



# MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

Ecole Doctorale Sciences de la nature et de l'Homme – ED 227

Année 2023

N°attribué par la bibliothèque

□□□□□□□□□□□□□□

## THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR

DU MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE  
ET L'UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA

Spécialité : Biologie des populations

Présentée et soutenue publiquement par

**Hiba Rezzag Mahcene**

Le 05/09/2023

---

**Impact de la pollution marine sur les peuplements des annélides  
polychètes du littoral Est d'Algérie : Biodiversité et réponse des  
peuplements.**

---

Sous la direction de : **Monsieur Meziane, Tarik, Professeur, MNHN**

**Monsieur Daas, Tarek, Professeur, UBMA**

### JURY :

M. Soltani, Noureddine

Mme. Costil, Katherine

Mme. Casse, Nathalie

Mme. Hamaidia, Kaouter

M. Meziane, Tarik

M. Daas, Tarek

Mme. Denis, Françoise

Directeur de Recherche, Université Badji Mokhtar-Annaba, Algérie (099)

Maitre de conférences HDR, Université Caen, Normandie (028)

Maitre de conférences HDR, Le mans université (072)

Professeur, Université Mohamed Chérif, Souk Ahras (099)

Professeur, Muséum national d'histoire naturelle, Paris (075)

Professeur, Université Badji Mokhtar-Annaba, Algérie (099)

Maitre de conférences, Le Mans université (072)

Président

Examinatrice

Rapporteur

Rapporteur

Directeur de thèse

Directeur de Thèse

Co-directrice de thèse

## **REMERCIEMENTS**

## Remerciements

Ce travail est le fruit d'un long parcours au cours duquel j'aimerais rendre hommage à tous ceux qui de loin ou de près m'ont apporté leurs encouragements. Je remercie **Dieu** tout puissant de m'avoir donné la force, la capacité et surtout la patience à réaliser cette thèse.

Je tiens à remercier l'ensemble du jury pour avoir pris de leur temps afin d'évaluer ce travail.

J'adresse mes vifs remerciements à Monsieur **Noureddine SOLTANI**, Professeur au Département de biologie et Directeur du Laboratoire de Biologie Animale Appliquée de l'Université Badji Mokhtar - Annaba, pour l'honneur qu'il me fait d'avoir accepté de présider ce jury et pour m'avoir ouvert les portes de son laboratoire m'ayant permis de travailler dans de bonnes conditions sans oublier ses précieux conseils.

Ma profonde et sincère gratitude et reconnaissance s'adresse à Monsieur **Tarek DAAS** sans qui je ne serais pas là aujourd'hui. La thèse touche à sa fin, je tiens à vous dire que vous avez été un excellent encadreur ! Je vous remercie pour votre soutien, votre disponibilité et votre patience. Merci d'avoir en toutes occasions pris le temps de m'écouter et de me comprendre.

Merci beaucoup à Monsieur **Tarik MEZIANE** et à Madame **Françoise DENIS** qui ont accepté de co-diriger cette thèse. Je vous remercie, tous les deux d'être présents durant toute cette période pour répondre à mes questions, et surtout pour votre confiance et vos conseils que vous m'avez généreusement prodigués.

Je voudrais aussi témoigner ma profonde gratitude à Madame **Kaouter HAMAIDIA** et à Madame **Nathalie CASSE** d'avoir accepté de participer à ce jury en tant que rapporteurs, sans oublier l'accueil chaleureux de la part de Mme Nathalie CASSE et de son équipe au sein du laboratoire BIOSSE.

Merci à Madame **Katherine COSTIL** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Ma reconnaissance particulière est adressée à Madame **Aurore CARUSO** et Madame **Sophie BERLAND** pour avoir orienté ce travail grâce à leurs conseils et leurs suggestions durant les comités de suivi de ma thèse.

À Madame **Ouided DAAS-MAAMCHA** (Professeur à l'Université Badji Mokhtar-Annaba) pour ses conseils, son soutien et encouragement.

Je suis particulièrement reconnaissante à Madame **Güley KURT** (Professeur en Biologie à l'université de Sinop, Turquie) pour m'avoir initié à la taxonomie et pour sa gentillesse et son soutien.

Un énorme merci aux membres du laboratoire de Biologie des Organismes, Stress et Environnement (BIOSSE, Le Mans) qui m'ont aidé à bien m'intégrer parmi eux ce qui m'a permis de travailler dans un environnement convivial.

Mes vifs remerciements sont adressés aux membres du Laboratoire de Biologie Animale Appliquée (LBAA, Annaba) enseignants, personnels et doctorants. Merci à Madame **Dalila LADJAMAA** et mes amis et collègues doctorants sur lesquels je pourrai toujours compter, **Said, Abdelhak, Naoufel, Zizou, les deux Asma, Yousra, Rim et Nahla**. Merci pour les bons moments passés ensemble. Merci à **Sevgi** (Docteur à l'université de Sinop, Turquie), j'ai beaucoup appris avec toi sans oublier **Yildiz** qui m'a accueilli chez elle.

Quant à tous ceux que j'aurais pu oublier, vous avez le droit de m'en vouloir !! Mais je vous remercie quand même !

## **DÉDICACES**

## Dédicaces

*Je dédie ce travail :*

*À la mémoire de ma chère grand-mère qui a toujours cru en moi qu'Allah lui accorde sa miséricorde.*

*À ma famille et surtout mes parents. Certainement, sans eux, je ne serai pas là aujourd'hui non plus ! Qu'il me soit permis ici d'offrir cette thèse à ma mère ! Mon exemple dans la vie. Merci de m'avoir soutenu pendant ces longues années d'études ! Merci pour tes Douaa et conseils, c'est grâce à toi et c'est pour toi que j'en suis là. Merci à mon père qui a consacré sa vie pour nous ! Merci à mes sœurs Imen, Yasmine et Houria, de m'avoir soutenu et épaulé et sans oublier mon petit neveu Samy que grâce à ses rires j'ai pu surpasser les moments difficiles de la thèse.*

*À mon mari Amine BIAD, qui a toujours été là malgré les distances, merci pour son amour, sa patience et ses encouragements.*

*À ma belle famille, Tonton El-Hedi, tata Nacera, Imen, Walid, Mohammed, Zaki, Mehdi et ma petite Mia.*

*À mes chères copines, Ines, Khouloud, Lina, Meriem, Najah, Zizou, Asma et Hind, Ghozlène.... Pour leurs présences et encouragements.*

## SOMMAIRE

### Liste des figures

### Liste des tableaux

### Liste des abbréviations

AVANT PROPOS.....	1
<b>I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>5</b>
1 Contexte générale.....	5
1.1 Présentation de la mer méditerranée.....	5
1.2 Etat de la biodiversité (faune et flore) .....	6
1.3 Rôle et place des polychètes dans la Mer Méditerranée.....	6
1.4 Les problèmes de pollution en Algérie.....	8
1.5 Le littoral algérien .....	9
1.5.1 Station 1 : Plage La Montagne El-Kala.....	10
1.5.2 Station 2 : Plage Rezgui Rachid (Ex Saint-Cloud) à Annaba .....	11
1.5.3 Station 3 : Plage Bikini à Skikda.....	12
1.6 Modèles biologiques.....	13
1.6.1 Modèle d'étude de la variabilité des peuplements .....	13
1.6.2 Modèle d'étude de la variabilité intraspécifique .....	15
1.6.2.1 Présentation de l'espèce.....	15
1.6.2.2 Répartition géographique.....	16
1.6.2.3 Reproduction.....	17
1.6.2.4 Ovogenèse chez <i>P. cultrifera</i> .....	19
1.6.2.5 Cycle biologique.....	20
1.6.2.6 Régime alimentaire.....	21
<b>II. MATÉRIEL ET MÉTHODES.....</b>	<b>21</b>
1 Caractérisation physico-chimique et climatique des sites d'échantillonnages .....	22
1.1 Température.....	22
1.2 L'oxygène dissous .....	22
1.3 Salinité .....	23
1.4 pH (Le potentiel d'hydrogène) .....	23
2 Méthodes de récolte et préparation des échantillons .....	23
2.1 Méthodes chimiques d'échantillonnage des Annélides.....	24
2.2 Méthode mécanique d'échantillonnage des annélides et de la faune et flore associées.....	25

2.3	Préparation des échantillons .....	26
3	Identification des spécimens .....	26
3.1	Analyse de la biodiversité : identification des Nereididae .....	26
3.1.1	Identification des Nereididae selon les caractéristiques morpho-anatomique .....	26
3.1.2	Identification de l'espèce cible : <i>Perinereis cultrifera</i> .....	30
3.1.3	Identification de la faune et flore associées .....	30
4	Analyse des communautés .....	30
4.1	Paramètres d'étude des peuplements .....	30
4.2	Indices de composition .....	31
4.3	Indices de structure .....	31
4.4	L'indice de similarité de Sørensen .....	32
4.5	Fréquence d'occurrence ou centésimale .....	33
5	Analyses de la variabilité intraspécifique de <i>P. cultrifera</i> .....	33
5.1	Paramètres morphométriques .....	33
5.2	Paramètres reproducteurs .....	34
5.2.1	Diamètre ovocytaire .....	34
6	Analyse de la diversité moléculaire des espèces de Nereididae .....	35
6.1	Extraction de l'ADN .....	35
6.2	Marqueur génétique .....	35
6.3	PCR .....	36
6.4	Electrophorèse sur gel d'agarose .....	37
6.5	Séquençage des produits d'amplification .....	38
7	Analyses statistiques et bio informatiques des données .....	39
7.1	Analyses statistiques des caractères morphométriques .....	39
7.2	Analyse génétique .....	39
	<b>III. RÉSULTATS</b> .....	42
1	Évolution des paramètres physico-chimiques de l'eau .....	42
1.1	Température .....	42
1.2	pH .....	43
1.3	Salinité .....	43
1.4	Oxygène dissous .....	45
2	Structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques .....	47
2.1	Inventaire .....	47
2.1.1	Annélides polychètes (Nereididae) et leur faune associée .....	51
2.1.2	Répartition des taxons par site .....	57

2.1.3	Fréquence d'occurrence des taxons sur différents sites d'échantillonnage.....	60
2.1.4	Structure numérique des peuplements de macroinvertébrés benthiques.....	60
2.1.5	Variations spatiales de l'abondance relative des différentes classes .....	64
2.1.6	Variations spatiales de l'abondance des principaux ordres .....	64
2.1.7	Variations spatiales de l'abondance des principales familles .....	65
2.1.8	Variations spatiales de l'abondance des principales espèces.....	67
2.1.9	Variations spatiales de l'indice de diversité de Shannon-Weaver et de l'indice de Piélou .....	69
2.1.10	Similarité/dissimilarité des communautés macrobenthiques entre les différents sites : coefficient de similarité de Sørensen .....	70
2.2	La flore associée .....	66
2.3	Evolution des paramètres morphométriques et pondérales chez <i>Perinereis cultrifera</i> .....	73
2.3.1	Taille corporelle .....	73
2.3.2	Poids corporel.....	76
2.3.3	Nombre de sétigères .....	79
2.3.4	Longueur L <sub>3</sub> .....	82
2.3.5	Corrélations entre les différents paramètres morphologiques et biométriques.....	81
2.3.6	Évaluation de l'état sexuel .....	84
2.3.7	Étude biométrique de la croissance ovocytaire .....	88
2.4	Description d'une nouvelle espèce .....	96
2.5	Analyse moléculaire .....	104
2.5.1	Mt COI .....	104
2.5.2	Analyse interspécifique des séquences d'Annélides issus des 3 sites.....	105
2.5.2.1.	Distances génétiques interspécifiques.....	105
2.5.2.2.	Phylogénie.....	106
2.5.2.2.1.	Phylogénie des espèces de néréididae de la côte Est algérienne.....	106
2.5.2.2.2.	Positionnement phylogénétique de <i>Perinereis louizomarum</i> .....	107
2.5.3	Analyse intraspécifique .....	111
2.5.3.1.	Diversité génétique chez <i>P. cultrifera</i> .....	112
2.5.3.2.	Diversité génétique chez <i>Nereis falsa</i> .....	112
<b>IV.</b>	<b>DISCUSSION</b> .....	<b>114</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</b> .....	<b>126</b>
	<b>RÉSUMÉS</b> .....	<b>128</b>

<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	132
<b>RÉFÉRENCES WEBOGRAPHIQUES</b> .....	158
<b>ANNEXES</b>	

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Carte de la Mer Méditerranée.....	5
<b>Figure 2.</b> Profils de diversité des espèces d'invertébrés benthiques en Méditerranée.....	6
<b>Figure 3.</b> Répartition des espèces d'Annélides polychètes dans les différents bassins de la Méditerranée.....	7
<b>Figure 4.</b> Côte algérienne avec des zones de préoccupation environnementale majeure et des "points chauds" de pollution.....	8
<b>Figure 5.</b> Eaux usées rejetées directement dans la mer (Alger). ....	9
<b>Figure 6.</b> Localisation géographique des trois sites d'échantillonnage sur le littoral Est Algérien (El-Kala, Annaba et Skikda) .....	10
<b>Figure 7.</b> Station 1, plage La Montagne à El-Kala.....	11
<b>Figure 8.</b> Station 2, plage Rezgui Rachid Ex Saint-Cloud à Annaba.....	12
<b>Figure 9.</b> Station 3, plage Bikini à Skikda.....	13
<b>Figure 10.</b> Habitat des Annélides Polychètes (Nereididae) dans la zone d'étude.....	14
<b>Figure 11.</b> Spécimen de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltée du littoral Nord-Est algérien, à El-Kala, en 2018.....	16
<b>Figure 12.</b> Répartition géographique de <i>Perinereis cultrifera</i> à travers le monde.....	17
<b>Figure 13.</b> Représentation schématique des différents stades de l'ovogenèse chez <i>P. cultrifera</i> .....	20
<b>Figure 14.</b> Cycle de vie de <i>Perinereis cultrifera</i> (Rouabah, 2003).....	21
<b>Figure 15.</b> Multi-paramètre «Thermo scientific Orion 5-star multi-paramètre portable».....	22
<b>Figure 16.</b> Méthodes d'échantillonnage chimique.....	25
<b>Figure 17.</b> Méthode d'échantillonnage mécanique .....	26
<b>Figure 18.</b> Schéma montrant l'aspect général du corps d'un Nereididae.....	28
<b>Figure 19.</b> Vue dorsale et ventrale des zones pharyngées ciblées pour l'identification des espèces.....	29
<b>Figure 20.</b> Vue antérieur, aspect latéral d'un parapode indiquant les éléments d'intérêt ciblées pour l'identification des espèces.....	29
<b>Figure 21.</b> Soies des nereididaes.....	30
<b>Figure 22.</b> Matériel d'évaluation des paramètres morphométriques.....	34
<b>Figure 23.</b> Microscope optique de type « Leica dm 500 » relié à un ordinateur utilisé pour les mensurations du diamètre ovocytaire.....	34
<b>Figure 24.</b> Carte d'un ADN mitochondrial avec la localisation des deux paires d'amorces...36	

<b>Figure 25.</b> Cuve à électrophorèse lié à un générateur .....	38
<b>Figure 26.</b> Courbes résultants de séquence automatique : un « pic » correspond à la détection de la fluorescence de ddNTP.....	39
<b>Figure 27.</b> Variations saisonnières de la température (°C) de l'eau de mer prélevée au niveau des trois sites étudiés durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps, Été de l'année 2018.....	43
<b>Figure 28.</b> Variations saisonnières du pH de l'eau de mer prélevée au niveau des trois sites étudiés durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps, Été de l'année 2018.....	44
<b>Figure 29.</b> Variations saisonnières de la salinité (PSU) de l'eau de mer prélevée au niveau des trois sites étudiés durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps, Été de l'année 2018.....	45
<b>Figure 30.</b> Variations saisonnières de l'oxygène dissous (mg/l) de l'eau de mer prélevée au niveau des trois sites étudiés durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps, Été de l'année 2018.....	46
<b>Figure 31.</b> Nereididae : Vue dorsale et ventrale des échantillons d'annélides collectés sur les 3 sites d'étude.....	52
<b>Figure 32.</b> Arthropodes.....	53
<b>Figure 33.</b> Cnidaires.....	54
<b>Figure 34.</b> Echinodermes.....	55
<b>Figure 35.</b> Mollusques.....	56
<b>Figure 36.</b> Siponcles.....	57
<b>Figure 37.</b> Abondance relative des macroinvertébrés collectés dans les trois sites d'étude (El-Kala, Annaba et Skikda).....	61
<b>Figure 38.</b> Variations spatiales de l'abondance relative des classes de macroinvertébrés aquatiques identifiées sur chaque site (El-Kala, Annaba et Skikda).....	64
<b>Figure 39.</b> Variations spatiales de l'abondance relative des principaux ordres de macroinvertébrés aquatiques identifiés sur chaque site (El-Kala, Annaba et Skikda).....	65
<b>Figure 40.</b> Variations spatiales des abondances relatives des principales familles de macroinvertébrés inventoriées dans tous les sites au cours de la période d'étude.....	66
<b>Figure 41.</b> Variations spatiales de l'abondance relative des principales espèces de macroinvertébrés inventoriées sur tous les sites au cours de la période d'étude.....	68
<b>Figure 42.</b> Variations spatiales de la diversité de Shannon-Weaver et de l'indice de Piélou..	69
<b>Figure 43.</b> Aspect général des différentes algues récoltées.....	72

<b>Figure 44.</b> Variations mensuelles de la taille totale du corps (mm) des femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=40), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.....	74
<b>Figure 45.</b> Variations mensuelles du poids frais corporel (g) des femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=40), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.....	77
<b>Figure 46.</b> Variations mensuelles du nombre de setigères des femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=40), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018. ....	80
<b>Figure 47.</b> Variations mensuelles de la longueur L <sub>3</sub> (mm) des femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=40), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude durant l'année 2018. ....	83
<b>Figure 48.</b> Corrélation de Pearson effectuée entre les deux paramètres (L <sub>3</sub> et poids corporel) des trois sites (El-Kala, Annaba et Skikda) durant l'année 2018.....	86
<b>Figure 49.</b> Corrélation de Pearson effectuée entre les deux paramètres (taille et poids corporel) des trois sites (El-Kala, Annaba et Skikda) durant l'année 2018. ....	86
<b>Figure 50.</b> Corrélation de Pearson effectuée entre les deux paramètres (taille et L <sub>3</sub> ) des trois sites (El-Kala, Annaba et Skikda) durant l'année 2018. ....	87
<b>Figure 51.</b> Corrélation de Pearson effectuée entre les deux paramètres (taille et nombre de setigère) des trois sites (El-Kala, Annaba et Skikda) durant l'année 2018.....	87
<b>Figure 52.</b> Évolution de la proportion d'individus sexués, femelles et males (%), chez les populations de <i>P. cultrifera</i> échantillonnées au niveau d'El-Kala (La Montagne) durant l'année 2018. ....	89
<b>Figure 53.</b> Évolution de l'état sexuel (%), chez les populations de <i>P. cultrifera</i> échantillonnées au niveau d'Annaba (Rezgui Rachid) durant l'année 2018. ....	89
<b>Figure 54.</b> Évolution de l'état sexuel (%), chez les populations de <i>P. cultrifera</i> échantillonnées au niveau de Skikda (Bikini) durant l'année 2018.....	90
<b>Figure 55.</b> Aspect d'une ponction cœlomique chez <i>Perinereis cultrifera</i> montrant des ovocytes à différents stades de développement.....	92
<b>Figure 56.</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=40) récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) de janvier à décembre de l'année 2018. ....	93

<b>Figure 57.</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=40) récoltées au niveau du site d'Annaba (Rezgui Rachid) de janvier à décembre de l'année 2018.....	94
<b>Figure 58.</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=40) récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) de janvier à décembre de l'année 2018.....	94
<b>Figure 59.</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=40) de la première cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude de janvier à décembre de l'année 2018.....	97
<b>Figure 60.</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=40) de la deuxième cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude de janvier à décembre de l'année 2018.....	98
<b>Figure 61.</b> <i>Perinereis louizomarum</i> .....	102
<b>Figure 62.</b> Parapodes de <i>Perinereis louizomarum</i> .....	103
<b>Figure 63.</b> Arbre phylogénétique basé sur les séquences de COI chez les espèces d'annélides analysées dans cette étude.....	107
<b>Figure 64.</b> Arbre phylogénétique basé sur la séquence COI de six espèces de <i>Perinereis</i> ...	108
<b>Figure 65.</b> Alignement des séquences de <i>Perinereis louizomarum</i> .....	109
<b>Figure 66.</b> Alignement des deux séquences de <i>P. floridana</i> avec la séquence consensus de <i>P. louizomarum</i> (cons_ <i>P.louiz</i> ).....	110
<b>Figure 67.</b> Alignement des 31 séquences de <i>P. cultrifera</i> avec la séquence consensus de <i>P. louizomarum</i> (cons_ <i>P.louiz</i> ).....	110
<b>Figure 68.</b> Réseau d'haplotypes construit avec le COI représentant les relations de divergences génétiques entre les différents haplotypes de <i>P. cultrifera</i> .....	112
<b>Figure 69.</b> Réseau d'haplotypes construit avec le COI représentant les relations de divergences génétiques entre les différents haplotypes de <i>N. falsa</i> prélevé du site d'Annaba .....	113

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Zones polluées en Algérie.....	9
<b>Tableau 2.</b> Liste des oligonucléotides et les températures d'hybridation utilisées lors de la réaction de PCR.....	37
<b>Tableau 3.</b> Traitement statistique des paramètres physico-chimiques : température (C°), pH, salinité (PSU) et oxygène dissous (mg/l) de l'eau de mer, au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Rezgui Rachid) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2018.....	46
<b>Tableau 4.</b> Liste des taxons de macrofaune aquatique collecté aux différentes stations d'échantillonnage des trois sites étudiés (K : El-Kala, A : Annaba, S : Skikda) au cours de la période d'étude (2018).....	49
<b>Tableau 5.</b> Fréquence d'occurrence des macroinvertébrés aquatiques collectés d'El-Kala, Annaba et Skikda durant la période d'étude (2018).....	58
<b>Tableau 6.</b> Effectifs des taxons de macrofaune aquatique collectés aux différentes stations d'échantillonnage des trois sites étudiés.....	62
<b>Tableau 7.</b> Abondance totale (Nt), indices de Shannon-Weaver (H') et de Piéluou (J') des macroinvertébrés aquatiques dans les trois sites d'étude en 2018.....	69
<b>Tableau 8.</b> Valeurs du coefficient de similarité de Sørensen (%) entre les communautés macrobenthiques collectées aux différents sites d'échantillonnage au cours de la période d'étude.....	70
<b>Tableau 9.</b> Espèces floristiques identifiées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Rezgui Rachid) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.....	71
<b>Tableau 10.</b> Variations mensuelles de la longueur corporelle (mm) des femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=40), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.....	75
<b>Tableau 11.</b> ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) de la taille corporelle (mm) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> (m ± s ; n = 40) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda).....	76
<b>Tableau 12.</b> Variations mensuelles du poids frais corporel total (g) des femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=40), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.....	78

<b>Tableau 13.</b> ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du poids frais total (g) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n = 40$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018....	79
<b>Tableau 14.</b> Variations mensuelles du nombre de setigères des femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=40$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.....	81
<b>Tableau 15.</b> ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du nombre de setigères chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n = 40$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.....	82
<b>Tableau 16.</b> Variations mensuelles de la longueur $L_3$ (mm) des femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=40$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Rezgui Rachid) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.....	84
<b>Tableau 17.</b> ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) de la longueur $L_3$ (mm) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n = 40$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Rezgui Rachid) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.....	85
<b>Tableau 18.</b> Proportions des individus sexués par rapport à la population totale, et celle des individus mâles et femelles par rapport à la population sexuée chez <i>P. cultrifera</i> au niveau du site d'El-Kala durant l'année 2018.....	90
<b>Tableau 19.</b> Proportions des individus sexués par rapport à la population totale, et celle des individus mâles et femelles par rapport à la population sexuée chez <i>P. cultrifera</i> au niveau du site d'Annaba durant l'année 2018.....	91
<b>Tableau 20.</b> Proportions des individus sexués par rapport à la population totale, et celle des individus mâles et femelles par rapport à la population sexuée chez <i>P. cultrifera</i> au niveau du site de Skikda durant l'année 2018. ....	91
<b>Tableau 21.</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=40$ ) récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) de janvier à décembre de l'année 2018.....	95
<b>Tableau 22.</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=40$ ) récoltées au niveau du site d'Annaba (Rezgui Rachid) de janvier à décembre de l'année 2018. ....	95

<b>Tableau 23.</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=40) récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) de janvier à décembre de l'année 2018.....	96
<b>Tableau 24.</b> ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey du diamètre ovocytaire chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=40) au niveau des trois sites d'étude de janvier à décembre de l'année 2018.....	98
<b>Tableau 25.</b> ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du diamètre ovocytaire chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=40) de la première cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude La Montagne (El-Kala), (Rezgui Rachid) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018. ....	99
<b>Tableau 26.</b> ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du diamètre ovocytaire chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=40) de la seconde cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude La Montagne (El-Kala), (Rezgui Rachid) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018. ....	100
<b>Tableau 27.</b> Nombre d'individus barcodés par sites et par espèce. ....	104
<b>Tableau 28.</b> Numéros d'accession des espèces de nereididae prise de la banque de donnée NCBI. ....	105
<b>Tableau 29.</b> Distances génétiques interspécifiques par paires (K2P distances).....	106
<b>Tableau 30.</b> Numéros d'accession des espèces de <i>Perinereis</i> prise de la banque de donnée NCBI. ....	106
<b>Tableau 31.</b> Indices de diversité génétique pour <i>P. cultrifera</i> et <i>N. falsa</i> prélevés sur les sites de El-Kala et d'Annaba. ....	111

## Liste des abréviations

**A** : adénine

**A** : Amphi Atlantique

**A** : Annaba

**AC** : alvéoles corticaux

**AS** : Mer Égée

**AD** : Mer Adriatique

**ADN** : Acide désoxyribonucléique

**ANOVA** : Analyse de variance

**BET** : Bromure d'éthidium

**Bit** : binary digit = unité binaires d'information

**BOLD** : barcode of life data

**BLAST** : basic local alignment search tool

**BOLD** : barcode of life data systems

**BS** : mer noire

**C** : cosmopolites

**C** : cytosine

**CB** : bassin central

**Ch** : chorion

**CM** : carré moyen

**CM** : couche muqueuse

**CO<sub>2</sub>** : dioxyde de carbone

**COI** : Sous-unités I du cytochrome oxydase

**CTAB** : cetyl triméthyl ammonium bromide

**ddNTP** : didéoxynucléotides

**DH** : diversité haplotypique (génétique)

**DL** : degré de liberté

**dNTP** : déoxynucléotides

**E** : endémiques

**EDTA** : acide éthylène diamine tétraacétique

**EL** : enclaves lipidiques

**EO** : enveloppe ovocytaire

**F obs** : test de Fisher

**F** : fréquence d'occurrence ou centésimale  
**f** : fréquence relative  
**FP** : face proximale du dictyosome  
**G** : guanine  
**GBIF**: Global Biodiversity Information Facility  
**GEBCO** : general bathymetric chart of the oceans  
**GP** : glycogène particulière  
**GV** : globules vitellines  
**H'** : indice de diversité Shannon et Weaver  
**H'<sub>max</sub>** : indice maximal théorique  
**HAP** : hydrocarbure aromatique polycyclique  
**HeA** : heterogomphe arête  
**HeS** : heterogomphe serpe  
**HoA** : homogomphe arête  
**HoS** : homogomphe serpe  
**I** : indo-méditerranéennes  
**iTOL** : interactive tree of life  
**J'** : indice d'équitabilité de Piélou  
**K** : El-Kala  
**K2P** : kimura 2 paramètres  
**Ki** : nombre total d'individus  
**L<sub>3</sub>** : trois premiers segment (prostomium, péristomium et le premier segment)  
**LB** : bassin levantin  
**M** : atlanto-méditerranéennes  
**Mb** : mega base  
**Mega-X** : Molecular Evolutionary Genetics Analysis  
**Mit** : mitochondrie  
**mV** : microvillosités  
**N** : abondance du peuplement  
**N** : effectif total d'individus de toutes les espèces  
**N** : nombre total relevé d'individus  
**N** : noyau  
**NCBI** : national center for biotechnology information

**nd** : non déterminé

**Nh** : nombre d'haplotype

**ni** : abondance spécifique de l'espèce i

**ni** : effectif d'individus de l'espèce i

**NJ** : neighbor-joining

**NS** : non significatif

**Nt** : abondance totale

**Nu** : nucléole

**O<sub>2</sub>** : dioxygène

**P** : seuil de signification

**Pb** : paires de bases

**PCR** : réaction en chaîne de polymérisation

**pH** : potentiel d'hydrogène

**Pi** : dominance

**PSU** : Practical Salinity Unit

**R** : nombre total relevé

**RE** : réticulum endoplasmique

**ri** : nombre total relevé dans lequel l'espèce i est présente

**S** : richesse spécifique

**S** : Skikda

**S** : nombre de sites polymorphiques

**S'** : richesse moyenne

**SCE** : sommes des carrées des écarts

**T** : thymine

**TAE** : tris acétate EDTA

**Tris** : trishydroxyméthyl aminométhane ou 2-amino-2-hydroxyméthyl-1,3-propanediol, Sa formule chimique est C<sub>4</sub>H<sub>11</sub>NO<sub>3</sub>

**VG** : vésicule golgienne

**π** : diversité nucléotidique

**WM** : oust méditerranée

**WORMS** : World Register of Marine Worms

## **AVANT PROPOS**

La mer Méditerranée est l'un des écosystèmes marins les plus importants du monde. Elle est considérée comme un "hotspot" en termes de biodiversité, bien qu'elle ne couvre que 0,82% de la surface totale des océans. Ses caractéristiques géomorphologiques et climatiques en font un facteur important de l'économie et de l'écologie mondiales (Coll *et al.*, 2010 ; Coll *et al.*, 2012 ; Gerovasileiou & Voultsiadou, 2012). Elle dispose d'une grande variété de ressources et de services disponibles pour l'humanité, y compris les minéraux, l'énergie et les matériaux biologiques (Liquete *et al.*, 2016).

Mais en même temps, elle est soumise à une forte pression anthropique qui augmente avec le temps (Gürlük, 2009 ; Lejeusne *et al.*, 2009 ; Coll *et al.*, 2010 ; Coll *et al.*, 2012), cela inclut le changement climatique (Gerovasiliou & Voultsiadou, 2012). Bien que la mer Méditerranée soit un point chaud de la biodiversité, elle a été décrite comme une zone fortement polluée car c'est l'une des zones les plus touchées par les déchets marins au monde (Cozar *et al.*, 2015 ; Fossi *et al.*, 2018).

Parmi les outils de gestion durable des habitats aquatiques, les méthodes de mesure basées sur le suivi biologique utilisant la taxonomie morphologique jouent un rôle très important car elles permettent d'avoir une vision globale des pressions environnementales (Armellin, 2010 ; Aylagas *et al.*, 2018).

La biodiversité est l'un des thèmes centraux de la recherche écologique. Elle correspond à la variabilité qui existe entre les organismes et les écosystèmes auxquels ils appartiennent. Elle peut être captée à trois niveaux hiérarchiques d'organisation du vivant (Harper & Hawksworth, 1994 ; May 1994) : diversité intraspécifique (diversité génétique) et diversité interspécifique (diversité spécifique), et diversité des écosystèmes (diversité écosystémique). Dans le contexte marin, par conséquent, la biodiversité est définie comme la variété des formes de vie dans les océans, les eaux côtières et les estuaires, et les processus qui permettent leur maintien (Olsgard *et al.*, 2003). Les écologistes ont porté depuis longtemps un intérêt particulier pour les populations, les communautés et les écosystèmes (Krebs, 2001). Le développement d'outils moléculaires considère désormais la biodiversité du niveau moléculaire dans l'ensemble de la biosphère.

À ce jour, les outils de biosurveillance sont utilisés dans le monde entier et sont considérés comme pertinents pour l'évaluation de la qualité de l'eau (Barbour *et al.*, 1999 ; Water Framework Directive, 2003 ; Ngoay-Kossy *et al.*, 2018). En particulier, l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau est basée sur l'analyse de la composition des

peuplements et de l'abondance de différents groupes d'indicateurs biologiques. En ce qui concerne le développement, la reproduction et la croissance, les indicateurs écologiques apportent des informations complémentaires sur l'état physiologique général des organismes (Durou & Mouneyrac, 2007 ; Ciftcioglu *et al.*, 2020) et l'impact des conditions environnementales sur les organismes.

Les programmes de recherche et de surveillance de l'environnement marin utilisent souvent des communautés benthiques (Pearson & Rosenberg, 1978 ; Dauer, 1993; Gray & Elliott, 2009) avec un intérêt particulier pour les annélides polychètes en termes d'abondance et de biodiversité (Giangrand *et al.*, 2005 ; Dean, 2008; Garcia-Alonso *et al.*, 2008; Gözler *et al.*, 2009 ; Lewis & Watson, 2012). Ces taxons sont considérés comme les meilleurs modèles biologiques pour révéler les perturbations affectant les écosystèmes côtiers (Rouhi *et al.*, 2016). Ces organismes constituent donc le groupe le plus représentatif de la santé de la communauté benthique. Ces organismes marins, d'une part, assurent des fonctions écologiques importantes (Hutchings, 1998; Giangrande *et al.*, 2005), et d'autre part, sont soumis à des expositions permanentes aux polluants présents dans l'eau et le sédiment (Dean, 2008). Outre leur abondance et leur biomasse, les annélides permettent de détecter des réponses rapides des peuplements aux changements environnementaux. Selon Papageorgiou *et al.*, (2006). Les changements à long terme du bien-être des animaux benthiques se reflètent dans les communautés de polychètes. De même, Lewis & Watson (2012) considèrent que les annélides font partie intégrante de la boîte à outils des écotoxicologues, en particulier pour l'évaluation de la salubrité des sédiments. Selon Dean (2008), Lewis & Watson (2012) et Belfetmi *et al.*, (2021), les différents régimes alimentaires des annélides indiquent différentes sources de contamination, y compris la contamination associée à l'ingestion de sédiments, l'ingestion par filtration et l'alimentation via les détrit.

Environ 11 456 espèces nominales d'annélides polychètes ont été décrites dans le monde et sont réparties en 1417 genres et 85 familles (Pamungkas *et al.*, 2019), parmi lesquelles quelques espèces sont utilisées comme espèces bioindicatrices pour surveiller la qualité des milieux marins. Différents aspects de leur biologie sont couramment étudiés dans les études d'impact de la pollution, y compris les changements dans la structure de la communauté, la présence d'espèces opportunistes (Giangrande *et al.*, 2005 ; Dean, 2008).

Parmi ces familles, les Nereididae sont l'une des plus diversifiées. Elle comprend 687 espèces (Hutching *et al.*, 2000 ; Jumars *et al.*, 2015 ; Read & Fauchald, 2016, Pamungkas *et*

*al.*, 2019). Elle a une large distribution géographique et écologique. Elle est présente dans presque tous les habitats marins côtiers, estuariens et d'eau douce, sous des formes sédentaires ou errantes (Wilson, 2000 ; Gözler *et al.*, 2009). Les Nereididae colonisent une variété d'habitats marins, des substrats meubles aux substrats durs, depuis la zone intertidale à la zone hadale, et des modèles biologiques communs peuvent être utilisés dans le cadre de l'analyse des réponses à l'exposition à la pollution chronique aux polluants (Papageorgiou *et al.*, 2006). Plusieurs espèces de Nereididae ont été définies comme des « ingénieurs écologiques » (Fadhullah & Syakir, 2016). Elles sont considérées comme des espèces importantes dans les communautés benthiques (Durou *et al.*, 2007), et jouent un rôle fondamental dans l'écologie et le fonctionnement des communautés benthiques (Hutchings, 1998 ; Giangrande *et al.*, 2005) et des biotopes (Gillet *et al.*, 2008).

Les outils moléculaires peuvent approfondir l'exploration des réponses des organismes aux conditions environnementales au niveau intraspécifique. Depuis 1990, les marqueurs génétiques sont utilisés pour détecter le polymorphisme inter et intra-espèces (Sugita *et al.*, 1998). L'ADN mitochondrial peut donc être considéré comme un ensemble de marqueurs génétiques impliqués dans 80 % des études phylogénétiques (Avisé, 2000).

Parmi ces marqueurs, un fragment du gène mitochondrial codant une partie de la 1<sup>ère</sup> sous-unité de la cytochrome c oxydase (COI) est utilisé sous forme de code-barres moléculaire de l'ADN « DNA Barcoding » qui est une technique d'identification moléculaire permettant de caractériser génétiquement un échantillon à partir d'une séquence mitochondriale. Il a été proposé de l'utiliser cette séquence comme marqueur universel pour identifier les espèces animales (Hebert *et al.*, 2003). Certains auteurs ont utilisé cette méthode fiable pour décrire les relations interspécifiques entre les espèces marines et les relations phylogéographiques entre les régions (Wood *et al.*, 2007 ; Rabaoui *et al.*, 2011). Ces marqueurs sont donc utilisés pour identifier les espèces et analyser la structure et la phylogénie des populations (Chetoui *et al.*, 2016).

Les mesures génétiques de la biodiversité intraspécifique s'avèrent souvent très utiles, notamment lorsqu'il s'agit de distinguer des populations entre elles (Struck *et al.*, 2002; Rouabah & Rouabah, 2007; Zanol *et al.*, 2007).

Toutes les caractéristiques susmentionnées ont contribué à la sélection de ce sujet. A l'importance de l'étude s'ajoute l'importance des sites étudiés compte tenu de leur situation géographique et de leur degré de pollution, à savoir la plage de la Montagne à El-Kala

considéré comme site de référence, la plage Rezgui Rachid (Ex Saint-Cloud) et la plage Bikini à Skikda comme sites affectés par une pollution urbaine et industrielle. L'évaluation a été réalisée grâce aux approches suivantes :

- ✓ Une approche écologique avec, d'une part l'analyse de la biodiversité en effectuant un inventaire faunistique des espèces d'Annélides polychètes présentes au niveau du littoral Est algérien. Au cours de cet inventaire, l'étude de la flore et de la faune associée a été réalisée. Ces données ont permis une étude de la structure des peuplements par l'utilisation des paramètres de structure. D'autre part, l'approche écologique a été appréhendée en effectuant une caractérisation de la physico-chimie des masses d'eau.
- ✓ Deux approches biologiques : l'une porte sur l'analyse des processus de reproduction chez une espèce clef des écosystèmes étudiés, l'autre sur l'analyse morphométrique et pondérale (poids, taille, nombre de sétigère et L<sub>3</sub>).
- ✓ Une approche génétique avec, d'une part, l'analyse de la diversité spécifique par une approche de Barcoding et, d'autre part, l'analyse phylogéographie des métapopulations de 3 espèces sympatriques dans les estuaires ciblés.

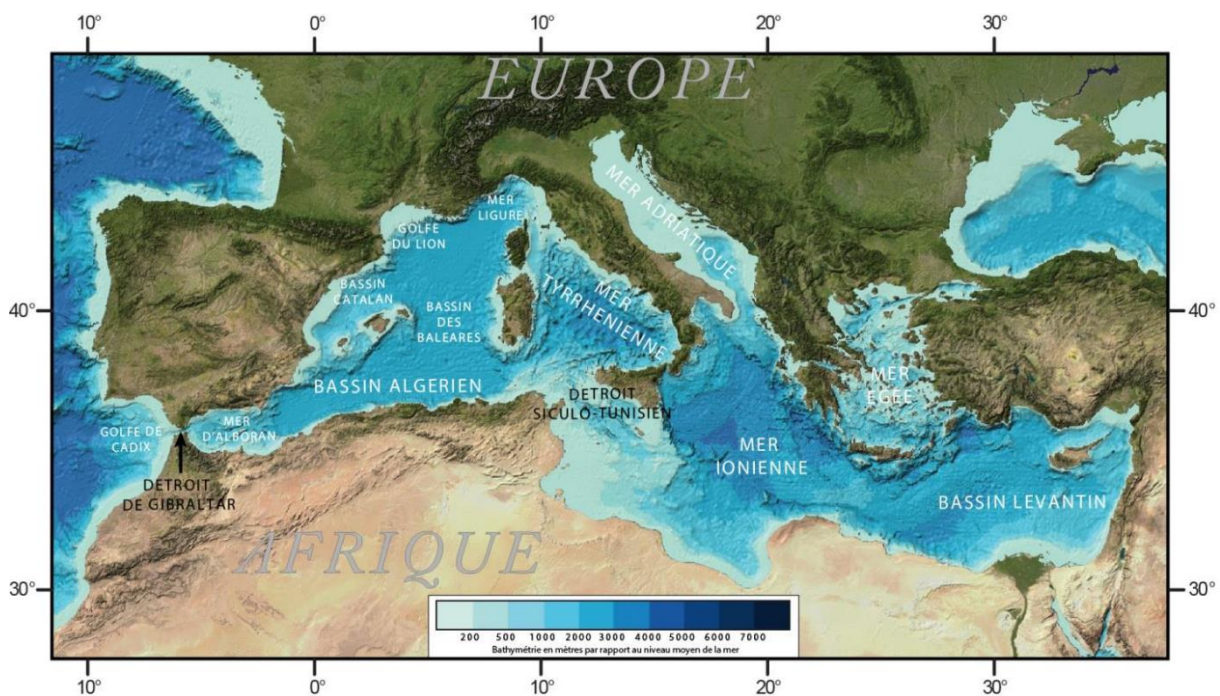
## **SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

## I. Synthèse bibliographique

### 1 Contexte générale

#### 1.1 Présentation de la mer méditerranéenne

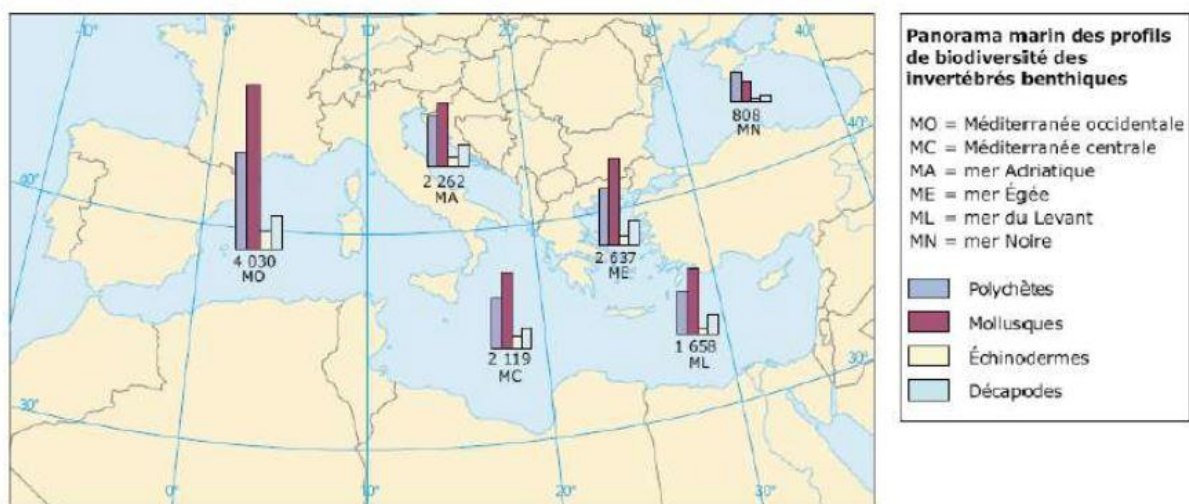
La mer Méditerranée s'étend sur plus de 3 700 km d'est en ouest et sur plus de 1 600 km du nord au sud, couvrant une superficie d'environ 2,5 millions de km<sup>2</sup>. Elle a une profondeur moyenne de 1500 m et atteint un maximum de 5150 m dans la mer Ionienne. Seul un passage étroit, d'environ 300 m de profondeur, appelé détroit de Gibraltar, relie la mer Méditerranée à l'océan Atlantique Nord (Figure 1). Le détroit de Sicile divise la mer Méditerranée en deux bassins, souvent appelés bassins méditerranéens occidental et oriental. La géomorphologie et la bathymétrie de chacun de ces deux bassins permet de distinguer les plusieurs mers ou sous-bassins décrits ci-dessous (Figure 1). Dans le bassin occidental, en suivant le détroit de Gibraltar, on rencontre d'abord la mer d'Alberran, adjacente au bassin algérien. Celui-ci est relié au bassin des Baléares entre l'île du même nom et la Sardaigne. Au sud de la côte européenne se trouvent, d'ouest en est, le bassin catalan, le golfe du Lion et la mer Ligure. Enfin, entre la Sardaigne et l'ouest de l'Italie se trouve la mer Tyrrhénienne. Dans le bassin oriental, la mer Adriatique s'étend entre la côte de l'Italie et l'Europe de l'Est et rejoint la mer Ionienne à son extrémité sud. Le bassin du Levantin occupe la partie la plus orientale de la mer Méditerranée. Enfin, le bassin entre la Grèce et la Turquie est la région égéenne (Dubois-Dauphin, 2016).



**Figure 1.** Carte de la Mer Méditerranée. Fond de carte et bathymétrie GEBCO (Dubois-Dauphin, 2016).

## 1.2 Etat de la biodiversité (faune et flore)

Bien que la flore et la faune de la Méditerranée aient évolué pendant des millions d'années dans une combinaison inhabituelle d'éléments tempérés et subtropicaux, elles contiennent une proportion importante d'espèces endémiques (28 %) (Fredj *et al.*, 1992). Les conditions climatiques et hydrologiques propres à la mer Méditerranée et la diversité actuelle des biotopes, due en partie à l'histoire géologique de la région, expliquent la grande biodiversité. Au total, 10 000 à 12 000 espèces marines ont été identifiées, dont 8 500 espèces de macrofaune et plus de 1 300 espèces d'algues. Cette riche biodiversité représente 8 à 9 % du nombre total d'espèces vivant dans les océans du monde, et de nouvelles espèces sont constamment enregistrées, en particulier dans les eaux profondes et peu explorées. Un profil général de la biodiversité méditerranéenne est présenté dans la Figure 2.



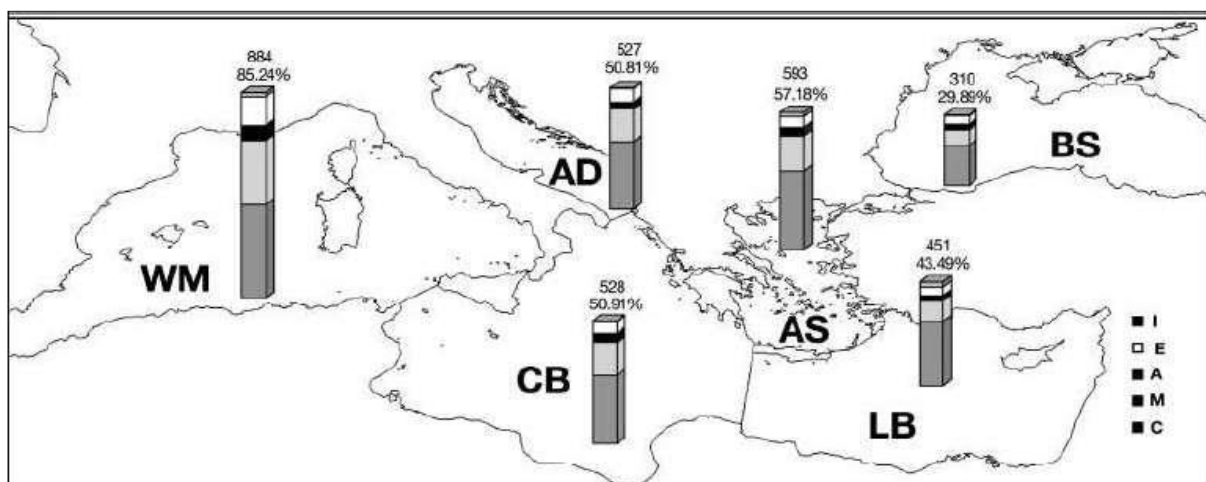
**Figure 2.** Profils de diversité des espèces d'invertébrés benthiques en Méditerranée (Zenetos *et al.*, 2003).

## 1.3 Rôle et place des polychètes dans la Mer Méditerranée

Les polychètes sont une classe de vers segmentés appartenant au phylum Annelida. Ce sont des groupes écologiques homogènes qui signifient que malgré les différences morphologiques et génétiques entre eux, ils ont pu développé des stratégies de vie et d'interaction similaires avec leur environnement. Les annélides polychètes constituent le groupe le plus important de grands invertébrés benthiques en termes de nombre d'espèces, ils sont considérés comme les plus dominants en termes d'abondance et de biomasse et contribuent le plus au macrofaune benthique globale (Fauchald, 1977 ; Knox, 1977). Les polychètes sont représentés dans la majorité des écosystèmes marins, mais sont plus fréquents dans les eaux côtières. La richesse spécifique mondiale actuelle de polychètes est estimée

entre 25 000 et 30 000 espèces (Mackie *et al.*, 1997). Selon Arvanitidis *et al.* (2002), 1036 espèces de polychètes ont été signalées en Méditerranée et en mer Noire. Parmi ces espèces, 73 sont considérées comme des amphi-atlantiques, 297 atlanto-méditerranéennes, 428 cosmopolites, 195 endémiques et 44 indo-méditerranéennes. La figure 3 montre le nombre et les proportions d'espèces polychètes dans différentes régions de la Méditerranée. Il y a une nette diminution du nombre d'espèces de l'ouest vers l'est. Dans les écosystèmes, les polychètes sont des maillons essentiels de la chaîne alimentaire marine, ayant le même rôle écologique que les oligochètes terrestres, fournissant de la nourriture à de nombreux animaux de la chaîne alimentaire (Toonen, 2003). Au niveau benthique, ils participent activement à la transformation des débris organiques en substances minérales assimilables par les plantes. La diversité des régimes trophiques des polychètes leur permet de s'adapter à presque tous les environnements marins en adaptant leur structure trophique à ce que l'environnement offre comme conditions de vie. De surcroît, ils entrent dans l'alimentation des poissons, des céphalopodes et des oiseaux (Ben Amor, 1984 ; Bocher *et al.*, 2014; Vinagre *et al.*, 2012).

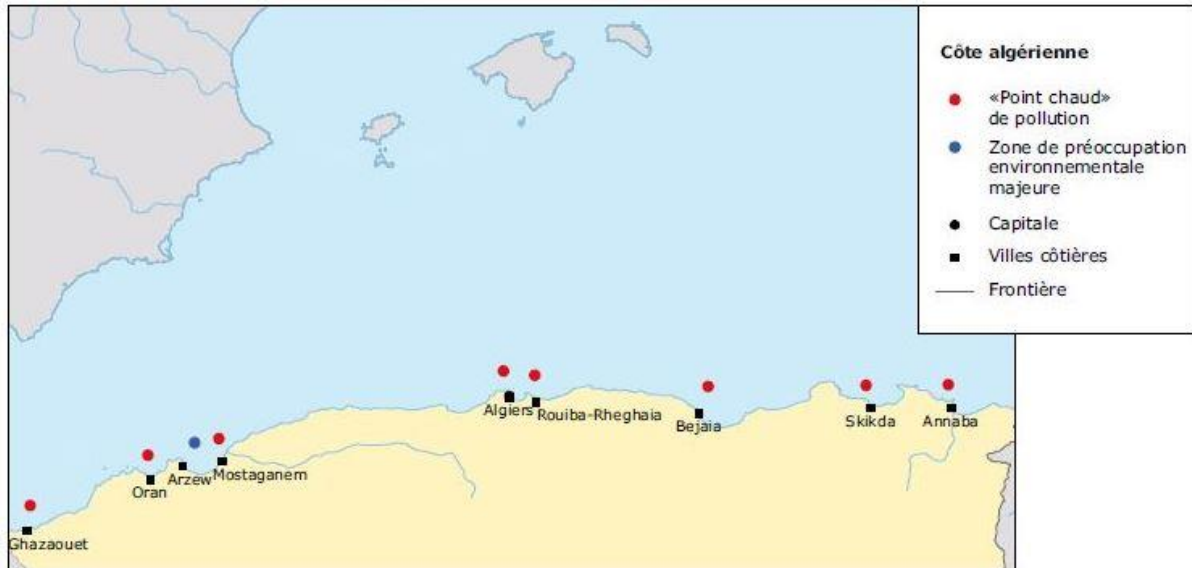
Par ailleurs, les annélides polychètes sont de puissants outils biologiques pour détecter les signes de dégradation de l'environnement en fonction de leurs réponses aux perturbations. L'importance de ce taxon dans la structure de la communauté et le contrôle de la qualité de l'environnement a été examinée par de nombreux auteurs, dont Pocklington & Wells (1992) et Hutchings (1998).



**Figure 3.** Répartition des espèces d'Annélides polychètes dans les différents bassins de la Méditerranée. **WM:** Ouest Méditerranée; **CB:** bassin central; **AD:** Mer Adriatique; **AS:** Mer Égée; **LB:** Bassin Levantin; **BS:** Mer Noire; **M:** Atlanto-Méditerranéennes; **A:** Amphi Atlantique ; **C :** Cosmopolites ; **E :** Endémiques ; **I :** Indo-Méditerranéennes (Zaabi, 2013).

#### 1.4 Les problèmes de pollution en Algérie

Environ 12,5 millions de personnes vivent sur la côte algérienne, représentant 45% de la population du pays. Alger, Oran, Annaba, Ghazaouet, Mostaganem, Arzew, Bejaia et Skikda sont les principales villes côtières (Figure 4) (Rapport, 2006). Pendant l'été, les touristes rejoignent la population permanente.



**Figure 4.** Côte algérienne avec des zones de préoccupation environnementale majeure et des "points chauds" de pollution (Rapport, 2006).

Les principaux problèmes de pollution sont liés aux eaux usées du milieu citadin et industrielles non traitées, les nappes d'hydrocarbure liées à l'exploitation du pétrole et l'érosion côtière. La plupart des eaux usées urbaines sont rejetées directement en mer sans être traitées (Figure 5). Les régions côtières algériennes comptent 17 stations d'épuration des eaux usées, mais seulement 5 sont en fonctionnement normal, représentant environ 25% de la capacité totale de traitement. Des micro-organismes fécaux ne répondant pas aux normes sanitaires requises sont présents sur la plupart des plages algériennes. De même, la pollution par les hydrocarbures pétroliers est généralisée sur l'ensemble des côtes algériennes, compte tenu de la proximité des voies maritimes. L'érosion est également un gros problème. Sur environ 300 km de plages de sable en Algérie, 85 % reculent, perdant du sable à raison de 0,30 à 10,4 m par an. Les zones préoccupantes sont représentées dans le tableau 1.

**Tableau 1.** Zones polluées en Algérie.

ZONES	Sources de pollution
<b>Baie d'Alger</b>	eaux usées urbaines et industrielles, cadmium, cuivre, mercure, plomb et zinc dans les sédiments (Atroune, 2015)
<b>Oran</b>	eaux usées urbaines, industrielles ainsi que le port d'Oran, Pollution par les Métaux traces (Taleb & Boutiba, 2007 ; Atroune, 2015)
<b>Skikda</b>	eaux usées urbaines et industrielles (gaz naturel, production de mercure, terminal et raffinerie pétroliers, industrie chimique), métaux traces (Kehal <i>et al.</i> , 2010)
<b>Annaba</b>	eaux usées urbaines et industrielles (engrais, chrome) (Khammar, 2007 ; Atroune, 2015)

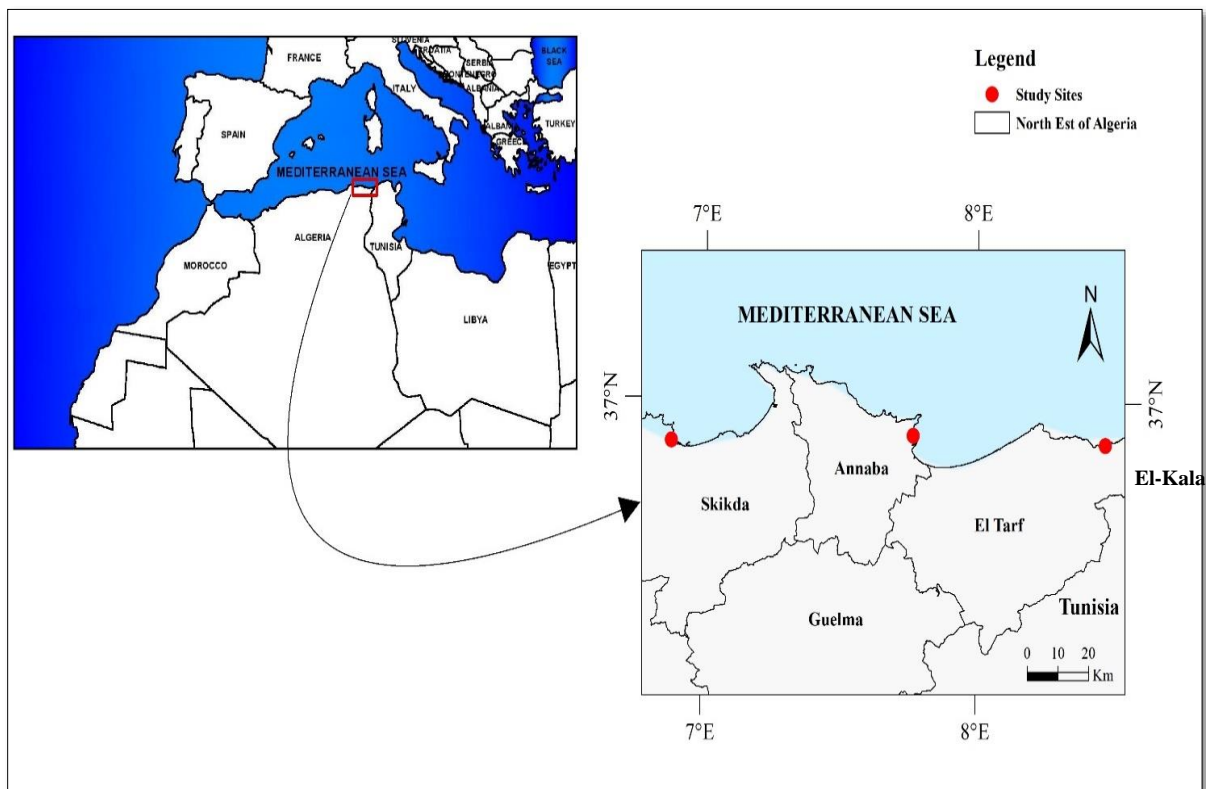
**Figure 5.** Eaux usées rejetées directement dans la mer (Alger) (Rapport, 2006).

### 1.5 Le littoral algérien

La côte algérienne s'étend sur 1 622 kilomètres et est d'une grande valeur écologique. Il représente un pôle de biodiversité contenant plusieurs types d'écosystèmes tels que des marais, des îles, des lagunes, des deltas et des dunes (Ghodbani *et al.*, 2015). La côte algérienne est donc un facteur important de protection de la biodiversité marine et côtière de la mer Méditerranée. Cependant, du fait de la concentration de l'homme dans les zones côtières et du poids de l'activité humaine sur l'environnement, celles-ci sont constamment

menacées de dégradation pouvant affecter la biosphère (Kacemi, 2011). Dans ce contexte, l'étude a été réalisée à trois endroits sur la côte nord-est de l'Algérie : Plage de la Montagne à El Kala, plage de Rezgui Rachid (anciennement Saint-Cloud) à Annaba et enfin plage Bikini à Skikda (Figure 6). Il est à signaler que le maximum de marnage au niveau de ces sites est identique atteignant 1 m.

Ces trois sites ont déjà fait l'objet d'études antérieures (Ramdani *et al.*, 2020). Le travail présenté dans cette étude s'appuie sur ces résultats et permet de poursuivre les observations pour identifier de possibles évolutions spatiotemporelles.



**Figure 6.** Localisation géographique des trois sites d'échantillonnage sur le littoral Est Algérien (El-Kala, Annaba et Skikda) (ArcGIS) (Rezzag Mahcene, 2021).

### 1.5.1 Station 1 : Plage La Montagne El-Kala

Le premier site localisé à El-Kala qui est une zone soumise à protection, avec la mise en place depuis 1983 d'un parc national (d'une superficie de 76438 hectares). Le site est localisé dans une commune de la Wilaya d'El Tarf, limitée à l'est par la frontière Algéro-Tunisienne. Il se trouve sur les coordonnées  $36^{\circ}53'53.33''$  de latitude nord et  $08^{\circ}27'3.28''$  de longitude est.

Le prélèvement des échantillons a été effectué sur un substrat rocheux au niveau de la Montagne (Figure 7). Le choix de la station revient à l'absence de tout centre industriel et d'activités domestiques à proximité.



**Figure 7.** Station 1, plage La Montagne à El-Kala (Rezzag Mahcene, 2018).

### **1.5.2 Station 2 : Plage Rezgui Rachid (Ex Saint-Cloud) à Annaba**

Le second site de prélèvement localisé à Annaba au niveau de la plage Rezgui Rachid (Ex St-Cloud) sur des substrats rocheux (Figure 8). Il se trouve à la latitude  $36^{\circ}91'67.70''N$  et à la longitude  $07^{\circ}76'81.70''E$ . La Wilaya d'Annaba est ouverte sur le littoral méditerranéen sur 80 km.

Dans la région d'Annaba, outre les eaux de pluie, la baie reçoit des apports en eau douce par le biais de deux Oueds (Seybouse et Boudjemâa) au Sud-Ouest qui, d'une part, exposent le littoral à une pollution d'origine tellurique et d'autre part, véhiculent des rejets d'origine agricole, domestique et industrielle. Ces effluents chargés en contaminants comme le cuivre (0.60 mg/l) et le cadmium (3.80 mg/l) ainsi que le zinc (1.93 mg/l) (Ramdani, 2021) sont notamment issus d'un complexe d'engrais (FERTIAL), d'unités laitières (ORELAIT), d'unités métallurgiques (PROMETAL, SIDER) et d'un complexe sidérurgique installés sur la côte (Khelifi-Touhami *et al.*, 2006). La baie reçoit aussi des effluents urbains (Khammar, 2007) ainsi que des rejets issus de navires évoluant au large.



**Figure 8.** Station 2, plage Rezgui Rachid Ex Saint-Cloud à Annaba (Rezzag Mahcene, 2018).

### 1.5.3 Station 3 : Plage Bikini à Skikda

Le troisième site se situe dans la Wilaya de Skikda; sur une latitude  $36^{\circ}52'18.86''N$  et une longitude  $6^{\circ}54'3.28''E$ .

La station retenue pour l'échantillonnage est la plage « Bikini », les échantillons sont rééchantillonnés sur un substrat rocheux (Figure 9). La ville de Skikda est considérée comme polluée en raison de la présence de contaminants tels que les HAP (hydrocarbure aromatique polycyclique) (Meghlaoui, 2015) et des éléments métalliques comme le cuivre (0.76 mg/l) et le cadmium (4.01 mg/l) ainsi que le zinc (1.79 mg/l) provenant du port pétrolier de Skikda (Ramdani, 2021). De plus, le littoral de Skikda est caractérisé par un trafic maritime intense, des rejets urbains, les émissions de la zone industrielle pétrochimique, le transport, la transformation et le stockage des hydrocarbures et de leurs dérivés.



**Figure 9.** Station 3, plage Bikini à Skikda (Rezzag Mahcene, 2018).

## **1.6 Modèles biologiques**

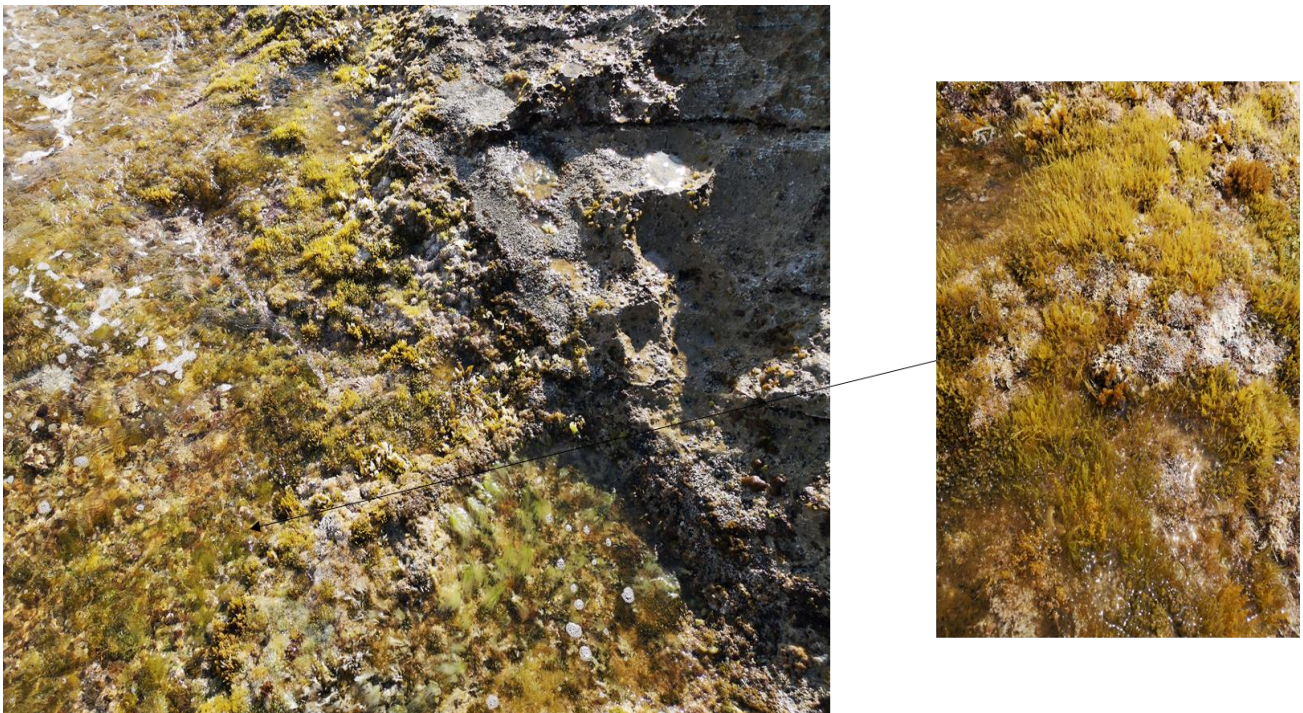
### **1.6.1 Modèle d'étude de la variabilité des peuplements**

Dans les milieux marins, les Annélides Polychètes constituent un pourcentage significatif de la diversité et de l'abondance totale du macrofaune benthique. Ainsi, elles représentent de 35 à 50 % des espèces macrobenthiques selon la nature du biotope occupé (Knox, 1977). Les polychètes ont une large couverture géographique, présentent des traits de vie à cycle de vie court et sont recommandés comme organismes modèles marins potentiels pour l'évaluation de la qualité du milieu (Catalano *et al.*, 2012). Ils ont largement été utilisés pour évaluer l'impact des activités anthropiques, les perturbations dans les systèmes aquatiques en milieu naturel (*in situ*) et les conditions de laboratoire (*in vitro*) (Qingyang *et al.*, 2016 ; Dale *et al.*, 2019 ; Fonseca *et al.*, 2018 ; Gomes *et al.*, 2019 ; Bhuiyan *et al.*, 2021). L'étude réalisée s'est donc appuyée sur le taxon des polychètes et la faune associée.

Les espèces ciblées sont établies dans un environnement intertidal sélectif en raison des fluctuations de température et de salinité ; elle doit donc faire preuve de fortes capacités d'acclimatation physiologique. En outre, en raison de la variabilité spatiale des facteurs

physiques, de la disponibilité des ressources et des autres espèces agissant en qualité de concurrents, prédateurs ou parasites (Futuyma, 1986), les espèces benthiques et intertidales sont réparties de façon discontinue (Figure 10).

Les annélides polychètes se déplacent par contraction des muscles circulaires d'un segment provoquant son allongement et la rétraction des soies ce qui fait avancer l'extrémité antérieure du segment. Ensuite, les muscles longitudinaux se contractent. Cette action est accompagnée de l'extension des soies qui se fixent dans le substrat, et le segment s'écourte en s'allongeant vers l'avant l'extrémité postérieure du segment. Cette action se diffuse de l'avant vers l'arrière du ver lui permettant d'avancer. Les parapodes des polychètes errants les aident à se mouvoir rapidement à la surface des sédiments. Les soies sont importantes dans le déplacement et aident l'animal à s'ancrer pour effectuer une poussée (Guemmouda, 2015). Les ondulations du corps permettent également d'utiliser les parapodes comme des rames et de nager.



**Figure 10.** Habitat des Annélides Polychètes (Nereididae) dans la zone d'étude (Rezzag Mahcene, 2018).

Les espèces qui vivent dans les écosystèmes littoraux et côtiers sont fréquemment en contact avec des substances possédant des propriétés toxiques (effluents, déchets industriels et domestiques, lessives et détergents, pesticides), constituant ainsi un matériel biologique de choix afin de suivre les effets de contaminants au niveau de l'environnement et pour évaluer

les flux des xénobiotiques dans les chaînes alimentaires. Elles représentent ainsi l'un des groupes de macroinvertébrés les plus utilisés dans les études à caractère écotoxicologique (Scaps *et al.*, 2000).

Afin de définir la richesse spécifique de la faune annélide et la flore des trois stations retenues, deux études ont été menées durant la période d'étude allant de janvier 2018 à décembre 2018. La première, qualitative par analyse de la répartition taxonomique en espèce des annélides et de leur faune et flore associées a permis d'évaluer leur évolution spatiotemporelle. La deuxième, quantitative par dénombrement des individus par espèces d'annélides a permis d'évaluer la structure des peuplements de polychètes et les variabilités en lien avec les caractéristiques environnementales.

Parmi les espèces récoltées, une s'est révélée ubiquiste et en nombre suffisant pour permettre des analyses de la variabilité intraspécifique inter site. Il s'agit de l'espèce *Perinereis cultrifera*.

### 1.6.2 Modèle d'étude de la variabilité intraspécifique

#### 1.6.2.1 Présentation de l'espèce

L'Annélide polychète *P.cultrifera* (Grube, 1840) est une espèce benthique nommé Pelure, Pelouze verte par les pêcheurs ou encore « vers à antennes et à pattes » collectée sur les substrats durs recouverts d'algues et vendue comme appât commercial pour la pêche sportive (Rouabah *et al.*, 2008).

C'est une espèce de la famille des Nereididae. L'appellation « *Perinereis cultrifera* » vient de la capacité du ver à creuser des galeries dans la roche. Du latin *Perinereis*, désigne le genre appartenant à l'embranchement annélides, car c'est un ver annelé doté de parapodes et *cultrifera* qui vient de couteau ou couper dans la roche.

Selon le registre européen des espèces marines ERMS, la classification de l'Annélide Polychète *P. cultrifera* (Figure 11) acceptée et citée dans Read & Fauchald (2016) est la suivante :

Règne : Animal

Embranchement : Annélides

Classe : Polychètes

Sous classe : Aciculata

Ordre : Phyllodocida

Famille : Nereididae

Genre : *Perinereis* (Kinberg, 1865)

Espèce : *cultrifera* (Grube, 1840)



**Figure 11.** Spécimen de *Perinereis cultrifera* récoltée du littoral Nord-Est algérien, à El-Kala, en 2018 (Rezzag Mahcene, 2019).

*P. cultrifera* est observée en grand nombre dans différents types d'habitats typiquement marin ou d'eau saumâtre au niveau des substrats meubles et durs (Maltagliati *et al.*, 2001). Cette espèce est dotée d'une tolérance physiologique élevée aux variations des facteurs environnementaux comme la température et la salinité (Wells *et al.*, 1940). Elle joue un rôle important dans la bioturbation et le transfert de la matière organique et des nutriments entre la colonne d'eau et le sédiment (Banta *et al.*, 1999). Comme tous les polychètes, elle joue aussi un rôle fondamental dans la chaîne alimentaire en milieu marin comme proie pour les poissons, les crevettes et oiseaux (García-Alonso *et al.*, 2008).

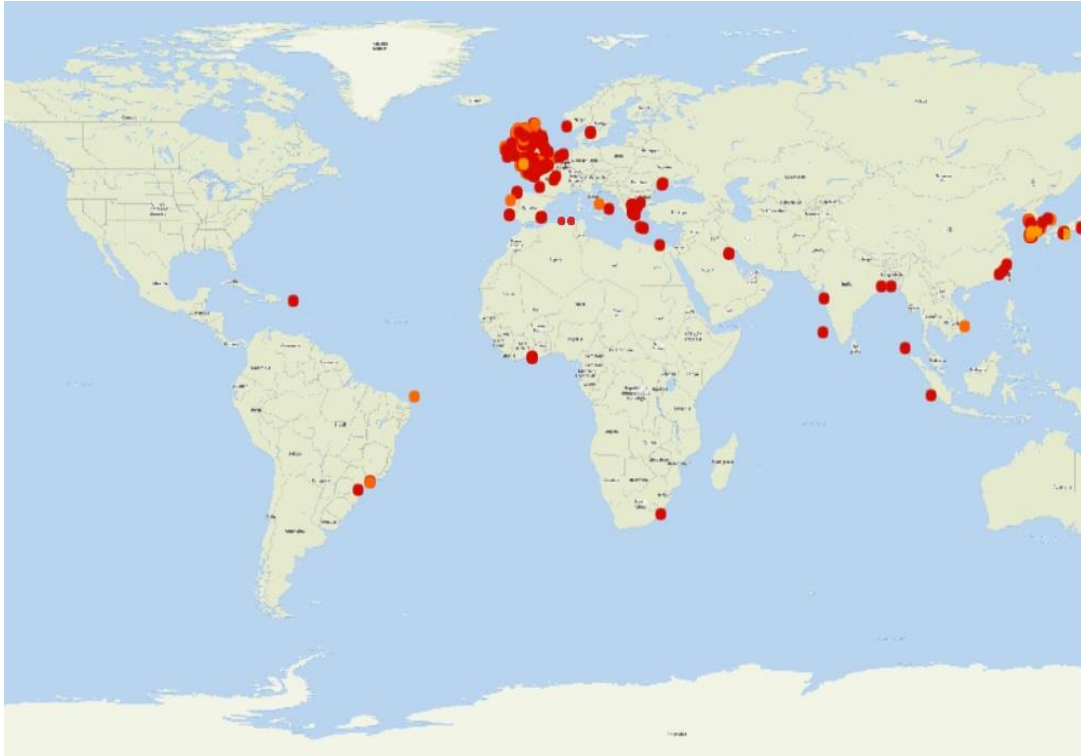
*P. cultrifera* vit dans les galeries qu'elle construit dans les sédiments (Scaps *et al.*, 1998), elle est donc en contact étroit avec les polluants endogés. Les travaux de Luoma & Bryan (1982), ont rapporté qu'elle présente des concentrations en cuivre, directement liées à celle des sédiments. D'autres études confirment sa facilité à accumuler les contaminants comme le cadmium et le zinc (Ghirardini *et al.*, 1999) et l'arsenic (Waring & Maher, 2005). Considérant ces caractéristiques biologiques et surtout écotoxicologiques, l'espèce *P. cultrifera* peut donc être retenue comme espèce bio-indicatrice de pollution (Ramdani, 2021).

#### 1.6.2.2 Répartition géographique

La figure 12 représente la répartition de *P. cultrifera* (Grübe, 1840) au niveau mondial. L'espèce est caractérisée par une répartition géographique étendue (Rouhi *et al.*, 2008). Elle

est présente en Mer du Nord, Manche, Atlantique, Méditerranée, en mer Rouge, dans l'océan Indien, aux Philippines, sur les côtes chinoises, dans le Pacifique Nord (Japon) et le Pacifique Sud (Nouvelle-Calédonie) (Fauvel, 1923 ; Durchon, 1957 ; Wu *et al.*, 1985) (figure 12).

En méditerranée, cette espèce est très répandue sur les littoraux algérien (Rouabah *et al.*, 2008 ; Younsi, 2014 ; Guemmouda, 2015 ; Meghlaoui, 2015 ; Snani, 2016), marocain (Rouhi *et al.*, 2008 ; Gillet, 2017), Tunisien (Chaibi *et al.*, 2018).



**Figure 12.** Répartition géographique de *Perinereis cultrifera* à travers le monde (D'après GBIF).

### 1.6.2.3 Reproduction

*P. cultrifera* est une espèce gonochorique. Cependant, les gonades n'ont jamais été localisés (Andries, 2001). Chez cette espèce, l'effort de reproduction est important. Durant la période de reproduction, comme pour toutes les espèces de la famille des Nereididae, les mâles et femelles subissent parfois une modification morphologique (épitoque) et se déplacent dans l'eau pour une danse nuptiale. Par la suite, leur teguments se déchirent et les individus rejettent leurs gamètes dans la colonne d'eau où s'opère la fécondation. Cependant, selon la distribution géographique des populations, la reproduction s'effectue aussi parfois sans modifications morphologiques (atoque) (Durchon, 1957). Ces différences de comportement reproductif ont déjà été observés. La reproduction de *P. cultrifera* est de type

atoque à Marseille (Perès & Rancurel, 1948) et sur la baie d'Alger en Algérie (Durchon, 1957; Marcel, 1962). Cependant, des études ont montré que la reproduction de *P. cultrifera* est de type épitoque à Venise en Italie (Ansaloni *et al.*, 1986), à Salammbô près Tunis (Zghal & Ben Amor, 1989) et à Annaba sur la côte est de l'Algérie (Rouabah & Scaps, 2003). La ponte a lieu en pleine eau d'avril à juillet et est suivie de la mort des géniteurs (Herpin, 1925 ; Durchon, 1951 ; Cazaux, 1965). Le passage à l'épitoque se manifeste par d'importantes modifications morphologiques comme l'augmentation de la taille des yeux, élargissement des parapodes et acquisition de soies en palettes, liées à une adaptation à la vie pélagique. Ces modifications s'adressent à une partie du corps seulement. L'équipement locomoteur parapodial devient hautement perfectionné (lamelles parapodiales et soies hétéronéréidiennes). Ces transformations somatiques sont contrôlées, de même que l'évolution des cellules germinales, par une hormone d'origine cérébrale (Durchon, 1951). Le degré d'évolution de l'épitoque peut être appréciée par les modifications morphologiques (Dakhama *et al.*, 1985). Les caractères d'épitoque jouent un rôle capital au moment de l'essaimage.

Les caractères sexuels somatiques des Néréidies se différencient dans les conditions naturelles au moment du passage de la forme immature (néréidienne ou atoque) à la forme adulte (hétéronéréidienne ou épitoque). En outre, au cours de la modification morphologique liée à l'épitoque, un dimorphisme sexuel apparaît à la fois au niveau de certains cirres parapodiaux et du pygidium.

Lors de la gamétogenèse (ovogenèse et spermatogenèse) les cellules germinales se développent flottant librement dans le liquide cœlomique (Eckelbarger, 2005). Celui-ci sert aussi de transport pour les nutriments nécessaires à la croissance des ovocytes (Hoeger *et al.*, 1999). La gamétogenèse est conventionnellement divisée en deux phases, une phase de prolifération, durant laquelle les gonies se divisent par mitose et donnent naissance à des ovocytes ou bien des spermatocytes, et une phase de développement, au cours de laquelle ils se différencient en gamètes matures. Plusieurs études sur le déroulement de l'ovogenèse chez les Nereididae (Beart, 1986 ; Andries, 2001 ; Eckelbarger, 2005 ; Lawrence & Soame, 2010) confirment qu'elle se produit en une période de temps prolongée durant laquelle les cellules subissent une phase de croissance très lente, suivie par une phase de croissance rapide, et terminée par une différenciation d'ovocytes matures. Ainsi, trois à quatre phases successives sont généralement décrites au cours l'ovogenèse. Chez les Néréididae, la vitéllogénèse peut

donc être décrite en quatre phases : la pré-vitellogénèse, la vitellogénèse, la corticogénèse et la maturité (Andries, 2001 ; Eckelbarger, 2005).

#### 1.6.2.4 Ovogenèse chez *P. cultrifera*

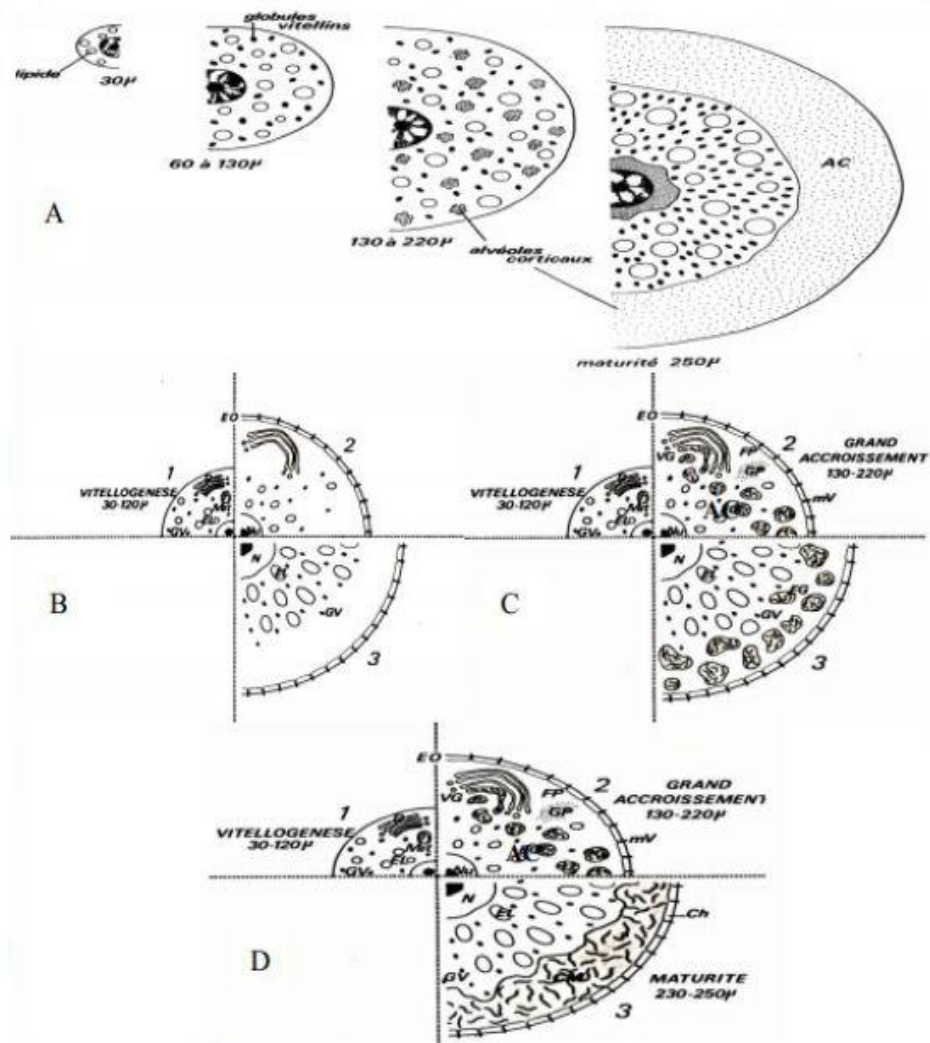
Les premières données bibliographiques (Porchet, 1974) sur l'ovogenèse chez *P. cultrifera* identifient ces quatre stades (Figure 13) :

**A) Stade 1 :** l'ovocyte est de petite taille inférieure à 120  $\mu\text{m}$ , et ne renferme, dans son cytoplasme, que des substances de réserves, dont les enclaves lipidiques, et les globules vitellins. Il correspond à la vitellogénèse.

**B) Stade 2 :** l'ovocyte est de taille moyenne de 130 à 170  $\mu\text{m}$ . La synthèse du vitellus s'arrête tandis que les alvéoles corticaux apparaissent. C'est le début du grand accroissement.

**C) Stade 3 :** l'ovocyte est de taille moyenne, inférieure à 220  $\mu\text{m}$ . Les alvéoles corticaux sont plus marqués et apparaissent fortement colorés par le bleu alcalin. C'est la fin du grand accroissement, les stades 2 et 3 constituent la corticogénèse.

**D) Stade 4 :** l'ovocyte est de taille importante, supérieure à 220  $\mu\text{m}$ , et caractérisé par une ségrégation des constituants cytoplasmiques. Les lipides et les globules vitellins migrent près du noyau, alors que, l'ensemble des alvéoles corticaux se mobilise vers la périphérie pour former la couche muqueuse. L'ovocyte est alors mature.



**Figure 13.** Représentation schématique des différents stades de l'ovogenèse chez *P. cultrifera*. Augmentation de la taille des ovocytes (A) ; jeunes ovocytes en phase de vitellogenèse (B) ; Ovocytes en corticogenèse (C) ; Ovocytes en maturité (D) (Porchet, 1974).

#### 1.6.2.5 Cycle biologique

Il est marqué par deux phases, semi-pélagique brève et benthique : l'œuf de grande taille, lecitotrophe (désigne le mode d'alimentation des larves qui se nourrissent uniquement grâce à leurs propres réserves contenues dans l'œuf « ressources vitellines »), la segmentation spirale aboutit à une larve ciliée, la trochophore « en forme de toupie » qui présente une couronne ciliaire peu développée qui aboutit à la formation d'une larve métatrophore. L'éclosion a lieu au stade erpochète de 3 sétigères à la fin de la phase semi pélagique, la larve devient sédentaire au stade erpochète de 4 sétigères, perd la couronne ciliée et acquiert les habitudes benthiques, le jeune ver benthique de 10 à 11 métamères adopte le même style de vie que les adultes, migre vers le bas durant la phase de croissance et de différenciation sexuelle où il accomplit les modifications morphologiques de l'épitoque (Rouabah, 2003). D'après

Prevedelli & Simonini (2003), chez *P. cultrifera* les œufs fécondés ont tendance à s'agglutiner pour former une grappe qui s'adhère à un substrat, également les larves produisent une substance collante qui les fixe sur un substrat et les empêche d'être emportées dans la mer ouverte par l'action de la marée (Figure 14).

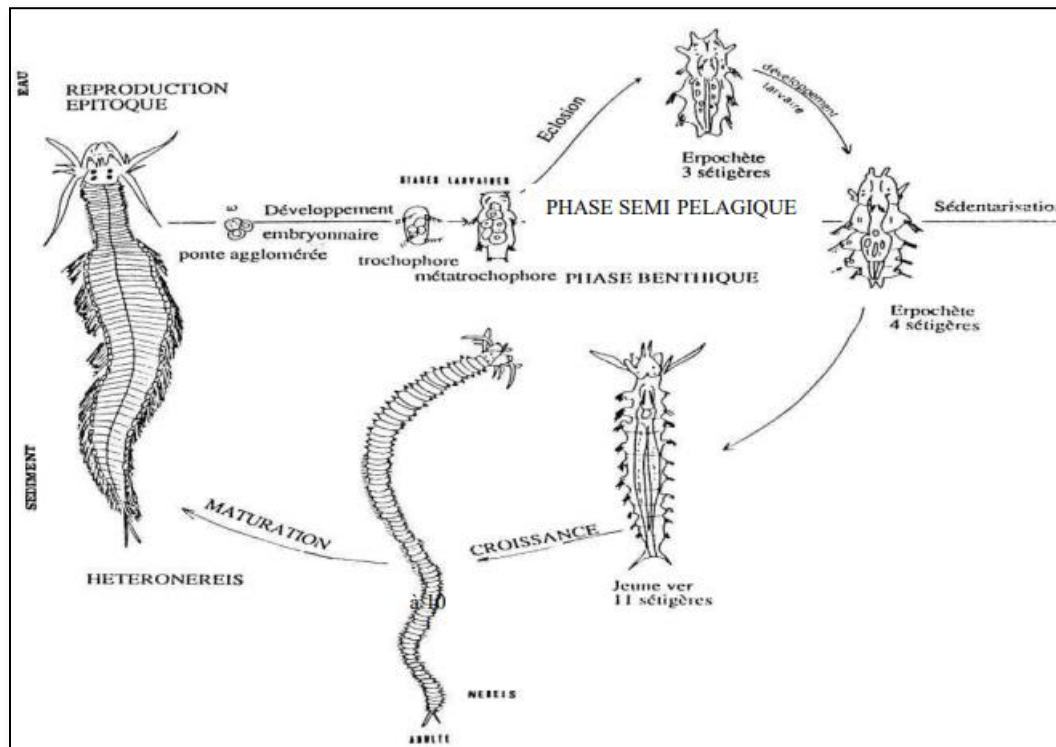


Figure 14. Cycle de vie de *Perinereis cultrifera* (Rouabah, 2003).

### 1.6.2.6 Régime alimentaire

L'étude du régime alimentaire de *P. cultrifera* sur une période de 2 ans au niveau de plusieurs sites du littoral est algérien a été effectuée par Belfetmi *et al.*, 2021 où il a démontré une différence claire concernant le niveau de répartition des régimes sur les trois sites d'études (El-Kala, Annaba et Skikda) ; en effet, le nombre d'herbivores est plus important au niveau du site d'Annaba, quant aux carnivores, ils sont plus abondants à El Kala par rapport aux autres sites, alors que les omnivores présentent une distribution ubiquitaire.

## **MATÉRIEL ET MÉTHODES**

## II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1 Caractérisation physico-chimique et climatique des sites d'échantillonnages

Les mesures de la température, du pH, de la salinité et de l'oxygène dissous ont été réalisées *in situ*, au niveau des trois sites à l'aide d'un multiparamètre « Thermo scientific Orion 5-star multi-paramètre portable » (Figure 15). Le suivi de ces paramètres dans les différentes stations d'échantillonnage s'est effectué mensuellement au moment du prélèvement des organismes vivants, à 06h00 du matin.



**Figure 15.** Multi-paramètre «Thermo scientific Orion 5-star multi-paramètre portable» (Rezzag Mahcene, 2019).

#### 1.1 Température

Elle est exprimée en degré Celsius (C°). Les températures élevées de l'eau entraînent une diminution de la teneur en oxygène et peuvent agir comme pollution additionnelle ayant des répercussions sur les cycles biologiques (Gueddah, 2003).

#### 1.2 L'oxygène dissous

L'oxygène dissous, exprimé en milligramme par litre (mg/l) est un paramètre très important car il intervient dans la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques (Gueddah, 2003). Selon le décret exécutif n°93-164 du 10 juillet 1993 définissant la qualité requise des eaux marines, Le taux de saturation en oxygène doit être compris entre 80 et 120%.

### 1.3 Salinité

La salinité représente la quantité totale de résidus solides. Elle est exprimée en gramme contenu dans 1 kg d'eau de mer. Elle exerce une influence sur la densité de l'eau de mer (Damiens *et al.*, 2000).

La salinité est également connue par son influence sur la biodisponibilité des métaux (Durou *et al.*, 2005). Elle influence la distribution et la dynamique des populations (Teske & Wooldridge, 2003 ; Pasquaud, 2006).

### 1.4 pH (le potentiel d'hydrogène)

Le pH mesure la concentration des protons H<sup>+</sup> contenus dans l'eau. Il est exprimé sur une échelle logarithmique de 0 à 14. Il influence la plupart des mécanismes chimiques et biologiques dans les eaux (Chapman & Kimstach, 1996). Le pH est un indicateur des processus biologiques et physiques dans la colonne d'eau. Il y reflète l'état thermodynamique des couples acide/base du système du CO<sub>2</sub>. Il diminue en présence de teneurs élevées en matière organique et augmente en période d'étiage, lorsque l'évaporation est importante (Meybeck, 1996).

Selon le décret exécutif n°93-164 du 10 juillet 1993 définissant la qualité requise des eaux de baignade marines, le pH ne doit pas dépasser une valeur limite comprise entre 7,5-8,4, souvent 8,2.

## 2 Méthodes de récolte et préparation des échantillons

Deux récoltes mensuelles pour la récolte des annélides mais aussi pour la faune associée ont été effectuées sur l'année 2018 au niveau des trois sites d'étude. Les prélèvements ont été effectués au niveau de la zone intertidale. La technique d'échantillonnage est aléatoire simple inspirée par les travaux de Rouabah & Scaps (2003). Elle consiste à réaliser des prélèvements au hasard et de façon indépendante sur un quadrat de 1 m<sup>2</sup>. Les sorties sur terrain sont conditionnées par les conditions climatiques, en effet une bonne récolte doit être effectuée à marée basse, la hauteur de la houle doit être inférieure à 0,3 mètre, l'intervalle entre chaque vague compte également, enfin la vitesse du vent doit être inférieure à 10 km/h. Les informations climatiques ont été prélevées des sites web spécialisés dans les données météorologiques.

Pour l'échantillonnage des annélides polychètes, trois méthodes de récolte ont été utilisées sur les trois sites d'échantillonnage. Deux sont chimiques et ne permettent que les

échantillonnages d'annélides. La troisième est mécanique, elle permet de collecter les annélides mais aussi la flore et la faune associées.

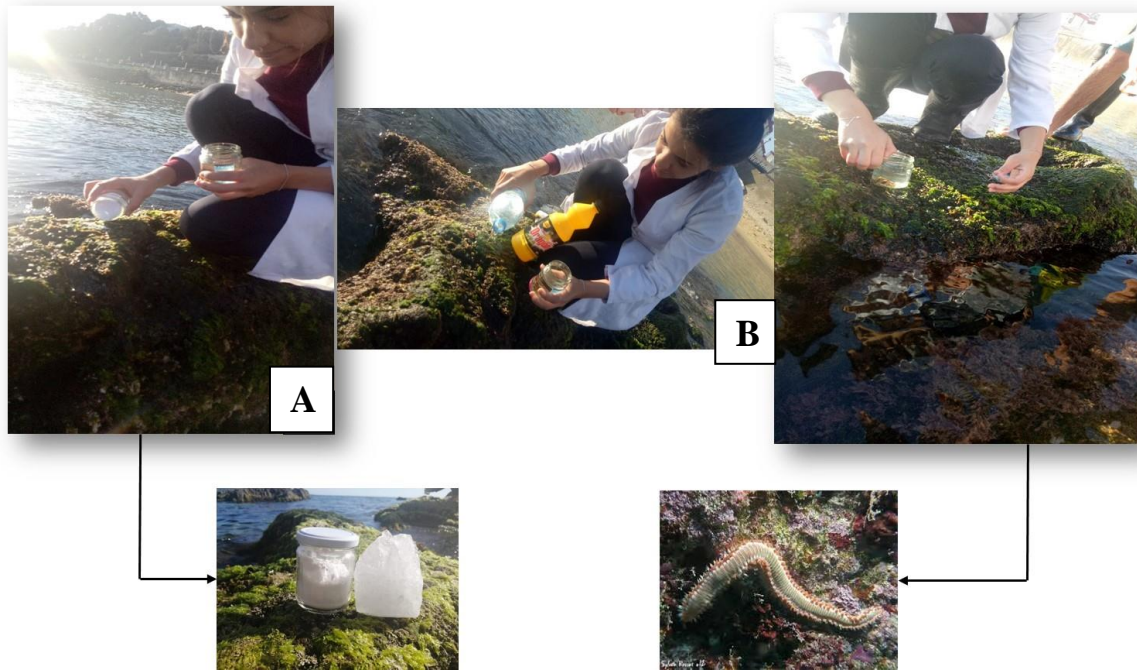
### **2.1 Méthodes chimiques d'échantillonnage des Annélides**

Cette technique d'échantillonnage permet de récolter un grand nombre d'espèces en entier en les forçant à sortir de leurs galeries par l'utilisation de produits chimiques. La première méthode chimique consiste à diluer 10% d'eau javel dans l'eau de mer, puis à asperger le substrat avec cette solution (Figure 16 B). Les vers récoltés avec cette méthode sont utilisés pour l'étude écologique. Cependant, ce type de procédé entraîne des destructions dramatiques de l'environnement et des ressources biotiques. La seconde technique d'échantillonnage est une technique adoptée par les pêcheurs. Elle vise à administrer, au niveau du substrat rocheux, une petite quantité de pierre d'alun réalisée à partir de Kalunite dont le potassium est naturel et qui ne contient pas d'hydroxyde d'aluminium (Figure 16 A). A ce jour aucune étude scientifique n'a démontré la toxicité de la pierre d'alun naturelle.

La récolte se fait à l'œil, une fois que les individus sont extériorisés. Après prélèvement, les individus sont directement plongés dans un bocal rempli d'eau de mer accompagné de quelques algues naturelles provenant du même biotope afin de maintenir les spécimens en vie.

Les deux techniques chimiques ont pour avantage d'être plus performantes car elles sont rapides et permettent surtout de prélever des individus entiers et en grande quantité.

Lors du transport vers le laboratoire, la conservation des individus se fait à une température variant de 4 à 12°C dans une glacière pendant 2 à 4 heures ; le tri et l'identification morphologique des espèces sont effectués à l'arrivée au laboratoire.



**Figure 16.** Méthodes d'échantillonnage chimique. **A** : la pierre d'alun ; **B** : l'eau de Javel  
(Rezzag Mahcene, 2019).

## 2.2 Méthode mécanique d'échantillonnage des annélides et de la faune et flore associées

Elle consiste à racler la couche superficielle du rocher constitué d'algues brunes et parfois vertes qui abrite une faune très riche en termes de diversité en utilisant un grattoir tout en appliquant une légère pression afin de détacher le substrat du rocher (Figure 17). Le prélèvement est déposé dans une boîte en plastique étiqueté (référence : mois, site) et les boîtes seront transportées dans une glacière au laboratoire. L'opération est répétée deux fois seulement à cause de l'inaccessibilité de l'endroit d'une part et de la détérioration de la végétation couvrant les rochers suite à la pulvérisation de l'eau de javel pure par les pêcheurs artisanaux d'autre part.



**Figure 17.** Méthode d'échantillonnage mécanique (Rezzag Mahcene, 2019).

Cette technique a pour avantages de permettre le prélèvement de la faune annélide et celle de la faune et flore associées, mais elle est moins efficace que les méthodes chimiques dans la mesure où la majorité des spécimens récoltés est sectionnée au cours du prélèvement. Par conséquent, ce mode de récolte est de plus en plus abandonné et remplacé par la méthode chimique.

### 2.3 Préparation des échantillons

Une fois au laboratoire, le matériel prélevé est placé dans un plateau à fond blanc avec environ 4 cm d'eau de mer. Les animaux sont extraits et séparés des algues, et l'ensemble est trié par groupe zoologique et botanique. Après identification, les annélides destinés à l'étude génétique sont conservés individuellement dans des tubes de 1,5ml contenant de l'alcool à 90°C et placés à une température de 4°C. Tous les autres échantillons sont fixés dans une solution de formol de 10% dans l'eau de mer pour être identifiés ultérieurement.

Les annélides sont individuellement séchés sur papier filtre et pesés afin de déterminer le poids frais essuyé avant la fixation au formol. Sur chaque individu identifié, le nombre de sétigères, la taille, le sexe, et la longueur L<sub>3</sub> (trois premiers segment) de *P. cultrifera* sont déterminés.

## 3 Identification des spécimens

### 3.1 Analyse de la biodiversité : identification des Nereididae

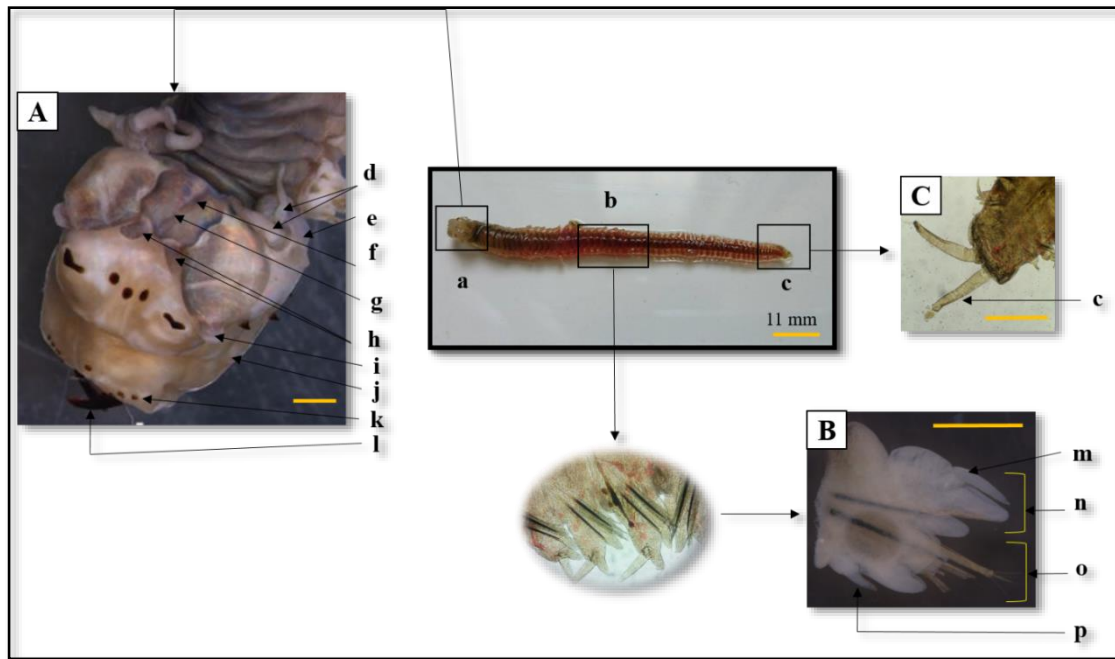
L'identification des polychètes de la famille des Nereididae a été réalisée selon 2 méthodes, l'une basée sur les caractéristiques morpho-anatomiques, l'autre sur les caractéristiques moléculaires

#### 3.1.1 Identification des Nereidae selon les caractéristiques morpho-anatomique

L'identification morphologique s'appuie sur la forme et la répartition des paragnathes sur les différents lobes de la partie dorsale et ventrale de la tête, les caractères morphologiques

des parapodes et de la structure des soies. Plusieurs références bibliographiques ont été consultés pour l'identification des Annélides Polychètes (Grimes, 2004 ; Fontaine, 2006 ; Moissan, 2006 ; Fish & Fish, 2011 ; Gasmi, 2018 ; Day, 1967 ; Fauvel, 1923). Selon cette bibliographie, l'identification des Annélides Polychètes repose sur l'observation de trois régions du corps comme le présente la figure 18 :

- **La région céphalique** n'est pas métamérisée mais est composée de deux unités : le prostomium porte les palpes, les antennes, et les yeux ; le péristomium est situé autour de la bouche et porte latéralement quatre paires de cirres tentaculaires. La trompe extroversé se termine par une paire de mâchoires brunes dentelées (Figure 18 A). Á la surface de la trompe, les paragnathes sont utilisés pour l'identification des espèces. Ces petits denticules sont distribués sur des aires représentées par des chiffres romains de I à VIII (Figure 18 A).
- **La région du corps** est constituée d'une suite de métamères peu différenciés. Chaque métamère porte une paire de parapodes (Figure 18 B). A l'exception des parapodes des deux premiers métamères, chaque parapode est biramé et est constitué d'un lobe dorsal, le notopode, avec un cirre dorsal, et d'un lobe ventral, le neuropode, qui porte un cirre ventral ; les parapodes de deux premiers métamères sont uniramés (lobe dorsal uniquement) ; chaque lobe du parapode biramé porte un faisceau de soies, appelées aussi notochaeta (lobe dorsal) ou neurochaeta (lobe ventral), soutenu par une acicule.
- **La région caudale** : est appelée pygidium, porte l'anus en position terminale, et deux cirres anales (Figure 18 C). Le pygidium n'est pas métamérisé (Figure 18 C).

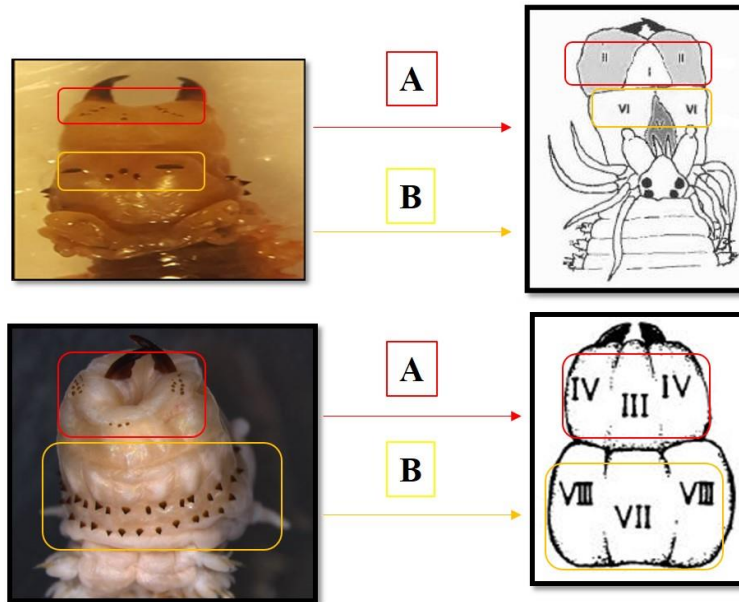


**Figure 18.** Schéma montrant l'aspect général du corps d'un Nereididae. **A:** région céphalique, **B:** région du corps, **C:** région caudale, **a:** région céphalique, **b:** région du corps, **c:** région caudale, **d:** cirres tentaculaires, **e:** péristomium, **f:** yeux, **g:** prostomium, **h:** antennes, **i:** palpe, **j:** pharynx, **k:** paragnathe, **l:** mâchoires, **m:** cirre dorsal, **n:** notopodium, **o:** neureopodium, **p:** cirre dorsal. Barres d'échelle : **A,** 5mm ; **B-C,** 0.5mm (Rezzag Mahcene, 2019).

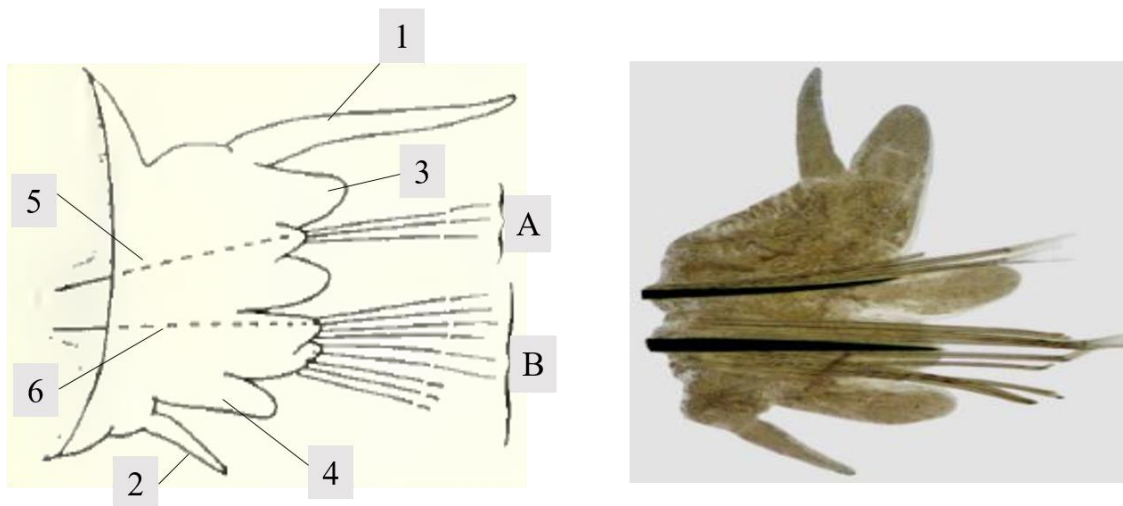
Pour une identification précise des espèces, les individus sont examinés sous une loupe binoculaire (ZEISS STEMI DV4). La famille des Nereididae est reconnue par la présence simultanée de deux antennes, deux palpes, et quatre yeux sur un prostomium bien individualisé, de quatre paires de cirres tentaculaires et une paire de mâchoires de 4-6 denticules. Les caractères morphologiques des parapodes, et de la structure des soies peuvent être également examinés (Fauchald, 1977 et Day, 1967).

L'identification à des niveaux inférieurs s'effectue par un examen de la répartition et le nombre de paragnathes sur les différents lobes des deux anneaux : maxillaire (Lobes I, II, III, IV), et oral (Lobes V, VI, VII, VIII) de la trompe (Figure 19) (Rouabah & Rouabah, 2007 ; Rouabah *et al.*, 2009). Ce niveau d'identification nécessite donc de procéder à l'extroversion de la trompe en effectuant une petite pression au niveau des 4 premiers métamères.

A maturité, sauf rares exceptions, un neréide à un stade pélagique (*Heteronereis*) mâle ou femelle prélevé dans la zone d'étude présente une région antérieure peu modifiée et une région postérieure à grandes lamelles parapodiales et à soies natatoires remplaçant les soies néreidiennes (Figure 20).



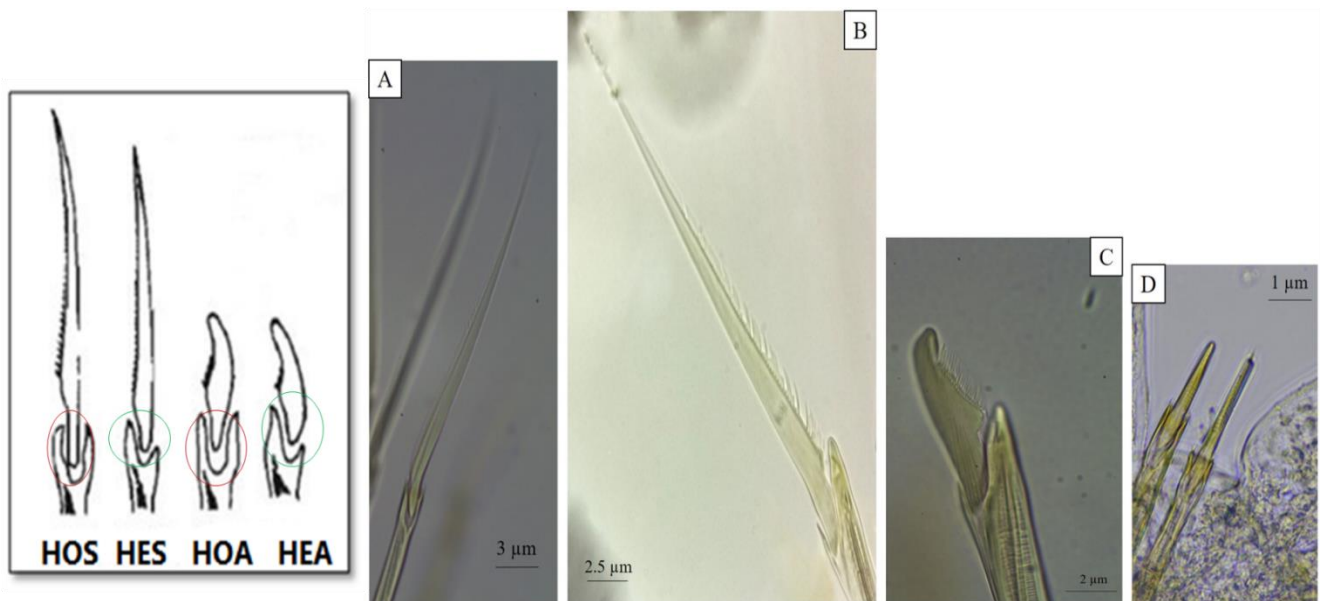
**Figure 19.** Vue dorsale et ventrale des zones pharyngées ciblées pour l'identification des espèces. **A** : les anneaux terminaux, **B** : les anneaux oraux (Hylleberg *et al.*, 1986 ; Rezzag Mahcene, 2020).



**Figure 20.** Vue antérieure, aspect latéral d'un parapode indiquant les éléments d'intérêt ciblées pour l'identification des espèces. **A** : notopodium, **B** : neuropodium, 1 : cirre dorsale, 2 : cirre ventrale, 3 : rame dorsale, 4 : rame ventrale, 5 : notaculum, 6 : neuraculum (Day, 1967 ; Rezzag Mahcene, 2020).

### 3.1.2 Identification de l'espèce cible : *Perinereis cultrifera*

Le genre *Perinereis* est caractérisé par un gros paragnathe en forme de barre transversale du lobe VI de chaque côté et par de petits cônes en forme de triangle du lobe V (Figure 18 B). Une double rangée transversale des paragnathes, au niveau des zones VII et VIII forme un double collier (Day, 1967). D'après Fauvel (1923), l'espèce *P. cultrifera* est caractérisée par des soies composées en arête homogompe sur le notopode, et des soies en serpe hétérogompe en plus des celles en arête homogompe et hétérogompe sur le neuropode (Figure 21).



**Figure 21.** Soies des nereididae. **A** : serpe homogompe = HoS ; **B** :serpe hétérogompe = HeS ; **C** :arête hétérogompe = HeA ; **D** :arête homogompe = HoA (Hylleberg *et al.*, 1986 ; Rezzag Mahcene 2021).

### 3.1.3 Identification de la faune et flore associées

Afin d'identifier la faune et flore associées aux trois populations de *P. cultrifera*, ainsi que la biodiversité des trois stations, l'identification de chaque espèce a été réalisée en collaboration avec le laboratoire de Biologie Marine de l'Université Badji Mokhtar (Annaba) bien que certaines espèces pas encore déterminé suite à une difficulté dans l'identification. Une étude quantitative a ensuite été effectuée via une analyse de la répartition taxonomique.

## 4 Analyse des communautés

### 4.1 Paramètres d'étude des peuplements

Dans le but de déterminer la structure des communautés des Néréidés ainsi que la biodiversité des trois stations retenues, une étude quantitative a été réalisée par dénombrement

des individus par espèce. Elle a permis de calculer les différents indices écologiques de biodiversité :

#### 4.2 Indices de composition

- **Richesse spécifique totale (S)** : c'est le nombre d'espèces rencontrées dans la région d'étude (Blondel, 1975 ; Ramade, 1984).
- **Richesse moyenne (S')** : elle est exprimée par le rapport du nombre total d'individus (Ki) pour chacune des espèces sur le nombre total de relevés (N) effectués (Blondel, 1975).

$$S' = Ki/N$$

- **La dominance (Pi)** : c'est pourcentage d'abondance d'une espèce i par rapport à l'abondance totale des individus de toutes les espèces présentes dans le prélèvement,

$$P_i(\%) = \frac{n_i}{N_i} \times 100$$

**ni** : effectif d'individus de l'espèce i ;

**N** : effectif total d'individus de toutes les espèces.

#### 4.3 Indices de structure

Le calcul de l'indice de Shannon-Weaver (H') (1963) et d'équitabilité de Pielou (J') a pour but l'estimation de l'état d'équilibre numérique des peuplements.

- **L'indice de diversité de Shannon et Weaver (H')** : il exprime le degré de complexité d'un peuplement. Cet indice intègre à la fois la richesse du peuplement et les abondances spécifiques. Il est utilisé pour mettre en évidence la diversité globale du peuplement et permet de mesurer le degré d'organisation du peuplement (Krebs, 1989 ; Dajoz, 2000 ; Tonkin *et al.*, 2013). Selon Ramade (2005), il convient à l'étude comparative des peuplements parce qu'il est relativement indépendant de la taille de l'échantillon.

$$H' = -\sum_{i=1}^{i=n} P_i \text{ Log}_2 P_i$$

où  $P_i = n_i/N \text{ Log}_2 P_i = \text{Log } p_i \times 3,322$

**Pi** : l'abondance proportionnelle ou pourcentage d'abondance de l'espèce présente.

**ni** : effectif de l'espèce i.

**N** : effectif total du peuplement.

**H'** est exprimé en Bit (Binary digit = unités binaires d'information)

La diversité est grande lorsque  $H'$  tend vers  $\text{Log}_2(S)$  (Lévêque & Balian, 2005). Une valeur élevée de cet indice correspond à un peuplement riche en espèces dont la distribution d'abondance est équilibrée. Par contre, une valeur faible de cet indice correspond soit à un peuplement caractérisé par un grand nombre d'individus appartenant à un petit nombre d'espèces, soit à un peuplement dans lequel il y a une espèce largement dominante (Magurran, 1988).

- **L'indice d'équitabilité de Piélou ( $J'$ ) (1969)** : Il représente l'équitabilité de la répartition des espèces. Il permet d'étudier la régularité de leur distribution. Cet indice varie entre 0 et 1 et traduit la qualité d'organisation d'un peuplement (Amanieu & Lasserre, 1982 ; Dajoz, 2000). Il est proche de 1 quand toutes les espèces tendent à avoir une même abondance et proche de 0 quand une ou quelques espèces dominent le peuplement.

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

$H'_{\max} = \text{Ln } S$  : indice maximal théorique

$S$  : nombre total d'espèces

#### 4.4 L'indice de similarité de Sørensen

Le coefficient de similarité de Sørensen (1948) s'applique sur la matrice présence/absence de taxa et se calcule selon la formule ci-dessous. Il a été calculé pour déterminer le taux de ressemblance entre les peuplements des différentes stations d'échantillonnage.

$$S = \frac{2C}{(a + b)} \times 100$$

Avec  $S$  = coefficient de similarité de Sørensen ;  $a$  = nombre de taxons présents dans la station 1 ;  $b$  = nombre de taxons présents dans la station 2 ;  $C$  = nombre de taxons communs aux deux stations.

Nous pouvons qualifier la ressemblance des milieux selon les critères suivants :

0-25% : milieux différents et peu semblables ; 26-50% : milieux différents et proches ; 51-70% : mêmes milieux variables et 75-100% : mêmes milieux homogènes.

#### 4.5 Fréquence d'occurrence ou centésimale (F) :

C'est le pourcentage de relevés où une espèce est présente. On considère qu'une espèce est accidentelle ( $F < 25\%$ ), accessoire ( $25\% < F < 50\%$ ), régulière ( $50\% < F < 75\%$ ), constante ( $75\% < F < 100\%$ ), omniprésente ( $F = 100\%$ ).

$$F = \frac{ri}{R} \times 100$$

**ri** : nombre de relevés dans lequel l'espèce *i* est présente.

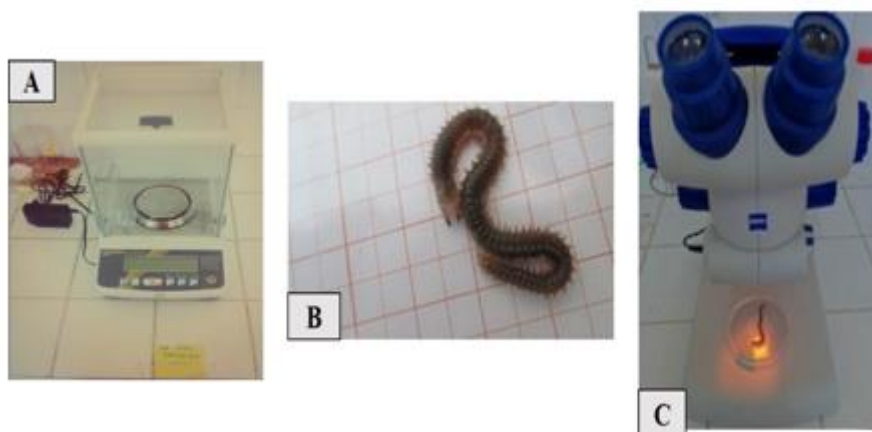
**R** : nombre total de relevés

## 5 Analyses de la variabilité intraspécifique de *P. cultrifera*

### 5.1 Paramètres morphométriques

Pour les individus de l'espèce *P. cultrifera* identifiés, quatre mensurations ont été effectuées :

- Le **poids frais** : les individus sont placés sur un papier absorbant et mesuré ( $\pm 0.001\text{g}$ ), à l'aide d'une balance de précision (KERN ABJ-NM/ABS-N) (Figure 22 A).
- La **taille** : la longueur totale (cm) de chaque individu est évaluée sur une feuille millimétrique (Figure 22 B).
- Le **nombre de sétigères** : la quantification du nombre de segments (sétigère) de chaque individu est réalisée sous loupe binoculaire (Figure 22 C).
- La longueur **L<sub>3</sub>** : à l'aide d'un micromètre intégré à une loupe binoculaire « ZEISS STEMI DV4 », on procède à la mesure des deux premiers éléments de la trompe extroversée représentés par le prostomium, péristomium et le premier setigère du corps ( $\pm\text{mm}$ ). Gillet (1986) a montré que le paramètre « largeur du corps » était mal corrélé avec le poids sec de l'animal sur des populations de l'estuaire du Maroc. Par contre, Gillet (1990) a trouvé que la longueur des trois premiers segments L<sub>3</sub> était le paramètre le mieux corrélée avec le poids. Cette observation a été réitérée dans des études ultérieures (Fossi-Tankoua *et al.*, 2012 ; Hamdy *et al.*, 2014).



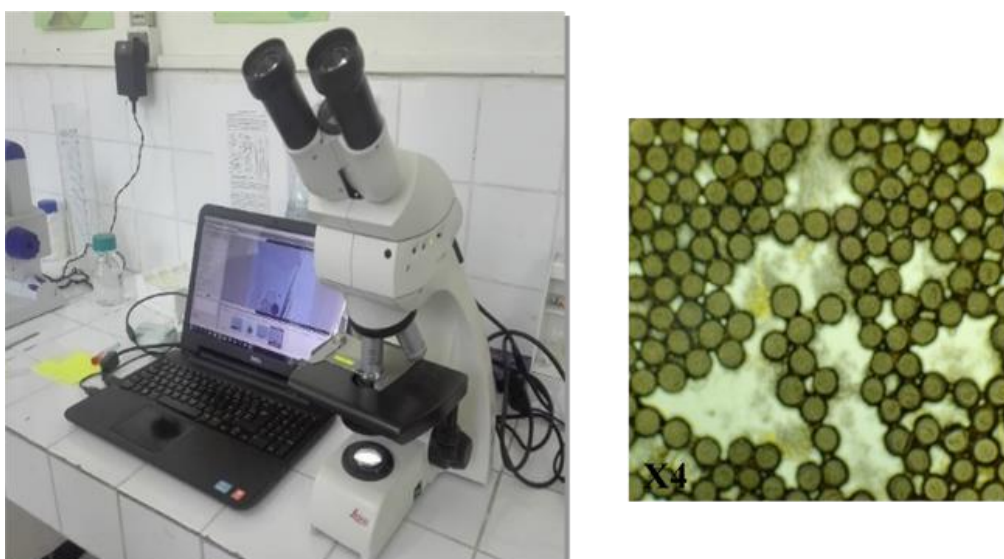
**Figure 22.** Matériel d'évaluation des paramètres morphométriques. **A** : Balance de précision modèle « KERN ABJ-NM/ABS-N » ; **B** : papier millimétré ; **C** : Loupe binoculaire modèle « ZEISS STEMI DV4 » (Rezzag Mahcene, 2019).

## 5.2 Paramètres reproducteurs

### 5.2.1 Diamètre ovocytaire

Afin de déterminer le diamètre ovocytaire moyen ( $\mu\text{m}$ ) dans l'intérêt de définir la période de reproduction, sept plus grandes femelles de chaque récolte ont été mensuellement sélectionnées.

Une dissection des annélides sous un microscope photonique liée à un ordinateur « Leica suite lazerleica dm 500 » permet l'observation de cellules sphériques sombres de diamètres différents : les ovocytes (Figure 23). Des captures de l'ensemble des ovocytes sont prises à l'aide du logiciel de microscopie exclusif LAS (LAS EZ 2.0.0) afin de mesurer une quarantaine d'ovocytes présents et cela pour les trois sites durant la période d'étude.



**Figure 23.** Microscope optique de type « Leica dm 500 » relié à un ordinateur utilisé pour les mensurations du diamètre ovocytaire (Rezzag Mahcene, 2019).

## 6 Analyse de la diversité moléculaire des espèces de Nereididae

L'analyse génétique à l'aide de marqueur mitochondrial (COI) a permis l'identification spécifique des espèces de Nereididae. Le fragment d'ADN (le barcode moléculaire) est présent chez tous les organismes vivants et la séquence de ce fragment d'ADN est quasiment identique chez les individus qui appartiennent à la même espèce. Il constitue une signature moléculaire de chaque espèce et permet donc de déterminer l'espèce à laquelle appartient un individu. Outre l'identification spécifique, cette analyse permet aussi une approche de la diversité intraspécifique et de la structure des populations en vue de déterminer un éventuel impact de la qualité du milieu à ce niveau écologique.

### 6.1 Extraction de l'ADN

L'extraction d'ADN a été réalisée selon le protocole de Winnepenninckx *et al.*, (1993). L'ADN est extrait à partir de 20 mg de tissus broyé dans 400 µl de tampon d'extraction à base d'hexadecyl – trimethyl – ammonium bromide (CTAB) [2 % CTAB ; 1,4 M NaCl ; 0,2 % 2-mercaptoéthanol ; 20 mM EDTA ; 100 mM Tris HCl ; pH 8] auxquels est ajouté 0,2 % β mercato éthanol et 20 µl protéinase K (10 mg/mL). Le mélange réactionnel est placé à 55°C sous agitation jusqu'à dégradation du tissu (1 à 2 h). Le digestat est ensuite purifié par un volume équivalent de chloroforme iso-amylque (24/1). Après une agitation manuelle de 2 minutes, le mélange est centrifugé 15 minutes à 10000g afin de séparer la phase aqueuse supérieure contenant l'ADN et la phase organique inférieure. L'addition de 40 µl d'acétate de sodium à 3 M et de 880 µl d'éthanol absolu permet la précipitation de l'ADN. Une centrifugation de 15 minutes à 10000g permet la formation du culot d'ADN. Celui-ci est rincé par 1ml d'éthanol 70% puis séché au speed-vac avant d'être suspendu dans 200 µl d'eau ultra-pure stérile.

### 6.2 Marqueur génétique

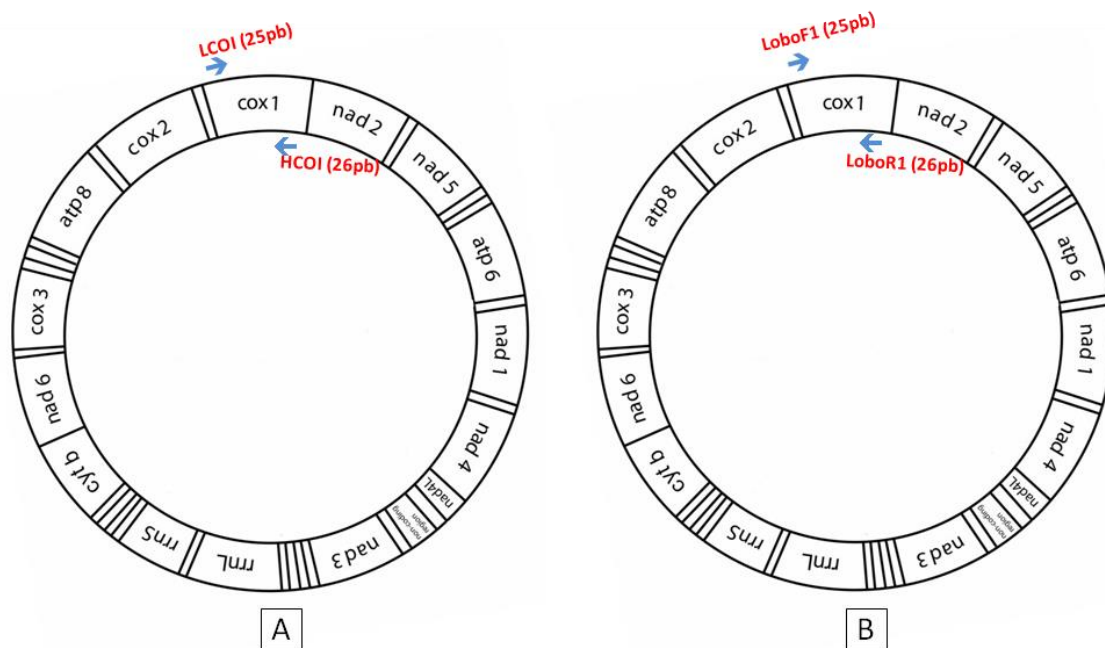
Dans le cadre de l'identification spécifique, un marqueur génétique est un fragment d'ADN polymorphe permettant de caractériser une espèce et de mettre en évidence une variabilité intraspécifique. Le marqueur génétique est ciblé par l'hybridation des amorces de PCR sur l'ADN matrice. La séquence de ces amorces est établie pour qu'elles se fixent aux 2 extrémités du marqueur génétique choisi. Le marqueur génétique retenu dans cette étude est un fragment du gène codant la sous unité I de la cytochrome oxydase. C'est un gène porté par le génome mitochondrial et retenu dans le cadre du barcoding des espèces animales (Hebert *et al.*, 2003).

### 6.3 PCR (Réaction de polymérisation en chaîne)

La réaction de polymérisation en chaîne (PCR : Polymerase Chain Reaction) permet d'amplifier des séquences nucléotidiques afin de les analyser. Cette technique repose sur trois étapes indispensables pour toute synthèse d'ADN. Elles sont répétées plusieurs fois par cycle : dénaturation de l'ADN matrice, hybridation des amorces à l'ADN cible dénaturé et élongation des amorces par synthèse du brin complémentaire de la matrice d'ADN par l'ADN polymérase. Les deux paires d'amorces utilisées dans nos études sont ceux de Folmer (1994) et Lobo (2017) représenté par LCOI/HCOI et LoboF1/LoboR1 respectivement (Figure 24, Tableau 02). Ces amorces permettent l'amplification du gene cytochrome oxydase 1 (Figure 24). L'ADN mitochondrial complet des annélides polychete est de 16 Mb.

Le programme de PCR débute par une étape de dénaturation initiale de l'ADN génomique de 3 min à 94°C, suivi de 30 à 40 cycles comprenant chacun trois étapes : une étape de dénaturation de l'ADN nouvellement synthétisé de 30 s à 94°C, une étape d'hybridation des amorces à une température variable selon la séquence des amorces utilisées et une étape d'élongation 1 min 30 s à 72°C. Enfin une étape d'élongation finale de 10 min est réalisée à 72°C (Tableau 2).

Le milieu réactionnel contient 25 µl, dont 5 µl de tampon de réaction 0.5µl de dNTPs, 1µl d'amorce, 2.5 µl de MgCl<sub>2</sub> et 0.12 µl de Taq Polymérase et 1µl d'ADN de produit d'extraction. Le volume est ensuite ajusté 25 µl avec de l'eau distillée.



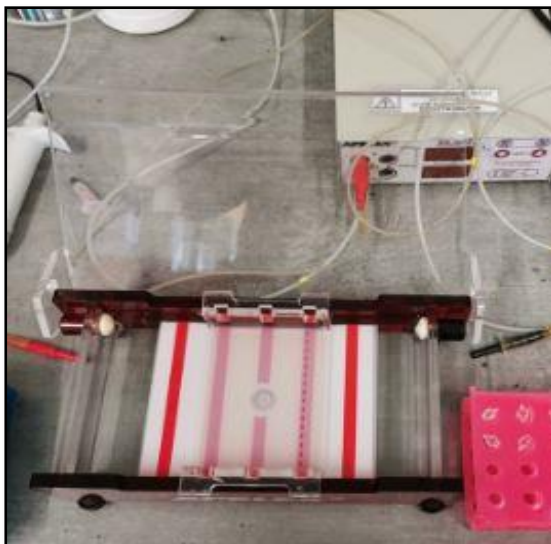
**Figure 24.** Carte d'un ADN mitochondrial avec la localisation des deux paires d'amorces.

**Tableau 2.** Liste des oligonucléotides et les températures d'hybridation utilisées lors de la réaction de PCR.

Nom de l'amorce (Marqueur)	Séquences des amorces 5'-3'	Température d'hybridation (°C)	Longueur du fragment (pb)	Références
LCO1490 HCO2198	GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG TAAACTTCAGGGTGACCAAAAATCA	42	710	Folmer <i>et al.</i> , 1994
LoboF1 LoboR1	KBTCHACAAAYCAYAARGAYATHGG TAAACYTCWGGRTGWCCRAARAAAYCA	45	661	Lobo <i>et al.</i> , 2017

#### 6.4 Electrophorèse sur gel d'agarose

Les amplifiats sont visualisés sur gel d'agarose à 1% (1g d'agarose dans 100 ml de tampon d'électrophorèse TAE 1X). L'ADN est révélé par l'addition de 5 µl de BET (bromure d'éthidium). Les puits recevant les produits de PCR sont formés par un peigne placé avant la polymérisation du gel. L'ADN amplifié par PCR migre dans le gel d'agarose de la cathode vers l'anode sous l'action d'un courant de 10 volts/cm de gel appliqué aux bornes de la cuve. Les produits de PCR sont séparés selon leur masse moléculaire. Afin d'estimer leur taille exprimée en nombre de paires de bases (pb), un marqueur de taille constitué de fragments d'ADN de taille connue est placé dans un puit pour subir les mêmes conditions d'électrophorèse que les fragments analysés (Figure 25).



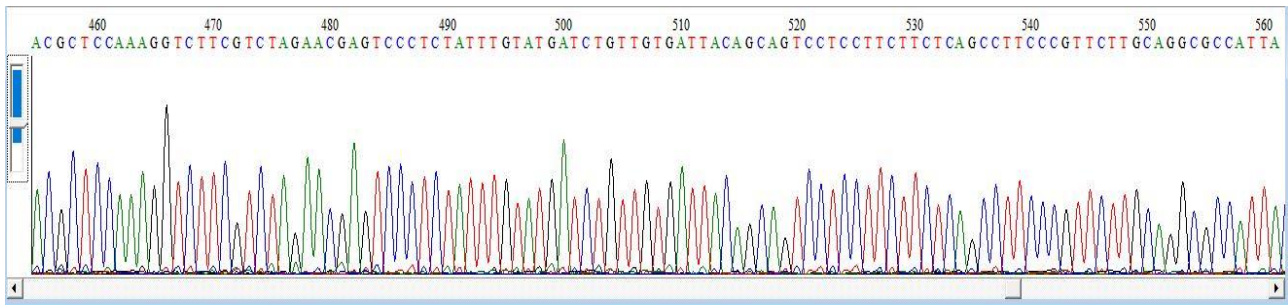
**Figure 25.** Cuve à électrophorèse lié à un générateur (Rezzag Mahcene, 2019).

### 6.5 Séquençage des produits d'amplification

Cette étape permet de déterminer la succession des nucléotides sur la molécule d'ADN et de localiser les mutations par comparaison de séquences.

La méthode utilisée est adaptée de celle de Sanger (1977). Le principe se base sur la synthèse du brin complémentaire de l'ADN à séquencer. Cette synthèse est réalisée grâce à l'utilisation d'une amorce oligonucléotidique, d'une ADN polymérase, de dNTP et de ddNTP (didéoxynucléotides). Les ddNTP provoquent une interruption de la synthèse du brin complémentaire lors de leur incorporation aléatoire. Chaque type de ddNTP est associé à un fluorochrome. Excité par un laser, il émet une fluorescence qui permet l'identification du ddNTP qui le porte.

L'ensemble des produits de PCR est séquencé dans un seul sens par le prestataire GENEWIZ. Les produits PCR sont expédiés et les résultats sont obtenus par internet. Les électrophorégrammes sont visualisés et édités par le programme BioEdit Sequence Alignment Editor version 7.2.5 (Hall, 1999), Ils apparaissent sous forme de courbes permettant d'identifier les nucléotides (Figure 26).



**Figure 26.** Courbes résultants de séquence automatique : un « pic » correspond à la détection de la fluorescence de ddNTP.

Chaque courbe représente la détection de la fluorescence d'un ddNTP à l'extrémité d'un fragment d'ADN obtenu lors de la réaction de séquençage. La lecture des chromatogrammes permet de vérifier la qualité de chaque séquence en éliminant ou en corrigeant les pics de mauvaise qualité (pics anormaux sur le chromatogramme, différences entre le chromatogramme et la séquence lue) afin d'obtenir une séquence unique par individu. Le même logiciel permet d'exporter les séquences sous format de fichier FASTA pour les analyses bioinformatiques.

## 7 Analyses statistiques et bio informatiques des données

### 7.1 Analyses statistiques des caractères morphométriques

Les résultats obtenus sont exprimés par la moyenne plus ou moins l'écart type ( $m \pm s$ ).

Chaque ensemble de données a été vérifié pour la normalité de la distribution et l'homogénéité des variances à l'aide des tests de Shapiro-Wilks et de Levene respectivement. L'analyse de la variance à un et à deux critères de classification (ANOVA) a été utilisée afin de comparer les moyennes des effets sites et mois pour les indices morphométriques (poids, taille, nombre de sétigères et  $L_3$ ). Le test de Tukey nous permet de classer les différents mois et sites (Hsu, 1996).

La relation entre les différents paramètres a été effectuée par l'analyse de corrélation de Pearson. Les tests statistiques ont été effectués grâce au logiciel R version 4.2.2 d'analyse et de traitement statistique des données, Minitab 18 et SPSS Statistics.

### 7.2 Analyse génétique

Après relecture, l'identité de chaque séquence est vérifiée par comparaison à celles présentes dans la banque de données NCBI ([www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/)) par l'outil BLAST « Basic Local Alignment Search Tool » (Altschul *et al.*, 1990). Ce programme est utilisé en accès libre via l'interface NCBI. Il permet d'estimer le degré de similarité des

séquences obtenues avec celles accessibles dans la banque NCBI. Les séquences sont alignées à l'aide du programme clustalW (Thompson *et al.* 1994) exécuté dans le logiciel Mega-X (Tamura *et al.*, 2013).

Les programmes DnaSP 4.5 (Rozas *et al.*, 2003) et Arlequin Ver 3.11 (Excoffier, 2010) adressés à la génétique moléculaire des populations ont été utilisés pour évaluer les variations de séquences d'ADN à l'intérieur et entre les groupes d'individus prélevés dans chaque site. Ces programmes permettent également d'estimer la diversité haplotypique et nucléotidique de ces groupes. La diversité nucléotidique  $\pi$  mesure la divergence nucléotidique entre les paires de séquences prises deux à deux (Tajima, 1983). Des tests de neutralité, en particulier pour les valeurs D de Tajima (Tajima, 1989) ont été utilisés afin de caractériser la diversité génétique et de détecter d'éventuels événements démographiques dans chaque population mais aussi pour tester l'hypothèse que toutes les mutations sont sélectivement neutres (Kimura, 1980). Ce test est basé sur les différences entre le nombre des sites polymorphiques et le nombre moyen de différences des nucléotides. Lorsque la mutation et la dérive sont équilibrées, le D de Tajima (Tajima, 1989) est nul. Quand le D de Tajima (Tajima, 1989) est négatif, un excès de variants peu divergents peut être dû à une apparition rapide d'un mutant dans la population ou à une expansion démographique. Au contraire, un excès de variants intermédiaires entraîne un D de Tajima positif qui peut être dû à un effet de sélection ou à une diminution démographique.

Le programme MultAlin (Corpet, 1988) nous a permis de générer la séquence consensus ainsi que l'alignement des séquences.

Le logiciel NETWORK 4.6.1.1 (disponible à [www.fluxus-engineering.com](http://www.fluxus-engineering.com)) a été utilisé pour construire les réseaux de relation haplotypiques. « Un haplotype » correspond à une séquence nucléotidique qui peut être commune à plusieurs individus, mais diffère des autres haplotypes par une ou plusieurs substitutions de nucléotides. Cette méthode produit une estimation de la plausibilité des liens entre les haplotypes et permet de distinguer l'haplotype qui présente la plus forte probabilité d'être la forme initiale dans le réseau en se basant sur sa position relative et le nombre d'individus qui le présente dans le réseau. Dans les représentations obtenues avec ce logiciel, chaque cercle correspond à un haplotype ; la taille de ces cercles est proportionnelle au nombre d'individus portant l'haplotype considéré dans le jeu de données. La longueur de segments entre chaque haplotype est proportionnelle au nombre de mutations qui les séparent.

Pour visualiser les relations entre les individus ou les groupes d'individus, la méthode phénétique (ou "de distances") a permis de construire des arbres dits Neighbor-joining (NJ) à l'aide du logiciel Mega-X (Molecular Evolutionary Genetics Analysis) (Kumar *et al.*, 2001), qui relie les taxons les plus proches, selon le critère d'évolution minimale défini par Saitou & Nei (1987). Le principe de cette méthode repose sur un calcul de matrice de distance génétique entre taxons qui a pour objectif la minimisation de la longueur totale de l'arbre. L'arbre a été édité grâce au logiciel iTOL (interactive tree of life) (Letunic & Bork, 2021). Les distances correspondent au nombre de caractères qui diffèrent entre les taxons pris deux à deux. Cette distance utilisée est calculée selon le modèle de Kimura à 2 paramètres (Kimura-2P) (Kimura, 1980) qui tient compte des différents taux de substitution entre les transitions et transversions lors de l'évolution des séquences, notamment pour l'ADN mitochondrial où les transitions peuvent représenter 90% dans les mutations (Kimura, 1980).

## **RÉSULTATS**

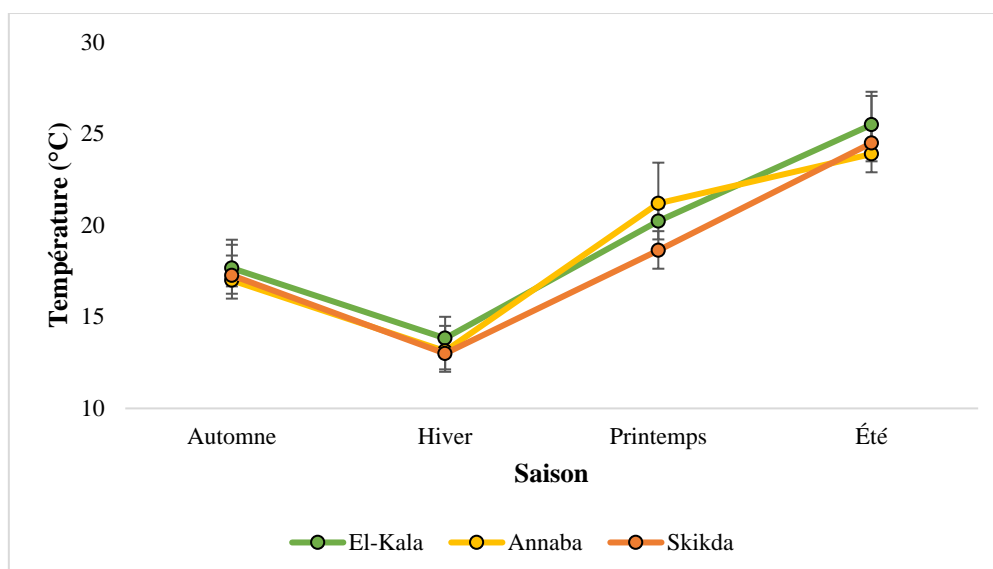
### III. RÉSULTATS

#### 1 Évolution des paramètres physico-chimiques de l'eau

Les paramètres physico-chimiques de l'eau de mer mesurés in situ durant l'année 2018 dans les trois sites d'étude (El-Kala, Annaba et Skikda), et ce, durant les quatre saisons : Hiver (décembre, janvier, février) ; Printemps (mars, avril, mai) ; Été (juin, juillet, août) et Automne (septembre, octobre, novembre) sont représentés dans les figures 27, 28, 29, 30 ; Tableau 3.

##### 1.1 Température

L'évolution de la température (°C) présente une même tendance pour les trois sites. Par ailleurs, la température montre des fluctuations importantes selon les saisons. En effet, les valeurs enregistrées au niveau d'El-Kala (La Montagne) sont légèrement supérieures à celles relevées au niveau d'Annaba (Rezgui-Rachid), et Skikda (Bikini) ; Les valeurs enregistrées en saison hivernale présentent de faibles valeurs, où les températures sont de  $13,83 \pm 0,88$  C° à El-Kala (La Montagne),  $13,13 \pm 0,62$  à Annaba (Rezgui-Rachid) et  $13 \pm 1,06$  C° à Skikda (Bikini), une augmentation progressive est observée, d'abord au Printemps, puis en Été durant lequel les températures atteignent leurs pics avec  $25,77 \pm 1,2$  C° à El-Kala (La Montagne),  $23,9 \pm 1,2$  à Annaba (Rezgui Rachid) et  $24,5 \pm 1,86$  C° à Skikda (Bikini) (Figure 27).

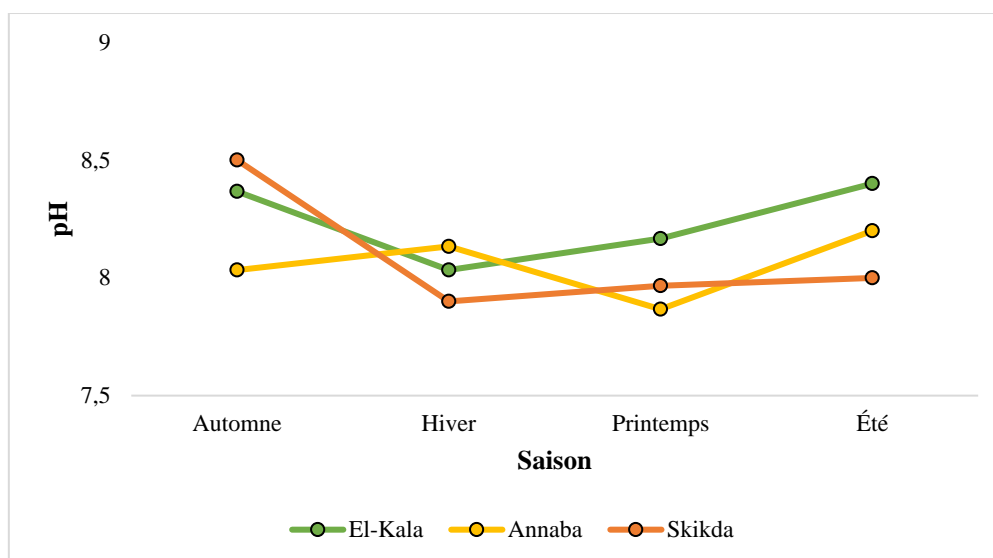


**Figure 27.** Variations saisonnières de la température (°C) de l’eau de mer prélevée au niveau des trois sites étudiés durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps, Été de l’année 2018.

L’analyse de la variance ANOVA à un critère de classification n’a pas montré de différence significative entre les moyennes de température, au niveau des trois sites d’étude (El-Kala, Annaba et Skikda) ( $P > 0,05$ ) durant toute la période d’étude (Tableau 3).

## 1.2 pH

La mesure du pH au cours de la période d’étude n’a pas montré de fluctuations significatives entre les trois sites où le pH est toujours resté alcalin, avec un pH alcalin inférieur au niveau d’Annaba et Skikda par rapport à celles enregistrées au niveau d’El-Kala à l’exception des valeurs observées à Skikda en saison Automnale où on constate l’inverse. La valeur la plus faible est de  $7,86 \pm 0,20$  détectée au niveau d’Annaba (Figure 28).

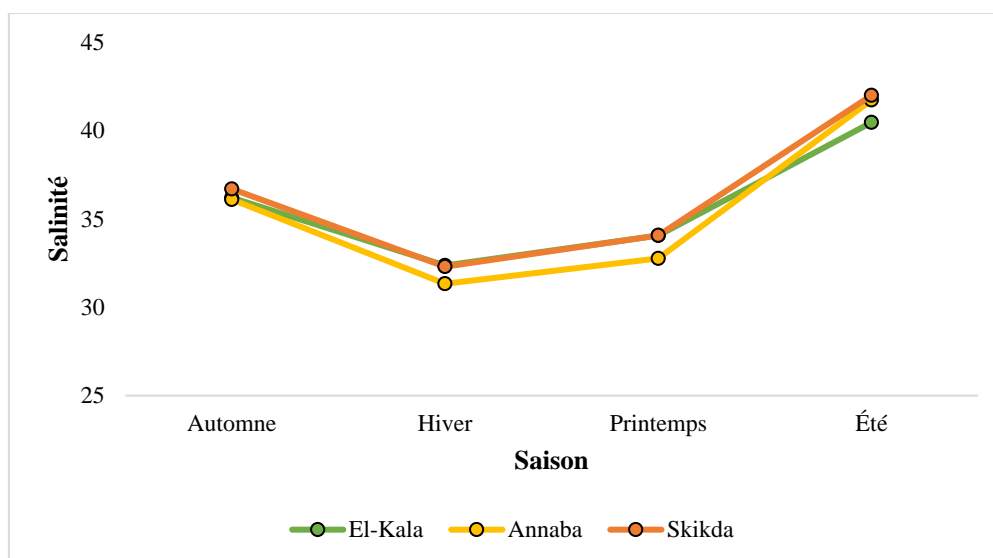


**Figure 28.** Variations saisonnières du pH de l’eau de mer prélevée au niveau des trois sites étudiés durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps, Été de l’année 2018.

L’analyse de la variance à un critère de classification n’a pas mis en évidence de différence significative entre les sites (El-Kala, Annaba et Skikda) pour le pH (Tableau 3).

### 1.3 Salinité

La salinité n’a pas présenté de variations entre les sites d’étude durant l’année 2018. En effet, d’une manière générale les basses salinités sont observées d’abord en Hiver puis en Printemps où nous avons enregistrées une diminution des valeurs avec un minimum au niveau d’Annaba  $31,33 \pm 1,25$  (PSU) et  $32,30 \pm 2,45$  (PSU) pour le site de Skikda contre une légère élévation au niveau d’El-Kala (La Montagne)  $32,36 \pm 4,05$  (PSU). La salinité croit régulièrement durant la saison printanière puis estivale où elle atteint des valeurs maximales illustrées par un pic de  $42 \pm 1,65$  (PSU) au niveau de Skikda (Figure 29).

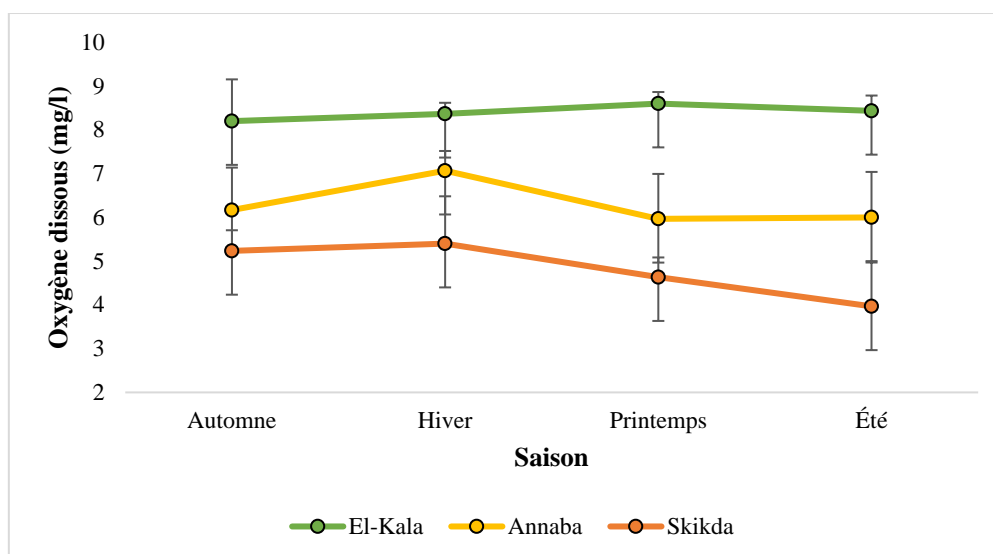


**Figure 29.** Variations saisonnières de la salinité (PSU) de l’eau de mer prélevée au niveau des trois sites étudiés durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps, Été de l’année 2018.

L’analyse de la variance à un critère de classification n’a pas montré de différences significatives entre les sites (El-Kala, Annaba et Skikda) pour la salinité (Tableau 3).

#### 1.4 Oxygène dissous

Les concentrations en oxygène dissout (mg/l) divergent de façon très importante entre les différents sites d’étude. Les valeurs enregistrées durant la saison Automnale augmentent légèrement en saison hivernale pour les trois sites d’étude, par la suite on remarque une faible diminution des valeurs en saison printanière pour les deux sites Annaba et Skikda avec une très faible augmentation pour le site d’El-Kala. Durant le cycle d’étude le site d’El-kala présente les concentrations les plus élevées en oxygène dissout avec un pic de  $8,6 \pm 0,26$  (mg/l) atteint durant la saison Printanière alors que les plus faibles concentrations ont été observées au niveau de Skikda (Bikini) avec un minimum de  $3,96 \pm 1$  (mg/l) enregistré en Été (Figure 30).



**Figure 30.** Variations saisonnières de l’oxygène dissous (mg/l) de l’eau de mer prélevée au niveau des trois sites étudiés durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps, Été de l’année 2018.

L’analyse de la variance à un critère de classification a montré une différence très hautement significative entre les sites pour l’oxygène dissous (Tableau 3).

Le test de Tukey nous a permis de classer les différents sites d’étude en deux et trois groupes selon la saison ; durant le Printemps et l’Été deux groupes sont identifiés, le groupe A au niveau d’El-kala et le groupe B au niveau d’Annaba et Skikda. Par ailleurs, on classe trois groupes durant l’Automne et l’Hiver : A pour El-Kala, AB pour Annaba et B pour Skikda (Tableau 3).

**Tableau 3.** Traitement statistique des paramètres physico-chimiques : température (C°), pH, salinité (PSU) et oxygène dissous (mg/l) de l’eau de mer, au niveau des trois sites d’étude : La Montagne (El-Kala), (Rezgui Rachid) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l’année 2018 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

Paramètre	Saison	Site			P
		El-Kala	Annaba	Skikda	
Température	Automne	17.66 ± 1.27 A	17 ± 1.35 A	17.26 ± 1.95 A	0.872 NS
	Hiver	13.83 ± 1.17 A	13.13 ± 0.86 A	13 ± 1.5 A	0.681 NS
	Printemps	20.23 ± 0.73 A	21.2 ± 2.22 A	18.63 ± 1.05 A	0.182 NS

	Été	25.5 ± 1.57 <b>A</b>	23.9 ± 1.70 <b>A</b>	24.5 ± 2.8 <b>A</b>	0.661 NS
<b>pH</b>	Automne	8.36 ± 0.46 <b>A</b>	8.03 ± 0.45 <b>A</b>	8.5 ± 0.34 <b>A</b>	0.432 NS
	Hiver	8.03 ± 0.49 <b>A</b>	8.13 ± 0.7 <b>A</b>	7.9 ± 0.69 <b>A</b>	0.905 NS
	Printemps	8.16 ± 0.25 <b>A</b>	7.86 ± 0.2 <b>A</b>	7.96 ± 0.41 <b>A</b>	0.512 NS
	Été	8.4 ± 0.1 <b>A</b>	8.2 ± 0.26 <b>A</b>	8 ± 0.26 <b>A</b>	0.171 NS
<b>Salinité</b>	Automne	36.2 ± 3.6 <b>A</b>	36.1 ± 3.84 <b>A</b>	36.7 ± 5.1 <b>A</b>	0.983 NS
	Hiver	32.36 ± 4.05 <b>A</b>	31.33 ± 1.25 <b>A</b>	32.3 ± 2.45 <b>A</b>	0.884 NS
	Printemps	34.06 ± 2.34 <b>A</b>	32.76 ± 2 <b>A</b>	34.06 ± 1.19 <b>A</b>	0.650 NS
	Été	40.46 ± 2.67 <b>A</b>	41.73 ± 1.68 <b>A</b>	42 ± 1.65 <b>A</b>	0.643 NS
<b>Oxygène dissous</b>	Automne	8.2 ± 0.95 <b>A</b>	6.16 ± 0.97 <b>AB</b>	5.23 ± 0.47 <b>B</b>	0.012 *
	Hiver	8.36 ± 0.25 <b>A</b>	7.06 ± 0.45 <b>AB</b>	5.4 ± 1.08 <b>B</b>	0.006 **
	Printemps	8.6 ± 0.26 <b>A</b>	5.96 ± 1.02 <b>B</b>	4.63 ± 0.45 <b>B</b>	0.001 **
	Été	8.43 ± 0.35 <b>A</b>	6 ± 1.03 <b>B</b>	3.96 ± 1 <b>B</b>	0.002 **

NS : non significative ( $P > 0,05$ ) ; \* : très Significative ( $P < 0,05$ ) ; \*\* : hautement significative ( $< 0,01$ ).

## 2 Structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques

### 2.1 Inventaire

Un inventaire des macroinvertébrés aquatiques présents sur trois sites de la côte Est algérienne (El-Kala, Annaba et Skikda) a été réalisé au cours de l'année 2018. Les échantillons prélevés ont été identifiés au niveau taxonomique le plus bas. Les taxons représentés dans les figures 31 à 36 ont été identifiés au moins au niveau genre et si possible jusqu'au niveau spécifique. Des listes taxonomiques de la faune associée correspondantes ont été dressées (Tableau 4).

Le Tableau 4 représente la répartition des différentes espèces macrobenthiques, nous avons observé une répartition des espèces qui est assez homogène au niveau des trois sites : Rezgui-Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda), mais une diversification plus importante au niveau du site d'El-Kala. Nous avons recensé 29 espèces de macroinvertébrés au niveau d'El-Kala (La Montagne) durant la période d'étude contre 19 et 16 espèces au niveau de Rezgui-Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) respectivement.

Sur l'ensemble des trois stations étudiées, 5226 individus ont été collectés. L'identification a permis de les classer en 6 embranchements (Annélides, Arthropodes, Cnidaires, Echinodermes, Mollusques et Siponcles), 9 classes (Polychètes, Malacostraces, Anthozoaires, Echinodermes, Holothuries, Bivalves, Gastéropodes, Polyplacophores, Phascolosomatidea), 14 ordres et 25 familles. Les taxa sont identifiés au rang de genre et/ou d'espèce. Les Annélides ont la plus grande richesse spécifique des peuplements avec 9 espèces soit 33,33 % de la richesse spécifique totale. Les 9 morphotypes identifiés appartiennent à une seule famille, celle des Nereididae. L'embranchement des Mollusques représente, quant à lui, 25,92 % de la richesse spécifique totale avec 7 taxons identifiés jusqu'au niveau genre ou espèce. Ces taxons répartis en 3 classes et 5 familles. L'échantillonnage de l'embranchement des arthropodes est peu représentatif de la diversité de ce groupe, l'identification des amphipodes n'ayant pas été possible. Néanmoins, tous les spécimens identifiés appartiennent à une seule classe, celle des Malacostraca, et sont répartis dans 5 familles. Parmi les 5 taxons identifiés jusqu'au niveau genre ou espèce, un seul appartient à l'ordre des isopodes, les 4 autres sont des décapodes. L'embranchement des Echinodermes est représentée par 2 classes dans lesquelles 2 genres de la classe des Echinoidea ont été identifiés. L'ensemble des Echinodermes constitue 11,11% de la richesse spécifique totale. Les embranchements des Siponcles et des Cnidaires ne sont représentés chacun que par un seul morphotype et représentent 3,7% de la richesse spécifique totale.

**Tableau 4.** Liste des taxons de macrofaune aquatique collecté aux différentes stations d'échantillonnage des trois sites étudiés (K : El-Kala, A : Annaba, S : Skikda) au cours de la période d'étude (2018); nd : taxon non déterminé, + : presence ; - : absence).


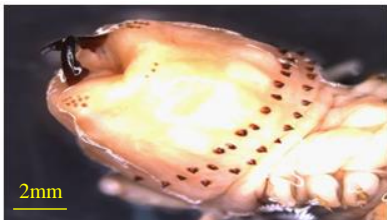










**Résultats**

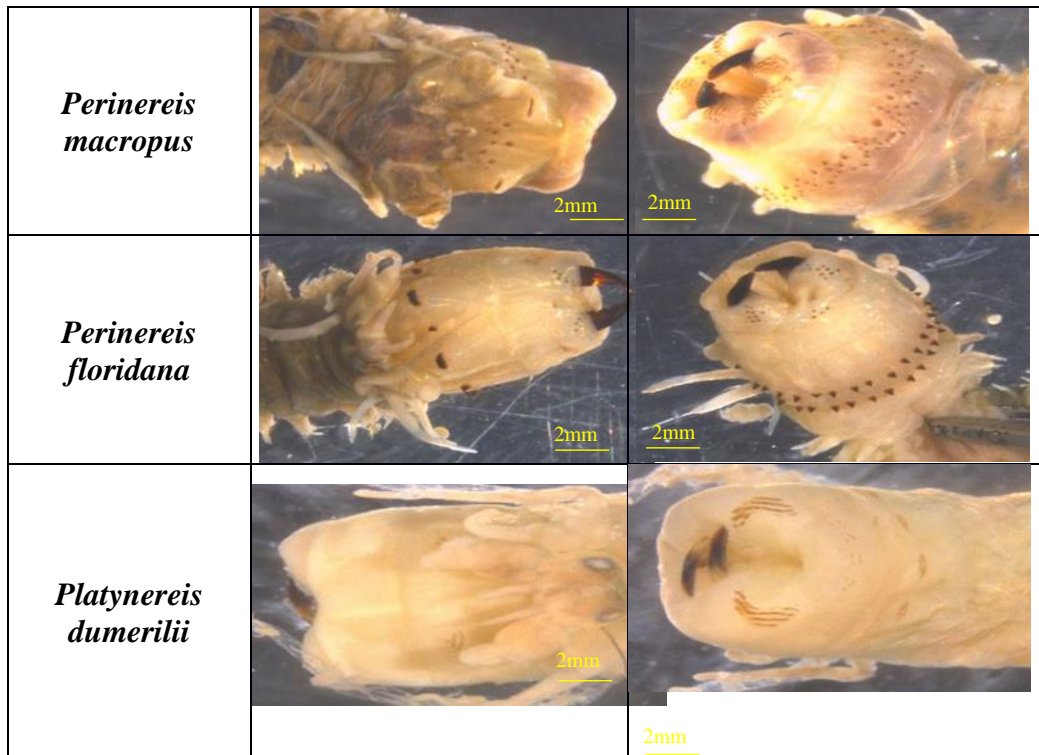
<b>Phylum</b>	<b>Classes</b>	<b>Ordres</b>	<b>Familles</b>	<b>Genres/ Espèces</b>	<b>K</b>	<b>A</b>	<b>S</b>		
Annelida	Polychaeta	Phyllodocida	Nereididae	<i>Perinereis cultrifera</i>	+	+	+		
				<i>Perinereis floridana</i>	+	+	-		
				<i>Perinereis oliveirae</i>	+	-	-		
				<i>Perinereis macropus</i>	+	+	+		
				<i>Perinereis marionii</i>	+	+	-		
				<i>Pseudonereis anomala</i>	-	-	+		
				<i>Platynereis dumerilii</i>	+	-	-		
				<i>Nereis falsa</i>	+	+	+		
				<i>Perinereis louizomarum</i>	+	+	+		
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	nd	nd	+	+	+		
				Decapoda	Epiplatidae	<i>Pisa sp.</i>	+	-	-
						Eriphiidae	<i>Eriphia verrucosa</i>	+	+

			Grapsidae	<i>Pachygrapsus marmoratus</i>	+	+	+
			Majidae	<i>Maja sp.</i>	+	-	-
		Isopoda	Cirolanidae	<i>Eurydice pulchra</i>	+	+	+
Cnidaria	Anthozoa	Actiniaria	Actiniidae	<i>Anemonia viridis</i>	+	+	-
Echinodermata	Echinoidea	Arbacioida	Arbaciidae	<i>Arbarica lixula</i>	+	+	-
		Camarodonta	Parechinidae	<i>Paracentrotus lividus</i>	+	-	-
	Holothuroidea	Holothuriida	Holothuriidae	nd	+	-	-
Mollusca	Bivalvia	Mytilida	Mytilidae	<i>Mytilus sp.</i>	+	+	+
	Gastropoda	Archaeogastropoda	Trochidae	<i>Gibbula sp.</i>	+	+	+
		Neogastropoda	Muricidae	<i>Stramonita haemastoma</i>	+	+	+
		Patellogastropoda	Patellidae	<i>Cymbula safiana</i>	+	+	+
				<i>Patella caerulea</i>	+	+	+
				<i>Patella rustica</i>	+	+	+
	Polyplacophora	Chitonida	Acanthochitonidae	<i>Acanthochitona sp.</i>	+	-	-
Sipuncula	Phascolosomatidea	Phascolosomatida	Phascolosomatidae	<i>Phascolosoma sp.</i>	+	+	+

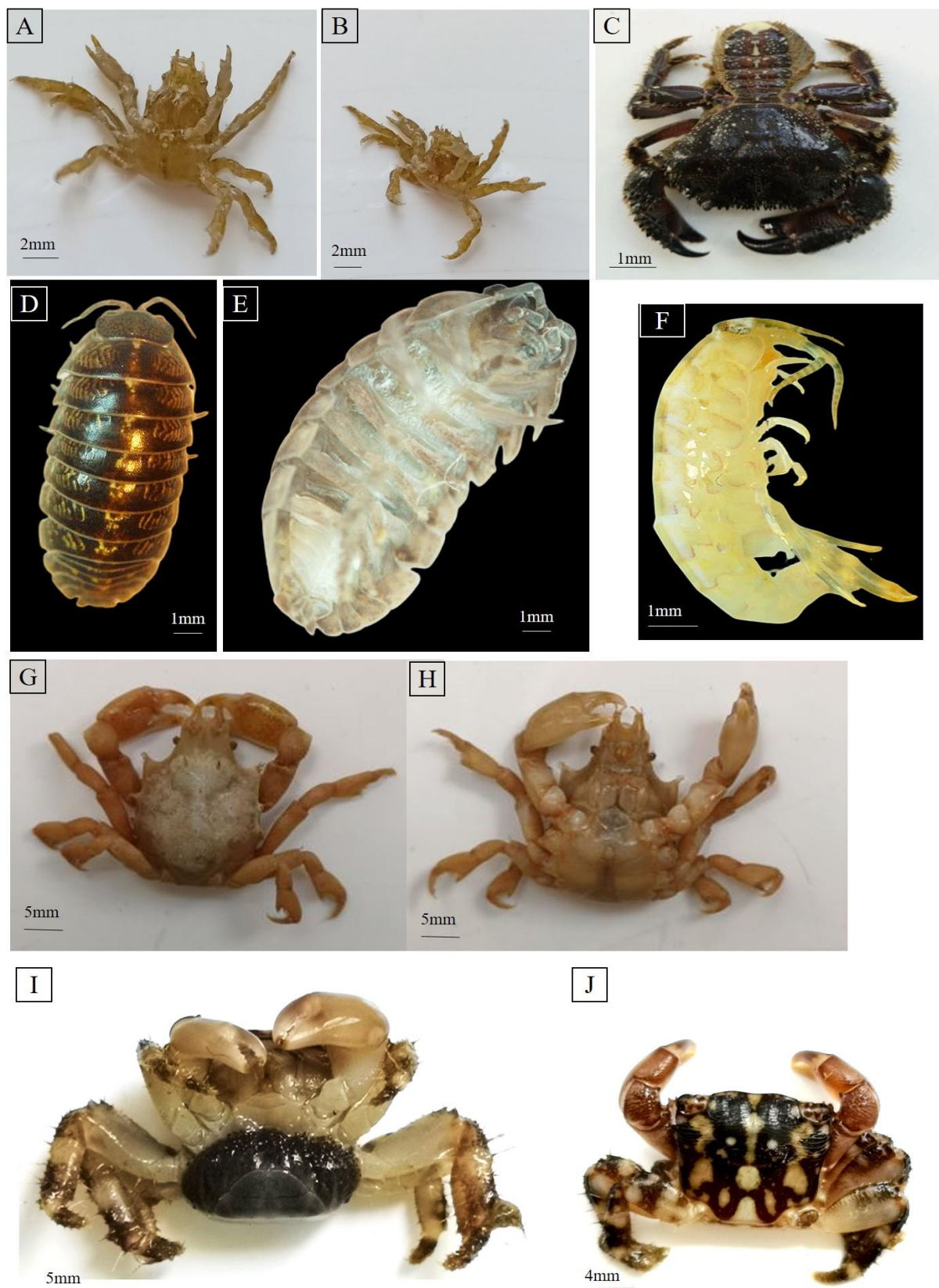
**2.1.1 Annélides polychètes (Nereididae) et leur faune associée**

Afin de déterminer l'inventaire faunistique des trois stations d'étude : La Montagne à El-Kala, Rezgui-Rachid à Annaba et Bikini à Skikda, nous avons examiné des différents groupes zoologiques récoltés durant la période d'étude de janvier à décembre 2018, ce qui nous a permis d'identifier les taxons suivants de la faune (Figure 31 à 36).

Genres / Espèces	Vue dorsale	Vue ventrale
<i>Perinereis cultrifera</i>		
<i>Perinereis louizomarum</i>		
<i>Nereis falsa</i>		
<i>Pseudonereis anomala</i>		
<i>Perinereis oliveirae</i>		
<i>Perinereis marionii</i>		



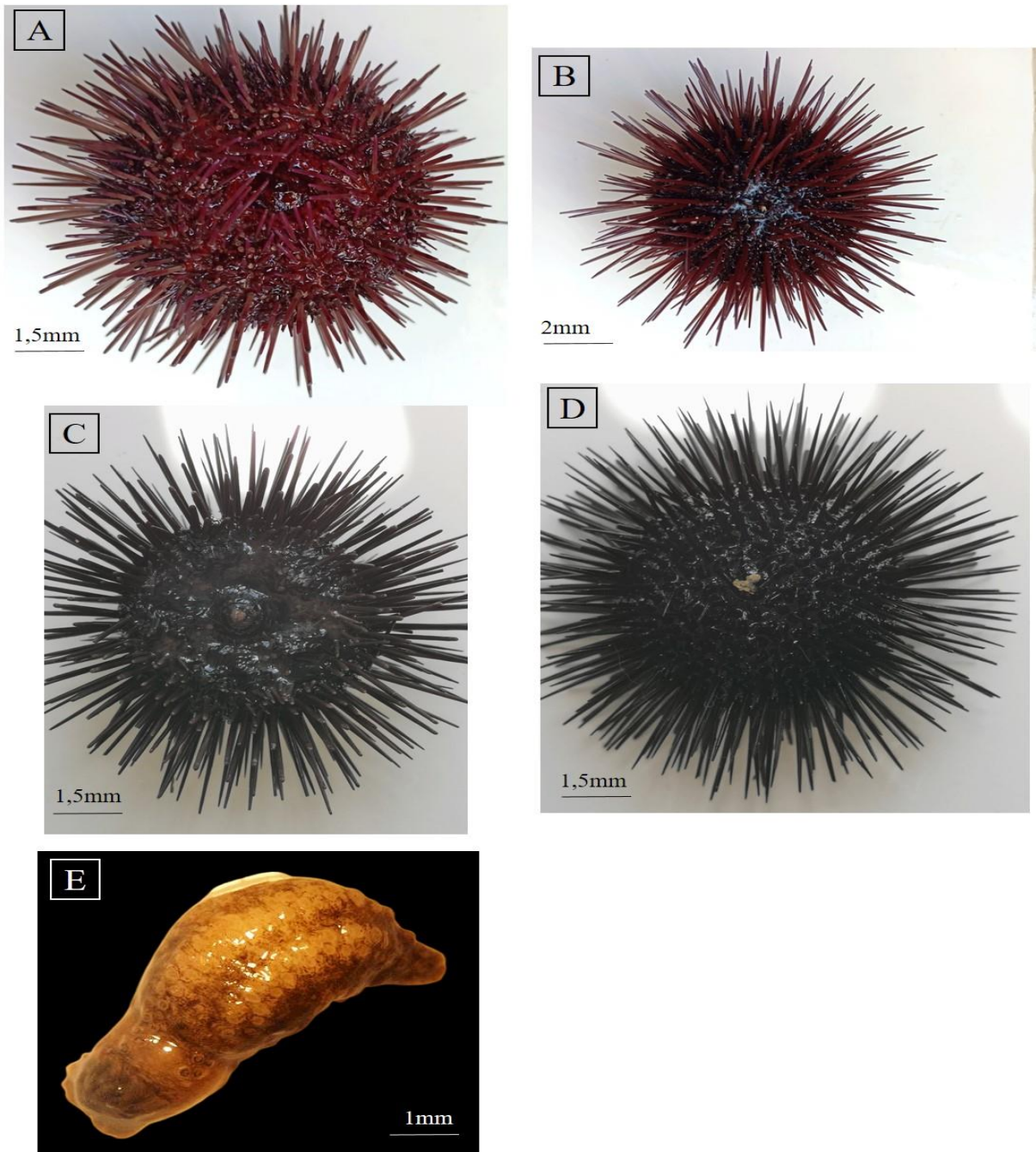
**Figure 31.** Nereididae : Vue dorsale et ventrale des échantillons d'annélides collectés sur les 3 sites d'étude, (Rezzag Mahcene, 2020).



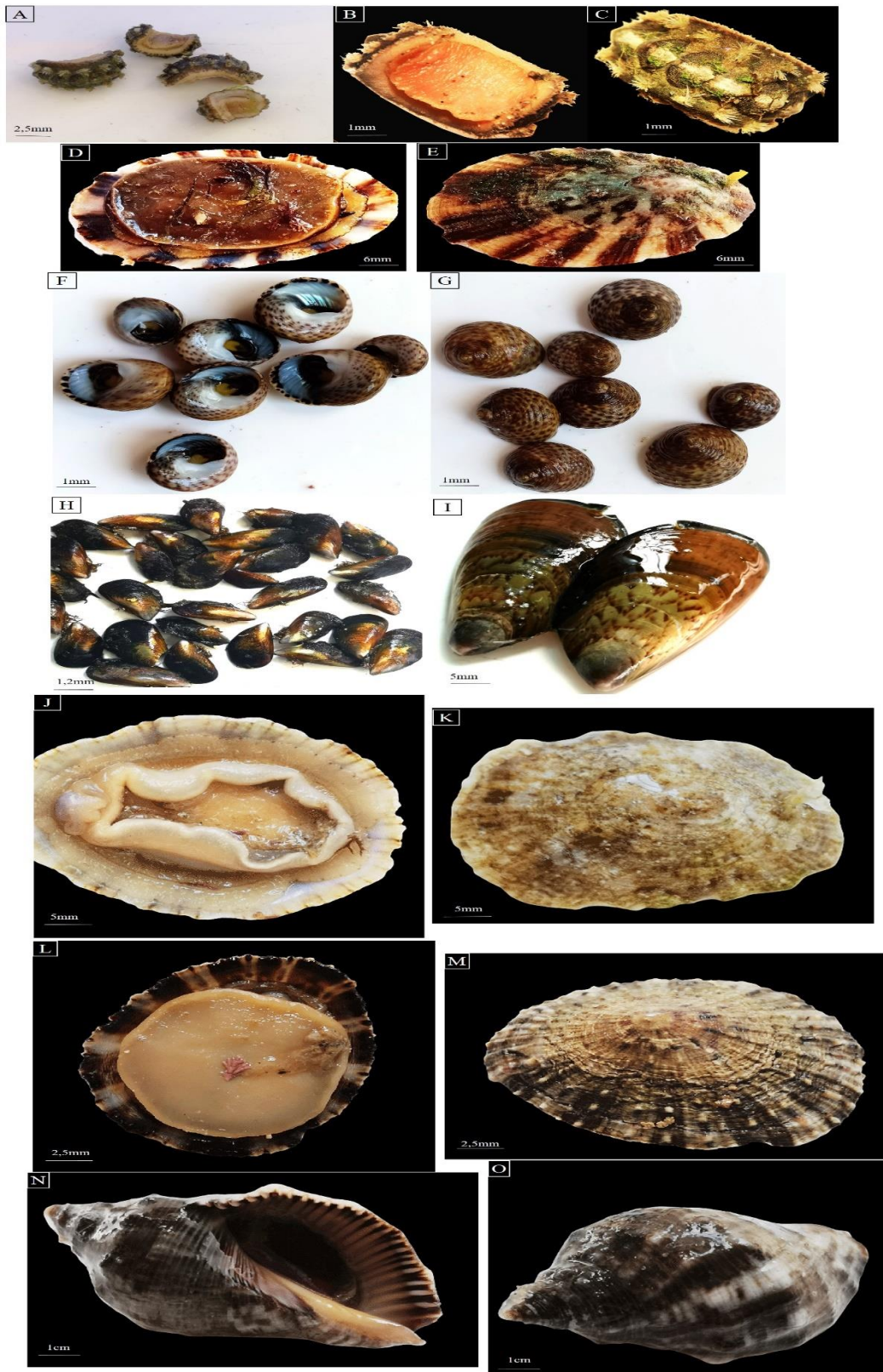
**Figure 32.** Arthropodes. **A, B** : *Maja sp* ; **C** : *Eriphia verrucosa* ; **D, E** : *Eurydice* ; **F** : non identifié ; **G, H** : *Pisa sp* et **I, J** : *Pachygrapsus marmoratus* (Rezzag Mahcene, 2019).



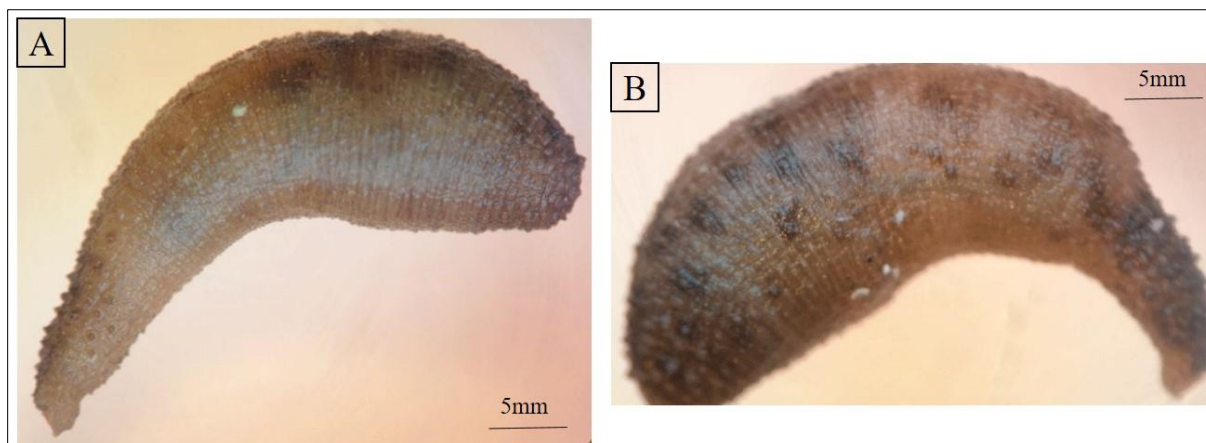
**Figure 33.** Cnidaires. **A, B** :*Anemonia viridis* (Rezzag Mahcene, 2019).



**Figure 34.** Echinodermes. A, B : *Paracentrotus lividus*; C, D : *Arbacia lixula* ; E : Holothuroidea (non déterminé). (Rezzag Mahcene, 2019).



**Figure 35.** Mollusques. **A, B, C** : *Acanthochitona* sp ; **D, E** : *Cymbula safiana* ; **F, G** : *Gibbula* sp ; **H, I** : *Mytilus* sp ; **J, K** : *Patella caerulea* ; **L, M** : *Patella rustica* ; **N, O** : *Stramonita haemastoma* (Rezzag Mahcene, 2019).



**Figure 36.** Siponcles. **A, B:** *Phascolosoma sp* (Rezzag Mahcene, 2019).

### 2.1.2 Répartition des taxons par site

L'analyse de la répartition des taxons par site permet d'estimer la variation dans la distribution de la biodiversité. La plage de La Montagne (El-Kala) possède la plus grande richesse taxonomique avec un total de 26 morphotypes identifiés comme des genres/espèces (96,29% de la richesse taxonomique globale) répartis en 17 familles (Tableau 5). Ce site présente l'ensemble des familles identifiées dans la zone d'étude. En termes de biodiversité, la classe Polychaeta domine la communauté avec 08 morphotypes appartenant à une seule famille.

Au niveau de la plage de Rezgui-Rachid (Annaba), 11 familles (64,70% des familles) appartenant chacune à un ordre différent et 19 morphotypes (70,37% de la richesse taxonomique globale) ont été prélevés. Les annélides et les mollusques prédominent suivis des cnidaires, des échinodermes et des siponcles (Tableau 5).

Au niveau de la plage de Bikini (Skikda), un total de 10 familles (71,42 % des familles) représentées par 16 morphotypes (59,25 % de la richesse taxonomique globale) appartenant à 08 ordres et sont identifiés. L'embranchement des mollusques présente la plus grande diversité 05 familles appartenant à des ordres différents et 07 espèces, suivi de celui des annélides avec 05 espèces. Celui des arthropodes avec 04 espèces, et des Siponcles avec une seule espèce.

**Tableau 5.** Frequence d'occurrence des macroinvertébrés aquatiques collectés d'El-Kala, Annaba et Skikda durant la période d'étude (2018).

Phylum	Classes	Ordres	Familles	Genres / Espèces	K	A	S
Annelida	Polychaeta	Phyllodocida	Nereididae	<i>Perinereis cultrifera</i>	*****	*****	*****
				<i>Perinereis floridana</i>	**	**	-
				<i>Perinereis oliveirae</i>	**	-	-
				<i>Perinereis macropus</i>	**	**	*
				<i>Perinereis marionii</i>	**	**	-
				<i>Pseudonereis anomala</i>	-	-	***
				<i>Platynereis dumerilii</i>	**	-	-
				<i>Nereis falsa</i>	**	*****	*****
				<i>Perinereis louizomarum</i>	**	**	*
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	nd	nd	****	***	***
		Decapoda	Epialtidae	<i>Pisa sp.</i>	**	-	-
			Eriphiidae	<i>Eriphia verrucosa</i>	***	**	**
			Grapsidae	<i>Pachygrapsus marmoratus</i>	****	***	**
			Majidae	<i>Maja sp.</i>	*	-	-
		Isopoda	Cirolanidae	<i>Eurydice pulchra</i>	***	**	**

Cnidaria	Anthozoa	Actiniaria	Actiniidae	<i>Anemonia viridis</i>	**	*	-
Echinodermata	Echinoidea	Arbacioida	Arbaciidae	<i>Arbarica lixula</i>	***	**	-
		Camarodonta	Parechinidae	<i>Paracentrotus lividus</i>	**	-	-
	Holothuroidea	Holothuriida	Holothuriidae	nd	**	-	-
Mollusca	Bivalvia	Mytilida	Mytilidae	<i>Mytilus sp.</i>	*****	*****	*****
	Gastropoda	Archaeogastropoda	Trochidae	<i>Gibbula sp.</i>	*****	*****	***
		Neogastropoda	Muricidae	<i>Stramonita haemastoma</i>	****	***	***
		Patellogastropoda	Patellidae	<i>Cymbula safiana</i>	***	**	**
				<i>Patella caerulea</i>	****	**	**
				<i>Patella rustica</i>	*****	*****	*****
	Polyplacophora	Chitonida	Acanthochitonidae	<i>Acanthochitona sp.</i>	**	-	-
Sipuncula	Phascolosomatidea	Phascolosomatida	Phascolosomatidae	<i>Phascolosoma sp.</i>	****	***	**

*F* désigne la fréquence d'occurrence ; \* = taxon accidentel ; \*\* = taxon accessoire ; \*\*\* = taxon régulier ; \*\*\*\* = taxon constant ; \*\*\*\*\* = taxon omniprésent

### 2.1.3 Fréquence d'occurrence des taxons sur différents sites d'échantillonnage

L'analyse de la macrofaune benthique collectée dans le site d'El-Kala au cours de la période d'étude montre que les espèces identifiées peuvent être regroupées en 1 taxon accidentel, 12 taxons accessoires, 4 taxons réguliers, 5 taxons constants et 4 taxons omniprésents (Tableau 5).

Concernant le site d'Annaba où il a été retrouvé 1 taxon accidentel, 9 taxons accessoires, 4 taxons réguliers, 2 taxons constants et 3 taxons omniprésents (Tableau 5).

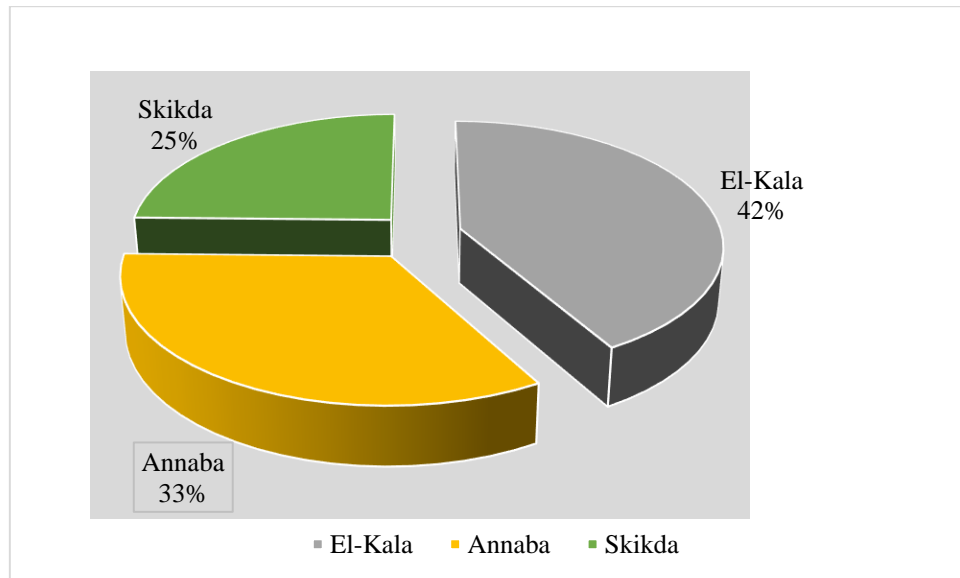
Pour le site de Skikda les espèces identifiées peuvent être regroupées en 2 taxons accidentels, 6 taxons accessoires, 4 taxons réguliers, 2 taxons constants et 2 taxons omniprésents (Tableau 5).

### 2.1.4 Structure numérique des peuplements de macroinvertébrés benthiques

- Représentation de l'abondance

L'abondance des différents niveaux taxonomiques est indiquée dans le tableau 6. Tous sites confondus, les embranchements des annélides et des mollusques dominent avec respectivement 2377 et 2362 individus échantillonnés. L'embranchement des annélides est représenté par une seule famille alors que celui des mollusques est réparti en 5 familles. L'embranchement des arthropodes est représenté par 358 individus et celui des sipuncles par 92 spécimens. Deux autres embranchements ont été échantillonnés mais présentent une très faible abondance. Il s'agit de celui des échinodermes (30 individus) et de celui des cnidaires (7 individus).

La pression de prélèvement ayant été la même sur les 3 sites avec le même nombre d'échantillonnages et la même période de prélèvement, les résultats obtenus sur les différents sites peuvent être comparés. La plus grande abondance de macrofaune est obtenue dans le site d'El-Kala où sont dénombrés 2180 individus soit 41,71 % de l'abondance totale. Le site d'Annaba a été analysé sur la base de 1756 individus collectés avec une abondance relative de 33,60 %. Sur le site de Skikda, un effectif de 1290 individus a été prélevé soit 24,68% de l'abondance totale (Figure 37). D'une façon générale, ce sont les mêmes taxons qui sont les plus abondants sur les 3 sites. Pour les genres/espèces présents sur les 3 sites, la plus grande abondance a toujours été observée à El-Kala sauf pour *N. falsa* et *Mytilus sp.* pour lesquels l'abondance maximale a été enregistrée à Annaba.



**Figure 37.** Abondance relative des macroinvertébrés collectés dans les trois sites d'étude (El-Kala, Annaba et Skikda).

**Tableau 6.** Effectifs des taxons de macrofaune aquatique collectés aux différentes stations d'échantillonnage des trois sites étudiés (**K** : El-Kala, **A** : Annaba, **S** : Skikda) au cours de la période d'étude (2018) ; **nd** : taxon non déterminé.

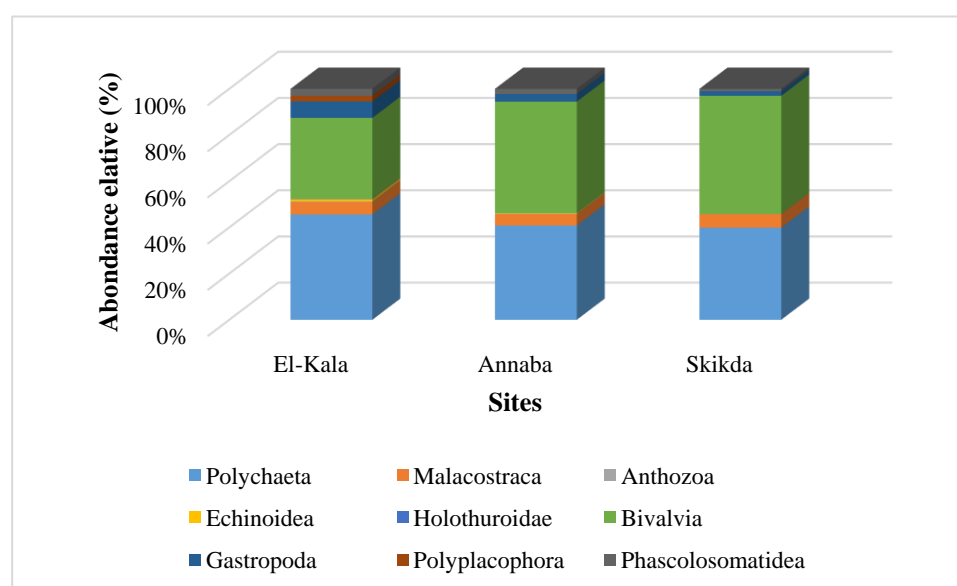
Phylum	Classes	Ordres	Familles	Genres / Espèces	K	A	S	Quantité
Annelida	Polychaeta	Phyllodocida	Nereididae	<i>Perinereis cultrifera</i>	763	550	409	<b>1722</b>
				<i>Perinereis floridana</i>	81	32	0	<b>113</b>
				<i>Perinereis oliveirae</i>	14	0	0	<b>14</b>
				<i>Perinereis macropus</i>	26	3	1	<b>30</b>
				<i>Perinereis marionii</i>	16	10	0	<b>26</b>
				<i>Pseudonereis anomala</i>	0	0	30	<b>30</b>
				<i>Platynereis dumerilii</i>	19	0	0	<b>19</b>
				<i>Nereis falsa</i>	48	203	108	<b>359</b>
				<i>Perinereis louizomarum</i>	46	13	5	<b>64</b>
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	nd	nd	91	67	60	<b>218</b>
		Decapoda	Epialtidae	<i>Pisa sp.</i>	4	0	0	<b>4</b>
			Eriphiidae	<i>Eriphia verrucosa</i>	16	5	3	<b>24</b>
			Grapsidae	<i>Pachygrapsus marmoratus</i>	23	14	10	<b>47</b>
			Majidae	<i>Maja sp.</i>	2	0	0	<b>2</b>
		Isopoda	Cirolanidae	<i>Eurydice pulchra</i>	31	27	5	<b>63</b>
Cnidaria	Anthozoa	Actiniaria	Actiniidae	<i>Anemonia viridis</i>	5	2	0	<b>7</b>
Echinodermata	Echinoidea	Arbacioida	Arbaciidae	<i>Arbarica lixula</i>	15	3	0	<b>18</b>
		Camarodonta	Parechinidae	<i>Paracentrotus lividus</i>	9	0	0	<b>9</b>
	Holothuroidea	Holothuriida	Holothuriidae	nd	3	0	0	<b>3</b>
Mollusca	Bivalvia	Mytilida	Mytilidae	<i>Mytilus sp.</i>	586	651	525	<b>1762</b>
	Gastropoda	Archaeogastropoda	Trochidae	<i>Gibbula sp.</i>	119	45	20	<b>184</b>
		Neogastropoda	Muricidae	<i>Stramonita haemastoma</i>	45	25	17	<b>87</b>

**Résultats**

		Patellogastropoda	Patellidae	<i>Cymbula safiana</i>	16	10	22	<b>48</b>
				<i>Patella caerulea</i>	26	15	17	<b>58</b>
				<i>Patella rustica</i>	84	51	47	<b>182</b>
	Polyplacophora	Chitonida	Acanthochitonidae	<i>Acanthochitona sp.</i>	41	0	0	<b>41</b>
Sipuncula	Phascolosomatidea	Phascolosomatida	Phascolosomatidae	<i>Phascolosoma sp.</i>	51	30	11	<b>92</b>
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>27</b>	<b>2180</b>	<b>1756</b>	<b>1290</b>	<b>5226</b>

### 2.1.5 Variations spatiales de l'abondance relative des différentes classes

Les variations spatiales de l'abondance relative des neuf classes de macroinvertébrés aquatiques ont été identifiées sur chaque site (Figure 38). Elles soulignent la plus grande diversité de classes observée sur le site de El Kala. L'embranchement des mollusques et plus particulièrement, la classe des bivalves domine le macrofaune des sites d'Annaba (37,07 %) et de Skikda (40,69 %). A El-Kala, l'embranchement des annélides prédomine avec 26,88 % d'abondance relative. L'embranchement des mollusques y présente une particularité puisque les polyplacophores sont présents exclusivement sur le site d'El-Kala avec une abondance relative de 1,88%. Une autre particularité du site d'El-Kala est la présence de la classe Holothurie n'est représentée que sur le et enregistre la plus faible abondance relative (0,13%). Des polychètes, des malacostraces, des bivalves, des gastéropodes et des phascolosomatidea sont présents dans les trois sites.



**Figure 38.** Variations spatiales de l'abondance relative des classes de macroinvertébrés aquatiques identifiées sur chaque site (El-Kala, Annaba et Skikda).

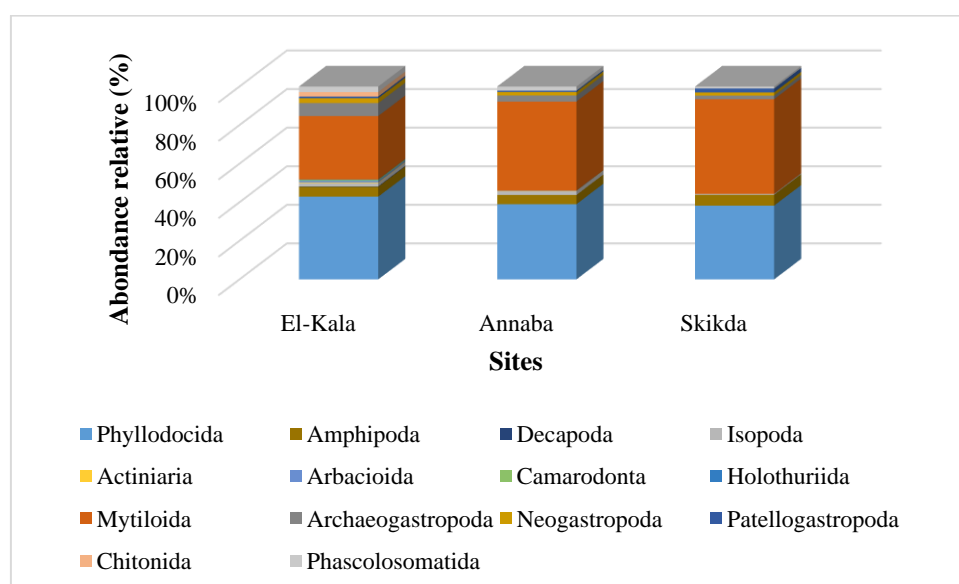
### 2.1.6 Variations spatiales de l'abondance des principaux ordres

Les principaux ordres de macroinvertébrés benthiques retenus sur chaque site sont ceux représentant un minimum de 0,18 % d'abondance relative enregistrée sur le site d'El-

Kala pour les Décapodes et un maximum de 40,68 % d'abondance relative pour les Mytilida enregistrés sur le site Skikda (Figure 39).

Ainsi, sur le site d'El-Kala, 14 ordres (Tableau 06) dominent la faune macroscopique avec 96,29% de la faune des individus récoltés. Les phyllodocides sont les plus représentés avec 35% d'abondance, suivis par les Mytilides (26,88%) et le reste des ordres avec des abondances relatives allant de 0,18% à 5,45%.

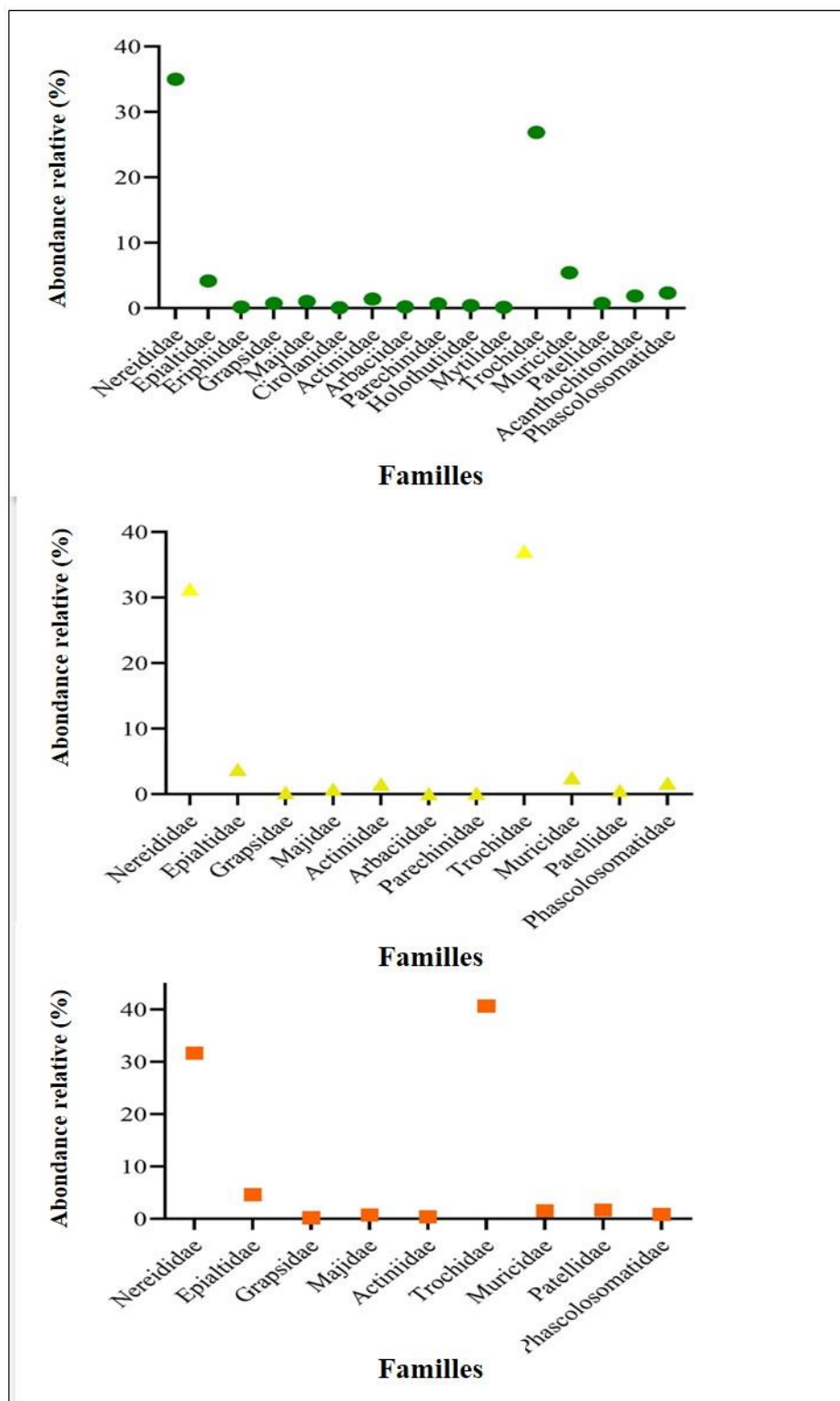
Sur le site d'Annaba, 10 ordres sont enregistrés et dominent la macrofaune avec 70,37% d'individus collectés. L'ordre Mytilida domine avec 37,07 % d'abondance relative suivi de Phyllodocida (31,32 %). Sur le site de Skikda, 8 ordres sont enregistrés (Tableau 6). L'ordre Mytilida domine avec 40,69 % d'abondance relative, suivi de Phyllodocida (31,70 %).



**Figure 39.** Variations spatiales de l'abondance relative des principaux ordres de macroinvertébrés aquatiques identifiés sur chaque site (El-Kala, Annaba et Skikda).

### 2.1.7 Variations spatiales de l'abondance des principales familles

Les variations spatiales de l'abondance relative des principales familles de macroinvertébrés ont été inventoriées à travers les sites. Au total, 16 familles ont été prélevées. Sur les trois sites d'étude, les familles Nereididae et Trochidae dominent la macrofaune. Sur le site d'El-Kala, la famille des Nereididae est majoritaire avec 35 % d'abondance relative suivie des Trochidae avec 26,88 % d'abondance relative tandis qu'au site d'Annaba, les Trochidae sont majoritaires avec 37,07 % d'abondance relative. Sur le site de Skikda, la famille des Trochidae est la plus représentée avec 40,69 % de l'effectif (Figure 40).



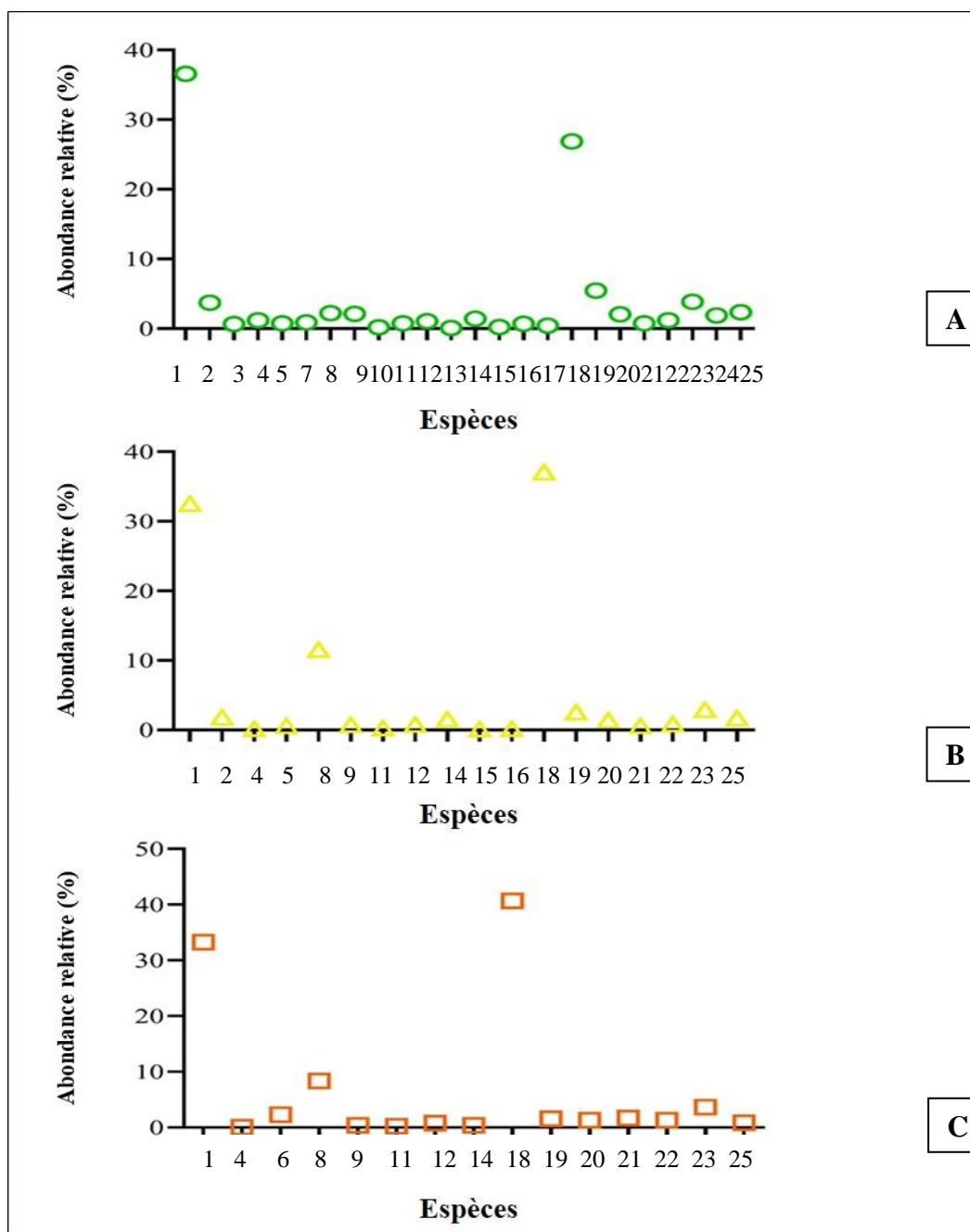
**Figure 40.** Variations spatiales des abondances relatives des principales familles de macro-invertébrés inventoriées dans tous les sites au cours de la période d'étude. **A** : El-Kala, **B** : Annaba et **C** : Skikda.

### 2.1.8 Variations spatiales de l'abondance des principales espèces

Les variations spatiales de l'abondance relative des principales espèces de macroinvertébrés aquatiques sont présentées dans la figure 41. Seuls les taxons identifiés au-delà du rang de la famille et représentant au moins 5% de l'abondance relative dans le site considéré sont pris en compte dans cette analyse. Certaines espèces représentées sur le site d'El-Kala ne sont pas toutes présentes sur les sites d'Annaba et de Skikda tout au long de la période d'étude et inversement. Il y a 26 espèces présentes à El-Kala, 19 espèces à Annaba et 16 espèces à Skikda.

L'analyse aux niveaux genres/espèces corrobore les résultats obtenus aux niveaux supérieurs. En effet, sur les 27 taxons au niveau genre/espèce identifiés, tous sauf un sont présents à El-Kala. Le site d'Annaba est caractérisé par la présence de 19 taxons et seuls 13 d'entre eux sont présents à Skikda. Sept taxons n'ont été prélevés qu'à El-Kala. Il s'agit de 2 espèces d'annélides, 2 espèces, d'arthropodes, 2 espèces d'échinodermes et d'une espèce de mollusques. La seule espèce absente du site El-Kala n'a été observée qu'à Skikda.

Sur le site d'El-Kala, les espèces *Perinereis cultrifera* (36,57 %), *Paracentrotus lividus* (26,88 %) et *Mytilus sp.* (5,45%) sont les espèces dominantes. Les prélèvements réalisés sur le site d'Annaba sont dominés par les *Mytilus sp.* (37,07 %) et *P. cultrifera* (32,56 %). Ce sont les mêmes taxons qui sont les plus abondants dans les prélèvements du site de Skikda avec 40,69% de *Mytilus sp.* et 33,25% de *P. cultrifera*.



**Figure 41.** Variations spatiales de l'abondance relative des principales espèces de macroinvertébrés inventoriées sur tous les sites au cours de la période d'étude. 1 : *Perinereis cultrifera*, 2 : *Perinereis floridana*, 3 : *Perinereis oliveirae*, 4 : *Perinereis macropus*, 5 : *Perinereis marionii*, 6 : *Pseudonereis anomala*, 7 : *Platynereis dumerilii*, 8 : *Nereis falsa*, 9 : *Perinereis louizomarum*, 10 : *Pisa sp.*, 11 : *Eriphia verrucosa*, 12 : *Pachygrapsus marmoratus*, 13 : *Maja sp.*, 14 : *Eurydice pulchra*, 15 : *Anemonia viridis*, 16 : *Arbarica lixula*, 17 : *Paracentrotus lividus*, 18 : *Mytilus sp.*, 19 : *Gibbula sp.*, 20 : *Stramonita haemastoma*,

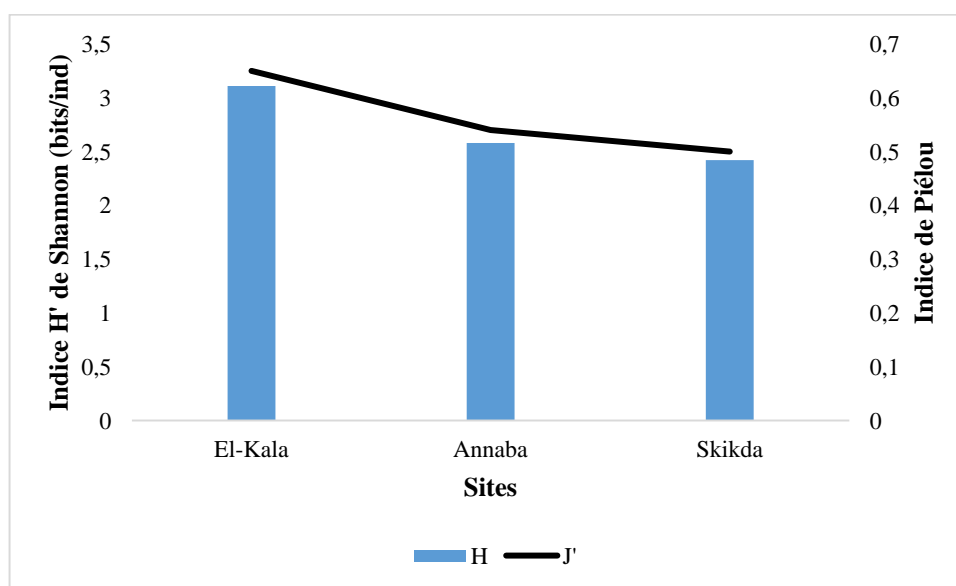
21 : *Cymbula safiana*, 22 : *Patella caerulea*, 23 : *Patella rustica*, 24 : *Acanthochitona sp.*, 25 : *Phascolosoma sp.* A : El-Kala, B: Annaba et C: Skikda.

### 2.1.9 Variations spatiales de l'indice de diversité de Shannon-Weaver et de l'indice de Piélou

Les plus fortes valeurs d'indice de diversité ( $H' = 3.11$  bits/ind.) et d'équitabilité ( $E = 0,65$ ) sont notées au site d'El-Kala. Le site d'Annaba se place en deuxième position avec  $H' = 2,58$  bits/ind. et  $E = 0.54$ . Le site de Skikda est le moins diversifié ( $H' = 2.42$  bits/ind. et  $E = 0,50$ ) (Tableau 7) (Figure 42).

**Tableau 7.** Abondance totale (Nt), indices de Shannon-Weaver ( $H'$ ) et de Piélou ( $J'$ ) des macroinvertébrés aquatiques dans les trois sites d'étude en 2018.

	El-Kala	Annaba	Skikda
<b>Nt (ind.m<sup>-2</sup>)</b>	2180	1756	1290
<b>H'</b>	<b>3.11</b>	2.58	2.42
<b>J'</b>	<b>0.65</b>	0.54	0.50



**Figure 42.** Variations spatiales de la diversité de Shannon-Weaver et de l'indice de Piélou.

**2.1.10 Similarité/dissimilarité des communautés macrobenthiques entre les différents sites : coefficient de similarité de Sørensen**

Les taux de ressemblance taxonomique entre les populations macrobenthiques collectées dans les différents sites sont présentés dans le tableau 08. Le taux de similarité entre le site d’Annaba et le site de Skikda est supérieur au taux de similarité entre le site d’El-Kala et le site de Skikda. Nous pouvons déduire que la similarité entre les sites d’El-Kala et Skikda (71,42) résulte d’un même milieu variable. La similarité entre El-Kala / Annaba et Annaba / Skikda avec des valeurs de 84,44 et 85,71 respectivement résulte de l’homogénéité des milieux.

**Tableau 8.** Valeurs du coefficient de similarité de Sørensen (%) entre les communautés macrobenthiques collectées aux différents sites d’échantillonnage au cours de la période d’étude.

	El-Kala	Annaba
Annaba	84,44	
Skikda	71,42	85,71

**2.2 La flore associée**

Le tableau 08 et figure 43 représentent la répartition et l’aspect des différentes espèces d’algues. La répartition des espèces est hétérogène au niveau des trois sites. Neuf espèces d’algues ont été observées au niveau d’El-Kala et 3 espèces identiques sur les sites d’Annaba et Skikda. Les espèces : *Ulva rigida*, *Colpomenia sinuosa* et *Corallina caespitosa* sont les espèces les plus fréquentes dans les trois sites.

**Tableau 9.** Espèces floristiques identifiées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Rezgui Rachid) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018 (+ : présence ; - : absence).

<b>Sites</b> <b>Espèces</b>	<b>El-Kala</b>	<b>Annaba</b>	<b>Skikda</b>
<i>Ulva rigida</i>	+	+	+
<i>Sargassum sp</i>	+	-	-
<i>Cystoseira sp</i>	+	-	-
<i>Cystoseira compressa</i>	+	-	-
<i>Padina pavonica</i>	+	-	-
<i>Colpomenia sinuosa</i>	+	+	+
<i>Corallina caespitosa</i>	+	+	+
<i>Laurencia sp</i>	+	-	-
<i>Posidonia oceanica</i>	+	-	-



**Figure 43.** Aspect général des différentes algues récoltées. A, B : *Ulva rigida* ; C : *Sargassum* sp; D, E : *Colpomenia sinuosa* ; F, G : *Padina pavonica* ; G : *Cystoseira* sp; I, J : *Posidonia oceanica* ; K, N : *Corallina caespitosa* ; M : *Laurencia* sp ; L : *Cystoseira compressa* (Rezzag Mahcene, 2019).

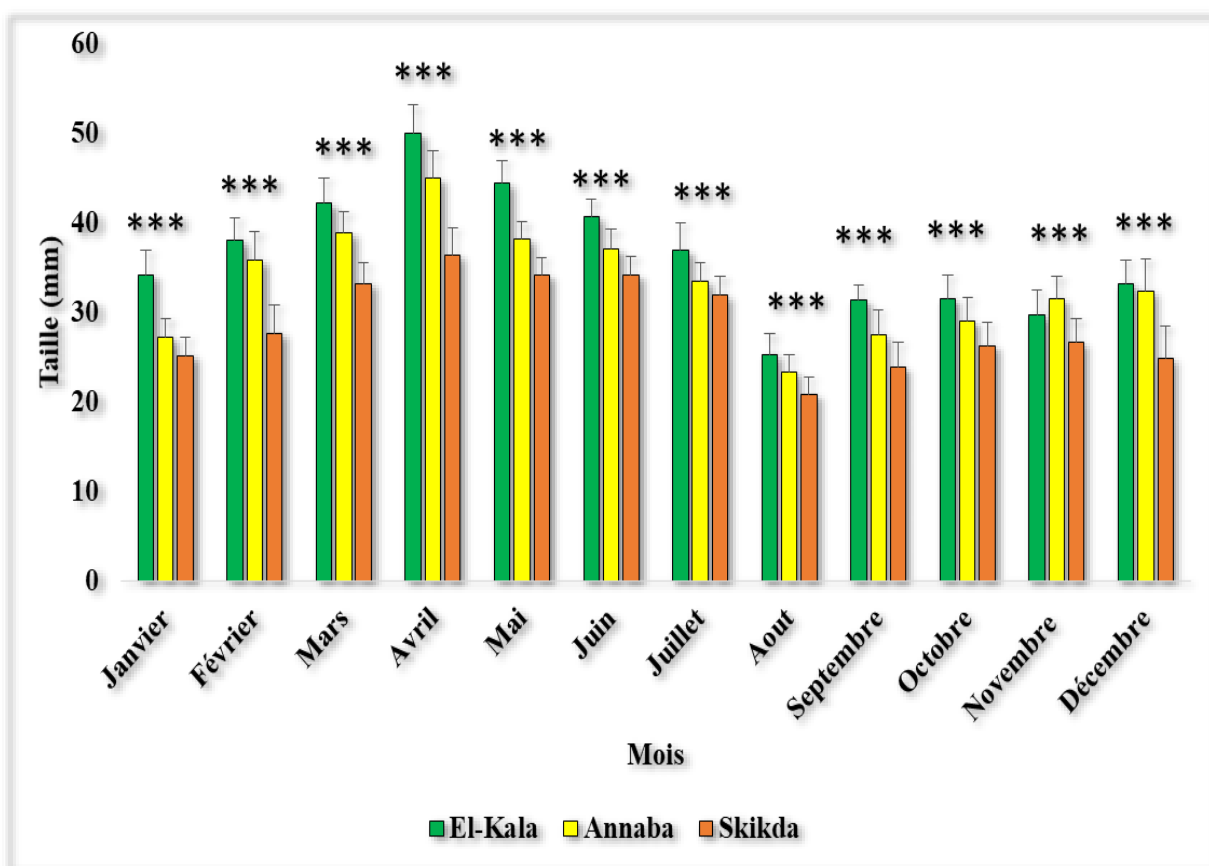
**2.3 Evolution des paramètres morphométriques et pondérales chez *Perinereis cultrifera***

La seule espèce présente sur les 3 sites en effectifs suffisant pour réaliser une analyse statistiquement significative a été retenue dans le cadre de cette approche. L'évolution mensuelle des variables : taille (longueur totale du corps), le poids frais, la longueur L<sub>3</sub> et le nombre de sétigères ont donc été mesurés chez les femelles de *Perinereis cultrifera* échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.

**2.3.1 Taille corporelle**

La taille moyenne de l'ensemble des femelles collectées dans le cadre de cette étude est de 32.8 mm. Elle varie de façon significative selon l'origine géographique des échantillons de 20.8 mm à Skikda à 44.4 mm à El-Kala.

D'un point de vue temporelle, les tailles moyennes varient de façon quasiment simultanée sur les 3 sites. Une augmentation progressive de la taille moyenne des femelles de *P. cultrifera* est observée de janvier à avril ( $50 \pm 3,17$  ;  $45 \pm 2,92$  et  $36,41 \pm 3,05$  mm) respectivement pour les sites d'El-Kala, d'Annaba et de Skikda et une diminution de la taille a été notée au mois d'août ( $25,23 \pm 2,45$  ;  $23,28 \pm 2,91$  et  $20,84 \pm 1,96$  mm) correspondant aux sites d'El-Kala, d'Annaba et de Skikda. L'automne présente plus de variation avec une augmentation entre août et décembre pour les 3 sites mais avec des profils variés (Figure 44).



**Figure 44.** Variations mensuelles de la taille totale du corps (mm) des femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=40$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018. Test d'anova à un critère de classification, \*\*\* : très hautement significative ( $P < 0,001$ ).

L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification a révélé une différence très hautement significative entre les sites pour tous les mois ( $P < 0,001$ ). Pour les mois de janvier à novembre, le test de Tukey nous a permis de classer les sites en trois groupes, le groupe A pour le site d'El-Kala où les valeurs moyennes de taille sont les plus élevées, le groupe B qui renferme les femelles du site d'Annaba qui présente des tailles intermédiaires entre les femelles d'El-Kala et Skikda ; le groupe C correspond au site de Skikda qui représente les valeurs les plus faibles où il existe une différence entre les femelles d'El-Kala et les femelles des autres sites (Tableau 10).

**Tableau 10.** Variations mensuelles de la longueur corporelle (mm) des femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=40$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.

Mois \ Site	El-Kala	Annaba	Skikda	P
<b>Janvier</b>	34.20 ± 2.74 <b>A</b>	27.25 ± 3.00 <b>B</b>	25.20 ± 2.01 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Février</b>	38.02 ± 2.44 <b>A</b>	35.84 ± 2.88 <b>B</b>	27.61 ± 3.16 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Mars</b>	42.17 ± 2.85 <b>A</b>	38.89 ± 1.90 <b>B</b>	33.23 ± 2.33 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Avril</b>	50 ± 3.17 <b>A</b>	45 ± 2.92 <b>B</b>	36.41 ± 3.05 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Mai</b>	44.43 ± 2.44 <b>A</b>	38.20 ± 3.75 <b>B</b>	34.20 ± 1.92 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Juin</b>	40.66 ± 1.93 <b>A</b>	37.10 ± 3.13 <b>B</b>	34.12 ± 2.16 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Juillet</b>	37 ± 2.97 <b>A</b>	33.41 ± 2.12 <b>B</b>	31.92 ± 2.07 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Août</b>	25.23 ± 2.45 <b>A</b>	23.28 ± 2.91 <b>B</b>	20.84 ± 1.96 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Septembre</b>	31.35 ± 1.71 <b>A</b>	27.51 ± 2.24 <b>B</b>	23.92 ± 2.75 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Octobre</b>	31.53 ± 2.63 <b>A</b>	29 ± 1.84 <b>B</b>	26.28 ± 2.62 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Novembre</b>	29.76 ± 2.72 <b>A</b>	31.48 ± 2.67 <b>B</b>	26.71 ± 2.59 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Décembre</b>	33.20 ± 2.66 <b>A</b>	32.33 ± 3.07 <b>A</b>	24.84 ± 3.60 <b>B</b>	<b>0,000***</b>

\*\*\* : très hautement significative ( $P < 0,001$ ).

L'analyse de la variance à deux critères de classification (Site/Mois) réalisée sur les données relatives pour la longueur chez les femelles de *P. cultrifera* récoltées a révélé un effet site et mois très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) et une interaction site/mois très hautement significative ( $P < 0,001$ ) (Tableau 11).

**Tableau 11.** ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) de la taille corporelle (mm) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n = 40$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda).

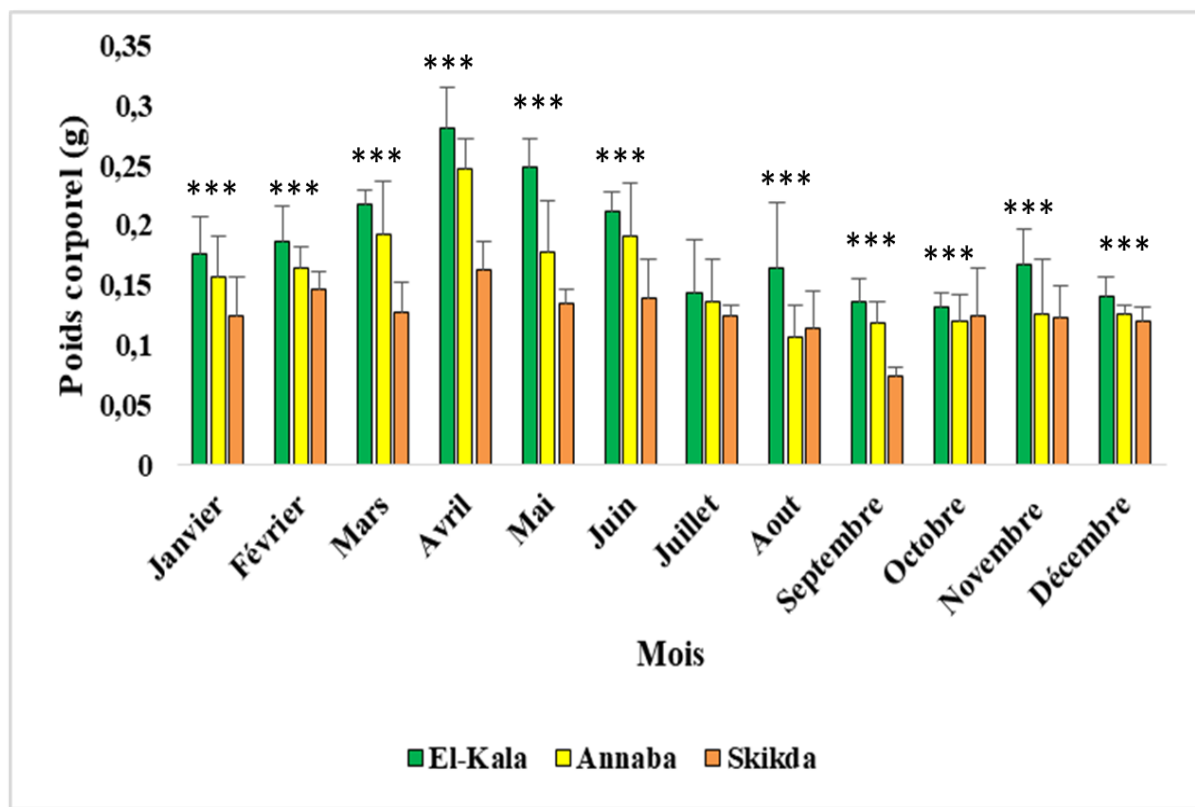
Sources de variation	DL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	14345,6	7172,8	710,79	<b>0,000***</b>
Mois	11	45657,8	4150,7	411,32	<b>0,000***</b>
Interaction sites/mois	22	3038,5	138,1	13,69	<b>0,000***</b>
Erreur résiduelle	1404	14168,1	10,1		
Totale	1439	77210,1			

*DL* : degré de liberté ; *SCE* : somme des carrés des écarts ; *CM* : carré moyen ; *Fobs* : test de Fisher ; *P* : seuil de signification. \*\*\* : très hautement significative ( $P < 0,001$ ).

### 2.3.2. Poids corporel

Le poids moyen des femelles mesurées de 0.13 g. Il varie de façon significative selon l'origine géographique des échantillons de 0.06 g à Skikda à 0.29 g à El-Kala.

Les variations mensuelles du poids frais montrent une augmentation progressive à partir du mois de janvier pour atteindre un maximum au mois d'avril ( $0,29 \pm 0,04$  ;  $0,24 \pm 0,03$  et  $0,17 \pm 0,04$  g respectivement pour les sites d'El-Kala, d'Annaba et de Skikda). Les valeurs diminuent ensuite jusqu'au au mois d'août avec des minimales de  $0,09 \pm 0,03$  ;  $0,06 \pm 0,03$  et  $0,06 \pm 0,02$  g respectivement pour les sites d'El-Kala, d'Annaba et de Skikda. Par ailleurs une légère augmentation a été observée en automne (Figure 45).



**Figure 45.** Variations mensuelles du poids frais corporel (g) des femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ;  $n=40$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018. Test d'anova à un critère de classification, \*\*\* : très hautement significative ( $P < 0,001$ ).

L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification a révélé une différence hautement significative entre les sites pour tous les mois ( $P < 0,001$ ). Seul le mois de juillet ne présente pas de différence significative entre les stations ( $P > 0,05$ ). Durant les mois d'avril et septembre le test de Tukey nous a permis de classer les 3 sites en trois groupes distincts. Cependant, durant les mois de janvier, août et octobre, les différences entre les sites sont moins marquées et le test de Tukey ne révèle que 2 groupes : le groupe A correspond au site d'El Kala et le groupe B celui d'Annaba et de Skikda. Enfin pour les mois de février, mars, mai, juin, novembre et décembre, la répartition en 2 groupes est toujours présente mais la composition des groupes diffère : le groupe A représente les sites d'El-Kala et d'Annaba et le groupe B correspond au site de Skikda (Tableau 12).

**Tableau 12.** Variations mensuelles du poids frais corporel total (g) des femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=40$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018, (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

Site Mois	El-Kala	Annaba	Skikda	P
Janvier	0,16 ± 0,02 A	0,13 ± 0,05 B	0,11 ± 0,04 B	0,000***
Février	0,17 ± 0,03 A	0,16 ± 0,04 A	0,13 ± 0,05 B	0,000***
Mars	0,2 ± 0,05 A	0,19 ± 0,03 A	0,15 ± 0,07 B	0,000***
Avril	0,29 ± 0,04 A	0,24 ± 0,03 B	0,17 ± 0,04 C	0,000***
Mai	0,21 ± 0,05 A	0,19 ± 0,06 A	0,13 ± 0,04 B	0,000***
Juin	0,19 ± 0,07 A	0,16 ± 0,04 A	0,12 ± 0,03 B	0,000***
Juillet	0,15 ± 0,07 A	0,13 ± 0,03 A	0,12 ± 0,11 A	0,216 NS
Août	0,09 ± 0,03 A	0,06 ± 0,03 B	0,06 ± 0,02 B	0,000***
Septembre	0,12 ± 0,03 A	0,1 ± 0,03 B	0,08 ± 0,02 C	0,000***
Octobre	0,13 ± 0,02 A	0,11 ± 0,03 B	0,11 ± 0,03 B	0,000***
Novembre	0,15 ± 0,06 A	0,13 ± 0,04 A	0,09 ± 0,03 B	0,000***
Décembre	0,15 ± 0,03 A	0,13 ± 0,06 A	0,09 ± 0,03 B	0,000***

NS : non significative ( $P > 0,05$ ) ; \*\*\* : très hautement significative ( $P < 0,001$ ).

L'analyse de la variance à deux critères de classification (Site/Mois) réalisée sur les données relatives pour le poids frais total (g) chez les femelles de *P. cultrifera* révèle un effet site et mois très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) et une interaction site/mois très hautement significative ( $P < 0,01$ ) (Tableau 13).

**Tableau 13.** ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du poids frais total (g) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n = 40$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.

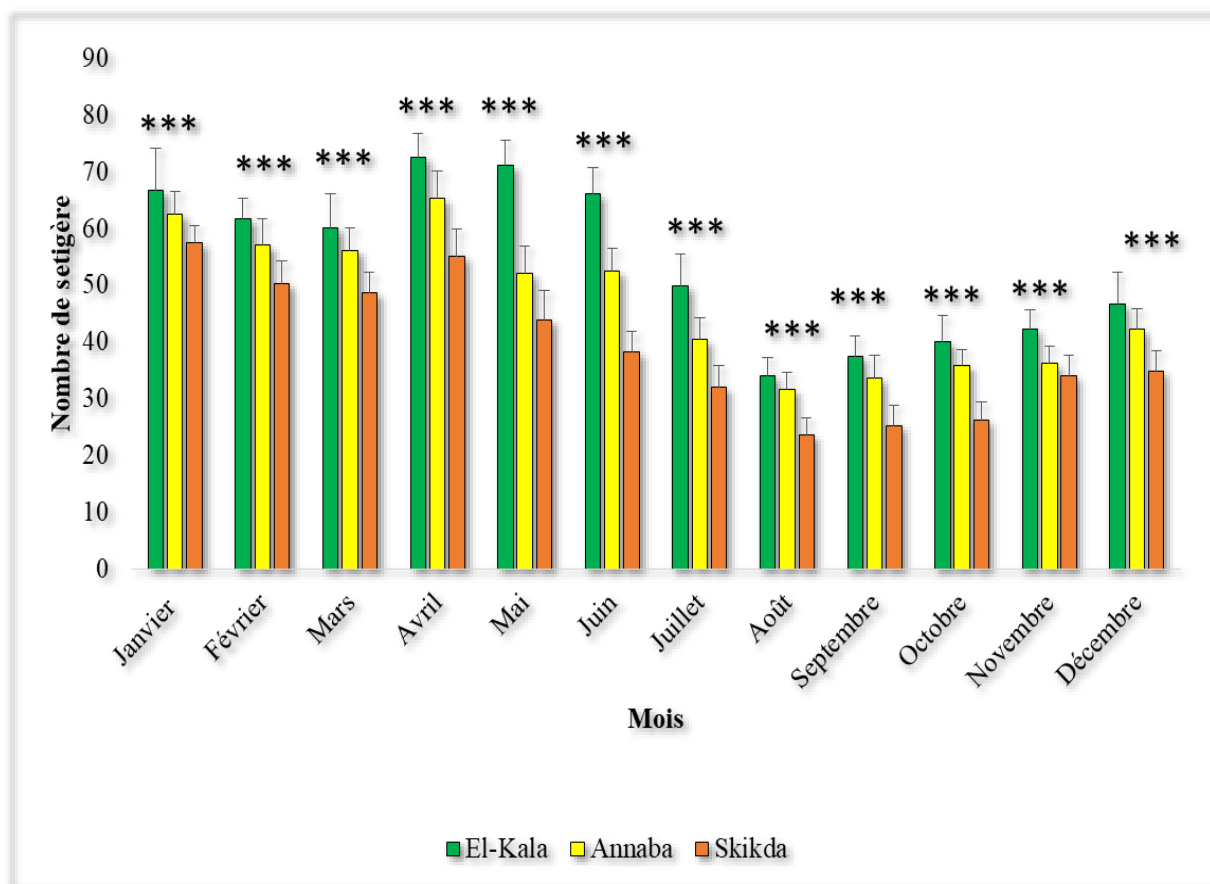
Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	0,7386	0,369293	149,98	<b>0,000***</b>
Mois	11	2,3712	0,215568	87,55	<b>0,000***</b>
Interaction sites/mois	22	0,2061	0,009368	3,80	<b>0,000***</b>
Erreur résiduelle	1404	3,4570	0,002462		
Totale	1439	6,7730			

*DDL* : degré de liberté ; *SCE* : somme des carrés des écarts ; *CM* : carré moyen ; *Fobs* : test de Fisher ; *P* : seuil de signification. \*\*\* : très hautement significative ( $P < 0,001$ ).

### 2.3.3. Nombre de sétigères

Le nombre moyen de sétigères est de 47. Il varie de façon significative selon l'origine géographique des échantillons de 17 à Skikda à 84 à El-Kala.

L'analyse des variations mensuelles du nombre de sétigères pour les femelles *P. cultrifera* collectées sur les trois sites montrent une variation simultanée du nombre de sétigères sur les 3 sites caractérisée par 2 pics (janvier et avril). Les données mensuelles montrent une diminution progressive à partir du mois de janvier pour atteindre une valeur minimale au mois de mars ( $60,12 \pm 5,93$  ;  $56,07 \pm 3,97$  et  $48,72 \pm 3,6$  g respectivement pour les sites d'El-Kala, d'Annaba et de Skikda). Par la suite, après une augmentation significative en avril ou les valeurs maximales sont atteintes, ces valeurs diminuent jusqu'en août ou sont atteintes les valeurs minimales ( $34 \pm 3,2$  ;  $31,65 \pm 3,03$  et  $23,6 \pm 2,97$  g respectivement pour les sites d'El-Kala, d'Annaba et de Skikda). Une légère augmentation a été observée en automne (Figure 46).



**Figure 46.** Variations mensuelles du nombre de setigères des femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=40$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018. Test d'anova à un critère de classification, \*\*\* : très hautement significative ( $P < 0,001$ ).

L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification a révélé une différence hautement significative entre les sites pour tous les mois ( $P < 0,001$ ). Durant tous les mois hormis novembre, le test de Tukey nous a permis de classer les 3 sites en trois groupes distincts. Par contre, en novembre, les sites ont été classés en deux groupes, le groupe A correspond au site d'El Kala et le groupe B à ceux d'Annaba et de Skikda (Tableau 14).

**Tableau 14.** Variations mensuelles du nombre de setigères des femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=40$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018, (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

Mois \ Site	El-Kala	Annaba	Skikda	P
<b>Janvier</b>	66,62 ± 7,41 <b>A</b>	62,42 ± 4,03 <b>B</b>	57,47 ± 3,12 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Février</b>	61,67 ± 3,7 <b>A</b>	57,05 ± 4,75 <b>B</b>	50,27 ± 4,09 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Mars</b>	60,12 ± 5,93 <b>A</b>	56,07 ± 3,97 <b>B</b>	48,72 ± 3,6 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Avril</b>	72,57 ± 4,23 <b>A</b>	65,22 ± 4,8 <b>B</b>	55,17 ± 4,83 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Mai</b>	71,2 ± 4,31 <b>A</b>	52,1 ± 4,9 <b>B</b>	43,92 ± 5,22 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Juin</b>	66,2 ± 4,61 <b>A</b>	52,47 ± 4,04 <b>B</b>	38,37 ± 3,54 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Juillet</b>	49,87 ± 5,53 <b>A</b>	40,55 ± 3,67 <b>B</b>	32,1 ± 3,69 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Août</b>	34 ± 3,2 <b>A</b>	31,65 ± 3,03 <b>B</b>	23,6 ± 2,97 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Septembre</b>	37,57 ± 3,53 <b>A</b>	33,65 ± 3,95 <b>B</b>	25,27 ± 3,52 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Octobre</b>	40,07 ± 4,58 <b>A</b>	35,85 ± 2,9 <b>B</b>	26,17 ± 3,22 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
<b>Novembre</b>	42,22 ± 3,53 <b>A</b>	36,3 ± 2,96 <b>B</b>	34,07 ± 3,57 <b>B</b>	<b>0,000***</b>
<b>Décembre</b>	46,75 ± 5,56 <b>A</b>	42,3 ± 3,65 <b>B</b>	34,8 ± 3,7 <b>C</b>	<b>0,000***</b>

\*\*\* : très hautement significative ( $P < 0,001$ ).

L'analyse de la variance à deux critères de classification (Site/Mois) réalisée sur les données relatives pour le nombre de setigères chez les femelles de *P. cultrifera* analysées révèle un effet site et mois hautement significatif ( $P < 0,001$ ) et une interaction site/mois hautement significative ( $P < 0,01$ ) (Tableau 15).

**Tableau 15.** ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du nombre de setigères chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n = 40$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.

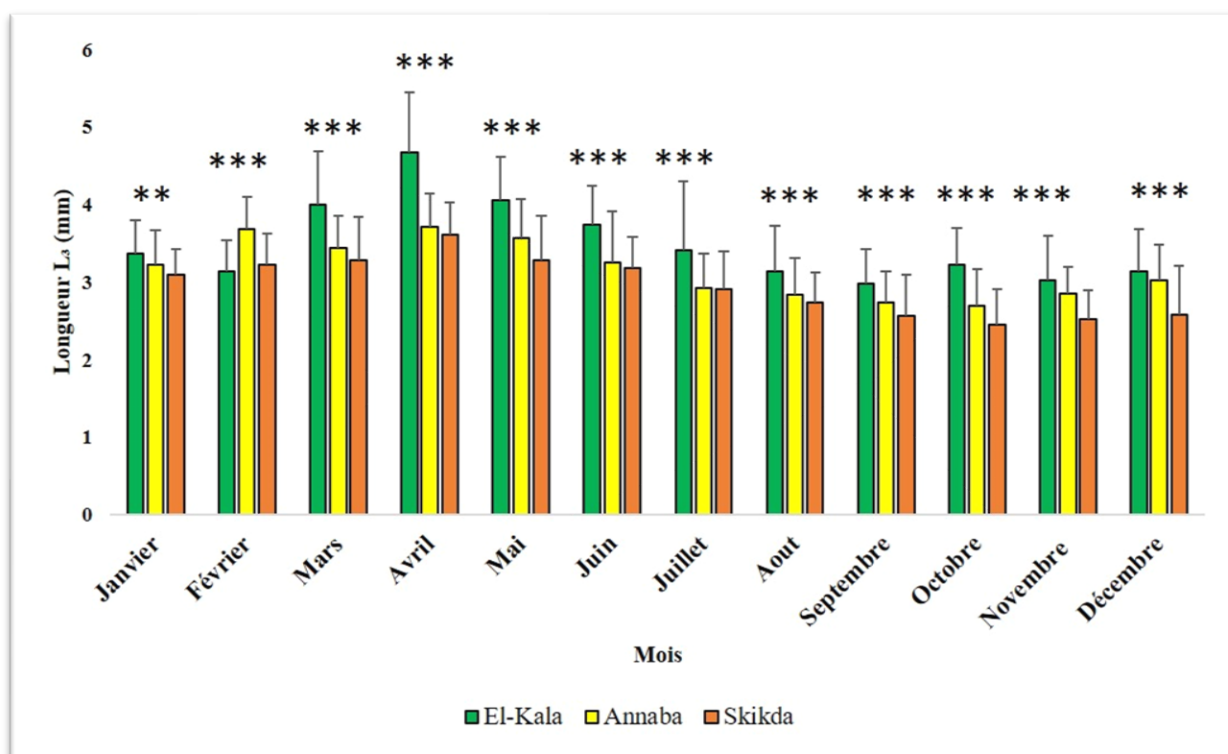
Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	53443	26721,3	970,64	<b>0,000***</b>
Mois	11	195794	17799,5	646,56	<b>0,000***</b>
Interaction sites/mois	22	11063	502,8	18,27	<b>0,000***</b>
Erreur résiduelle	1404	38651	27,5		
Totale	1439	298951			

*DDI* : degré de liberté ; *SCE* : somme des carrés des écarts ; *CM* : carré moyen ; *Fobs* : test de Fisher ; *P* : seuil de signification. \*\*\* : très hautement significative ( $P < 0,001$ ).

#### 2.3.4. Longueur $L_3$

La longueur  $L_3$  moyenne de l'ensemble des femelles collectées dans le cadre de cette étude est de 3.5 mm. Elle varie de façon significative selon l'origine géographique des échantillons de 1.9 mm à Skikda à 5.6 mm à El-Kala.

L'évolution mensuelle de la longueur  $L_3$  (mm) chez *P. cultrifera* échantillonnées des 3 sites El-Kala, Annaba et Skikda est représentée au niveau de la figure 47 et le tableau 16. Les 3 sites analysés montrent des variations simultanées de cette donnée. Une augmentation progressive de la longueur  $L_3$  (mm) est observée à partir de février pour atteindre des valeurs maximales en avril ( $3,61 \pm 0,41$  ;  $3,70 \pm 0,42$  et  $4,67 \pm 0,77$  mm respectivement pour les sites d'El-Kala, d'Annaba et de Skikda).  $L_3$  diminue ensuite jusqu'en septembre où elle atteint ses valeurs minimales ( $2,98 \pm 0,44$  ;  $2,74 \pm 0,39$  et  $2,56 \pm 0,53$  mm respectivement pour les sites d'El-Kala, d'Annaba et de Skikda).



**Figure 47.** Variations mensuelles de la longueur  $L_3$  (mm) des femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=40$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude durant l'année 2018. Test d'anova à un critère de classification, \*\* : hautement significative ( $P < 0,01$ ), \*\*\* : très hautement significative ( $P < 0,001$ ).

L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification a révélé une différence hautement significative entre les sites pour le mois de janvier ( $P < 0,01$ ) et une différence très hautement significative ( $P < 0,001$ ) pour les autres mois. Le test de Tukey a permis de classer les 3 sites en deux groupes distincts pour les mois de février à août : le groupe A correspond au site d'El-Kala, le groupe B correspond aux sites d'Annaba et Skikda. En ce qui concerne les mois d'octobre et novembre, le test de Tukey nous a permis de répartir les sites en deux autres groupes différemment constitués : le groupe A rassemble les sites d'El-Kala et d'Annaba et le groupe B est représenté par le site de Skikda. Par ailleurs, le test de Tukey nous a permis de séparer les 3 sites en trois groupes distincts au mois d'octobre. En outre, aux mois de janvier et septembre, le test de Tukey nous a permis de classer les sites en trois groupes ; le groupe A correspond au site d'El-Kala, le groupe AB correspond au site d'Annaba et le groupe B correspond au site de Skikda (Tableau 16).

**Tableau 16.** Variations mensuelles de la longueur  $L_3$  (mm) des femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ;  $n=40$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Rezgui Rachid) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018. (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

Mois \ Site	El-Kala	Annaba	Skikda	P
Janvier	3,36 ± 0,42 A	3,22 ± 0,44 AB	3,1 ± 0,33 B	0,014**
Février	3,13 ± 0,39 A	3,68 ± 0,41 B	3,22 ± 0,40 B	0,000***
Mars	4 ± 0,68 A	3,43 ± 0,41 B	3,28 ± 0,55 B	0,000***
Avril	4,67 ± 0,77 A	3,70 ± 0,42 B	3,61 ± 0,41 B	0,000***
Mai	4,05 ± 0,56 A	3,56 ± 0,50 B	3,28 ± 0,57 B	0,000***
Juin	3,73 ± 0,50 A	2,25 ± 0,65 B	3,17 ± 0,41 B	0,000***
Juillet	3,41 ± 0,88 A	2,92 ± 0,44 B	2,90 ± 0,49 B	0,000***
Août	3,13 ± 0,58 A	2,84 ± 0,47 B	2,73 ± 0,40 B	0,000***
Septembre	2,98 ± 0,44 A	2,74 ± 0,39 AB	2,56 ± 0,53 B	0,000***
Octobre	3,22 ± 0,47 A	2,69 ± 0,47 B	2,44 ± 0,45 C	0,000***
Novembre	3,02 ± 0,57 A	2,84 ± 0,35 A	2,51 ± 0,37 B	0,000***
Décembre	3,14 ± 0,53 A	3,02 ± 0,45 A	2,57 ± 0,64 B	0,000***

\*\* : hautement significative ( $P < 0,01$ ) ; \*\*\* : très hautement significative ( $P < 0,001$ ).

L'analyse de la variance à deux critères de classification (Site/Mois) a révélé un effet site et un effet mois très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) et une interaction site/mois très hautement significative ( $P < 0,001$ ) (Tableau 17).

**Tableau 17.** ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) de la longueur L<sub>3</sub> (mm) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n = 40$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Rezgui Rachid) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	71,39	35,6948	136,80	<b>0,000***</b>
Mois	11	206,81	18,8005	72,05	<b>0,000***</b>
Interaction sites/mois	22	34,76	1,5800	6,06	<b>0,000***</b>
Erreur résiduelle	1404	366,35	0,2609		
Totale	1439	679,30			

*DDL* : degré de liberté ; *SCE* : somme des carrés des écarts ; *CM* : carré moyen ; *Fobs* : test de Fisher ; *P* : seuil de signification.

### 2.3.5. Corrélations entre les différents paramètres morphologiques et biométriques

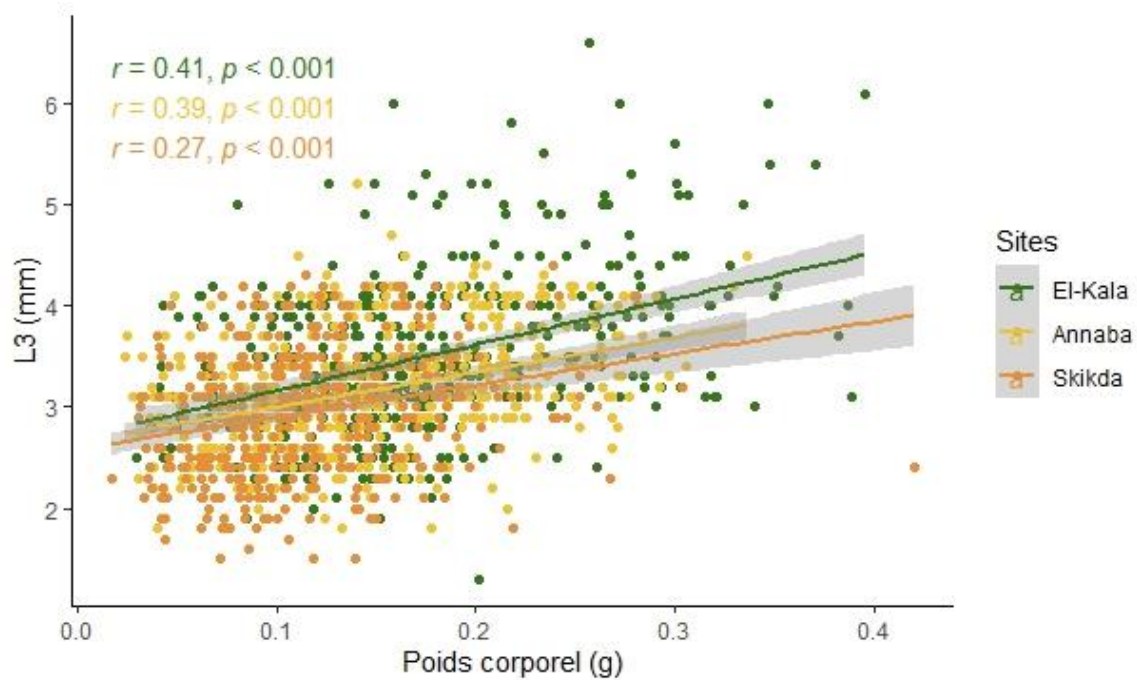
L'analyse de corrélation de Pearson a été effectuée afin de déterminer les liens entre les différents paramètres de croissance, de reproduction et physicochimiques utilisés au niveau des trois sites durant l'année 2018.

Les corrélations obtenues sont positives entre la longueur L<sub>3</sub> et le Poids corporel ( $r=0.41$ ,  $p<0.001$ ,  $r=0.39$ ,  $p<0.001$ ,  $r=0.27$ ,  $p<0.001$ ) pour les trois sites respectivement (El-Kala, Annaba et Skikda) (figure 48), entre la taille et le Poids corporel ( $r=0.6$ ,  $p<0.001$ ,  $r=0.58$ ,  $p<0.001$ ,  $r=0.38$ ,  $p<0.001$ ) pour les trois sites respectivement (El-Kala, Annaba et Skikda) (figure 49), entre la taille et la longueur L<sub>3</sub> ( $r=0.53$ ,  $p<0.001$ ,  $r=0.43$ ,  $p<0.001$ ,  $r=0.33$ ,  $p<0.001$ ) pour les trois sites respectivement (El-Kala, Annaba et Skikda) (Figure 50), entre la taille et le nombre de setigère ( $r=0.71$ ,  $p<0.001$ ,  $r=0.55$ ,  $p<0.001$ ,  $r=0.38$ ,  $p<0.001$ ) pour les trois sites respectivement (El-Kala, Annaba et Skikda) (Figure 51).

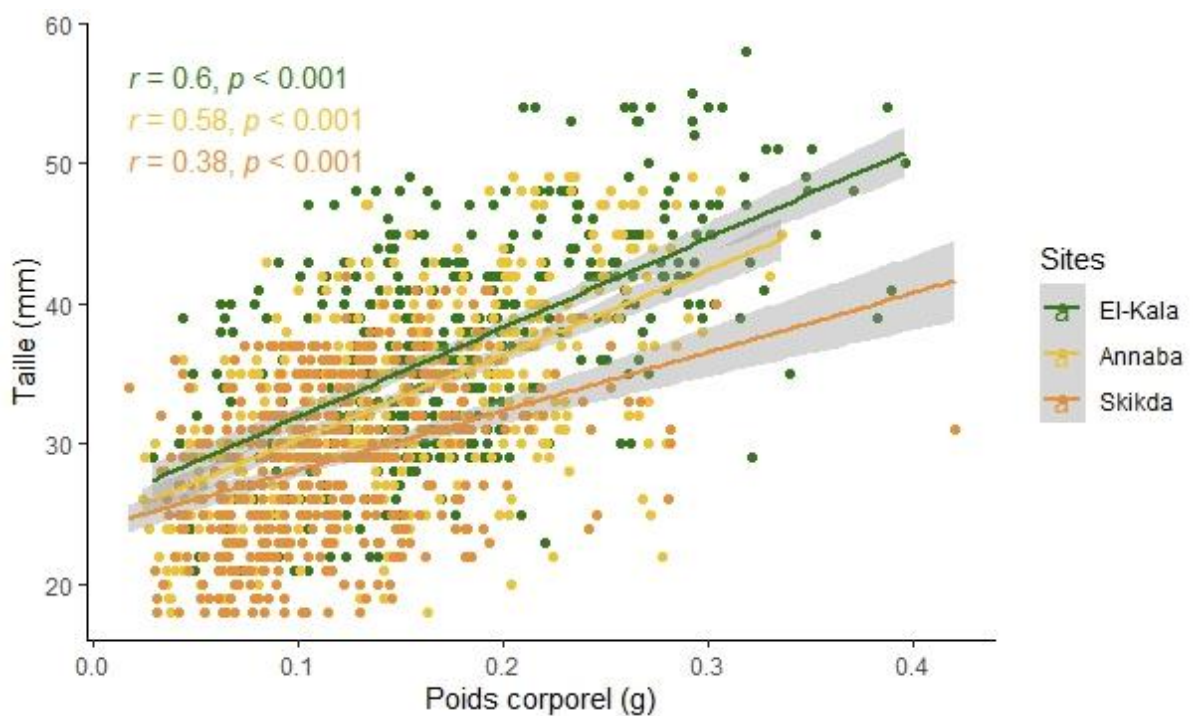
Les tests de corrélations effectués sur les trois sites d'étude ont révélé qu'au niveau du site d'El-Kala, les paramètres sont très hautement corrélés (Figure 48, 49, 50 et 51).

Par ailleurs, les tests de corrélation effectués entre les différents paramètres du site d'Annaba ont montré des résultats moyennement corrélés (Figure 48, 49, 50 et 51).

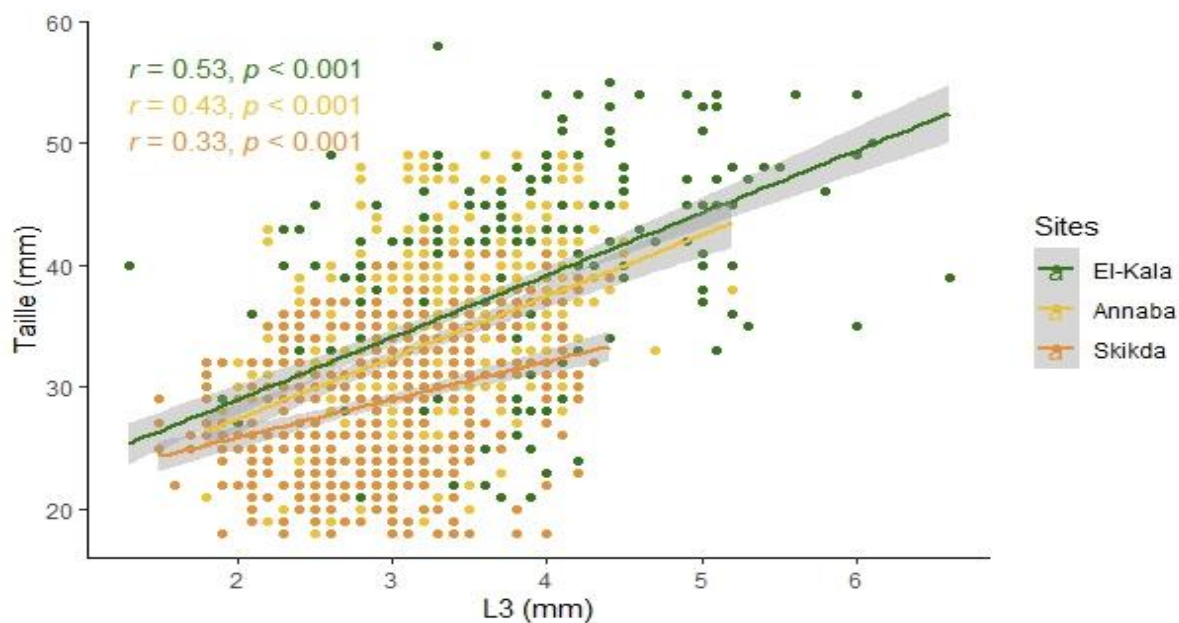
En revanche, les tests effectués entre les différents paramètres du site de Skikda ont montré des résultats moins corrélés comparativement aux deux précédemment cités (Figure 48, 49, 50 et 51).



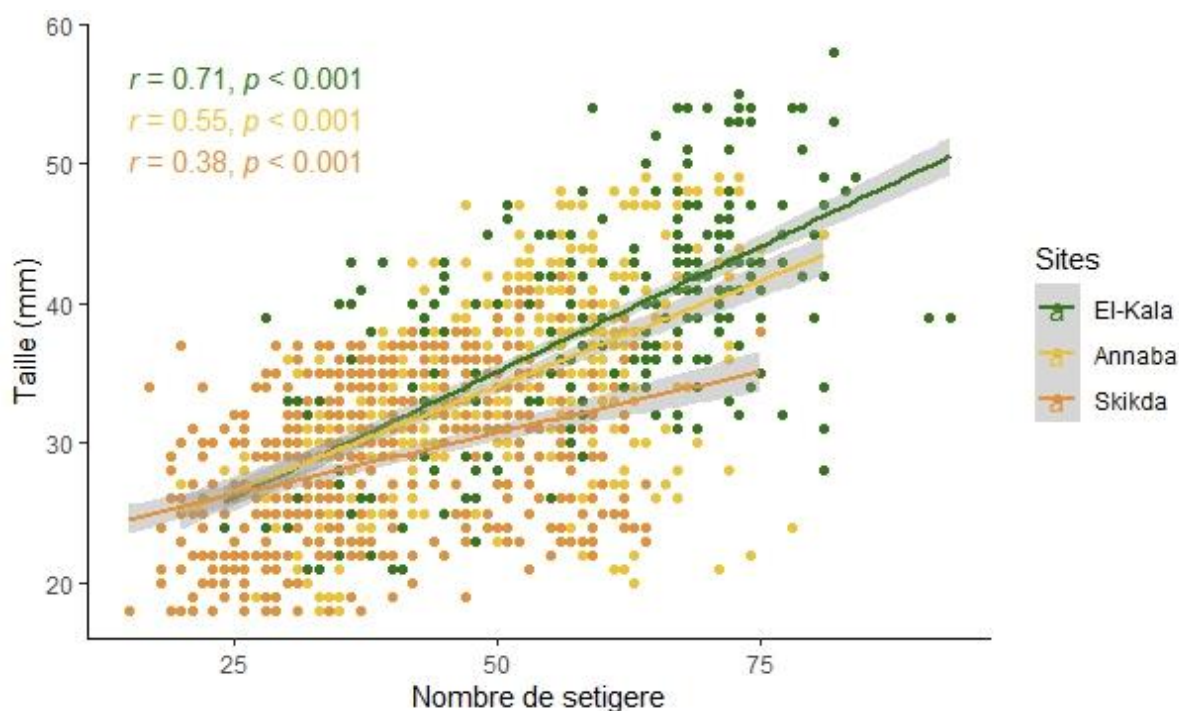
**Figure 48.** Corrélation de Pearson effectuée entre les deux paramètres (L<sub>3</sub> et poids corporel) des trois sites (El-Kala, Annaba et Skikda) durant l'année 2018.



**Figure 49.** Corrélation de Pearson effectuée entre les deux paramètres (taille et poids corporel) des trois sites (El-Kala, Annaba et Skikda) durant l'année 2018.



**Figure 50.** Corrélation de Pearson effectuée entre les deux paramètres (taille et L3) des trois sites (El-Kala, Annaba et Skikda) durant l'année 2018.

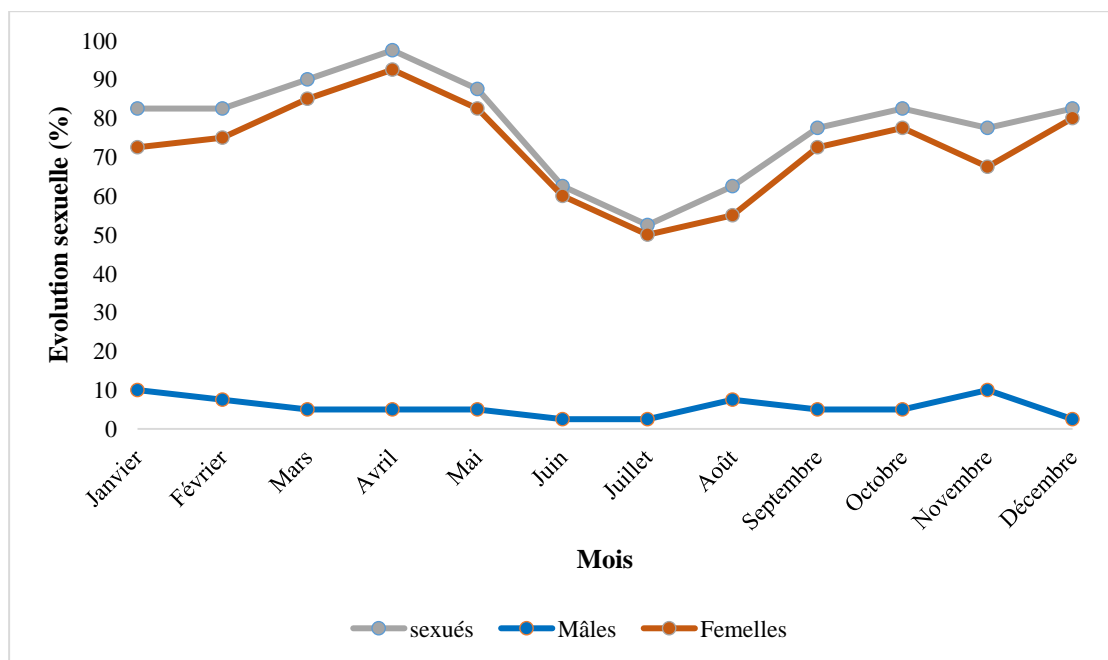


**Figure 51.** Corrélation de Pearson effectuée entre les deux paramètres (taille et nombre de setigère) des trois sites (El-Kala, Annaba et Skikda) durant l'année 2018.

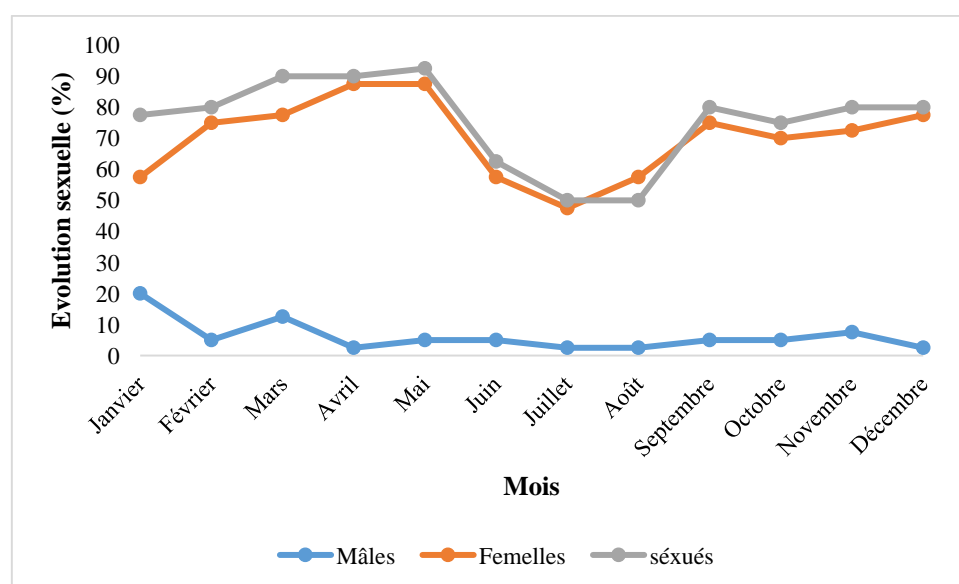
### **2.3.6. Évaluation de l'état sexuel**

La différenciation sexuelle chez *Perinereis cultrifera* a été analysée sur des individus récoltés sur les trois sites El-Kala, Annaba et Skikda. L'observation au microscope optique a permis la reconnaissance des deux types d'individus sexués (mâles et femelles). L'évolution de l'état sexuel des différents types échantillonnés est représentée sur les figures 52, 53 et 54. La proportion des individus sexués est maximale en avril et minimale en juillet. Entre janvier et avril, la proportion des sexués est en moyenne de l'ordre de 90% à El-Kala et Annaba (Tableau 18 et 19) et 70% à Skikda (Tableau 20).

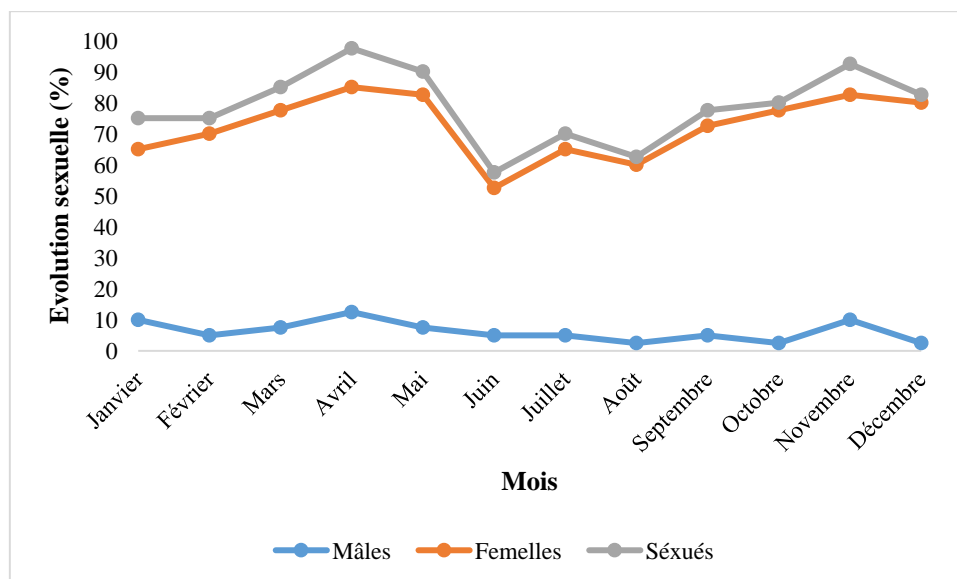
A partir du mois de mai, la proportion des individus sexués diminue sur les sites d'El-Kala et de Skikda. Cette diminution est observée à partir du mois de juin sur le site d'Annaba. Au delà de ces valeurs minimales, la proportion d'individus sexués re-augmentent de façon plus ou moins régulière selon le site. Quelque soit le site considéré, le taux des individus mâles demeure faible tout au long de l'étude.



**Figure 52.** Évolution de la proportion d'individus sexués, femelles et mâles (%), chez les populations de *P. cultrifera* échantillonnées au niveau d'El-Kala (La Montagne) durant l'année 2018.



**Figure 53.** Évolution de l'état sexuel (%), chez les populations de *P. cultrifera* échantillonnées au niveau d'Annaba (Rezgui Rachid) durant l'année 2018.



**Figure 54.** Évolution de l'état sexuel (%), chez les populations de *P. cultrifera* échantillonnées au niveau de Skikda (Bikini) durant l'année 2018.

**Tableau 18.** Proportions des individus sexués par rapport à la population totale, et celle des individus mâles et femelles par rapport à la population sexuée chez *P. cultrifera* au niveau du site d'El-Kala durant l'année 2018.

Mois	État sexuel		
	Séxués (%)	Mâles (%)	Femelles (%)
<b>Janvier</b>	82,5	10	72,5
<b>Février</b>	82,5	7,5	75
<b>Mars</b>	90	5	85
<b>Avril</b>	97,5	5	92,5
<b>Mai</b>	87,5	5	82,5
<b>Juin</b>	62,5	2,5	60
<b>Juillet</b>	52,5	2,5	50
<b>Août</b>	62,5	7,5	55
<b>Septembre</b>	77,5	5	72,5
<b>Octobre</b>	82,5	5	77,5
<b>Novembre</b>	77,5	10	67,5
<b>Décembre</b>	82,5	2,5	80

**Tableau 19.** Proportions des individus sexués par rapport à la population totale, et celle des individus mâles et femelles par rapport à la population sexuée chez *P. cultrifera* au niveau du site d'Annaba durant l'année 2018.

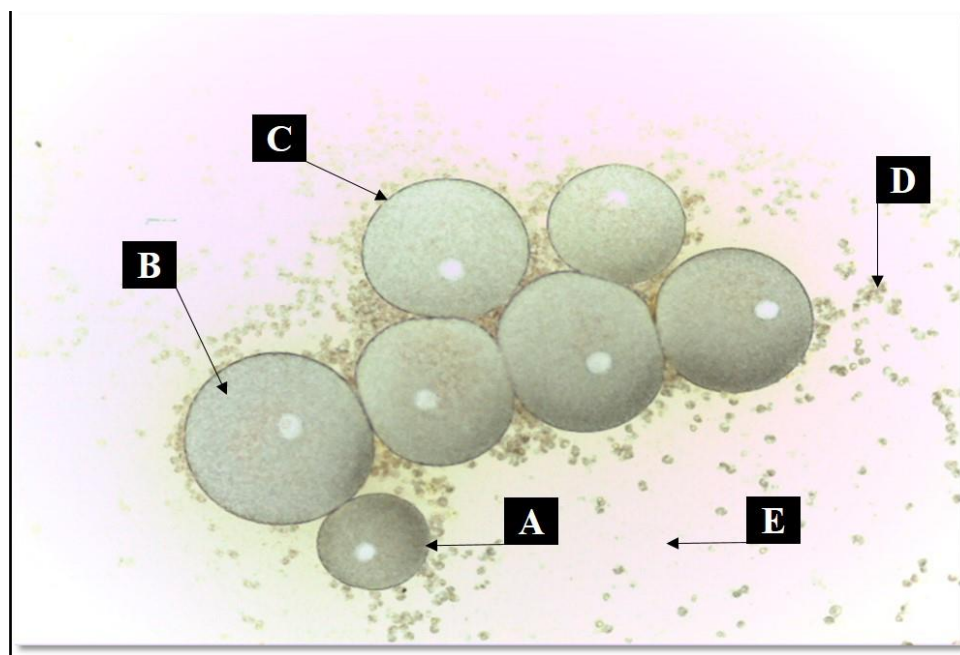
Mois	État sexuel		
	Sexués (%)	Mâles (%)	Femelles (%)
Janvier	77,5	10	67,5
Février	80	5	75
Mars	90	12,5	77,5
Avril	90	2,5	87,5
Mai	92,5	5	87,5
Juin	62,5	5	57,5
Juillet	50	2,5	47,5
Août	60	2,5	57,5
Septembre	80	5	75
Octobre	75	5	70
Novembre	80	7,5	72,5
Décembre	80	2,5	77,5

**Tableau 20.** Proportions des individus sexués par rapport à la population totale, et celle des individus mâles et femelles par rapport à la population sexuée chez *P. cultrifera* au niveau du site de Skikda durant l'année 2018.

Mois	État sexuel		
	Sexués (%)	Mâles (%)	Femelles (%)
Janvier	75	10	65
Février	75	5	70
Mars	83	7,5	77,5
Avril	97,5	12,5	85
Mai	90	7,5	82,5
Juin	57,5	5	52,5
Juillet	70	5	65
Août	62,5	2,5	60
Septembre	77,5	5	72,5
Octobre	80	2,5	77,5
Novembre	92,5	10	82,5
Décembre	82,5	2,5	80

### 2.3.7. Étude biométrique de la croissance ovocytaire

L'examen de ponctions cœlomiques des 7 plus grandes femelles a montré un aspect hétérogène de cellules en gamétogénèse où les ovocytes sont de diamètre inégal caractéristique d'une croissance ovocytaire asynchrone (Figure 55).



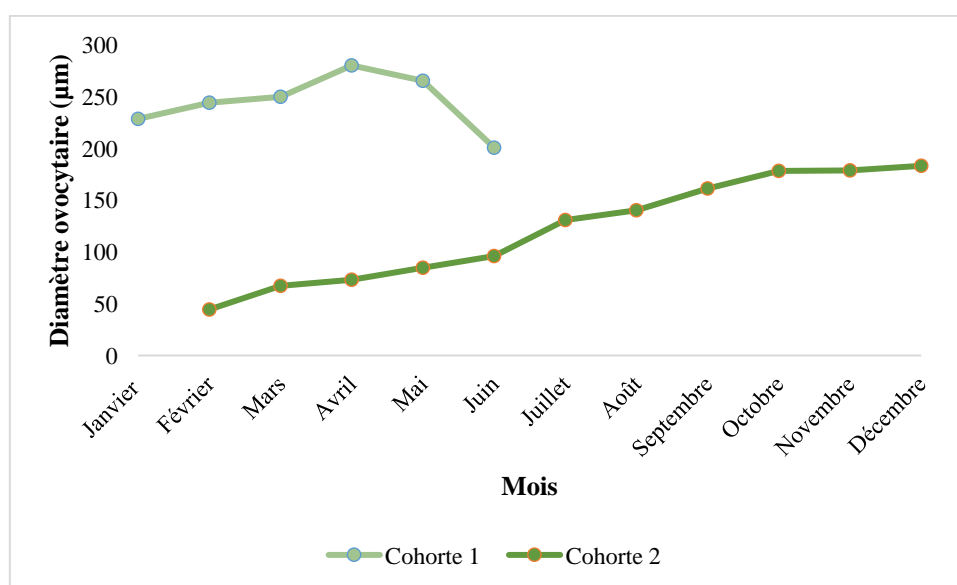
**Figure 55.** Aspect d'une ponction cœlomique chez *Perinereis cultrifera* montrant des ovocytes à différents stades de développement. **A** : ovocyte immature ; **B** : ovocyte mature ; **C** : membrane vitelline ; **D** : éléocytes ; **E** : liquide cœlomique.

L'évolution du diamètre ovocytaire moyen des femelles pendant la période d'étude est représentée par les figures 56, 57 et 58. Ces courbes d'évolution relatives aux trois sites étudiés affichent pratiquement la même tendance. Une évolution progressive et continue de janvier à mai. Cependant, durant la période de février à mai, deux groupes de femelles sont identifiées, un premier groupe de femelles renfermant des ovocytes de petite taille et un second renfermant des ovocytes de diamètre nettement plus important (Tableaux 21, 22 et 23).

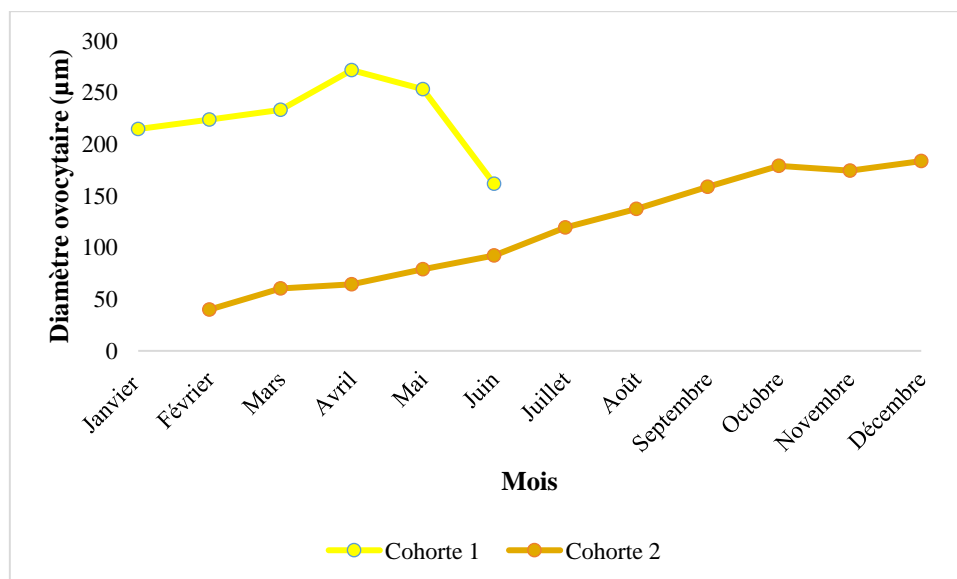
Le groupe de femelles de diamètre ovocytaire moyen inférieur à 50  $\mu\text{m}$  commence à apparaître en février puis, disparaît graduellement, au fur et à mesure que les ovocytes évoluent vers la maturité, pour atteindre des tailles de plus en plus grandes. Au cours de la période de février à avril, la taille des ovocytes atteint son maximum. Le diamètre moyen des ovocytes matures est de l'ordre de 200 à 300  $\mu\text{m}$ . En outre, à partir du mois de juin, les

femelles présentant des ovocytes de grand diamètre disparaissent. La courbe d'évolution du diamètre ovocytaire moyen en fonction du temps, montre que le développement ovocytaire s'étale donc sur une période de 16 mois, et ce, chez les trois populations (Figures 56, 57 et 58).

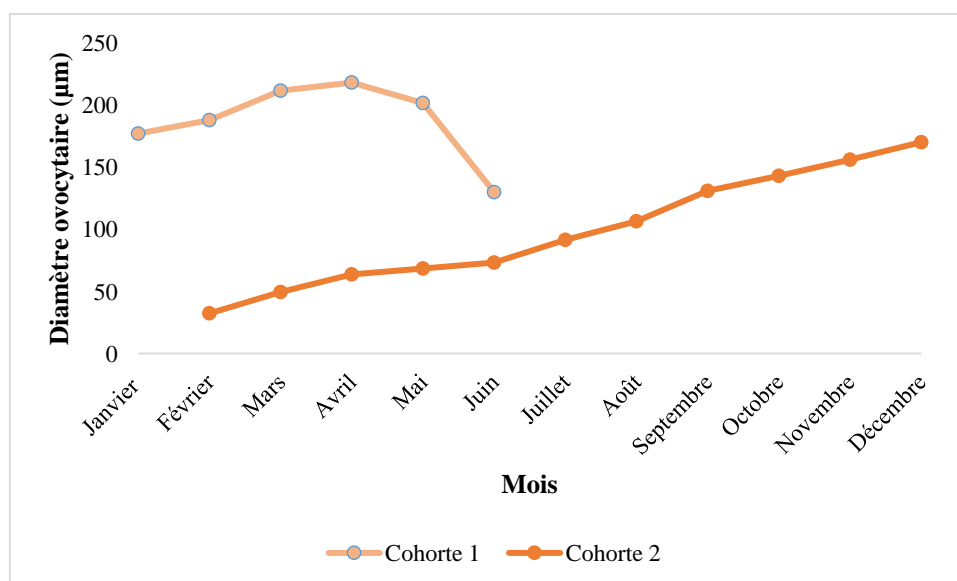
L'analyse comparative des mensurations du diamètre ovocytaire moyen des trois sites montre que ce dernier est plus élevé en avril au niveau du site d'El-Kala (La Montagne), suivi de celui d'Annaba (Rezgui Rachid) puis de Skikda pour le même mois (avril). En revanche, le diamètre minimum des ovocytes chez cette même population au niveau des trois sites est atteint pour les trois populations au cours du mois de juin.



**Figure 56.** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=40$ ) récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) de janvier à décembre de l'année 2018.



**Figure 57.** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=40$ ) récoltées au niveau du site d'Annaba (Rezgui Rachid) de janvier à décembre de l'année 2018.



**Figure 58.** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=40$ ) récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) de janvier à décembre de l'année 2018.

**Tableau 21.** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles *Perinereis cultrifera* (m±s ; n=40) récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) de janvier à décembre de l'année 2018.

Mois	Diamètre ovocytaire	
	Cohorte 1	Cohorte 2
Janvier	228,67 ± 19,27	
Février	244,45 ± 25,51	44,48 ± 11,79
Mars	250,09 ± 28,26	67,36 ± 24,60
Avril	280,44 ± 44,82	73,29 ± 19,24
Mai	265,57 ± 36,17	84,89 ± 14,37
Juin	200,96 ± 38,23	96,18 ± 29,91
Juillet		130,94 ± 24,70
Août		140,38 ± 20,40
Septembre		161,39 ± 36
Octobre		178,42 ± 40,32
Novembre		178,90 ± 25,20
Décembre		183,39 ± 32,94

**Tableau 22.** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles *Perinereis cultrifera* (m±s ; n=40) récoltées au niveau du site d'Annaba (Rezgui Rachid) de janvier à décembre de l'année 2018.

Mois	Diamètre ovocytaire	
	Cohorte 1	Cohorte 2
Janvier	214,48 ± 26,13	
Février	223,64 ± 35,63	39,87 ± 15,07
Mars	233,02 ± 26,54	60,29 ± 17,56
Avril	271,42 ± 42,27	64,29 ± 17,10
Mai	252,91 ± 51,46	78,82 ± 19,22
Juin	161,51 ± 19,10	92,21 ± 19,42
Juillet		119,32 ± 16,26
Août		137,27 ± 27,39
Septembre		158,65 ± 26,02
Octobre		178,90 ± 28,78
Novembre		174,19 ± 40,30
Décembre		183,47 ± 30,28

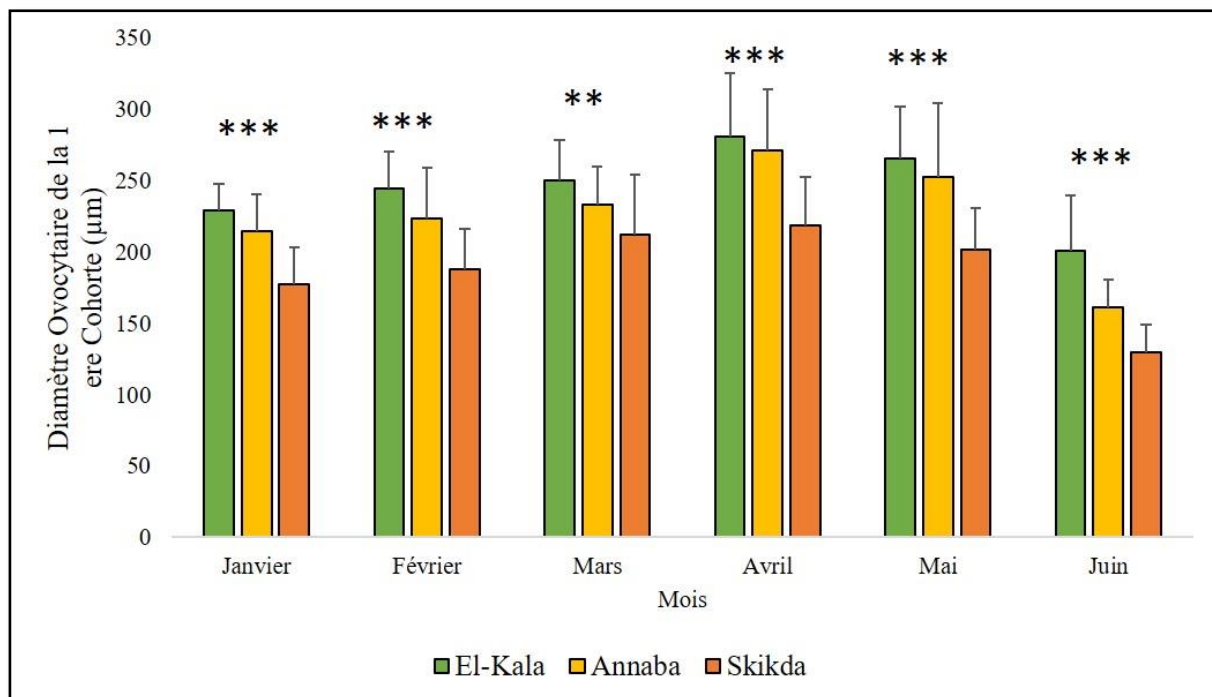
**Tableau 23.** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles *Perinereis cultrifera* (m±s ; n=40) récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) de janvier à décembre de l'année 2018.

Mois	Diamètre ovocytaire	
	Cohorte 1	Cohorte 2
<b>Janvier</b>	177,19 ± 25,66	
<b>Février</b>	187,96 ± 28,04	32,31 ± 10,07
<b>Mars</b>	211,71 ± 42,81	49,59 ± 15,74
<b>Avril</b>	218,28 ± 33,94	63,75 ± 16,62
<b>Mai</b>	201,77 ± 28,75	68,46 ± 21,99
<b>Juin</b>	130,04 ± 18,85	73,28 ± 23,76
<b>Juillet</b>		91,58 ± 29,99
<b>Août</b>		106,47 ± 34,88
<b>Septembre</b>		131,05 ± 31,55
<b>Octobre</b>		143,19 ± 35,43
<b>Novembre</b>		156,22 ± 45,49
<b>Décembre</b>		170,23 ± 49,41

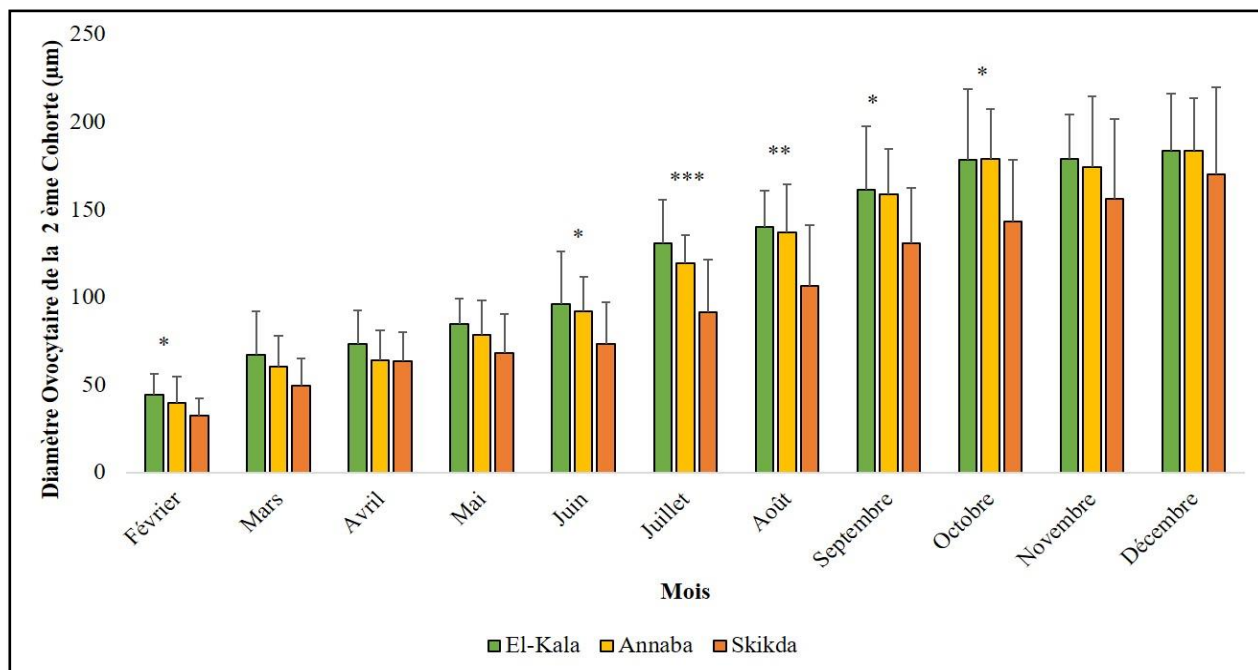
Pour la première cohorte : L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification a révélé une différence très hautement significative ( $P < 0,001$ ) entre les sites pour les prélèvements de 5 mois (janvier, février, avril, mai et juin). Pour le mois de mars, l'analyse statistique ANOVA à un critère de classification a révélé une différence hautement significative entre les sites ( $P < 0,01$ ). Le test de Tukey nous a permis de classer les sites en deux groupes aux mois de janvier, février, avril et mai où le groupe A correspond aux sites d'El-Kala et Annaba et le groupe B correspond au site de Skikda. En ce qui concerne le mois de mars, le test de Tukey nous a permis de classer les sites en trois groupes distincts où le groupe A correspond au site d'El-Kala, le groupe AB correspond au site d'Annaba et le groupe C correspond au site de Skikda. Pour le mois de juin, le test de Tukey nous a permis de classer les sites en trois groupes distincts où le groupe A qui renferme les femelles du site d'El-Kala, le groupe B qui renferme les femelles du site d'Annaba et le Groupe C qui renferme les femelles du site de Skikda (Figures 59 et 60 ; Tableau 24).

Pour la seconde cohorte : L'analyse ANOVA à un critère de classification a révélé une différence très hautement significative ( $P < 0,001$ ) pour les mois de juillet ; une différence très significative ( $P < 0,05$ ) a été signalée aux mois de février, juin, septembre et octobre, une

différence hautement significative pour le mois d'août et une différence non significative ( $P < 0,05$ ) a été révélée aux mois de mars, avril, mai, novembre et décembre (Figures 59 et 60 ; Tableau 24).



**Figure 59.** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=40$ ) de la première cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude de janvier à décembre de l'année 2018.



**Figure 60.** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles *Perinereis cultrifera* (m±s ; n=40) de la deuxième cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude de janvier à décembre de l'année 2018.

**Tableau 24.** ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey du diamètre ovocytaire chez les femelles de *Perinereis cultrifera* (m±s ; n=40) au niveau des trois sites d'étude de janvier à décembre de l'année 2018.

	Mois	Sites			P
		El-Kala	Annaba	Skikda	
Cohorte 1	Janvier	A	A	B	<b>0,000***</b>
	Février	A	A	B	<b>0,000***</b>
	Mars	A	AB	B	<b>0,011**</b>
	Avril	A	A	B	<b>0,000***</b>
	Mai	A	A	B	<b>0,000***</b>
	Juin	A	B	C	<b>0,000***</b>
Cohorte 2	Février	A	AB	B	<b>0,035**</b>
	Mars	A	AB	B	<b>0,055NS</b>
	Avril	A	A	A	<b>0,383NS</b>

	Mai	A	A	A	0,064NS
	Juin	A	AB	B	0,034NS
	Juillet	A	A	B	0,000***
	Aout	A	A	B	0,003**
	Septembre	A	AB	B	0,021**
	Octobre	A	A	B	0,022**
	Novembre	A	A	A	0,237NS
	Décembre	A	A	A	0,560NS

NS : non significative ( $P > 0,05$ ) ; \* : très Significative ( $P < 0,05$ ) ; \*\* : hautement significative ( $P < 0,01$ ) ; \*\*\* : très hautement significative ( $P < 0,001$ ).

L'analyse de la variance à deux critères de classification (Sites/Mois) réalisée sur la première cohorte à révèle un effet site et un effet mois très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) mais aucun effet pour l'interaction site/mois n'a été révélé ( $P > 0,05$ ) (Tableau 25).

**Tableau 25.** ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du diamètre ovocytaire chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=40$ ) de la première cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude La Montagne (El-Kala), (Rezgui Rachid) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	153639	76819	70,33	0,000***
Mois	5	231756	46351	42,44	0,000***
Interaction sites/mois	10	10025	1003	0,92	0,517NS
Erreur résiduelle	252	275253	1092		
Totale	269	670673			

DDL : degré de liberté ; SCE : somme des carrés des écarts ; CM : carré moyen ; Fobs : test de Fisher ; P : seuil de signification.

L'analyse de la variance à deux critères de classification (Site/Mois) réalisée sur la deuxième cohorte à révélé un effet site et un effet mois très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) mais aucun effet pour l'interaction site/mois n'a été révélé ( $P > 0,05$ ) (Tableau 26).

**Tableau 26.** ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du diamètre ovocytaire chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=40$ ) de la seconde cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude La Montagne (El-Kala), (Rezgui Rachid) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2018.

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	48841	24420	30,69	0,000***
Mois	10	1104329	110433	138,78	0,000***
Interaction sites/mois	20	11997	600	0,75	0,769NS
Erreur résiduelle	462	367630	796		
Totale	494	1532796			

*DDL* : degré de liberté ; *SCE* : somme des carrés des écarts ; *CM* : carré moyen ; *Fobs* : test de Fisher ; *P* : seuil de signification.

#### 2.4. Description d'une nouvelle espèce

L'holotype mesure 56 mm de taille et possède 58 sétigères. Le corps est de couleur brunâtre (Figure 61A), avec une pigmentation brune sur le dos du prostomium (sauf mi-postérieur ; Figure 61B), la partie interne des palpophores (Figure 61A), la moitié proximale des palpostyles et des antennes (Figure 61A, B), pygidium, et sur le dos de tous les segments. Le prostomium est aussi long que large (Figure 61B). L'espèce possède des yeux appariés noirs et des cirres tentaculaires minces (Figure 61A).

Ses mâchoires sont de couleur rougeâtre foncé dans la moitié distale sans denticules, cavité pulpaire à deux canaux (Figure 61C). La présence de petits paragnathes sur l'anneau maxillaire et buccal ; constitué de cônes, à l'exception des barres sur la zone VI et les zones VII–VIII (Figure 61D–I). Zone I : 2, rangée longitudinale de cônes, un distal plus petit ; zones IIa : 5 et IIb : 8, une ou deux rangées irrégulières de cônes irréguliers en patch oblique ; aire III : 4, quatre cônes légèrement inégaux en tache subcirculaire, sans groupes latéraux isolés distincts ; zones IVa : 12 et IVb : 17, trois rangées transversales irrégulières de cônes inégaux en patch légèrement incurvé ; aire V : 0 ; zones VIa : 1 et VIb : 1, barres en forme de croissant (Figure 61F), droites à base concave mais asymétriques et pointues (Figure 61G) ; zones VII–VIII : 38, deux bandes bien séparées de paragnathes grossiers et inégaux, avec une bande antérieure constituée de deux rangées transversales presque alignées de cônes et de barres en

p (Figure 61E, I), bande postérieure à deux rangées transversales de cônes décalées l'une de l'autre. Motif de crête des zones VI – V – VI, en forme de  $\pi$  (Figure 61D, H). La présence de caeca œsophagien apparié (Figure 61J). Des Parapodes présentstout le long du corps (Figure 61K).

Les notopodes sont constitués d'une cirre dorsale, d'une ligule dorsale (distale et proximale) et d'un lobe préchétral notopodial (Figure 62A – E).

Les lames des serpes homogomphes (Figure 62F) et hétérogomphes (Figure 62G) sont finement denteléesavec des dents régulièrement espacées. Les lames des arête hétérogomphes sont courtes, convexes (Figure 62H–K).

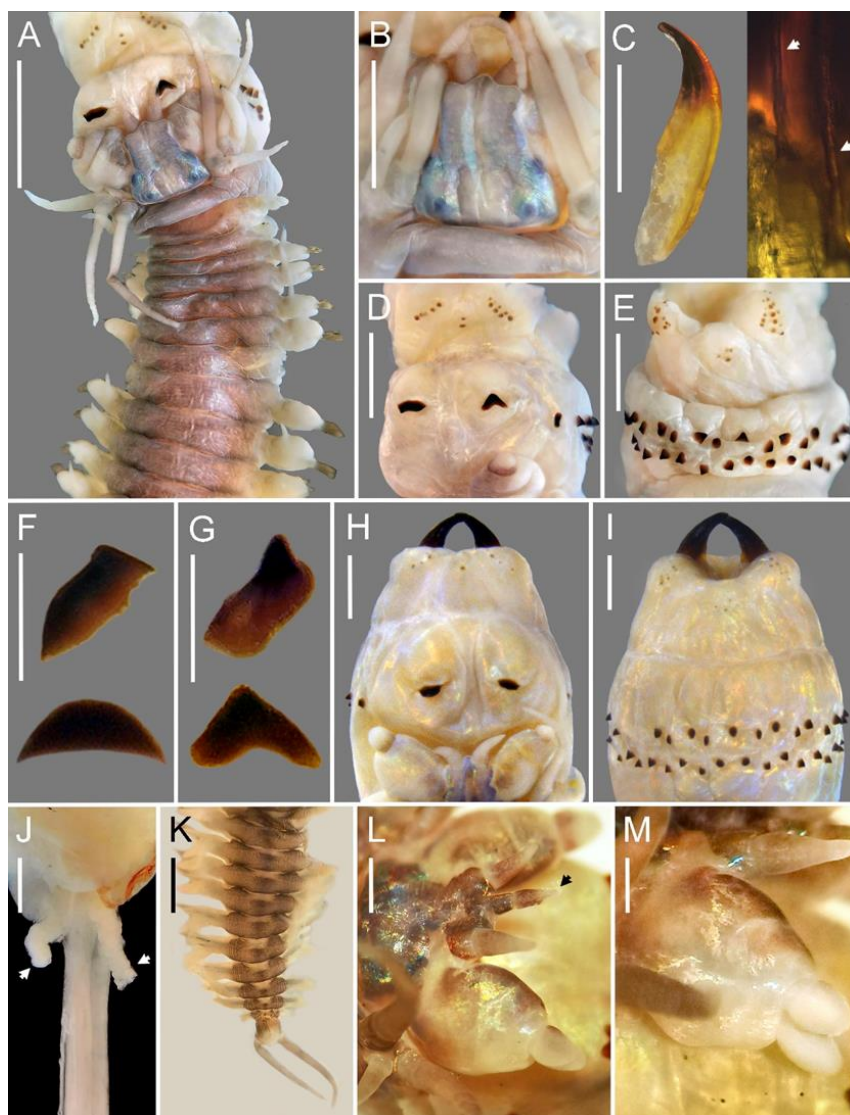
Le pygidium est bien développé et aussi long que les 3 derniers sétigères. Il porte des cirres anaux épais et courts, de longueur égale aux 6 derniers sétigères (Figure 61K).

- **Anomalies**

Trois anomalies ont été observées dans un seul spécimen : la première anomalie représente trois antennes de taille similaire, avec celle du milieu plus fine que les latérales (Figure 61L) ; la deuxième anomalie représente deux palpostyles à droite, palpophore (Figure 61M) ; et la troisième anomalie constitue trois cirres tentaculaires du côté droit (Figure 61M).

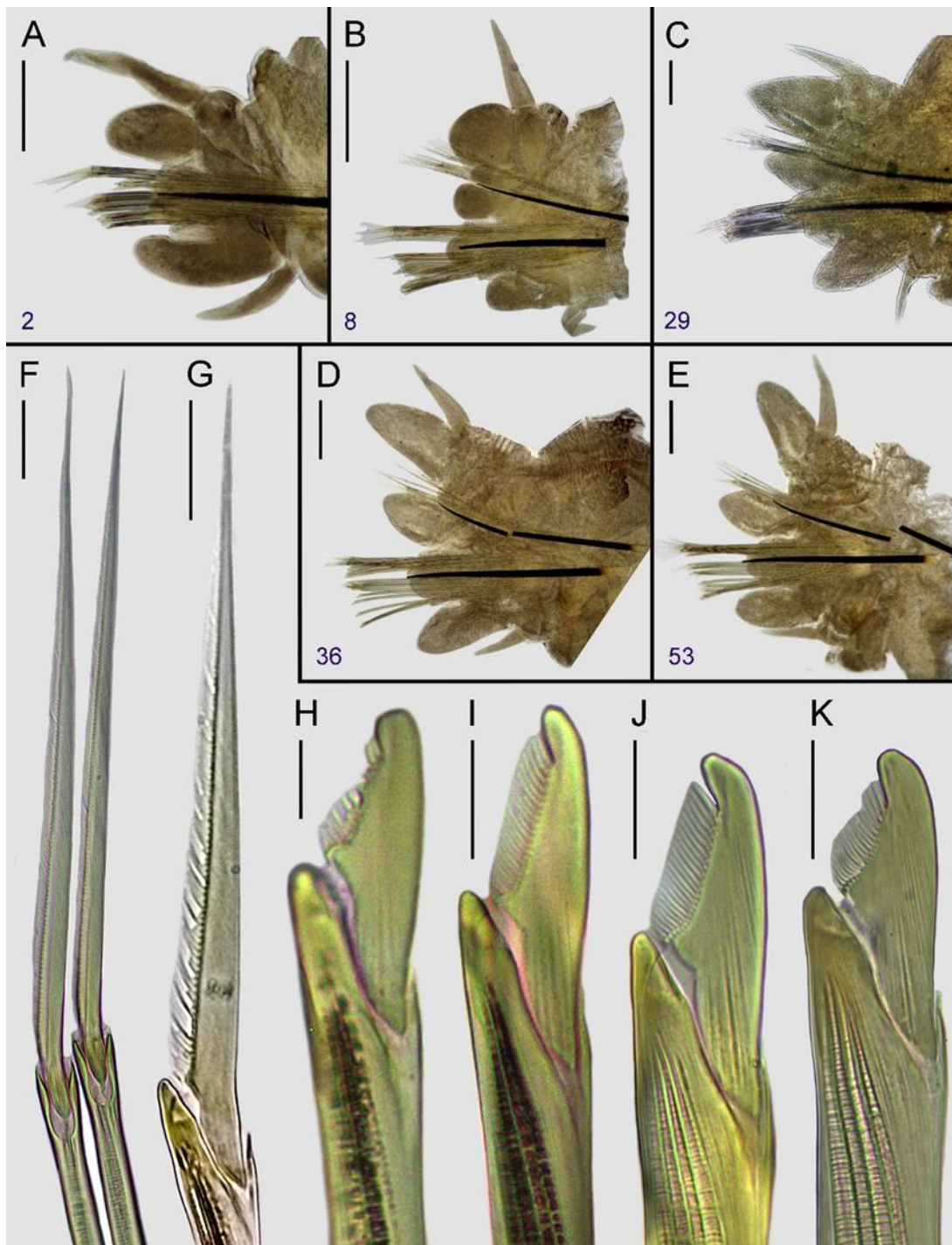
- **Étymologie**

Le nom de l'espèce combine les noms de mes parents Louiza et Omar, pour honorer leur dévouement, l'amour et la vie chaleureuse qu'ils m'ont apporté.



**Figure 61. A, M:** *Perinereis louizomarum*. Barres d'échelle : **A, B, C, F, G** : 0.7 mm ; **H, I, J, K, L, M** : 0.2 mm ; **D, E** : 0.5mm.

(**A**) Extrémité antérieure en vue dorsale; (**B**) prostomium en vue dorsale; (**C**) machoire droite en vue dorsale, les canaux internes indiqués par des flèches; (**D**) proboscis en vue dorsale; (**E**) proboscis en vue ventrale; paragnathe en forme de barre du côté gauche (**F**) et du côté droit (**G**) de la zone VI, ci-dessus en vue front-latérale et ci-dessous en vue frontale ; (**K**) pygidium en vue dorsale. (**H**) proboscis sur vue dorsale et (**I**) ventrale. (**J**) caeca oesophagien apparié en vue dorsale (indiqué par des flèches). (**L, M**) Paratype de Skikda, Algerie, atoque : (**L**) Prostomium en vue latérale avec trois anomalies de l'antenne (indiqué par des flèches); (**M**) palpophore et palpostyle droits en double.



**Figure 62.** A, E : Parapodes de *Perinereis louizomarum* ; F, K : Les soies. Barres d'échelle A: 0.5mm; B: 0.6mm; C, D: 0.4mm; E: 0.3mm; F: 30 $\mu$ m; G: 40  $\mu$ m; H: 10  $\mu$ m; I, J, K: 20 $\mu$ m.

(A) parapodium du sétigère 2; (B) parapodium du sétigère 8; (C) parapodium du sétigère 29; (D) parapodium du sétigère 36; (E) parapodium du sétigère 53; (F) serpe homogomphe du noto-soie (sétigère 53); (G) serpe heterogomphe du neuro-soie; (H) arête heterogomphe du

supracicular neuro-soie (sétigère 2); **(I)** arête heterogomphe du subacicular neuro-soie (sétigère 2); **(J)** arête heterogomphe du subacicular neuro-soie (sétigère 8); **(K)** arête heterogomphe du subacicular neuro-soie (sétigère 53).

## 2.5. Analyse moléculaire

### 2.5.1. Mt COI

L'analyse moléculaire a été réalisée sur 62 individus appartenant à 5 espèces (Tableau 27) identifiées sur des critères morphologiques. Les séquences obtenues ont une taille de 513 bp. Après relecture, les séquences ont permis de barcoder les 5 espèces d'annélides prélevées (tableau 27). Parmi celles-ci, les 2 plus abondantes présentent des effectifs suffisant pour être analysées au niveau intraspécifique.

**Tableau 27.** Nombre d'individus barcodés par sites et par espèce.

Sites Espèces	El-Kala	Annaba	Skikda	Total
<i>Perinereis cultrifera</i>	7	24	0	31
<i>Nereis falsa</i>	0	20	0	20
<i>Perinereis floridana</i>	0	2	0	2
<i>Pseudonereis anomala</i>	0	0	2	2
<i>Perinereis louizomarum</i>	7	0	0	7
<b>Total d'individus</b>	14	46	02	62
<b>Total d'espèces</b>	2	3	1	

Seule une espèce (*P. cultrifera*) a été échantillonnée sur deux sites (El-Kala et Annaba) en vue de l'analyse moléculaire. Toutes les autres espèces (*N. falsa*, *P. floridana*, *P. anomala* et *P. louizomarum*) n'ont été prélevées que sur un seul site. Les numéros d'accession des séquences de barcoding sur NCBI sont représentés dans le tableau 28.

**Tableau 28.** Numéros d'accèsion des espèces de nereididae prise de la banque de donnée NCBI.

Espèce	Site	Nombre de séquences	Numéro d'accèsion (COI)
<i>Perinereis cultrifera</i>	Annaba	24	OP458354 - OP458363
			OP458365, OP458367
			OP458423 - OP458432
			OP458435, OP458436
	El-Kala	07	OP458337, OP458338, OP458340, OP458342, OP458343 - OP458345
<i>Nereis falsa</i>	Annaba	20	OP437553 - OP437556 OP458201 - OP458206 OP458243 - OP458249 OP458315 - OP458317
<i>Pseudonereis anomala</i>	Skikda	02	OP458207 - OP458208
	NCBI	03	JX420259, JX420260, JX420263
<i>Perinereis floridana</i>	Annaba	02	OP458320 - OP458321
<i>Perinereis louizomarum</i>	El-Kala	07	OP459427 - OP459429 OP459432-OP459435
<i>Myrianida rubropunctata</i>	NCBI	01	GQ856203

### 2.5.2. Analyse interspécifique des séquences d'Annélides issus des 3 sites

L'analyse interspécifique est basée sur les 62 séquences COI. L'alignement des séquences est présenté dans l'annexe 1. Ces séquences sont composées de 26,92 % (A), 33,59 % (T), 23,23 % (C) et 16,26 % (G). L'alignement des séquences a souligné des sites variables dont 136 sites informatifs. Concernant la variabilité totale, il y a plus de différence entre les populations avec une valeur de 96.88 % qu'à l'intérieur des populations avec une valeur de 3.12 %.

#### 2.5.2.1. Distances génétiques interspécifiques

Les distances génétiques par paires sont répertoriées dans le tableau 29.

**Tableau 29.** Distances génétiques interspécifiques par paires (K2P distances).

	<i>P. cultrifera</i> (Annaba)	<i>P. cultrifera</i> (El-Kala)	<i>P. floridana</i>	<i>P. louizomarum</i>	<i>Ps anomala</i>
<i>P. cultrifera</i> (El-Kala)	0.36				
<i>P. floridana</i>	0.63	0.95			
<i>P. louizomarum</i>	0.53	0.79	0.91		
<i>Ps. anomala</i>	0.96	0.99	0.96	0.98	
<i>N. falsa</i>	0.97	0.99	0.98	0.99	0.98

### 2.5.2.2. Phylogénie

#### 2.5.2.2.1. Phylogénie des espèces de néréididae de la côte Est algérienne

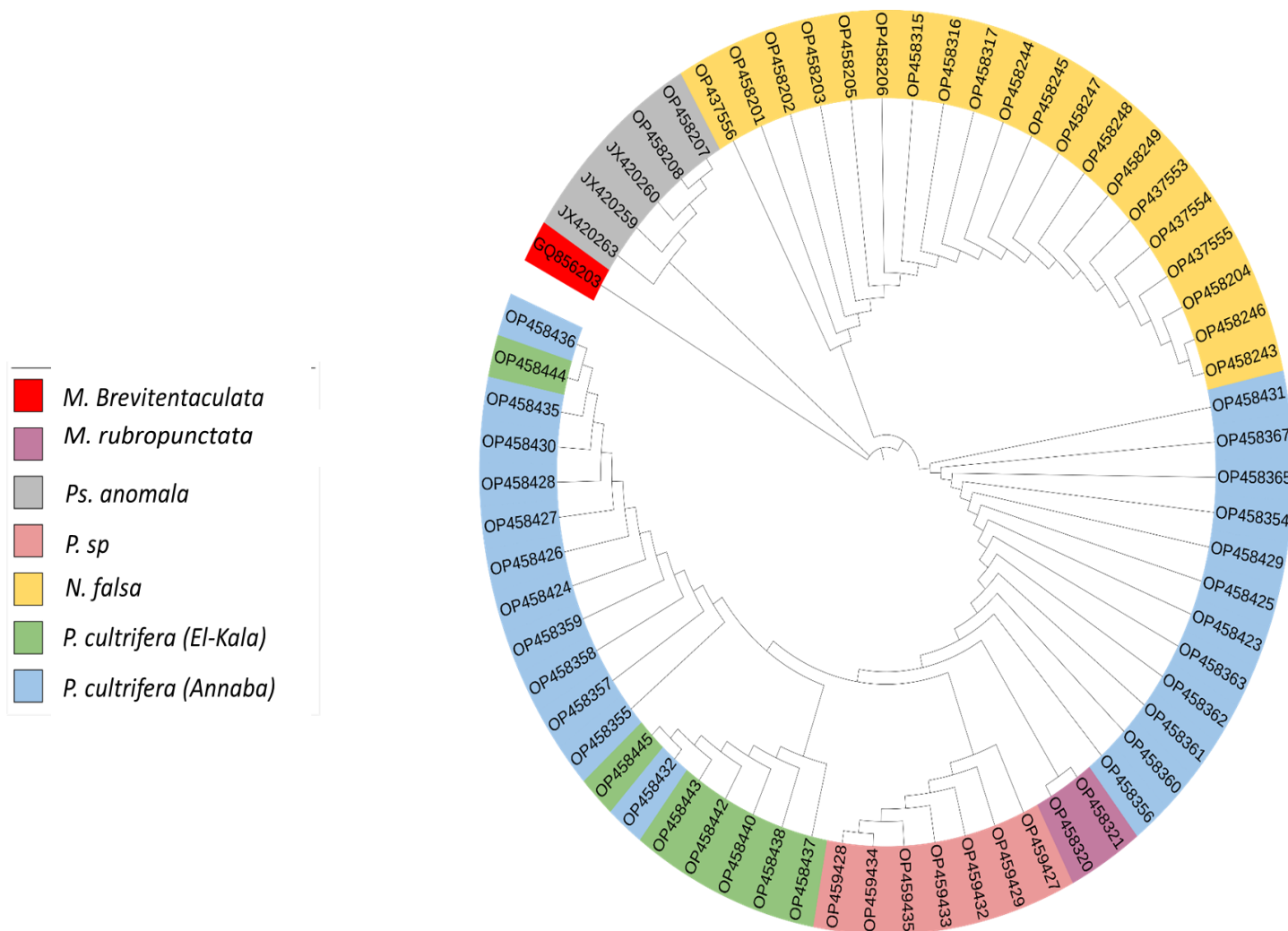
Un arbre phylogénétique des 5 espèces a été construit en utilisant la méthode Neighbor-Joining (Saitou & Nei 1987) qui est basée sur le principe d'évolution minimale. L'enracinement de l'arbre est réalisé par l'espèce hors-groupe *Myrianida rubropunctata* (GQ856203).

La construction de l'arbre phylogénétique a permis d'observer une distribution cohérente des séquences analysées avec des séquences regroupées comme pour les espèces *N. falsa*, *Ps. anomala* et *P. louizomarum* (Figure 63). L'ensemble des séquences de *P. cultrifera* forment aussi un groupe homogène, cependant interrompu par les 2 séquences de *P. floridana* qui présentent une grande proximité génétique entre elles mais aussi avec celles de *P. louizomarum*. Les séquences *P. cultrifera* prélevés à El-Kala sont regroupées à l'exception d'une (OP458444), tandis que les séquences de *P. cultrifera* prélevés à Annaba sont regroupées à l'exception d'une (OP458432). Cependant, les séquences de *Ps. anomala* issues des banques de données avec les numéros d'accèsion JX420259, JX420260 et JX420262 se sont groupés avec nos échantillons de la même espèce (Figure 63).

**Tableau 30.** Numéros d'accèsion des espèces de *Perinereis* prise de la banque de donnée NCBI.

Espèce	Nombre de séquences	Numéro d'accèsion (COI)
<i>Perinereis aibuhitensis</i>	06	KC800611-KC800614 KY129885, KF611806
<i>Perinereis vallata</i>	06	HQ705192, HQ705194, HQ705195, JX676143, JX676159, JX676180
<i>Perinereis suluana</i>	06	JX420245-JX420247 JX420251-JX420253
<i>Perinereis wilsoni</i>	06	KY129887-KY129889

		KC800623, KC800629, KC800631
<i>Perinereis cultrifera</i>	06	KY129883, KC800624, KC800625, KC800627, MN256545, MN256546
<i>Perinereis louizomarum</i>	07	OP459427 - OP459429 OP459432-OP459435
<i>Myrianida rubropunctata</i>	01	GQ856203



**Figure 63.** Arbre phylogénétique basé sur les séquences de COI chez les espèces d’annélides analysées dans cette étude.

**2.5.2.2.2. Positionnement phylogénétique de *Perinereis louizomarum***

La figure 64 montre un arbre phylogénétique de toutes les espèces de *Perinereis* venant de la banque NCBI (Tableau 30) qui forment des groupes distincts. Nous confirmons que *P. louizomarum* est une espèce à part sur la base des preuves morphologiques et moléculaires obtenues dans cette étude.

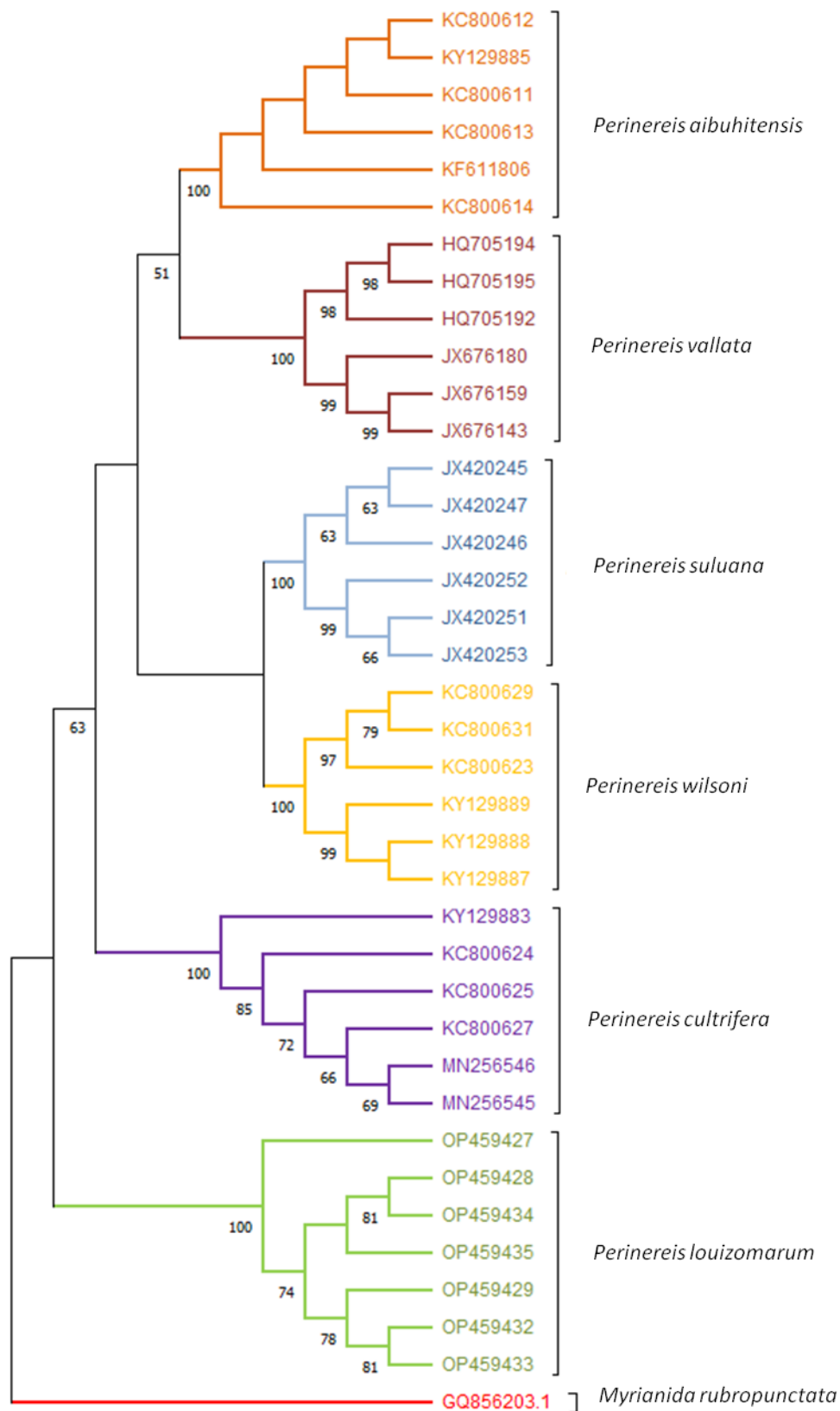


Figure 64. Arbre phylogénétique basé sur la séquence COI de six espèces de *Perinereis*.

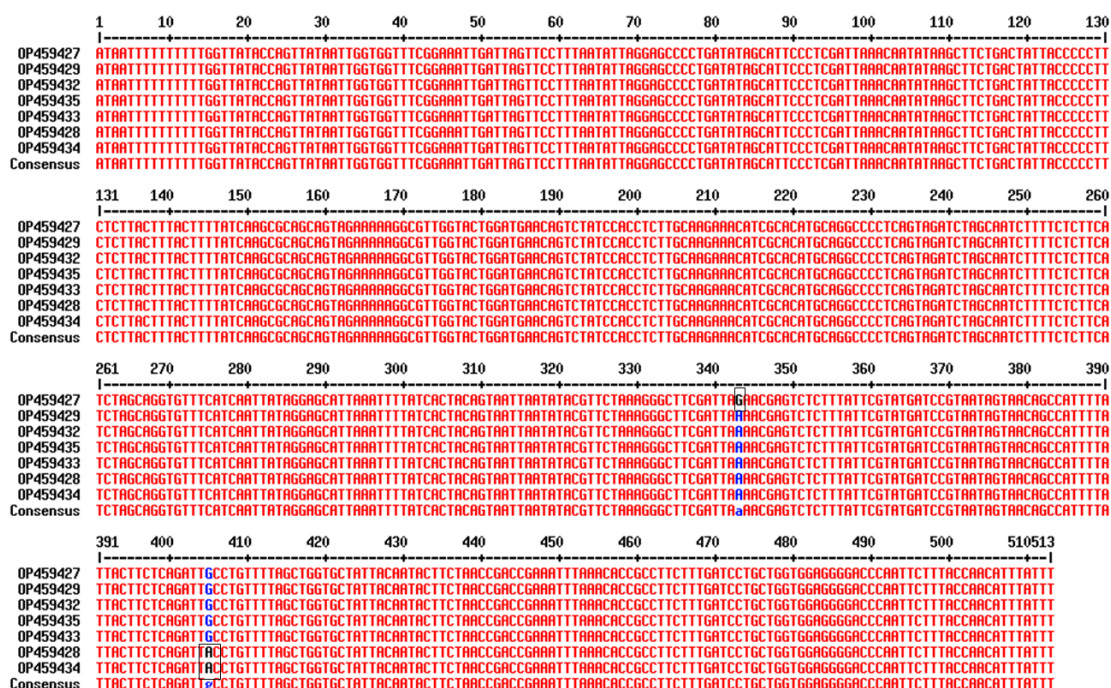
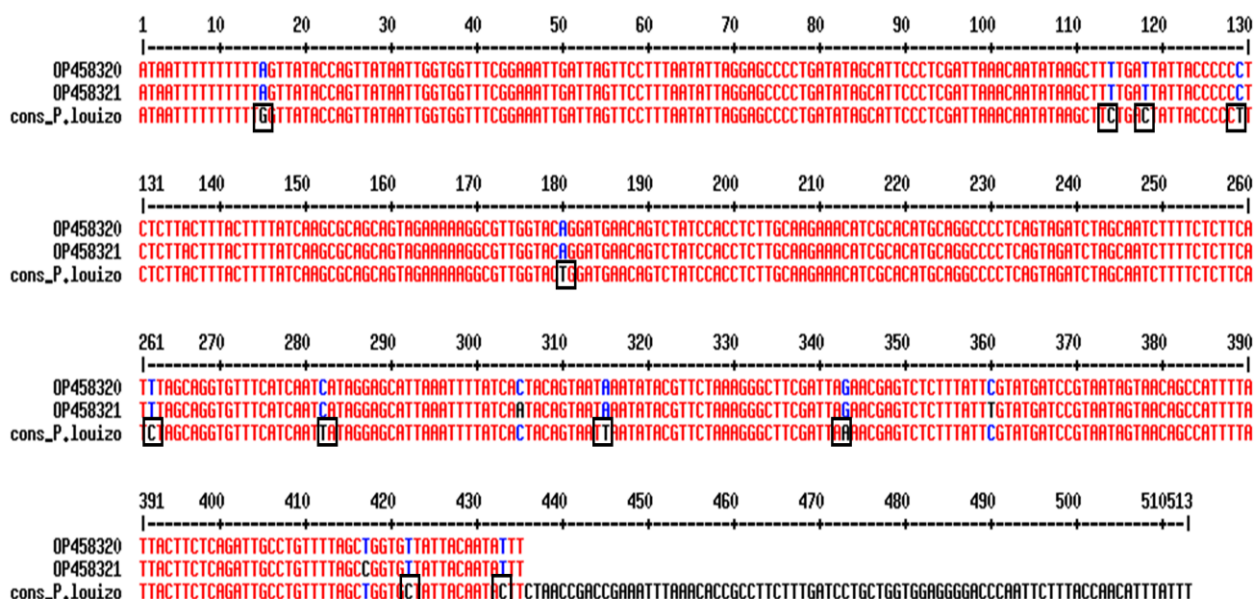


Figure 65. Alignement des séquences de *Perinereis louisomarum*.

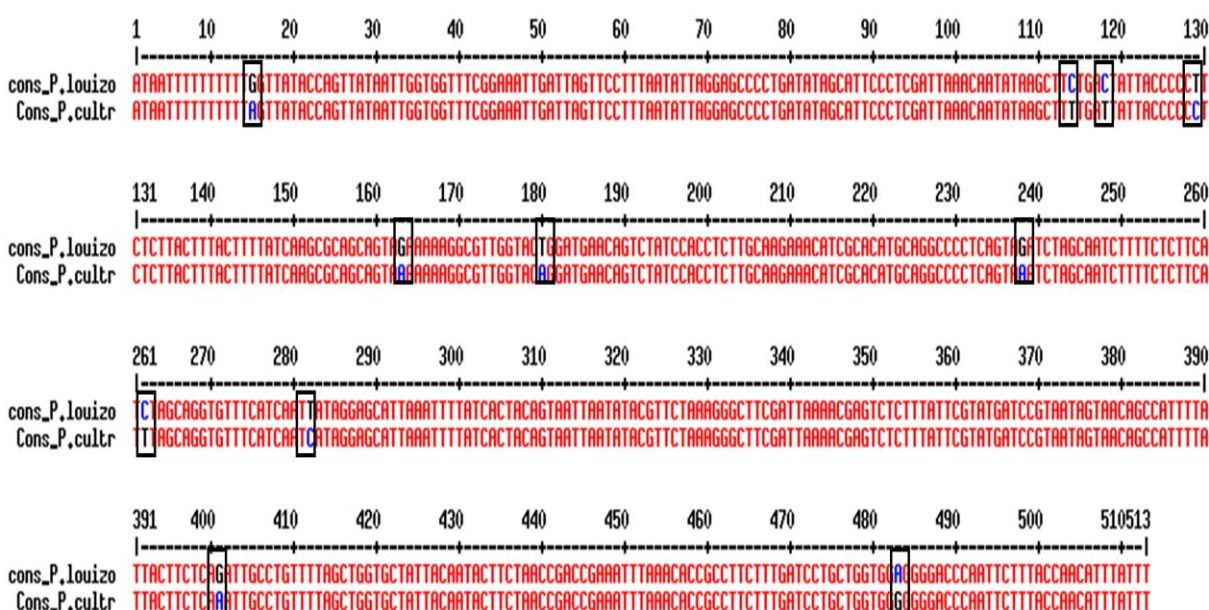
L'alignement des séquences de *P. louisomarum* représente une grande identité entre les séquences avec quelques différences dans les deux positions 343 et 405 (Figure 65).

Lorsque nous avons comparé la séquence COI consensus issue de *P. louisomarum* (cons\_ *P.louizo*) avec les deux séquences de *P. floridana*, nous avons identifié des variations à 11 positions spécifiques, à savoir les positions 15, 114, 118, 129, 180, 262, 282, 315, 343, 422 et 433 (Figure 66). Par ailleurs, l'alignement de la séquence COI consensus de *P. louisomarum* (cons\_ *P.louizo*) avec le consensus des 31 séquences de *P. cultrifera*, qui est la deuxième espèce la plus proche, a révélé quelques différences aux positions 15, 114, 118, 129, 163, 180, 238, 262, 282, 401 et 483. (Figure 67 ; Tableau 30).

## Résultats



**Figure 66.** Alignement des deux séquences de *P. florida* avec la séquence consensus de *P. louizomorum* (cons\_P.louizo).



**Figure 67.** Alignement des deux séquences de *P. cultrifera* (cons\_P.cultr) et *P. louizomorum* (cons\_P.louizo).

### 2.5.3. Analyse intraspécifique

L'analyse des populations et de leur diversité génétique est réalisée pour les 2 espèces collectées avec un effectif supérieur à 20 individus : *N. falsa* et *P. cultrifera*. Les indices de diversité intraspécifique sont indiqués dans le tableau 31.

**Tableau 31.** Indices de diversité génétique pour *P. cultrifera* et *N. falsa* prélevés sur les sites de El-Kala et d'Annaba. **N** : nombre de séquences obtenues, **Nh** : nombre d'haplotype, **S** : nombre de sites polymorphiques,  $\pi$  : diversité nucléotidique, **DH** : diversité haplotypique (génétique).

Espèces	Paramètres	Annaba	El-Kala	Les 2 sites
<i>P. cultrifera</i>	<b>N</b>	24	7	31
	<b>Nh</b>	4	2	4
	<b>S</b>	9	1	9
	$\pi$	0.0088	0.00056	0.0085
	<b>DH</b>	0.67	0.28	0.73
<i>N. falsa</i>	<b>N</b>	20		
	<b>Nh</b>	4		
	<b>S</b>	6		
	$\pi$	0.001		
	<b>DH</b>	0.28		

Les populations El-Kala et Annaba montrent des différences notables en termes de diversité génétique au niveau des nucléotides et des haplotypes. Les indices calculés soulignent une diversité haplotypique du même ordre de grandeur pour les 2 espèces analysées. Cependant la divergence entre les séquences COI sont plus élevées pour *P. cultrifera* que pour *N. falsa* avec des valeurs de diversité nucléotidique  $\pi$  de 0,0085 pour *P. cultrifera* et 0.001 pour *N. falsa*. La diversité haplotypique combinée d'El-Kala et Annaba est élevée, principalement en raison de la diversité élevée dans la population Annaba. Les valeurs de diversité génétique de *N. falsa* dans la population Annaba suggèrent une moindre variabilité génétique si on veut la comparer avec la diversité génétique de la même population mais avec une espèce différente (*P. cultrifera*).

Seule l'espèce *P. cultrifera* a été échantillonnée en exemplaires suffisants pour une analyse comparative sur 2 sites. Les données soulignent une plus grande diversité nucléotidique et haplotypique pour *P. cultrifera* d'Annaba que d'El-Kala.

### 2.5.3.1. Diversité génétique chez *P. cultrifera*

Les séquences COI de 31 individus de *P. cultrifera* ont été analysées. Ces séquences ont une longueur de 513 pb. Les fréquences nucléotidiques sont A = 28,27 %, T = 35,28 %, C = 20,98 % et G = 15,47 %. Le marqueur génétique met en évidence 13 transitions et 6 transversion pour la population d'Annaba et 3 transitions pour la population d'El-Kala. Aucune transversion n'a été observée pour cette population. La valeur de D de Tajima concernant la population d'El-Kala est de l'ordre de -1.006 et celle d'Annaba est de 2.86 ce qui nous laisse suggérer qu'il existe des pressions évolutives ou environnementales différentes qui agissent sur eux. La valeur D de tajima total des deux populations El-Kala et Annaba est de l'ordre de 2.93 et souligne une sélection ou une diminution démographique. Le réseau haplotypique de *P. cultrifera* est construit avec les séquences COI (Figure 68). Ce réseau révèle 2 groupes (A et B), le groupe A est présent dans les 2 sites et comporte l'haplotype majoritaire H 3. Le groupe B est présent à Annaba (Figure 68). Il y a 4 haplotypes dont 4 sont à Annaba et 2 sont à El-Kala.



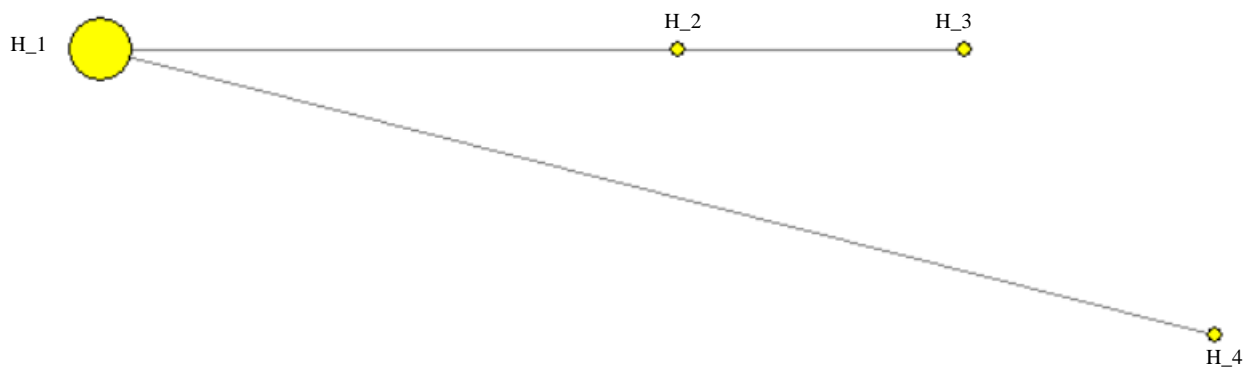
**Figure 68.** Réseau d'haplotypes construit avec le COI représentant les relations de divergences génétiques entre les différents haplotypes de *P. cultrifera* (H : haplotype).

Le code couleur permet de visualiser la répartition géographique de ces haplotypes (El-Kala en vert et Annaba en jaune)

### 2.5.3.2. Diversité génétique chez *Nereis falsa*

Les séquences de COI de 20 individus de *N. falsa* ont été amplifiées. Tous ces individus ont été prélevés sur le site d'Annaba. Ces séquences ont une longueur de 513 pb. Le marqueur COI présente 6 transitions et aucune transversion. Les fréquences nucléotidiques

sont A = 24,36 %, T = 30,19 %, C = 27,89 % et G = 17,55 %. La valeur de D de Tajima est de l'ordre de -1,55 ( $P > 0,10$ ), nous suggérons qu'il existe des caractères génétiques différents. Le réseau haplotypique de *N. falsa* est construit avec le marqueur COI (figure 69). Ce réseau présente un faible polymorphisme avec 1 haplotype majoritaire.



**Figure 69.** Réseau d'haplotypes construit avec le COI représentant les relations de divergences génétiques entre les différents haplotypes de *N. falsa* prélevé du site d'Annaba (H : haplotype).

## **DISCUSSION**

#### IV. DISCUSSION

La qualité de l'eau de mer en Algérie est menacée par les rejets urbains et industriels directement en mer qui représentent une des principales causes de la détérioration de l'écosystème côtier. Cela engendre des dysfonctionnements des différents compartiments physiques et biologiques de cet écosystème. Plusieurs travaux scientifiques réalisés ont confirmé cette situation (Boutefnouchet *et al.*, 2005 ; Taleb & Boutiba, 2007 ; Sifi *et al.*, 2007 ; Alioua *et al.*, 2008 ; Bordjiba *et al.*, 2009, Guemmouda *et al.*, 2014). Afin de comprendre l'impact de la détérioration des écosystèmes sur les organismes marins, il est nécessaire de mettre en évidence les fluctuations des facteurs environnementaux qui agissent sur la biodiversité de ces espèces (Salvat, 1967). L'évaluation de la qualité du milieu marin peut donc être reflétée par l'étude de ses composantes abiotiques et biotiques (Pai, 2007).

##### **Analyse des paramètres physico-chimiques**

La température de l'eau joue des rôles importants dans la modification des propriétés chimiques et physiques, ainsi que dans les réactions biologiques et contrôle l'apport en oxygène, le métabolisme et les autres mécanismes d'adaptation thermique associés chez les invertébrés (Ekau *et al.*, 2010 ; Abboudi *et al.*, 2014). Elle a une action sur la solubilité de l'oxygène mais aussi sur d'autres éléments, dans l'eau, elle est inversement proportionnelle à la solubilité des gaz (Alger, 1992). L'augmentation progressive de la température favorise avec d'autres facteurs la productivité primaire et donc une augmentation de nourriture pour la faune aquatique (Bremond & Vuichard, 1973). La température est un facteur écologique important ; elle contrôle l'intensité de la reproduction (la quantité de gamètes produits) (Mackie & Scloesse, 1997). L'examen des valeurs de la température enregistrées dans les trois sites étudiés révèle qu'il n'y a pas de grandes variations. Cependant une tendance à diminuer en hiver et une tendance à augmenter en été est observée. Nos résultats sont en accord avec les travaux observés dans le golf d'Annaba par Khati-Hadj Moussa (2009), et Boumaza (2014). Les variations de température observées au niveau d'El-Kala et Skikda sont comparables à celles trouvées dans la même région par Snani (2016) et Ramdani (2021). Les variations observées ne semblent pas refléter une altération du milieu.

Le pH est l'une des caractéristiques environnementales essentielles à la survie, au métabolisme, à la physiologie, à la croissance des organismes aquatiques et aux processus chimiques (Ramanathan *et al.*, 2005). Il influence un grand nombre de processus biologiques et chimiques (Durrieu De Madron *et al.*, 2011). L'acidification du milieu aquatique pourrait permettre aux éléments toxiques de devenir plus disponibles pour l'absorption par la

biocénose aquatique induisant des conditions toxiques (Faragallah *et al.*, 2009). Selon Barnabé (1991), le pH des eaux côtières méditerranéennes varie entre 7,9 et 8,3. Les valeurs de pH enregistrées dans notre étude reflètent une faible alcalinité de l'eau compatible avec la survie des organismes. Il n'apparaît pas de variations bien définies et les valeurs de pH n'ont pas montré de variation entre les trois sites.

La salinité est un facteur écologique très important qui peut limiter la distribution et la croissance des organismes marins. D'après Qiu & Qian, 1997, elle affecte le développement embryonnaire, ainsi que la distribution et la dynamique des populations (Teske & Wooldridge, 2003 ; Pasquaud, 2006). Aucune différence significative de salinité n'a été mesurée entre les sites pendant la période d'étude. Elle ne peut donc pas constituer un facteur explicatif des différences de structure des peuplements d'Annélides. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude semblent être en accord avec les moyennes mesurées sur les côtes algériennes, notamment sur le golfe d'Annaba (Hadjadji *et al.*, 2014 ; Ounissi *et al.*, 2014 ; Kadri *et al.*, 2015 ; Amri, 2017).

L'oxygène dissous est l'un des facteurs abiotiques les plus importants pour le fonctionnement des communautés benthiques. La mesure de l'oxygène dissous définit les conditions de vie des organismes aquatiques nécessitant de l'oxygène. Ekau *et al.*, (2010) ont signalé que les changements dans la composition des espèces constituaient une réponse commune aux conditions changeantes en oxygène, dont la force dépend de la durée et de l'amplitude des événements hypoxiques. L'oxygène dissous affecte la solubilité et la disponibilité des nutriments. Un faible niveau d'oxygène dissous facilite la libération d'éléments nutritifs provenant des sédiments et affecte donc la productivité des écosystèmes aquatiques (Abou Hend & El-Moselhy, 2015). L'appauvrissement en oxygène est exacerbé dans les situations où les masses d'eau sont fortement stratifiées ou isolées des masses d'eau oxygénées (Levin *et al.*, 2009). Afin de survivre, les organismes s'adaptent, régulent, tolèrent et résistent à ces changements (Odiete, 1999). Les polychètes, les Annelides marins, ont également développé certaines caractéristiques pour faire face à certaines de ces conditions environnementales défavorables. Ahamefula-Nkwoji (2014) a montré que l'adaptation à l'hypoxie était la plus élevée chez *Nereis diversicolor*, suivie par *Platynereis dumerilii* et la plus faible chez *Perinereis cultrifera*. Il pourrait s'agir d'une adaptation à leur niche écologique différente. Les valeurs d'oxygène dissous de l'eau de mer sur le site de Skikda sont nettement inférieures à celles des autres sites, en particulier en été, ce qui serait probablement lié aux charges de matières organiques biodégradables et aux rejets industriels de la plate-

forme pétrochimique (Ramdani *et al.*, 2020). Ceux-ci vont subir une oxydation qui entraînera une diminution de sa teneur dans l'eau.

Les résultats obtenus concernant la température, la salinité, le pH et l'oxygène dissous corroborent les travaux réalisés précédemment sur la côte nord-est de l'Algérie (Younsi, 2014 : Gueddah & Djebbar 2014 ; Guemmouda, 2015 ; Meghlaoui, 2015 ; Kadri *et al.*, 2015 ; Snani, 2016 ; Gasmi, 2018 ; Amri, 2017 ; Rezzag Mahcene *et al.*, 2022).

### **Inventaire et biodiversité**

La pollution marine constitue une menace importante pour la biodiversité marine et son habitat, en particulier dans les régions côtières occidentales de la méditerranée (Soto-Navarro *et al.*, 2021). Actuellement, les stratégies mondiales ont évolué de la simple protection à la restauration des écosystèmes, avec comme première étape l'évaluation de l'état de condition des habitats notamment celui de la faune et la flore (Lotze *et al.*, 2011) ; à ce titre les inventaires taxonomiques sont un élément très précieux pour l'estimation de la qualité du milieu marin (Vinagre *et al.*, 2015 ; Cramer *et al.*, 2018).

Nous avons procédé à l'examen des inventaires effectués sur les différents peuplements de la faune associée aux annélides polychètes au niveau des trois sites durant la période d'étude, d'une part, ça nous a permis de déterminer la composition qualitative représentée par une liste taxonomique détaillant les différents taxons et leur présence sur l'ensemble des prélèvements, d'autre part, d'analyser la structure quantitative à l'aide des différents indices écologiques. Les différentes espèces d'Annélides Polychètes occupant le même biotope se répartissent en une seule grande famille : les Nereididae avec une prédominance du genre *Perinereis* ; Par ailleurs, les individus appartenant à l'espèce *N. falsa* sont nombreux au niveau des sites pollués (Annaba et Skikda). Kies *et al.*, 2020, ont observées des taux élevés de la même espèce avec une autre espèce appartenant au même genre (*N. falsa* et *N. pelagica*) dans la région ouest-algérienne des sites pollués (Salamandre et Sonactère). Ils ont montré que certaines espèces d'annélides polychètes rencontrés sur le littoral ouest algérien se développent en conditions physiologiques extrêmes et influencés par des facteurs de stress anthropiques. Par ailleurs Chaibi *et al.*, (2018) a effectué des études dans le port de Radés en Tunisie qui a montré que les annélides polychètes réagissent différemment. Ils ont indiqué que la persistance des perturbations dans cette zone empêchait le peuplement d'évoluer vers un stade plus mature. Ce qui fait de ce taxon un outil biologique efficace pour déceler les signes de dégradation du milieu.

De nombreuses études menées dans les écosystèmes marins littoraux en Méditerranée ont révélé une diversité importante des annélides (Boudouresque, 1997 ; Ramos-Espla & Sanchez-Lizaso, 2002 ; Ayari & Afli, 2003 ; Ballesteros, 2003 ; Grimes, 2011 ; Zaabi-Sendi, 2013 ; Dauvin *et al.*, 2013, Gillet, 2017 ; Goumri *et al.*, 2017 ; Hussein & Bensahla-Talet, 2019 ; Kies *et al.*, 2020 ; Rezzag Mahcene *et al.*, 2022). Grimes (2004) a établi une référence sur la biodiversité marine algérienne, y compris celle du golfe de Skikda (substrat meuble) qui présente une composition en peuplements similaire et homogène à ceux obtenus dans notre étude : dominance des Polychètes (50%) suivie par les Crustacées et les Mollusques, contribution secondaire des Echinodermes et négligeable des Sipinculiens).

L'approche écologique consiste à l'identification de la faune des macroinvertébrés, ainsi que la flore associée à notre matériel biologique qui nous a permis le recensement de 26 espèces au niveau d'El-Kala (La Montagne) durant la période d'étude. En revanche, il a été inventorié entre 16 et 19 espèces respectivement au niveau de Skikda (Bikini) et d'Annaba (Rezgui-Rachid). *Cymbula safiana* (Lamarck, 1819) qui est une espèce de gastéropode menacée de disparition en Méditerranée a été retrouvé dans nos trois sites d'étude. Bouzaza & Mezali (2019) ont étudié la structure en taille et en densité des populations de *C. safiana* dans la côte algérienne. À travers cette étude, ils ont pu signaler pour la première fois sa présence dans quatre stations de la côte algérienne (port de Salamandre, port de Aïn Taya, Figuier Plage et Collo). Les résultats de Bouzaza & Mezali (2019) ont montré que les habitats à substrats lisses et homogènes paraissent abriter les plus importantes densités d'individus de *C. safiana*. Cette espèce semble être bien installée sur les côtes algériennes, comme en témoigne son aire de distribution en nette progression vers l'est de l'Algérie. Cependant, l'urbanisation intense des zones côtières et l'absence de législation relative à son statut de protection pourraient remettre en cause cette situation (Bouzaza & Mezali, 2019).

Concernant la flore associée, nous avons pu recenser que 9 espèces d'algues au niveau d'El-Kala contre 3 espèces au niveau des deux sites Annaba et Skikda. La richesse en espèces au niveau du site La Montagne (El-Kala) le classe comme site de référence. Ces résultats sont en accord avec ceux de Weisshappel & Svavarsson (1998), qui ont notés que la structure de la biocénose benthique peut être aussi influencée par de nombreux facteurs environnementaux, comme la température, la profondeur, le type de sédiment et les apports en matière organique.

Ces données sont en concordance avec celles des travaux antérieurs (Ramdani, 2021 ; Meghlaoui, 2015), où à El-Kala, la richesse et l'abondance sont plus élevés par rapport à

celles des autres sites, et qui selon l'indice de Shannon-Weaver, El-Kala serait considéré comme un site riche en biodiversité.

L'étude des estuaires de l'est algérien montrent un indice ( $H'$ ) plus élevé au niveau du site d'El-Kala qu'à Annaba et à Skikda, en lien avec la dominance des différentes espèces présentes au niveau de chaque site. Les valeurs de ( $H'$ ) sont nulles lorsque l'échantillon ne contient qu'une seule espèce et sont élevées lorsque les individus sont équitablement répartis entre différentes espèces, correspondant alors à un prélèvement équilibré et diversifié. Cependant, il est à noter que les valeurs de ( $H'$ ) varient également en fonction du logarithme choisi. Pour interpréter de tels résultats, Grimes (2010) a considéré une échelle de 4 classes suivantes :  $H' < 1,5 \Rightarrow$  très déséquilibré ;  $H'$  varie entre  $[1,5-2,5] \Rightarrow$  déséquilibré ; entre  $[2,5-4] \Rightarrow$  équilibré ;  $H' > 4 \Rightarrow$  très équilibré. Les calculs de l'indice  $H'$  soulignent ainsi un peuplement équilibré au niveau d'El-Kala et Annaba et un peuplement déséquilibré sur le site de Skikda.

Concernant les données relatives à l'indice d'équitabilité de Pielou, elles montrent que le site d'El-Kala montre qu'il y a un équilibre entre les espèces comparativement à celles d'Annaba et de Skikda. D'après Grimes (2010), lorsque ( $J'$ ) varie entre (0,8 et 1)  $\Rightarrow$  peuplement à répartition normal ; entre (0,6 et 0,8)  $\Rightarrow$  peuplement à répartition subnormal ; entre (0,4 et 0,6)  $\Rightarrow$  peuplement à répartition déséquilibré ;  $J' < 0,4 \Rightarrow$  peuplement à répartition très déséquilibré. Dans cette étude, le peuplement d'El-Kala présente une répartition subnormale tandis que le peuplement d'Annaba et Skikda présentent une répartition déséquilibrée. Elsayed & Dorgham (2019) rapportent que, quand les indices écologiques sont irréguliers entre les différents taxons benthiques, cela pourrait être la raison de la dominance persistante d'une espèce, par le changement rapide des conditions environnementales résultant de l'état d'eutrophisation, de différentes activités humaines et industrielles.

Depuis 1994 à 2019, des études ont été fait sur la flore Algérienne (Kadari-Méziène, 1994 ; Séridi, 2007 ; Grimes, 2012 ; Ould-Ahmed *et al.*, 2013 ; 2019). Durant nos récoltes, nous avons effectué un inventaire des espèces algales rencontrées où nous avons identifié 09 espèces. Dans une étude très récente, effectuée sur le littoral ouest algérien (Oran), ces 09 espèces d'algues ont été également inventoriées (Hussein & Bensahla-Talet, 2019).

Ainsi, une combinaison de la morphologie avec d'autres approches de classification devrait permettre une évaluation taxonomique plus précise (Paiva *et al.*, 2018). Cependant, le

statut taxonomique de nombreuses espèces d'annélides polychètes demeure à ce jour peu développé et celui de certaines espèces n'est toujours pas résolu. Ainsi, le grand nombre d'espèces à répartition cosmopolite reflète en partie nos lacunes dans ce domaine plutôt qu'une réelle tendance à une large répartition géographique. Fréquemment une révision attentionnée révèle qu'une espèce cosmopolite est souvent composée d'un certain nombre d'espèces possédant une aire de répartition géographique limitée (Kupriyanova & Badyaev, 1998). D'autre part, on peut noter que selon la localisation géographique des populations, le mode et la période de reproduction, la durée de vie ainsi que la morphologie de certains individus varient fortement.

### **Les paramètres morphométriques et pondérales**

L'étude des paramètres morphométriques, la taille corporelle, le poids corporel, le nombre de setigère et la longueur  $L_3$  ont été entrepris pour l'espèce *Perinereis cultrifera*. C'est l'espèce la plus abondante et présente sur les 3 sites. Elle permet ainsi une étude comparative au niveau intraspecific.

Bien que les trois populations étudiées ici présentent une évolution similaire, les caractéristiques morphologiques présentent des valeurs plus élevées chez les femelles d'El-Kala que dans les deux d'autres sites. Ceci corrobore plusieurs études selon lesquelles les annélides vivant dans des environnements perturbés ont un stade de prise de poids petit (Durou & Mouneyrac, 2007 ; Durou *et al.*, 2008 ; Gillet *et al.*, 2008 ; Mouneyrac *et al.*, 2009 ; Belfetmi *et al.*, 2021). De même, Peteiro *et al.*, (2006) ont observé que différentes espèces de bivalves exposées à la pollution environnementale présentent une croissance lente.

Dutrieux *et al.*, (1989) indiquent que l'exposition aux polluants organiques d'un néreïdé entraîne une diminution de la taille moyenne en fonction du gradient de pollution. Cela pourrait être expliqué par le fait que dans des environnements pollués, les organismes sont confrontés à des défis supplémentaires qui nécessitent une allocation d'énergie accrue pour la détoxification, la régulation du stress, la restauration de l'homéostasie et la compétition pour les ressources. Cette allocation d'énergie réduite disponible pour la croissance peut entraîner un ralentissement de la croissance ou une croissance suboptimale.

Nos résultats sont en accord puisque les individus de Skikda (site contaminé) sont plus petits que ceux d'El-Kala (site de référence) et la différence entre les deux populations est statistiquement significative.

Chez les espèces de Nereidae, les caractéristiques biométriques diffèrent fortement selon la localisation géographique (Rouabah & Scaps, 2003 ; Çinar & Ergen, 2005, Çinar & Altun, 2007, Rouhi *et al.*, 2008). Des études antérieures menées par Meghlaoui (2015), Gasm

(2018) et Ramdani (2021) sur le dosage des métaux traces et des hydrocarbures de la côte Est d'Algérie. Ces études ont obtenu des valeurs de chrome, de plomb et de cadmium qui sont très élevées dans les deux sites (Annaba et Skikda) comparant aux valeurs enregistrées à El-Kala. Ces valeurs dépassent les valeurs conçues par l'OMS. On peut conclure que parmi les trois sites étudiés (El-Kala, Annaba et Skikda), le site d'El-Kala est considéré comme un site sain ou de référence et les deux autres sites comme sites contaminés ou pollués, à savoir que le site de Skikda est plus pollué que le site d'Annaba. Cela peut être confirmé par l'étude de Belfetmi *et al.*, (2021) qui ont trouvé une différence significative entre les trois sites d'étude (El-Kala, Annaba et Skikda), les vers des sites pollués ont montré une neurotoxicité, des réponses au stress oxydatif et des valeurs de peroxydation lipidique plus élevées. De plus, leurs résultats globaux suggèrent que l'approche multi-marqueurs confirme que les vers d'Annaba et de Skikda ont été exposés à un environnement fortement pollué. Les vers de Skikda avaient les valeurs les plus élevées, indiquant un état de contamination élevé.

#### **Étude de la maturité et de l'évolution sexuelle**

Durant toute la période d'étude, des individus sexuellement différenciés ont été observés en proportion élevée indiquant que la majorité d'entre eux était sur le point de se reproduire. Les observations ont montré que la majorité des annélides était sexuellement mature pendant la période qui s'étale de mars à mai. Nos résultats sont en accord avec les travaux de Rouabah & Scaps, (2003) et Rouabah *et al.*, (2008) sur *P. cultrifera* présentes sur le littoral algérien. Selon ces auteurs, la période de la reproduction la plus intense correspond à l'augmentation de la proportion d'individus matures, ainsi que la différenciation sexuelle des individus de la deuxième cohorte. Lorsque l'apparition de la deuxième cohorte s'accompagne d'une augmentation de la proportion d'individus immatures, elle reflète l'émergence d'une nouvelle cohorte d'individus indifférenciés.

L'étude de l'évolution sexuelle des trois populations de *P. cultrifera* révèle que les femelles sont plus nombreuses que les mâles. Nos résultats sont en accord avec des études antérieures (Mettam *et al.*, 1982 ; Durou *et al.*, 2008 ; Mouneyrac *et al.*, 2009 ; El-Barhoumi *et al.*, 2013; Hamdy *et al.*, 2020). Cependant, Rouabah & Scaps, 2003 ; Rouabah *et al.*, 2008 supposent que c'est peut-être dû au fait qu'il est très difficile d'identifier les plaques spermatiques vu qu'ils ont la même couleur que le liquide cœlomique.

### Étude de la croissance ovocytaire

Les résultats biométriques de la croissance des ovocytes des trois populations de *P. cultrifera* ont montré que les ovocytes ont une croissance asynchrone et la maturité sexuelle est plus intense de mars à mai . Il est généralement établi que la croissance ovocytaire est synchrone chez des espèces apparentées telles que *Platynereis dumerilii* (Fischer & Dorresteijn, 2004) et *Nereis virens* (Hoeger *et al.*, 1999). Cependant, nos résultats croissance ovocytaire chez *P. cultrifera* dans l'est algérien ne semblent pas en accord avec les observations précédentes. Cela peut être lié à la diversité génétique ou aux hormones car, la croissance ovocytaire est liée aux hormones. Cependant, les femelles présentant des ovocytes de grand diamètre disparaissent à partir du mois de juin ; cela peut être expliqué par la mort des femelles reproductrices (Ramdani *et al.*, 2020).

Les résultats de Rouabah & Scaps (2003) ont déterminé le cycle ovogénétique de *P. cultrifera* échantillonné à Rezgui Rachid (Annaba). Ils ont mis en évidence que la croissance des ovocytes s'étend sur une période de 16 mois, et que la reproduction a lieu fin avril début mai. Nos résultats sont en accord avec leurs conclusions. *Perinereis cultrifera* est une espèce semelpare, la reproduction entraîne la mort des individus après la libération des gamètes.

Olive & Garwood (1981) suggèrent que les néréides peuvent se reproduire au cours de plusieurs saisons successives. Ainsi, Golding & Yuwono (1994) rajoutent que même si un individu ne se reproduit qu'une seule fois, les gènes qu'il lègue à sa progéniture sont, comme ceux qu'il partage avec ses frères et sœurs, impliqués dans la reproduction pendant plusieurs saisons. Ces résultats sont en accord avec ceux de Rouabah *et al.*, (2008) qui a démontré que la reproduction chez *P. cultrifera* se déroule tout au long de l'année dans la baie d'Alger. Et Golding & Yuwono (1994) rapporte que la grande majorité des parents proches des Néréidés sont itéropares.

Cependant, elle est plus intense entre les mois de mars et de mai. Des recherches menées par Herpin (1925), dans la Manche, montrent que la reproduction a lieu de mai à juin et parfois en juillet. Toutefois, nous avons également trouvé une proportion élevée de femelles de mars à mai ; on peut donc considérer que la période de reproduction s'étend de mars au mois de mai. De ce fait, la période de ponte peut changer d'année ou de site car la gamétogenèse et la libération de gamètes pourraient être influencées par température, comme chez la plupart des polychètes (Olive, 1997 ; Gibbs, 1968 ; Giangrande & Petraroli, 1991).

Gasmi *et al.*, (2016) ont rapporté que *P. cultrifera* est une espèce bioindicatrice de pollution par les métaux traces. Les résultats obtenus dans l'étude réalisée dans l'Est algérien

corroborent cette hypothèse. En effet, les paramètres de croissance, de reproduction et physico-chimiques sont plus élevées à El-Kala ou les teneurs des contaminants (cuivre, zinc, chrome, plomb et cadmium) sont plus fortes (Ramdani, 2021), qu'au niveau des deux autres sites (Annaba et Skikda). La présence des espèces différentes dans des milieux plus ou moins pollués a déjà été observée, comme celle de *Pseudonereis anomala* qui ne vit que dans les sites pollués. La présence de contaminants offre des conditions particulières favorables à l'installation de *P. anomala* (Çinar & Ergen, 2005 ; Kambouroglou & Nicolaidou, 2006 ; D'Alessandro *et al.*, 2016 ; Kurt *et al.*, 2021).

### Etude génétique

L'arbre phylogénétique de notre étude souligne les relations phylétiques entre les taxons analysés. Les échantillons *P. cultrifera*, présentent une variabilité génétique intraspécifique. D'autres travaux ont mis en évidence l'existence de complexes d'espèces chez les annélides polychètes appartenant à différents genres *Capitella capitata* (Grassle & Grassle, 1976) ; *Glycera dibranchiata* et *G. americana* (Nicklas & Hoffmann, 1979) ; *Nereis diversicolor*, *N. japonica* et *N. limnicola* (Mustaquim, 1988) ; *Neanthes arenaceodentata* (Pesch *et al.*, 1988) ; *arenicola marina* (Cadman & Nelson-Smith, 1990) ; *Nereis acuminata* et *N. caudata* (Weinberg *et al.*, 1990) ; *Hediste limnicola*, *H. diversicolor* et *H. japonica* (Fong & Garthwaite, 1994) ; *Aglaophamus rubella*, *Nephtys hombergii*, *N. assimilis*, *N. caeca*, *N. cirrosa*, *N. ciliata*, *N. pente*, *N. longosetosa* et *N. longosetosa* (Schmidt & Westheide, 1994) ; *Polydora vulgaris* (Manchenko & Radashevsky, 1994) ; *Marenzelleria viridis* (Bastrop *et al.*, 1995) ; *Eulalia viridis* (Bonse *et al.*, 1996) ; *Hediste diversicolor* (Röhner *et al.*, 1997) ; *Hediste japonica* (Sato & Masuda, 1997). Ces études soulignent l'intérêt des outils génétiques pour la discrimination des espèces de polychètes et l'importance de renforcer les connaissances moléculaires pour consolider la classification de ce groupe taxonomique. Les prostomiens marins englobent des espèces cosmopolites répartis sur de vastes aires géographique (Knowlton, 2000). Le potentiel de dispersion varie en fonction des facteurs environnementaux et des caractéristiques propres aux espèces (Knowlton, 1993 ; Palumbi, 1994 ; Russo *et al.*, 1994). Parmi les protostomiens, les polychètes constituent l'un des groupes d'espèces les plus cosmopolites (Ahrens *et al.*, 2013). Cependant, ce statut cosmopolite a été remis en question dans le cadre de plusieurs travaux (Grassle & Grassle, 1976 ; Barroso *et al.*, 2010 ; Nygren *et al.*, 2010 ; Silva *et al.*, 2017). Certaines de ces espèces sont actuellement considérées comme des complexes d'espèces en raison de leur faible

disparité morphologique et de leur forte divergence moléculaire, selon un cadre conceptuel récemment proposé par Struck *et al.* (2018). Lobo *et al.*, (2015) rapportent que dans le cadre de travaux sur *Eulalia viridis*, en l'absence de séquences de comparaison, les divergences génétiques observées n'ont pas pu être attribuées à des inexactitudes d'identification taxonomique ou à la détection d'espèces cryptiques.

Les 2 espèces *P. cultrifera* et *P. floridana* sont caractérisées morphologiquement par le nombre de paragnathes dans le lobe V de la trompe (un seul paragnathe chez *P. floridana* et 3 chez *P. cultrifera*). Cet élément constitue un critère morphologique de limite spécifique. Cependant les données génétiques obtenues montrent une proximité de ces 2 taxons. Toutefois, la distinction en 2 espèces reste admise dans le Registre Mondial des Espèces Marines (World register of Marine Species – WORMS). La proximité génétique observée peut être liée à des erreurs d'identification liées à des problèmes de conservation entraînant une perte partielle de paragnathes ou à un polymorphisme intraspécifique en termes de nombre de paragnathes. La proximité entre les 2 espèces est soulignée par le fait que *P. floridana* a été initialement considérée comme une sous-espèce de *P. cultrifera* (Ehler, 1868). *P. floridana* est également reconnu comme une espèce largement distribuée, enregistrée dans les Caraïbes Mer (Ehlers, 1868), Océan Atlantique (Fauvel, 1932), Mer d'Oman (Fauvel, 1953), Océan Indien (Uschakov & Wu, 1965), Jaune Mer (Imajima, 1972) et océan Pacifique (Wehe & Fiege, 2002). Cependant, actuellement, d'après WORMS (World Register of Marine Worms), *Perinereis floridana* a un statut spécifique à part entière.

Au niveau intraspécifique, les diversités haplotypique et nucléotidique intrapopulationnelle de *P. cultrifera* et de *N. falsa* provenant du littoral algérien ( $HD = 0,73$  et  $0,28 \pi = 0,008$  et  $0,001$ , respectivement) ont été calculés pour la première fois dans le cadre de ce travail. Ils sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus pour d'autres annélides provenant de différentes zones géographiques. La plupart des études de structure des populations des annélides se sont focalisées sur *Hediste diversicolor* qui est utilisée comme référence en termes de niveau de biodiversité intraspécifique. Les populations de *H. diversicolor* collectées de Marseille présentent une valeur de diversité haplotypique de 0.911 et une valeur de diversité nucléotidique de 0.037 (Breton *et al.*, 2003). Au cours de 2 études, des populations de *H. diversicolor* collectés le long de la côte adriatique nord de l'Italie (Virgilio *et al.*, 2006), du Portugal, du Maroc et de la méditerranée occidentale (Virgilio *et al.*, 2009), ont mis en évidence des valeurs de diversité haplotypique respectivement de 0.888 et 0.725 et des valeurs de diversité nucléotidique respectivement de 0.014 et 0.010. Par ailleurs, Tosju &

Furota (2016) ont montré que, pour *Hediste diadroma* collectés aux États-unis (estuaire de la rivière Columbia) et au Japon, la diversité haplotypique respectivement de 0.981 et 0.996 et des valeurs de diversité nucléotidique respectivement de 0.0107 et 0.011. Enfin, l'étude de Chen *et al.*, (2020) a démontré que les populations de *Tylorrhynchus heterochaetus* appartenant à la famille des nereididae collectés à partir de 8 sites tout au long du sud-est de la Chine et le nord du Vietnam a eu des résultats similaires aux nôtres ( $DH = 0.949$  ;  $\pi = 0.009$ ). La diversité haplotypique de *P. cultrifera* kala et *N. falsa* annaba suggère une similarité génétique entre les deux espèces malgré leur différence d'espèce. Cela peut être dû à des ancêtres communs vu qu'ils appartiennent à la même famille des nereididae. On pourrait supposer que la diversification de la qualité environnementale associée à la présence de contaminants entraîne des modifications de la structure des peuplements (différence au niveau spécifique) et des populations (différences haplotypiques et nucléotidiques intraspecifices) qui peuvent engendrer un enrichissement de la biodiversité.

Les tests de neutralité de Tajima (1989) montrent que les échantillons de *P. cultrifera* d'El-Kala et Annaba sont issus de populations soumises à des processus sélectivement neutres. Par contre, la population de *N. falsa*(Annaba) est par des valeurs négatives significatives du D de Tajima. Cet indice souligne alors que la population affiche un excès d'haplotypes rares, ce qui pourrait être un indice d'expansions récentes de la population (Tajima, 1989 ; Bogantes *et al.*, 2020). Ces résultats suggèrent que des augmentations d'effectifs pourraient avoir eu lieu pour la population de *N. falsa*, alors qu'un effet de sélection pourrait avoir entraîné une diminution démographique des populations de *P. cultrifera*. Ces processus sont en accord avec ceux observés par Virgilio *et al.*, (2009) lors de travaux sur *H. diversicolor* dans la mer adriatique.

Le réseau d'haplotypes de *P. cultrifera* est caractérisé par deux groupes de formes génétiques. La population d'El Kala ne présente qu'un seul de ces groupes alors que la population d'Annaba montre un niveau de biodiversité plus élevé avec des échantillons des 2 groupes. Cette organisation de la structure génétique intrapopulationnelle au niveau d'Annaba peut résulter de flux géniques successifs qui enrichissent régulièrement le pool d'haplotypes dans la cette zone géographique. En effet, le point de prélèvement d'Annaba est situé à proximité d'un port dans lequel de nombreux navires accostent et libèrent potentiellement des propagules via leurs eaux de ballast. Ainsi, certains allèles observés dans la population d'Annaba pourraient provenir de zones éloignées en Méditerranée mais aussi d'autres régions du globe. Ce type de phénomène a été observé notamment dans une étude sur les différents

problèmes évolutifs associés aux invasions biologiques (Miura, 2007). Ces travaux montrent que des processus d'invasions originaires de plusieurs régions peuvent considérablement augmenter le niveau de variation génétique intrapopulationnelle. Des études de la variabilité génétique sur des zones géographiques larges pourraient apporter des réponses en ce qui concerne les origines possibles de ces haplotypes.

Du point de vue génétique, les espèces avec une plus grande diversité génétique auront une distribution naturelle plus large, une adaptabilité environnementale, une survie et un potentiel évolutif plus forts. La variation génétique est une condition nécessaire pour s'adapter aux changements dans l'environnement de l'espèce (Meng *et al.*, 2003). Par conséquent, les études sur la différenciation génétique et la diversité génétique des espèces représentent une prémisses et une base importantes pour la conservation et l'utilisation durable des ressources biologiques. Cependant, la diversification de la qualité environnementale associée à la présence de contaminants entraîne des modifications de la structure des peuplements (différence au niveau spécifique) et des populations (différences haplotypiques et nucléotidiques intraspecifics) qui peuvent engendrer un enrichissement de la biodiversité.

Le site d'El-Kala, est influencé par des valeurs d'oxygène dissous plus importants que les deux autres sites (à savoir Skikda et Annaba), résultants un site plus diversifié, sur des individus de taille, de poids et de diamètre ovocytaire plus importants.

## **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

## V. CONCLUSION ET PERSEPCTIVES

Ce travail a porté sur la biologie et la structure des peuplements des annélides polychètes qui sont bien représentés au niveau des estuaires des sédiments meubles et durs des zones intertidales. L'échantillonnage est effectué à partir de trois populations d'annélides polychètes se trouvant sur le littoral Est Algérien représentés par : "la plage La Montagne" à El Kala étant épargnée par la pollution et considérée comme un site moins pollué et "la plage de Rezgui Rachid" à Annaba et "la plage Bikini" à Skikda considérés comme sites affectés par la pollution industrielle et urbaine ayant subi une pression anthropique croissante. Il est donc indispensable de procéder à un suivi environnemental pour mieux traduire la croissance et variation de ces peuplements au niveau du littoral Est d'Algérie. Cette étude comporte plusieurs volets, tels que la détermination des paramètres physico-chimiques et morphométriques, l'étude écologique par l'établissement d'un inventaire des espèces, une analyse des indices écologiques et la comparaison génétique entre les populations des annélides polychètes recensés.

L'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer présente une évolution similaire pour la température, la salinité et le pH, contrairement à l'oxygène dissous, dont les variations des taux a permis d'enregistrer une variabilité très hautement significative entre les différents sites d'étude, traduisant un taux favorable à El Kala contrairement aux autres sites où l'hypoxie entraîne des perturbations chez les invertébrés utilisant les galeries du substrat comme nourricerie et une richesse en biodiversité dans le site contenant un taux d'oxygène élevé.

Par ailleurs, les paramètres morphométriques (poids, taille,  $L_3$  et nombre de sétigères) suivent la même tendance marquée par une augmentation progressive des valeurs en atteignant leur maximum durant la période de reproduction.

L'évaluation des paramètres liés à la maturité sexuelle et la reproduction a été réalisée sur la seule espèce ubiquiste présente *P. cultrifera*, tout en marquant une évolution sexuelle en faveur des femelles et ce au niveau des trois sites d'étude dont les résultats concorde avec ceux de Mettam *et al.*, (1982) ; Durou *et al.*, (2008) ; Mouneyrac *et al.*, (2009) ; El-Barhoumi *et al.*, (2013) ; Hamdy *et al.*, (2020). Par ailleurs, l'évolution de la croissance ovocytaire similaire devient plus prononcée avec des valeurs de diamètre de plus en plus élevées à l'approche de la période de reproduction. Il est à noter que la croissance ovocytaire est de type

asynchrone où les femelles d'El-Kala présentent des diamètres légèrement plus important que ceux d'Annaba et de Skikda (Ramdani *et al.*, 2020)

L'analyse génétique des trois populations des néréidés du littoral Est Algérien souligne l'importance du marqueur génétique COI spécifique dans la mesure des variations intra et inter spécifique. En effet, les individus de chaque espèce forment des groupes à part sauf pour les deux populations de *P. cultrifera* qui se répartissent sans regroupement spécifique des individus par site de récolte. Cela laisse à supposer qu'il existe un déterminisme purement environnemental. La présence d'une seule espèce ubiquiste *P. cultrifera* permet de considérer ce modèle biologique pour évaluer la variabilité génétique intra et interpopulation et le potentiel d'adaptation des populations aux conditions environnementales au niveau du littoral est Algérien.

L'étude morphologique et génétique des espèces de la famille des néréidés nous a mené à découvrir un nouveau taxon propre à la côte algérienne et appartenant au genre *Perinereis* avec une forte similarité à *P. cultrifera*.

En perspectives, il serait intéressant de compléter cette étude en :

- Étendant les sites de récoltes sur le centre et l'ouest du littoral Algérien entre les populations.
- Evaluant l'impact de la pollution sur l'immunité de *P. cultrifera* et des micropolluants organiques et métalliques sur l'expression génique de la métallothionéine.
- Etudiant l'impact de ces polluants sur le coût énergétique de cette espèce durant la période de reproduction.
- Complétant l'étude comparative par l'analyse de marqueurs génétique
- Effectuant des analyses physiologiques pour déterminer comment *P. cultrifera* s'adapte et prospère dans des conditions polluées.

## **RÉSUMÉS**

## RÉSUMÉ

La zone côtière méditerranéenne algérienne est l'une des plus touchées par les pressions démographiques et environnementales et est menacée par environ 232 plateformes d'exploitation d'hydrocarbures. Celles-ci vont affecter quasiment toutes les espèces qui y vivent où la gestion intégrée des zones côtières est apparue comme une approche appropriée pour traiter les problèmes complexes résultant de ces pressions multiples. Les annélides polychètes sont considérés comme indicateurs de changement dans la structure et/ou le fonctionnement des communautés macrobenthiques.

Cette étude a pour but d'une part, d'évaluer l'état de santé du littoral Est Algérien, au niveau de trois sites d'étude El-Kala, Annaba et Skikda et d'autre part, de révéler l'influence du milieu sur la structure et dynamique des peuplements des annélides Polychètes, bioindicateurs de pollution afin d'évaluer la qualité de l'écosystème côtier de la région Est d'Algérie. Les prélèvements de Polychètes et de la faune et la flore associées ont été effectués durant l'année 2018 et 2019.

L'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer montre une évolution similaire pour la température, la salinité et le pH, tandis qu'une variabilité importante a été enregistrée pour l'oxygène dissous dans les trois sites d'étude (El-Kala, Annaba et Skikda).

L'étude de la biodiversité des annélides nous a permis d'identifier cinq espèces : *Perinereis cultrifera*, *Perinereis floridana*, *Pseudonereis anomala*, *Nereis falsa* et *Perinereis louisomarum*, appartenant à la famille des Nereididae. De plus, 27 espèces appartenant à la faune associée ainsi que 9 espèces représentant la flore associée ont pu être identifiées. Autrement, l'analyse des indices écologiques met en évidence une biodiversité plus stable et plus équitable au niveau du site d'El-Kala comparativement au deux autres sites contaminés.

L'étude des paramètres liés à la reproduction indiquent une dominance des femelles au niveau des trois sites mais également la présence d'ovocytes asynchrones et des diamètres légèrement différents en faveur du site d'El-Kala.

Les paramètres morphométriques ont révélé une diminution du poids corporel, de la taille, la longueur "L<sub>3</sub>" et du nombre de sétigères d'une manière significative chez les individus récoltés à Annaba et Skikda par rapport à El-Kala.

L'étude phylogénétique des trois populations de néréidés du littoral Est algérien a montré que le marqueur génétique COI a révélé une variabilité interspécifique importante et l'existence d'un complexe d'espèce pour *P. cultrifera*.

Par ailleurs, l'étude morphologique et génétique d'une nouvelle espèce recensée au niveau de la côte Est Algérienne a été réalisée et confirmant son appartenance au genre *Perinereis* avec une ressemblance étroite avec *P.cultrifera*.

**Mots clés :** Néréidés, Biodiversité, Phylogénie, Littoral Est Algérien.

## Abstract

The Algerian Mediterranean coastal zone is one of the most affected by demographic and environmental pressures and is threatened by approximately 232 hydrocarbon exploitation platforms. These will affect almost all the species that live there where integrated coastal zone management has emerged as an appropriate approach to deal with the complex issues resulting from these multiple pressures. Polychaete annelids are designated as indicators of change in the structure and/or functioning of macrobenthic communities.

This study aims on the one hand, to evaluate the state of health of the Algerian eastern coast, at the level of three study sites El-Kala, Annaba and Skikda and on the other hand, to reveal the influence of medium on the structure and dynamics of the populations of Polychaete annelids, bioindicators of pollution in order to assess the quality of the coastal ecosystem of the eastern region of Algeria. Samples of polychaetes and associated fauna and flora were taken during 2018 and 2019.

The analysis of the physico-chemical parameters of seawater shows a similar evolution for temperature, salinity and pH, while a significant variation was recorded for dissolved oxygen in the three study sites (El-Kala, Annaba and Skikda).

The study of annelid biodiversity allowed us to identify five species: *Perinereis cultrifera*, *Perinereis floridana*, *Pseudonereis anomala*, *Nereis falsa* and *Perinereis louizomarum*, belonging to the Nereididae family. In addition, 27 species belonging to the associated fauna as well as 9 species representing the associated flora were disclosed. Otherwise, the analysis of the ecological indices highlights a more stable and more equitable biodiversity at the level of the El-Kala site with the two other contaminated sites.

The study of the parameters related to reproduction indicate a dominance of females at the three sites but also the presence of asynchronous oocytes and slightly different diameters in favor of the El-Kala site.

The morphometric parameters revealed a significant decrease in body weight, height, length "L3" and number of setigers in individuals collected in Annaba and Skikda compared to El-Kala.

The phylogenetic study of the three populations of nereids from the eastern Algerian coast showed that the COI genetic marker revealed significant interspecific variability and the existence of a species complex for *P. cultrifera*.

In addition, the morphological and genetic study of a new species identified on the Algerian east coast was carried out and confirmed its belonging to the genus *Perinereis* with a close resemblance to *P. cultrifera*.

**Keywords:** Nereidae, Biodiversity, Phylogeny, Eastern Algerian Coast.

## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Abboudi, A., Tabyaoui, H., Hamichi, F., Benaabidate, L., & Lahrach, A. (2014).** Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou, MAROC. *European Scientific Journal* 10, 84-94.
2. **Abou Hend, A. S., & El-Moselhy, K. M. (2015).** Spatial and seasonal variations of heavy metals in water and sediments at the northern Red Sea coast. *American Journal of Water Resources* 3, 73-85.
3. **Ahamefula-Nkwoji, J. (2014).** Physiological Responses of some Benthic Macroinvertebrates to Environmental Hypoxia. *Journal of Environment and Human* 1,9-14.
4. **Ahrens, J. B., Borda, E., Barroso, R., Paiva, P. C., Campbell, A. M., Wolf, A., Nugues, M. M., Rouse, G. W. & Schulze, A. (2013).** The curious case of *Hermodice carunculata* (Annelida: Amphinomidae): evidence for genetic homogeneity throughout the Atlantic Ocean and adjacent basins. *Molecular Ecology* 22, 2280-229.
5. **Alger, D. B. (1992).** The effect of temperature on the solubility of gases in liquids. *Journal of Chemical Education* 69, 62.
6. **Alioua, A., Maizi, N., Semadi, F., Tahar, A., & Kahoul, M. (2008).** Détection et Etude de la Pollution Mercurielle à L'aide des bio Indicateurs dans la région d'Azzaba (Algérie Orientale). *European Journal of scientific Research* 24,12-22.
7. **Altschul, S. F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., & Lipman, D. J. (1990).** Basic local alignment search tool. *Journal of molecular biology*, 215 (3), 403-410.
8. **Amanieu, M., & Lasserre, G. (1982).** Organisation et évolution des peuplements lagunaires. *Oceanologica Acta* 4, 201-213.
9. **Amri, S. (2017).** Utilisation de l'oursin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) en tant que bioindicateur général de la qualité du milieu marin. *Thèse de Doctorat. Université d'Annaba*, 227 p.
10. **Andries, J. C. (2001).** Endocrine and environmental control of reproduction in Polychaeta. *Canadian Journal of Zoology* 79, 254-270.
11. **Ansaloni, I., Pellizzato, M., Predevelli, D., & Zunarelli-Vandini, R. (1986).** Policheti di interesse economico nella laguna di Venezia. *Nova Thalassia* 8, 641-642.
12. **Armellin A. (2010).** Les communautés de macroinvertébrés benthiques : un indicateur de la qualité de l'eau au lac Saint-Pierre. 8p.

13. Arvanitidis, C., Bellan, G., Drakopoulos, P., Valavanis, V., Dounas, C., Koukouras, A., & Eleftheriou, A. (2002). Seascape biodiversity patterns along the Mediterranean and the Black Sea: lessons from the biogeography of benthic polychaetes. *Marine ecology progress series* 244, 139-152.
14. Atroune Farid., (2015). Degré de pollution marine par les métaux lourds dans les sédiments superficiels des principaux ports algériens. Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime Edition 3, Ferrara, Italia, 103-106.
15. Avise J.C., (2000). Phylogeography. The history and formation of species, (464 p), *Harvard University Press, Cambridge, MA, USA*.
16. Ayari, R., & Afli, A. (2003). Bionomie benthique de petit golfe de Tunis. *Bulletin Institut National des Sciences et Technologie de la mer, Salammbô30*, 79-90.
17. Aylagas E., Borja A., Muxika I., Rodríguez-Ezpeleta N. (2018). Adapting metabarcoding-based benthic biomonitoring into routine marine ecological status assessment networks. *Journal of Ecological Indicators*, 95, p 194-202.
18. Ballesteros, E. (2003). The coralligenous in the Mediterranean. *RAC-SPA editor, Tunisia*, 104 p.
19. Banta, G. T, Holmer, M., Jensen, M. H. & Kristense, E. (1999). Effects of two polychate worms, *Nereis diversicolor* and *Arenicola marina*, on aerobic and anaerobic decomposition in a sandy marine sediment. *Aquatic Microbial Ecology* 19,189-204.
20. Barbour M.T., Gerritsen J., Snyder B.D. & Stribling J.B., 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable Rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish. Second Edition. EPA 841-B-99- 002. U.S. *Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.*
21. Barnabé, G. (1991). Bases biologiques et écologiques de l'aquaculture.
22. Barroso, R., Klautau, M., Solé-Cava, A. M. & Paiva, P. C. (2010). *Eurythoe complanata* (Polychaeta: Amphinomidæ), the 'cosmopolitan' fireworm, consists of at least three cryptic species. *Marine Biology* 157, 69-80.
23. Bastrop, R., Röhner, M. & Jürss, K. (1995). Are there two species of the genus *Marenzelleria* in Europe? *Marine Biology* 121, 509-516.
24. Beart, J. L. (1986). Vitelline et organisation de la vitellogenèse protéique chez *Perinereis cultrifera* (Annélide Polychète). *Thèse de Doctorat en Science Naturelle à l'université des Sciences et Techniques de Lille*, 199 p.

25. **Belfetmi, N. Z., Daas, T. & Maamcha, O., (2021).** The effects of total hydrocarbons on the polychaete *Perinereis cultrifera* (Grübe, 1840): Impacts on morphometric aspects and biochemical markers. *AACL Bioflux*, 14 (3), 1464-1477.
26. **Belfetmi, N. Z., Maamcha, O., Scaps, P. & Daas, T. (2021).** Feeding ecology of *Perinereis cultrifera* (Grübe, 1840) on Eastern coastline of Algeria. *Bioscience Research* 18, 2954-2972.
27. **Ben Amor, H. (1984).** *Schéma fluide parfait en théorie unitaire de Jordan-Thiry* (Doctoral dissertation).
28. **Bhuiyan K. A., Rodríguez B. M., Pires A., Riba I., Dellvals Á., Freitas R. & Conradi M. (2021).** Experimental evidence of uncertain future of the keystone ragworm *Hediste diversicolor* (O.F Müller, 1776) under climate change conditions. *Science of The Total Environment* 750, 142031.
29. **Blondel, J. (1975).** L'analyse des peuplements d'oiseaux. Elément d'un diagnostic écologique. La méthode d'échantillons fréquentiels progressif (E.F.P). *Terre et Vie* 29, 533-589.
30. **Bocher, P., Robin, F., Kojadinovic, J., Delaporte, P., Rousseau, P., Dupuy, C., Bustamante, P. (2014).** Trophic resource partitioning within ashorebird community feeding on intertidal mudflat habitats. *Journal of sea research*, 92, 115-124.
31. **Bogantes, V. E., Whelan, N. V., Webster, K., Mahon, A. R., & Halanych, K. M. (2020).** Unrecognized diversity of a scale worm, *Polyeunoa laevis* (Annelida: Polynoidae), that feeds on soft coral. *Zoologica Scripta*, 49 (2), 236-249.
32. **Bonse S., Schmidt H., Eibye-Jacobsen D. & Westheide W. (1996).** *Eulalia viridis* (Polychaeata : Phyllodocidae) is complex of two species in northern Europe: results from biochemical and morphological analyses. *Cahier de Biologie marine* 37, 33-48.
33. **Bordjiba, O., Bekhouche, F., Hassaine, A., & Djenidi, R. (2009).** Impact de la Pollution Par Les Hydrocarbures Sur la Qualité des Eaux Usées Dans la Région de Skikda (Nord-Est Algérien). *European Journal of Scientific Research* 26, 87-97.
34. **Boudouresque, C. F. (1997).** Situation de la biodiversité marine et lagunaire en Tunisie (Partie 2). In: La diversité biologique marine et lagunaire en Tunisie. Etat des connaissances actuelles, recommandations pour une stratégie nationale de conservation et de gestion durable. *Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire (Tunisie), UNEP (RAC/SPA)*, 154.

35. **Boumaza, F. Z. (2014).** Évaluation de l'état de santé des eaux du golfe d'Annaba à travers un Mollusque Gastéropode *Patella caerulea* (L., 1758) : paramètres écologiques et biochimiques. *Thèse de Doctorat à l'université d'Annaba*, 194.
36. **Boutefnouchet, N., Bouzerna, N., & Chettibi, H. (2005).** Assessment of the petrochemical industry pollution on the Skikda Bay, Algeria. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2, 463-468.
37. **Bouzaza, Z., Mezali, K (2019).** The presence of *Cymbula safiana* (Gastropoda : Patellidae) on the Algerian coast (SW Mediterranean) : Population structure and new record stations. *Ecologia mediterranea*, 45 (1), 5-13.
38. **Bremond, R., & Vuichard, R. (1973).** Paramètres de la qualité des eaux, *Ministère de la protection de la nature et de l'environnement, SPEPE, Paris*, 179 p.
39. **Breton, S., Dufresne, F., Desrosiers, G., Blier, P. U. (2003).** Population structure of two northern hemisphere polychaetes, *Neanthes virens* and *Hediste diversicolor* (Nereididae), with different life-history traits. *Marine Biology* 142, 707–715.
40. **Cadman, P. S. & Nelson-Smith, A. (1990).** Genetic evidence for two species of lugworm (*Arenicola*) in South Wales. *Marine Ecology Progress* 64, 107-112.
41. **Catalano, B., Moltedo, G., Martuccio, G., Gastaldi, L., Virno-Lamberti, C., Lauria, A., & Ausil, A. (2012).** Can *Hediste diversicolor* (Nereidae, Polychaete) be considered a good candidate in evaluating PAH contamination? A multimarker approach. *Chemosphere* 86, 875-882.
42. **Cazaux, C. (1965).** Evolution de *Perinereis cultrifera* (Grübe) au cours d'un cycle annuel à Arcachon. *Procès-Verbaux de la Société Linnéenne de Bordeaux* 101, 1-18.
43. **Chaibi, M., Antit, M., Bouhedi, M., Gillet, P., & Azzouna, A. (2018).** Structure générale du peuplement des Polychètes de la station de Rades, Golfe de Tunis (Tunisie). *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô* 45, 1-3.
44. **Chapman, D., & Kimstach, V. (1996).** Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, *Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London*, 59-126.
45. **Chen, X., Yang, S., Yang, W., Si, Y., Xu, R., Fan, B., Wang, L., Meng, Z. (2020).** First genetic assessment of brackish water polychaete *Tylorrhynchus heterochaetus*: mitochondrial COI sequences reveal strong genetic differentiation and population expansion in samples collected from southeast China and north Vietnam. *Zoological Research* 41, 61–69.

46. Chetoui I., Denis F., Boussaid M., Telahigue K. & El Cafsi M., 2016. Genetic diversity and phylogenetic analysis of two Tunisian bivalves (Macrtridae) *Mactra corallina* (Linnaeus, 1758) and *Eastonia rugosa* (Helbling, 1799) based on COI gene sequences. *Comptes Rendus Biologies*, 339 (3-4), 115-122.
47. Ciftcioglu M., Kurt G. & Kus S., 2020. Diversity and New Records of Polychaetes (Annelida) in the Sinop Peninsula, Turkey (Southern Black Sea). *European Journal of Biology*, 79 (2): 106-114.
48. Çinar, M. E., & Altun, C. (2007). A Preliminary Study on the Population Characteristics of the Lessepsian Species *Pseudonereis anomala* (Polychaeta: Nereididae) in Skenderun Bay (Levantine Sea, Eastern Mediterranean). *Turkish Journal of Zoology* 31, 403-410.
49. Cinar, M.E., & Ergen, Z. (2005). Lessepsian migrants expanding their distributional ranges; *Pseudonereis anomamla* (Polychaeta: Nereididae) in Izmir Bay (Aegean Sea). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 85,313-321.
50. Coll M., Piroddi C., Albouy C., Ben Rais Lasram F., Cheung W.W.L. & Christensen V. (2012). The Mediterranean Sea under siege: spatial overlap between marine biodiversity, cumulative threats and marine reserves. *Global Ecology and Biogeography*, 21, 465-480.
51. Coll M., Piroddi C., Steenbeek J., Kaschner K., Ben Rais Lasram F., Aguzzi J., Ballesteros E., Bianchi C.N., Corbera J., Dailianis T., Danovaro R., Estrada M., Froglià C., Galil B.S., Gasol J.M., Gertwagen R., Gil J., Guilhaumon F., KesnerReyes K., Kitsos M., Koukouras A., Lampadariou N., Laxamana E., de la Cuadra C.M., Lotze H.K., Martín D., Mouillot D., Oro D., Raicevich S., Rius-Barile J., SaizSalinas J., San Vicente C., Somot S., Templado J., Turon X., Vafidis D., Villanueva R. & Voultsiadou E. (2010). The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, patterns, and threats. *PLoS ONE*, 5 (8), 11842, 1-334.
52. Corpet, F., (1988). Multiple sequence alignment with hierarchical clustering. *Nucleic acids research*, 16 (22), 10881-10890.
53. Cozar A., Sanz-Martín M., Martí E., González-Gordillo J.I., Ubeda B., Galvez J.A., Irigoien X. & Duarte C.M., (2015). Plastic accumulation in the Mediterranean Sea. *PLoS One*, 10 (4), 121-762.
54. Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J. P., Iglesias, A., Lange, M.A., Lionello, P., Llasat, M.C., Paz, S., Peñuelas, J., Snoussi, M., Toreti,

- A., Tsimplis, M.N., & Xoplaki, E. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change* 8,972-980.
55. D'Alessandro, M., Castriota, L., Consoli, P., Romeo, T. & Andalora, F. (2016). *Pseudonereis anomala* (Polychaeta, Nereididae) expands its range westward: first Italian record in Augusta and Siracusa harbours. *Marine Biodiversity* 46, 129-133.
56. Dajoz, R. (1985). Linné, un précurseur de l'écologie. *Publications de la Société Linnéenne de Lyon* 54, 53-64.
57. Dajoz, R. (2000). Précis d'Ecologie. 7<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris, France, 615.
58. Dakhama, A., Dhainaut, A. & Bonet, F. (1985). Dégénérescence cellulaire intestinale chez l'Annélide Polychète *Perinereis cultrifera* au cours de l'épitoquie et après ablation du cerveau. *Journal of Reproduction Nutrition Développement* 25,555-566.
59. Dale, H., Taylor, J. D., Solan, M., Lam, P., & Cunliffe, M. (2019). Polychaete mucopolysaccharide alters sediment microbial diversity and stimulates ammonia-oxidising functional groups. *FEMS Microbiology and Ecology* 95,234.
60. Damiens, G., His, E., Gnassia-Barelli, M., Quiniou, F., & Roméo, M. (2000). Influence de la température et de la salinité sur la mesure de biomarqueurs chez des bivalves de *Crassostrea gigas*. *Environmental Pollution* 140, 492-499.
61. Dauer, D.M., Rodi Jr., A.J., Ranasinghe, J.A., 1993. Effects of low dissolved oxygen events on the macrobenthos of the lower Chesapeake Bay. *Estuaries* 15, p 348–391.
62. Dauvin, J. C., Grimes, S., & Bakalem, A. (2013). Marine biodiversity on the Algerian continental shelf (Mediterranean Sea). *Journal of natural history* 47, 1745-1765.
63. Day, J. H. (1967) .A monograph on the Polychaeta of Southern Africa. Parts 1 and 2, 878 pp.
64. Dean, H.K., 2008. The use of Polychaetes (Annelida) as indicator species of marine pollution: a review. *Rev. Biol. Trop*, 56 (4), 11-38.
65. Dubois-Dauphin, Q. (2016). Restitution de l'hydrologie de l'Atlantique Nord-Est et de la Méditerranée occidentale depuis la dernière période glaciaire à partir de la composition isotopique du néodyme mesurée dans l'eau de mer et les coraux d'eau froide. *Thèse de Doctorat à l'université de Paris-Saclay*.
66. Durchon, M. & Lafon, M. (1951). Quelques données biochimiques sur les Annélides. *Annales des Sciences Naturelles Zoologie. 11ème série* 23, 427-452.

67. **Durchon, M. (1957).** Problèmes posés par le comportement des néréidiens au moment de leur reproduction. *Année Biologie* 33, 31-42.
68. **Durou C., Mouneyrac C. & Amiard-Triquet C., (2005).** Tolerance to metals and assessment of energy reserves in the polychaetes *Nereis diversicolor* in clean and contaminated estuaries. *Environmental Toxicology* 20, 23-31.
69. **Durou, C., & Mouneyrac, C. (2007).** Linking steroid hormone levels to sexual maturity index and energy reserves in *Nereis diversicolor* from clean and polluted estuaries. *General and Comparative Endocrinology* 150, 106-113.
70. **Durou, C., Mouneyrac, C., & Amiard-Triquet C. (2008).** Environmental quality assessment in estuarine ecosystems: Use of biometric measurements and fecundity of the ragworm *Nereis diversicolor* (Polychaeta, Nereididae). *Water Research* 42, 2157-2165.
71. **Durrieu de Madron, X., Guieu, C., Sempere, R., Conan, P., Cossa, D., D’Ortenzio, F., Estournel, C., Gazeau, F., Rabouille, C., Stemmann, L., Bonnet, S., Diaz, F., Koubbi, P., Radakovitch, O., Babin, M., Baklouti, M., Bancon-Montigny, C., Belviso, S., Bensoussan, N., Bonsang, B., Bouloubassi, I., Brunet, C., Cadiou, J.F., Carlotti, F., Chami, M., Charmasson, S., Charriere, B., Dachs, J., Doxaran, D., Dutaym, J.C., Elbaz-Poulichet, F., Eleaume, M., Eyrolles, F., Fernandez, C., Fowler, S., Francour, P., Gaertner, J.C., Galzin, R., Gasparini, S., Ghiglione, J.F., Gonzalez, J.L., Goyet, C., Guidi, L., Guizien, K., Heimbürger, L.E., Jacquet, S.H.M., Jeffrey, W.H., Joux, F., Le Hir, P., Leblanc, K., Lefevre, D., Lejeune, C., Leme, R., Loye-Pilot, M.D., Mallet, M., Mejanelle, L., Melin, F., Mellon, C., Merigot, B., Merle, P.L., Migon, C., Miller, W.L., Mortier, L., Mostajir, B., Mousseau, L., Moutin, T., Para, J., Perez, T., Petrenko, A., Poggiale, J.C., Prieur, L., Pujo-Pay, M., Pulido-Villena, R., Raimbault, P., Rees, A.P., Ridame, C., Rontani, J.F., Ruiz-Pino, D., Sicrem, M.A., Taillandier, V., Tamburini, C., Tanaka, T., Taupier-Letage, I., Tedetti, M., Testor, P., Thebault, H., Thouvenin, B., Touratier, F., Tronczynski, J., Ulses, C., Van Wambeke, F., Vantrepotte, V., Vaz, S., & Verney, R. (2011).** Marine ecosystems’ responses to climatic and anthropogenic forcings in the Mediterranean. *Progress in Oceanography* 91, 97-166.
72. **Dutrieux, E., Martin, F., & Guelorget, O. (1989).** Oil pollution and Polychaeta in an estuarine mangrove community. *Oil and Chemical Pollution* 5, 239-262.
73. **Eckelbarger, K. J. (2005).** Oogenesis and oocytes. *Hydrobiologia* 535, 179-198.

- 74. Ehlers, E. (1868).** “Die” *Borstenwürmer (Annelida chaetopoda)* (Vol. 1). Engelmann.
- 75. Ekau, W., Auel, H., Portner, H.O., & Gilbert, D. (2010).** Impacts of hypoxia on the structure and processes in pelagic communities (zooplankton, macro-invertebrates and fish). *Biogeosciences* 7, 1669–1699.
- 76. El-Barhoumi, M., Scaps, P., & Zghal, F. (2013).** Reproductive cycle of *Marphysa sanguinea* (Montagu, 1815) (Polychaeta: Eunicidae) in the Lagoon of Tunis. *The Scientific World Journal* 2013, 1-7.
- 77. Elsayed, R. H., & Dorgham, M. M. (2019).** Macrofauna associated with a recently described bryozoan species in the Eastern Harbour of Alexandria, Egypt. *Mediterranean Marine Science* 20, 248-259.
- 78. Excoffier, L., & Lischer, H. E. L. (2010).** Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources* 10, 564–567.
- 79. Fadhullah, W., Syakir, M.I., 2016.** Polychaetes as ecosystem engineers: Agents of Sustainable Technologies. In: Renewable energy and sustainable technologies for building and environmental applications. Springer, Cham. 137-150.
- 80. Faragallah, H. M., Askar, A. I., Okbah, M. A., & Moustafa H. M. (2009).** Physico-chemical characteristics of the open Mediterranean sea water far about 60 Km from Damietta harbor, Egypt. *Journal of Ecology and the Natural Environmental*, 1, 106–119.
- 81. Fauchald, K. (1977).** The polychaete worms. Definition and Keys to the Orders, Families and General Natural History Museum of Los Angeles country, *Science Series* 28, 1-188.
- 82. Fauvel, P. (1923).** Faune de France. Vol 5. Polychètes errantes. *Paul Lechevalier, Paris*.
- 83. Fauvel, P. (1932).** Annelida Polychaeta of the Indian Museum, Calcutta. *Mem. Ind. Mus.*, 12, 1-262.
- 84. Fauvel, P. (1953).** Annelida Polychaeta. The fauna of India, including Pakistan, Ceylon, Burma and Malaya, 1-507.
- 85. Fischer, A., & Dorresteijn, A. (2004).** The polychaete *Platynereis dumerillii* (Annelida): a laboratory animal with spiralian cleavage, lifelong segment proliferation and a mixed benthic/pelagic life cycle. *BioEssays* 26,314-325.

- 86. Fish, J.D., Fish, S. (2011).** A student's guide to the seashore. (3 rd Ed). *New York: Cambridge University Press*, 573 p.
- 87. Folmer, O., Black, M., Lutz, R., Vrijenhoek, R. (1994).** DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit 1 from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology* 3, 294–299.
- 88. Fong, P. P. & Garthwaite, R. L. (1994).** Allozyme electrophoretic analysis of the *Hediste limnicola* – *H.diversicolor* – *H. japonica* species complex (Polychaeta : Nereidae). *Marine Biology* 118, 463-470.
- 89. Fonseca, T. G., Morais, M. B., Rocha, T., Abessa, D. M. S., Aureliano, M. & Bebianno, M. J. (2018).** Ecotoxicological assessment of the anticancer drug cisplatin in the polychaete *Nereis diversicolor*. *Science of the Total Environment* 575, 162-172.
- 90. Fontaine, P. H. (2006).** Beautés richesses des fonds marins du Saint-Laurent. Québec Canada: Éditions Multi Mondes, 261 p.
- 91. Fossi M. C., Pedà C., Compa M., Tsangaris C., Alomar C., Claro F., Ioakeimidis C., Galgani F., Hema T., Deudero S., Romeo T., Battaglia P., Andaloro F., Caliani L., Casini S., Panti C., & Bains M. (2018).** Bioindicators for monitoring marine litter ingestion and its impacts on Mediterranean biodiversity. *Environmental Pollution*, 237, 1023-1040.
- 92. Fossi-Tankoua, O., Buffeta, P. E., Amiard, J. C., Amiard-Triquet, C., Meleder, V., Gillet, P., Mouneyrac, C., Bertheta, B. (2012).** Intersite variations of a battery of biomarkers at different levels of biological organization in the estuarine endobenthic worm *Nereisdiversicolor* (Polychaeta, Nereididae). *Aquatic Toxicology* 114-115, 96-103.
- 93. Fredj, G., Bellan-Santini, D., & Meinardi, M. (1992).** Etat des connaissances sur la faune marine méditerranéenne. *Bulletin de l'Institut océanographique (Monaco)*, 133-145.
- 94. Futuyma, D. J. (1986).** *Evolutionary Biology* 2nd edition, Sinauer Associates Inc. *Sunderland, Mass.*
- 95. García-Alonso, J., Müller, C. T., & Hardege, J. D. (2008).** Influence of food regimes and seasonality on fatty acid composition in the ragworm. *Aquatic Biology* 4, 7-13.
- 96. García-Alonso, J., Müller, C.T., Hardege, J.D., 2008.** Influence of food regimes and seasonality on fatty acid composition in the ragworm. *Aquatic Biology*, 4, 7-13.

- 97. Gasmi, H. (2018).** Effets du stress environnemental sur la biodiversité, et la physiologie des Néreidés du genre *Perinereis* du littoral Est Algérien : « Analyse immunitaire et dosage des ETM ». Thèse de Doctorat à l'université d'Annaba, 285.
- 98. Gasmi, H., Maamcha, O., Daas, T., & Scaps, P. (2016).** First record of *Perinereis macropus* and *Perinereis cultrifera* (Annelida, Polychaeta) from rocky shores east Algeria, (SW Mediterranean sea). *Journal of Entomology and Zoology Studies* 4,160-166.
- 99. Gerovasileiou V. & Voultsiadou E. (2012).** Marine caves of the Mediterranean Sea: A sponge biodiversity reservoir within a biodiversity hot spot. *PLoS ONE*, 7 (7) e39873, 1-17.
- 100. Ghirardini, Volpi A., Birkemeyer, T., ArizziNovelli, A., Delaney, E., Pavoni, B., & Ghatti P. F. (1999).** An integrated approach to sediment quality assessment: The Venetian lagoon as a case study. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 2,435-447.
- 101. Ghodbani, T., Milewski, A., & Bellal, S. H. (2015).** The wetlands of the Terga area, a vulnerable coastal ecosystem in the southern Mediterranean (western Algeria). *Méditerranée* 125,153-164.
- 102. Giangrande, A., & Petraroli, A. (1991).** Reproduction, larval development and post-larval growth of *Neineris laevigata* (Polychaeta, Orbiniidae) in the Mediterranean Sea. *Marine Biology* 111,129-137.
- 103. Giangrande, A., Licciano, M., Musco, L., 2005.** Review. Polychaetes as environmental indicators revisited. *Mar. Pollut. Bull*, 50, 1153-1162.
- 104. Gibbs, P. E. (1968).** Observations on the population of *Scolops armiger* at whitstable. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 48,225-254.
- 105. Gillet, P. (1986).** Variations de la distribution des paragnathes chez *Nereis diversicolor* dans l'estuaire du Bou Regreg (Maroc). *Cahiers de Biologie Marine*, 14, 481-490.
- 106. Gillet, P. (1990).** Biomasse, production et dynamique des populations de *Nereis diversicolor* (Annélide Polychète) de l'estuaire de la Loire (France). *Oceanologica Acta*13, 361-372.
- 107. Gillet, P. (2017).** Liste des annélides polychètes du Maroc. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie* 39,19-26.

- 108. Gillet, P., Mouloud, M., Durou, C., & Deutsch, B. (2008).** Response of *Nereis diversicolor* population (Polychaeta, Nereididae) to the population impact-Authie and Seine estuaries (France). *Estuarine Coastal and Shelf Science* 76,201-210.
- 109. Golding, D. W. & Yumono, E. (1994).** Latent capacities for gametogenic cycling in the semelparous invertebrate *Nereis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 91,11777-11781.
- 110. Gomes, A., Correia, A. T. & Nunes, B. (2019).** Worms on drugs: ecotoxicological effects of acetylsalicylic acid on the Polychaeta species *Hediste diversicolor* in terms of biochemical and histological alterations. *Environmental Science and Pollution Research* 26, 13619-13629.
- 111. Goumri, M., Gillet, P., Chaouti, A., Chouikh, N., Maarouf, A., Cheggour, M., & Mouabad, A. (2017).** First record of *Boccardia polybranchia* (Haswell, 1885) (Polychaeta: Spionidae) from the Atlantic coast of Morocco. *Journal of Materials and Environmental Sciences* 8, 3606-3611.
- 112. Gözler, A.M., Agirbas, E., Sahin, C., 2009.** Spatial and temporal distribution of Nereidae (Polychaeta: Annelida) along the coast of the Turkish Eastern Black Sea in the upper infralittoral zone. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8 (2), 229-234.
- 113. Grassle, J. P. & Grassle, J. F. (1976).** Sibling species in the marine pollution indicator *Capitella capitata* (Polychaeta). *Science* 192, 567-569.
- 114. Gray, J. S., & Elliott, M. (2009).** Ecology of marine sediments: from science to management. Oxford University Press.
- 115. Grimes, S. (2004).** Biodiversité marine et littorale Algérienne. *Université d'Es Senia-Oran*, 362.
- 116. Grimes, S. (2010).** Peuplement benthiques des substrats meubles de la côte Algérienne. Taxonomie, Structure et Statut écologique. *Thèse de doctorat en Biologie à l'université d'Oran*, 362.
- 117. Grimes, S. (2011).** Biodiversité marine en Algérie : Crise des taxonomistes et enjeux de l'activité en réseau. *In: Biodiversité des cotes Algériennes*, 09-17. *Numéro spécial du bulletin du Centre National de Développement des Ressources Biologiques* 48, 335-342.
- 118. Grimes, S. (2012).** Stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières en Algérie, Stratégie Nationale relative à la Gestion Intégrée des Zones Côtières en Algérie : Biodiversité marine et conservation des habitats côtiers remarquables

- (MATE-PAP RAC) ; pêche, biodiversité marine & conservation des habitats côtiers remarquables, *Bilan et diagnostic phase 1 rapport n°1*, 72.
119. **Grübe, E. (1840).** Actinien, Echinodermen und Würmer des Adriatischen und Mittelmeers. J.H. Bon, Königsberg, 92.
  120. **Gueddah, D. (2003).** Evaluation de la pollution industrielle et urbaine dans la région de Skikda : impact sur l'écosystème marin côtier. *Mémoire de magister à l'université d'Annaba*, 115.
  121. **Gueddah, D., & Djebbar, A. B. (2014).** Pollution by the heavy metals of the superficial marine sediment of Skikda city (Northeastern Algeria). *Annals of Biological Research* 5,40-45.
  122. **Guemmouda, M. (2015).** Impact de la pollution par les hydrocarbures sur *Perinereis cultrifera* (Annélides, Polychètes) dans le littoral Est-Algérien. *Thèse de Doctorat en Biologie animale environnementale à l'université d'Annaba*, 300.
  123. **Guemmouda, M., Meghlaoui, Z., Daas, T., Daas-Maamcha, O., & Scaps, P. (2014).** Monitoring pollution in East Algerian coasts using biochemical markers in the polychaete annelid *Perinereis cultrifera*. *Annals of Biological Research* 5, 31.
  124. **Gürlük, S. (2009).** Economic growth, industrial pollution and human development in the Mediterranean Region. *Ecological Economics*, 68, 2327-2335.
  125. **Hadjadji, I., Frehi, H., Ayada, L., Abadie, E., & Collos, Y. (2014).** A comparative analysis of *Alexandrium catenella/tamarense* blooms in Annaba bay (Algeria) and Thau lagoon (France); phosphorus limitation as a trigger. *Comptes Rendus Biologies* 337,117-122.
  126. **Hall, T. A. (1999).** BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic acids symposium series* 41, 95–98.
  127. **Hamdy, R. M., Dorgham, M., Al-Rashidy, H., & Atta, M. (2020).** Biometry and reproduction of three polychaete species from Egyptian coasts. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries* 24, 1005-1021.
  128. **Hamdy, R., Dorgham, M. M., El-Rashidy, H. H., Atta, M. M. (2014).** Biometry and reproductive biology of *Pseudonereis anomala* Gravier 1901 (Polychaeta: Nereididae) on the Alexandria coast, Egypt. *Oceanologia* 56, 41-58.
  129. **Harper J.L. & Hawkworth D.L. (1994).** Biodiversity: measurement and estimation preface. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 345, 5-12.

- 130. Hebert, P.D.N., Ratnasingham, S., & De Waard, JR.(2003).** Barcoding animal life: cytochrome c oxidase subunit 1 divergences among closely related species. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences* vol 270 (Supp 1.), s96–s99.
- 131. Herpin, R. (1925).** Recherches biologiques sur la reproduction et le développement de quelques Annélides Polychètes. *Bulletin de la Société des sciences naturelles de l'Ouest de la France* 4, 1-250.
- 132. Hoeger, U., Rebscher, N., & Geier, G. (1999).** Metabolite supply in oocytes of *Nereis virens*: Role of nucleosides. *Hydrobiologia* 402, 163-174.
- 133. Hsu, J. (1996).** *Multiple comparisons: theory and methods*. CRC Press.
- 134. Hussein, K. B., & Bensahla, T. L. (2019).** First record of invasive green algae *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* in Oran Bay (Western Algeria). *Indian Journal of Geo Marine Sciences*.
- 135. Hutching P.A., Wilson R.S., Glasby C.J., Paxton H. & Watson- Russell C., 2000.** Appendix 1. In : Bessly P.L., Ross G.J.B 1 Glasby C.J.(Eds), *Polychaetes and Allies : the Southern Synthesis* Meelbourn : *CSIRO Publishing* : 242-243.
- 136. Hutchings, P. (1998).** Biodiversity and functioning of Polychaetes in benthic sediments. *Biodiversity and Conservation* 7, 1133-1145.
- 137. Hylleberg, J., Nateewathana, A., Bussarawit, S. (1986).** Polychaetes of Thailand. Nereidae (Part 1); *Perinereis* and *Pseudonereis* with notes on species of commercial value. *Phuket Marine Biological Center Research Bulletin*, 43, 1–22.
- 138. Imajima, M. (1972).** Review of the annelid worms of the family Nereidae of Japan, with descriptions of five new species or subspecies. *Bulletin of National Science Museum*, 15, 37-153.
- 139. Jumars, P.A., Dorgan, K.M., Lindsay, S.M., 2015.** Diet of worms emended : An update of Polychaete feeding guilds Appendix A family-by-family updates. Supplemental Material. *Annual Review of Marine Science* 7, 497-520.
- 140. Kacemi, M. (2011).** Protection et valorisation du littoral en Algérie, législation et instruments : Le cas des communes littorales d’Oran. *Tourisme, culture(s) et attractivité des territoires*.
- 141. Kadari-Méziane, Y. (1994).** Contribution à l’étude de l’impact de la pollution sur la distribution -spatio-temporelle des peuplements phytobenthiques dans la Baie de Bou Ismail. *Thèse de magister. ENS Alger*, 226.

142. **Kadri, S., Dahel, A., Djebbari, N., Barour, C., & Bensouilah, M. (2015).** Environmental parameters influence on the bacteriological water quality of the Algerian North East coast. *Advances in Environmental Biology* 9,180-189.
143. **Kambouroglou, V., & Nicolaidou, A. (2006).** A new alien species in Hellenic waters: *Pseudonereis anomala* (Polychaeta, Nereididae) invades harbors in the Eastern Mediterranean. *Aquatic Invasions* 1, 97-98.
144. **Kehal, M., Mennour, A., Reinert, L., & Fuzellier, H. (2010).** Heavy Metals in Water of The Skikda Bay Les Metaux Lourds dans les Eaux de la Baie De Skikda. *Environmental technology* 25(9), 1059-1065.
145. **Khammar, H. (2007).** Caractères chimiques des effluents urbains introduits au littoral d'Annaba (Doctoral dissertation, Université de Annaba).
146. **Khati-Hadj, Moussa. W. (2009).** Étude de la qualité des eaux du golfe d'Annaba par l'utilisation d'un mollusque sentinelle, la moule *Perna perna* : essai in vivo et in situ. Application à la biosurveillance de l'environnement marin. Thèse de doctorat. *Univ. Annaba. Laboratoire écosystème marins et littoraux*, 87.
147. **Khélifi-Touhami M., Ounissi M., Saker I., Haridi A., Djorfi S. & Abdenour C., 2006.** The hydrology of the Mafrag estuary (Algeria): Transport of inorganic nitrogen and phosphorus to the adjacent coast. *Journal of food, agriculture and environment*, 4(2), 340-346.
148. **Khélifi-Touhami, M., Ounissi, M., Saker, I., Haridi, A., Djorfi, S., & Abdenour, C. (2006).** The hydrology of the Mafrag estuary (Algeria): Transport of inorganic nitrogen and phosphorus to the adjacent coast. *Journal of food, agriculture and environment* 4,340-346.
149. **Kies, F., Kerfouf, A., Elegbede, I., Matemilola, S., Escalante, P. D. L. R., Khorchani, A., & Savari, S., (2020).** Assessment of the coastal and estuarine environment quality of western Algeria using the bioindicator Polychaeta; the genus *Nereis*. *Journal of Materials & Environmental Science*, 11(9), 1472-1481.
150. **Kimura, M. (1980).** A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. *Journal of molecular evolution* 16, 111-120.
151. **Kinberg, J. G. H. (1865).** Annulata nova. Nereidum dispositio nova. *Öfversigt af Kongelige Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar* 22, 167-179.
152. **Knowlton, N., (1993).** Sibling species in the sea. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 24,189-216.

153. **Knowlton, N., (2000).** Molecular genetic analyses of species boundaries in the sea. *Hydrobiologia* 420, 73-90.
154. **Knox, G. A. (1977).** Essays in Polychaetous Annelids in Memory of Olga Hartman, edited by *Allan Hancock Foundation, University of Southern California, Los Angeles*, 547-604.
155. **Krebs C.J., 2001.** Ecology, *San Francisco, Benjamin Cummings*, 695p.
156. **Krebs, C. J. (1989).** Ecological methodology. *Harper Collins Publishers, New York*, 654.
157. **Kumar, S., Tamura, K., Jakobsen, I. B., & Nei, M. (2001).**MEGA2: molecular evolutionary genetics analysis software. *Bioinformatics* 17, 1244-1245.
158. **Kupriyanova, E. K., & Badyaev, A. V. (1998).** Ecological correlates of arctic Serpulidae (Annelida, Polychaeta) distributions. *Ophelia* 49, 181-193.
159. **Kurt, G., Rezzag Mahcene, H., Kus, S., Daas, T., Villalobos-Guerrero, T. F. (2021).**First record of the Lessepsian nereidid *Pseudonereis anomala* Gravier, 1899 (Annelida : Nereididae) in the western Mediterranean Sea. *Cahier de Biologie Marine* 62, 17-26.
160. **Lamarck J. B. M. (1819).** *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres*. 6 (1), 343 pp.
161. **Lawrence, A. J., & Soame, J. M. (2010).** The endocrine control of reproduction in Nereidae: a new role in a changing environment multi-hormonal model with implication for their functional. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 364B,3363-3376.
162. **Lejeusne, C., Chevaldonne, P., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C.F., Pérez, T. (2009).**Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea, *Trends in Ecology and Evolution*, 25 (4), 250-260.
163. **Letunic, I., & Bork, P. (2021).** Nucleic Acids Research. Interactive Tree Of Life (iTOL) v5: an online tool for phylogenetic tree display and annotation 49, 293-296.
164. **Lévêque, C., & Balian, E. V. (2005).** Conservation of freshwater Biodiversity: does the real world meet scientific dream? *Hydrobiologia* 542, 25-26.
165. **Levin, L. A., Ekau, W., Gooday, A. J., Jorissen, F., Middelburg, J. J., Naqvi, S. W. A., Neira, C., Rabalais, N. N., & Zhang, J. (2009).** Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos. *Biogeosciences* 6, 2063–2098.

- 166. Lewis, C., Watson, G.J., 2012.** Expanding the ecotoxicological toolbox: The inclusion of Polychaete reproductive endpoints. *Marine Environmental Research*, 75, 10-22.
- 167. Liqueste, C., Piroddi, C., Macías, D., Druon, J.N., Zulian G. (2016).** Ecosystem services sustainability in the Mediterranean Sea: assessment of status and trends using multiple modelling approaches. *Scientific Reports*, 6 (34162): 1-14.
- 168. Lobo, J., Shokralla, S., Costa, M. H., Hajibabaei, M., & Costa, F. O. (2017).** DNA metabarcoding for highthroughput monitoring of estuarine macrobenthic communities. Scientific report.
- 169. Lobo, J., Teixeira, M. A. L., Borges, L. M. S., Ferreira, M. S. G., Hollatz, C., Gomes, P. T., Sousa, R., Ravara, A., Costa, M. H. & Costa, F. O. (2015).** Starting a DNA barcode reference library for shallow water polychaetes from the southern European Atlantic coast. *Molecular Ecology Resources* 16, 298–313.
- 170. Lotze, H. K., Coll, M., Magera, A. M., Ward-Paige, C., & Airoidi, L. (2011).** Recovery of marine animal populations and ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 26, 595-605.
- 171. Luoma, S. N., & Bryan, G. W. (1982).** A statistical study on environmental factors controlling concentrations of heavy metals in the burrowing bivalve *scorbicularia plana* and the polychaete *Nereis diversicolor*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 15,95-108.
- 172. Mackie-Mason, J. K., & Gordon, R. H. (1997).** How much do taxes discourage incorporation? *The Journal of Finance* 52, 477-506.
- 173. Magurran, A. E. (1988).** *Ecological diversity and its measurement*. Princeton university press.
- 174. Maltagliati, F., Camilli, L., Lardicci, C. & Castelli, A. (2001).** Evidence for morphological and genetic divergence in *Perinereis cultrifera* (Polychaeta: Nereididae) from two habitat types at Elba Island. *Marine Biological Association of the United Kingdom. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 81,411.
- 175. Manchenko, G. P. & Radashevsky, V. I. (1994).** Genetic differences between two allopatric sibling species of the genus *Polydora* (Polychaeta, Spionidae) from the West Pacific. *Biochemical Systematics and Ecology* 22, 767-773.

176. **Marcel, R. (1962).** Cycle annuel de *Perinereis cultrifera* Grube (Annélide Polychète) à Alger. *Mémoire de la Société des Sciences Naturelles et Mathématiques de Cherbourg* 49, 39-54.
177. **May R.M., 1994.** Conceptual aspects of the quantification of the extent of biological diversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 345, 13-30.
178. **Meghlaoui, Z. (2015).** Stress environnemental et biodiversité des Polychètes dans le littoral Est algérien : Analyse phylogénétique. *Thèse de Doctorat en Biologie et physiologie animale à l'université d'Annaba*, 193.
179. **Meng, Z. N., Zhuang, Z. M., Jin, X. S., Tang, Q. S., Su, Y. Q. (2003).** Analysis of RAPD and mitochondrial 16S rRNA gene sequences from *Trichiurus lepturus* and *Eupleurogrammus muticus* in the Yellow Sea. *Progress in Natural Science*, 13, 1170-1176.
180. **Mettam, C., Santhanam, V., & Havard, M. S. (1982).** The oogenic cycle of *Nereis diversicolor* under natural conditions. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 62,637-645.
181. **Meybeck, M. (1996).** River Water Quality: Global Ranges, Time and Space Variabilities, Proposal for Some Redefinitions. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, Verhandlungen* 26, 81-96.
182. **Miura, O. (2007).** Molecular genetic approaches to elucidate the ecological and evolutionary issues associated with biological invasions. *Ecological Research* 22, 876-883.
183. **Moissan, J. (2006).** Guide d'identification des principaux macroinvertébrés d'eau douce de Québec. Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs, 82 p.
184. **Mouneyrac, C., Durou, C., Gillet, P., Hummel, H., & Amiard-Triquet, C. (2009).** Linking Energy Metabolism, Reproduction, Abundance, and Structure of *Nereis*. *Environmental assessment of estuarine ecosystems: A case study*, 159.
185. **Mustaquim, J. (1988).** Isoenzyme variation in three *Nereis species* from five localities in the UK. *Journal of Marine Biology Association U. K* 68, 549-553.
186. **Ngoay-Kossy J.C., Zébazé Togouet S.H., Wango S.P., Bolevane Quantinam S.F., Tchakonte S. & Piscart C., 2018.** Bioindicateurs des milieux aquatiques lotiques en République centrafricaine : macro-invertébrés benthiques et pression anthropique du cours d'eau Nguitto. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 7 (4), 603-616.

- 187. Nicklas, N. L. & Hoffmann, R. J. (1979).** Genetic similarity between two morphologically similar species of polychaetes. *Marine Biology* 52, 53-59.
- 188. Nygren, A., Eklöf, J. & Pleijel, F. (2010).** Cryptic species of *Notophyllum* (Polychaeta: Phyllodocidae) in Scandinavian waters. *Organisms Diversity and Evolution* 10, 193-204.
- 189. Odiete, W. O. (1999).** Impacts associated with water pollution. *Environmental physiology of Animals and pollution* 187-219.
- 190. Olive, P. J. W., & Garwood, P. R. G. (1981).** Gametogenic cycle and population structure of *Nereis* (*Hediste*) *diversicolor* and *Nereis* (*Nereis*) *pelagica* from north-east England. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 61(1), 193-213.
- 191. Olive, P. J. W., Porter, J. S., Sandeman, N. J., Wright, N. H., & Bentley, M. G. (1997).** Variable spawning success of *Nephtys hombergi* (Annelida: Polychaeta) in response to environmental variation: a life history homeostasis? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 215, 247-268.
- 192. Olsgard F., Brattegard T. & Holthe T., 2003.** Polychaetes as surrogates for marine biodiversity: lower taxonomic resolution and indicator groups. *Biodiversity and conservation*, 12: 1033-1049.
- 193. Ould-Ahmed, N., Gómez-Garreta, A., & Ribera-Siguan, M. A. (2019).** Checklist of the benthic marine macroalgae from Algeria, part II: Ulvophyceae. *Anales Del Jardín Botánico De Madrid* 76e087.
- 194. Ould-Ahmed, N., Gómez-Garreta, A., Ribera-Siguan, M. A., & Bouguedoura, N. (2013).** Checklist of the benthic marine macroalgae from Algeria. I. Phaeophyceae. *Anales Del Jardín Botánico De Madrid* 70, 136–143.
- 195. Ounissi, M., Ziouch, O. R., & Aounallah, O. (2014).** Variability of the dissolved nutrient (N, P, Si) concentrations in the bay of Annaba in relation to the inputs of the seybouse and Mafragh estuaries. *Marine Pollution Bulletin* 80, 234-244.
- 196. Pai, I. (2007).** Ecology of Andaman Sea: past, present and future. *Journal of Cell and Animal Biology* 1, 011-014.
- 197. Paiva, P. C., Mutaquilha, B. F., Coutinho, M. C. L. & Santos, C. S. G. (2018).** Comparative phylogeography of two coastal species of *Perinereis* *Kinberg*, 1865 (Annelida, Polychaeta) in the South Atlantic. *Marine Biodiversity* 49, 1537-1551.
- 198. Palumbi, S. R. (1994).** Genetic divergence, reproductive isolation, and marine speciation. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 25, 547-572.

199. **Pamungkas, J., Glasby, C. J., Read, G. B., Wilson, S. P., & Costello, M. J. (2019).** Progress and perspectives in the discovery of polychaete worms (Annelida) of the world. *Helgoland Marine Research*, 73 (1), 1-10.
200. **Papageorgiou, N., Arvanitidis, C., Eleftheriou, A., 2006.** Multicausal environmental severity: a flexible frame work for microtidal sandy beaches and the role of Polychaetes as an indicator taxon. *Estuar. Coast. Shelf Sci*, **70**, 643-653.
201. **Pasquaud, S. (2006).** Les relations trophiques : velements de structuration des peuplements ichtyologiques en milieu estuarien. *Thèse de Doctorat à l'université de Bordeaux*, 361.
202. **Pearson T.H. & Rosenberg R., 1978.** Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology : An Annual Review*, 16,229-311.
203. **Perès, J. M. & P. Rancurel. (1948).** Observations sur la ponte de *Perinereis cultrifera* Grube dans le golfe de Marseille. *Bulletin de la Société Zoologique de France* 73, 97-100.
204. **Pesch, G. C., Pesch, C. E. & Mueller, C. (1988).** Chromosome complement from two populations of the marine worm *Neanthes arenaceodentata* (Annelida : Polychaeta). *Ophelia* 28, 163-167.
205. **Peteiro, L. G., Babarro, J. M. F., Labarta, U., & Fernandez-Reiriz, M. J. (2006).** Growth of *Mytilus galloprovincialis* after the Prestige oil spill. *ICES Journal of Marine Science* 63, 1005-1013.
206. **Piélou, E. C. (1969).** *An introduction to mathematical ecology*. New York, USA, Wiley-Inter-science.
207. **Piélou, E.C. (1969).** *An Introduction to Mathematical Ecology*. *John Wiley & Sons*, New York.
208. **Pocklington, P., & Wells, P. G. (1992).** Polychaetes key taxa for marine environmental quality monitoring. *Marine Pollution Bulletin* 24, 593-598.
209. **Porchet M. (1974).** Activité endocrine cérébrale chez les Nereidae : Données quantitatives, influence sur la teneur en glucides des ovocytes et du liquide coelomique, mécanisme régulateur de la sécrétion hormonale. *Thèse de Doctorat en Sciences naturelles à l'université de Lille*, 222p.
210. **Prevedelli D. & Simonini R., (2003).** Life history and demography of three populations of *Ophryotrocha japonica* (Polychaeta : Dorvilleidae), *Marine Ecology Progress Series*, 258, 171-180.

211. **Qingyang W., Shuqi W., Xiaopeng C. & Ping L., (2016).** Reproductive toxicity assessment of benzo[a]pyrene in the marine polychaete *Perinereis nuntia*. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 4,867-873.
212. **Qiu, J. W., Qian, P. Y. (1997).** Combined effects of salinity, temperature and food on early development of the Polychaete *Hydroides elegans*. *Marine Ecology Progress Series* 152, 79-88.
213. **Rabaoui L., Mejri R., Tlig-Zouari S., Bahri L., Ben Hassine O. K. & Tsigenopoulos C. S., 2011.** Genetic variation among populations of the endangered fan mussel *Pinna nobilis* (Mollusca: Bivalvia) along the Tunisian coastline. *Hydrobiologia*, 678 (1),99-111.
214. **Ramade F. (1984).** Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale. Ed. Mc. Graw Hill, Paris, 397p.
215. **Ramade, F. (2005).** Eléments d'écologie: *Ecologie appliquée. 4e édition*, Dunod, Paris, France, 864.
216. **Ramanathan, N., Padmavathy, P., Francis, T., Athithian, S., & Selvaranjitham, N. (2005).** Manual on polyculture of tiger shrimp and carps in freshwater, 1. Tamil Nadu Veterinary and Animal Sciences University, Fisheries College and Research Institute, *Thothukudi*, 161.
217. **Ramdani, M. S. (2021).** Etude qualitative et quantitative de la macrofaune Annelidienne du littoral Est Algérien « Biologie, Reproduction, Histophysiologie et Bioaccumulation ». *Thèse de Doctorat en Biologie Animale Environnementale à l'université d'Annaba*.
218. **Ramdani, M. S., Rezzag Mahcene, H., Daas-Maamcha, O., Daas, T., & Denis, F.(2020).** Effects of environmental stress on the growth and the reproduction of *Perinereis cultrifera* (Annelida Polychaeta) from the eastern coasts of Algeria. *Biodiversity Journal* 11, 505–526.
219. **Ramos-Espla, A., & Sanchez-Lizaso, J. L. (2002).** Impacto del arrastre sobre comunidades circalitorales de fondos blandos dominadas por coralináceas. ACTAS, *Septima Reunion del Foro Cientifico Para la Pesca Espanola en el Mediterraneo*, 103.
220. **Rapport AEE. (2006).** Problèmes prioritaires pour l'environnement méditerranéen. *Agence européenne pour l'environnement*, 86 pp.
221. **Read, G., & Fauchald, K. (2016).** Nephthyidae Grube, 1850. *World Polychaeta database*. <http://www.marinespecies.org/aphia.php>.

222. **Rezzag Mahcene, H., Denis, F., Meziane, T., Maamcha, O., & Daas, T. (2022).** General structure of Nereids of the East Coast of Algeria. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation* 15, 282-293.
223. **Rezzag Mahcene, H., Ramdani, M. S., Sebbih, A., Meziane, T., Denis, F., Maamcha, O., Moanono, P. G. T., & Daas, T. (2022).** Diversity of benthic macroinvertebrates in the Algerian East Coast. *Biodiversity Journal* 13, 695–706.
224. **Röhner, M., Bastrop, R. & Jürss, K. (1997).** Genetic differentiation in *Hediste diversicolor* (Polychaeta : Nereididae) from the North Sea and Baltic Sea. *Marine Biology* 130, 171- 180.
225. **Rouabah, A. (2003).** Comparaison au plan biochimiques et génétique de population de l'annélide polychète *Perenereis cultrifera* du littoral français et Algerien : précision des liens de parenté. *Thèse de doctorat à l'université de Mentouri Constantine*, 48p.
226. **Rouabah, A., & Rouabah, L. (2007).** Biodiversité et complexe d'espèces *Perinereis cultrifera* : un exemple de spéciation. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies* 25, 79-87.
227. **Rouabah, A., & Scaps, P. (2003).** Life Cycle and Population Dynamics of the Polychaete *Perinereis cultrifera* from the Algerian Mediterranean Coast. P.S.Z.N: *Marine Ecology* 24, 85-99.
228. **Rouabah, A., Rouabah, L., Tahar, A., Scaps, P. (2009).** Variations in Pargnath Number of the Different Morphs of the Polychaete *Perinereis* cf. *Cultrifera* in Relation to Geographical Location and Type of Reproduction. *American Journal of Scientific Research* 1, 12 -22.
229. **Rouabah, L., Rouabah, A., Ferroudj, S., & Scaps, P. (2008).** Comparison of the life cycles of two populations of the polychaete *Perinereis cultrifera* from the bay of Algiers (Mediterranean Sea). *Scientia Marina* 72,769-778.
230. **Rouhi A., Sif J., Elyadari Y., 2016.** The effect of the reproductive cycle on the bioaccumulation of heavy metals and the induction of metallothionein in the polychaete *Perinereis cultrifera* of the coastline of El Jadida (Atlantic coast, Morocco). *Journal of Xenobiotic*, 6 (6588), 36-38p.
231. **Rouhi, A., Sif, J., Gillet, P., & Deutsch, B. (2008).** Reproduction and population dynamics of *Perinereis cultrifera* (Polychaeta: Nereididae) of the Atlantic coast, El Jadida, Morocco. *Cahiers de Biologie Marine* 49, 150-160.

232. Rozas, J., Sánchez-DelBarrio, J. C., Messeguer, X., & Rozas, R. (2003). DnaSP, DNA polymorphism analyses by the coalescent and other methods. *Bioinformatics* 19, 2496-2497.
233. Russo, C. A. M., Solé-Cava, A. M. & Thorpe, J. P. (1994). Population structure and genetic variation in two tropical sea anemones (*Cnidaria, Actinidae*) with different reproductive strategies. *Marine Biology* 119, 267-276.
234. Saitou, N., & Nei, M. (1987). The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular biology and evolution* 4, 406-425.
235. Salvat, B. (1967). Le macrofaune carcinologique endogée des sédiments intertidaux (Tanaïdacs, Isopodes, Amipodes), Ethologie, Bionomie et cycle biologique, *Thèse de Doctorat en sciences naturelles à l'université de Paris*, 275.
236. Sanger, F., Air, G.M., Barrell, B.G., Brown, N.L., Coulson, A.R., Fiddes, C.A., Hutchison, C.A., Slocombe, P.M., & Smith, M. (1977). Nucleotide sequence of bacteriophage phi X174 DNA. *Nature* 265, 687-695.
237. Sato, M., & Masuda, Y. (1997) - Genetic differentiation in two sibling species of the brackishwater polychaete *Hediste japonica* complex (Nereididae). *Marine Biology* 130, 163-170.
238. Scaps P., Brenot S., Retière C., & Desrosiers G. (1998). Space occupation by the polychaetous annelid *Perinereis cultrifera*: influence of substratum heterogeneity and intraspecific interactions on burrow structure. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 78, 435-449.
239. Scaps, P., Rouabah, A., & Leprêtre, A. (2000). Morphological and biochemical evidence that *Perinereis cultrifera* (Polychaeta: Nereididae) is a complex of species. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 80, 735-736.
240. Schmidt, H. & Westheide, W. (1994). Isozymes and general protein patterns as taxonomic markers in the taxon Nephthyidae (Annelida, Polychaeta). *Marine Biology* 119, 31-38.
241. Séridi, H. (2007). Etude de la flore algale de l'Algérie. Etude phytosociologique des peuplements algaux photophyles de l'infra littoral superficiel de substrat dur, *thèse de doctorat en sciences de la nature. USTHB*, 174.
242. Shannon, C.E., & Weaver, W. (1963). The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, *Urbana*. 117p.

243. Sifi, K., Chouahda, S., & Soltani, N. (2007). Biosurveillance de l'environnement par la mesure de biomarqueurs chez *Donax trunculus* dans le golfe d'Annaba (Algérie). *Mésogée* 63, 11-18.
244. Silva, C. F., Seixas, V. C., Barroso, R., DiDomenico, M., Amaral, A. C. Z. & Paiva, P. C. (2017). Demystifying the *Capitella capitata* complex (Annelida, Capitellidae) diversity by morphological and molecular data along the Brazilian coast. *PLoS One* 12,177-760.
245. Snani, M. (2016). Etude comparative de la reproduction d'un bioindicateur de pollution, *Perinereis cultrifera* (Annelide, Polychète) du littoral nord-est algérien et des côtes de la manche française « aspects morpho-anatomiques, génétiques, immunologiques et activités enzymatiques ». *Thèse de Doctorat en Biologie Animale à l'université d'Annaba*, 218.
246. Soto-Navarro, J., Jorda, G., Compa, M., Alomar, C., Deudero, S., (2021). Impact of the marine litter pollution on the Mediterranean biodiversity: a risk assessment study with focus on the marine protected areas. *Marine Pollution bulletin* 165, 112169.
247. Sorensen, T. (1948). A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Videnski Selskab Biologiske Skrifter* 5, 1-34.
248. Struck, T. H., Westheide, W. & Purschke, G. (2002). Progenesis in Eunicida ("Polychaeta," Annelida) separate evolutionary events. Evidence from molecular data. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 25, 190–199.
249. Struck, T. H., Feder, J. L., Bendiksby, M., Birkeland, S., Cerca, J., Gusarov, V. I., Kistenich, S., Larsson, K. H., Liow, L. H., Nowak, M. D. & Stedje, B. (2018). Finding evolutionary processes hidden in cryptic species. *Trends in Ecology and Evolution* 33, 153-163.
250. Sugita T., Nishikawa A. & Shinoda T., 1998. Identification of *Trichosporon asahii* by PCR based on sequences of the internal transcribed spacer regions, *Journal of Clinical Microbiology* 36, 2742-2744.
251. Tajima, F. (1983). Evolutionary relationship of DNA sequences in finite populations. *Genetics* 105, 437-460.
252. Tajima, F. (1989). Statistical method for testing the neutral mutation hypothesis by DNA polymorphism. *Genetics* 123, 585-595.

- 253. Taleb, M. Z., & Boutiba, Z. (2007).** La moule *Mytilus galloprovincialis* : bioindicatrice de pollution marine – cas du port d’Oran. *Sciences & Technologie* 25, 59-64.
- 254. Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipski, A., & Kumar, S. (2013).** MEGA6: molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. *Molecular biology and evolution* 30, 2725-2729.
- 255. Teske, P. R., & Wooldridge, T. H. (2003).** What limits the distribution of subtidal macrobenthos in permanently open and temporarily open/closed South African estuaries? Salinity vs. Sediment particle size. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 57,225-238.
- 256. Thompson, J. D., Higgins, D. G., & Gibson, T. J. (1994).** CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic acids research* 22, 4673-4680.
- 257. Tonkin, J. D., Death, R. G., & Collier, K. J. (2013).** Do productivity and disturbance interact to modulate macroinvertebrate diversity in streams? *Hydrobiologia* 701, 159-172.
- 258. Toonen, R. J. (2003).** Invertebrate Non-Column: Sea cucumbers - Part II. *in* Advanced Aquarists Online Magazine.
- 259. Tosuji, H., & Furota, T. (2016).** Molecular Evidence for the Expansion of the Asian Cryptic Invader *Hediste diadroma* (Nereididae: Annelida) into the Northeast Pacific Habitats of the Native *H. limnicola*. *Zoological Science* 33, 162-169.
- 260. Uschakov PV, Wu B. (1965).** Polychaeta Errantia of the Yellow Sea. New Delhi: Amerind Publishing Co. Pvt. Ltd. (translated from Russian in 1979).
- 261. Vinagre, C., Dias, M., Fonseca, C., Pinto, M. T., Cabral, H., Silva, H. (2015).** Use of rocky intertidal pools by shrimp species in a temperate area, *Biologia* 70, 372-379.
- 262. Vinagre, C., Salgado, J.P., Mendonça, V., Cabral, H., Costa, M.J. (2012).** Isotopes reveal fluctuation in trophic levels of estuarine organisms, in space and time. *Journal of sea research*, 72, 49–54.
- 263. Virgilio, M., Backeljau, T., Abbiati, M. (2006).** Mitochondrial DNA and allozyme patterns of *Hediste diversicolor* (Polychaeta: Nereididae): the importance of small scale genetic structuring. *Marine ecology progress series* 326, 157-165.

- 264. Virgilio, M., Fauvelot, C., Costantini, F., Abbiati, M., & Backeljau, T. (2009).** Phylogeography of the common ragworm *Hediste diversicolor* (Polychaeta: Nereididae) reveals cryptic diversity and multiple colonization events across its distribution. *Molecular Ecology* 18, 1980-1994.
- 265. Waring J. & Maher, W. (2005).** Arsenic bioaccumulation and species in marine Polychaeta. *Applied Organometallic Chemistry* 19,917-929.
- 266. Water Framework Directive (WFD), 2003.** Overall approach to the classification of ecological status and ecological potential. Water Framework Directive Common Implementation Strategy Working Group 2A. *Ecological Status (ECOSTAT)*.
- 267. Wehe, T., & Fiege, D. (2002).** Annotated checklist of the polychaete species of the seas surrounding the Arabian Peninsula: Red Sea, Gulf of Aden, Arabian Sea, Gulf of Oman, Arabian Gulf. *Fauna of Arabia* 19, 7-238.
- 268. Weinberg, J. R., Starczak, V. R., Mueller, C., Pesch, G. C. & Lindsay, S. M. (1990).** Divergence between populations of a monogamous polychaete with male parental care: premating isolation and chromosome variation. *Marine Biology* 107, 205-213.
- 269. Weisshappel, J. B. F., & Svavarsson, J. (1998).** Benthic amphipods (Crustacea: Malacostraca) in Icelandic waters: diversity in relation to faunal patterns from shallow to intermediate deep Arctic and North Atlantic Oceans. *Marine Biology* 131, 133-143.
- 270. Wells, G. P., & LEDINGHAM, I. C. (1940).** Physiological effects of a hypotonic environment: I. the action of hypotonic salines on isolated rhythmic preparations from polychaete worms (*Arenicola marina*, *Nereis diversicolor*, *Perinereis cultrifera*). *Journal of Experimental Biology* 17, 337-352.
- 271. Wilson R.S., 2000.** Family Nereididae. In Beesley P.L., Ross G. J. B. & Glasby C. J. (Eds.), *Polychaeta and Allies: the Southern Synthesis* Melbourne: CSIRO Publishing 138-141.
- 272. Winnepeninckx, B., Backeljau, T., & De Wachter, R. (1993).** Extraction of high molecular weight DNA from molluscs. *Trends Genetics* 9,407.
- 273. Wood A. R., Apte S., MacAvoy E. S. & Gardner J. P. A., 2007.** A molecular phylogeny of the marine mussel genus *Perna* (Bivalvia: Mytilidae) based on nuclear (ITS1&2) and mitochondrial (COI) DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 44 (2), 685-698.

- 274. Wu, B. L., Sun, R., & Yang, D. J. (1985).**The Nereidae (polychaetous annelids) of the Chinese coast. Beijing : *China Ocean Press*.
- 275. Younsi, M. (2014).** Etude biologique de deux espèces de Polychètes Nereididae du littoral Est Algérien et analyse comparative : biogéographique, morphométrique et biochimique. *Thèse de doctorat en biologie à l'université d'Annaba* 171.
- 276. Zaabi-Sendi, S. (2013).** Etude faunistique et écologique des Annélides Polychètes de la côte nord-est de la Tunisie (Peninsule du Cap Bon, Méditerranée Ouest). *Thèse de doctorat à l'université de Bizerte* 493.
- 277. Zanol J., Fauchald K. & PAULO. Paiva P.C., 2007.** A phylogenetic analysis of the genus *Eunice* (Eunicidae, polychaete, Annelida). *Zoological Journal of the Linnean Society* 150, 413–434.
- 278. Zenetos, A., Todorova, V. & Alexandrov, A., (2003).** «Marine biodiversity changes in zoobenthos in the Mediterranean Sea». Conférencier invité à la: *Conference on Sustainable Development of the Mediterranean and Black Sea Environment* (Conférence).
- 279. Zghal, F., & Ben Amor, Z. (1989).** Sur la présence en Méditerranée de la race *Perinereis cultrifera* (Polychète). *Archives de l'Institut PasteurTunis* 66, 293-301.

**RÉFÉRENCES WEBOGRAPHIQUES**

1. <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=manual>
2. [https://inpn.mnhn.fr/espece/cd\\_nom/455/tab/carte](https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/455/tab/carte)

## **ANNEXES**

## **Annexe 01.**

Alignement des séquences de COI de toutes les espèces de la famille des nereididae prélevées des trois sites du littoral Nord-Est Algérien.











OP458444GTATGATCCGTAATAGTAACAGCCATTTTATTACTTCTCAAATGCCGTGTTTTAGCTGGTGCTATTACAATACTTCTAACCGACCGAAATTTAAACACCGCCTTCTTTGATCCTGCTGGT  
 OP437556GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458201GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458202GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458203GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458204GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458205GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458206GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458315GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458316GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458317GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458243GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458244GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458245GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458246GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458247GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458248GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP458249GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP437553GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 OP437554GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA  
 JX420263GTCGATCCGTTGTTATCAGGCGAGTTCCTTCTTACTTACGCTTCCAGTCCCTTGCAGGCGCTATTACTATACTATTAACTGATCGTAATTTTAAATACCGCATTTTTTTGACCCAGCAGGA  
 JX420260GTCGATCCGTTGTTATCAGGCGAGTTCCTTCTTACTTACGCTTCCAGTCCCTTGCAGGCGCTATTACTATACTATTAACTGATCGTAATTTTAAATACCGCATTTTTTTGACCCAGCAGGA  
 GQ856203ATTTGATCGGTA AAAAGTAACTGCTATTCCTCCTCCTTTCCCTCCTTGTGTTTTAGCTGGAGCCATTACTATAATTATTAACGACCGAAATTTAAACACTGCATTTTTTCGACCCAGCAGGT  
 JX420259GTCGATCCGTTGTTATCAGGCGAGTTCCTTCTTACTTACGCTTCCAGTCCCTTGCAGGCGCTATTACTATACTATTAACTGATCGTAATTTTAAATACCGCATTTTTTTGACCCAGCAGGA  
 OP437555GTATGATCTGTTGTGATTACAGCAGTCCCTCCTTCTTCTCAGCCTTCCCCTTCTTGCAGGCGCCATTACCATACTACTCACTGACCGTAACCTTAATACTGCATTCTTCGACCCGTCAGGA

490            500            510  
 ....|....| ....|....| ....|....| ...

OP458207GGAGGAGACCCATTCCTGTACCAACACTTATTCT  
 OP458208GGAGGAGACCCATTCCTGTACCAACACTTATTCT  
 OP458320-----  
 OP458321-----  
 OP459427GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
 OP459428GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
 OP459429GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
 OP459432GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
 OP459433GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
 OP459434GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
 OP459435GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
 OP458437GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
 OP458438GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT

OP458440GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458442GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458443GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458445GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458354GGGGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458355GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458356GGGGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458357GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458358GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458359GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458360GGGGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458361GGGGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458362GGGGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458363GGGGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458365GGGGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458367GGGGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458423GGGGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458424GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458425GGGGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458426GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458427GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458428GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458429GGGGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458430GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458431GGGGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458432GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458435GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458436GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP458444GGAGGGGACCCAAATTCCTTTACCAACATTTATTT  
OP437556GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458201GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458202GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458203GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458204GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458205GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458206GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458315GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458316GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458317GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458243GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458244GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458245GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458246GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458247GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458248GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP458249GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP437553GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
OP437554GGAGGGGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
JX420263GGAGGAGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT  
JX420260GGAGGAGACCCATAATTCCTTTATCAGCATTATT

GQ856203GGAGGAGACCCATTCCTACCAGCATTATTC  
JX420259GGAGGAGACCCATTCCTATCCAACTTATTC  
OP437555GGAGGGACCCATTCCTTATCAGCATTATTC

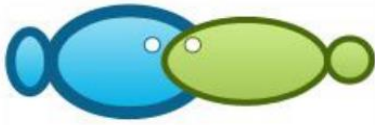
## Annexe 02.

### Article 01.

**Rezzag Mahcene, H.**, Denis, F., Meziane, T., Maamcha, O., & Daas, T. (2022). General structure of Nereids of the East Coast of Algeria. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation* 15 (1), 282-293.

### Article 02.

**Rezzag Mahcene, H.**, Ramdani, S., Sebbih, A., Meziane, T., Denis, F., Maamcha-Daas, O., Moanono, P. G. T. & Daas, T. (2022). Diversity benthic of macroinvertebrates in the Algerian East Coast. *Biodiversity journal* 13 (3), 695-706.



## General structure of Nereids of the East Coast of Algeria

<sup>1,2</sup>Hiba Rezzag Mahcene, <sup>2</sup>Françoise Denis, <sup>2</sup>Tarik Meziane, <sup>1</sup>Ouïded Maamcha, <sup>1</sup>Tarek Daas

<sup>1</sup> Laboratory of Applied Animal Biology, Department of Biology, Faculty of Sciences, University Badji Mokhtar, Annaba, Algeria; <sup>2</sup> UMR 7208 BOREA, MNHN, Sorbonne University/University de Caen-Normandie/University of Antilles/CNRS/IRD-207, Paris, France. Corresponding author: H. Rezzag Mahcene, rezhiba@yahoo.fr

**Abstract.** The study of biodiversity of nereids at three sites (El-Kala, Annaba and Skikda) of the Algerian east coast for the year of 2018 has allowed us to identify 8 species belonging to the family of Nereididae: *Perinereis cultrifera*, *Perinereis floridana*, *Perinereis oliveirae*, *Perinereis macropus*, *Perinereis marionii*, *Platynereis dumerilli* and *Nereis falsa*. The aim of this study was to carry out the analysis of the specific richness and the abundance of annelids in order to determine their biodiversity where the structure and functioning of these communities were analyzed. Moreover, the analysis of the ecological indices shows a less rich biodiversity at the two sites (Annaba and Skikda). Physico-chemical parameter data show significant differences between the three sites especially for dissolved oxygen.

**Key Words:** abundance, Algerian Eastern Coast, biodiversity, Nereididae.

**Introduction.** Pollutants affect the abundance and composition of marine species (Wildsmith et al 2011). The presence of these compounds in environmental media, biota and food today represents a serious threat to human health and environmental integrity (Bouzahouane et al 2018).

Surveys and monitoring programs of the marine environment often use benthic communities (Pearson & Rosenberg 1978; Dauer et al 1993; Gray & Elliott 2009; Josefson et al 2009; Snani et al 2015). Polychaetaannelids represent a significant percentage of the total benthic population (Papageorgiou et al 2006; Garcia-Alonso et al 2008; Gozler et al 2009; Ramdani et al 2020). In the Mediterranean, more than 1172 species of polychaetes have been described (Coll et al 2010).

Several factors influence the distribution and abundance of polychaetes: the structure of the sediment, the amount of organic matter contained in the sediment, depth, salinity, temperature, and others (Hutchings 1998). Labruno et al (2007) studied polychaetes from the Gulf of Lyon (North-West of the Mediterranean) in relationship with soft bottom sediments and the main environmental parameters, establishing very significant relationships.

The family of Nereididae from Polychaeta worms represents the most usual and typical species of estuarine macrobenthos (Scaps 2002) and are recognized as biological models of choice for revealing disturbances affecting coastal ecosystems (Rouhi et al 2016). In fact, the benthic invertebrate community is considered to be a tool reflecting the conditions of the seabed and is, therefore, a way of assessing marine environmental health. Our study consists of sampling three populations of polychaete annelids belonging to the Nereididae family on the East-Algerian coast in the Mediterranean from three sites represented by: the beach of La Montagne (El-Kala) considered as a reference site, Rezzag Rachid beach (Annaba) and Bikini beach (Skikda) considered as sites affected by industrial and urban pollution. Our work took place in 2018. In addition, the objective of our study was to determine the general structure of the Nereididae population of the

eastern Algerian coast using an ecological approach by analyzing biodiversity as a function of time and of site.

### Material and Method

**Description of the study sites.** The collection of specimens took place in the northeastern part of the Algeria. Three sites were chosen. The first site was located at El-Kala (La Montagne station), which is a municipality in the Wilaya of El-Tarf near to the Algero-Tunisian border. It is located at latitude  $36^{\circ}53'53.33''\text{N}$  and longitude  $08^{\circ}27'3.28''\text{W}$ . The second site was located at Annaba (Rezgui Rachid ex Saint Cloud station). It was located at latitude  $36^{\circ}91'67.70''\text{N}$  and longitude  $07^{\circ}76'81.70''\text{W}$ . The third site was located at Skikda (Bikini Beach), at latitude  $36^{\circ}52'18.86''\text{N}$  and  $06^{\circ}54'3.28''\text{W}$  (Figure 1).

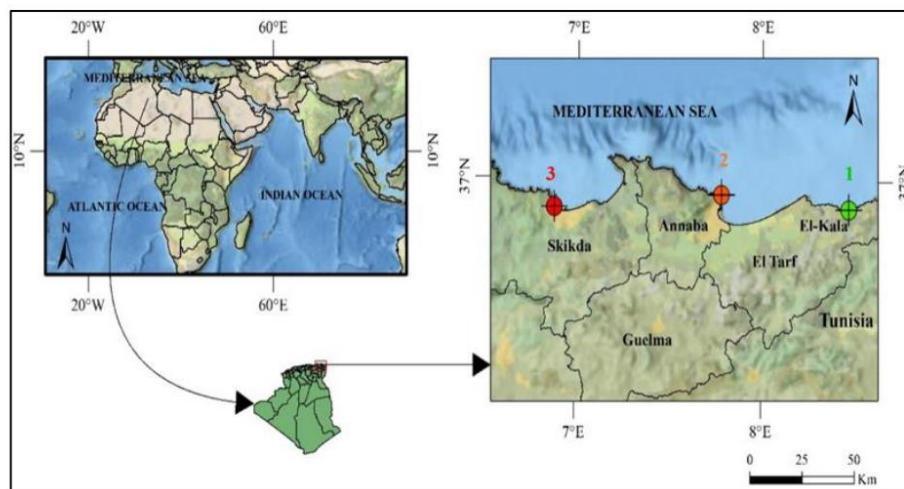


Figure 1. Location of the sampling area.

**Sampling procedure.** Monthly withdrawals were made during the year 2018. Sampling was carried out in rocky and sandy substrates covered with algae. At each site, three replicates of sampling were performed each month by using a  $25 \times 25$  cm quadrat at a 0.5 m depth by using a scraper. In the laboratory, the polychaetes were fixed in the field with a 4% formaldehyde formalin solution, and then preserved in 70% ethanol. Then, the polychaetes were identified based on the shape and distribution of the paragnaths of the proboscis, as well as the identification of the setae in the different parapodia especially posterior ones, key elements in the description of the species of Nereids (Fauvel 1923; Day 1967). The Polychaetes were observed using a specialized microscope linked to a "Leica suite lazerleica dm500" computer, which allowed studying the parapodia. To determine the general structure of the communities of the polychaetes (Nereididae), the following descriptive parameters were determined: the specific richness (S), abundance (A) or the total number of individuals per unit area ( $\text{ind m}^{-2}$ ), relative frequency (F), dominance (Pi), Shannon-Weaver diversity index ( $H'$ ) and Pielou's equitability index ( $J'$ ).

**Abiotic parameters.** In order to better interpret our results, it was essential to take into consideration the natural environmental factors that could influence the dynamics of the species studied. The physico-chemical parameters of seawater represented by temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinity ( $\text{mg L}^{-1}$ ), dissolved oxygen ( $\text{mg L}^{-1}$ ) and pH were recorded using a "Thermo" multi-parameter scientific Orien 5-star portable multi-parameter.

**Statistical analysis.** Data was expressed as mean ( $\pm$  standard deviation). Significant differences were assessed by one-way or two-way analysis of variance (ANOVA) followed by the Tukey test; significance of differences was defined at  $p < 0.05$ . The principal component analysis (PCA) was used to establish the abiotic typology of the sampling sites on the basis of the set of environmental parameters measured at each station throughout the study. All the statistical analyses were performed using MINITAB® software and XLSTAT.

## Results and Discussion

**Abiotic parameters.** The physico-chemical parameters were measured throughout the duration of the study at the three study sites: El-Kala, Annaba and Skikda. We did not observe any significant differences between the study sites for seawater temperature, pH and salinity (Figure 2). For dissolved O<sub>2</sub>, a very highly significant effect was recorded at El-Kala site.

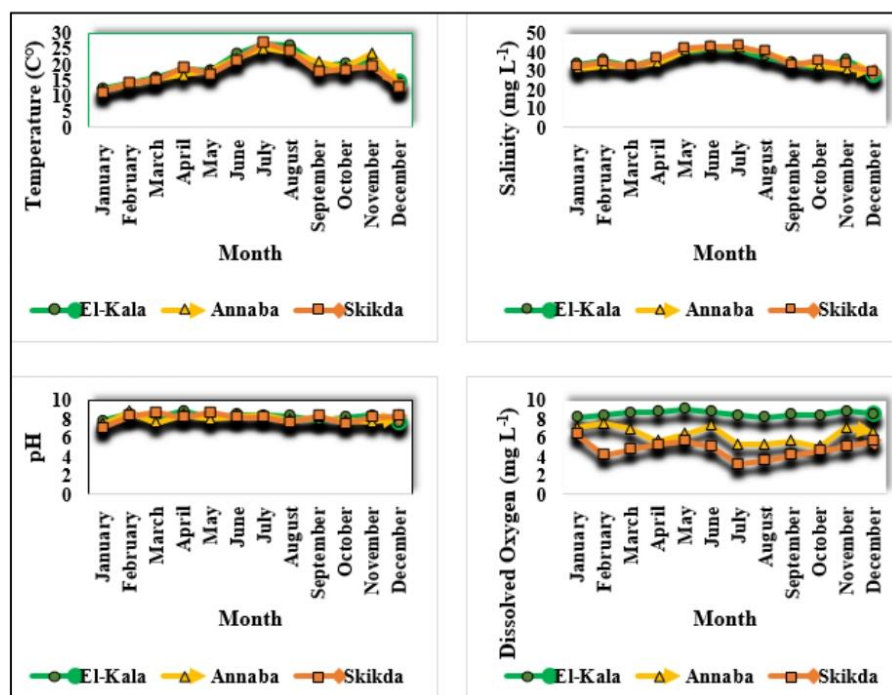


Figure 2. Monthly variations of the mean physico-chemical parameters of seawater in El-Kala, Annaba and Skikda from January to December 2018. Each data point represents mean  $\pm$  standard deviation (n=3).

The ANOVA single controlled factor variance analysis indicates that there are significant differences only between the dissolved oxygen in the three study site ( $p < 0.05$ ) (Table 1).

Table 1  
Statistical analysis of monthly variations in physicochemical parameters seawater measured at the three study sites (El-Kala, Annaba and Skikda) from January to December 2018

	Temperature (C°)	Salinity (mg L <sup>-1</sup> )	Dissolved O <sub>2</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	pH
El-Kala	19.30±3.55	35.77±3.16	8.4±0.31	8.24±0.27
Annaba	18.80±3.74	35.48±3.96	6.3±0.8	8.05±0.32
Skikda	18.35±3.48	36.26±3.84	4.80±0.72	8.09±0.32
p	0.876 NS	0.911 NS	0.000***	0.511 NS

Note: NS - not significant (p>0.05); \* - very significant (p<0.05); \*\* - highly significant (p<0.01); \*\*\* - very highly significant (p<0.001).

**Annelids composition and community structure.** The number of individuals of different species is very variable. The species found in large numbers at all sites is *Perinereis cultrifera* (Annelid, Polychete) throughout the study period. In addition, we noticed the presence of several species at the El-Kala site compared with other sites. The species listed at this site are *Perinereis cultrifera*, *Perinereis floridana*, *Perinereis oliveirae*, *Perinereis macropus*, *Perinereis marionii*, *Platynereis dumerillii* and *Nereis falsa* (Table 2).

Table 2  
Number of individuals (ni) of the different species of nereids recorded at three study sites during 2018

	El-Kala	Annaba	Skikda
<i>N. falsa</i>	78	82	49
<i>P. cultrifera</i>	483	397	386
<i>P. floridana</i>	102	0	0
<i>P. macropus</i>	38	0	0
<i>P. marionii</i>	29	0	0
<i>P. oliveirae</i>	4	0	0
<i>P. dumerillii</i>	6	0	0

**Dominance of Nereids present at the three sites.** At La Montagne beach (El-Kala: site1), we collected 740 individuals belonging to the Nereidae family, with unequal dominance. The results obtained revealed an important abundance of *P. cultrifera*, with a percentage of 65.27%, followed by *P. floridana* and *N. falsa* with 13.78% and 10.54%, respectively. Finally, *P. oliveirae*, *P. macropus*, *P. marionii* and *P. dumerillii* were represented in very low percentages (Figure 3).

At the Rezgui Rachid beach (Annaba: site2), we have identified 482 individuals belonging to the Nereidae family, with a dominance of *P. cultrifera* reaching 82.88%, followed by *N. falsa* (17.11%) and a total absence of *P. floridana*, *P. oliveirae*, *P. macropus*, *P. marionii*, and *P. dumerillii* throughout the study period (Figure 3).

At Bikini beach (Skikda: site 3), we have inventoried 435 individuals belonging to the Nereidae family. We noted the presence and abundance of *P. cultrifera* (88.73%) compared to *N. falsa* (11.26%), and a total absence of *P. floridana*, *P. oliveirae*, *P. macropus*, *P. marionii* and *P. dumerillii* throughout the study period (Figure 3).

**Shannon-Weaver Index (H') and Pielou's equitability index (J').** The diversity (H') of the annelids at the three sites on the eastern Algerian coast varied from 1.63 at site 1, 0.66 at site 2 and 0.61 at site 3.

Pielou's equitability index (J') varied from a maximum in site 1 of 0.54 to a minimum of 0.20 in site 3 (Table 3).

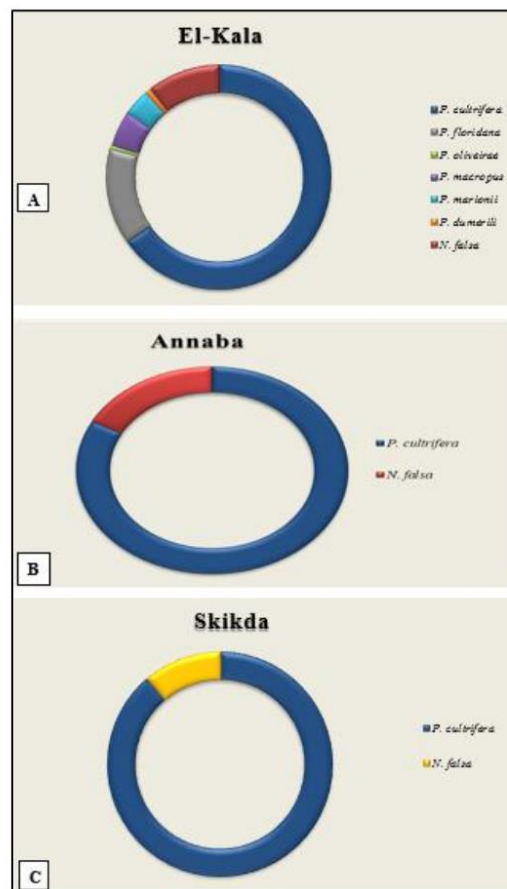


Figure 3. Dominance of Nereids present at the three sites during 2018.

Table 3  
Abundance (N), Shannon-Weaver Index ( $H'$ ) and Pielou's equitability index ( $J'$ ) of Nereids  
in the three study sites during 2018

	$N$ (Ind $m^{-2}$ )	$H'$	$J'$
Site 1	740	1.63	0.54
Site 2	479	0.66	0.22
Site 3	435	0.61	0.20

**Identification characteristics.** Fauvel (1923) reports that species belonging to Nereididae are recognized by their many segmented body and by the presence of four eyes, two palps ending in a small palpostyle, two antennae and two pairs of tentacular cirri. On their everted pharynx there are two jaws and paragnaths divided into 8 groups on 2 rings (oral and maxillary) (Table 4), bi-ringed parapods (except at Lycastis), excepting the first 2 pairs, which are uni-ringed. This description agrees with the characters of our Nereididae.

Table 4  
 Number and shape of paragnaths on AVI and AV on everted pharynx; A - Area; HoS - *Homogomph spiniger*; HeS - *Heterogomph spiniger*; HoF - *Homogomph falciger*; HeF - *Heterogomph falciger*

<i>Nereids</i>	AVI	AV	HoS	HeS	HoF	HeF	Observations
<i>P. cultrifera</i> Grube (1840)	1 transverse bar	3	+	+	-	+	Fauvel (1923)
<i>P. floridana</i> Ehlers (1868)	1 transverse bar	1-2	+	+	-	+	De Leon Gonzalez & Goethel (2013); De León-González & Solís-Weiss (1998); Park & Kim(2017)
<i>P. oliveirae</i> Horst (1889)	1 ridge shaped tooth	1	+	+	-	+	Fauvel (1923)
<i>P. macropus</i> (Claparède, 1870)	1-2transverse bars	10	+	+	+	+	Claparède R. É. (1832-1871)
<i>P. marionii</i> (Audouin and Milne, Edwards, 1833)	1 paragnath	1	+	+	-	+	Fauvel (1923)
<i>P. dumerilii</i> (Audouin and Milne Edwards, 1833)	2 transverse bars	0	-	+	+	+	Day (1967)
<i>N. falsa</i> Quatrefages (1866)	4 paragnaths	0	+	-	+	+	Day (1967)

Principal Component Analysis (PCA) was performed to determine the relationships between ecological indices and physicochemical parameters. The analyzed matrix is a table of 10 columns corresponding to the environmental parameters and the biotic parameters taken into account and 3 lines representing the 3 sampling stations during the 12 months of study. Most of the total variance is provided on the first two factorial axes F1 (83.26%) and F2 (16.74%), which accumulate 100% of the total inertia (Figure 4). The PCA results obtained a split of the biotic and abiotic parameters into two groups. The first group (1) reveals a correlation between salinity and the Skikda site. The second group (2) reveals positive correlations between ecological indices namely: Pielou fairness index (J), Shannon-Weaver index (H'), frequency of occurrence (OF), specific richness (S) and abundance (N) and physicochemical parameters represented by temperature (T°) and dissolved oxygen. These characteristics can be seen at the El-Kala site.

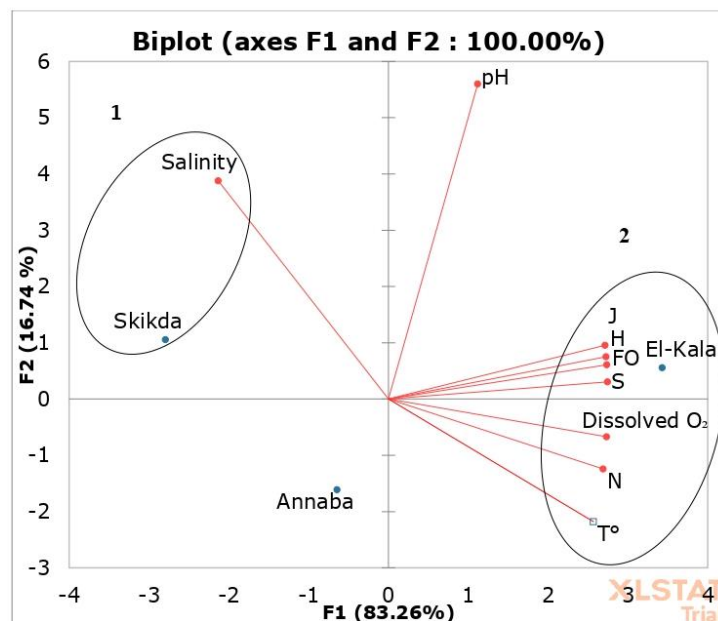


Figure 4. Results of the Principal Component Analysis (PCA) carried out on the environmental variables measured in the different sites during the study period represented by a biplot showing the distribution of the stations relative to their abiotic and ecological characteristics in the factorial plane F1 X F2.

An ecosystem indicates an environment in which the physicochemical conditions are fairly homogeneous, allowing the development of a set of living organisms. In an environment, climatic, geological and hydrological conditions define a biotope, which indicate a place of life allowing the development of certain plant, animal and fungal species or a community or association of living beings coexisting and form a biocenosis (Dajoz 2006). Monitoring programs that assess changes in environmental quality over time are generally based on the evaluation of biological indicators using morphological taxonomy (Aylagas et al 2018). Global warming and the modification of landscapes could be partially a result of the overexploitation of natural resources and agricultural and industrial waste. Environmental pollution has become one of the major problems leading to physicochemical alterations of the seawater temperature, salinity, dissolved oxygen and pH, which are important to overall seawater quality (Mackie & Schloesser 1996). The distribution patterns of macro-benthos and other organisms are determined, among others, by temperature and its interaction with other abiotic factors, such as water speed, oxygen rate, etc. (Ekau et al 2010). Temperature is an important physical property of the environment, which measures the movement and kinetic energy of molecules (Gillooly et al 2001). It controls oxygen supply, metabolism and other associated thermal adaptation mechanisms in invertebrates (Ekau et al 2010). The increase in temperature favors, with other factors, primary productivity and therefore an increase in food for aquatic fauna (Bremond & Vuichard 1973). In the three study sites, water thermal values did not indicate variations. However, they divulged the existence of a commonly Mediterranean seasonal cycle.

Salinity largely determines biological processes, but also chemical processes in water. It is also known for its influence on metal bioavailability (Durou et al 2006). It determines the distribution and dynamics of species (Llanos et al 2002; Teske & Wooldridge 2003).

Our results showed differences between study periods, with a low value recorded during the winter period conceivably due to the incursion of rainwater, opposed to its high value recorded during summer due to the increase in temperature. This work is in agreement with the work carried out on the Oran coast by Rouane-Hacene (2013).

Hydrogen potential (pH) influences many chemical or biological processes (Hinga 2002). A low pH could allow toxic elements to become more available for absorption by aquatic biota producing conditions that are toxic to aquatic life (Faragallah et al 2009). The data collected does not show a significant variation between the three sites, and presents generally similar values. The alkalinity of the different study sites indicates a good quality of the environment for biodiversity of aquatic fauna and flora. Alkalinity was observed at the Skikda site in a previous study (Bordjiba et al 2009). These results are in agreement with those of Kaimoussi et al (2001). Fluctuations in pH can be affected by processes such as: mixing with fresh water, accumulation of organic matter of continental origin and contamination by agricultural, urban or industrial discharges (Aminot & K  rouel 2004).

Dissolved oxygen is one of the most important abiotic factors for marine life. The content of dissolved oxygen defines the living conditions of aquatic organisms requiring oxygen. Ekau et al (2010) reported that changes in species composition were a common response to changing oxygen conditions, the strength of which depends on the duration and amplitude of hypoxic events. Oxygen depletion is exacerbated in situations where water bodies are highly stratified or isolated from oxygenated water bodies (Levin et al 2009).

The fluctuation of oxygen of the seawater at station 1 revealed high mean values compared to the two other sites. These fluctuations are linked to seasonal variations in temperature, which directly affect the solubility process of oxygen in water. This hypothesis is confirmed by the study by Tarsila et al (2006) and Ramdani et al (2020), who point out that the oxygen solubility in the water is higher in lower temperatures. However, according to Rodier (1996), the cause of any variation in dissolved oxygen levels may be a function of the presence of plants, oxidizable materials, organisms and aerobic germs. Low oxygen values were recorded at Annaba (Saint-Cloud) and Skikda (Bikini) sites, characterized by the presence of organic pollutants due to industrial discharges from the petrochemical platform.

Concerning species representative of the Nereididae family, Meghlaoui et al (2015) reported the association of four species (*P. cultrifera*, *P. macropus*, *N. falsa*, and *P. dumerellii*) on the east coast of Algeria. Grimes (2004) describes the presence of 54 hard-bottomed Polychaeta annelides species, including those of the genus *Perinereis* (*P. cultrifera*, *P. macropus*, *P. marionii*, and *P. oliveirae*), those of the genus *Nereis* (*N. falsa*, *N. fucata*, *N. pelagica* and *N. zonata*) and a single species of the genus *Platynereis* (*P. dumerellii*). Other studies have indicated the presence of other annelid species in soft bottoms (the bay of Algiers, Annaba), among which 5 species of Nereididae belong to the genera *Perinereis* and *Nereis* (Younsi et al 2010; Madani et al 2011).

The examination of the inventory carried out on the three populations of Nereids during the study period allowed us to identify 7 species belonging to the Nereididae, based on the morphological keys of each species. In addition, this study allowed us, on the one hand, to determine the qualitative composition represented by a list of species and their presence in the sampling sites, and, on the other hand, to analyze the quantitative structure using various ecological indices.

El-Kala (Site 1) was the most diverse and richest in individuals and species (an average of 740 individuals and 7 species), while the lowest values of species richness and abundance were recorded at Skikda (site 3) (435 individuals and 2 species). This was indicated by the persistence of disturbances in this area, preventing the population from progressing to a more mature stage. This difference in species and specimen richness, which in turn increases diversity, can be explained, at least in part, by the different sampling procedures.

The purpose of calculating the most widely used ecological indices of diversity, namely the Shannon-Weaver ( $H'$ ) and Pielou's equitability index ( $J'$ ), was to estimate the balance of the Nereids population structure.

The four (4) following classes are considered by Grimes (2010) in interpreting the  $H'$  index:  $H' < 1.5$  - very unbalanced;  $H'$  between 1.5-2.5 - unbalanced;  $H'$  between 2.5-4 - balanced;  $H' > 4$  - very balanced. Thus, the structure is unbalanced at El-Kala and very unbalanced at Annaba and Skikda. These results are linked to pollution and Guemouda et al (2014) confirm that individuals from Skikda and Annaba have been submitted to a highly polluted environment. The structure index is higher at site 1 compared to other sites throughout the study period, classifying it as a site rich in biodiversity. Mirza & Gray (1981) found a decrease in species diversity along a gradient from relatively clean areas to areas heavily affected by organic pollution. Our results show a higher  $H'$  at El-Kala (site 1) compared to Annaba (site 2) and Skikda (site 3), in correlation with the dominance of the different species present at each site.

As for the data relating to the Pielou index, Grimes (2010) also proposed a scale of 4 classes to estimate the balance of the population structure:  $J' < 0.4$  - very unbalanced;  $J'$  between 0.4 and 0.6 - unbalanced;  $J'$  from 0.6 to 0.8 - subnormal; and  $J'$  between 0.8 and 1 - normal. Therefore, El-Kala site presents an unbalanced distribution, compared to Annaba and Skikda, which are very unbalanced.

**Conclusions.** The ecological study allowing the analysis of the physico-chemical parameters of seawater at the three sites, La Montagne (El-Kala), Rezgui Rachid (Annaba) and Bikini (Skikda), showed that there is no significant difference in temperature, pH and salinity. However, a very highly significant difference was recorded for dissolved oxygen. We identified eight species of Nereids: *P. cultrifera*, *P. oliveirae*, *P. macropus*, *P. marionii*, *P. dumerilii* and *N. falsa*. At site 1, the richness and abundance are the highest compared to those of the other two sites (2 and 3), and according to the Shannon-Weaver index, El-Kala is a site rich in biodiversity.

**Acknowledgements.** The authors thank the laboratory staff for their assistance during this study and all who have facilitated the realization of this scientific contribution.

**Conflict of Interest.** The authors declare that there is no conflict of interest.

## References

- Aminot A., K  rouel R., 2004 [Hydrobiology of marine ecosystems: Parameters and analyzes]. E-Ifremer, Brest, 336 p. [In French].
- Aylagas E., Borja A., Muxika I., Rodr  guez-Ezpeleta N., 2018 Adapting metabarcoding-based benthic biomonitoring into routine marine ecological status assessment networks. *Ecological Indicators* 95(1):194-202.
- Bordjiba O., Bekhouche F., Hassaine A., Djenidi R., 2009 [Impact of oil pollution on the quality of wastewater in the region of Skikda (North-East of Algeria)]. *European Journal of Scientific Research* 26:87-97. [In French].
- Bouzahouane H., Barour C., Sleimi N., Ouali K., 2018 Multi-biomarkers approach to the assessment of the southeastern Mediterranean Sea health status: Preliminary study on *Stramonita haemastoma* used as a bioindicator for metal contamination. *Chemosphere* 207:715-741.
- Bremond R., Vuichard R., 1973 [Water quality parameters]. Ministry of Nature and Environment Protection, Paris, 179 p. [In French].
- Clapar  de R.   ., 1832-1871 [The chetopods annelids of the gulf of Naples]. Gen  ve H. G. (ed), 448 p. [In French].
- Coll M., Piroddi C., Steenbeek J., Kaschner K., Ben Rais Lasram F., Aguzzi J., Ballesteros E., Bianchi C. N., Corbera J., Dailianis T., Danovaro R., Estrada M., Froggia C., Galil B. S., Gasol J. M., Gertwagen R. Gil J., Guilhaumon F., Kesner-Reyes K., Kitsos M., Koukouras A., Lampadariou N., Laxamana E., de la Cuadra C. M., Lotze H. K., Martin D., Mouillot D., Oro D., Raicevich S., Rius-Barile J., Saiz-Salinas J., San Vicente C., Somot S., Templado J., Turon X., Vafidis D., Villanueva R., Voultsiadou E., 2010 The biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, patterns, and threats. *PLoS ONE* 5(8):e11842, 36 p.

- Dajoz R., 2006 [Precise ecology. 8<sup>th</sup> Edition]. Dunod, Paris, 640 p. [In French].
- Dauer D. M., Rodi Jr. A. J., Ranasinghe J. A., 1993 Effects of low dissolved oxygen events on the macrobenthos of the lower Chesapeake Bay. *Estuaries* 15:348-391.
- Day J. H., 1967 A monograph on the Polychaeta of southern Africa (Part I). Trustees of the British Museum, Natural History, London, 878 p.
- De Leon Gonzalez J. A., Goethel C., 2013 A new species of *Perinereis* (Polychaeta, Nereididae) from Florida, USA, with a key to all *Perinereis* from the American continent. *ZooKeys* 312:1-11.
- De León González J. A., Solis-Weiss V., 1998 The genus *Perinereis* (Polychaeta: Nereididae) from Mexican littoral waters, including the description of three new species and the redescription of *P. anderssoni* and *P. elenacasoae*. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 111(3):674-693.
- Durou C., Smith B. D., Romeo M., Rainbow P. S., Mouneyrac C., Mouloud M., Gnassia-Barelli M., Gillet P., Deutch B., Amiard-Triquet C., 2006 From biomarkers to population responses in *Nereis diversicolor*: assessment of stress in estuarine ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 66(3):402-411.
- Ekau W., Auel H., Portner H. O., Gilbert D., 2010 Impacts of hypoxia on the structure and processes in pelagic communities (zooplankton, macro-invertebrates and fish). *Biogeosciences* 7:1669-1699.
- Faragallah H. M., Askar A. I., Okbah M. A., Moustafa H. M., 2009 Physico-chemical characteristics of the open Mediterranean Sea water far about 60 km from Damietta harbor, Egypt. *African Journal of Ecology and Ecosystems* 6(3):1-14.
- Fauvel P., 1923 [Wandering polychaetes]. *Fauna of France* 5, Le Chevaliers P. (ed), Paris, 488 p. [In French].
- García-Alonso J., Müller C. T., Hardege J. D., 2008 Influence of food regimes and seasonality on fatty acid composition in the ragworm. *Aquatic Biology* 4:7-13.
- Gillooly J. F., Brown J. H., West G. B., Savage V. M., Charnov E. L., 2001 Effects of size and temperature on metabolic rate. *Science* 293:2248-2251.
- Gözler A. M., Agirbas E., Sahin C., 2009 Spatial and temporal distribution of Nereididae (Polychaeta: Annelida) along the coast of the Turkish Eastern Black Sea in the upper infralittoral zone. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 8(2):229-234.
- Gray J. S., Elliott M., 2009 *Ecology of marine sediments: From science to management*. 2<sup>nd</sup> Edition. Oxford University Press, 256 p.
- Grimes S., 2004 [Algerian marine and coastal biodiversity]. University of Es Senia-Oran, Algeria, 362 p. [In French].
- Guemouda M., Meghlaoui Z., Daas T., Daas-Maamcha O., Scaps P., 2014 Monitoring pollution in East Algerian coasts using biochemical markers in the polychaete annelid *Perinereis cultrifera*. *Annals of Biological Research* 5(2):31-40.
- Hinga K. R., 2002 Effects of pH on coastal marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series* 238:281-300.
- Hutchings P., 1998 Biodiversity and functioning of polychaete in benthic sediments. *Biodiversity & Conservation* 7:1133-1145.
- Josefson A. B., Blomqvist M., Hansen J. L., Rosenberg R., Rygg B., 2009 Assessment of marine benthic quality change in gradients of disturbance: Comparison of different Scandinavian multi-metric indices. *Marine Pollution Bulletin* 58(9):1263-1277.
- Kaimoussi A., Chafik A., Mouzdahir A., Bakkas S., 2001 The impact of industrial pollution on the Jorf Lasfar coastal zone (Morocco Atlantic Ocean): the mussel as an indicator of metal contamination. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science* 333(6):337-341.
- Labrune C., Grémare A., Amouroux J. M., Sarda R., Gil J., Taboada S., 2007 Assessment of soft-bottom polychaete assemblages in the Gulf of Lions (NW Mediterranean) based on a mesoscale survey. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 71(1-2):133-147.
- Levin L. A., Ekau W., Gooday A. J., Jorissen F., Middelburg J. J., Naqvi S. W. A., Neira C., Rabalais N. N., Zhang J., 2009 Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos. *Biogeosciences* 6:2063-2098.

- Llansó R. J., Scott L. C., Dauer D. M., Hyland J. L., Russell D. E., 2002 An estuarine benthic index of biological integrity for the Mid-Atlantic region of the United States. I. Classification of assemblages and habitat definition. *Estuaries* 25(6):1219-1230.
- Mackie G. L., Schloesser D. W., 1996 Comparative biology of Zebra mussels in Europe and North America: An overview. *American Zoologist* 36:244-258.
- Madani L. N., Grimes S., Douga A., Oubraham-Arezki S., 2011 [Diversity of polychaete populations in the Bay of Algiers]. In: Biodiversity of Algerian coasts. Special issue of the bulletin of the National Center for the Development of Biological Resources, pp. 81-87. [In French].
- Meghlaoui Z., Daas T., Snani M., Daas-Maamcha O., Scaps P., 2015 Annual variations of the presence of Nereididae (Annelida: Polychaeta) from intertidal rocky shores along the east coast of Algeria. *Check List* 11(6):1-9.
- Mirza F. B., Gray J. S., 1981 The fauna of benthic sediments from the organically enriched Oslofjord, Norway. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 54(2):181-207.
- Papageorgiou N., Arvanitidis C., Eleftheriou A., 2006 Multicausal environmental severity: A flexible framework for microtidal sandy beaches and the role of polychaetes as an indicator taxon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 70(4):643-653.
- Park Y., Kim Y., 2017 Identification of a hypertrehalosemic factor in *Spodoptera exigua*. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 95(1):e21386, 12 p.
- Pearson T. H., Rosenberg R., 1978 Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 16:229-311.
- Ramdani M. S., Rezzag Mahcene H., Daas-Maamcha O., Daas T., Denis F., 2020 Effects of environmental stress on the growth and the reproduction of *Perinereis cultrifera* (Annelida: Polychaeta) from the eastern coasts of Algeria. *Biodiversity Journal* 11(2):505-526.
- Rodier J., 1996 [Analysis of water, natural water, waste water and sea water]. Dunod, Paris, 1824 p. [In French].
- Rouane-Hacene O., 2013 [Biomonitoring of the quality of coastal waters of the western Algerian coast, by monitoring biological indices, bioavailability and bioaccumulation of heavy metals (Zn, Cu, Pb and Cd) in the mussel *Mytilus galloprovincialis* and the sea urchin *Paracentrotus lividus*]. Doctoral theses in Biology, Faculty of Sciences, Department of Biology, University of Oran. [In French].
- Rouhi A., Sif J., Elyadari Y., 2016 The effect of the reproductive cycle on the bioaccumulation of heavy metals and the induction of metallothionein in the polychaete *Perinereis cultrifera* of the coastline of El Jadida (Atlantic coast, Morocco). *Journal of Xenobiotics* 6(2):36-38.
- Scaps P., 2002 A review of the biology, ecology and potential use of the common ragworm *Hediste diversicolor* (O.F. Müller) (Annelida: Polychaeta). *Hydrobiologia* 470:203-218.
- Snani M., Meghlaoui Z., Daas-Maamcha O., Daas T., Scaps P., 2015 Laying period and biomarkers of the polychaete *Perinereis cultrifera* from the eastern coast of Algeria subjected to marine pollution. *Journal of Entomology and Zoology Studied* 3(3):249-254.
- Tarsila M. A., De Matos Nogueira J. M., 2006 Two new terebellid polychaetes (Polychaeta: Terebellidae) from the state of São Paulo, southeastern Brazil. *Zootaxa* 1205:31-54.
- Teske P. R., Wooldridge T. H., 2003 What limits the distribution of subtidal macrobenthos in permanently open and temporarily open/closed South African estuaries? Salinity vs. sediment particle size. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 57(1-2):225-238.
- Wildsmith M. D., Rose T. H., Potter I. C., Warwick R. M., Clarke K. R., 2011 Benthic macroinvertebrates as indicators of environmental deterioration in a large microtidal estuary. *Marine Pollution Bulletin* 62:525-538.
- Younsi M., Daas T., Daas-Maamcha O., Scaps P., 2010 Polychaetes of commercial interest from the Mediterranean East Coast of Algeria. *Mediterranean Marine Science* 11(1):185-188.

Received: 18 July 2021. Accepted: 07 October 2021. Published online: 03 February 2022.

Authors:

Hiba Rezzag Mahcene, Laboratory of Applied Animal Biology, Department of Biology, Faculty of Sciences, University Badji Mokhtar, 23000 Annaba, Algeria; UMR 7208 BOREA, MNHN, Sorbonne University, University de Caen-Normandie, University of Antilles/CNRS/IRD-207, Paris, France, e-mail: rezhiba@yahoo.fr

Françoise Denis, UMR 7208 BOREA, MNHN, Sorbonne University, University de Caen-Normandie, University of Antilles/CNRS/IRD-207, Paris, France, e-mail: francoise.denis@mnhn.fr

Tarik Meziane, UMR 7208 BOREA, MNHN, Sorbonne University, University de Caen-Normandie, University of Antilles/CNRS/IRD-207, Paris, France, e-mail: tarik.meziane@mnhn.fr

Ouided Maamcha, Laboratory of Applied Animal Biology, Department of Biology, Faculty of Sciences, University Badji Mokhtar, 23000 Annaba, Algeria, e-mail: ouided\_dz\_maamcha@yahoo.fr

Tarek Daas, Laboratory of Applied Animal Biology, Department of Biology, Faculty of Sciences, University Badji Mokhtar, 23000 Annaba, Algeria, e-mail: tarek63daas@yahoo.fr

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

How to cite this article:

Rezzag Mahcene H., Denis F., Meziane T., Maamcha O., Daas T., 2022 General structure of Nereids of the East Coast of Algeria. *AAFL Bioflux* 15(1):282-293.

## Diversity of benthic macroinvertebrates in the Algerian East Coast

Hiba Rezzag Mahcene<sup>1,2</sup>, Mohamed Said Ramdani<sup>1</sup>, Abdelhak Sebbih<sup>1</sup>, Tarik Meziane<sup>2</sup>, Françoise Denis<sup>2</sup>, Ouided Maamcha<sup>1</sup>, Patrick Georges Thiery Moanono<sup>3</sup> & Tarek Daas<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Applied Animal Biology, Department of Biology, Faculty of Sciences, University Badji Mokhtar, 23000, Annaba, Algeria; e-mail: ramdani.m\_said@yahoo.fr, sebbih.abdelhak@gmail.com, ouided\_dz\_maamcha@yahoo.fr

<sup>2</sup>UMR 7208 Borea, MNHN, Sorbonne University/University de Caen-Normandie/University of Antilles/CNRS/IRD-207, Paris, France; e-mail: rezhiba@yahoo.fr, tarik.meziane@mnhn.fr, francoise.denis@univ-lemans.fr

<sup>3</sup>Laboratory of Hydrobiology and Environment, Faculty of Science, University of Yaounde 1, PO BOX 812 Cameroon, e-mail: patrickmoanono@gmail.com

\*Corresponding author, e-mail: tarek63daas@yahoo.fr

### ABSTRACT

Marine biodiversity play a fundamental role in the ecology and functioning of benthic communities. The study of the structure of benthic macroinvertebrate peoples is an excellent tool for evaluating the impact of human activities on the ecological quality of lotic environments. However, little data is available on the diversity, structure and ecology of benthic macroinvertebrates of the Algerian east coast. The main purpose of this work is to present an inventory of the current faunistic data general at three sites of study in Algerian east coastline: El-Kala, Annaba and Skikda. After doing the morphometric analysis of all the individuals, this study allowed to the identification of several species of macroinvertebrates. The variations in the distribution of these macroinvertebrates at different sites are related to external factors (temperature, salinity, dissolved O<sub>2</sub>), that would have an impact on the abundance of the species of marine fauna of the Algerian east coastline.

### KEY WORDS

Biodiversity; Ecological indices; Macroinvertebrate; Macrofauna taxa; Algerian east coast.

Received 04.03.2022; accepted 05.08.2022; published online 18.09.2022

### INTRODUCTION

The marine environment constitutes a precious capital. Seas and oceans represent 99% of the living space available on our planet, nearly 71% of the earth's surface and contain 90% of the biosphere; they therefore contain more biological diversity than terrestrial and freshwater ecosystems. The marine environment is an essential element for life on earth because it represents a main source of oxygen and plays a determining role on

the climate. It is also an important factor in economic prosperity, social well-being and quality of life. One of the great marine ecosystems on the planet is the Mediterranean Sea. It is of major ecological interest, in particular a specific richness which places it immediately after tropical ecosystems in terms of biodiversity (Ramade, 2003; Coll et al., 2012; Gerovasileiou & Voultsiadou, 2012). This represents 4% to 18% of the world's marine biodiversity, despite its estimated area of 0.82%. The Mediterranean Sea represents a complex re-

serve of biological energy, ensuring important processes, and therefore provide humanity with a wide variety of resources and services (Liquete et al., 2016). They are in fact invisible animal organisms with an internal bony skeleton, visible to the naked eye, which carry out part or all of their life cycle in an aquatic environment (Tachet et al., 2010). They are present at different levels of the food web, and relatively easy to sample and store, and their collection has little effect on the remaining biocenosis (Moisan & Pelletier, 2008). The present study was carried out during the year 2019 aimed generally at determining the composition and structure of populations of benthic macroinvertebrates.

## MATERIAL AND METHODS

### Study area

Three sites of northeastern of the Algeria were chosen to collect specimens. The first site was located at El-Kala (La Montagne station). It was located at a latitude  $36^{\circ}53'53.33''\text{N}$  and a longitude  $08^{\circ}27'3.28''\text{W}$ . The second site was located at Annaba (Rezgui Rachid station). It was located at latitude  $36^{\circ}91'67.70''\text{N}$  and a longitude

$07^{\circ}76'81.70''\text{W}$ . The third site was located at Skikda (Bikini Beach). It was located at latitude  $36^{\circ}52'18.86''\text{N}$  and a longitude  $06^{\circ}54'3.28''\text{W}$  (Fig. 1).

### Sampling

Macroinvertebrates were collected from three sites in the northeastern of Algeria during 2019 (El-Kla, Annaba and Skikda). Sampling is carried out in rocky and sandy substrates covered with algae. At each site, one replicate of sampling were performed each month by using  $25\text{ cm} \times 25\text{ cm}$  quadrat and 0.5 m depth by using a scraper. In the laboratory, the macroinvertebrates were fixed in the field with at 4% formaldehyde formalin solution, and then preserved in 70% ethanol.

### Physico-chemical parameters

The physico-chemical parameters represented by Salinity (mg/l), Dissolved oxygen (mg/l), pH and Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) can influence the dynamics of the macroinvertebrate, that is why we measured them at the three study sites: El-Kala (La Montagne), Annaba (Rezgui Rachid) and Skikda (Bikini) using a "Thermo" multi-parameter scientific Orient 5-star multi-parameter portable.

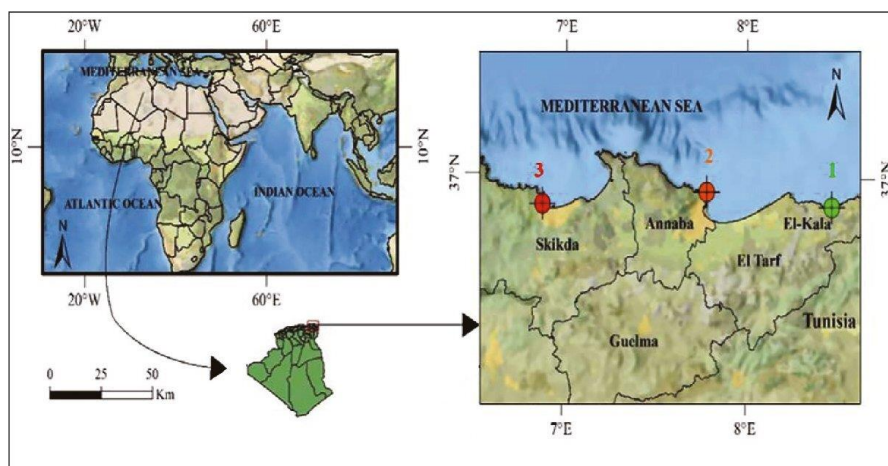


Figure 1. Location of sampling area.

### Ecological indices

To determine the general structure of the communities of the macroinvertebrates, the following descriptive parameters were determined: the specific richness (S), abundance (A), or the total number of individuals per unit area (Ind.m<sup>-2</sup>), occurrence frequency (F), diversity of Shannon - Weaver (H'), Pielou equitability index (J') and Sørensen similarity coefficient.

## RESULTS

### Physico-chemical parameters

The physico-chemical parameters were measured throughout the duration of the study at the three study sites: El-Kala, Annaba and Skikda. We did not observe any significant differences between the study sites for seawater temperature, pH and salinity (Fig. 2). For dissolved O<sub>2</sub>, a very highly significant effect was recorded at El-Kala site.

During this study, the physicochemical quality of the water did not vary significantly between the three study sites for the three parameters (temperature, pH and salinity) except for the dissolved oxygen parameter ( $P < 0.05$ ) (Table 1) analyzed by ANOVA single controlled factor variance analysis.

### Structure of benthic macroinvertebrate populations - Diversity and distribution of taxa

We carried out an inventory of aquatic macroinvertebrates present at three sites on the East Algerian coast (El-Kala, Annaba and Skikda) during the year 2019 (Table 2). We proceed to the identification and classification of the different species according to the zoological group.

In all three stations studied, we obtained 5226 individuals. These individuals are divided into 6 branches (Annelids, Arthropods, Cnidarians, Echinoderms, Molluscs and Sipuncula), 9 classes (Polychaetes, Malacostraces, Anthozoa, Echinoderms, Holothurians, Bivalves, Gastropods, Polyplacophores, Phascolosomatidea), 14 orders and 25 fami-

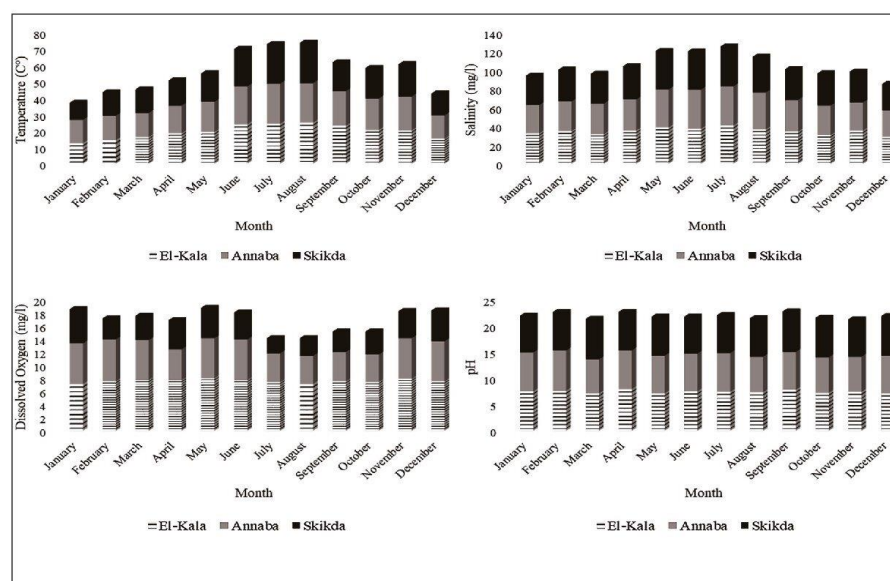


Figure 2. Monthly variations of the mean physico-chemical parameters of seawater for individuals collected in El-Kala, Annaba and Skikda from January to December 2019. Each data point represents mean  $\pm$  standard deviation ( $n = 3$ ).

lies, taxa identified at the rank of genus and/or species, 1 at the rank of order and 1 at the rank of family (Table 2). The Annelids have the greatest specific richness of the stand with a value of 33.33% of the total specific richness and an abundance of 45.44%. This phylum is best represented with 1 class, 1 order, 1 family and 9 morphotypes. They are followed by Molluscs representing 25.92% of the total specific richness and an abundance of 45.16%. This branch is divided into 3 classes, 5 orders, 5 families and 7 genera. Arthropods represent 22.22% of the total specific richness and an abundance of 6.81%. They have 1 class, 3 orders, 5 families and 5 genera, then the Sipuncula and the Cnidaria which each contain only one class, an order, a family and a single morphotype represent 3.7% of the total specific richness and an abundance of 1.76% and 0.13% respectively. Finally, the Echinoderms which have 2 classes, 3 orders, 3 families, and 2 genera record 11.11% of the total specific richness and an abundance of 0.56%.

#### Distribution of taxa by site

The beach of La Montagne (El-Kala) has the greatest taxonomic wealth with a total of 26 morphotypes (96.29% of the overall taxonomic wealth) distributed in 17 families (it represents 100% of families), 14 orders (100 % of orders), 9 classes (Polychaeta, Malacostraca, Anthozoa, Echinoidea, Holothuroidea, Bivalvia, Gastropoda, Polyplacophora, phascolosomatidea) and 6 Phylum (Annelida, Arthropoda, Cnidaria, Echinodermata, Mollusca, Si-

puncula) (Table 2). The Polychaeta class dominates the population with 1 order, 1 family and 8 morphotypes. This class is followed by Mollusc which has 5 orders, 5 families and 4 species. Arthropods are represented by 5 families and 5 taxa, while Echinoderms are made up of 3 families and 2 taxa. The orders of Cnidaria and Sipuncula record a single order and a single family and a single taxon for each one. Twenty-six (26) species are recorded only at the El-Kala site during the entire study period (2019), where we have found *Perinereis oliveirae*, *Platynereis dumerilii*, *Pisa* sp., *Maja* sp., *Paracentrotus lividus* and *Acanthochitona* sp.

The beach of Rezgui-Rachid (Annaba), in total 11 orders (64.28% of orders), 11 families (64.70% of families) and 19 morphotypes (70.37% of the overall taxonomic richness). Annelida and Molluscs predominate with 1 order for Annelids and 4 orders for Molluscs, 1 family for Annelids and 4 families for Molluscs and 6 taxa for Annelida and 4 taxa for Molluscs, followed by Cnidaria, Echinodermata and Sipuncula made up of 1 species each one.

The beach of Bikini (Skikda), a total of 10 families (71.42% of families) and 16 morphotypes (59.25% of the overall taxonomic richness) are identified. Molluscs are the most represented families with 5 orders, 5 families and 6 taxa, followed by Annelids made up of 1 order, 1 and 5 species. Arthropods with 3 identified families and 4 taxa, followed by Sipuncula (a single species). *Pseudonereis anomala* is the only species found at the Skikda site.

Sites	Temperature (C°)	Salinity (mg/l)	Dissolved O <sub>2</sub> (mg/l)	pH
<b>El-Kala</b>	19.43 ± 3.43	34.58 ± 2.66	7.54 ± 0.21	7.4 ± 0.2
<b>Annaba</b>	18.83 ± 3.26	34.59 ± 4.17	5.45 ± 0.85	7.12 ± 0.28
<b>Skikda</b>	17.65 ± 3.54	35.14 ± 3.59	3.8 ± 0.71	7.33 ± 0.18
<b>P</b>	0.574NS	0.911 NS	<b>0.000***</b>	0.060 NS

Table 1. Statistical analysis of physicochemical parameters seawater collected at the three study sites (El-Kala, Annaba and Skikda) from January to December 2019. NS = not significant (P>0.05); \* = very significant (P<0.05); \*\* = highly significant (P<0.01), \*\*\* = very highly significant (P<0.001).

Phylum	Classes	Orders	Families	Genus/Species	K	A	S	Total
Annelida	Polychaeta	Phyllodocida	Nereididae	<i>Perinereis cultrifera</i>	763	550	409	1722
				<i>Perinereis floridana</i>	81	32	0	113
				<i>Perinereis oliveirae</i>	14	0	0	14
				<i>Perinereis macropus</i>	26	3	1	30
				<i>Perinereis marionii</i>	16	10	0	26
				<i>Pseudonereis anomala</i>	0	0	30	30
				<i>Platynereis dumerilii</i>	19	0	0	19
				<i>Nereis falsa</i>	48	203	108	359
				<i>Perinereis sp.</i>	46	13	5	64
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	nd	nd	91	67	60	218
		Decapoda	Epialtidae	<i>Pisa sp.</i>	4	0	0	4
			Eriphiidae	<i>Eriphia verrucosa</i>	16	5	3	24
			Grapsidae	<i>Pachygrapsus marmoratus</i>	23	14	10	47
			Majidae	<i>Maja sp.</i>	2	0	0	2
		Isopoda	Cirolanidae	<i>Eurydice pulchra</i>	31	27	5	63
Cnidaria	Anthozoa	Actiniaria	Actiniidae	<i>Anemonia viridis</i>	5	2	0	7
Echinodermata	Echinoidea	Arbacioida	Arbaciidae	<i>Arbacia lixula</i>	15	3	0	18
		Camarodonta	Parechinidae	<i>Paracentrotus lividus</i>	9	0	0	9
	Holothuroidea	Holothuriida	Holothuriidae	nd	3	0	0	3
Mollusca	Bivalvia	Mytilida	Mytilidae	<i>Mytilus sp.</i>	586	651	525	1762
	Gastropoda	Archaeogastropoda	Trochidae	<i>Gibbula sp.</i>	119	45	20	184
		Neogastropoda	Muricidae	<i>Stramonita haemastoma</i>	45	25	17	87
		Patellogastropoda	Patellidae	<i>Cymbula safiana</i>	16	10	22	48
				<i>Patella caerulea</i>	26	15	17	58
				<i>Patella rustica</i>	84	51	47	182
	Polyplacophora	Chitonida	Acanthochitonidae	<i>Acanthochitona sp.</i>	41	0	0	41
Sipuncula	Phascolosomatidea	Phascolosomatida	Phascolosomatidae	<i>Phascolosoma sp.</i>	51	30	11	92
<b>Totals</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>27</b>	<b>2180</b>	<b>1756</b>	<b>1290</b>	<b>5226</b>

Table 2. List of aquatic macrofauna taxa collected at the different sampling stations of the three sites studied (K: El-Kala, A: Annaba, S: Skikda) during the study period (2019); nd = taxon not determined.

#### Frequency of occurrence of taxa at different sampling sites

The analysis of the benthic macrofauna collected in all 3 sampling sites (El-Kala, Annaba and

Skikda) during the study period (2019) shows that the ubiquitous taxa are the most represented with a frequency of occurrence of 100% followed by accessory taxa (33.33%) and constant taxa (66.66%) (Table 3).

Phylum	Classes	Orders	Families	Genus / Species	F	Qualification	
Annelida	Polychaeta	Phyllodocida	Nereididae	<i>Perinereis cultrifera</i>	100	*****	
				<i>Perinereis floridana</i>	66,67	***	
				<i>Perinereis oliveirae</i>	33,33	**	
				<i>Perinereis macropus</i>	100	*****	
				<i>Perinereis marionii</i>	66,67	***	
				<i>Pseudonereis anomala</i>	33,33	**	
				<i>Platynereis dumerilii</i>	33,33	**	
				<i>Nereis falsa</i>	100	*****	
				<i>Perinereis</i> sp.	100	*****	
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	nd	nd	100	*****	
			Decapoda	Epialtidae	<i>Pisa</i> sp.	33,33	**
				Eriphiidae	<i>Eriphia verrucosa</i>	100	*****
				Grapsidae	<i>Pachygrapsus marmoratus</i>	100	*****
				Majidae	<i>Maja</i> sp.	33,33	**
			Isopoda	Cirolanidae	<i>Eurydice pulchra</i>	100	*****
Cnidaria	Anthozoa	Actiniaria	Actiniidae	<i>Anemonia viridis</i>	66,67	***	
Echinodermata	Echinoidea	Arbacioida	Arbaciidae	<i>Arbacia lixula</i>	66,67	***	
				Camarodonta	Parechinidae	<i>Paracentrotus lividus</i>	33,33
	Holothuroidea	Holothuriida	Holothuriidae	nd	33,33	**	
Mollusca	Bivalvia	Mytilida	Mytilidae	<i>Mytilus</i> sp.	100	*****	
				Gastropoda	Archaeogastropoda	Trochidae	<i>Gibbula</i> sp.
	Neogastropoda	Muricidae	<i>Stramonita haemastoma</i>			100	*****
	Patellogastropoda	Patellidae	<i>Cymbula safiana</i>		100	*****	
	Polyplacophora	Chitonida	Acanthochitonida	<i>Patella caerulea</i>	100	*****	
				<i>Patella rustica</i>	100	*****	
					<i>Acanthochitona</i> sp.	33,33	**
Sipuncula	Phascolosomatidea	Phascolosomatida	Phascolosomatidae	<i>Phascolosoma</i> sp.	100	*****	

Table 3. Frequency of occurrence of aquatic macroinvertebrate taxa collected from El-Kala, Annaba and Skikda sites during the 2019. F = designates the frequency of occurrence; \*\* = accessory taxa; \*\*\* = regular taxa; \*\*\*\*\* = ubiquitous taxa.

#### Numerical structure of benthic macroinvertebrate populations - Representation of abundance

A total of 5226 macroinvertebrate individuals were collected from all 3 sampling stations sur-

veyed in the three sites during the study period. The greatest relative abundance of this macrofauna is obtained in the site of El-Kala where 2180 individuals are counted corresponding to 41.71% of the total abundance. The Annaba site follows it with

1756 individuals collected with 33.60% relative abundance. The Skikda site is in last position with only 1290 individuals counted with 24.68% of the total abundance (Fig. 3).

**Spatial and seasonal variations in the abundance of the main families**

The spatial variations in the relative abundance of the main families of macroinvertebrates were inventoried across the sites (Fig. 4). In total, 16 families including 1 of Annelids (Nereididae), 5 of Arthropods (Epiplatidae, Eriphiidae, Grapsidae, Majidae and Cirolanidae), 1 of Cnidarians (Actiniidae), 3 of Echinoderms (Arbaciidae, Parechinidae and Holothuriidae), Molluscs (Mytilidae, Trochidae, Muricidae, Patellidae and Acanthochoitonidae) and 1 of Sipuncula (Phascolosomatidae) are retained. The families represented at the El-Kala site are absent at the other sites (Annaba and Skikda) and vice versa. At the three study sites, the Nereididae and Trochidae families dominate the macrofauna. At the El-Kala site, the Nereididae family is the majority with 35% relative abundance followed by the Trochidae with 26.88% relative abundance while at the Annaba site, the Trochidae are the majority with 37.07% relative abundance. In the Skikda site, the Trochidae family is the most represented with 40.69% of the workforce.

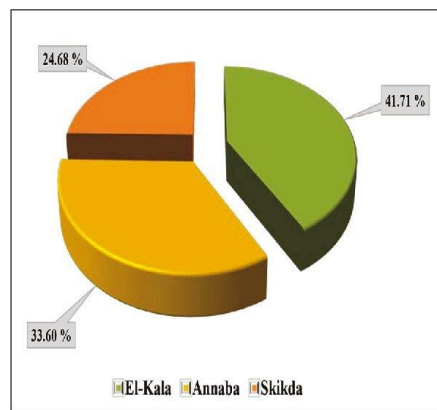


Figure 3. Relative abundance of macroinvertebrates collected in the three study sites (El-Kala, Annaba and Skikda).

**Spatial and seasonal variations in the abundance of the main species**

The spatial and seasonal variations in the relative abundance of the main species of aquatic macroinvertebrates are presented in Fig. 5. Only taxa identified beyond the rank of the family and

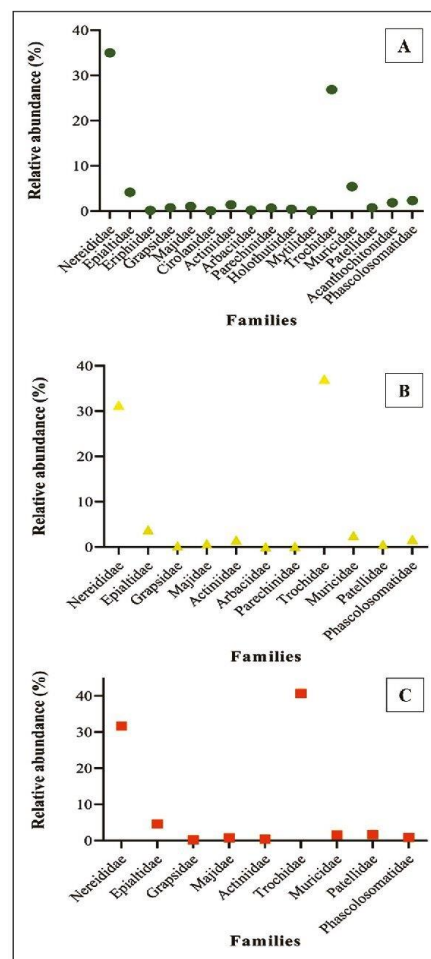


Figure 4. Spatial variations in the relative abundances of the main families of macro-invertebrates inventoried in all the sites during the study period. A: El-Kala, B: Annaba and C: Skikda.

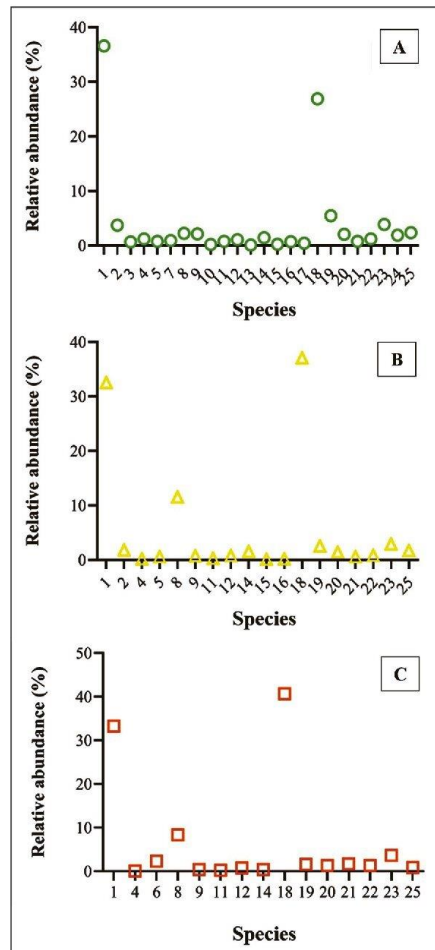


Figure 5. Spatial and seasonal variations in the relative abundance of the main macroinvertebrate species inventoried at all sites during the study period. 1: *Perinereis cultrifera*, 2: *Perinereis floridana*, 3: *Perinereis oliveirae*, 4: *Perinereis macropus*, 5: *Perinereis marionii*, 6: *Pseudonereis anomala*, 7: *Platynereis dumerilii*, 8: *Nereis falsa*, 9: *Perinereis* sp., 10: *Pisa* sp., 11: *Eriphia verrucosa*, 12: *Pachygrapsus marmoratus*, 13: *Maja* sp., 14: *Eurydice pulchra*, 15: *Anemonia viridis*, 16: *Arbarica lixula*, 17: *Paracentrotus lividus*, 18: *Mytilus* sp., 19: *Gibbula* sp., 20: *Stramonita haemastoma*, 21: *Cymbula safiana*, 22: *Patella caerulea*, 23: *Patella rustica*, 24: *Acanthochitona* sp., 25: *Phascolosoma* sp. A: El-Kala, B: Annaba and C: Skikda.

representing at least 5% of the relative abundance in the considered site are taken into account in this analysis. Some species represented at the El-Kala site are not all present at the Annaba and Skikda sites throughout the study period and conversely.

At the El-Kala site, the species *Perinereis cultrifera* (36.57%), *Paracentrotus lividus* (26.88%) and *Mytilus* sp. (5.45%) dominate the stand. While at the Annaba site, it is more the *Mytilus* sp. (37.07%) and *Perinereis cultrifera* (32.56%) which are the most represented at this site. In the Skikda site, these are the *Mytilus* sp. (40.69%) and *Perinereis cultrifera* (33.25%) which are the most abundant.

#### *Spatial and seasonal variations in the Shannon-Weaver diversity index and Pielou index*

Overall, the Shannon-Weaver diversity index ( $H' = 3.11$  bits/ind) and Pielou fairness ( $J' = 0.65$ ) are higher in the El-Kala site (La Montagne) (Table 4) and weak in the other sites. The Annaba site is in second position with  $H' = 2.58$  bits/ind. and  $J' = 0.54$ . The Skikda site is the least diverse ( $H' = 2.42$  bits/ind and  $J' = 0.50$ ) (Table 4, Fig. 6).

The Kruskal-Wallis H test ( $p < 0.05$ ) revealed that the Shannon-Weaver diversity index and fairness were not significant ( $p = 0.56$ ) at each site.

#### *Similarity/dissimilarity of macrobenthic communities between the different sites*

The rates of taxonomic resemblance between the macrobenthic populations collected in the different sites are presented in Table 5. The taxa listed at the Annaba and Skikda sites have a similarity rate of 85.71%. However, these taxa are dissimilar to those found at the El-Kala site, with similarity coefficients of 84.44% for El-Kala and Annaba and 71.42% for El-Kala and Skikda (Table 5).

## DISCUSSION

The chemical and biological processes influence the quality of seawater. The study of marine ecosystems is based on the measurement of complementary physicochemical parameters as well as on the presence or absence of microorganisms (Rodier, 1996), the literature confirms that these parameters influence the functioning of aquatic ecosystems.

	El-Kala	Annaba	Skikda
<b>Nt (ind.m<sup>-2</sup>)</b>	2180	1756	1290
<b>H'</b>	<b>3.11</b>	2.58	2.42
<b>J'</b>	<b>0.65</b>	0.54	0.50

Table 4. Total abundance (Nt), Shannon-Weaver (H') and Pielou indices (J') of aquatic macroinvertebrates in the three study sites in 2019.

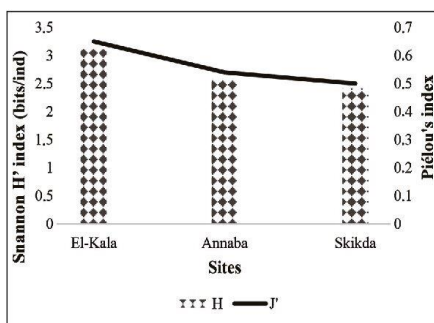


Figure 6. Spatial variations of the Shannon-Weaver diversity and Pielou's indices.

	El-Kala	Annaba
Annaba	<b>84.44</b>	
Skikda	<b>71.42</b>	<b>85.71</b>

Table 5. Values of the Sørensen coefficient of similarity (%) between the macrobenthic communities collected at the different sampling sites during the study period.

Examination of the recorded temperature values reveals that the lowest values are recorded in winter and autumn and the highest in spring and summer. However, ocean currents can supply regions with cold water masses (Agoumi & Orbi, 1992). Tem-

perature is an important ecological factor, it plays a fundamental role in the distribution of species and the limitation of certain biological activities (Rodier, 1996). In addition, the temperature variation has effects on all the other parameters measured such as the pH and the level of dissolved salts. Temperature and its interaction with other abiotic factors, such as water speed, oxygen rate, etc. determined distribution patterns of macro-benthos and other organisms Ekau et al. (2010). The increase in temperature together with other factors favors primary productivity and therefore an increase in food for aquatic fauna (Bremond & Vuichard, 1973). In the three study sites, the results obtained show variation at the site level, and the average temperature at La Montagne is higher than that of the other stations. The results obtained correspond with the work carried out on the Algerian coast by Rouibah et al. (2005), where they recorded a temperature value in a reference station higher than that of the contaminated station.

The pH is one of the parameters physico-chemicals that conditions the aquatic environment, and influences a large number of biological and chemical processes (Pezo et al., 1985). The data collected does not show a significant variation between the three sites, and presents generally similar values, the alkalinity of the different study sites teaches a good quality of the environment for biodiversity and the production of aquatic fauna. The sightings were reported at El-Kala (Benchikh, 2009; Allouti, 2011), at the level of the Gulf of Annaba (Sifi, 2009), at the site of Skikda (Bentayeb & Mechtouf, 2007; Allouti, 2011), from the coast of Algiers (Rouibah et al., 2005; Bachari-Houma, 2011). These results have also been highlighted by other authors who have previously studied this zone (Kaimoussi et al., 2001).

Salinity refers to the amount of salts dissolved in a liquid; sodium chloride (NaCl) is just one of the many salts that make up a solution. This is the essential character of seawater, but there are, inland, bodies of water and soils totally independent of the present sea, which derive their salinity directly from the sea lithological substratum (Lamotte, 1971). The results obtained from measurements of the salinity carried out during the study period shows a decrease in salinity in the month of September and October at the El-Kala site. This variation obtained between the winter and summer period is due to the

combined action of high temperatures, which generate heavy evaporations and reduced precipitation (Soucek, 2007).

Dissolved oxygen is consumed during the heterotrophic oxidation of matter organic, and respiration by fauna, and aquatic flora. The amount of dissolved oxygen in water is necessary for aquatic life and the oxidation of organic matter essential to aquatic life as food (Tran et al., 2001; Tran et al., 2002). The dissolved oxygen in seawater at La Montagne sites is relatively high compared to the other sites studied, this could be explained by the movements of the tide, which generates a continuous stirring of the body of water and therefore an enrichment of the dissolved phase. Our results are in agreement with those found in the Bay of Algiers by Bachari-Houma (2011), and in the Oran coast during the period autumn by Rouane-Hacene (2013). Low oxygen values were recorded in the Annaba and Skikda sites.

Our results are in the same direction as other studies carried out at the level of different localities on the East Algerian coast, where the monitoring of the physico-chemical parameters of seawater shows the existence of the following seasonal variations. Concerning the temperature two major thermal periods have been reported: one hot thermal period corresponding in Spring and Summer, and the other cold thermal period in Autumn and Winter. The salinity values were minimum in Winter, and maximum in Summer with regard to dissolved oxygen, the high levels were recorded in the cold period while low levels were observed in hot weather; pH values revealed a neutral to slightly alkaline medium; these observations were reported on the coast of Skikda, Annaba, and El-Kala (Snani, 2016).

Biodiversity is essential in environmental assessment through the use of bioindicator species. The study of marine biodiversity within species and between species, as well as that of ecosystems will be of great use for species of commercial or ecological interest or for the protection of nature (Rouabah & Rouabah, 2007). Several authors have noted a remarkable diversity of coastal marine ecosystems in the Mediterranean (Ballesteros, 2003). This diversity as well as the richness of these ecosystems allow the proliferation of wildlife. Polychaetes are often important components of any benthic community (Papageorgiou et

al., 2006). The examination of the inventories carried out on the different populations of fauna at the level of the three sites during the study period allowed us, on one hand, to determine the qualitative composition represented by a taxonomic list detailing the different taxa and their presence, while on the other hand, all the samples are analyzed to the quantitative structure using the various ecological indices. The biotope analysis allowed us to identify several species of aquatic fauna characteristic of each site. The animal species are divided into 6 phylum (Annelida, Arthropoda, Cnidaria, Echinodermata, Mollusca and Sipincula) at the level of the three study sites (El-Kala, Annaba and Skikda). In terms of distribution and abundance of the species concerning these 6 phylum, the polychaete Annelids dominate there, but the Molluscs and the Arthropods are also very common, the association between these three branches is rather traditional (Ayari & Afli, 2003).

The goal of calculating the most widely used ecological indices of diversity, namely the index of Shannon-Weaver ( $H'$ ) and Pielou index  $J'$  is the state's estimate of the numerical balance of the stands. Our results show a higher  $H'$  at the El-Kala site compared to those of Annaba and Skikda, correlated with the dominance of different species present at each site. In general it is accepted that the values of  $H'$  are zero when the sample contains only one species, while the values of  $H'$  are high when the individuals are distributed among different species, that correspond to a sample balanced and diverse, however, it should be noted that the values of  $H'$  also vary in function of the logarithm chosen; to interpret such results. Grimes (2010) considered a scale of 4 following classes:  $H' < 1.5$  => very unbalanced;  $H'$  varies between  $[1.5-2.5]$  => unbalanced; between  $[2.5-4]$  => balanced;  $H' > 4$  => very balanced, thus underlining a ( $H'$ ) balanced at the level of El-Kala and Annaba, versus one unbalanced at the level of Skikda. As for the data relating to the Pielou index, Grimes (2010) also proposed a scale relating to this index of 4 following classes:  $J' < 0.4$  => very unbalanced;  $J'$  vary from  $[0.4-0.6]$  => unbalanced; from  $[0.6-0.8]$  => subnormal; of  $[0.8-1]$  => normal, which therefore leads us to propose that the stands of the El-Kala site present an unbalanced distribution, compared to those of the two sites Annaba and Skikda which are subnormal.

## CONCLUSIONS

The diversity, structure and determinism of populations of benthic macroinvertebrates were studied in three sites on the East-Algerian coast.

Analysis of abiotic variables showed that the El-Kala site has water of very good ecological quality with high temperatures and good oxygenation comparing it to the two other sites (Annaba and El-Kala).

The El-Kala site is the most diverse with 26 taxa divided into 6 branches, 9 classes, 14 orders and 17 families. The Polychaete class is the most diverse with 8 taxa. The high values of the Shannon-Weaver diversity index and Pielou equitability in the El-Kala site confirm that the La Montagne macroinvertebrate community is well diversified and well structured compared to the other two stations (Rezgui-Rachid and Bikini).

## REFERENCES

- Agoumi A. & Orbi A., 1992. Evolution météorologique et Upwelling le long de la côte atlantique marocaine. *Hydroécologie Application*, 4: 149–158.
- Allouti N., 2011. Etude biologique de deux néreidés: *Nereis cultrifera* et *Nereis falsa* (Annélides, Polychètes) dans l'est algérien (El-Kala): cycle de reproduction, activité biochimique et enzymatique. Mémoire de magister. Option: Ecotoxicologie. Université d'Annaba, 87 pp.
- Ayari R. & Afli A., 2003. Bionomie benthique de petit golfe de Tunis. *Bulletin INSTM de Salammbô*, 30: 79–90.
- Bachari-Houma F., 2011. Monitoring et étude de la pollution dans les eaux marines et les sédiments superficiels de la côte algéroise: modélisation et impact sur l'environnement. Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, 23 pp.
- Bachari-Houma F., 2011. Monitoring et étude de la pollution dans les eaux marines et les sédiments superficiels de la côte algéroise: modélisation et impact sur l'environnement. Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, 23 pp.
- Ballesteros E., 2003. The coralligenous in the Mediterranean. RAC-SPA editor, Tunisia. 104 p. (under press).
- Benchikh N., 2009. Etude de la croissance et cycle de reproduction de la moule *Perna perna* dans le golf d'Annaba et le littoral d'El Kala. Thèse de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, 99 pp.
- Bentayeb I. & Mechtouf M., 2007. Evaluation du niveau de pollution des effluents du complexe de raffinage de Skikda (RA1K). Mémoire d'ingénieur d'état en Ecologie et Environnement. Université de Constantine, 125 pp.
- Bremond R. & Vuichard R., 1973. Paramètres de la qualité des eaux, Ministère de la protection de la nature et de l'environnement, SPEPE, Paris, 179 pp.
- Coll M. Piroddi C., Albouy C., Ben Rais Lasram F., Cheung W.W.L. & Christensen V., 2012. The Mediterranean Sea undersiege: spatial overlap between marine biodiversity, cumulative threats and marine reserves. *Global Ecology and Biogeography*, 21: 465–480.
- Ekau W., Auel H., Portner H.O. & Gilbert D., 2010. Impacts of hypoxia on the structure and processes in pelagic communities (zooplankton, macro-invertebrates and fish). *Biogeosciences*, 7: 1669–1699.
- Froggia C., Galil B.S., Gasol J.M., Gertwagen R., Gil J., Guilhaumon F., Kesner-Reyes K., Kitsos M., Koukouras A., Lampadariou N., Laxamana E., de la Cuadra C.M., Lotze H.K., Martin D., Mouillot D., Oro D., Raicevich S., Rius-Barile J., Saiz-Salinas J., San Vicente C., Somot S., Templado J., Turon X., Vafidis D., Villanueva R. & Voultsiadou E., 2010. The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, patterns, and threats. *PLoS ONE*, 5(8): 11842: 1–334.
- Gerovasileiou V. & Voultsiadou E., 2012. Marine caves of the Mediterranean Sea: a sponge biodiversity reservoir within a biodiversity hot spot. *PLoS ONE*, 7(7): 39873: 1–17.
- Grimes S., 2010. Peuplements benthiques des substrats meubles de la côte algérienne: Taxonomie, structure et statut écologique. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Environnement, option: Biologie et Pollution Marines. Université d'Oran, 362 pp.
- Kaimoussi A., Chafik A., Mouzdahir A. & Bakkas S., 2001. The impact of industrial pollution on the Jorf Lasfar coastal zone (Morocco, Atlantic Ocean): the mussel as an indicator of metal contamination. *Les Comptes Rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 333: 337–341.
- Lamotte M., 1971. Ecologie animale organismes et milieu. Doin Editeurs, sixième édition française.
- Liquete C., Piroddi C., Macias D., Druon J.N. & Zulian G., 2016. Ecosystem services sustainability in the Mediterranean Sea: assessment of status and trends using multiple modelling approaches. *Scientific Reports*, 6 (34162): 1–14.
- Moisan J. & Pelletier L., 2008. Guide de surveillance biologique basé sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec - Cours d'eau peu profonds à substrat grossier. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, 86 pp.

- Papageorgiou N., Arvanitidis C. & Eleftheriou A., 2006. Multicausal environmental severity: a flexible framework for microtidal sandy beaches and the role of polychaetes as an indicator taxon. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 70: 643–653. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.11.033>
- Pezo R., Maco J. & Canepa J., 1985. Ambiental por actividades petroleras en los ríos ospastaza, Tigre, Corrientes, Samiria y Amazonas. Instituto de investigaciones de la Amazonia peruana (IIAP), Iquitos, Peru, 59 pp. In: Loayza-Muro R. and Elias-Letts R., 2007. Responses of the mussel *Anodonta trapezialis* (Unionidae) to environmental stressors: Effects of pH, temperature and metals on filtration rate. *Environmental Pollution*, 149: 209–215.
- Ramade F., 2003. Eléments d'écologie: Ecologie fondamentale. Edit. Dunod, Paris, 308–320 pp.
- Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H. & Rodier L., 1996. L'Analyse de l'Eau (8<sup>ème</sup> Ed). Paris, Dunod, 1384 pp.
- Rouabah A. & Rouabah L., 2007. Biodiversité et complexe d'espèces *Perinereis cultrifera*: un exemple de spéciation. *Sciences et Technologies*, 25: 79–87.
- Rouane-Hacene O., 2013. Biosurveillance de la qualité des eaux côtières du littoral occidental algérien, par le suivi des indices biologiques, de la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux lourds (Zn, Cu, Pb et Cd) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* et l'oursin *Paracentrotus lividus*. Thèse présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Biologie, Université d'Oran, 295 pp.
- Rouibah M., Boulahdid M., Boudjellal B., Eddalia N. & Ounadi F., 2005. Etude de la pollution du littoral Algérois et du lac de Reghaia. Par l'APPL, ISMAL, 73 pp.
- Sifi K., 2009. Biosurveillance de la qualité des eaux du golfe d'Annaba: croissance, composition biochimique et dosage de biomarqueurs du stress environnemental chez *Donax trunculus* (Mollusque, Bivalve). Thèse de Doctorat en Ecotoxicologie, Université d'Annaba, 140 pp.
- Snani M., 2016. Etude comparative de la reproduction d'un bioindicateur de pollution, *Perinereis cultrifera* (Annelide, Polychète) du littoral nord-est algérien et des côtes de la manche française "aspects morpho-anatomiques, génétiques, immunologiques et activités enzymatiques". Thèse de Doctorat en Biologie Animale Environnementale, option: Reproduction & Développement. Université d'Annaba, 218 pp.
- Soucek D.J., 2007. Sodium sulfate impacts feeding specific dynamic action, and growth rate in the fresh water bivalve *Corbicula fluminea*. *Aquatic Toxicology*, 83: 315–322.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P., 2010. Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie et écologie. CNRS édition, Paris, France, 588 pp.
- Tran D., Boudou A. & Massabuau J., 2001. How water oxygenation level influences cadmium accumulation pattern in the asiatic clam *Corbicula fluminea*: a laboratory and field study. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20: 2073–2080.
- Tran D., Boudou A. & Massabuau J., 2002. Relationship between feeding-induced ventilatory activity and bioaccumulation of dissolved and algal-bound cadmium in the asiatic clam *Corbicula fluminea*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21: 327–333.