République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Dr. Yahia Farès de Médéa
Faculté Des Sciences

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention de diplôme de Master

Département : Sciences de la nature & de la vie

Spécialité : Ecologie et environnement

Par :

AKKAK SELMA

BERREDJEM CHAIMA

Faune mésozooplanctonique des côtes Algéroises (baie de Bou-Ismail) : Biodiversité, composition quantitative et indices écologiques

Soutenu publiquement le : 21 Juin 2022

Devant le jury composé de :

BOUDERBALA R.	MAA	Université de Médéa	Président
GHENNAM K.	MCA	Université de Médéa	Examinateur
CHAOUADI M.	MCB	Université de Médéa	Promoteur

Médéa, 2021/2022

Remerciements

Je remercie avant tout DIEU tout puissant qui m'à combler de ses bienfaits et M'a donné assez de force pour achever ce travail et de venir au bout de Cette formation.

Á l'heure où nous apportons la touche finale à ce mémoire, Nous tenons à Remercier tout d'abord les personnes qui nous ont permis de réaliser ce Mémoire.

Nous tenons tout d'abord à l'aboutissement vivement notre promoteur, Monsieur CHAOUADI, MUSTAPHA. Qui à diriger et suivi ce travail avec patience. Pour sa compréhension, son amabilité, ses conseils précieux et surtout sa gentillesse, il nos suit du début à la fin, et il n'a cessé de mettre à ma disposition ses documents, et son propre matériel, nous adressons nos plus chaleureux remerciements à notre promoteur de fond du cœur et que dieu vous garde pour nous et pour ceux qui vous aiment, Merci.

Mes vifs remerciements vont également aux Membres du jury Mr. GHENNAM Kamel et Mme BOUDERBALA Rachida. Pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous ne sommes très honorés que monsieur GHANNEM KAMEL enseignant à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie à l'Université YAHIA FARES à Médéa Pour accepter de siéger dans ce jury et d'examiner ce travail.

Nous remercions toute l'équipe Ecosystème Pélagique, du Laboratoire d'Océanographie Biologique et de l'Environnement Marin (LOBEM) de l'Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Et laboratoire de biologie de l'université des sciences et de la technologie YAHIA FARES à Médéa.

Nous avons souhaité profiter de cette occasion pour remercier, avec un grand intérêt, toutes les personnes qui nous ont aidés, supporté, poussé, motivé, soutenu tout au long de notre cursus et de cette année.

Dédicace

Nous désirons dédicacer ce mémoire, tout particulièrement, à nos chers parents, un grand merci pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien ainsi que leurs prières tout au long de nos études. Sans vous, nous ne serions pas arrivés jusqu'ici, nous vous serons infiniment reconnaissant toute notre vie.

À nos chers frères et sœurs, Rania Lydia Ahlame Nadjoua Rachida Nasser Walid Abdel moumen Oussama Mohamed Imene merci pour leurs encouragements permanents, leur soutien moral, leur appui et leurs nombreux encouragements. Merci d'être toujours là pour nous !

Merci à toute notre famille AKKAK & BERREDJEM.

Tous nos amis NESRINE, SERE, AMEL, MOUNA, KHADIDJA, IKRAM, WISSEL, FARIDA, Amine.

Toutes les personnes, qui, de près ou de loin nous ont permis d'arriver au bout de ces années. Merci pour votre bonne humeur, votre joie de vivre ainsi que le soutien moral que vous nous avez apporté toutes ses années.

RESUME

Des investigations sur la communauté des *Copépodes* ont été effectuées au niveau la Baie de Bou Ismail entre 0 et 100 mètres de profondeur pendant la saison printanière. Les prélèvements ont été réalisés au sein de la couche épipélagique (0 – 100 m de profondeur) par l'utilisation du filet Working party 2. La faune identifiée regroupe 34 taxons appartenant à 15 familles et 23 genres. L'abondance moyenne est de 380.33 individus.m^{-3}. La dominance des espèces épipélagiques et épi-mésopélagiques reflète le caractère côtier des stations de prélèvements. Les espèces à comportement herbivore et omnivore dominent l'ensemble des échantillons. L'analyse des échantillons par la Classification Hiérarchique Ascendante a permis de différencier quatre groupements faunistiques selon leurs abondances moyennes. La forte diversité des communautés et la répartition équitable des espèces indiquent un écosystème stable.

L'étude de l'interaction des peuplements de copépodes avec les paramètres du milieu (Température, Salinité, PH et oxygène dissous) a mis en évidence trois groupements ; le premier groupement des espèces a affinités thermiques, le deuxième groupement a relié des populations herbivores à l'oxygène dissous et le troisième groupement qui relie la salinité aux espèces dite euryhalines.

Mots clés : Côtes Algériennes, Copépodes, Groupe trophique Affinité bathymétrique, stratégie d'alimentation, Indice de diversité.

Abstract

Investigations on the Copepod community were carried out at Bou Ismail Bay between 0 and 100 meters depth during the spring season. The samples were taken within the epipelagic layer (0 – 100 m depth) using the Working Party 2 net. The fauna identified includes 34 taxa belonging to 15 families and 23 genera. The average abundance is 380.33 individuals.m^{-3}. The dominance of epipelagic and epi-mesopelagic species reflects the coastal character of the sampling stations. Herbivorous and omnivorous Species dominate all the samples. The analysis of the samples by the Ascending Hierarchical Classification made it possible to differentiate four faunal groups according to their average abundances. The high diversity of communities and the equitable distribution of species indicate a stable ecosystem.

The study of the interaction of copepod populations with environmental parameters (temperature, salinity, pH and dissolved oxygen) revealed three groups; the first grouping of species with thermal affinities, the second grouping linked herbivorous populations to dissolved oxygen and the third grouping which links salinity to so-called euryhaline species.

Keywords: Algerian coasts, Copepods, Trophic group, Bathymetric affinity, Feeding strategy, Diversity index.

ملخص

أجريت الأبحاث حول مجتمع مجداف الأرجل في خليج بو إسماعيل على عمق يتراوح بين 0 و 100 متر خلال موسم الربيع. تم أخذ العينات ضمن الطبقة السطحية (عمق 0-100 م) باستخدام شبكة WP.2 . تم احصاء 34 نوعا مختلفا تنتمي إلى 15 عائلة و 23 جنساً. متوسط الوفرة 380.33 فرد م $^{-3}$. تعكس هيمنة الأنواع التي تعيش في أعماق البحار والمحيطات المتوسطة والكبيرة الطابع الساحلي لمحطات أخذ العينات. الأنواع التي تتغذى على العوالق النباتية وذات النظام الغذائي المختلط تهيمن على جميع العينات. أتاح تحليل العينات بواسطة التصنيف الهرمي التصاعدي التمييز بين أربع مجموعات حيوانية وفقًا لمتوسط وفرتها. يشير التنوع الكبير للمجتمعات والتوزيع العادل للأنواع إلى وجود نظام إيكولوجي مستقر.

كشفت دراسة تفاعل مجموعات مجدافيات الأرجل مع العوامل البيئية (درجة الحرارة ، والملوحة ، ودرجة الحموضة ، والأكسجين المذاب) عن ثلاث مجموعات ؛ المجموعة الأولى تضم الأنواع التي تصنف على أنها تتحمل الحرارة ، المجموعة الثانية ربطت العواشب بالأكسجين المذاب والمجموعة الثالثة التي تربط بعض الأنواع مع الملوحة, التي تسمى euryhaline.

الكلمات المفتاحية: السواحل الجزائرية ، مجدافيات الأرجل ، المجموعة الغذائية ، ألفة قياس الأعماق ، استراتيجية التغذية، مؤشر التنوع.

Sommaire

Introduction *……..1*

Chapitre I : Généralités

I. 1. Description des copépodes 3
I. 1. 1. Taxonomie 3
I. 1. 2. Morphologie des Copépodes 5
I. 1. 2. 1. Le céphalosome 5
I. 1. 2. 2. Le métasome 6
I. 1. 2. 3. L'urosome 6
I. 2. Reproduction des Copépodes 6
I. 3. Groupes trophiques et stratégies d'alimentation 8
I. 3. 1. Les Copépodes herbivores (phytophage) 9
I. 3. 2. Les Copépodes carnivores 9
I. 3. 3. Les Copépodes omnivores 9
I. 4. Répartition des Copépodes 9
I. 5. Ecologie des espèces 11

Chapitre II : Matériel & Méthodes

II. 1. Côte Algérienne 12
II. 2. Situation hydrodynamique et hydrologique de la côte Algérienne 12
II. 2. 1. Masses d'eau 12
II. 2. 1. 1. Modified Atlantic Water (MAW) 12
II. 2. 1. 2. Eau intermédiaire hivernale (Winter Intermediate Water) 12
II. 2. 1. 3. Eau levantine intermédiaire (Levantine Intermediate Water) 12
II. 2. 1. 4. Eau méditerranéenne profonde (Western Mediterranean Deep Water) 13
II. 2. 2. Hydrodynamisme de la baie de Bou Ismail et conséquences hydrologiques 13
II. 3. Situation géographique de la baie de Bou Ismail 15
II. 4. Climatologie de la baie de Bou Ismail 15
II. 5. Bathymétrie de la baie de Bou Ismail. 16
II. 6. Stations de prélèvements zooplanctonique 17
II. 7. Méthodologie 18
II. 7. 1. Prélèvement des peuplements zooplanctoniques 18
II. 7. 2. Fixation des échantillons 18
II. 7. 3. Dénombrement et identification des Copépodes 19
II. 8. Traitement et analyse des données 19
II. 8. 1. Etude qualitative 19
II. 8. 1. 1. Classification taxonomique 19
II. 8. 1. 2. Richesse spécifique 20
II. 8. 1. 3. Fréquence d'occurrence 20
II. 8. 1. 4. Comparaison qualitative entre les stations d'étude 21
II. 8. 2. Etude quantitative 21
II. 8. 2. 1. Abondance par unité de volume et abondance relative 21
II. 8. 2. 2. Comparaison des abondances et affinités quantitatives 21
II. 8. 2. 3. Relation des peuplements de Copépodes avec les paramètres hydrologiques 22
II. 8. 3. Analyse structurelle 22
II. 8. 3. 1. Indices de diversité 22
II. 8. 3. 2. Indice d'équitabilité 23
II. 8. 3. 3. Les Diagrammes Rangs-Fréquences (DRF) 23

Chapitre III : Résultats

III. 1. Caractéristiques hydrologiques de la zone d'étude *25*
III. 1. 1 Température *25*
III. 1. 2. Salinité *26*
III. 1. 3. PH *26*
III. 1. 4. Oxygène dissous *27*
III. 2. Biodiversité taxonomique *27*
III. 3. Richesse spécifique *29*
III. 4. Fréquence d'occurrence *30*
III. 5. Composition des groupes trophiques, stratégies d'alimentations et affinités bathymétriques *30*
III. 5. 1. Groupes trophiques *32*
III. 5. 2. Stratégies d'alimentation *34*
III. 5. 3. Affinité bathymétrique *36*
III. 6. Etude quantitative des peuplements de Copépodes *38*
III. 6. 1. Abondance totale *38*
III. 6. 2. Compositions faunistiques: comparaisons et affinités quantitatives *38*
III. 6. 3. Abondance par groupe trophique *41*
III. 6. 4. Abondance par stratégie d'alimentation *42*
III. 6. 5. Abondance par affinité bathymétrique *43*
III. 7. Relation des peuplements de Copépodes avec la variabilité environnementale *45*
III. 8. Analyse structurale *48*

Chapitre IV : Discussion générale

IV. 1. Composition qualitative et comparaisons avec les autres régions de l'océan mondial *50*
IV. 2. Abondances totales, contribution des herbivores et adaptation à la stratégie d'alimentation *51*
IV. 3. Affinité bathymétrique des populations prélevées *52*
IV. 4. Effets de la variabilité environnementale sur la répartition des espèces *52*
IV. 5. Successions écologiques et niveaux de productions des écosystèmes *53*
Conclusion générale *54*
Références bibliographiques *55*

Liste des figures

Figure 1. Différents ordres de la sous classe des Copépodes (in Chaouadi, 2019) *3*
Figure 2. Phylogénie des Copépodes (Huys & Boxshall, 1991) *4*
Figure 3. Morphologie et appendices d'un copépode femelle en vue ventrale (Rose, 1933) *5*
Figure 4. L'accouplement le plus fréquent chez les copépodes (in Tierwelt Deutschlands,9, 1928) *7*
Figure 5. Cycle de développement d'un Copépode calanoïde (Katona, 1971) *8*
Figure 6. Aires de répartitions géographiques de la sous classe des Copépodes (Razouls et al., 2005-2022) *10*
Figure 7. La chaîne alimentaire marine (Source : Station Biologique de Roscoff, A. Michel) *11*
Figure 8. Circulation de l'eau atlantique modifiée le long des côtes algériennes (Millot & Taupier-Letage., 2005) *14*
Figure 9. Front des côtes algériennes (aire en pointillée). Image satellitaire (CZCS, Nimbus 7) (In Chaouadi, 2019) *14*
Figure 10. Localisation géographique de la Baie de Bou Ismail *15*
Figure 11. Topographie de la baie de Bou-Ismail (Leclaire,1972) *16*
Figure 12. Localisation géographique des stations de prélèvements *17*
Figure 13. Filet WORKING Party II (Tranter & Fraser, 1968) *18*
Figure 14. Représentation théorique des différents stades de succession écologique par les diagrammes rangs-fréquences dans une communauté de plancton (Frontier, 1985) *24*
Figure 15. Variations de la température (^{o} C) au niveau de la baie de Bou Ismail *25*
Figure 16. Variations de la salinité au niveau de la baie de Bou Ismail *26*
Figure 17. Variations du PH au niveau de la baie de Bou Ismail *26*
Figure 18. Variations de l'oxygène dissous au niveau de la baie de Bou Ismail *27*
Figure 19. Richesse spécifique identifiée au niveau de la baie de Bou Ismail *29*
Figure 20. Répartition des groupes trophiques issus de la baie de Bou Ismail *33*
Figure 21. Répartition des groupes trophiques au sein des 3 stations *34*
Figure 22. Répartition des stratégies d'alimentations au sein de la baie de Bou Ismail *35*
Figure 23. Répartition des stratégies d'alimentation au sein des 3 stations *36*
Figure 24. Répartition des affinités bathymétriques au sein de la baie de Bou Ismail *36*
Figure 25. Répartition des affinités bathymétriques au sein des 3 stations *37*
Figure 26. Abondances totales (individus.m-3) des Copépodes au sein de site d'étude *38*
Figure 27. Comparaisons et affinités quantitatives de la faune issue de la baie de Bou Ismail *40*
Figure 28. Abondances totales des groupes trophiques au sein de la baie de Bou Ismail *41*
Figure 29. Répartition par station des abondances selon le groupe trophique *42*
Figure 30. Abondances selon la stratégie d'alimentation au sein de la Baie de Bou Ismail *42*
Figure 31. Répartition par station des abondances selon la stratégie d'alimentation *43*
Figure 32. Affinité bathymétrique des prélèvements issus de la baie de Bou Ismail *44*
Figure 33. Répartition par station des abondances selon l'affinité bathypélagique *45*
Figure 34. Relation des populations de Copépodes avec la variabilité hydrologique au sein de la baie de Bou Ismail *47*
Figure 35. Variation de la diversité spécifique et de l'équitabilité au niveau de la baie de Bou Ismail *48*
Figure 36. Etats de la succession écologique au sein de la faune de Copépodes issue de la baie de Bou Ismail *49*

Liste des tableaux

Tableau 1. Répartition de la biodiversité des espèces de Copépodes dans l'océan mondial (Razouls et al., 2005-2022) *10*
Tableau 2. Coordonnées géographiques des stations d'échantillonnages *17*
Tableau 3. Paramètres abiotiques mesurés au niveau des stations de prélèvements *25*
Tableau 4. Biodiversité taxonomique de la faune des Copépodes issue de la baie de Bou Ismail *28*
Tableau 5. Comparaison qualitative entre les stations de prélèvement *29*
Tableau 6. Répartition des espèces de Copépodes selon les groupes fonctionnels *31*
Tableau 7. Signification des codes utilisés dans la classification hiérarchique *40*
Tableau 8. Signification des variables (espèces) sélectionnées *46*
Tableau 9. Saturations des variables issues de de la baie de Bou Ismail avec les axes F1 et F2 ..... *46*
Tableau 10. Niveaux des biodiversités de la faune de Copépodes liés aux différentes régions de la Méditerranée *50*

Introduction

La répartition des communautés zooplanctoniques et leurs mouvements au sein des masses d'eaux sont d'une importance capitale pour la compréhension du fonctionnement de l'écosystème marin (Boucher *et al.*, 1987 ; Beaugrand, 2009).

Du fait de leurs sensibilités aux paramètres environnementaux, les peuplements de Copépodes constituent un des meilleurs modèles biologiques pour les études relatives à la production et à la structure des écosystèmes pélagiques (Sameoto, 1986 ; Anneville *et al.*, 2007). Ce sont les composantes majoritaires au sein des biomasses et des abondances zooplanctoniques (Gaudy, 1985; Mauchline, 1998; Frangoulis *et al.*, 2004, Siokou-Frangou *et al.*, 2010), ces organismes représentent plus de 70% des abondances et des biomasses zooplanctoniques (Ben-Hamadou *et al.*, 2008).

Ce sont les principaux producteurs secondaires du milieu marin (Huys & Boxshall, 1991, Mauchline, 1998). Dans la chaîne trophique, ils jouent un rôle fondamental en tant que brouteurs des producteurs primaires (Halvorsen *et al.*, 2001; Benedetti, 2016). Par conséquent, les Copépodes constituent l'une des sources de nourriture pour les niveaux trophiques supérieurs. Ils transfert de la matière organique vers les niveaux trophiques supérieurs. Ils ont un rôle déterminant dans les échanges de carbone entre l'océan et l'atmosphère et entre la surface et les profondeurs des océans (Falkowski *et al.*, 1998; Barton *et al.*, 2013).

Au niveau des côtes Algériennes, les études antérieures consacrées aux Copépodes pélagiques ont privilégié surtout les aspects qualitatifs, descriptifs et de biologie générale (Rose, 1933; Rose & Vaissiére, 1953). D'autres ont mis l'accent sur la distribution verticale et sur l'écologie des peuplements (Mazza, 1962 ; Bernard, 1958, 1971 ; Seguin, 1973).

Les travaux relatifs à la composition et à la distribution quantitative des Copépodes sont peu nombreux (Seridji & Hafferssas, 2000 ; Riandey *et al.*, 2005 ; Hafferssas *et al.*, 2010 et Chaouadi & Hafferssas, 2018).

En Méditerranée, les variations des peuplements de Copépodes sont plus prononcées dans les eaux côtières qu'au large (Di Carlo *et al.*, 1984; Fernández de Puelles *et al.*, 2003); elles sont liées aux caractéristiques hydrologiques des masses d'eaux (Riandey *et al.*, 2005; Fernández de Puelles *et al.*, 2007; Hafferssas & Seridji, 2010; Romagnan *et al.*, 2015). Les abondances maximales sont liées à la période froide (Fernández de Puelles *et al.*, 2003, Mazzocchi *et al.*, 2014). Les populations sont surtout localisées dans la couche épipélagique (0 - 200 mètres)

(Di Carlo *et al.*, 1984, Mazzocchi *et al.*, 2003, Brugnano *et al.*, 2012). Les communautés y sont composées principalement d'espèces épipélagiques et épi-mésopélagiques (Benedetti *et al.*, 2015).

Dans cette présente contribution, la biodiversité des communautés zooplanctoniques de Copépodes et ses variations qualitatives (biodiversité taxonomique), quantitatives et structurales (stades de succession écologique) ont été analysées.

Les échantillons nécessaires pour la réalisation de cette étude ont été fournis par le Centre National de la Recherche et du Développement de la Pêche et de l'Aquaculture (CNRDPA).

En ce qui concerne la présentation de ce travail, il a été divisé en 4 chapitres. A la suite de l'introduction. Le premier chapitre traite les généralités sur les Copépodes. Le deuxième chapitre est consacré à la méthodologie suivie pour l'échantillonnage des peuplements et les techniques utilisées pour leurs identifications afin d'interpréter les principaux résultats. Sur le troisième chapitre, y figure les interprétations et les analyses des résultats liés aux paramètres environnementaux, inventaires taxonomiques, distributions qualitatives et quantitatives des peuplements et les stades de succession écologique. Enfin, un dernier chapitre porte sur la discussion de ces résultats et leurs comparaisons avec les autres régions de la méditerranée.

Chapitre I

Généralités

I. 1. Description des copépodes

I. 1. 1. Taxonomie

La sous-classe des Copépodes, liée au sous-embranchement des Crustacés, montre une grande diversité d'espèces (Dudley, 1986). Elles représentent entre 55 % et 95 % des abondances zooplanctoniques totales (Longhurst, 1985). Ces dernières détiennent plus de 70 % des biomasses zooplanctoniques (Razouls *et al.*, 2005-2022).

Les copépodes forment un groupe diversifié on y distingue actuellement 9 ordres (Fig. 1 et 2). Environ 210 familles, 2400 genres et de plus de 14000 espèces. Dont plus de 10000 sont marines.

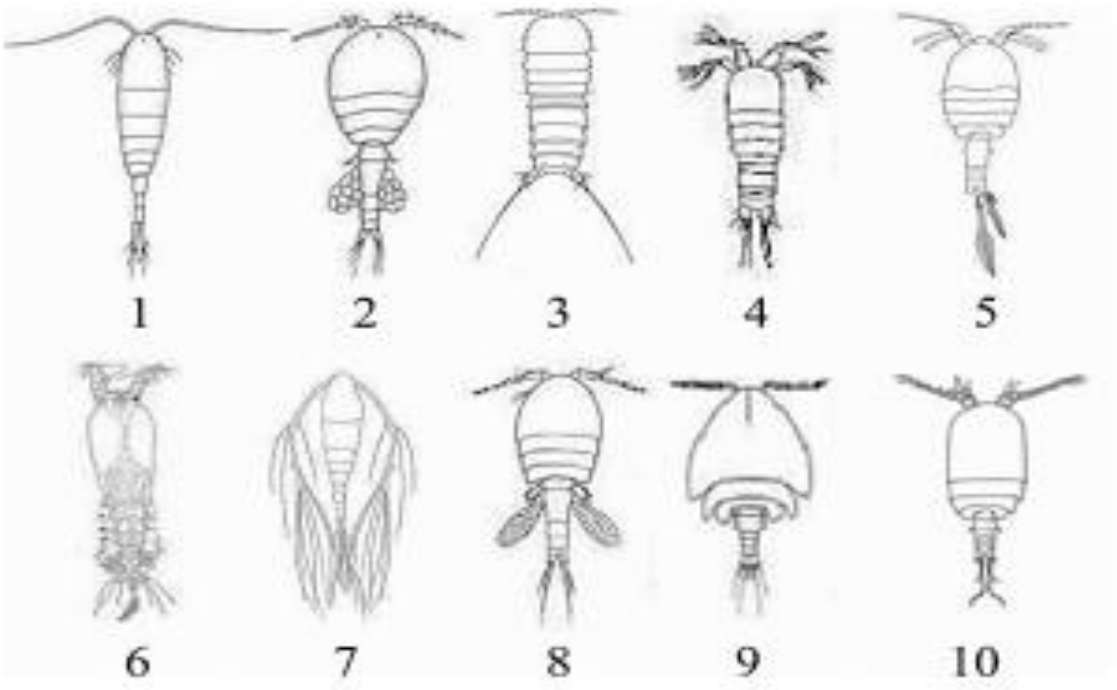


Figure 1. Différents ordres de la sous classe des Copépodes (in Chaouadi, 2019)

1:Platycopioida, 2: Calanoida, 3: Misophrioida, 4: Gelyelloida, 5: Cyclopoida, 6:Harpacticoida, 7: Mormonilloida, 8: Poecilostomatoida, 9: Siphonostomatoida,10 :Monstrilloida.

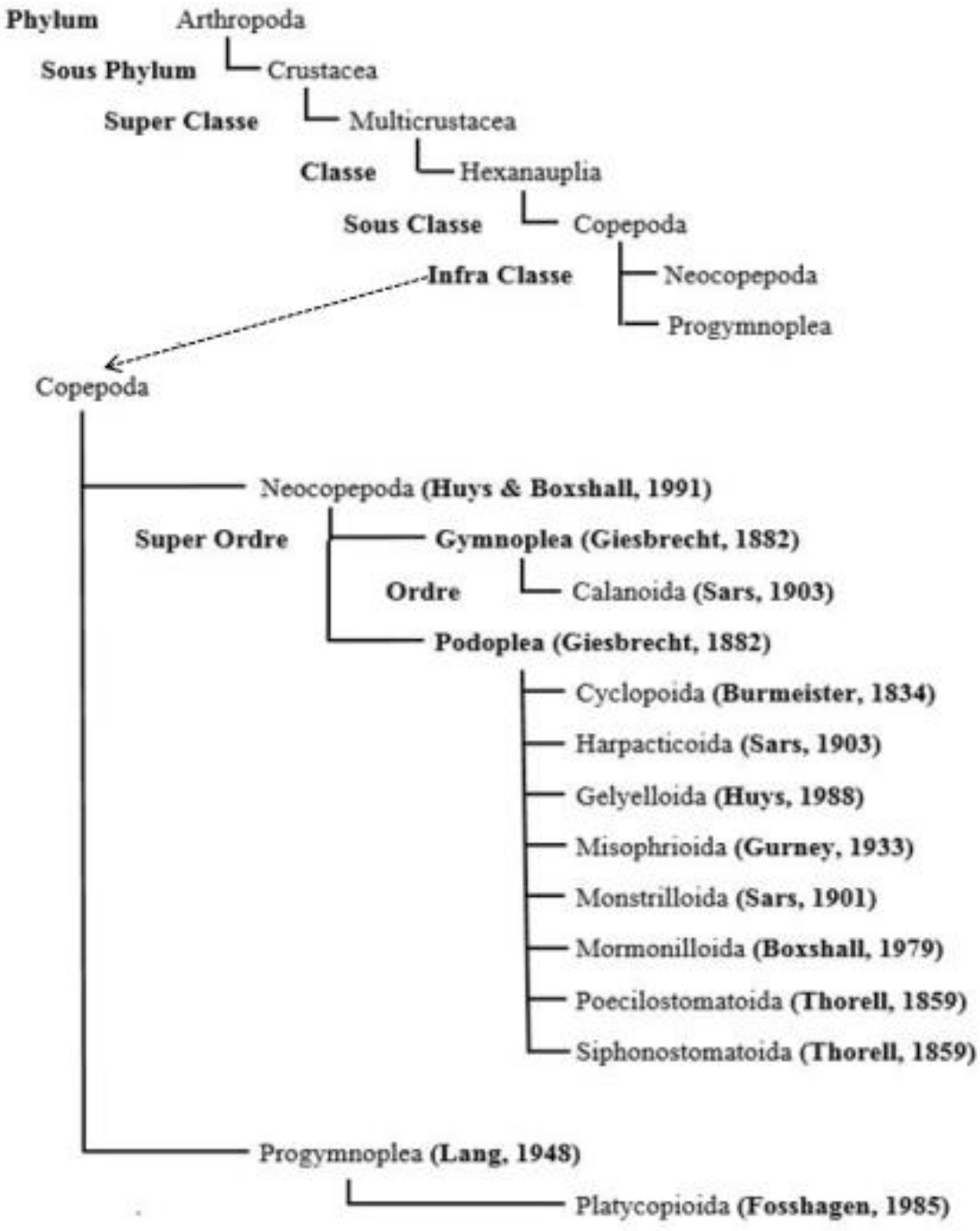


Figure 2. Phylogénie des Copépodes (Huys & Boxshall, 1991)

I. 1. 2. Morphologie des Copépodes

Les Copépodes ont un corps de petite taille le plus souvent fusiforme, enveloppé d'un tégument chitineux. Ils mesurent de 0,3 à 8 mm de longue. Leur corps est constitué de trois parties : la tête (Céphalosome), le thorax (Métasome) et l'abdomen (Urosome) (Fig. 3).

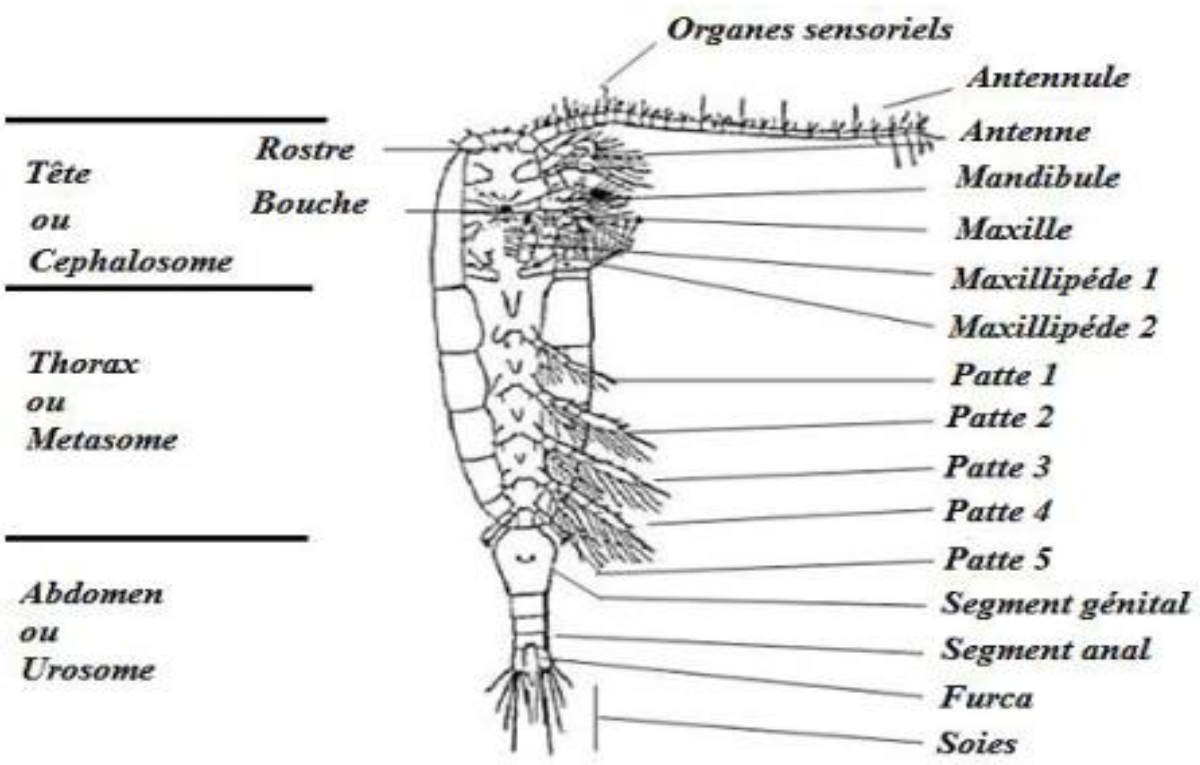


Figure 3. Morphologie et appendices d'un copépode femelle en vue ventrale (Rose, 1933)

I. 1. 2. 1. Le céphalosome

Il est constitué de 6 segments portant ventralement des appendices transformés en organes natatoires, préhensiles ou masticatoires (rostre, labre, paire de mandibules, de maxillules, maxilles, et de maxillipèdes.) en avant du labre sont insérées deux paires d'antennes : les antennules et les antennes, on observe l'œil nauplie unique à la surface du cerveau et caractéristique des copépodes.

I. 1. 2. 2. Le métasome

Il est constitué de 5 segments tous porteurs ventralement d'appendices natatoires ou préhensiles. Si le premier segment est soudé au céphalosome, on l'appelle alors céphalothorax. Le cinquième segment peut être soit réduit, soit soudé au quatrième. La paire d'appendice correspondante peut être réduite, atrophiée ou soudée au segment qui la porte.

I. 1. 2. 3. L'urosome

Il est composé de quatre segments (dont le segment génital et le segment anal) souvent soudée et sans appendices. Sur le dernier est inséré le telson pour former la furca (deux branches parallèles ou plus ou moins divergentes) dont la disposition, la forme et la structure servent dans l'indentification des espèces et des genres, Chaque branche fucale porte 6 soies.

On peut distinguer trois types principaux de copépodes selon la forme du corps et les particularités des segments et des appendices :

- ***Calanoïde :*** correspondant à des copépodes le plus souvent planctoniques.

- ***Cycloïde :*** correspondant à des animaux soit planctonique soit benthiques.

- ***Harpacticoide :*** benthique et colonisant la plupart des milieux humides.

I. 2. Reproduction des Copépodes

Les Copépodes sont caractérisés par un dimorphisme sexuel. Par conséquent, la reproduction nécessite un accouplement entre les organismes mâles et femelles. La reproduction peut être étalée sur toute l'année ou selon les saisons. Elle est liée à deux paramètres : l'abondance des ressources nutritives et à la température (Razouls *et al.*, 2005-2022).

Durant la reproduction, la femelle peut recevoir une dizaine de spermatophores qui peuvent appartenir à des mâles différents (Razouls *et al.*, 2005-2022). Après la fécondation, les œufs sont émis de deux manières différentes :

- Emission libre (free spawner) dans la colonne d'eau;

- Emission à partir des sacs ovigères (egg bearing).

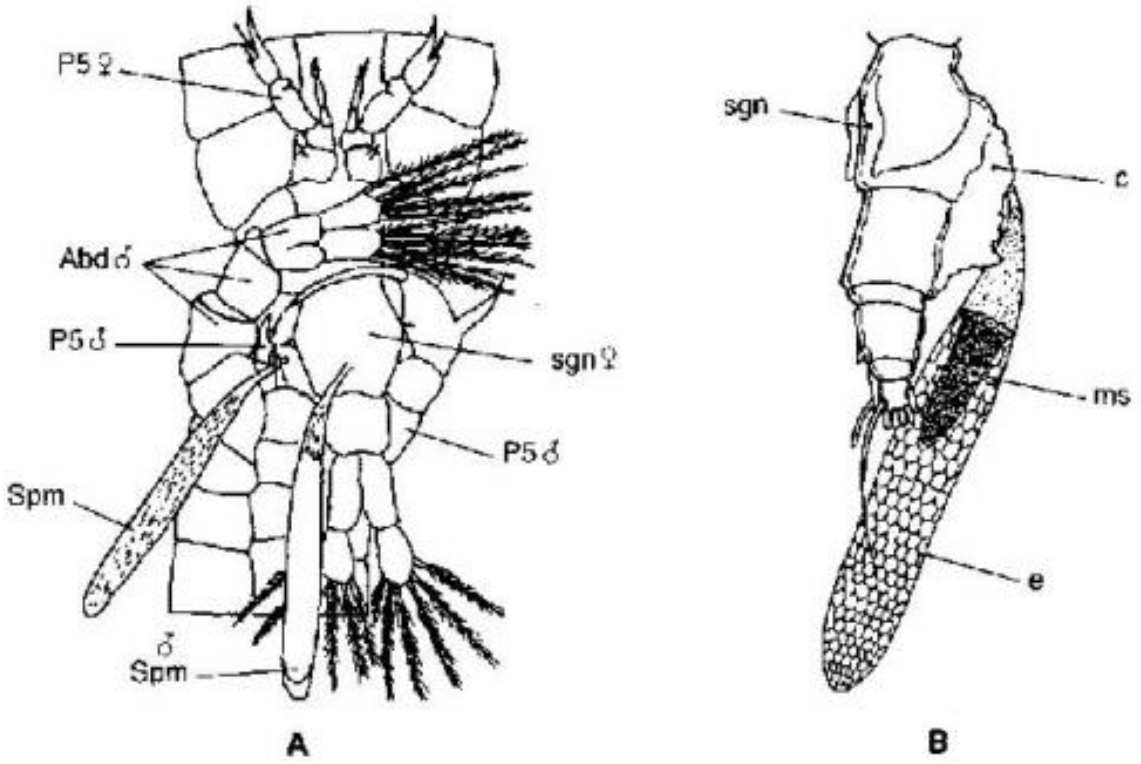


Figure 4. L'accouplement le plus fréquent chez les copépodes (in Tierwelt Deutschlands,9, 1928)
A : Accouplement chez les Copépodes Calanoïdes (Diaptomidae); B : Spermatophore fixé sur l'abdomen de Candacia bipinnata (vue latérale) (Rose, comm. pers.); Abd : segments abdominaux du mâle; c : cément de fixation au col du spermatophore; e : sac externe du spermatophore; ms : masse spermatique; P5 : pattes "natatoires" modifiées de la femelle et du mâle; Spm : spermatophore; sgn : "segment" génital de la femelle.

Dans un premier temps, le male mature est attiré par l'émission de phéromones par la femelle. Ces phéromones possèdent un champ d'action assez large comparé à la taille des Copépodes. Un male pouvant repérer une femelle à plus de 100 fois sa propre taille.

Une fois la femelle repérée. Le male s'en approche et la saisie au niveau de l'abdomen à l'aide de sa cinquième paire de patte modifiée en crochets et en s'aident parfois de ses antennes préhensiles lorsqu'il en est muni il peut alors déposer une sorte de sac allongé contenant le liquide séminal, le spermatophore, à proximité de l'orifice génital de la femelle. La male relâche ensuit la femelle assez rapidement.

Le cycle de développement des Copépodes est caractérisé par plusieurs stades (nauplius, copépodites et adultes) : 6 stades nauplius (N1 à N6) ; 5 stades copépodites (C1 à C5) et l'état Adulte ou mature (Fig. 5). Comme chez tous les Arthropodes, le passage d'un stade à l'autre n'est pas graduel. Il est marqué par une mue où l'animal quitte son ancienne cuticule pour en produire une nouvelle (Peterson *et al.,* 1991). Une fois le stade adulte atteint, contrairement aux crustacés à habitats terrestres, la mue et la croissance des organismes s'arrêtent. Les Copépodes adultes peuvent vivre plusieurs mois (Rose, 1933).

Parfois, lorsque les conditions sont défavorables (manque de nourriture), les femelles pondent des œufs de résistance (ou de diapause) ; ils n'éclosent pas immédiatement et sont enfouis dans le sédiment. Ils reprennent le cycle de développement qu'au retour des conditions favorables, à partir d'une remise en suspension des sédiments par les courants marins (Glippa, 2011).

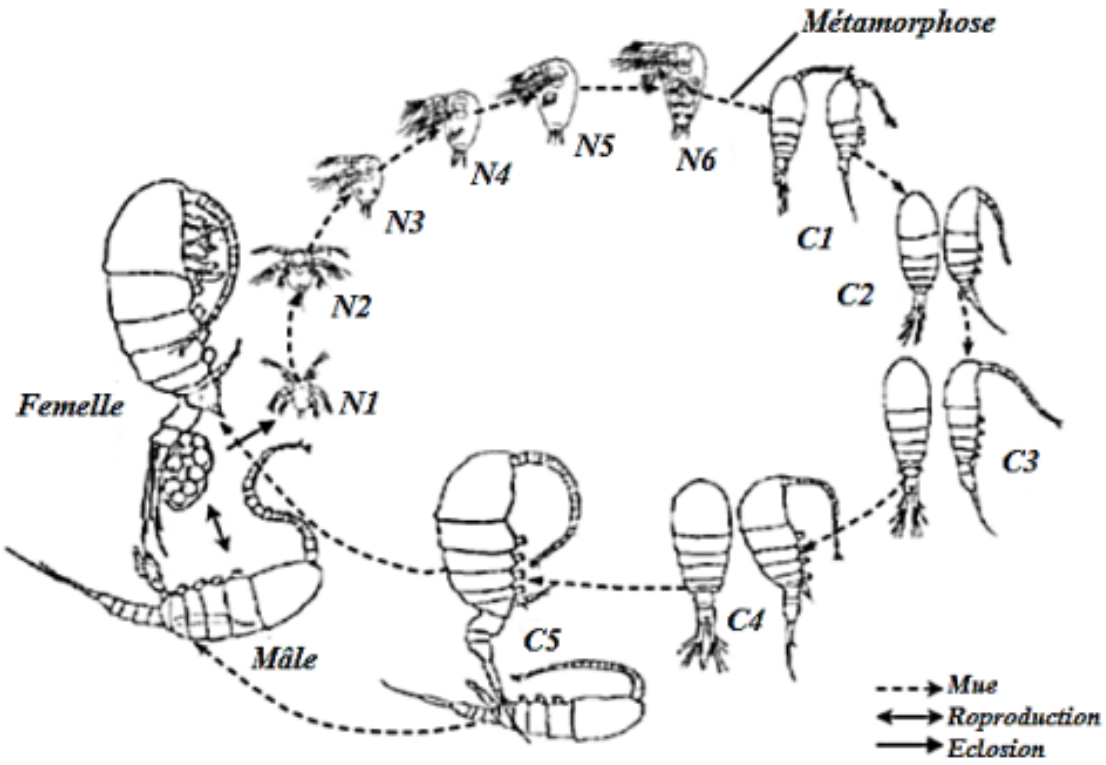


Figure 5. Cycle de développement d'un Copépode calanoïde (Katona, 1971)

N et C correspondent respectivement aux différents stades Nauplii et Copépodites

I. 3. Groupes trophiques et stratégies d'alimentation

L'alimentation des Copépodes et très variable d'une espèce à l'autre, d'une classe d'âge à l'autre ainsi que d'un milieu à l'autre et varie même en fonction des saisons. Elle obéit néanmoins à certaines règles (Chaouadi, 2019).

I. 3. 1. Les Copépodes herbivores (phytophage)

Ils sont presque toujours des filtreurs. Ils utilisent leurs appendices buccaux pour créer des courants qui convergent vers un système de soies forment un tamis qui concentre la nourriture avant que celle-ci ne soit conduite vers la bouche pour être ingérée.

Les proies ainsi capturées sont le plus souvent des algues unicellulaires de petite taille (5 à 50um) qui constituent l'essentiel du phytoplancton en eau douce comme en eau de mer.

I. 3. 2. Les Copépodes carnivores

Ces derniers ne filtrent pas l'eau mais capturent directement leurs proies après avoir détecté leur mouvement. Ces proies pouvant être des protozoaires (Seguin *et al.*, 1997).

I. 3. 3. Les Copépodes omnivores

Ce sont des Copépodes qui alternent entre des comportements phytophages et carnivores. Ils peuvent se nourrir à partir des détritus organiques. Ces derniers, sont souvent colonisés par des bactéries qui améliorent leur valeur nutritionnelle (Giron, 1963).

Les Copépodes développent plusieurs stratégies afin de s'alimente.

- Alimentation par embuscade active (Active Ambush-Feeding);

- Alimentation par croisière (Cruise Feeding);

- Alimentation par filtration (Filter Feeding)

- Alimentation mixte (Mixed Feeding). Dans le cas de cette dernière stratégie, les espèces passent d'une stratégie d'alimentation à une autre (Kiørboe, 2011).

I. 4. Répartition des Copépodes

Dans l'océan mondial, les Copépodes sont très abondants. Ils ont une large répartition géographique (Fig. 6).

L'océan mondial est composé par un total de 2693 Copépode pélagique (Razouls *et al.*, 2005-2022). Le nombre des espèces varie d'une zone à une autre (Fig. 6 et Tab. 1). La plus grande

biodiversité a été signalée au sein de l'océan Indien (plus de 900 espèces). Le plus faible inventaire (moins de 200 espèces) a été enregistré au niveau de l'océan Arctique.

Le Copépode faune de la mer Méditerranée et la mer Noire est composée par 588 espèces.

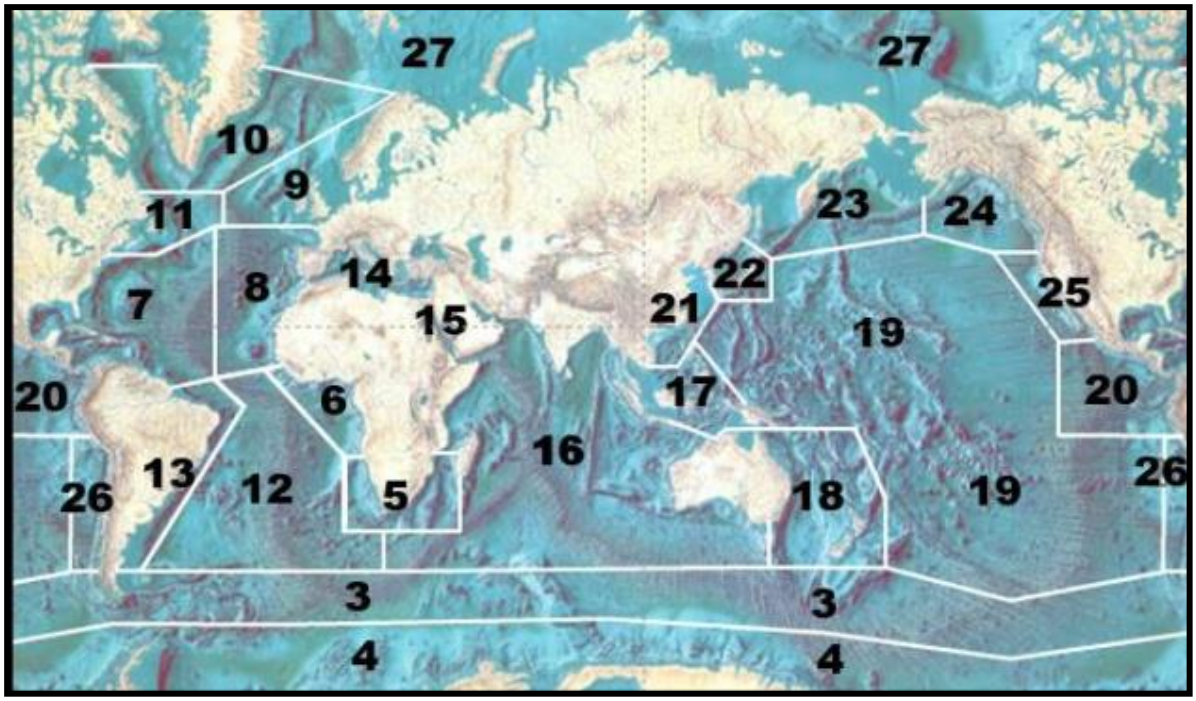


Figure 6. Aires de répartitions géographiques de la sous classe des Copépodes (Razouls et al., 2005-2022)

Tableau 1. Répartition de la biodiversité des espèces de Copépodes dans l'océan mondial (Razouls et al., 2005-2022)

Codes	*Zones*	*Nombre d'espèces*	*Codes*	*Zones*	*Nombre d'espèces*
3	*Subantarctique*	*286*	*16*	*Océan Indien*	*992*
4	*Antarctique*	*302*	*17*	*Golfe de Thaïlande*	*656*
5	*Afrique du Sud*	*291*	*18*	*Australie*	*549*
6	*Golfe de Guinée*	*373*	*19*	*Pacifique Tropical-Central*	*549*
7	*Mer des Antilles*	*724*	*20*	*Pacifique Tropical-Est*	*518*
8	*Ile du Cap Vert*	*760*	*21*	*Mer de Chine*	*646*
9	*Irlande*	*393*	*22*	*Mer du Japon*	*718*
10	*Islande du Sud*	*202*	*23*	*Pacifique Nord-Ouest*	*370*
11	*Cap Cod*	*261*	*24*	*Pacifique Nord-Est*	*299*
12	*Atlantique Sud Central*	*340*	*25*	*Golfe de Californie*	*459*
13	*Brésil Argentine*	*398*	*26*	*Pacifique Sud-Est*	*437*
14	*Mer Méditerranée - Mer Noire*	*588*	*27*	*Océan Arctique*	*191*
15	*Mer Rouge*	*279*			

I. 5. Ecologie des espèces

Les Copépodes jouent un rôle très important dans l'équilibre écologique de la plupart des écosystèmes. Ces animaux occupent en effet une position clé dans la chaine alimentaire (Fig. 7). Ils constituants un lien entre le monde microbien au sein duquel ils puissent leurs nourritures et les nombreuses espèces de poisson de crevette ou de méduses qui s'en nourrissent. Ils transfèrent de la matière organique des producteurs primaires vers les niveaux trophiques supérieurs (Antajan *et al.*, 2008): ils participent activement au recyclage du carbone dans l'océan (Mayzaud & Pakhomov, 2014).

Certaines populations (*Calanus helgolandicus*, *Centropages typicus* et *C. hamatus*) sont tolérantes aux variations des conditions environnementales (température, salinité et nutriments) (Gaudy & Champalbert, 1998). Néanmoins, d'autres populations (*Calanus fenmanchicus*) sont très sensibles à ces variations (Beaugrand, 2005).

D'autres populations constituent de bons indicateurs hydrologiques. A proximité des côtes algériennes, la signalisation des espèces inféodées au courant Atlantique est liée à la circulation de la masse d'eau atlantique (Hafferssas, 2010). Par ailleurs, La mention au sein de la couche superficielle des populations bathypélagiques, est expliquée par les mouvements dynamiques des masses d'eau à l'échelle verticale. On y cite surtout les mouvements de résurgences côtières (Boucher *et al.*, 1987).

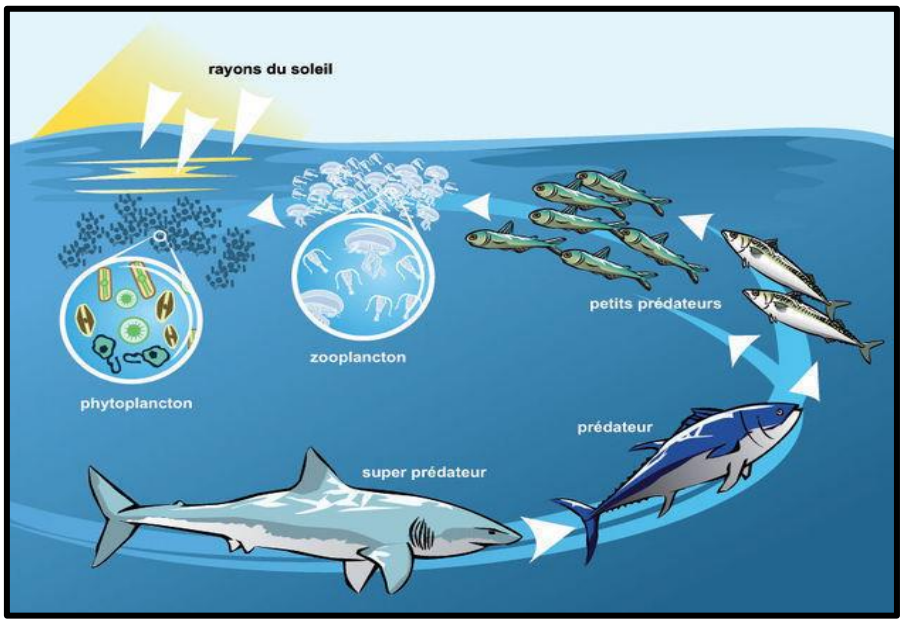


Figure 7. La chaîne alimentaire marine (Source : Station Biologique de Roscoff, A. Michel)

Chapitre II

Matériel

&

Méthodes

II. 1. Côte Algérienne

La côte Algérienne s'étend sur une façade maritime de plus de 1 622 km. Elle est localisée entre les longitudes de 02°03'W et 08°38'E et les latitudes de.35°02'N et 36°57'N. Elle est répartie entre deux zones géographiques : la mer d'Alboran et le bassin Algérien. Ces deux dernières sont fortement influencées par la circulation de l'eau Atlantique (Millot, 1985). En outre, à l'Ouest, la côte Algérienne est caractérisée par des remontées des eaux profondes (Hafferssas *et al.*, 2010).

II. 2. Situation hydrodynamique et hydrologique de la côte Algérienne

La côte Algérienne est une aire géographique partagée entre la mer d'Alboran et le bassin Algérien. Le flux d'eau Atlantique arrive en surface via le détroit de Gibraltar.

II. 2. 1. Masses d'eau

Les côtes Algériennes sont caractérisées par la présence de quatre types de masses d'eau (Onken & Sellschopp, 2001 ; Yebra *et al.*, 2009):

II. 2. 1. 1. Modified Atlantic Water (MAW)

Au niveau de la couche superficielle, entre la surface et 150 mètres de profondeur, la MAW s'y localise. Elle est définie par une faible salinité, inférieure à 37.5 (Hafferssas & Seridji, 2010).

II. 2. 1. 2. Eau intermédiaire hivernale (Winter Intermediate Water)

Localisée au-dessous de la MAW entre 150 et 400 mètres d'immersion (Millot, 1999). La température au sein de cette couche d'eau régresse jusqu'à atteindre un minimum relatif (13.07°C – 13.37°C) à 300 m de profondeur. Ce minimum reflète la présence de l'eau hivernale. Cette masse d'eau est aussi caractérisée par une salinité qui varie entre 37.5 et 38.3.

II. 2. 1. 3. Eau levantine intermédiaire (Levantine Intermediate Water)

Cette masse d'eau est formée dans le bassin levantin. Au sein du bassin algérien, elle est présente sous forme de lentilles (Millot, 1999). La LIW se situe entre 400 et 550 mètres de profondeur. Elle est identifiée par une température minimale de 13°C et une salinité supérieure à 38 (Ruiz *et al.*, 2002).

II. 2. 1. 4. Eau méditerranéenne profonde (Western Mediterranean Deep Water)

Cette masse d'eau s'étale de 550 à des profondeurs situées au-delà de 1000 mètres. La WMDW est caractérisée par de faibles températures (12.7°C à 12.9°C). La salinité y est de l'ordre de 38.5 (Benzohra & Millot, 1995).

II. 2. 2. Hydrodynamisme de la baie de Bou Ismail et conséquences hydrologiques

Dans cette zone, l'eau Atlantique modifiée s'écoule sous la forme d'un jet instable de l'Ouest vers l'Est (Fig. 8). Son débit est estimé à 1.7 Sverdrup (Sv) (Benzohra & Millot, 1995). Cette masse d'eau prend la dénomination du courant algérien. Il est côtier (30 à 50 Km de la côte).

Il est caractérisé souvent par des écoulements instables; il y génère des tourbillons anticycloniques et cycloniques (Fig. 8). Leurs diamètres varient entre 50 et 100 kilomètres (Millot, 1985).

Au fur et à mesure de leurs écoulements vers l'Est, les tourbillons cycloniques dégénèrent. En sub - surface (70 à 80 mètres de profondeur), les parties centrales des tourbillons cycloniques sont très productives Les concentrations chlorophylliennes sont maximales (de 4 à 8 $mg.m^{-3}$).

Les tourbillons anticycloniques peuvent dégénérer en quelques mois, ou quelques semaines (Millot, 1999). Ce sont des structures oligotrophes. Les maximums de sub-surface (à 100 m de profondeur) sont faibles (0.8 $mg.m^{-3}$). Ils sont souvent associés à des upwellings. (Riandey *et al.*, 2005).

Les travaux de la campagne Médiprod VI (Raimbault *et al.*, 1993; Hafferssas *et al.*, 2010) ont montré qu'en absence des structures tourbillonnaires, un front s'est installé au sein du bassin algérien, entre 1°E et 4°E; l'affrontement de la MAW et l'eau méditerranéenne de surface donne naissance à une zone productive de type frontale (Fig. 9). Celle-ci est caractérisée par un gradient halin séparant la zone côtière (Salinité < à 36.6) de la zone du large (Salinité > à 36.8) (Hafferssas & Seridji, 2010).

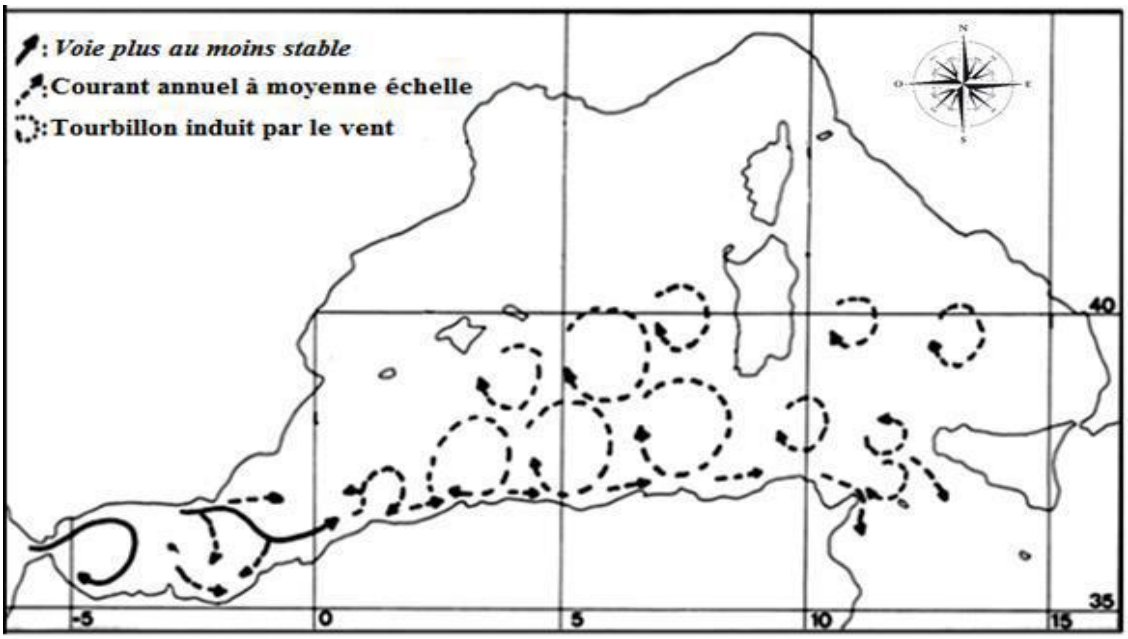


Figure 8. Circulation de l'eau atlantique modifiée le long des côtes algériennes (Millot & Taupier-Letage., 2005)

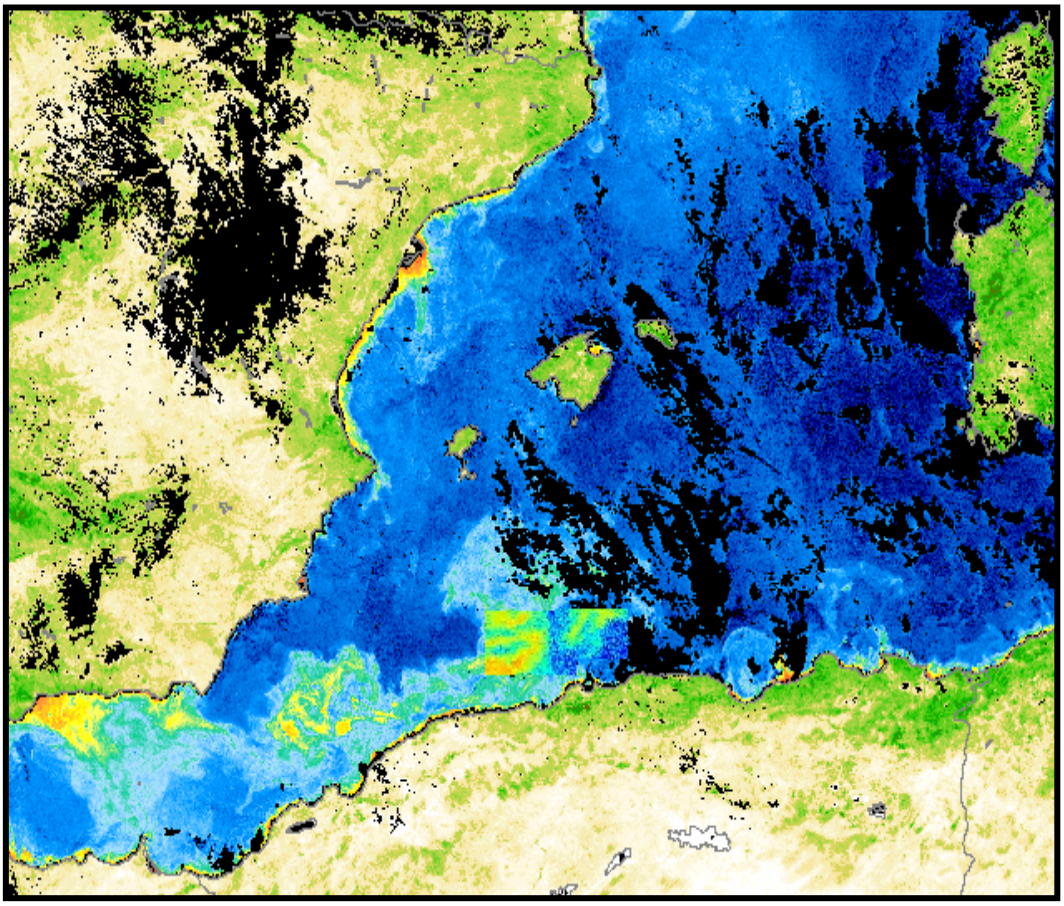


Figure 9. Front des côtes algériennes (aire en pointillée). Image satellitaire (CZCS, Nimbus 7) (In Chaouadi, 2019)

II. 3. Situation géographique de la baie de Bou Ismail

Notre site d'étude se trouve au large de la presqu'ile de Sidi Fredj, située au sein de la baie de Bou Ismail (ex : golfe de Castiglione) (Fig. 10). Il est limité à l'Est par le promontoire de Ras Acrata et à l'Ouest par le cap du Mont Chenoua.

La baie a une superficie de 509 Km^2.Comme toute la côte algérienne, le plateau continental de la baie de Bou-Ismail est étroit avec une largeur variante ; entre 3 kilomètres pour la limite Est (Sidi Fredj) et 13 kilomètres pour la frontière Ouest (Mont Chenoua) (Vaissière & Fredj, 1963). Ce qui lui confère une province océanique plutôt que néritique (Chalabi, 1998).

Sa largeur est d'environ 620 mètres. Elle forme deux baies très ouvertes; s'étendant de la baie d'El Djamila (Est) jusqu'aux côtes de Zéralda (Ouest).

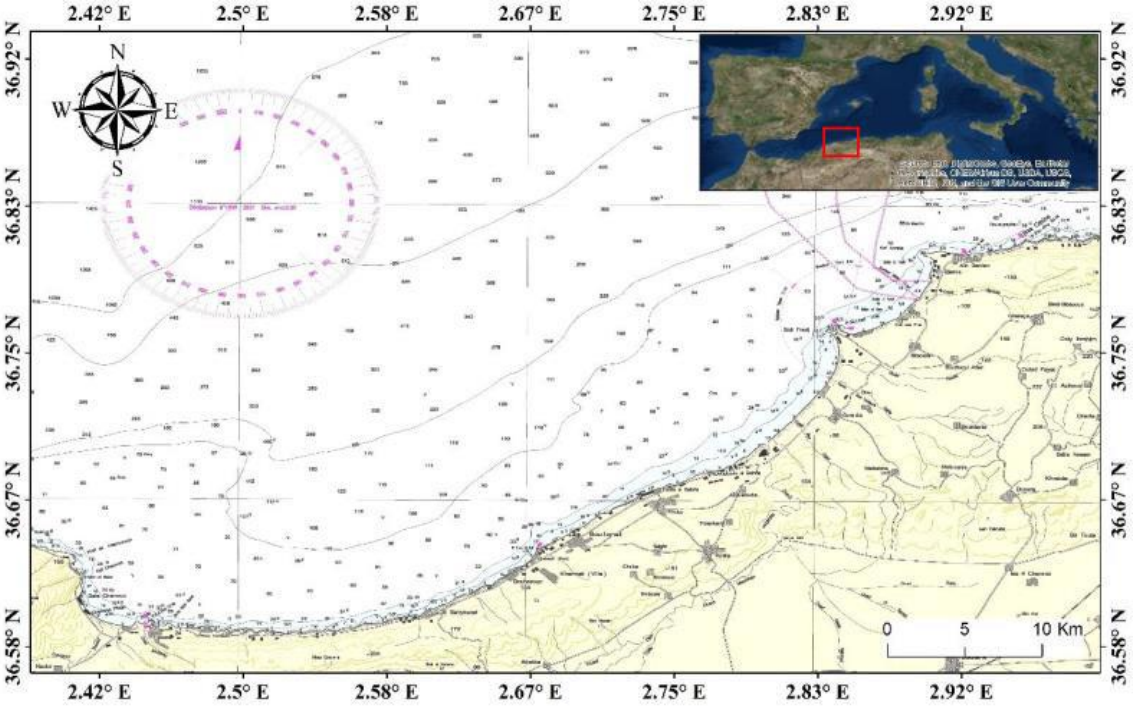


Figure 10. Localisation géographique de la Baie de Bou Ismail

II. 4. Climatologie de la baie de Bou Ismail

La baie de Bou Ismail est caractérisée par un climat sub-humide, avec des étés chauds et secs et des hivers tempérés doux et humides. Elle est exposée aux vents dominants et aux grosses tempêtes, des vents d'ouest Nord-ouest durant la saison froide et des vents est-nord-est en été.

(Office Nationale de la Météorologie ; O.N.M, 2003). Elle est caractérisée par une périodicité des vents qui se traduisent par une prédominance des vents :

- D'ouest en hiver et au printemps induisant des houles de grandes amplitudes d'une vitesse moyenne de 2m/s.
- De l'Est en été et au début d'automne avec des faibles amplitudes, avec une vitesse moyenne supérieur de 2m/s et peuvent être très violents de 15 à 20 m/s durant 3 jours consécutifs (Asso, 1982).

II. 5. Bathymétrie de la baie de Bou Ismail.

La courbe bathymétrique 200 m est considérée généralement comme la limite de la marge continentale algérienne et le domaine des plaines abyssales, sa largeur moyenne est de 24 km, elle atteint 55 km au maximum dans la baie de Bou Ismail.

Le plateau continental, étant très étroit, atteint un maximum de 13 km au niveau du Mont Chenoua et un minimum de 3 km entre Sidi Fredj et Alger (Fig. 11). Il est caractérisé par une pente de l'ordre de 2 à 3% avec une ligne d'inflexion nette autour de l'isobathe 100 m. Cette pente est perturbée par quelques pointements rocheux localisés au large du Mazafran et de Bou Ismail.

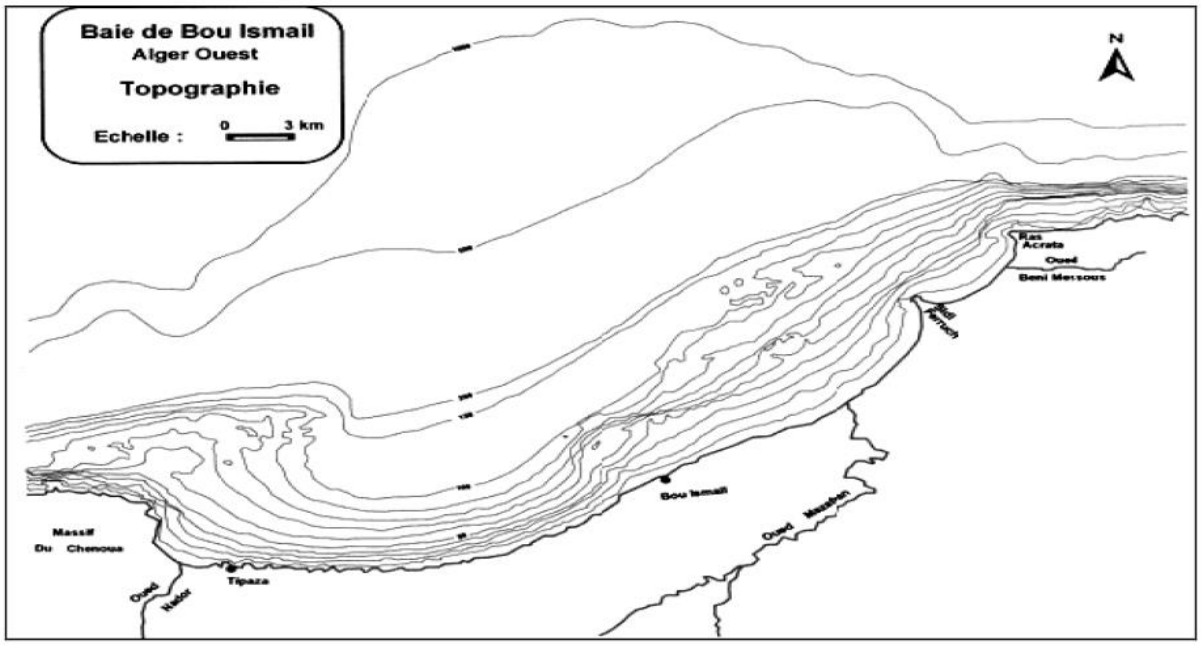


Figure 11. Topographie de la baie de Bou-Ismail (Leclaire,1972)

II. 6. Stations de prélèvements zooplanctonique

Les prélèvements des communautés zooplanctoniques ont été effectués en 2019 durant la saison printanière, au niveau de la baie de Bou Ismail. Les suivis qualitatif et quantitatif de la biodiversité zooplanctonique ont été analysés au sein de 3 stations (Fig. 12). Les prélèvements ont été réalisés par l'équipe du laboratoire écosystème pélagique (USTHB) à bord du Navire Océanographique ***Grine Belkacem*** du Centre National de la Recherche et du Développement de la Pêche et de l'Aquaculture (CNRDPA).

Au cours de cette compagne, divers paramètres physico-chimiques (Température, Salinité, PH et Oxygène dissous) ont été mesurés. Les dates de prélèvement et le site d'étude d'échantillonnage figurent dans le tableau suivant (Tab. 2) :

Tableau 2. Coordonnées géographiques des stations d'échantillonnages

Station	*Longitude (°E)*	*Latitudes (°N)*	*Heure (GMT+1)*	*Date*
St. 1	2° 41' 48"	36° 39' 23"	12h50	14/04/2019
St. 2		36° 41' 19"	12h11	
St. 3		36° 42' 43"	11h57	

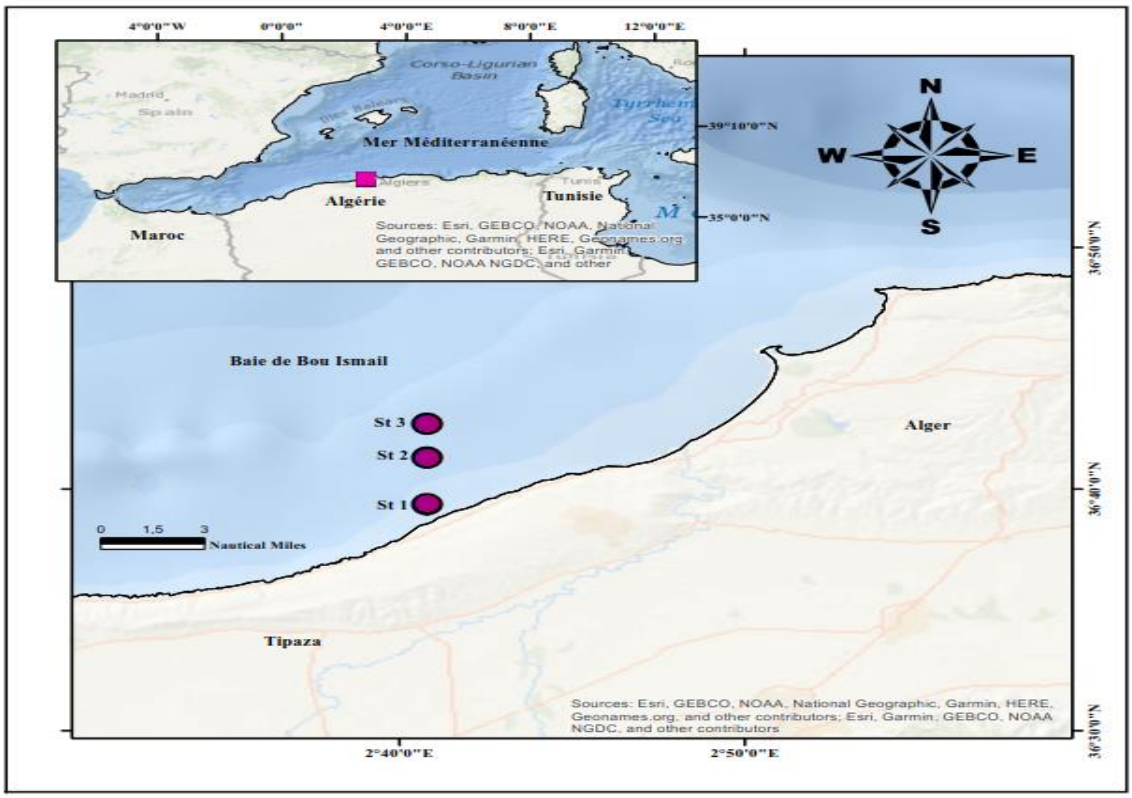


Figure 12. Localisation géographique des stations de prélèvements

II. 7. Méthodologie

II. 7. 1. Prélèvement des peuplements zooplanctoniques

Les prélèvements zooplanctoniques ont été réalisés au sein de la couche épipélagique (0-100 mètres) par des traits verticaux, à l'aide d'un filet standard (WORKING party II) de 200 µm de vide de maille (le coefficient de filtration est de 90 %) (Fig. 13).

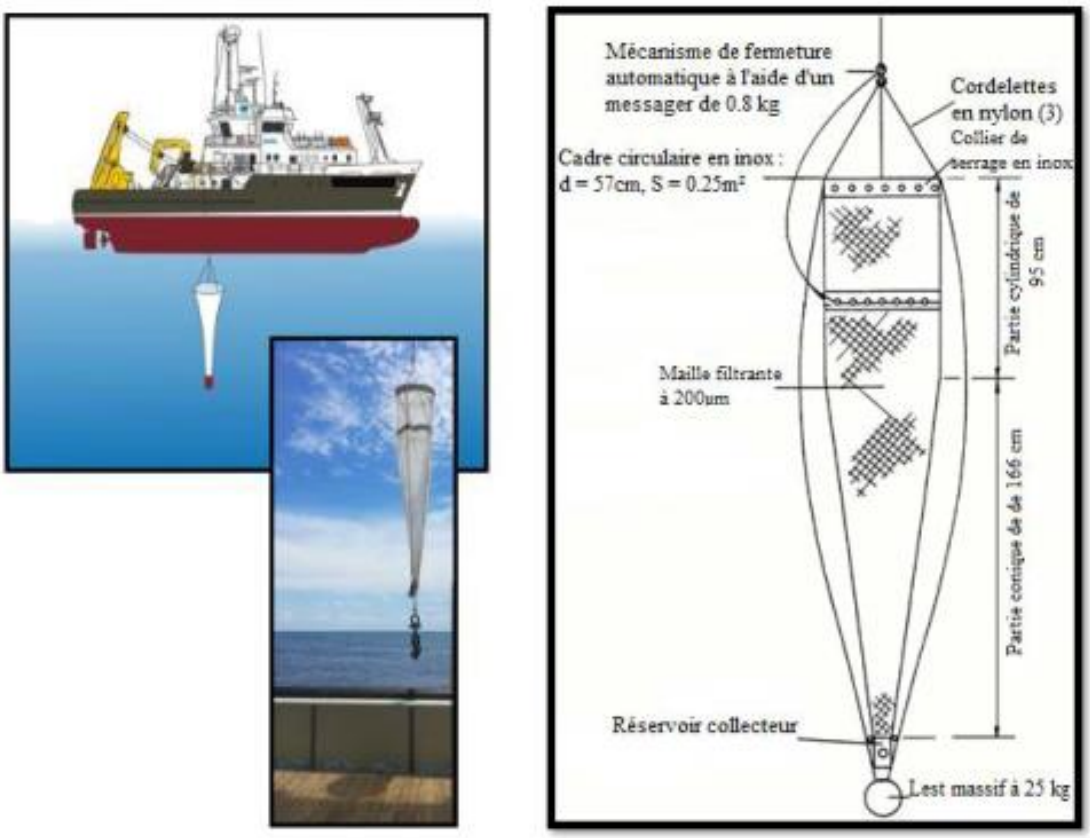


Figure 13. Filet WORKING Party II (Tranter & Fraser, 1968)

d = Diamètre ; S = Surface

II. 7. 2. Fixation des échantillons

A son arrivée à bord, le filet est rincé et la totalité de sa capture, retenue dans son collecteur a son extrémité, est récupérée (placé dans des bouteilles de 1 litre) et concentrée puis fixée dans une solution de formaldéhyde neutre à 4% pour la conservation.

II. 7. 3. Dénombrement et identification des Copépodes

Au laboratoire, sous une loupe binoculaire de marque OPTICA, type Stemi SV 6, les différents échantillons ont été triés.

Le prélèvement a été versé dans un récipient circulaire en verre pyrex à fond plat ayant une surface (S) de 730.6 cm^2. Après sédimentation, de petites surfaces (s = 11.3 cm^2) ont été isolées à l'aide de petits cylindres en verre creux où les organismes ont été pipetées. L'opération a été répétée cinq fois pour obtenir cinq sous-échantillons.

Pour chaque échantillon, nous commençons d'abord, et avant le comptage, par l'établissement d'une liste faunistique. En ce qui concerne l'identification des espèces de Copépodes, les références bibliographiques utilisées pour la détermination spécifique sont : ROSE (1933). Trégouboff & Rose (1957); Björnberg (1981); Heron *et al.*, (1984) et Mauchline (1998).

Les effectifs totaux relatifs à chaque espèce, ont été calculés à partir de l'expression suivante:

$$N_t = \frac{N_{i \times \frac{S}{s}}}{N' + \frac{x}{200}}$$

N_t = Nombre total d'individus relatifs à l'espèce, N '= Nombre de sous surfaces comptées, Ni = Max d'individus dénombrés (si l'espèce est abondante cette valeur est égale à 50, x = nombre de cases de la dernière cuve où l'espèce est présente pour atteindre un effectif de 50.

II. 8. Traitement et analyse des données

II. 8. 1. Etude qualitative

II. 8. 1. 1. Classification taxonomique

Afin de classer les différentes espèces de Copépodes récoltées par ordre, famille, genre et espèce. Nous avons utilisé la base de données World Registre Marine Species (WORMS) (http://www.marinespecies.org).

La liste faunistique correspond à une liste exhaustive des différentes espèces rencontrées sur l'ensemble de la zone d'étude.

Chaque espèce identifiée a été classé suivant son comportement trophique, sa stratégie d'alimentation et son affinité bathymétrique.

Les différentes populations qui composent la biodiversité prélevée ont été classées en espèces herbivores, carnivores et omnivores suivant les travaux de Turner (1984), Kouwenberg (1994), Pasternak *et al*, (2005), Hafferssas *et al.* (2010) et Chaouadi (2019).

La classification des peuplements des Copépodes selon leurs stratégies d'alimentations a été réalisée à partir des travaux de Kiørboe (2011) et de Benedetti *et al.* (2015).

Enfin, et dans le but de différencier les peuplements de copépodes selon leurs affinités bathymétriques, les travaux de Kiørboe (2011) et de Benedetti *et al.* (2015) ont été utilisés.

Quatre groupes d'espèces ont été identifiés:

- épipélagique dont l'habitat s'étend de la surface à une profondeur de 200 mètres;

- épi-mésopélagique qui se répartissent de la surface jusqu'à des niveaux de 1000 mètres;

- épi-bathypélagique (0-4000 mètres);

- méso-bathypélagique sui évoluent entre les profondeurs de 200 à 4000 mètres.

II. 8. 1. 2. Richesse spécifique

La richesse spécifique (S) correspond au nombre d'espèces présentes dans une station, sans tenir compte de l'abondance relative (ou de nombre d'individus) de chacune des espèce (Harris *et al.*, 2000).

II. 8. 1. 3. Fréquence d'occurrence

La fréquence d'occurrence (Fi) correspond au nombre de sites (Qi) présents pour le taxon étudié par rapport au nombre total de sites échantillonnés (Q) (Daget, 1976). Il est exprimé en pourcentage %.

$$\boldsymbol{Fi = \frac{Qi}{Q} * 100}$$

Elle permet de classer les espèces selon des échelles de fréquence qui caractérisent leur importance dans la population. Une espèce peut être fréquente (Fi ≥ 75 %); commune (Fi entre 25 et 75 %) ou rare (Fi ≤ 25 %) (Soyer, 1970).

II. 8. 1. 4. Comparaison qualitative entre les stations d'étude

Afin et de comparer, de point de vue qualitative, la répartition des peuplements de Copépodes, entre les stations de prélèvements, nous avons fait appel au test non paramétrique de Cochrane. Une distribution peut être homogène (même nombre d'espèces) ou hétérogène (nombre d'espèces différents).

Les données relatives aux différentes populations récoltées ont été ordonnées dans une matrice espèces – stations. Il a été tenu compte de leurs présences (ou absences) dans une station donnée. L'analyse a été réalisée sur le logiciel XLSTAT.

La statistique de Cochran est exprimée par :

$$Q = \frac{(K-1) * (K * G_i^2)}{K \sum L - \sum L^2}$$

Avec :
G = la somme des rangs issus de chaque échantillon.
L = la somme des rangs issus des lignes (de chaque observation)
K = nombre d'échantillons (colonne) à comparer.

II. 8. 2. Etude quantitative

II. 8. 2. 1. Abondance par unité de volume et abondance relative

L'abondance (A) correspond au nombre d'individus d'une espèce au sein de la colonne d'eau. Elle est exprimée en individus par mètre cube d'eau filtrée.

L'abondance relative (AR) d'une espèce *i*, correspond à un rapport en pourcentage entre l'abondance de celle-ci sur l'abondance totale du prélèvement considéré (Daget, 1976).

II. 8. 2. 2. Comparaison des abondances et affinités quantitatives

Afin de comparer les affinités quantitatives entre les différentes stations de prélèvements, une Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) a été utilisée. C'est l'une des méthodes de regroupement les plus populaires. Elle est basée sur le calcul de dissimilarité entre les objets. Le regroupement des objets minimise un critère d'agrégation donné, créant ainsi différentes classes.

Il s'agit d'un traitement multivarié où la matrice brute des données comporte les variables (espèces de Copépodes) et les observations (stations).

Pour ce faire, les groupements similaires des stations ont été extraits à partir de l'utilisation de la distance euclidienne (Orloci, 1978).

Le dendrogramme (représentation graphique) résume les liens entre les espèces (ou groupes de populations) en utilisant la méthode du groupement selon l'association moyenne « average linkage » (Lance & Williams, 1967; Legendre & Legendre, 1984). Pour l'établissement des groupes, cette méthode calcule la moyenne arithmétique de la similarité ou de la distance entre l'objet que l'on veut admettre dans un groupe et chacun des membres du groupe ou entre tous les membres de deux groupes sur le point de fusionner. Elle donne le même poids à tous les objets (ou bien variables) dans le calcul de l'association moyenne, et permet la fusion de deux groupes quand le groupement atteint la valeur moyenne de leurs similarités inter-groupes.

Cette analyse a été appliquée sur des données transformées en *Log (x+1)* en utilisant le logiciel XLSTAT.

II. 8. 2. 3. Relation des peuplements de Copépodes avec les paramètres hydrologiques

Afin d'étudier la relation entre les distributions quantitatives des peuplements de Copépodes avec les paramètres hydrologiques (Température, Salinité et Chlorophylle a), une Analyse en Composantes Principales (ACP) normée a été appliquée. Le choix de cette analyse est justifié par la nature différente des variables considérées et de leurs unités de mesures (Dunteman, 1989).

Les variables du milieu sélectionnées pour cette analyse correspondent à la température, la salinité, le PH et l'oxygène dissous.

Pour les Copépodes, nous avons excluent de cette étude les espèces les moins fréquentes, c'est-à-dire les espèces présentent dans une seule station seulement.

Les associations entre les différentes variables ont été extraites à partir des représentations graphiques sur les composantes principales (plans réduits) cumulant les taux d'inerties les plus élevés (Pronier, 2000). Cette analyse a été réalisée en utilisant le logiciel XLSTAT.

II. 8. 3. Analyse structurelle

II. 8. 3. 1. Indices de diversité

De nombreux indices de diversité sont ainsi proposés et permettent de donner une expression qualitative plus ou moins pertinente de la structure de l'écosystème. Dans cette étude, nous

avons utilisé l'indice de Shannon et l'indice d'équitabilité de Piélou. Ces indices considèrent à la fois l'abondance et la richesse spécifique.

L'indice de diversité de Shannon (H') est une mesure associant la composition en espèces d'une communauté en relation avec leurs abondances relatives (Pi) (Daget, 1976).

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} Pi * Log_2(Pi)$$

S = Richesse spécifique

Cet indice est exprimé en bits par individu. il varie entre 0 et 5 (Frontier & Etienne, 1990).

La diversité spécifique rencontrée dans les échantillons est toujours comprise entre 0 et 5 bits.individu^{-1}. Les valeurs situées en dehors de cet intervalle sont tout à fait exceptionnelles (Frontier, 1985).

II. 8. 3. 2. Indice d'équitabilité

L'équitabilité (E) quantifie la répartition des individus au sein d'une communauté faunistique (Daget ,1976):

$$\boldsymbol{E = \frac{H'}{Log_2 S}}$$

Si E tend vers 1, la communauté est en équilibre et la distribution des individus entre les espèces est équitable. Si E tend vers 0, la répartition des individus entre les espèces est inéquitable (Legendre & Legendre, 1994).

II. 8. 3. 3. Les Diagrammes Rangs-Fréquences (DRF)

Afin de mieux interpréter l'interprétation de ces indices, il est utile d'utiliser les Diagrammes Rangs Fréquences (Fig. 14). Ces derniers décrivent les états de la succession écologique au sein des communautés :

Stade 1: début de la succession écologique, la courbe est rectiligne sur le plan vertical. Il correspond à un écosystème juvénile ou stressé La diversité spécifique est minimale et E tend vers 0.

Stade 2: maturité des communautés où l'allure est quasi rectiligne dans le sens horizontal. Il existe une codominance d'un groupe d'espèces. La diversité spécifique est élevée et E est supérieur à 0.8.

Stade 1': stade intermédiaire entre 1 et 2. La communauté est en voie de maturation. La courbe à une allure convexe. On y dénombre deux ou trois espèces codominantes.

Stade 3: caractérisé par une diminution de la diversité spécifique et une large linéarisation du DRF. Ce stade est parfois observé en fin de succession.

La représentation graphique des DRF a été réalisée à l'aide du logiciel Origin Lab.

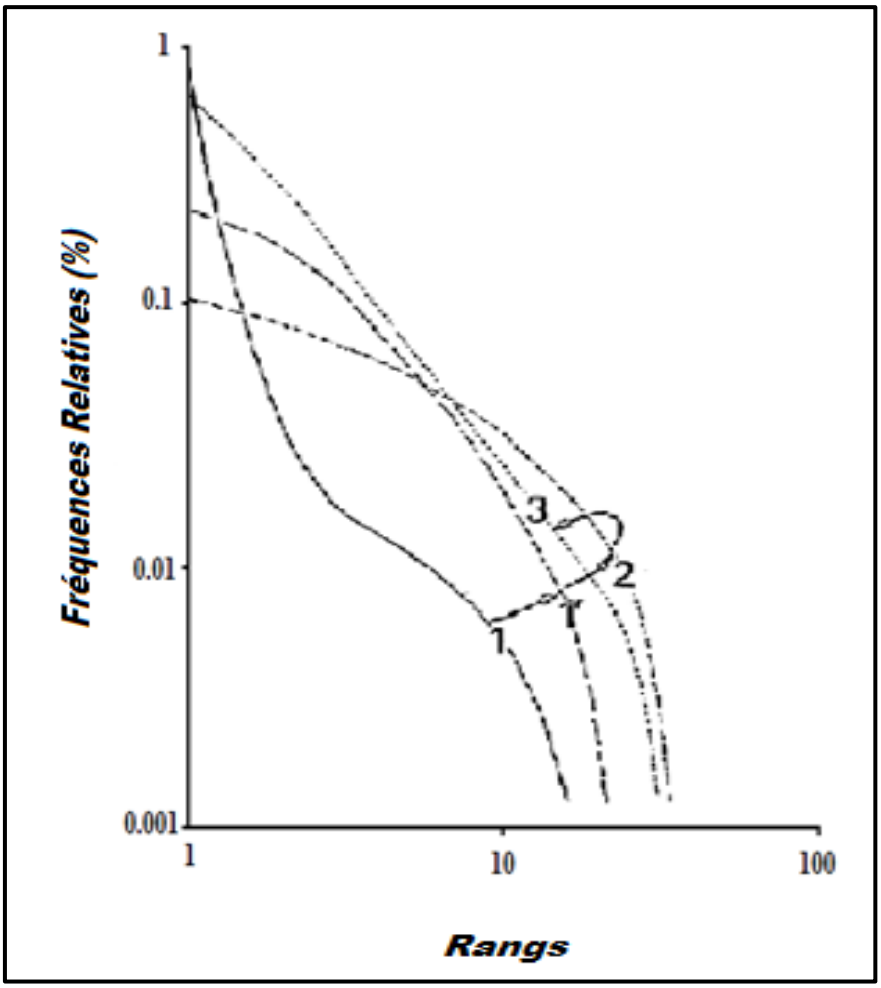


Figure 14. Représentation théorique des différents stades de succession écologique par les diagrammes rangs-fréquences dans une communauté de plancton (Frontier, 1985)

Chapitre III

Résultats

III. 1. Caractéristiques hydrologiques de la zone d'étude

Afin de décrire les conditions hydrologiques associées à la zone d'étude, on a mesuré les paramètres tels que la température, la salinité, le PH et l'oxygène dissous. Les résultats figurent dans le tableau 3.

Tableau 3. Paramètres abiotiques mesurés au niveau des stations de prélèvements

Station	T (º C)	Salinité	PH	Oxygène dissous
St. 1	17.39	35.37	8.29	5.80
St. 2	16.48	35.36	8.24	6.68
St. 3	16.18	35.46	8.27	6.01

III. 1. 1 Température

Au large de la Baie de Bou Ismail les valeurs de températures sont autour de 17 ° C.

La température varie d'une station à une autre. Un gradient décroissant côte-large a été observé. Le maximum est signalé au sein de la station 1 (17.39 ° C), puis les valeurs numériques diminuent pour atteindre un minimum de 16.18 ° C au niveau de la station 3 (Fig. 15).

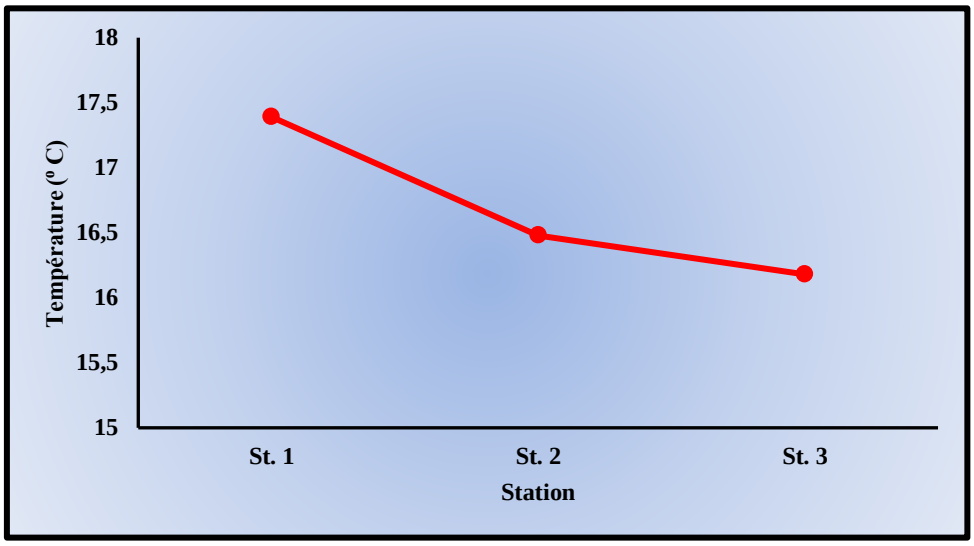


Figure 15. Variations de la température (º C) au niveau de la baie de Bou Ismail

III. 1. 2. Salinité

Au niveau de la zone étudiée, une légère variation de la salinité est observée. Les valeurs enregistrées variées entre 35.36 au niveau de la station 2 et 35.46 au niveau de la station 3 (Fig. 16).

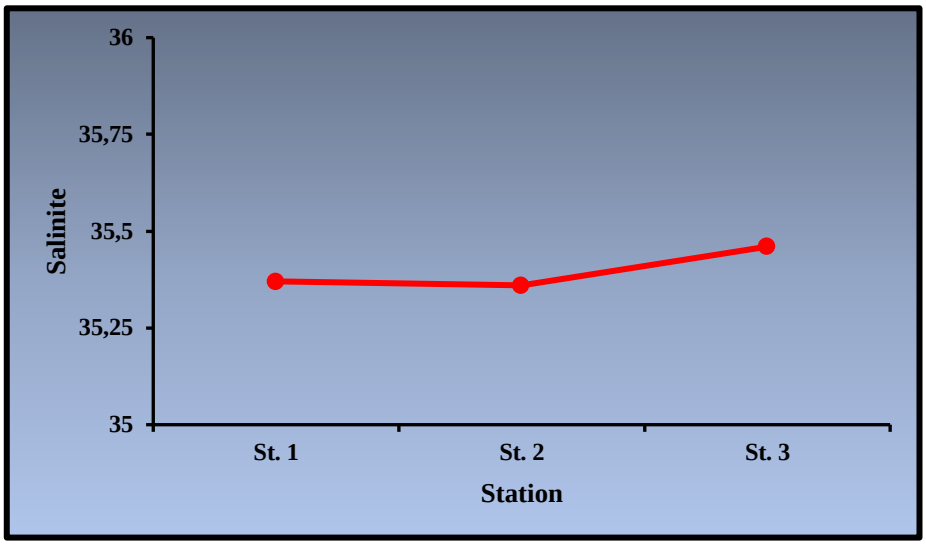


Figure 16. Variations de la salinité au niveau de la baie de Bou Ismail

III. 1. 3. PH

Les valeurs du PH sont supérieures à 8 au sein des trois stations étudies. La valeur maximale (8.29) est enregistrée au niveau de la station tandis que le minimum est signalé au niveau de la station 2 (Fig. 17).

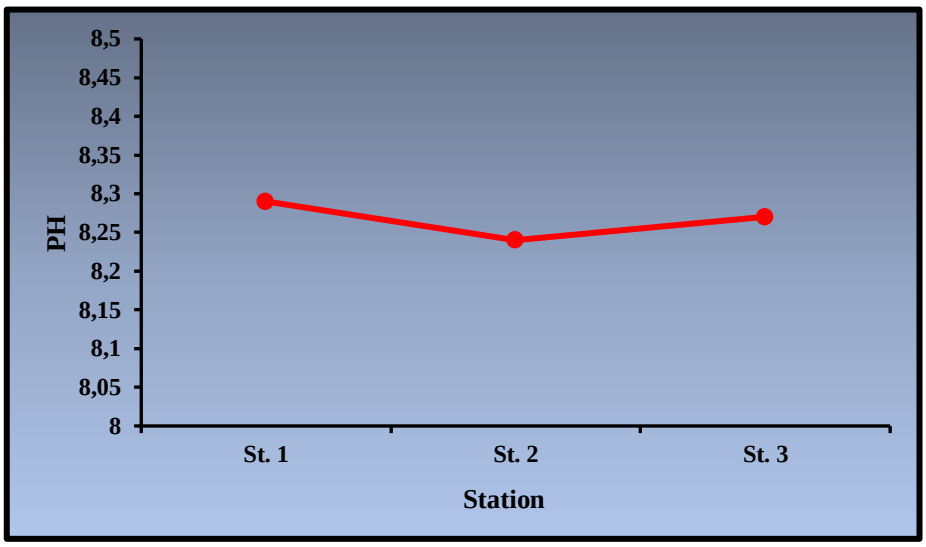


Figure 17. Variations du PH au niveau de la baie de Bou Ismail

III. 1. 4. Oxygène dissous

Au sein de la baie de Bou Ismail, l'oxygène dissous varié au sein des 3 stations. La courbe tracée montre un maximum de 6.68 au niveau de la station 2. La première station est identifiée par la plus faible valeur de l'oxygène dissous (Fig. 18).

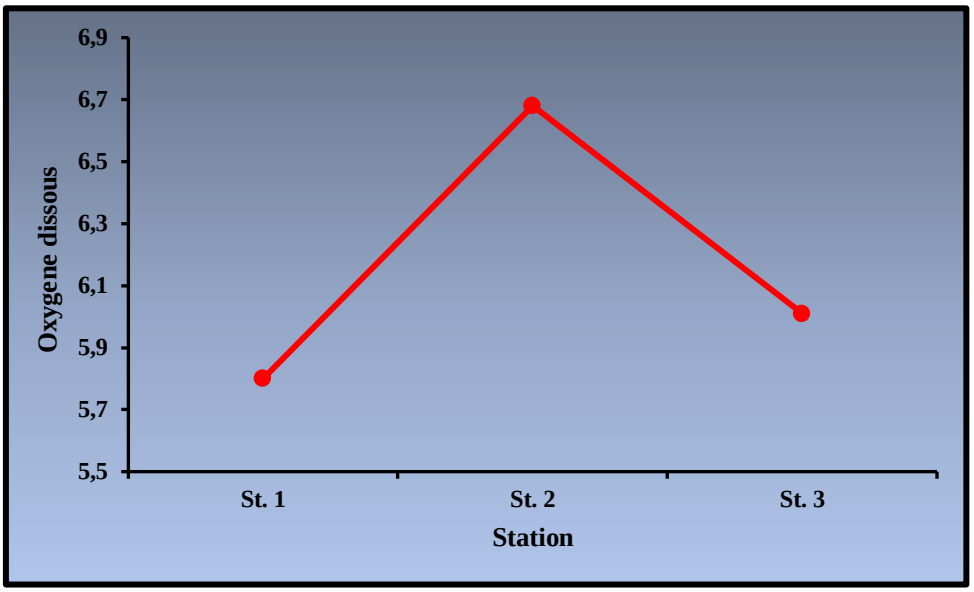


Figure 18. Variations de l'oxygène dissous au niveau de la baie de Bou Ismail

III. 2. Biodiversité taxonomique

La faune issue de la baie de Bou Ismail est composée de 34 taxons (Tab. 4). La biodiversité recensée appartient à 2 ordres (*Calanoida* et *Cyclopoida*) et 15 familles.

L'ordre des *Calanoida* est représenté par : 27 espèces appartenant à 12 familles *(Calanoidae, Clausocalanidae, Paracalanidae, Aeiteidae, Phaennidae, Eucalanidae, Subeucalanidae, Rhincalanidae, Candacidae, Centropagidae, Temoridae* et *Spinocalanidae).* L'ordre des *Cyclopoida* compte 6 espèces appartenant à 3 familles (*Oithonidae, Oncaeidae, Corycaeidae.)*

Les familles les plus représentées sont les *Calanidae* (6 espèces), les *Paracalanidae* (4 espèces), les *Oithonidae* (4 espèces), les *clausocalanidae* (3 espèces) et les *Centropagedae* (3 espèces).

Tableau 4. Biodiversité taxonomique de la faune des Copépodes issue de la baie de Bou Ismail

Ordre	*Super familles*	*Familles*	*Genre & espèce*	*Fi (%)*
Calanoida	*Calanoidea*	*Calanidae*	*Calanoides brevicornis (Lubbock, 1856)*	*100*
			Calanus helgolandicus (Claus, 1863)*	*66*
			Mesocalanus tenuicornis (Dana, 1849)	*33*
			Nannocalanus minor (Claus, 1863)	*100*
			Neocalanus gracilis (Dana, 1852)*	*100*
			Neocalanus robustior (Giesbrecht, 1888)	*100*
		Paracalanidae	*Calocalanus styliremis Giesbrecht, 1888*	*66*
			Mecynocera clausi Thompson I.C., 1888	*33*
			Paracalanus nanus Sars G. O., 1925	*33*
			Paracalanus parvus (Claus, 1863)	*33*
	Clausocalanoidea	*Aetideldae*	*Aetideus armatus* (Boeck, 1872)*	*66*
			Chiridius poppei Giesbrecht, 1893	*33*
		Clausocalanidae	*Clausocalanus arcuicornis (Dana, 1849)*	*100*
			Clausocalanus furcatus (Brady, 1883)	*33*
			Clausocalanus pergens Farran, 1926	*66*
		Phaennidae	*Phaenna spinifera Claus, 1863*	*33*
	Eucalanoidea	*Eucalanidae*	*Eucalanus elongatus elongatus* (Dana, 1848)*	*66*
			Pareucalanus attenuatus (Dana, 1849)*	*33*
		Subeucalanidae	*Subeucalanus crassus (Giesbrecht, 1888)*	*33*
			Subeucalanus monachus (Giesbrecht, 1888)*	*100*
		Rhincalanidae	*Rhincalanus nasutus* Giesbrecht, 1888*	*100*
	Diaptomoidea	*Candacidae*	*Candacia armata Boeck, 1872*	*33*
		Centropagidae	*Centropages hamatus (Lilljeborg, 1853*	*100*
			Centropages typicus Krøyer, 1849	*100*
			Centropages violaceus (Claus, 1863)	*33*
		Temoridae	*Temora longicornis (Müller O. F., 1785)*	*100*
			Temora stylifera (Dana, 1849)	*100*
	Spinocalanoidea	*Spinocalanidae*	*Monacilla typica Sars G. O., 1905*	*100*
Cyclopoida		*Corycaeidae*	*Corycaeus clausi Dahl F., 1894*	*66*
		Oithonidae	*Oithona nana Giesbrecht, 1893*	*100*
			Oithona plumifera Baird, 1843	*33*
			Oithona helgolandica Claus 1963	*66*
			Oithona brivicornis Giestbricht,1891	*100*
		Oncaeidae	*Oncaea mediterranea (Claus, 1863)*	*33*

III. 3. Richesse spécifique

Au niveau de la baie de Bou Ismail, la richesse spécifique varie entre 17 et 34 espèces. La valeur minimale a été prélevée au sein de la station 1. Par contre, la richesse maximale a été signalée au niveau de la deuxième station (Fig. 19).

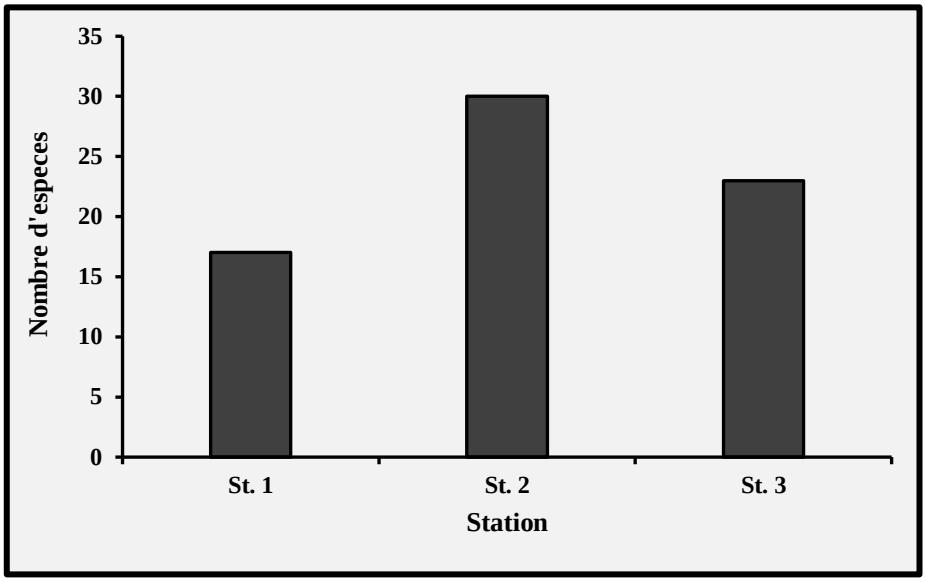


Figure 19. Richesse spécifique identifiée au niveau de la baie de Bou Ismail

Afin d'analysé les ressemblances des compositions qualitatives, en termes de présence ou absences des populations de Copépodes, nous avons utilisé le test non-paramétrique de Cochran, qui est basé sur l'hypothèse nulle que les échantillons sont identiques.

La comparaison des richesses faunistiques associées aux stations d'échantillonnage a montré une hétérogénéité qualitative, ce qui nous a conduit à rejeter l'hypothèse nulle (Tab. 5).

Tableau 5. Comparaison qualitative entre les stations de prélèvement

Q (Valeur observée)	12.700
Q (Valeur critique)	5.991
DDL	2
p-value	0.002
alpha	0.05

III. 4. Fréquence d'occurrence

Dans cette étude 14 espèces fréquentes (Fi> 75%) ont été recensées (*Calanoides brevicornis, Centropages hamatus, C. typicus, Clausocalanus arcuicornis, Monacilla typica. Nannocalanus minor, Neocalanus gracilis, N. robustior, Oithona brivicornis O. nana, Rhincalanus nasutus, Subeucalanus monachus, Temora longicornis* et *T. stylifera*).

Le nombre des espèces communes (25% <Fi> 75%) est 20 espèces. Il s'agit des populations de *Aetideus armatus, Calanus helgolandicus, Calocalanus styliremis, Candacia armata, Centropages violaceus, Chiridus poppie, Clausocalanus furcatus, C. pergens, Corycaens clausi. Eucalanus elongatus Mecymocera clausi, Mesocalanus tenuicornis, Oithona helgolandica, O. plumifera, Oncaea mediteranea, Paracalanus nanus, P. parvus, Pareucalanus attenuatus, Phaenna spinifera* et *Subeucalanus crassus*).

III. 5. Composition des groupes trophiques, stratégies d'alimentations et affinités bathymétriques

La faune récoltée au sein de la région étudiée (baie de Bou Ismail) est caractérisée par la présence des espèces appartenant aux différents groupes fonctionnels (Tab. 6). Les populations ont été classées selon leurs groupes trophiques (herbivores, carnivores et omnivores), selon leurs stratégies d'alimentation (filtreurs, embuscade-active, croisière et mixte), et selon leurs affinités bathymétriques (épipélagiques, épi-mésopélagiques, épi-bathypélagiques et méso-bathypélagiques).

Tableau 6. Répartition des espèces de Copépodes selon les groupes fonctionnels

Genre & espèce	Groupe trophique	Stratégie d'alimentation	Affinité bathymétrique
Calanoides brevicorni	H	F	E-B
Calanus helgolandicus	H	F	E-M
Mesocalanus tenuicornis	H	E-B	E-B
Nannocalanus minor	H	F	E-M
Neocalanus gracilis	H	F	E-M
Neocalanus robustior	H	F	E-M
Calocalanus styliremis	H	F	E
Mecynocera clausi	H	F	E
Paracalanus nanus	H	F	E-M
Paracalanus parvus	H	F	E
Aetideus armatus	H	EM-AC	E-M
Chiridius poppei	O	CR	E-B
Clausocalanus arcuicornis	H	CR	E
Clausocalanus furcatus	H	CR	E
Clausocalanus pergens	H	F	E
Phaenna spinifera	O	NA	E-M
Eucalanus elongatus	*H*	*F*	*E-M*
Pareucalanus attenuatus	O	E-M	E
Subeucalanus crassus	H	F	E-M
Subeucalanus monachus	H	F	M-B
Rhincalanus nasutus	O	F	E-B
Candacia armata	C	NA	E-M
Centropages hamatus	O	M	E
Centropages typicus	O	M	E
Centropages violaceus	O	M	E
Temora longicornis	O	F	E
Temora stylifera	O	F	E
Monacilla typica	O	NA	E
Corycaeus clausi	C	EM-AC	E-M
Oithona nana	O	EM-AC	E
Oithona plumifera	O	EM-AC	E-M
Oithona helgolandica	O	EM-AC	E-M
Oithona brivicornis	O	EM-AC	E-M
Oncaea mediterranea	O	CR	E-M

Légendes: H: Herbivore, O: Omnivore, C: Carnivore, F: Filtreurs, Em-Ac: Embuscade active, Cr: Croisière; M: Mixte; NA: Non Attribué, E: Epipélagique, E-M: Epi-mésopélagique, E-B: Epi-bathypélagique, M-B: Méso-bathypélagique

III. 5. 1. Groupes trophiques

Dans l'ensemble, le groupe trophique dominant est celui des phytophages (18 espèces ; 52.94% de la faune prélevée) (Fig. 20) reliée aux populations suivantes : *Calanoides brivicornis, Calanus helgolandicus, Neocalanus robustior, Neocalanus gracilis, Nannocalanus minor, Calanus tenuicornis, Seubeucalanus monachus, Clausocalanus arcuicornis, Clausocalanus furcatus, Paracalanus nanus, Paracalanus parvus, Clausocalanus pergens, Mecynecira clausi, Calocalanus styliremis, Eucalanus elongatus, Eucalanus cressus, Aeitdeus armatus, Calocalanus pavo* et *Paracalanus aculatus.*

Au deuxième rang, on a le groupe des omnivores qui est représenté par 15 espèces (41.18%). Il s'agit des populations de *Chiridius poppie, Phannae sipinifera, Rhincalanus nasutus, Centropages hamatus, C. typicus, C. violacus, Moncilla typica, Oithona nanna, O. brivicornis, O. helgolandica, O. plunifera, Oncaea mediterranae, Temora stylefera, T. longicornis* et *Pareucalanus attenuatus.*

A la fin, on a le groupe des carnivores représenté par 2 espèces seulement (5.88%) : *Corycaeus clausi* et *Candacia armatus.*

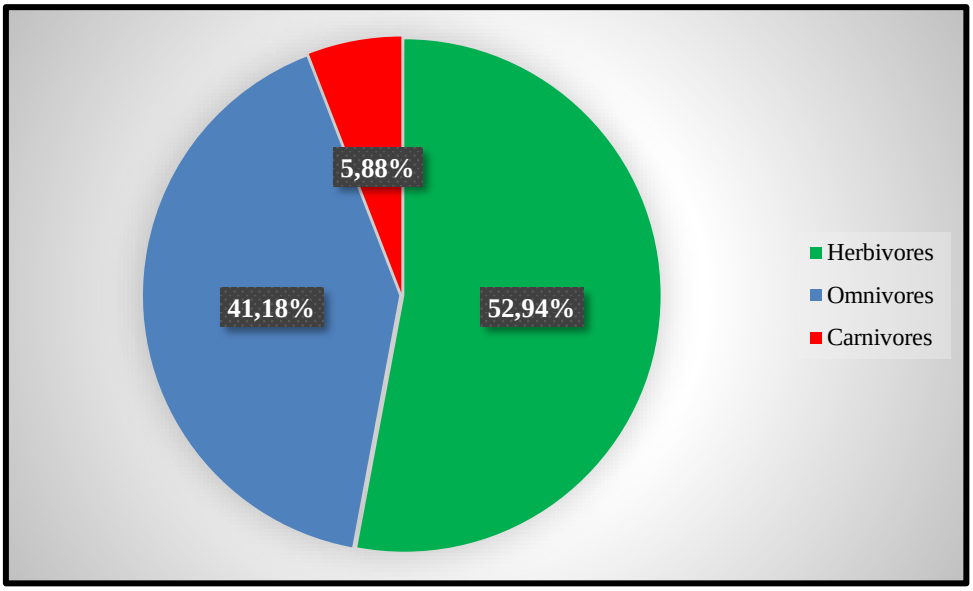


Figure 20. Répartition des groupes trophiques issus de la baie de Bou Ismail

Le groupe trophique le mieux représenté dans la première station est celui des omnivores (Fig.19), il regroupe 10 espèces (58.82%) réparties en 2 ordres (5 *Calanoida* et 5 *Cyclopoida*).

Les populations phytophages sont en nombre de 7 espèces (41.18%). Dans cette station, on note l'absence des carnivores (Fig. 21).

Au niveau de la deuxième station, le groupe dominant est celui des herbivores par 17 espèces (56.66% de la faune identifiée), suivi par le groupe des omnivores qui regroupe 12 espèces (40%) et enfin, le groupe des carnivores qui représente seulement 3.33% (1 espèce) du totale (Fig. 21).

Au sein de la troisième station, une codominance des herbivores et des omnivores est observée, il s'agit de 10 espèces (43.47% du total recensé) herbivores et 11 espèces (47.82%) omnivores. Le groupe des carnivores est le moins représenté, on a identifié 2 espèces (8.69 %) (Fig. 21).

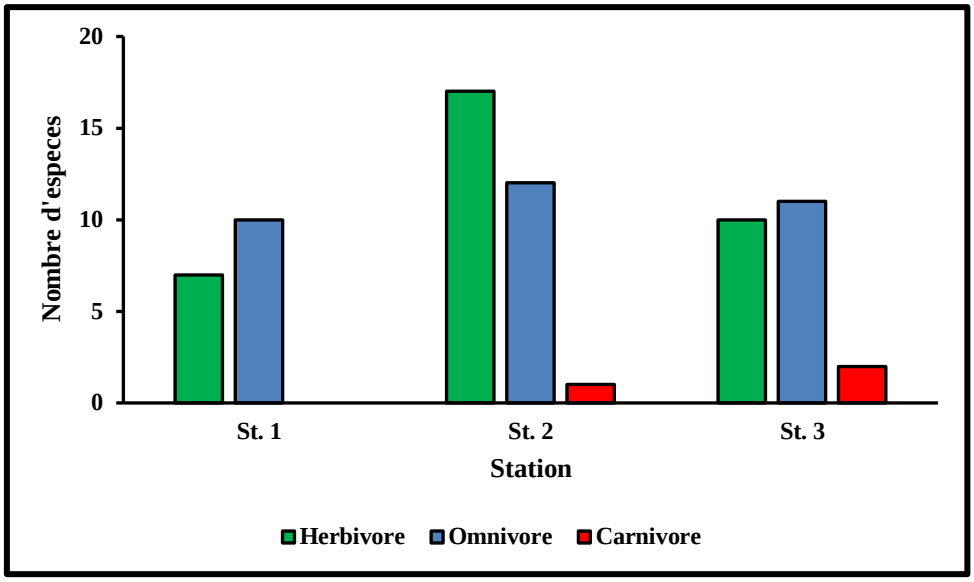


Figure 21. Répartition des groupes trophiques au sein des 3 stations

III. 5. 2. Stratégies d'alimentation

La faune est composée par des populations qui ont différentes stratégies d'alimentation : filtration; embuscade active; croisière et alimentation mixte.

La stratégie d'alimentation la mieux représentée est l'alimentation par filtration, elle est reliée à 17 espèces (50% du totale) (Fig. 22).

Les espèces à alimentation par croisière sont en nombre de 5, ce qui représente 14.70% de la copépodofaune identifiée (Fig. 22).

La stratégie Mixte constitue 3 espèces (8.82%) dans l'ensemble des stations. En dernier, la stratégie d'embuscade-active, qui est reliée à 6 espèces (17.64%) (Fig. 22).

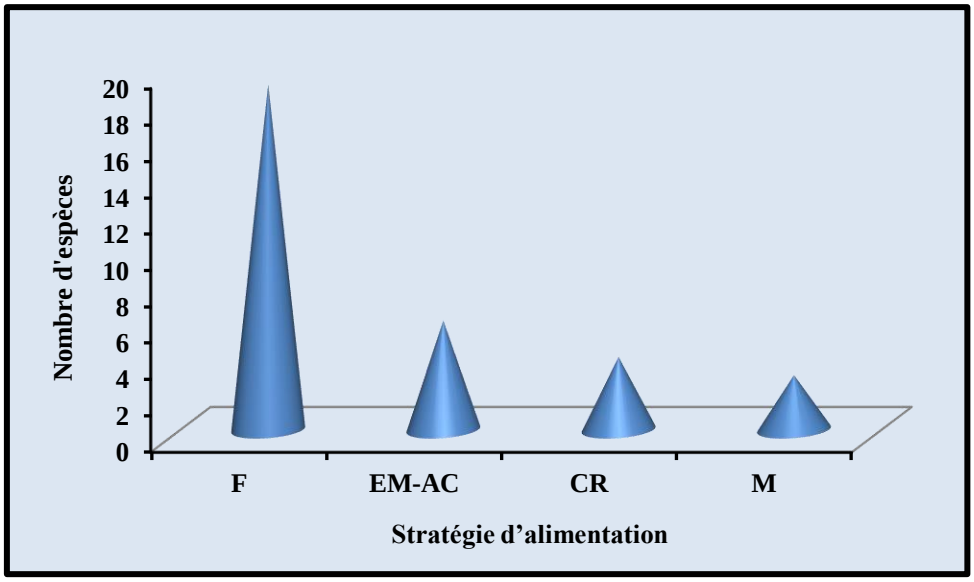


Figure 22. Répartition des stratégies d'alimentations au sein de la baie de Bou Ismail

Les filtreurs représentent le groupe dominant au sein des trois stations. Ils sont en nombre de 9 espèces (52.94%) au niveau de la station 1, 16 populations (53.33%) au niveau de la station 2 et 12 espèces (52.17%) au sein de la troisième station (Fig.23).

Les populations à alimentation par embuscade-active occupe le deuxième rang d'importance au niveau de la station 1 (4 espèces ; 23.52%) et la station 3 (5 espèces ; 21.73%). Au sein de la station 2, ce groupe représente 13.33% de la faune récoltée (Fig. 23).

L'alimentation par croisière est représentée par une seule espèce au niveau de la station 1 (5.88%) et la station 3 (4.34%). Ce groupe est mieux représenté au sein de la station 2 où nous avons identifié 5 espèces (16.66%) (Fig. 23).

Le nombre de populations à alimentation mixte identifiées est de 3 espèces au niveau de la station 2 (10%) et la station 3 (13.04%). La station 1 est peuplée par 2 espèces (11.76%) seulement (Fig. 23).

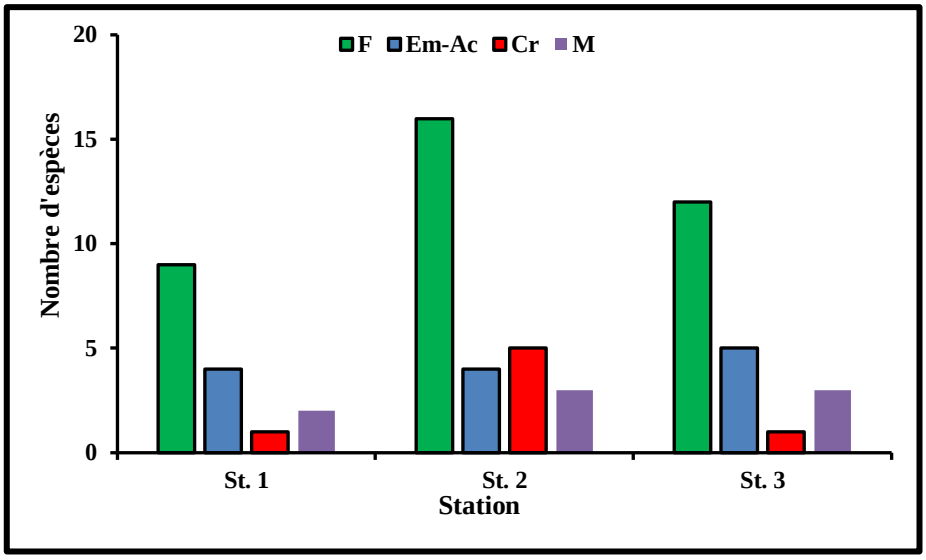


Figure 23. Répartition des stratégies d'alimentation au sein des 3 stations

III. 5. 3. Affinité bathymétrique

La classification des peuplements issus de la baie de Bou Ismail selon leurs affinités bathymétriques a permis de différencier quatre groupes faunistiques (Fig. 24).

Les prélèvements sont codominés par les populations épipélagiques qui représentent 41.17% de la faune recensée (14 espèces) et les populations épi-mésopélagiques, représentées par 14 espèces (41.17%). Les peuplements épi-bathypélagique comptent 4 espèces, ce qui représente 11.76% du total prélevé. Enfin, la faune a affinité méso-bathypélagique est la moins représentée, elle ne dépasse pas 5.88% (2 espèces) de la faune totale (Fig. 24).

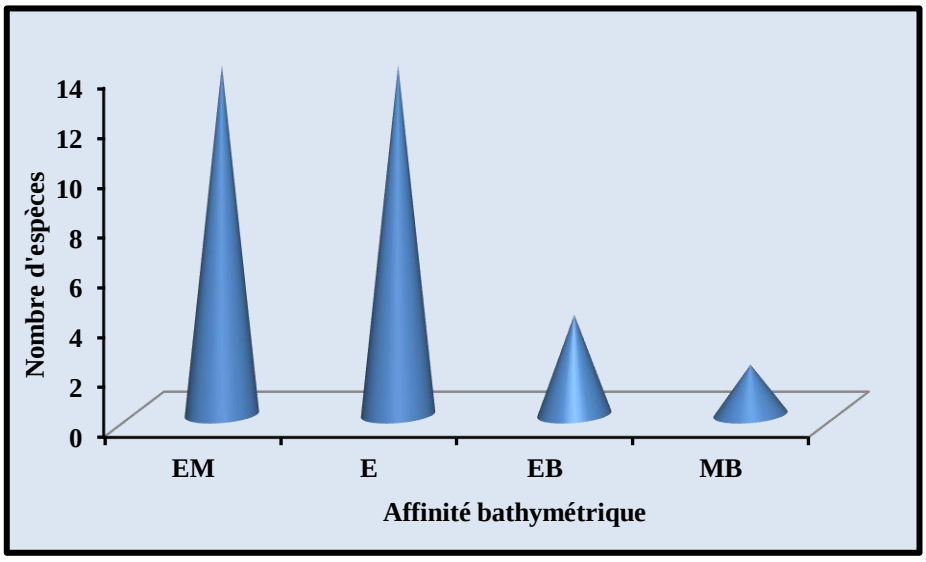


Figure 24. Répartition des affinités bathymétriques au sein de la baie de Bou Ismail

Au sein de la première station, une codominance des espèces épipélagiques (6 espèces ; 35.29%) et épi-mésopélagiques (7 espèces ; 41.17%) a été signalée. Les peuplements épi-bathypélagiques et méso- bathypélagiques sont les moins représentés par 3 espèces (17.65%) et 1 espèce (5.88%) respectivement (Fig. 25).

La deuxième station est également codominée par les populations épipélagiques (12 espèces ; 41.93%) et épi-mésopélagiques (12 espèces ; 35.48%). Dans cette station, les espèces à habitat profond représentent moins de 15% de la faune prélevée ; 13.33% (4 espèces) pour les peuplements épi-bathypélagiques et 6.66% (2 espèces) pour les espèces méso-bathypélagiques (Fig. 25).

La troisième station est codominés par les espèces à affinité épi-mésopélagique (10 espèces ; 43.47%) et épipélagiques (9 espèces ; 39.13%). Les peuplements à affinités épi-bathypélagique et méso-bathypélagique sont les moins représentés par 2 espèces (8.69 %) chacun (Fig. 25).

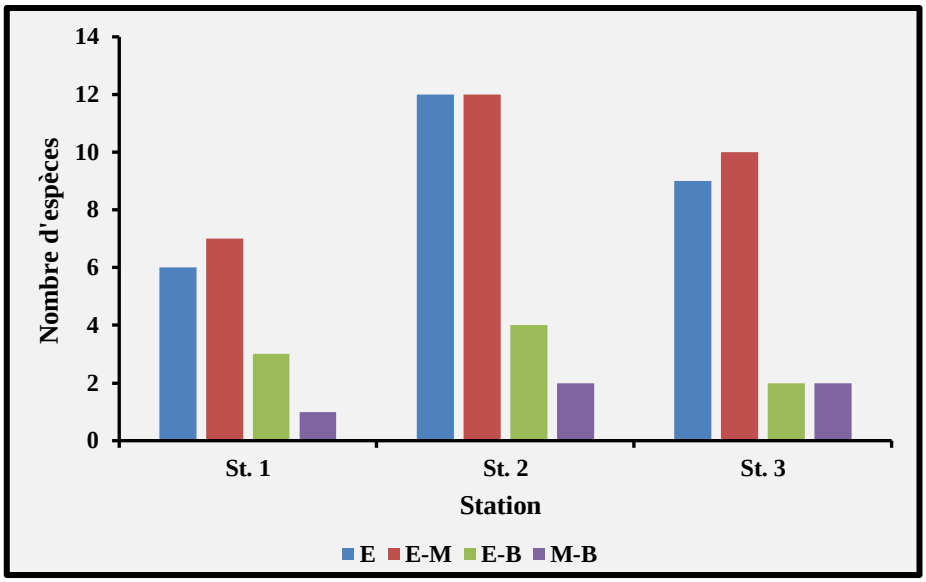


Figure 25. Répartition des affinités bathymétriques au sein des 3 stations

III. 6. Etude quantitative des peuplements de Copépodes

III. 6. 1. Abondance totale

Dans l'ensemble, les abondances totales des peuplements zooplanctoniques sont de l'ordre de 381.18 ± 305.01 ind.m^{-3}. Ces derniers décrivent un gradient quantitatif croissant, les valeurs numériques varient entre un minimum de 122.46 ind.m^{-3} au niveau de la station 1 et un maximum de 717.5 ind.m^{-3} au niveau de la station 3 (Fig. 26).

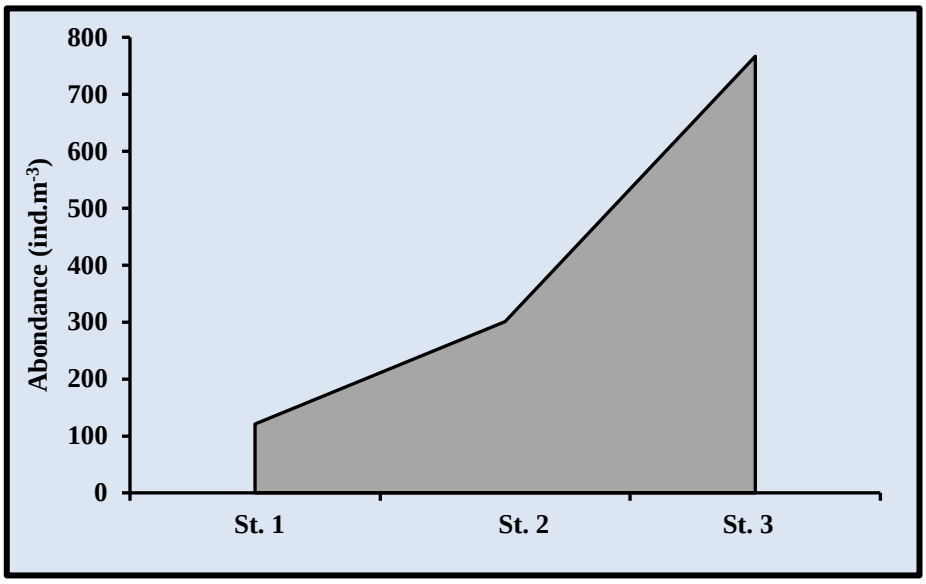


Figure 26. Abondances totales (individus.m-3) des Copépodes au sein de site d'étude

III. 6. 2. Compositions faunistiques: comparaisons et affinités quantitatives

La comparaison de la composition faunistique, des prélèvements issus de la baie de Bou Ismail, par la Classification Hiérarchique Ascendante nous a permis de différencier quatre groupements faunistiques (A, B, C et D). Le Tableau 7 y résume la signification des codes utilisés pour l'identification des espèces dans cette analyse.

Groupe A

Il regroupe les espèces à forte abondance (abondance moyenne supérieure à 33 ind.m^{-3}). Il s'agit des populations de *Calanus helgolandicus, Centropages typicus, Clausocalanus arcuicornis, Nannocalanus minor* et *Temora stylifera* (Fig. 27).

Groupe B

Ce groupe y intègre les espèces moyennement abondantes. Leurs abondances moyennes varient entre 11.50 ind.m^{-3} et 19.50 ind.m^{-3}. Il regroupe des populations de *Calocalanus styliremis, Centropages hamatus, Oithona brivicornis, Temora longicornis, Subeucalanus monachus* et *Neocalanus robustior* (Fig. 27).

Groupe C

Une seule espèce qui a été classée dans ce groupe. Il s'agit de la population de *Calanoides brevicornis*. Elle présente une abondance moyenne de 20.78 ind.m^{-3} (Fig. 27).

Groupe D

Ce groupe caractérise les espèces à faibles abondances. Leurs valeurs numériques moyennent ne dépassent pas 7.50 ind.m^{-3}. Les populations qui appartiennent à ce groupe sont : *Aetideus armatus, Candacia armata, Centropages violaceus, Chiridus poppie, Clausocalanus furcatus, C. pergens, Corycaens clausi. Eucalanus elongatus Mecymocera clausi, Mesocalanus tenuicornis, Monacilla typica. Neocalanus gracilis, Oithona helgolandica, O. Nana, O. plumifera, Oncaea mediteranea, Paracalanus nanus, P. parvus, Pareucalanus attenuatus, Phaenna spinifera, Rhincalanus nasutus* et *Subeucalanus crassus* (Fig. 27).

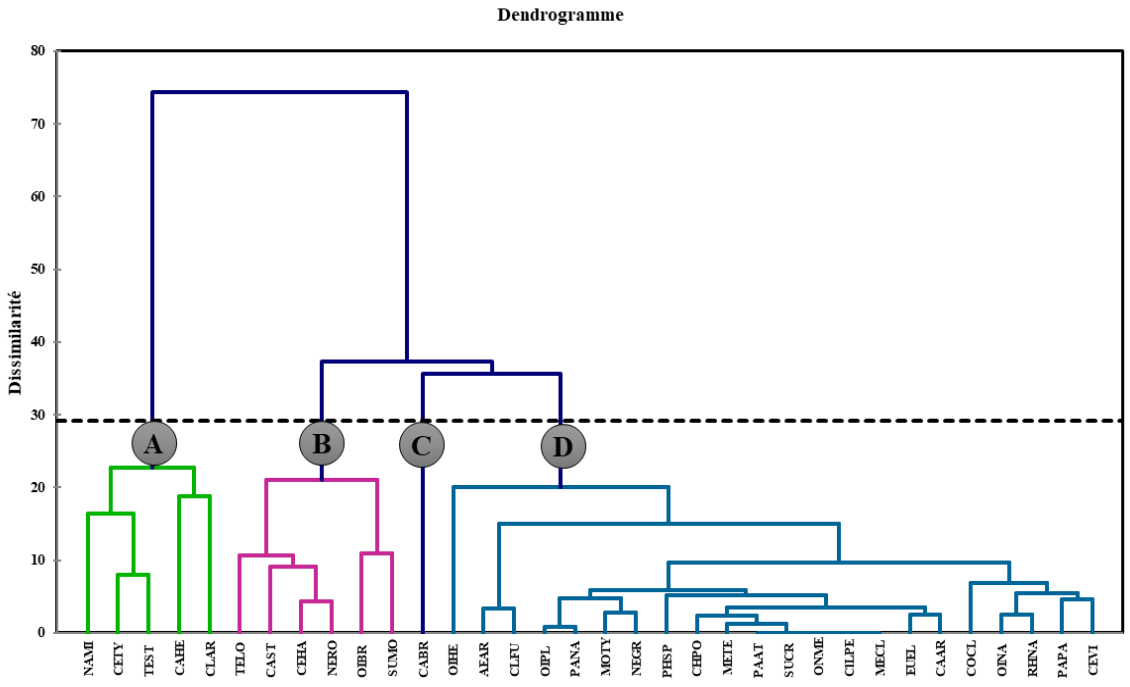


Figure 27. Comparaisons et affinités quantitatives de la faune issue de la baie de Bou Ismail

Tableau 7. Signification des codes utilisés dans la classification hiérarchique

Code	Signification	Code	Signification
AEAR	*Aetideus armatus*	NAMI	*Nannocalanus minor*
CABR	*Calanoides brevicorni*	NEGR	*Neocalanus gracilis*
CAHE	*Calanus helgolandicus*	NERO	*Neocalanus robustior*
CAST	*Calocalanus styliremis*	OIBR	*Oithona brivicornis*
CAAR	*Candacia armata*	OIHE	*Oithona helgolandica*
CEHA	*Centropages hamatus*	OINA	*Oithona nana*
CETY	*Centropages typicus*	OIPL	*Oithona plumifera*
CEVI	*Centropages violaceus*	ONMED	*Oncaea mediterranea*
CHPO	*Chiridius poppei*	PANA	*Paracalanus nanus*
CLAR	*Clausocalanus arcuicornis*	PARA	*Paracalanus parvus*
CLFU	*Clausocalanus furcatus*	PAAT	*Pareucalanus attenuatus*
CLPE	*Clausocalanus pergens*	PHSP	*Phaenna spinifera*
COCL	*Corycaeus clausi*	RHNA	*Rhincalanus nasutus*
EUEL	*Eucalanus elongatus*	SUCR	*Subeucalanus crassus*
MECL	*Mecynocera clausi*	SUMO	*Subeucalanus monachus*
METE	*Mesocalanus tenuicornis*	TELO	*Temora longicornis*
MOTY	*Monacilla typica*	TEST	*Temora stylifera*

III. 6. 3. Abondance par groupe trophique

En termes de groupes trophiques, au niveau des 3 stations de prélèvement, les abondances totales varient entre un minimum de 19.31 ind.m^{-3} (2%) pour le groupe des carnivores et un maximum de 644.71 ind.m^{-3} (56%) pour les herbivores (Fig. 28).

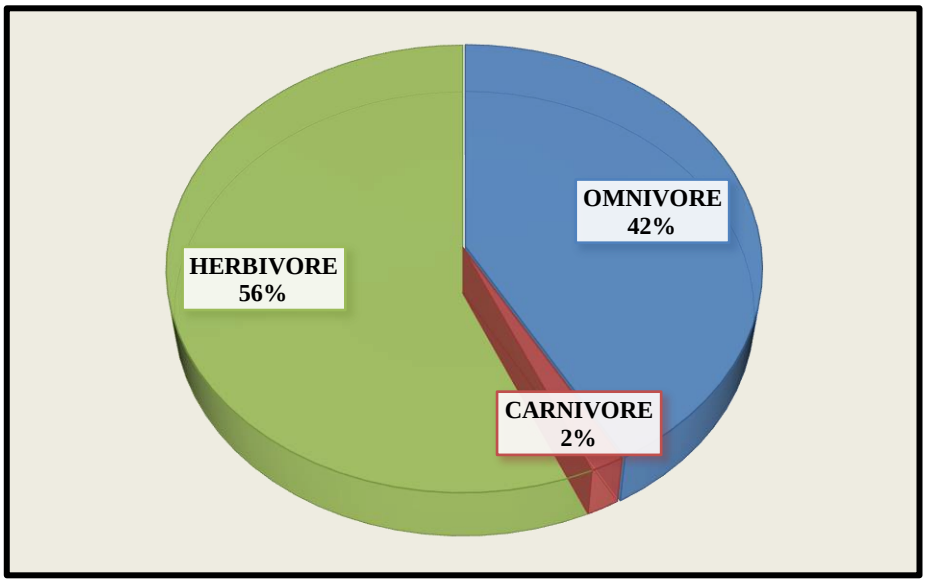


Figure 28. Abondances totales des groupes trophiques au sein de la baie de Bou Ismail

Au niveau de la station 1, le groupe abondant est celui des omnivores. Son abondance est de 69.09 ind.m^{-3} (56.41%). Ce dernier est suivi par le comportement herbivore, qui représente 43.58% (53.37 ind.m^{-3}) de la faune identifiée (Fig. 29). Les carnivores n'ont pas été captures au sein de cette station.

Au niveau de la deuxième station, les herbivores représentent le groupe trophique dominant. Ils affichent une abondance totale de 210.28 ind.m^{-3} (69.85%). En deuxième position d'importance, on a le groupe des omnivores, il représente 29.29% (88.17 ind.m^{-3}) du total prélevé. Enfin, les carnivores qui sont le groupe le moins abondant par 2.57 ind.m^{-3}, ce qui représente 0.85% du total (Fig.29).

Le groupe des herbivores domine la station 3, il représente 53.47% (383.63 ind.m^{-3}) du total prélevé. Suivi par le comportement omnivore, qui affiche une abondance de 317.13 ind.m^{-3} (44.20%). L'abondance minimale enregistrée au sein de cette station est liée aux carnivores, elle est de l'ordre de 16 ind.m^{-3} (2.33%). (Fig. 29).

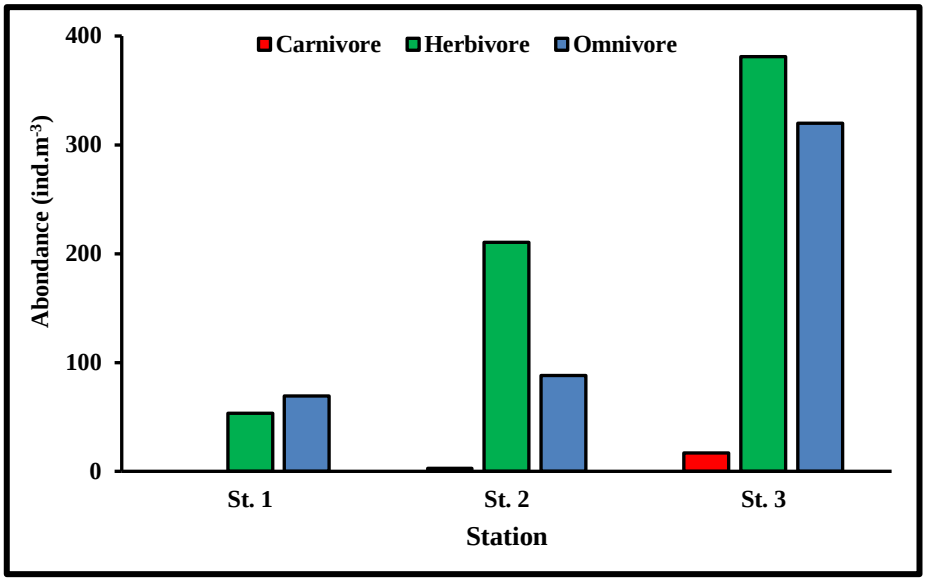


Figure 29. Répartition par station des abondances selon le groupe trophique

III. 6. 4. Abondance par stratégie d'alimentation

L'étude quantitative de la stratégie d'alimentation a montré que nos prélèvements sont régnés par les filtreurs. Leur abondance au sein de l'ensemble des stations est de 694.56 ind.m^{-3} (60.87%) (Fig. 28). On note la codominance des stratégies d'alimentation par croisière (173.25 ind.m^{-3}; 15.18%) et la stratégie mixte (167.15 ind.m^{-3} ; 14.64%) (Fig. 30).

Le comportement d'alimentation par embuscade active est le moins représenté dans nos captures (122.98 ind.m^{-3} ; 10.77%) (Fig. 30).

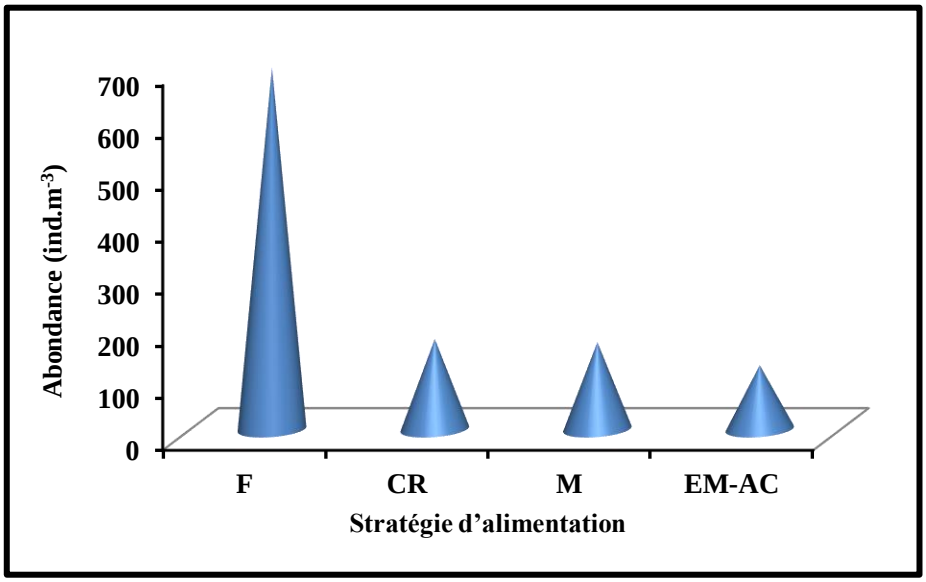


Figure 30. Abondances selon la stratégie d'alimentation au sein de la Baie de Bou Ismail

Au niveau des trois stations, l'abondance maximale est liée aux filtreurs. Ce groupe représente 59.05% (72.31 ind.m^{-3}) de la faune récoltée au sein de la station, 55.93% (168.36 ind.m^{-3}) au sein de la station 2, et 63.26% (453.89 ind.m^{-3}) au niveau de la station 3 (Fig. 31).

Les populations à alimentation par embuscade-active contribuent à 28.90% (35.40 ind.m^{-3}), 11.73% (35.30 ind.m^{-3}) et 7.29% (52.28 ind.m^{-3}) de la faune prélevée au niveau des stations 1, 2 et 3, successivement (Fig. 31).

Les concentrations des espèces a alimentation par croisière varient entre 2.57 ind.m^{-3} (2.10%) au sein de la station 1 et 72.86 ind.m^{-3} (10.15%) au sein de la station 3 (Fig. 31).

Le groupe des espèces a alimentation mixte affiche son maximum de concentration, qui est de 133.33 ind.m^{-3} (18.58%) au niveau de la station 3. Au sein des stations 1 et 2, ses abondances ne dépassent pas 8.5% du zooplancton récolté (Fig. 31).

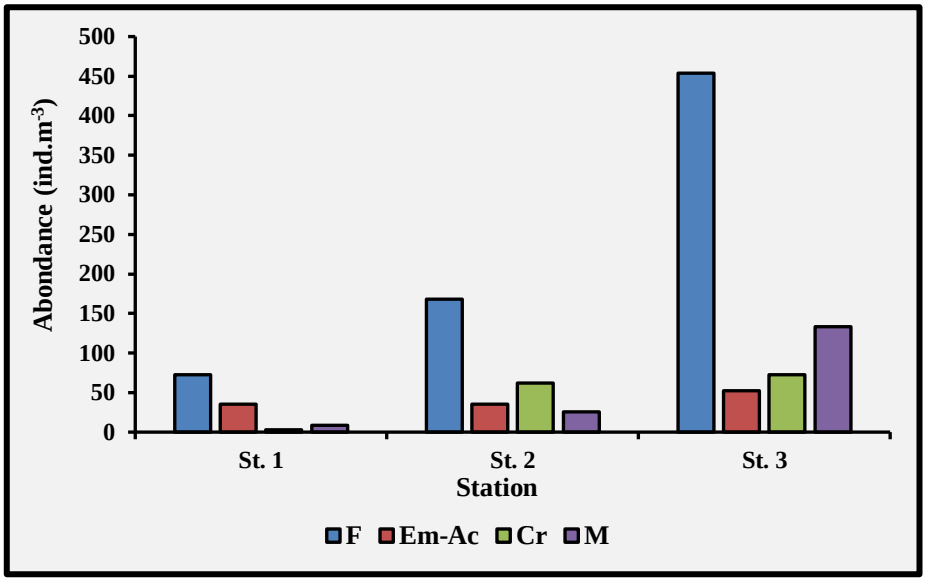


Figure 31. Répartition par station des abondances selon la stratégie d'alimentation

III. 6. 5. Abondance par affinité bathymétrique

L'étude quantitative de la faune échantillonnée, selon l'affinité bathypélagique des espèces, a montré une codominance des peuplements épipélagiques (567.95 ind.m^{-3}; 49.78%) et épi-mésopélagiques (440.03 ind.m^{-3}; 38.56%) (Fig. 32).

Les deux autres groupes sont nettement moins représentés, leurs contributions sont de 8.13% (92.83 ind.m^{-3}) pour les espèces épi-bathypélagiques et de 3.52% (40.17 ind.m^{-3}) pour les populations méso-bathypélagiques (Fig. 32).

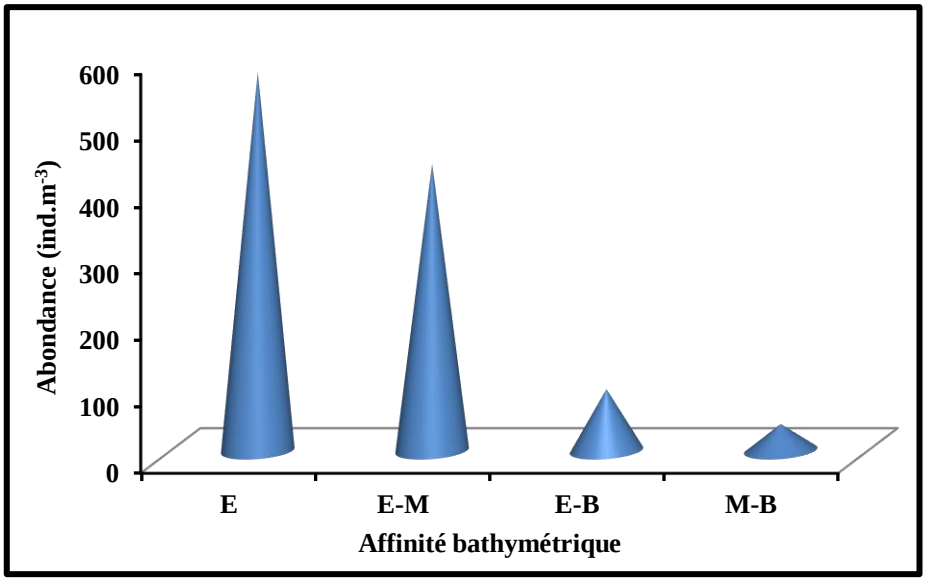


Figure 32. Affinité bathymétrique des prélèvements issus de la baie de Bou Ismail

L'abondance le plus élevée au niveau de la première station est reliée à l'affinité épi-mésopélagique par 65.08 ind.m^{-3}, ce qui représente 53.14% du total prélevé. Ce groupe est suivi par celui des espèces épipélagiques avec une abondance de 30.94 ind.m^{-3} (25.26%). Les populations épi-bathypélagiques représentent 18.65% (22.84 ind.m^{-3}) des récoltes. Enfin, le groupe des espèces a habitat profond (méso-bathypélagiques), qui présente les plus faibles concentrations (3,6 ind.m^{-3}; 2.93%) (Fig. 33).

La deuxième station est codominée par les peuplement épipélagiques et épi-mésopélagiques. Leurs abondances sont proches ; 133.43 ind.m^{-3} soit 44.32% pour les espèces épipélagiques et 114.45 ind.m^{-3} soit 38.02% pour les populations épi-mésopélagiques. La contribution des espèces épi-bathypélagiques est moins importante, on a quantifié 48 ind.m^{-3} (15.94%). En ce qui concerne les espèces méso-bathypélagiques, la valeur numérique enregistrée est très faible (5.14 ind.m^{-3}), elle représente 1.72% du total prélevé (Fig. 33).

La troisième station est dominée par le groupe des espèces épipélagiques, il représente 56.24% (403.58 ind.m^{-3}) du zooplancton identifié. Les populations épi-mésopélagiques sont en deuxième rang d'importance, elles représentent 36.30% (260.5 ind.m^{-3}) de la faune récoltée. Les peuplements épi-bathypélagiques et méso-bathypélagiques contribuent à moins de 5% du zooplancton prélevé ; 3.06% soit 21.99 ind.m^{-3}et 4.38% soit 31.43 ind.m^{-3}, successivement (Fig. 33).

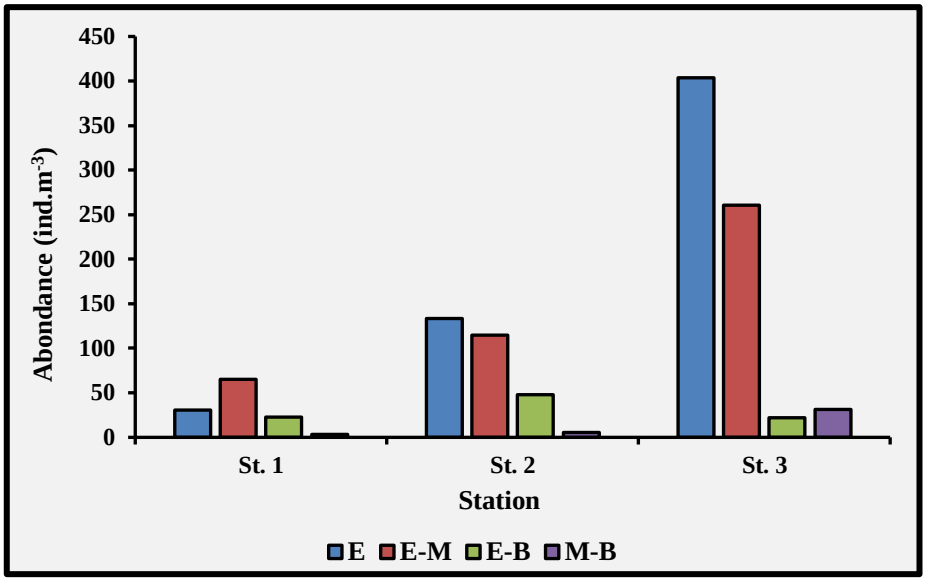


Figure 33. Répartition par station des abondances selon l'affinité bathypélagique

III. 7. Relation des peuplements de Copépodes avec la variabilité environnementale

Dans le but de relier la composante zooplanctonique issue de la baie de Bou Ismail avec les paramètres du milieu, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été utilisée. Pour cette dernière, différentes variables (T, S, PH et oxygène dissous) ont été prises en considération. La signification des codes utilisés dans cette étude figure dans le tableau 8.

L'analyse en Composante principale a permis l'illustration de ces variables (espèces et paramètres hydrologiques) autour de l'axe 1 et l'axe 2, qui expliquent 69.53% et 30.48% de la variabilité totale (Fig. 34). Les saturations des variables (espèces) en association avec les variables hydrologiques ont été portées dans le Tableau 9.

L'Analyse en Composantes Principales a mis en évidence 3 groupements (Fig. 34).

Le premier groupe est composé par 2 populations eurythermes à comportement omnivores (*Monacilla typica*, *Oithona helgolandica*). Elles ont une répartition côte large, et elles présentent une forte affinité avec la variable thermique. Ces deux populations contribuent le plus à la formation de deuxième axe factoriel ; 6.72% pour *Monacilla typica* et 8.19% pour *Oithona helgolandica* (Fig. 34).

Tableau 8. Signification des variables (espèces) sélectionnées

Code	Signification	Code	Signification
AEAR	*Aetideus armatus*	NAMI	*Nannocalanus minor*
CABR	*Calanoides brevicorni*	NEGR	*Neocalanus gracilis*
CAHE	*Calanus helgolandicus*	NERO	*Neocalanus robustior*
CAST	*Calocalanus styliremis*	OIBR	*Oithona brivicornis*
CAAR	*Candacia armata*	OIHE	*Oithona helgolandica*
CEHA	*Centropages hamatus*	OINA	*Oithona nana*
CETY	*Centropages typicus*	OIPL	*Oithona plumifera*
CEVI	*Centropages violaceus*	ONMED	*Oncaea mediterranea*
CHPO	*Chiridius poppei*	PANA	*Paracalanus nanus*
CLAR	*Clausocalanus arcuicornis*	PARA	*Paracalanus parvus*
CLFU	*Clausocalanus furcatus*	PAAT	*Pareucalanus attenuatus*
CLPE	*Clausocalanus pergens*	PHSP	*Phaenna spinifera*
COCL	*Corycaeus clausi*	RHNA	*Rhincalanus nasutus*
EUEL	*Eucalanus elongatus*	SUCR	*Subeucalanus crassus*
MECL	*Mecynocera clausi*	SUMO	*Subeucalanus monachus*
METE	*Mesocalanus tenuicornis*	TELO	*Temora longicornis*
MOTY	*Monacilla typica*	TEST	*Temora stylifera*

Tableau 9. Saturations des variables issues de de la baie de Bou Ismail avec les axes F1 et F2

Variables	F1	F2	Variables	F1	F2
AEAR	-0,162	0,987	PAPA	0,657	0,754
CAHE	0,991	0,136	RHNA	0,846	-0,533
CAST	0,995	0,100	TELO	0,993	-0,118
CEHA	0,991	-0,133	SUMO	0,959	-0,283
CETY	0,994	-0,109	TEST	0,985	-0,171
CLAR	0,967	0,257	NEGR	0,510	-0,860
COCL	0,998	-0,058	CEVI	0,998	0,067
EUEL	0,683	0,730	CABR	-0,291	0,957
MOTY	-0,683	-0,730	NERO	0,979	-0,201
NAMI	0,989	-0,149	T (º C)	-0,838	-0,546
OIBR	1,000	-0,031	S	0,949	-0,314
OIHE	-0,592	-0,806	PH	-0,114	-0,994
OINA	0,985	-0,172	OD	-0,064	0,998

La deuxième association faunistique mise en évidence par l'ACP relie des populations à comportement herbivore a l'oxygène dissous. Il s'agit de deux populations : *Calanus brevicornus* et *Aetideus armatus* (Fig. 34).

Ces deux espèces contribuent fortement à la formation du deuxième axe factoriel, ils représentent 12.29% (*Aetideus armatus*) et 11.55% (*Calanus brevicornus*) du total.

Une dernière association faunistique relie les populations herbivores et omnivores telles que *Calanus helgolandicus, Calocalanus styliremis, Centropages hamatus, C. violaceus, C. typicus, Clausocalanus arcuicornis, Corycaeus clausi, Nannocalanus minor, Neocalanus robustior, Oithona brevicornis, O. nana, Rhincalanus nasutus, Subeucalanus monachus, Temora longicornis* et *Temora stylifera* a la salinité (S). Ce groupement d'espèces qualifiées de euryhalines contribue à 79.5% de la formation de l'axe 2 (cosinus carré moyen de 0.96).

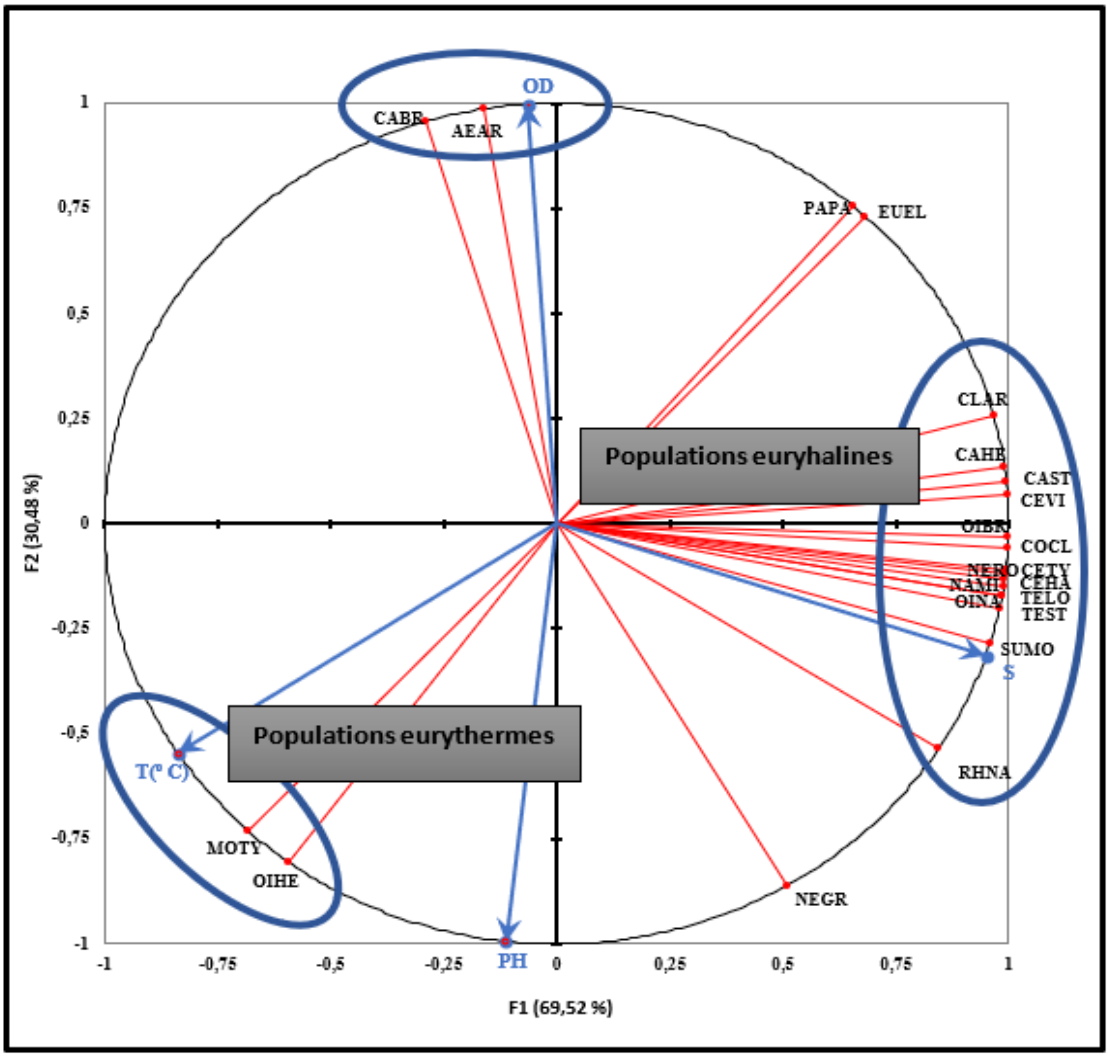


Figure 34. Relation des populations de Copépodes avec la variabilité hydrologique au sein de la baie de Bou Ismail

III. 8. Analyse structurale

Dans la présente étude, et afin d'évaluer la structure de la communauté de Copépodes issue de la baie de Bou Ismail, nous avons calculé l'indice de diversité spécifique de Shannon, l'indice de l'équitabilité de Pielou, et construit les Diagrammes Rangs Fréquences.

L'analyse de la diversité spécifique et de l'équitabilité au sein de la baie de Bou Ismail a montré que les communautés sont diversifiées (H' > 3.50 bits.ind^{-1}) et bien équilibrées (E > 0.8) (Fig. 35). Les valeurs de l'indice de diversité de Shannon varient entre un minimum de 3.75 bits.ind^{-1} au niveau de la station 1 et 4.30 bits.ind^{-1} au niveau de la station 3. L'indice de l'équitabilité présente un gradient décroissant, sont maximum est enregistré au sein de la première station et il diminue pour atteindre le minimum de 0.84 au niveau de la troisième station.

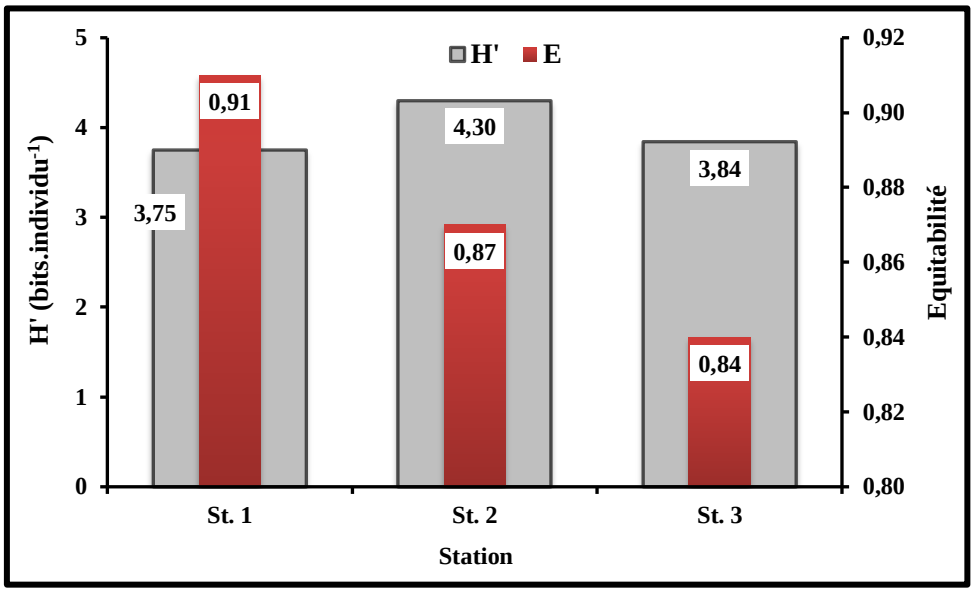


Figure 35. Variation de la diversité spécifique et de l'équitabilité au niveau de la baie de Bou Ismail

Les traces des Diagrammes Rangs Fréquences sont convexes au sein des trois stations de prélèvements (Fig. 36).

Au niveau de la première station, sur la partie gauche du DRF on dénombre un ensemble de 3 populations (*Oithona helgolandica*, *Nannocalanus minor* et *Calanoides brevicornis*). Leurs abondances sont 19.95 ind.m^{-3}, 19.85 ind.m^{-3} et 13.40 ind.m^{-3}, respectivement (Fig. 36).

Au sein de la deuxième station, la même allure du DRF est obtenue. Sur la partie gauche de la courbe, de faibles disparités quantitatives séparent les populations des rangs 1 (*Calanoides brevicornis*; 35.56 ind.m^{-3} et *Clausocalanus arcuicornis* ; 35.56 ind.m^{-3}), 2 (*Calanus helgolandicus* 32.98 ind.m^{-3}) et 3 (*Nannocalanus minor* ; 24.74 35.56 ind.m^{-3}) (Fig. 36)

Au niveau de la station 3, une codominance y est observée entre les Copépodes des rangs 1 à 5. Leurs abondances relatives varient entre 10% et 12.71% de la faune prélevée. Il s'agit des populations de : *Calanus helgolandicus* (91.32 ind.m^{-3}; 12.71%), *Temora stylifera* (84.53 ind.m^{-3}; 11.87%), *Centropages typicus* (80.41 ind.m^{-3}; 11.20%) *Nannocalanus minor* (75.77 ind.m^{-3}; 10.56%) et *Clausocalanus arcuicornis* (72.86 ind.m^{-3}; 10.15%) (Fig. 36).

La faune de Copépode liée à la baie de Bou Ismail, quelle que soit la station de prélèvement est considérée comme mature. Elle occupe le stade 2 de la succession écologique.

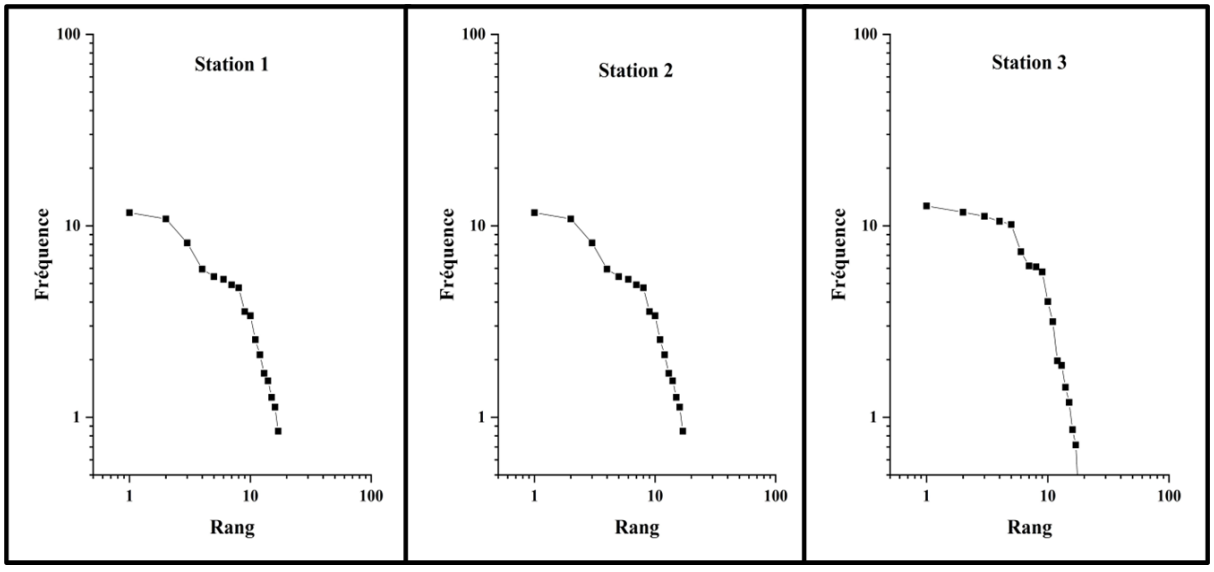


Figure 36. Etats de la succession écologique au sein de la faune de Copépodes issue de la baie de Bou Ismail

Chapitre IV

Discussion générale

IV. 1. Composition qualitative et comparaisons avec les autres régions de l'océan mondial

Au total, 2693 espèces de Copépodes recensées dans l'océan mondial. 460 espèces sont recensées en mer Méditerranée, ce qui représente 17.08% de la faune totale. Le bassin Algérien héberge 314 espèces soit 11.65% de la biodiversité total (Razouls *et al.,* 2005-2022).

Le prélèvement effectué au niveau de la baie de Bou-Ismail nous a permis d'établir une liste de diversité taxonomique composée de 34 espèces appartenant à 15 familles et 23 genres (Tab. 3). Cette biodiversité représente 7.39% de la faune Méditerranéenne et 1.26% de la faune mondiale.

Les taxa identifies sont réparties sur 2 ordres : *Calanoida* et *Cyclopoida*. La faune récoltée est dominée par l'ordre des *calanoides* : 28 espèces appartenant à 12 familles. La dominance des *calanoides* a été déjà signalé au niveau des côtes Algériennes **(**Chaouadi & Hafferssas, 2018), en mer Adriatique (Mazzocchi *et al.,* 2003) et au sein du bassin Levantin (Pasternak *et al.,* 2005).

Tableau 10. Niveaux des biodiversités de la faune de Copépodes liés aux différentes régions de la Méditerranée

Régions	*Nombre d'espèces*	*Références*	*Type de filet*
Côtes Marocaines (2°24'W)	*57*	*Zerouali & Melhaoui (2002)*	*Juday-Bogorov (80 µm)*
Mer d'Alboran (2°W – 0°)	*55*	*Youssara & Gaudy (2001)*	*Working-Party 2 (200 µm)*
Iles Habibas (1°08'W)	*56*	*Chaouadi & Hafferssas (2018)*	*Working-Party 2 (200 µm)*
Mer des Baléares (2°40'E)	*83*	*Fernández de puelles et al. (2009)*	*Bongo (250 µm)*
Baie de Bou Ismail (2°50'E)	*62*	*Chaouadi & Hafferssas (2018)*	*Working-Party 2 (200 µm)*
Côtes Algériennes (1°E – 4°E)	*80*	*Seridji & Hafferssas (2000)*	*Working-Party 2 (200 µm)*
Baie d'Annaba (8°E)	*73*	*Ounissi et al. (2016)*	*Working-Party 2 (200 µm)*
Baie de Tunis (10°1'E – 10°4'E)	*52*	*Daly Yahia et al. (2004)*	*Nansen (55 µm)*
Golfe du Lion (3°E – 8°E)	*30*	*Donoso et al. (2017)*	*Bongo (120 µm)*
Mer Ligure (6°E – 10°E)	*55*	*Pinca & Dallot (1995)*	*Working-Party 2 (200 µm)*
Mer Ligure (7°50'E)	*32*	*Andersen et al. (2001)*	*Working-Party 2 (200 µm)*
Mer Ligure (8°45'E)	*23*	*Dauby (1980)*	*Working-Party 2 (180 µm)*
Mer Adriatique (13°5'E – 19°E)	*137*	*Hure et al. (1980)*	*Nansen (250 µm)*

La biodiversité recensée au niveau de la baie de Bou-Ismail est proche de celle dénombrée au sein de la mer Ligure par Dauby (1980). Elle est supérieure à celle recensée au niveau de la mer Ligure également, par Andersen et al. (2001). Par ailleurs, elle est nettement inférieure à celle identifie au niveau de la même région (Chaouadi & Hafferssas, 2018), au niveau de de la mer d'Alboran (Youssara & Gaudy., 2001), au niveau de la baie de Annaba (Ounissi *et al.,* 2016) et à celle recensée au niveau de la mer des Baléares par Fernández de puelles *et al.* (2009) (Tab. 10).

IV. 2. Abondances totales, contribution des herbivores et adaptation à la stratégie d'alimentation

Au niveau de la baie de Bou Ismail, l'abondance moyenne observée est de 380.33 ind.m^{-3}. D'un point de vue comparatif, ses valeurs sont faibles à celles observées dans la zone productive de la côte Algérienne entre 1°E et 4°E (Hafferssas, 2010); la baie de Annaba à 8°E (Ounissi *et al.,* 2016); le bassin algéro-provençal (Nowaczyk et al., 2011); la baie de Tunis (Daly Yahia *et al.,* 2004); la mer de Ligure (Dauby, 1980; Andersen *et al.,* 2001; Donoso *et al.,* 2017); la mer d'Alboran (Seguin *et al.,* 1993); la mer des Baléares (Calbet *et al.,* 2001); mer Egée (Isari *et al.,* 2006) et la mer Adriatique (Hure *et al.,* 1980). Cependant, nos valeurs sont proches de celles trouvées dans le détroit de Sicile (Siokou-Frangou *et al.,* 1997) et dans la mer Levantine (Pasternak *et al.,* 2005).

Selon le groupe trophique, les espèces récoltées appartiennent à trois groupes : phytophages, omnivores et carnivores. Les herbivores et les omnivores représentent plus de 90% de la faune récoltée. Au niveau de la même zone d'étude, Chaouadi (2019) à indiquer que ces deux groupes trophiques représentent 75% du zooplancton prélevé. La dominance des deux comportements trophiques dans les eaux méditerranéennes a été déjà signalée par Benedetti et al. (2015). En effet Le développement des espèces phytophages serait favorisé par la disponibilité des Diatomées (Paffenhofer *et al.,* 1987; Thibault *et al.,*1994; Pesant *et al.,* 1998; Mariano *et al.,* 2001; Gaudy *et al.,* 2003).

La faune récoltée au sein de la zone d'étude est reliée à différentes stratégies d'alimentations. On a observé une nette dominance des filtreurs, ces derniers représentent 50% du total. La dominance des filtreurs a été déjà signalée au niveau de la baie de Bou Ismail (Chaouadi, 2019). Ces *Copépodes* ont la capacité d'adapter leur stratégie d'alimentation en fonction de

l'environnement alimentaire, de la disponibilité des proies et de la présence de prédateurs (Mariani *et al.*, 2013, Kiørboe *et al.*, 2018)

Les calanoïdes *Centropages typicus* et *Temora stylifera* sont des espèces dominantes dans les régions côtières de la Méditerranée occidentale. Leurs populations se répartissent selon des cycles saisonniers différents (Mazzocchi & Ribera d'Alcala, 1995, Chaouadi, 2019). La dominance des populations de *T. stylifera* a déjà été évoqué sur les côtes algériennes à proximité de 1° E (Hafferssas & Seridji, 2010 ; Chaouadi, 2019) et Tunisiennes (Daly Yahia & al., 2004).

IV. 3. Affinité bathymétrique des populations prélevées

La composition qualitative de la copépodofaune est indicatrice de la topographie néritique de la baie de Bou Ismail caractérisée par une réduction du plateau continentale (Chalabi & Akkacha., 1998 ; El Hmaidi *et al.*, 2010) explique la codominance des espèces épipélagiques (41.17%) et épi-mésopélagiques (41.17%). La migration des populations habituellement inféodées aux couches profondes en surface serait liée à plusieurs facteurs: *i)* dynamique (Boucher *et al.*, 1987; Siokou-Frangou *et al.*, 1999; Hafferssas *et al.*, 2010; Chaoauadi & Hafferssas, 2018); *ii)* trophique (Boucher, 1984,Siokou-Frangou *et al.*, 1999; Leising & Franks, 2002) ; et ontogénique (Boucher,1989; Andersen *et al.*, 2004).

IV. 4. Effets de la variabilité environnementale sur la répartition des espèces

L'analyse en Composantes Principales a montré que la répartition de la faune prélevées dépend des paramètres hydrologiques telle que la température, salinité et l'oxygène dissous.

En effet, une corrélation significative a été mise en évidence entre le cycle saisonnier du zooplancton et la température (Valdès *et al.*, 2007). Les pics saisonniers de l'ensemble du zooplancton changent en fonction de la température (Greve *et al.*, 1996 ; Edwards & Richardson 2004).

Ouba (2015) a mis en évidence l'effet du réchauffement printanier sur l'augmentation des abondances du zooplanctons. L'augmentation des températures de surface favorise la migration du zooplancton caractérisant des eaux chaudes (Beaugrand, 2009).

La zone côtière méditerranéenne apparait être la région la plus sensible au changement climatique. Une anomalie climatique importante et persistante est susceptible d'agir durablement, après un délai plus ou moins long, sur les conditions trophiques pélagiques (Hays *et al.*, 2005; Beaugrand, 2009).

IV. 5. Successions écologiques et niveaux de productions des écosystèmes

Les communautés zooplanctoniques hébergées au niveau de nos stations de prélèvements sont fortement diversifiées, équilibrées et matures. Elles sont similaires à celles peuplant les sites oligotrophes en mer d'Alboran (Pinca & Dallot, 1997). Cet état caractérise surtout les systèmes oligotrophes (Chl a< 1 $mg.m^{-3}$) (Sournia *et al.*, 1990; Hafferssas & Seridji, 2010).

Seguin et al. (1994), y ont évoqué les effets des niveaux de productivité des eaux sur la structure des écosystèmes.

Conclusion

générale

La biodiversité taxonomique de la faune zooplanctonique issue de notre zone étudiée (baie de Bou Ismail) à partir de trois stations cumule un total de 34 espèces de Copépodes. Elle représente 5.76% du total recensée en Méditerranée et 1.26 % de la biodiversité de l'océan mondial.

De point de vue trophique, les populations appartiennent à trois groupes ; phytophages (18 espèces), omnivores (14 espèces) et carnivores (2 espèces). Celles-ci sont reliées à différentes stratégies d'alimentations (filtration, croisière, prédation active et mixte).

Les stations de prélèvements sont localisées sur une zone néritique caractérisées par une topographie particulière ; réduction du plateau continental. Cette particularité explique la dominance des Copépodes épipélagiques et épi-mésopélagiques.

Les abondances des communautés échantillonnées décrivent un gradient côte-large croissant.

La répartition des faunes méso-zooplanctoniques est influencée par divers facteurs du milieu (Température, salinité et oxygène dissous).

En termes de groupes fonctionnels, d'une manière générale, nos prélèvements sont dominés par des populations herbivores filtreurs inféodées à la couche superficielle (épi et épi-mésopélagiques).

Le deuxième stade de successions écologiques a été décrit au sein de populations prélevées au niveau de la baie de Bou Ismail. Les communautés y sont bien équilibrées et fortement diversifiées.

Références bibliographiques

Andersen, V., Devey, C., Gubanova, A., Picheral, M., Melnikov, V., Tsarin, S., & Prieur, L. (2004). Vertical distributions of zooplankton across the Almeria–Oran frontal zone (Mediterranean Sea). Journal of Plankton Research, 26(3), 275-293.

Andersen, V., Nival, P., Caparroy, P., & Gubanova, A. (2001). Zooplankton community during the transition from spring bloom to oligotrophy in the open NW Mediterranean and effects of wind events. 1. Abundance and specific composition. Journal of Plankton Research, 23(3), 227- 242.

Anneville, O., Molinero, J. C., Souissi, S., Balvay, G., & Gerdeaux, D. (2007). Long-term changes in the copepod community of Lake Geneva. Journal of Plankton Research, 29(suppl_1), i49-i59.

Antarjane, E., S. Lelievre, S., Martin, C., Warembourg, C. & Vaz, S. (2008). Mapping and modelling of winter ichthyoplankton distribution and associated zooplankton assemblages in the eastern English Channel and Southern North Sea. ICES WKZEM Report, 10: 38-39. **Millot, C. (1985).** Some features of the Algerian Current. J. Geophys. Res., 90: 7169-7176.

Asso, A. (1982). Contribution à l'étude de polluants métalliques chez la moule Perna perna (L) dans la région d'Alger. Thèse de Doctorat 3éme Cycle, Univ. Sc. Tech. Languedoc – Monpellier. 316 p.

Barton, A. D., Pershing, A. J., Litchmane, E., Record, N. R., Edwards, K. F., Finkel, Z. V., Kiørboe, T., & Ward, B. A. (2013). The biogeography of marine plankton traits. Ecol. Lett., 16: 522-534.

Batchelder, H. P., Mackas, D. L., & O'Brien, T. D. (2012). Spatial–temporal scales of synchrony in marine zooplankton biomass and abundance patterns: a world-wide comparison. Progress in Oceanography, 97, 15-30.

Beaugrand, G. (2005). Monitoring pelagic ecosystems using plankton indicators. ICES Journal of Marine Science, 62(3), 333-338.

Beaugrand, G. (2009). Decadal changes in climate and ecosystems in the North Atlantic Ocean and adjacent seas. Deep Sea Research, 56, 656-673.

Benedetti, F. (2016). Impacts du changement climatique sur la diversité fonctionnelle du zooplancton, le cas des Copépodes planctoniques de mer Méditerranée. Thèse de doctorat, Paris 6. 194 pp.

Benedetti, F., Gasparini, S., & Ayata, S. D. (2015). Identifying copepod functional groups from species functional traits. Journal of Plankton Research, 38(1), 159-166.

Ben-Hamadou, R., Chicharo, M. A., Madeira, C., Morais, P., Cruz, J., Chicharo, L. (2008). Zooplankton distribution in Algarve coastal zone (North East Atlantic Ocean). ICES WKZEM Report, 10, 39-40.

Benzohra, M. & Millot, C., (1995). Hydrodynamics of an open Algerian eddy. Deep Sea Research, 34, 955-959.

Bernard, F. (1958). Révision des Calocalanus (Copépodes Calanoides) avec description d'un genre nouveau et deux nouvelles espèces. Bulletin de la Société Zoologique de France, 83, 1-5.

Bernard, F. (1971). Quelques aspects de la biologie de Temora stylifera (Dana) en Méditerranée. Essai d'écologie expérimentale. Thèse de Doctorat 3eme cycle. Faculté des sciences de l'université d'Alger, 163 pp.

Bjornberg, T. S. K. (1981). Copepoda. Altas del Zooplancton del Atlantico sudoccidental y me'todos de Trabajo con Zooplancton marine, 587-689.

Boucher, J. (1984). Localization of zooplankton population in the Ligurian marine front: role of ontogenetic migration. Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap., 31: 469-484.

Boucher, J. (1989). Caractéristiques et déterminisme des migrations ontogéniques des Copépodes calanoides. Océanis, 15(2): 71-81.

Boucher, J., Ibanez, F. & Prieur, L. (1987). Daily and seasonal variations in the spatial distribution of zooplankton populations in relation to physical structure in the Ligurian sea front. Journal of Marine Research, 45, 133-174.

Brugnano, C., Granata, A., Guglielmo, L., & Zagami, G. (2012). Spring diel vertical distribution of copepod abundances and diversity in the open Central Tyrrhenian Sea (Western Mediterranean). Journal of Marine Systems, 105, 207-220.

Calbet, A., Garrido, S., Saiz, E., Alcaraz, M., & Duarte, C. M. (2001). Annual zooplankton succession in coastal NW Mediterranean waters: the importance of the smaller size fractions. Journal of Plankton research, 23(3), 319-331.

Chalabi, A., & Akkacha, S. (1998). Essai de standardisation de l'effort de pêche à la senne en baie d'Alger. Rapp. Comm. int. Mer Médit., **35**: 400-401.

Chaouadi, M. (2019). La faune mésozooplanctonique des côtes algériennes" biodiversité, distribution quantitative, composition trophique et interaction avec le milieu" Thèse de Doctorat USTHB, Alger, 163 p. & Annexes.

Chaouadi, M., & Hafferssas, A. (2018). Seasonal variability in diversity and abundance of the free-living pelagic copepod community of the Algerian coasts (SW Mediterranean Sea). Crustaceana, 91(8), 913-946.

Costello, M. J. (1990). Predator feeding strategy and prey importance: a new graphical analysis. Journal of Fish Biology, 36(2), 261-263.

Cotté, C., Guinet, C., Taupier-Letage, I., Mate, B., & Petiau, E. (2009). Scale-dependent habitat use by a large free-ranging predator, the Mediterranean fin whale. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 56(5), 801-811.

Daget, J. (1976). Les modèles mathématiques. In: Masson (ed.), Paris, 170 pp.

Daly Yahia, N. M., Souissi, S., & Daly Yahia-Kefi, O. (2004). Spatial and temporal structure of planktonic copepods in the Bay of Tunis (southwestern Mediterranean Sea). Zoological Studies, 43(2), 366-375.

Dauby, P. (1980). Annual cycle of surface zooplankton in ²Calvis Bay (Corsica). Total biomass and copepods. Oceanologica Acta, 3(4), 403-407.

Deutschlands, D. T. (1928). Herausgeben von Prof. Dr. Friedrich Dahl, pt, 9.

Di Carlo, B. S., Ianora, A., Fresi, E., & Hure, J. (1984). Vertical zonation patterns for Mediterranean copepods from the surface to 3000 m at a fixed station in the Tyrrhenian Sea. Journal of Plankton Research, 6(6), 1031-1056.

Donoso, K., Carlotti, F., Pagano, M., Hunt, B. P., Escribano, R., & Berline, L. (2017). Zooplankton community response to the winter 2013 deep convection process in the NW M editerranean S ea. Journal of Geophysical Research: Oceans, 122(3), 2319-2338.

Dudley, P. C. (1986). Aspects of general body shape and development in Copepoda. In Proc. 2nd Int. Conf. Copepoda, Ottawa, Syllogues, 59: 7-25.

Dunteman, G. H. (1989). Principal Components Analysis. London: Sage Publications (ed.), 96 pp.

Edwards, M., & Richardson, A. J. (2004). Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. Nature, 430(7002), 881-884.

El Hmaidi, A., El Moumni, B., Nachite, D., Bekkali, R., & Gensous, B. (2010). Distribution et caractéristiques des associations d'ostracodes au Pléistocène supérieur et Holocène au niveau de la marge orientale du détroit de Gibraltar (mer d'Alboran, Maroc). Revue de micropaléontologie, 53(1), 17-28.

Falkowski, P. G., Barber, R. T., & Smetacek, V. (1998). Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. Science, 281(5374): 200-206.

Falk-Petersen, S., Sargent, J. R., Henderson, J., Hegseth, E. N., Hop, H., & Okolodkov, Y. B. (1998). Lipids and fatty acids in ice algae and phytoplankton from the Marginal Ice Zone in the Barents Sea. Polar Biology, 20(1), 41-47.

Fernández de Puelles, M. L., Alemany, F., & Jansá, J. (2007). Zooplankton time-series in the Balearic Sea (Western Mediterranean): variability during the decade 1994–2003. Progress in Oceanography, 74(2-3), 329-354.

Fernández de Puelles, M. L., Lopez-Urrutia, A., Morillas, A., & Molinero, J. C. (2009). Seasonal variability of copepod abundance in the Balearic region (western Mediterranean) as an indicator of basin scale hydrological changes. Hydrobiologia, 617(1), 3-16.

Fernández de Puelles, M. L., Macias, V., Vicente, L., & Molinero, J. C. (2014). Seasonal spatial pattern and community structure of zooplankton in waters off the Baleares archipelago (Central Western Mediterranean). Journal of Marine Systems, 138, 82-94.

Fernández de Puelles, M. L., Pinot, J. M., & Valencia, J. (2003). Seasonal and interannual variability of zooplankton community in waters off Mallorca island (Balearic Sea, Western Mediterranean): 1994-1999. Oceanologica acta, 26(5-6), 673-686.

Frangoulis, C., Christou, E. D., & Hecq, J. H. (2004). Comparison of marine copepod outfluxes: nature, rate, fate and role in the carbon and nitrogen cycles. Advances in marine biology, 47, 254.

Frontier, S. (1985). Diversity and structure in aquatic ecosystems. Oceanogr Mar Biol, 23, 253-312.

Fuda, J. L., Millot, C., Taupier-Letage, I., Send, U., & Bocognano, J. M. (2000). XBT monitoring of a meridian section across the western Mediterranean Sea. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 47(11), 2191-2218.

Gaudy, R. (1985). Features and peculiarities of zooplankton communities from the western Mediterranean. In Mediterranean marine ecosystems (pp. 279-301). Springer, Boston, MA.

Gaudy, R., & Champalbert, G. (1998). Space and time variations in zooplankton distribution south of Marseilles. Oceanologica Acta, 21(6), 793-802.

Gaudy, R., Youssara, F., Diaz, F., & Raimbault, P. (2003). Biomass, metabolism and nutrition of zooplankton in the Gulf of Lions (NW Mediterranean). Oceanologica Acta, 26(4), 357-372.

Giron, F. (1963). Copépodes de la mer d'Alboran (Campagne du ''Président-Théodore-Tissier'', juin 1957). Revue des travaux de l'Institut des pêches maritimes, 27(4), 355-402.

Glippa, O. (2011). Rôle des oeufs de résistance dans la dynamique des populations des principales espèces de Copépodes calanoïdes: Cas de l'estuaire de la Seine. Université de Lille, 1. 200 pp.

Greve, W., Reiners, F., & Nast, J. (1996). Biocoenotic changes of the zooplankton in the German Bight: the possible effects of eutrophication and climate. ICES Journal of Marine Science, 53(6), 951-956.

Hafferssas, A., & Seridji, R. (2010). Relationships between the hydrodynamics and changes in copepod structure on the Algerian coast. Zoological Studies, 49(3), 353-366.

Hafferssas, A., Seridji, R., & Dallot, S. (2010). Mesozooplankton abundance and biomass related to hydrological structure along the Algerian coasts (SW Mediterranean Sea). Crustaceana, 1281-1302.

Halvorsen, E., Hirst, A. G., Batten, S. D., Tande, K. S., & Lampitt, R. S. (2001). Diet and community grazing by copepods in an upwelled filament off the NW coast of Spain. Progress in Oceanography, 51(2-4), 399-421.

Hays, G. C., Richardson, A. J., & Robinson, C. (2005). Climate change and marine plankton. Trends in ecology & evolution, 20(6), 337-344.

Heron, G. A., Saunders English, T., & Damkaer, D. M. (1984). Arctic Ocean Copepoda of the genera Lubbockia, Oncaea, and Epicalymma (Poecilostomatoida: Oncaeidae), with remarks on distributions. Journal of Crustacean Biology, 4(3), 448-490.

Hure, J., Ianora, A., & di Carlo, B. S. (1980). Spatial and temporal distribution of copepod communities in the Adriatic Sea. Journal of Plankton Research, 2(4), 295-316.

Huys, R., & Boxshall, G. A. (1991). Copepod evolution. The Ray Society, London, 468 pp.

Isari, S., Ramfos, A., Somarakis, S., Koutsikopoulos, C., Kallianiotis, A., & Fragopoulu, N. (2006). Mesozooplankton distribution in relation to hydrology of the Northeastern Aegean Sea, Eastern Mediterranean. Journal of Plankton Research, 28(3), 241-255.

Katona, S. K. (1971). The developmental stages of Eurytemora affinis (Poppe, 1980) (Copepoda, Calanoida) raised in laboratory cultures, including a comparison with the larvae of Eurytemora americana Williams, 1906, and Eurytemora herdmani Thompson, & Scott, 1897. Crustaceana, 21: 5-20.

Kiørboe, T. (2011). How zooplankton feed: mechanisms, traits and trade-offs. Biol. Rev., 86(2): 311-339.

Kiørboe, T., Saiz, E., Tiselius, P., & Andersen, K. H. (2018). Adaptive feeding behavior and functional responses in zooplankton. Limnology and Oceanography, 63(1), 308-321.

Kouwenberg, J. H. (1994). Copepod distribution in relation to seasonal hydrographics and spatial structure in the North-western Mediterranean (Golfe du Lion). Estuar. Coast Shelf Sci., 38(1): 69-90.

Lance, G. N., & Williams, W. T. (1967). A general theory of classificatory sorting strategies: 1. Hierarchical systems. The computer journal, 9(4), 373-380.

Leclaire L. (1972). La sédimentation holocène sur le versant Méridional du bassin Algéro-Baléares (Précontinent Algérien). Tome XXIV. Edition de Muséum, Paris, France, 391 P.

Legendre, L. & Legendre, P. (1984). Ecologie numérique. 2éme ed. Tome 2: la structure des données écologiques. Coll. d'Ecologie, 13, Masson, Paris et Presses de l'université de Quebec: 261 pp.

Legendre, P. & Legendre, L. (1994). Numerical ecology. Developments. In: Environmental Modellings 20, 853 pp.

Longhurst, A. R. (1985). The structure and evolution of plankton communities. Progr. Oceanogr., 15: 1-35.

Manickam, N., Santhanam, P., & Saravana Bhavan, P. (2019). Techniques in the collection, preservation and morphological identification of freshwater zooplankton. In Basic and Applied Zooplankton Biology (pp. 139-195). Springer, Singapore.

Mariani, P., Andersen, K. H., Visser, A. W., Barton, A. D., & Kiørboe, T. (2013). Control of plankton seasonal succession by adaptive grazing. Limnology and Oceanography, 58(1), 173-184.

Mariano, A. J., Hitchcock, G. L., Ashjian, C. J., Olson, D. B., Rossby, T., Ryan, E., & Smith, S. L. (2001). Principal component analysis of biological and physical variability in a Gulf Stream meander crest. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 43(9), 1531-1565.

Mauchline, J. (1998). Adv. Mar. Biol. 33: The biology of calanoid copepods.

Mayzaud, P., & Pakhomov, E. A. (2014). The role of zooplankton communities in carbon recycling in the Ocean: the case of the Southern Ocean. Journal of plankton research, 36(6), 1543-1556.

Mazza, J. (1961). Remarques sur la répartition qualitative et quantitative des Copépodes en Méditerranée. Comm. Int. Explor. Sci. Mer Medit., Rapp. & P. V., 16:157-167.

Mazzocchi, M. G., & d'Alcalà, M. R. (1995). Recurrent patterns in zooplankton structure and succession in a variable coastal environment. ICES Journal of Marine Science, 52(3-4), 679-691.

Mazzocchi, M. G., Nervegna, D., D'elia, G., Di Capua, I., Aguzzi, L., & Boldrin, A. (2003). Spring mesozooplankton communities in the epipelagic Ionian Sea in relation to the Eastern Mediterranean Transient. Journal of Geophysical Research: Oceans, 108(C9).

Mazzocchi, M. G., Siokou, I., Tirelli, V., Bandelj, V., de Puelles, M. F., Örek, Y. A. & Kurt, T. T. (2014). Regional and seasonal characteristics of epipelagic mesozooplankton in the Mediterranean Sea based on an artificial neural network analysis. Journal of Marine Systems, 135, 64-80.

Millot, C. (1999). Circulation in the western Mediterranean Sea. J. Mar. Syst., 20: 423-442.

Millot, C., & Taupier-Letage, I. (2005). Additional evidence of LIW entrainment across the Algerian subbasin by mesoscale eddies and not by a permanent westward flow. Progress in oceanography, 66(2-4), 231-250.

Nowaczyk, A., Carlotti, F., Thibault-Botha, D., & Pagano, M. (2011). Distribution of epipelagic metazooplankton across the Mediterranean Sea during the summer BOUM cruise. Biogeosciences, 8(8), 2159-2177.

Onken, R., & SELLSCHOPP, J. (2001). Water masses and circulation between the eastern Algerian Basin and the Strait of Sicily in October 1996. Oceanologica acta, 24(2), 151-166.

O. N. M. (Office National de la Météorologie), (2003). Centre climatologique national, BP 153, Dar El Beida, 16100 Alger, Algérie.

Orloci, L. (1978). Multivariate analysis in vegetation research. Dr. Junk. B.V. Publisher, Boston,15-212.

Ouba, A. (2015). Variabilité saisonnière et interannuelle (2000-2013) de l'abondance, de la biomasse et du spectre de taille du zooplancton dans le bassin Levantin (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).

Ounissi, M., Laskri, H., & Khélifi-Touhami, M. (2016). Net-zooplankton abundance and biomass from Annaba Bay (SW Mediterranean Sea) under estuarine influences. Mediterranean Marine Science, 17(2), 519-532.

Paffenhöfer, G. A., Sherman, B. K., & Lee, T. N. (1987). Abundance, distribution and patch formation of zooplankton. Progress in Oceanography, 19(3-4), 403-436.

Pasternak, A., Wassmann, P., & Riser, C. W. (2005). Does mesozooplankton respond to episodic P inputs in the Eastern Mediterranean?. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 52(22-23), 2975-2989.

Pinca, S., & Dallot, S. (1997). Zooplankton community structure in the Western Mediterranean sea related to mesoscale hydrodynamics. Hydrobiologia, 356(1), 127-142.

Pronier, O. (2000). Analyse des peuplements ichtyologiques des plans d'eau français et perspective de gestion piscicole Thèse de Doctorat, Toulouse: INPT, 200 pp.

Raimbault, P., Coste, B., Boulhadid, M., & Boudjellal, B. (1993). Origin of high phytoplankton concentration in deep chlorophyll maximum (DCM) in a frontal region of the Southwestern Mediterranean Sea (Algerian Current). Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 40(4), 791-804.

Razouls C., Desreumaux N., Kouwenberg J. and de Bovée F. (2005-2022). Biodiversity of Marine Planktonic Copepods (morphology, geographical distribution and biological data). Sorbonne University, CNRS. Available at http://copepodes.obs-banyuls.fr/en [Accessed June 12, 2022]

Riandey, V., Champalbert, G., Carlotti, F., Taupier-Letage, I., & Thibault-Botha, D. (2005). Zooplankton distribution related to the hydrodynamic features in the Algerian Basin (western Mediterranean Sea) in summer 1997. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 52(11), 2029-2048.

Romagnan, J. B., Legendre, L., Guidi, L., Jamet, J. L., Jamet, D., Mousseau, L., ... & Stemmann, L. (2015). Comprehensive model of annual plankton succession based on the whole-plankton time series approach. PLoS One, 10(3), e0119219.

Rose, M. (1933). Copépodes pélagiques. Faune de France. Paris: Lechevalier (ed.), 26: 1-374.

Rose, M. & Vaissiére, R. (1953). Catalogue préliminaire des Copépodes de l'Afrique du Nord. Bulletin de la Société de l'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord. 44: 83-99.

Ruiz, S., Font, J., Emelianov, M., Isern-Fontanet, J., Millot, C., Salas, J., & Taupier-Letage, I. (2002). Deep structure of an open sea eddy in the Algerian Basin. Journal of Marine Systems, 33, 179-195.

Sameoto, D. D. (1986). Influence of the biological and physical environment on the vertical distribution of mesozooplankton and micronekton in the eastern tropical Pacific. Marine Biology, 93(2), 263-279.

Seguin, G. (1973). Cycle comparaison du zooplancton dans l'ouest africain et de la Méditerranée sud occidentale. Etude systématique, quantitative et écologique. Thèse de Doctorat d'Etat, Université des Sciences & Techniques de Lille, 120 p.

Seguin, G., A. Errhif, A. & Dallot, S. (1994). Diversity and structure of pelagic copepod populations in the frontal zone of the eastern Alboran Sea. Hydrobiologia, 292(1): 369-377.

Seguin, G., G. C. Bracconnot & ELKAIM, B. (1997). Le Plancton. Presses universitaires de France, Paris, 125 pp.

Seguin, G., Gaudy, R., Errhif, A., & Thibault, D. (1993). Observations sur l'abondance, la composition taxonomique et les affinités écologiques des copépodes pélagiques récoltés dans la région du front Alméria-Oran. Marine Life, 3(1-2), 19-29.

Seridji, R. & Hafferssas, A. (2000). Copepod diversity and community structure in the Algerian Basin. Crustaceana, 73(1): 1-23

Siokou-Frangou, I., Christaki, U., Mazzocchi, M. G., Montresor, M., Ribera d'Alcalá, M., Vaqué, D., & Zingone, A. (2010). Plankton in the open Mediterranean Sea: a review. Biogeosciences, 7(5), 1543-1586.

Siokou-Frangou, I., Christou, E. D., Fragopoulu, N., & Mazzocchi, M. G. (1997). Mesozooplankton distribution from Sicily to Cyprus (Eastern Mediterranean). 2. Copepod assemblages. Oceanolica Acta, 20(3), 537-548.

Siokou-Frangou, I., Gotsis-Skretas, O., Christou, E. D., & Pagou, K. (1999). Plankton characteristics in the Aegean, Ionian and NW Levantine seas. In The Eastern Mediterranean as a laboratory basin for the assessment of contrasting ecosystems (pp. 205-223). Springer, Dordrecht.

Soyer, J. (1970). Bionomie benthique du plateau continental de la côte catalono française III: les peuplements de Copépodes Harpacticoides (Cructacea). Vie et Milieu, 337–511.

Thibault, D., Gaudy, R. & Le Fevre, J. (1994). Zooplankton biomass, feeding and metabolism in a geostrophic frontal area (Almeria-Oran Front, western Mediterranean). Significance to pelagic food webs. Journal of Marine Systems, 5(3-5), 297-311.

Tranter, D. J. & Fraser, J. H. (1968). Zooplankton sampling. Monographs on Oceanographic Methodology, 2: 1-174. (ICES/SCOR; published by UNESCO, Paris).

Trègouboff, G & ROSE, M. (1957). Manuel de planctonologie Méditerranéenne. 1ére Ed. Paris, Centre National De La Recherche Scientifique, 1-587.

Vaissière, R., & Fredj, G. (1963). Contribution à l'étude de la faune benthique du plateau continental de l'Algérie. Bull. Inst. Océanogr. Monaco, 60(1272), 83p.

Valdés, L., López-Urrutia, A., Cabal, J., Alvarez-Ossorio, M., Bode, A., Miranda, A., ... & Rodríguez, N. (2007). A decade of sampling in the Bay of Biscay: What are the zooplankton time series telling us?. Progress in Oceanography, 74(2-3), 98-114.

Yebra, L., Harris, R. P., Head, E. J. H., Yashayaev, I., Harris, L. R., & Hirst, A. G. (2009). Mesoscale physical variability affects zooplankton production in the Labrador Sea. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 56(5), 703-715.

Youssara, F., & Gaudy, R. (2001). Variations of zooplankton in the frontal area of the Alboran sea (Mediterranean sea) in winter 1997. Oceanologica acta, 24(4), 361-376.

Zerouali, F., & Melhaoui, M. (2002). Diversité spécifique et biomasse des copépodes pélagiques de la région de Ras Kebdana (côte méditerranéenne marocaine). Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 22(2), 91-102.