp. Comm. Intern. Médit., CIESM*, **33** : 103.
- Saint-Jean L. & Pagano M., 1987. Taille et poids individuels des principaux taxons du zooplancton lagunaire ivoirien : lagune Ebrié, étang de pisciculture saumâtre de Layo. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, **20** (1) : 13-20.

- Sandro W., 1982. The Amphipoda of the Mediterranean: Part 1 – Gammaridae. Mémoire de l'institut océanographique. *Fondation Albert 1^{er}*, Prince de Monaco, N° 13 : 365p.
- Sei S., Rossetti G., Villa F. & Ferrari I., 1996. Zooplankton variability related to environmental changes in a eutrophic coastal lagoon in the Po Delta. *Hydrobiologia*, **329**: 45-55.
- Semroud R., 1983. Contribution à l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens : le lac Mellah (El-Kala, Algérie). Thèse 3^{ème} cycle, USTHB (Alger): 137p.
- Seurat L.G., 1940. La répartition actuelle et passée des organismes de la zone néritique de la Méditerranée Nord-africaine (Algérie – Tunisie). *Mém. Soc. Biogéogr.*, **7** : 139-179.
- Sfriso A., Pavoni B., Marcomini A. & Orio A.A., 1988. Annual variations of nutrients in the lagoon of Venice. *Marine Pollution Bulletin*, **19**: 54-60.
- Sfriso A., Pavoni B. & Marcomini A., 1989. Macroalgae and phytoplankton standing crops in the central Venice lagoon: primary production and nutrients balance. *The Science of Total Environment*, **80**: 139-159.
- Sheldon A.L., 1969. Equitability indices: dependence of the species. *Count. Ecology*, **5** : 466-467.
- Skov J., Lundhom-N., Moestrup ? . & Larsen J., 1995. Potentially toxic phytoplankton 4. The genus *Pseudonitzschia* (Diatomophyceae. Bacillariophyceae). *ICES, Card of identification of the plankton N° 182* : 305p.
- Socal G., Pugnetti A., Alberighi L. & Acri F., 2002. Observation on phytoplankton productivity in relation to hydrography in N-W Adriatic. *Chemistry and Ecology*, **18**: 61-73.
- Solidoro C., Pastres R., Cossarini G. & Ciavatta S., 2004. Seasonal and spatial variability of water quality parameters in the lagoon Venice. *Journal of Marine Systems*, **51**: 7-18
- Sournia A., 1967. Le genre *Ceratium* (Péridinien planctonique) dans le canal de Mozambique. Contribution à une révision mondiale. "Extrait de Vie et Milieu", série A., *Biologie Marine*. Tome **XVIII**. Fasc 2, 3, A : 375-500
- Sournia A., 1968. Diatomées planctoniques du canal de Mozambique et de l'île Maurice. *Mém. O.R.S.T.O.M.*, N° **31** : 120p.
- Sournia A., 1978. Catalogue des espèces et taxons infraspécifique de Dinoflagellés marins actuels. Publié depuis la révision de J. Schiller III. Complément *Rev. Algol.*, N.S. **XIII**, 1 : 3-40.
- Sournia A., 1984. Classification et nomenclature de divers Dinoflagellés marins (Dinophycées). *Phycologia*. Vol. **23** (3) : 245-355.
- Sournia A., 1986. Atlas du phytoplancton marins Vol I. Introduction, Cyanophycées, Dictyophycées, Dinophycées, et Raphidophycées. *Eds CNRS*. Paris : 219p.

- Steidinger K.A., 1983. A re-evolution of toxic dinoflagellate biology and ecology. *Progress in Phycological Research* **2**. Round/Chepman, Eds, Elsevier Science Publishers: 147-188.
- Stora G., 1976. Evolution des peuplements benthiques d'un étang marin soumis à un effluent d'eaux douces. *Bull. Ecol.*, **7** (3) : 275-282.
- Système de Venise, 1958. Symposium sur la classification des eaux saumâtres, Venise, 8-14 avril 1958. *Archi. di Oceano e Limno.*, **11** (supplément) : 248p.
- Taylor D.L., 1984 a. Dinoflagellates. Spector Ed. Acad. Press. : 247p.
- Taylor D.L., 1984 b. Toxic dinoflagellates: Taxonomic and biogeographic aspects with emphasis on *Protogonyaulax*. In: *Seafood Toxins*. Ragelis Ed. ADS Symposium Series.
- Taylor D.L., 1985. The taxonomy and relationships of red tide dinoflagellates. In: *Toxic dinoflagellates*. Anderson and Baden. Eds. Elsevier: 11-26.
- Thiebaut E., Dauvin J.C. & Lagadeuc Y., 1994. Horizontal distribution and retention of *Owenia fusiformis* larvae (Annelida: Polychaeta) in the bay of Seine. *J. mar. Biol. Ass., U.K.*, **74** : 129-142.
- Thimel A., 1988. Etude *in situ* de métabolisme aérobie d'une communauté benthique dans une lagune mixohaline peu profonde. Thèse doct. Univ. Bordeaux I : 161p.
- Thomas J.P., Bougazelli N. & Attender M., 1973. Projet de parc national marin, lacustre et terrestre d'El-Kala, Annaba, Algérie : 64p.
- Thomsen H.A., 1992. Pankton i de indre danske farvande. Analyse of forekomsten of algae og heterotrofe protister (ekskl. ciliater) i kattegat II, Miljøministriet. *Miljøstyrelsen*, Denmark: 331p.
- Tolomio C. & Lenzi M., 1996. "Eaux colorées" dans les lagunes d'Orbetello et de Burano (Mer Tyrrhénienne du Nord) de 1986 à 1989. *Vie Milieu*, **46** (3) : 25-37.
- Tolomio C., Moschin E., Moro I. & Andreoli C., 1999. Phytoplancton de la lagune de Venise I. Bassins Nord et Sud (Avri 1988-Mars 1989). *Vie Milieu*, **49** (1) : 25-37.
- Tortorese T., 1965. Fauna d'Italia: Echinodermata. *Calderini. Istit. Zool. Univ. Torino*: 419p.
- Travers A. & Travers M., 1975. Catalogue du microphytoplancton du golfe de Marseille. *Inst. Rev. Ges. Hydrobiol*, **60** (2) : 251-276.
- Travers M. & Kim K.T., 1985. Le phytoplancton apporté par l'Arc à l'étang de Berre (côte méditerranéenne française) : dénombrement, composition spécifique, pigments et adénosine 5' triphosphate. *Ecol. Méd. T.* **XI**. Fasc. 4 : 43-60.
- Travers M. & Kim K.T., 1988. Le phytoplancton du golfe de Fos (Méditerranée Nord-occidentale). *Marine nature*, **1** (1) : 21-35.
- Tregouboff G. & Rose M., 1978. Manuel de planctonologie méditerranéenne. Tome II. Ed. CNRS, Paris : 207 p.

- Triantafyllou G., Petihakis G., Dounas C., Koutsoubas D., Arvanitidis C. & Eleftheriou A., 2000. Temporal variations in benthic communities and their response to physicochemical foreign: a numerical approach. *ICES Journal of Marine Science*, **57**: 1507-1516.
- Truquet P., Lassus P., Honsell G., & Le Dean L. 1996. Application of complexes. *Aquat. Lining Resour.* **9** : 273-279.
- Tufail A., 1981. Identification streets of phytoplankton species in Libyan coastal waters. *Bull. Mar. Res. Center Libyan*, **2**: 15-70.
- Turley C.M., 1999. The changing Mediterranean Sea –a sensitive ecosystem ? *Progress in Oceanography* **44**: 387-400.
- Vallejo S.M.A., 1982. Development and management of coastal lagoons. Actes du Symposium International sur les lagunes côtières, 8-14 septembre 1981, Bordeaux, France. *Oceanol. Acta.* N° sp : 397-401.
- Vaquier A., 1994. Eutrophisation et phytoplancton dans l'étang de Thau. Productivité primaire dans les écosystèmes "tables conchylicoles" en relation avec l'azote et le phosphore. Rapport région Languedoc-Roussillon.
- Viaroli P., Naldi M., Christian R.R. & Fumagalli I., 1993. The role of macroalgae and detritus in the nutrient cycles in a shallow-water dystrophic lagoon. *Verhandlungen International Verein der Limnologie*, **25**: 1048-1051.
- Vitiello P. & Dinet A., 1979. Définition et échantillonnage du meiobenthos. *Rapp. Comm. Mer. Medit.* **25/26** : 279-283.
- Vincke M., 1982. Population dynamics and secondary production of benthos. In: Marine Benthic dynamics. Tenore K-R. and Coull B-C (Eds)., University of South Carolina press, *Belle W. Baruch libr. Mar. Sci.*, **11**: 1-24.
- Wolff W.J. & De Wolf L., 1977. Biomass and production of zoobenthos in the Grevelingen estuary, the Netherlands. *Estuar. Caost. Mar. Sci.*, **5** (1): 1-24.
- Wolff W.J., 1973. The estuary as a habitat: an analysis of data on the soft bottom macrofauna of the estuarine area of the rivers Rhine, Meuse and Scheldt. *Zool. Verhandl. Leiden*, (126): 1-242.
- Wooldridge T. & Smith R.M., 1979. Copepod succession in two South African estuaries. *J. Plankton Res.*, **1** (4): 329-341.
- Zagami G. & Guglielmo L., 1995. Distribuzione e dinamica stagionale dello zooplancton nei laghi di Faro e Ganzirri. *Biol. Mar. Medit.*, **2** (2) : 83-88.
- Zaouali J., 1977. Le lac de Tunis : facteurs climatiques, physico-chimie et crises de dystrophiques. *Bulletin de l'Office National des Pêches Tunisie*. **1** : 37-49.
- Zaret T.M., 1982. The stability-diversity controversy: a test of hypotheses. *Ecology* **116** (3): 394-408.