

# SOMMAIRE

*« Je pense qu'il n'y a pour l'esprit qu'une seule manière de raisonner, comme il n'y a pour  
le corps qu'une seule manière de marcher »*

**Claude Bernard**

# Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

1. INTRODUCTION.....	1
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES .....	15
2.1. Analyse écologique :.....	15
2.1.1. Localisation et présentation des sites d'étude : .....	15
2.1.2. Station 1 : Plage La Montagne (El-Kala) : .....	16
2.1.3. Station 2 : Plage Saint-Cloud (Annaba) : .....	16
2.1.4. Station 3 : Plage Bikini (Skikda) : .....	18
2.1.5. Données physico-chimiques et climatiques : .....	19
2.1.6. Techniques d'échantillonnage et traitement de la récolte : .....	20
2.1.6.1. Méthodes chimiques : .....	20
2.1.6.2. Méthode mécanique : .....	21
2.1.7. Inventaire et biodiversité : .....	22
2.1.8. Indices écologiques : .....	22
2.2. Matériel biologique : .....	24
2.2.1. Description générale et répartition géographique de l'espèce : .....	24
2.2.2. Choix de l'espèce.....	25
2.2.2.1. Position systématique : .....	26
2.2.3. Habitat et mobilité : .....	26
2.2.4. Morpho-Anatomie : .....	27
2.2.4.1. Morphologie externe : .....	27
2.2.4.2. Anatomie interne : .....	29
2.2.5. Critères d'identification : .....	29
2.2.6. Cycle biologique : .....	31
2.3. Analyse morphométrique et pondérale : .....	32
2.3.1. Paramètres morphométriques : .....	32
2.4. Analyse de la reproduction : .....	33
2.4.1. Mode de reproduction : .....	33

2.4.1.1.	Vitellogénèse et aspects cytologiques :	34
2.4.1.2.	Aspects ovogénétiques :	35
2.4.2.	Différenciation des sexes :	36
2.4.3.	Diamètre ovocytaire :	37
2.4.4.	Distribution des fréquences de taille ovocytaire :	38
2.4.5.	Indice de maturité sexuelle (SIM) :	38
2.4.6.	Evaluation de l'activité de la phosphatase acide :	39
2.4.6.1.	Protocole de dosage de la phosphatase acide :	39
2.4.6.2.	Réalisation de la gamme d'étalonnage :	40
2.5.	Analyse biochimique :	40
2.5.1.	Le liquide coelomique et constituants :	40
2.5.2.	Séparation des constituants coelomiques :	41
2.5.3.	Dosage des vitellogénines et des vitellines :	42
2.5.3.1.	Technique d'extraction des vitellogénines et des vitellines :	42
2.5.3.2.	Réalisation de la gamme d'étalonnage :	42
2.5.3.3.	Détermination de la concentration en vitellogénines et vitellines des échantillons biologiques :	42
2.5.4.	Dosage quantitatif des protéines corporelles :	43
2.5.4.1.	Extraction des protéines corporelles :	43
2.5.4.2.	Dosage des protéines corporelles :	44
2.5.5.	Rapport vitellines et protéines corporelles :	45
2.6.	Analyse écotoxicologique :	45
2.6.1.	Les biomarqueurs d'exposition :	46
2.6.2.	Les biomarqueurs d'effet :	47
2.6.3.	Les biomarqueurs de sensibilité/susceptibilité :	47
2.6.4.	Evaluation de l'activité enzymatique de la Glutathion S-transférase (GST) :	47
2.6.5.	Dosage des métaux lourds par spectrométrie d'absorption atomique (SAA) :	48
2.6.5.1.	Extraction (La minéralisation) :	49
2.6.5.2.	Dosage des métaux lourds :	50
2.6.5.3.	Évaluation du niveau de contamination du sédiment par les métaux lourds :	51
2.7.	Analyse histologique :	52
2.7.1.	Tissus à explorer :	52
2.7.2.	Protocole expérimental :	52
2.7.2.1.	Fixation :	52

2.7.2.2. Inclusion :	53
2.7.2.3. Mise en bloc :	54
2.7.2.4. Coupe :	54
2.7.2.5. Etalement des coupes :	54
2.7.2.6. Séchage :	54
2.7.2.7. Déparaffinage et coloration :	55
2.7.2.8. Montage :	55
2.7.2.9. Observation :	56
2.9. Analyse statistique et traitement des données :	60
3. RÉSULTATS :	61
3.1. Analyse physico-chimique de l'eau de mer :	61
3.2. Inventaire et biodiversité :	66
3.2.1. Les Nereididae :	68
3.2.2. La Faune associée :	72
3.2.3. La Flore associée :	82
3.3. Indices écologiques :	88
3.3.1. L'abondance :	88
3.3.2. Dominance de la macrofaune benthique :	90
3.3.2.1. Dominance de la macrofaune benthique présente au niveau d'El Kala :	90
3.3.2.2. Dominance de la macrofaune benthique présente au niveau d'Annaba :	90
3.3.2.3. Dominance de la macrofaune benthique présente au niveau de Skikda :	90
3.3.3. Indice de diversité (H') et équitabilité :	92
3.4. Effets de la pollution sur les paramètres morphométrique et pondéral :	93
3.4.1. Taille corporelle :	93
3.4.2. Poids corporel :	95
3.5. Taux de maturité et Sex-ratio :	97
3.6. Étude biométrique de la croissance ovocytaire :	100
3.7. Fréquences de tailles ovocytaire :	107
3.8. Indice de maturité sexuelle (SIM) :	113
3.9. Étude de l'épitoque :	115
3.10. Types d'épitoque chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> :	117
3.11. Évaluation de l'activité enzymatique de la Phosphatase acide au cours de la période de reproduction :	119
3.12. Analyse quantitative des vitellogénines et des vitellines :	124
3.12.1. Évaluation du taux de vitellogénines :	124



3.12.2.	Évaluation du taux de vitellines :	126
3.13.	Dosage quantitatif des protéines corporelles :	128
3.14.	Évaluation de l'activité enzymatique de la Glutathion S-transférase (GST) :	130
3.15.	Dosage des métaux lourds par Spectrométrie d'absorption atomique (SAA) :	132
3.15.1.	Gamme d'étalonnage des éléments étudiés :	132
3.15.2.	Évaluation des teneurs en métaux lourds dans le sédiment :	134
3.15.2.1.	Teneurs en cuivre :	135
3.15.2.2.	Teneurs en zinc :	136
3.15.2.3.	Teneurs en chrome :	137
3.15.2.4.	Teneurs en plomb :	139
3.15.2.5.	Teneurs en cadmium :	140
3.15.3.	Évaluation du niveau de contamination du sédiment par les métaux lourds :	142
3.15.3.1.	L'indice de géo-accumulation (I <sub>geo</sub> ) :	142
3.15.3.2.	L'indice de contamination (I.C.) :	143
3.15.4.	Évaluation des teneurs en métaux lourds dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> :	144
3.15.4.1.	Teneurs en cuivre :	144
3.15.4.2.	Teneurs en zinc :	145
3.15.4.3.	Teneurs en chrome :	147
3.15.4.4.	Teneurs en plomb :	148
3.15.4.5.	Teneurs en cadmium :	150
3.15.4.6.	Facteur de bioaccumulation biota-sédiment (BSAF) :	152
3.16.	Interprétation de la structure de l'épithélium intestinal en période de reproduction chez les femelles récoltées à partir des trois sites d'étude (El-kala, Annaba et Skikda) :	152
3.17.	Analyse en composantes principales :	155
3.18.	Tests statistiques de corrélation entre les différents paramètres :	156
3.19.	Analyse phylogénétique et phylogéographique :	160
3.19.1.	Résultats d'essais d'amplifications par PCR :	160
3.19.2.	Analyses phylogénétiques des séquences du gène ITS1 :	161
4.	DISCUSSION	163
4.1.	Paramètres physico-chimiques :	163
4.2.	Évaluation de la biodiversité :	166
4.3.	Effets de la pollution sur les paramètres : morphométrie et pondéral :	171
4.4.	Effets de la pollution sur la reproduction :	172

4.4.1.	Étude de la maturité et de la Sex-ratio :.....	172
4.4.2.	Étude biométrique de la croissance ovocytaire : .....	173
4.4.3.	Évaluation des fréquences de taille ovocytaire : .....	174
4.4.4.	Étude de l'indice de maturité sexuelle :.....	175
4.4.5.	Étude de l'épitoque :.....	175
4.5.	Analyse de l'activité enzymatique de la Phosphatase acide : .....	175
4.6.	Évaluation du taux de vitellogénines et de vitellines :.....	176
4.7.	Étude du taux de protéines corporelles : .....	177
4.8.	Effets de la pollution sur les biomarqueurs de stress :.....	178
4.9.	Dosage des métaux lourds : .....	181
4.9.1.	Dosage des métaux lourds dans les sédiments : .....	181
4.9.2.	Dosage des métaux lourds dans l'organisme :.....	183
4.10.	Analyse histologique de l'épithélium intestinal : .....	184
4.11.	Analyse phylogénétique et phylogéographique: .....	185
5.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	187
6.	RÉSUMÉS : .....	190
6.1.	RÉSUMÉ : .....	190
6.2.	ملخص: .....	192
6.3.	ABSTRACT :.....	193
7.	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES : .....	195
ANNEXES		

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Localisation géographique des trois sites d'échantillonnage de <i>Perinereis cultrifera</i>	15
<b>Figure 2:</b> Station 1, plage La Montagne (El-Kala) (Photo personnelle, 2016).	16
<b>Figure 3:</b> Station 2, plage Saint Cloud à Annaba (Photo personnelle, 2016).	18
<b>Figure 4:</b> Station 3, plage Bikini (Skikda) (Photo Personnelle, 2016).	19
<b>Figure 5:</b> Multi-paramètre « HANNA HI 9829 ».	20
<b>Figure 6:</b> Méthodes de récolte chimique, A (A l'eau de Javel) ; B (A la pierre d'alun), (Photo Personnelle, 2016).	21
<b>Figure 7:</b> Méthode de récolte mécanique, A (raclage opérationnel), B (zone de raclage), (Photo personnelle, 2016).	22
<b>Figure 8:</b> Répartition géographique de <i>Perinereis cultrifera</i> à travers le monde (Photo personnelle, 2020 ; ArcGis), (D'après Fauvel, 1923), (Photo personnelle, 2019).	25
<b>Figure 9:</b> Habitat des Annélides Polychètes (Nereididae) (A) : Substrat, (B) : Algue verte, (C) : Algue brune (Photo personnelle, 2016).	27
<b>Figure 10:</b> Schéma montrant l'aspect général du corps d'un Nereididea (A) (Photo personnelle, 2016). Schéma explicatif du détail de la région céphalique d'un ver polychète <i>P. cultrifera</i> , face dorsale (B) et face ventrale (C), (D'après Fauvel, 1923).	28
<b>Figure 11:</b> Présentation des différentes parties du corps de <i>P. cultrifera</i> : Vue générale du corps (A) ; Vue dorsale de la partie céphalique (B) ; Vue ventrale de la partie céphalique (C) ; Vue dorsale des détails de la tête (D) ; Succession de métamères formant la région du corps (E) ; Mâchoire dentelée (F) ; Vue dorsale du pygidium (G) ; Vue ventrale du pygidium, (photo personnelle, 2016).	28
<b>Figure 12:</b> Coupe transversale d'un segment moyen du corps de <i>P. cultrifera</i> , schéma explicatif (younsi, 2014) (A) ; observation sous loupe binoculaire (B), (Photo personnelle, 2016).	29
<b>Figure 13:</b> Taxonomie et identification de <i>P. cultrifera</i> (Fauvel, 1923) ; Répartition des paragnathes sur la face dorsale (A) ; Répartition des paragnathes sur la face ventrale (B) ; Parapodes uniramé (C) ; Parapodes biramé ; Soie chitineuse en serpe hétérogomphe (E) ; Soie chitineuse en arête homogomphe (F).	30
<b>Figure 14:</b> Présentation montrant l'identification de <i>P. cultrifera</i> par examen de la forme et de la localisation des paragnathes au niveau des lobes des faces dorsales et ventrales (A à C) ; en plus de celui des soies (D à F), Zoom de soie en serpe hétérogomphe (cercle), Zoom de soie en arête homogomphe (flèches pointillées), (Photo personnelle, 2016).	31
<b>Figure 15:</b> Cycle de développement de <i>P. cultrifera</i> (Nérideae) (Rouabah, 2003).	32
<b>Figure 16 :</b> Loupe binoculaire modèle « ZEISS STEMI DV4 » (A) ; Mensurations de la taille papier millimétré (B) ; Balance de précision modèle « KERN ABJ-NM/ABS-N » (C).	32
<b>Figure 17:</b> Présentation des modifications caractéristiques de l'épitoquie chez <i>P. cultrifera</i> en période de reproduction : début de l'épitoquie (A) ; femelle épitoque (B) ; zoom de la région de changement (flèche) (C) et yeux élargies (flèche) (D) ; section longitudinale au niveau d'un parapode modifié (E) ; soies hétéronereidiennes en lamelles (F), (Photos Personnelles 2016).	34

<b>Figure 18:</b> Différenciation des sexes chez <i>P. cultrifera</i> par visualisation des ovocytes (A et B) ; amas spermatiques (C et D) contenus dans le liquide cœlomique (Photo personnelle, 2016).	37
<b>Figure 19:</b> Aspect d'une ponction cœlomique chez <i>Perinereis cultrifera</i> montrant des ovocytes (A) ; (B et C) zoom sur les ovocytes, (Photo Personnelle, 2016).	37
<b>Figure 20:</b> Microscope optique de type « Leica dm500 » relié à un ordinateur utilisé pour les mensurations du diamètre ovocytaire.	38
<b>Figure 21:</b> Extraction des vitellogénines et vitellines Fabre <i>et al.</i> (1990).	43
<b>Figure 22:</b> Principales étapes d'extraction des protéines corporelles : selon le procédé de Shibko <i>et al</i> (1966).	44
<b>Figure 23:</b> Fixation de l'échantillon : insertion du ver dans la cassette histologique (A) ; immersion de la cassette dans du formol à 9% (B).	53
<b>Figure 24:</b> Inclusion dans l'automate à 12 bains.	53
<b>Figure 25:</b> Mise en bloc des échantillons.	54
<b>Figure 26:</b> Réalisation des coupes fines au microtome Thermo.	54
<b>Figure 27:</b> Étalement des rubans et séchage.	55
<b>Figure 28:</b> Coloration des coupes à l'hématoxyline de Meyer et à l'éosine.	55
<b>Figure 29:</b> Principales étapes de l'extraction et du dosage de l'ADN.	57
<b>Figure 30:</b> Thermocycleur automatisant la réaction de PCR.	58
<b>Figure 31:</b> Principales étapes de l'électrophorèse de l'ADN sur gel d'agarose.	59
<b>Figure 32:</b> Variations saisonnières de la température (C°) de l'eau de mer prélevée au niveau des trois sites d'étude : El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016.	61
<b>Figure 33:</b> Variations saisonnières de la salinité (mg/l) de l'eau de mer prélevée au niveau des trois sites d'étude : El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016.	62
<b>Figure 34:</b> Variations saisonnières de la concentration en oxygène dissout (mg/l) de l'eau de mer prélevée au niveau des trois sites d'étude : El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016.	63
<b>Figure 35:</b> Variations saisonnières du pH de l'eau de mer prélevée au niveau des trois sites d'étude El-Kala : (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016.	64
<b>Figure 36:</b> <i>Perinereis cultrifera</i> : Aspect général dorsal (A) ; face dorsale (B), face ventrale (C) et vue de haut (D) ; face dorsale, face ventrale et vue de haut d'un spécimen ayant un paragnathe supplémentaire au niveau du 5 <sup>ème</sup> lobe (E, F, G), (Photo Personnelle, 2019).	68
<b>Figure 37:</b> <i>Perinereis sp</i> : Aspect général dorsal (A) ; faces dorsales (B, D), vue de haut (C) et face ventrale (E), (Photo Personnelle, 2019).	68
<b>Figure 38:</b> <i>Perinereis floridana</i> : face dorsale (A), vue de haut (B) et face ventrale (C), (Photo Personnelle, 2019).	69
<b>Figure 39:</b> <i>Perinereis macropus</i> : face dorsale (A), vue de haut (B) et face ventrale (C) de la trompe, (Photo Personnelle, 2019).	69
<b>Figure 40:</b> <i>Perinereis marioni</i> : face dorsale (A), vue de haut (B) et face ventrale (C), (Photo Personnelle, 2019).	69
<b>Figure 41:</b> <i>Perinereis oliveira</i> : face dorsale (A), vue de haut (B) et face ventrale (C), (Photo Personnelle, 2019).	70

<b>Figure 42:</b> <i>Pseudonereis anomala</i> : Aspect général dorsal (A) ; faces dorsales (B, D) et faces ventrales (C, E), (Photo Personnelle, 2019). .....	70
<b>Figure 43:</b> <i>Nereis falsa</i> : Aspect général dorsal (A) ; faces dorsales (B, D) et faces ventrales (C, E), (Photo Personnelle, 2019). .....	71
<b>Figure 44:</b> <i>Platynereis dumerelii</i> : Aspect général dorsal (A) ; face dorsale (B) et face ventrale, (Photo Personnelle, 2019). .....	71
<b>Figure 45:</b> <i>Lepidonotus clava</i> : Face dorsale (A) et face ventrale (B). .....	71
<b>Figure 46:</b> <i>Phascolosoma sp</i> : Faces dorsales (A, C) et face ventrale (B), (Photo Personnelle, 2019). .....	72
<b>Figure 47:</b> <i>Stramonita haemastoma</i> : Aspect général des individus adultes (A, B) ; aspect général des individus jeunes montrant la différence des couleurs et des sculptures (C, D) et face ventrale (B) ; Vue ventrale mettant en évidence la forme, la sculpture et la couleur de l'ouverture (E) ; vue ventrale mettant en évidence l'opercule et une partie saillante du pied de l'animal (F), (Photo Personnelle, 2019). .....	72
<b>Figure 48:</b> <i>Gibbula sp</i> : Aspect dorsal (A) et ventral (B, E) ; différentes vues de la partie dorsale (C, D) et face ventrale (B) ; vue ventrale mettant en évidence l'opercule et le pied de l'animal (F) ; vue ventrale montrant la tête et deux tentacules (cercle) (G), (Photo Personnelle, 2019). .....	73
<b>Figure 49:</b> <i>Patella rustica</i> : Aspect général dorsal (A) et ventral (B) des Patellidae ; vue de la partie extérieure de <i>Patella rustica</i> montrant les sculptures et l'apex excentrique (C) ; vue de la partie intérieure montrant le pied de l'animal (D), (Photo Personnelle, 2019). .....	73
<b>Figure 50:</b> Différentes variantes de <i>Patella rustica</i> : Faces dorsales (A, C, E, G) et faces ventrales (B, D, F, H), (Photo Personnelle, 2019). .....	74
<b>Figure 51:</b> <i>Patella caerulea</i> : Vue de la partie extérieure de <i>Patella caerulea</i> montrant la forme, l'apex excentrique et les bords arrondis (A) ; vue de la partie intérieure montrant le pied de l'animal (Photo Personnelle, 2019). .....	74
<b>Figure 52:</b> <i>Cymbula safiana</i> : Vue de la partie extérieure de <i>Cymbula safiana</i> montrant la forme, l'apex excentrique et les bords arrondis (A) ; vue de la partie intérieure montrant le pied de l'animal (B), (Photo Personnelle, 2019). .....	75
<b>Figure 53:</b> <i>Diodora greaca</i> : Vue de la partie extérieure de <i>Diodora greaca</i> montrant la forme de la coquille (A) ; vue de la partie intérieure montrant le pied de l'animal (B), (Photo Personnelle, 2019). .....	75
<b>Figure 54:</b> <i>Mytilus sp</i> : Aspect général des individus adultes (A) ; vue de la partie extérieure de l'animal (B, C) ; vue de la partie intérieure de la coquille (D) ; naissains attachés aux algues (E, F), (Photo Personnelle, 2019). .....	76
<b>Figure 55:</b> <i>Acanthochitona sp</i> : Aspect général d'individus de différentes tailles (A, B) ; vue de la partie dorsale (C, E) ; vue de la partie ventrale (D, F) ; face dorsale de l'animal illustrant une touffe de soies (G), (Photo Personnelle, 2019). .....	76
<b>Figure 56:</b> <i>Eriphia verrucosa</i> : Vue dorsale de l'animal montrant les yeux (flèches) et les péreïopodes (cercle) (A) ; vue dorsale de l'animal montrant l'abdomen (B) ; vue dorsale de l'animal montrant les pinces (flèches) (C), (Photo Personnelle, 2019). .....	77
<b>Figure 57:</b> <i>Pachygrapsus marmoratus</i> : Aspect général de l'animal (A) ; vue montrant des individus de différentes tailles (B) ; vue ventrale de l'animal montrant les pinces (flèches) (C) ; vue dorsale de l'animal montrant les yeux (cercles) (D), (Photo Personnelle, 2019). .....	77
<b>Figure 58:</b> <i>Pisa sp</i> : Vue dorsale de l'animal montrant les yeux (flèches) et les épines au niveau de la carapace (cercle) (A) ; vue ventrale de l'animal montrant les pinces (flèches) (B), (Photo Personnelle, 2019). .....	78

<b>Figure 59:</b> <i>Maja sp</i> : Vue dorsale de l'animal montrant les yeux (flèches) et les épines au niveau de la carapace (cercle) (A) ; vue ventrale de l'animal montrant les pinces (flèches) et quatre paires de péréiopodes (cercle) (B), (Photo Personnelle, 2019).	78
<b>Figure 60:</b> <i>Amphipoda sp</i> : Aspect général d'individus ayant différentes tailles (A) ; vue de l'animal montrant un œil (flèche) et les gnathopodes (flèches pointillées) (B) ; vue dorsale de l'animal montrant les antennes (cercle) ainsi que les péréiopodes (flèches) (C), (Photo Personnelle, 2019).	79
<b>Figure 61:</b> <i>Eurydice pulchra</i> : Vue dorsale montrant une pigmentation marquée s'étendant sur le côté ainsi que les yeux (flèches) et les antennes (flèches pointillées) (A) ; vue dorsale de l'animal montrant les pattes (cercle) et deux rames externes (cercle pointillée) (B), (Photo Personnelle, 2019).	79
<b>Figure 62:</b> <i>Arbacia lixula</i> : Aspect général d'individus dans leur milieu naturel (A) ; zoom sur la face orale montrant la bouche (flèches) et les piquants de l'animal (B, D) ; zoom sur la face aborale de l'animal montrant l'anus entouré de plaques génitales et ocellaires (flèches) (C, E), (Photo Personnelle, 2019).	80
<b>Figure 63:</b> <i>Paracentrotus lividus</i> : Face orale montrant la bouche (flèches) et les piquants de l'animal (A) ; face aborale de l'animal montrant l'anus entouré de plaques génitales et ocellaires (flèches) (B), (Photo Personnelle, 2019).	80
<b>Figure 64:</b> Espèce d'holothurie : Aspect général de l'animal montrant les podia disposées en rangées (flèches) (A) ; vue de l'animal montrant l'anus (cercle) (B) ; vue de l'animal montrant la bouche et les tentacules (cercle) (C), (Photo Personnelle, 2019).	81
<b>Figure 65:</b> <i>Anemonia viridis</i> : Aspect général de l'animal montrant les différentes colorations (A) ; vue dorsale de l'animal montrant les tentacules verts avec les extrémités violettes ainsi que les cellules urticantes (B) ; vues ventrales montrant le pied de l'animal (C, D), (Photo Personnelle, 2019).	81
<b>Figure 66:</b> <i>Ulva rigida</i> : Aspect général de l'algue (A, B) ; vues montrant la forme rigide, cartilagineuse et légèrement dentelée de la feuille courte formant des petites touffes (C, D), (Photo Personnelle, 2019).	82
<b>Figure 67:</b> <i>Sargassum sp</i> : Aspect général de l'algue montrant le thalle formé de lames longues aplaties et ramifiées (A, B) ; vue montrant la ramification dichotome de l'algue (C) ; vue de lames montrant la nervure centrale (flèches) (D), (Photo Personnelle, 2019).	83
<b>Figure 68:</b> <i>Cystoseira sp</i> : Aspect général de l'algue à port dressé, arborescent, de couleur jaune verdâtre à brun foncé ainsi que la base de fixation (cercle) (A, B) ; différentes vues montrant le thalle cylindrique très ramifié et épineux (C) ; vue montrant les épines de l'algue (D), (Photo Personnelle, 2019).	83
<b>Figure 69:</b> <i>Cystoseira compressa</i> : Aspect général de l'algue à port dressé, arborescent, de couleur jaune verdâtre à brun foncé (A) ; vue montrant le thalle cylindrique très ramifié et épineux (B), (Photo Personnelle, 2019).	84
<b>Figure 70:</b> <i>Padina pavonica</i> : Aspect général de l'algue au niveau du biotope (cercle) (A) ; différentes vues montrant le thalle composé d'une lame en éventail zoné, à marge ciliée, blanche et brune fixé par une touffe de rhizoïdes (cercle) (B, C) ; zoom montrant les stries blanches (D), (Photo Personnelle, 2019).	84
<b>Figure 71:</b> <i>Colpomenia sinuosa</i> : Aspect général de l'algue au niveau du biotope (cercle) (A) ; différentes vues montrant la forme irrégulière cérébriforme et fendue de couleur jaune verdâtre, couverte de petites touffes de poils fins (flèches) (B, C), (Photo Personnelle, 2019).	85

<b>Figure 72:</b> <i>Corallina caespitosa</i> : Aspect général de l'algue (A) ; zoom montrant le thalle dressé à ramification régulièrement pennée ainsi que sa croissance apicale où les extrémités en croissance apparaissent plus claires (flèches) (B), (Photo Personnelle, 2019).....	85
<b>Figure 73:</b> <i>Laurencia sp</i> : Aspect général de l'algue (A) ; zoom montrant les ramifications pennées du thalle disposées de manière symétrique qui se développent toutes dans un même plan lui conférant ainsi une forme large de plume, où les bords du thalle sont courts et de forme arrondie (cercles) (B), (Photo Personnelle, 2019). ....	86
<b>Figure 74:</b> <i>Posidonia oceanica</i> : Aspect général de l'algue (A) ; zoom montrant les feuilles rubanées de l'algue (B), (Photo Personnelle, 2019). ....	86
<b>Figure 75:</b> <i>Ulva rigida</i> (1) ; <i>Colpomenia sinuosa</i> (7) ; <i>Padina pavonica</i> (5) ; <i>Colpomenia sinuosa</i> (6) ; <i>Laurencia sp</i> (8) ; <i>Posidonia oceanica</i> (9), (Photo Personnelle, 2019). ....	87
<b>Figure 76:</b> <i>Sargassum sp</i> (2) ; <i>Cystoseira compressa</i> (4) ; <i>Padina pavonica</i> (5) ; <i>Colpomenia sinuosa</i> (6) ; <i>Cystoseira sp</i> (3), (Photo Personnelle, 2019). ....	87
<b>Figure 77:</b> Dominance de la macrofaune benthique présente au niveau du site d'El-kala durant l'année 2016 ; Nereidae (A) ; autres espèces d'annélides (B) ; faune associée (C).....	91
<b>Figure 78:</b> Dominance de la macrofaune benthique présente au niveau du site d'Annaba durant l'année 2016 ; Nereidae (A) ; autres espèces d'annélides (B) ; faune associée (C).....	91
<b>Figure 79:</b> Dominance de la macrofaune benthique présente au niveau du site de Skikda durant l'année 2016 ; Nereidae (A) ; autres espèces d'annélides (B) ; faune associée (C).....	91
<b>Figure 80:</b> Variations mensuelles de la taille totale du corps (mm) des femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=30$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda). ....	94
<b>Figure 81:</b> Variations mensuelles du poids frais corporel (g) des femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=30$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016. ....	96
<b>Figure 82:</b> Evolution mensuelle de l'état sexuel de <i>Perinereis cultrifera</i> échantillonnées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) durant l'année 2016. ....	98
<b>Figure 83:</b> Evolution mensuelle de l'état sexuel de <i>Perinereis cultrifera</i> échantillonnées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant l'année 2016. ....	98
<b>Figure 84:</b> Evolution mensuelle de l'état sexuel de <i>Perinereis cultrifera</i> échantillonnées au niveau du site de Skikda (Bikini) durant l'année 2016. ....	99
<b>Figure 85:</b> Aspect d'une ponction cœlomique chez <i>Perinereis cultrifera</i> montrant des ovocytes à différents stades de développement : ovocyte immature (A) ; ovocyte mature (B) ; membrane vitelline (C) ; liquide cœlomique (D) ; éléocytes (E). ....	101
<b>Figure 86:</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=30$ ) récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) de Janvier à Décembre de l'année 2016. ....	102
<b>Figure 87:</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=30$ ) récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) de Janvier à Décembre de l'année 2016. ....	102
<b>Figure 88:</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=30$ ) récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) de Janvier à Décembre de l'année 2016. ....	103
<b>Figure 89:</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=30$ ) de la première cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude, El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Skikda (Bikini) de Janvier à Décembre de l'année 2016. ....	105

<b>Figure 90:</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> (m±s ; n=30) de la deuxième cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude, El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Skikda (Bikini) de Janvier à Décembre de l'année 2016.	106
<b>Figure 91:</b> Mensurations ovocytaires chez les femelles <i>Perinereis cultrifera</i> présentant les faibles intervalles de taille compris entre 0-50 µm et 50-100 µm.....	108
<b>Figure 92:</b> Mensurations ovocytaires chez <i>Perinereis cultrifera</i> présentant des intervalles de taille dont la majorité sont compris entre 100-150 µm et 150-200 µm.....	109
<b>Figure 93:</b> Mensurations ovocytaires chez <i>Perinereis cultrifera</i> présentant des intervalles de taille dont la majorité sont compris entre 200 et 250 µm.....	109
<b>Figure 94:</b> Mensurations ovocytaires chez <i>Perinereis cultrifera</i> présentant des intervalles de taille dont la majorité sont compris entre 250 et 300 µm.....	110
<b>Figure 95:</b> Mensurations ovocytaires chez <i>Perinereis cultrifera</i> ayant terminé la vitellogenèse (Matures) et présentant des intervalles de taille dont la majorité sont compris entre 300 et 350 µm.....	110
<b>Figure 96:</b> Variations mensuelles des fréquences de taille ovocytaire (%) chez les femelles de <i>Perenereis cultrifera</i> récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) durant l'année 2016.....	111
<b>Figure 97:</b> Variations mensuelles des fréquences de taille ovocytaire (%) chez les femelles de <i>Perenereis cultrifera</i> récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant l'année 2016.	111
<b>Figure 98:</b> Variations mensuelles des fréquences de taille ovocytaire (%) chez les femelles de <i>Perenereis cultrifera</i> récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) durant l'année 2016....	112
<b>Figure 99:</b> Variations mensuelles de l'indice de maturité sexuelle chez les femelles <i>Perenereis cultrifera</i> (n=50) récoltées au niveau des trois sites d'étude (El-Kala, Annaba et Skikda) durant l'année 2016. ....	114
<b>Figure 100:</b> Femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> immatures (non épitoques) (A) ; femelle épitoque (B), (Photo Personnelle, 2019). ....	115
<b>Figure 101:</b> Variations mensuelles de la présence ou l'absence d'épitoquie chez les femelles de <i>Perenereis cultrifera</i> (n=40) récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) durant la période de reproduction de l'année 2016. ....	115
<b>Figure 102:</b> Variations mensuelles de la présence ou l'absence d'épitoquie chez les femelles de <i>Perenereis cultrifera</i> (n=40) récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant la période de reproduction de l'année 2016. ....	116
<b>Figure 103:</b> Variations mensuelles de la présence ou l'absence d'épitoquie chez les femelles de <i>Perenereis cultrifera</i> (n=40) récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) durant la période de reproduction de l'année 2016. ....	116
<b>Figure 104:</b> Épitoquie médiane chez une femelle de <i>Perinereis cultrifera</i> (A), femelles présentant une épitoquie médiane et postérieure (B), (Photo Personnelle, 2019).....	117
<b>Figure 105:</b> Pourcentage des différents types d'épitoquie chez les femelles de <i>Perenereis cultrifera</i> récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) durant la période de reproduction de l'année 2016. ....	118
<b>Figure 106:</b> Pourcentage des différents types d'épitoquie chez les femelles de <i>Perenereis cultrifera</i> récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant la période de reproduction de l'année 2016. ....	118



<b>Figure 107:</b> Pourcentage des différents types d'épitoque chez les femelles de <i>Perenereis cultrifera</i> récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) durant la période de reproduction de l'année 2016. ....	119
<b>Figure 108:</b> Variations mensuelles de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n = 3$ ) récoltées au niveau du site d'El Kala (La Montagne) durant la période de reproduction de l'année 2018 (classification de Tukey). ....	120
<b>Figure 109:</b> Variations mensuelles de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n = 3$ ) récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant la période de reproduction de l'année 2018 (classification de Tukey). ....	121
<b>Figure 110:</b> Variations mensuelles de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n = 3$ ) récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) durant la période de reproduction de l'année 2018 (classification de Tukey). ....	122
<b>Figure 111:</b> Variations du taux de vitellogénines ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ de liquide coelomique) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant la période de reproduction qui s'étale de Mars à Mai de l'année 2018. ....	125
<b>Figure 112:</b> Variations du taux de vitellines ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ d'ovocytes) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant la période de reproduction qui s'étale de Mars à Mai de l'année 2018. ....	126
<b>Figure 113:</b> Variations mensuelles du taux de protéines corporelles ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016. ....	128
<b>Figure 114:</b> Variations saisonnières de l'activité enzymatique de la Glutathion S-Transférase ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n=3$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016. ....	130
<b>Figure 115:</b> Courbe d'étalonnage exprimant l'Absorbance en fonction de la Concentration du Cuivre ( $\text{mg}/\text{L}$ ). ....	132
<b>Figure 116:</b> Courbe d'étalonnage exprimant l'Absorbance en fonction de la Concentration du Zinc ( $\text{mg}/\text{L}$ ). ....	133
<b>Figure 117:</b> Courbe d'étalonnage exprimant l'Absorbance en fonction de la Concentration du Chrome ( $\text{mg}/\text{L}$ ). ....	133
<b>Figure 118:</b> Courbe d'étalonnage exprimant l'Absorbance en fonction de la Concentration du Plomb ( $\text{mg}/\text{L}$ ). ....	134
<b>Figure 119:</b> Courbe d'étalonnage du exprimant l'Absorbance en fonction de la Concentration du Cadmium ( $\text{mg}/\text{L}$ ). ....	134
<b>Figure 120:</b> Évaluation des teneurs en cuivre ( $\text{mg}/\text{kg}$ de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ) (classification de Tukey). ....	136
<b>Figure 121:</b> Évaluation des teneurs en zinc ( $\text{mg}/\text{kg}$ de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et	

Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ) (classification de Tukey). .....	137
<b>Figure 122:</b> Évaluation des teneurs en chrome (mg/kg de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ) (classification de Tukey). .....	139
<b>Figure 123:</b> Évaluation des teneurs en plomb (mg/kg de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ) (classification de Tukey). .....	140
<b>Figure 124:</b> Évaluation des teneurs en cadmium (mg/kg de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ) (classification de Tukey). .....	142
<b>Figure 125:</b> Évaluation des teneurs en cuivre (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ) (classification de Tukey). .....	145
<b>Figure 126:</b> Évaluation des teneurs en zinc (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ) (classification de Tukey). .....	147
<b>Figure 127:</b> Évaluation des teneurs en cuivre (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ) (classification de Tukey). .....	148
<b>Figure 128:</b> Évaluation des teneurs en plomb (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ) (classification de Tukey). .....	150
<b>Figure 129:</b> Évaluation des teneurs en cadmium (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ) (classification de Tukey). .....	151
<b>Figure 130:</b> Coupe histologique d'une partie du tube digestif chez <i>Perinereis cultrifera</i> ; A, B, C : montrant un épithélium intestinal avant épitoquie GR× 60, 150, 600 d'une femelle d'El-kala ; D : montrant un épithélium intestinal avant épitoquie d'une femelle de Skikda GR×150 (Photo Personnelle, 2019). .....	153
<b>Figure 131:</b> Coupe histologique d'une partie du tube digestif chez <i>Perinereis cultrifera</i> d'Annaba montrant un épithélium intestinal en pleine épitoquie : A : GR×150, B : GR× 600 (Photo Personnelle, 2019). .....	154
<b>Figure 132:</b> Coupe histologique d'une partie du tube digestif chez <i>Perinereis cultrifera</i> de Skikda montrant un épithélium intestinal en pleine épitoquie : A : GR×150, B : GR×600 (Photo Personnelle, 2019). .....	154
<b>Figure 133:</b> Projection des variables ACP sur le plan F1xF2. ....	155
<b>Figure 134:</b> Projection des individus sur le plan F1xF2 de l'ACP. ....	156

<b>Figure 135:</b> Corrélation de Pearson effectuée entre les différents paramètres du site El-Kala (La Montagne), (Taille corporelle, Poids corporel, Diamètre ovocytaire, SIM et protéines corporelles) durant l'année 2016.....	157
<b>Figure 136:</b> Corrélation de Pearson effectuée entre les différents paramètres du site Annaba (Saint Cloud), (Taille corporelle, Poids corporel, Diamètre ovocytaire, SIM et protéines corporelles) durant l'année 2016.....	158
<b>Figure 137:</b> Corrélation de Pearson effectuée entre les différents paramètres du site Skikda (Bikini), (Taille corporelle, Poids corporel, Diamètre ovocytaire, SIM et protéines corporelles) durant l'année 2016.....	159
<b>Figure 138:</b> Corrélation de Pearson effectuée sur les réserves énergétiques (vitellogénines et vitellines) chez les femelles de <i>P. cultrifera</i> récoltées au niveau d'El-Kala (A) ; d'Annaba (B) et Skikda (C).....	159
<b>Figure 139:</b> Profil électrophorétique après amplification du gène ITS 1, Marqueurs de taille : 1 kilobase. Les PCR réalisées avec les amorces : ITS1a et ITS1b a permis d'amplifier un fragment d'ADN à 520 pb.....	160
<b>Figure 140:</b> Profil électrophorétique après amplification du gène ITS 1, Marqueur de taille : 1 kilobase. Les PCR réalisées avec les amorces : ITS1a et ITS1b a permis d'amplifier un fragment d'ADN à 510 pb.....	160
<b>Figure 141:</b> Profil électrophorétique après amplification avec le marqueur COI, Marqueur de taille : 1 kilobase. ....	161
<b>Figure 142:</b> Arbre phylogénétique des séquences du gène ITS1 construit par la méthode du P-distance et Neighbor-joining. ....	162

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Principales unités industrielles dans la région d'Annaba. ....	17
<b>Tableau 2 :</b> Principales unités industrielles au niveau du Littoral de Skikda. ....	18
<b>Tableau 3:</b> Taxonomie et principaux critères d'identification de <i>P. cultrifera</i> selon la forme et la répartition des paragnathes au niveau des deux anneaux maxiliaire et oral, de la région céphalique selon Fauvel (1923).....	30
<b>Tableau 4:</b> Description du stade de développement de la maturité sexuelle chez les femelles de <i>P. cultrifera</i> .....	39
<b>Tableau 5:</b> Dosage de la phosphatase acide, réalisation de la gamme d'étalonnage des protéines. ....	40
<b>Tableau 6:</b> Les différentes amorces utilisées les deux gènes ITS1 et COI. ....	58
<b>Tableau 7:</b> Traitement statistique des paramètres physico-chimiques : température (C°), salinité (mg/l), oxygène dissout (mg/l), et pH de l'eau de mer, au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey). ....	65
<b>Tableau 8:</b> Espèces de macroinvertébrés identifiées et recensées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016. ....	67
<b>Tableau 9:</b> Espèces floristiques identifiées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016. ....	82
<b>Tableau 10:</b> Nombre d'individus des différentes espèces récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016. ....	89
<b>Tableau 11:</b> Pourcentage des différentes espèces récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016.....	92
<b>Tableau 12:</b> La diversité (H') et l'équipartition (J') du peuplement de macroinvertébrés au niveau des différents sites d'étude durant l'année 2016. ....	93
<b>Tableau 13:</b> variations mensuelles Variations de la taille corporelle (mm) des femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=30$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016, (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey). ....	94
<b>Tableau 14:</b> ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) de la taille corporelle (mm) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n = 30$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016. ....	95
<b>Tableau 15:</b> Variations mensuelles Variations du poids frais corporel total (g) des femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=30$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016, (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey). ....	96
<b>Tableau 16:</b> ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du poids frais total (g) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n = 30$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016.....	97

<b>Tableau 17:</b> Proportions des individus sexués par rapport à la population totale, et celle des individus mâles et femelles par rapport à la population sexuée au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) durant l'année 2016. ....	99
<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 au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant l'année 2016. ....	100
<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 au niveau du site de Skikda (Bikini) durant l'année 2016. ....	100
<b>Tableau 20:</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire (Cohorte 1, Cohorte 2) des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=30$ ) récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) de Janvier à Décembre de l'année 2016. ....	103
<b>Tableau 21:</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire (Cohorte 1, Cohorte 2) des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=30$ ) récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) de Janvier à Décembre de l'année 2016. ....	104
<b>Tableau 22:</b> Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire (Cohorte 1, Cohorte 2) des femelles <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=30$ ) récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) de Janvier à Décembre de l'année 2016. ....	104
<b>Tableau 23:</b> ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey du diamètre ovocytaire chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=30$ ) au niveau des trois sites d'étude de Janvier à Décembre de l'année 2016. ....	106
<b>Tableau 24:</b> ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du diamètre ovocytaire chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=30$ ) de la première cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016. ....	107
<b>Tableau 25:</b> ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du diamètre ovocytaire chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n=30$ ) de la seconde cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016. ....	107
<b>Tableau 26:</b> Variations mensuelles des fréquences de taille ovocytaire (%) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) durant l'année 2016. ....	112
<b>Tableau 27:</b> Variations mensuelles des fréquences de taille ovocytaire (%) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant l'année 2016. ....	113
<b>Tableau 28:</b> Variations mensuelles des fréquences de taille ovocytaire (%) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) durant l'année 2016. ....	113
<b>Tableau 29:</b> Variations mensuelles de l'indice de maturité sexuelle chez les femelles <i>Perenereis cultrifera</i> ( $n=50$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude (El-Kala, Annaba et Skikda) durant l'année 2016. ....	114
<b>Tableau 30:</b> Variations mensuelles de l'épitoquie chez les femelles de <i>Perenereis cultrifera</i> ( $n=40$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude (El-Kala, Annaba et Skikda) durant la période de reproduction de l'année 2016. ....	117
<b>Tableau 31:</b> Variations mensuelles des différents types d'épitoquie chez les femelles de <i>Perenereis cultrifera</i> récoltées au niveau des trois sites d'étude (El-Kala, Annaba et Skikda) durant la période de reproduction de l'année 2016. ....	119

<b>Tableau 32:</b> Variations mensuelles de l'activité enzymatique de la phosphatase acide chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n = 3$ ) (non épitoques et épitoques) récoltées au niveau des trois sites d'étude durant la période de reproduction de l'année 2018. ....	120
<b>Tableau 33:</b> Variations mensuelles de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n = 3$ ) récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) durant la période de reproduction de l'année 2018, (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey). ....	121
<b>Tableau 34:</b> Variations mensuelles de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n = 3$ ) récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant la période de reproduction de l'année 2018, (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey). ....	122
<b>Tableau 35:</b> Variations mensuelles de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n = 3$ ) récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) durant la période de reproduction de l'année 2018, (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey). ....	123
<b>Tableau 36:</b> ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles épitoques de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n = 3$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude durant la période de reproduction de l'année 2018. ....	123
<b>Tableau 37:</b> ANOVA à trois critères de classification (Site/Mois/État d'épitoque) de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles épitoques et non épitoques de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n = 3$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude durant la période de reproduction de l'année 2018. ....	124
<b>Tableau 38:</b> Taux de vitellogénines ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ de liquide coelomique) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant la période de reproduction qui s'étale de Mars à Mai de l'année 2018 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey). ....	125
<b>Tableau 39:</b> ANOVA a deux critères de classification (Site/Mois) du taux vitellogénines ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ de liquide coelomique) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant la période de reproduction qui s'étale de Mars à Mai de l'année 2018. ....	126
<b>Tableau 40:</b> Taux de vitellines ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ d'ovocytes) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant la période de reproduction qui s'étale de Mars à Mai de l'année 2018 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey). ....	127
<b>Tableau 41:</b> ANOVA a deux critères de classification (Site/Mois) du taux de vitellines ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ d'ovocytes) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant la période de reproduction qui s'étale de Mars à Mai de l'année 2018. ....	127
<b>Tableau 42:</b> Taux de protéines corporelles ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey). ....	129

<b>Tableau 43:</b> ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du taux de protéines corporelles ( $\mu\text{g}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016. ....	129
<b>Tableau 44:</b> Activité enzymatique de la Glutathion S-Transférase ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n=3$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey). ....	131
<b>Tableau 45:</b> ANOVA à deux critères de classification (Site/Saison) de l'activité enzymatique de la Glutathion S-Transférase ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>Perinereis cultrifera</i> ( $m \pm s$ , $n=3$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016. ....	131
<b>Tableau 46:</b> Évaluation des teneurs en métaux lourds ( $\text{mg}/\text{kg}$ de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	135
<b>Tableau 47:</b> Évaluation des teneurs en cuivre ( $\text{mg}/\text{kg}$ de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	135
<b>Tableau 48:</b> ANOVA à un critère de classification des teneurs en cuivre dans le sédiment niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	135
<b>Tableau 49:</b> Évaluation des teneurs en zinc ( $\text{mg}/\text{kg}$ de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	136
<b>Tableau 50:</b> ANOVA à un critère de classification des teneurs en zinc dans le sédiment au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	137
<b>Tableau 51:</b> Évaluation des teneurs en chrome ( $\text{mg}/\text{kg}$ de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	138
<b>Tableau 52:</b> ANOVA à un critère de classification des teneurs en chrome dans le sédiment niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	138
<b>Tableau 53:</b> Évaluation des teneurs en plomb ( $\text{mg}/\text{kg}$ de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	139
<b>Tableau 54:</b> ANOVA à un critère de classification des teneurs en plomb dans le sédiment au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	140
<b>Tableau 55:</b> Évaluation des teneurs en cadmium ( $\text{mg}/\text{kg}$ de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	141
<b>Tableau 56:</b> ANOVA à un critère de classification des teneurs en cadmium dans le sédiment au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	141

<b>Tableau 57:</b> Indice de géo-accumulation (I <sub>geo</sub> ) de chaque métal lourd dosé dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'études : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017. ....	143
<b>Tableau 58:</b> Indice de contamination (IC) de chaque métal lourd dosé dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'études : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017. ....	143
<b>Tableau 59:</b> Évaluation des teneurs en métaux lourds (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	144
<b>Tableau 60:</b> Évaluation des teneurs en cuivre (mg.kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	144
<b>Tableau 61:</b> ANOVA à un critère de classification des teneurs en cuivre dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	145
<b>Tableau 62:</b> Évaluation des teneurs en zinc (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	146
<b>Tableau 63:</b> ANOVA à un critère de classification des teneurs en zinc dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	146
<b>Tableau 64:</b> Évaluation des teneurs en chrome (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	147
<b>Tableau 65:</b> ANOVA à un critère de classification des teneurs en chrome dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	148
<b>Tableau 66:</b> Évaluation des teneurs en plomb (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	149
<b>Tableau 67:</b> ANOVA a un critère de classification des teneurs en plomb dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	149
<b>Tableau 68:</b> Évaluation des teneurs en cadmium (mg.kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). ....	150



<b>Tableau 69:</b> ANOVA à un critère de classification des teneurs en cadmium dans l'organisme des individus de <i>Perinereis cultrifera</i> récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$ ; $n = 3$ ). .....	151
<b>Tableau 70:</b> Facteur de bioaccumulation (Facteur d'accumulation Biota-Sédiment BSAF) des éléments métalliques au niveau du corps de <i>P. cultrifera</i> récoltés des trois sites d'études : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017. ....	152
<b>Tableau 71:</b> Pourcentage de similarité entre les séquences les espèces ; <i>P.cultrifera</i> pour le gène ITS1. ....	161

# INTRODUCTION

*« La vie, c'est comme une bicyclette, il faut avancer pour ne pas perdre l'équilibre »*

**Albert Einstein**

## 1. INTRODUCTION

Les termes écosystème et biodiversité ont été employés durant ces dernières années par les communautés scientifiques et politiques s'élargissant de plus en plus au grand public. Un écosystème est défini comme une communauté d'espèces vivants en interaction en fonction du milieu physique dont elles dépendent. Il est reconnu que la terre se compose de plusieurs écosystèmes différents, Néanmoins les sociétés humaines acceptent difficilement que la terre elle-même est un écosystème constitué de ressources finies et dépendant d'espèces en interaction (Vignieri & Fahrenkamp-Uppenbrink, 2017).

Le terme écosystème incluant l'ensemble des êtres vivants (la biocénose) et leur milieu physique (le biotope) a été introduit par Tansley (1935) de façon à désigner une unité de base de la nature spatialement explicite. Prenons par exemple les caractéristiques géologiques, édaphiques, hydrologiques chacun de ces éléments est impliqué dans un réseau d'interactions consistant en des transferts de matière et d'énergie permettant le maintien du système (Likens, 1992),

Ces interactions sont organisées en chaînes trophiques. Pour leur croissance, les organismes autotrophes puisent dans le milieu physique, la lumière, l'eau et les sels minéraux dont ils bénéficient. Ces organismes sont consommés par les herbivores qui transforment ainsi la matière végétale en énergie et en biomasse et sont eux même consommés par des prédateurs. Il sera également identifié au sein des écosystèmes un réseau hétérotrophe basé sur la décomposition des matières mortes animales ou végétales émanant de la chaîne trophique autotrophe qui nous permettra de conclure que l'état de santé de l'écosystème et sa stabilité sont proportionnels à la biodiversité (Strong *et al.*, 2015).

Selon son sens strict, la biodiversité a toujours été considérée comme la diversité du vivant. Ayant été proposée en 1985 par Rozen, ce n'est qu'en 1992 à partir de la conférence de Rio et de la ratification de la convention sur la diversité biologique (CDB) que celle-ci fut connue de tous. Bien que les écologues s'intéressent spécialement aux populations, communautés et écosystèmes (Krebs, 2001), la biodiversité est cependant prise en considération de l'échelle moléculaire à l'échelle de la biosphère.

Dans le cadre de l'écologie, ou étude des rapports des êtres vivant avec le milieu naturel, la biodiversité représente un des objets d'études majeur de cette partie de la biologie. Elle évalue la diversité du vivant au sein des trois niveaux fonctionnels évoqués à partir de la variabilité génétique, la diversité spécifique et la complexité des réseaux trophiques.

Selon Barbault & Chevassus-au-Louis (2004), même si la description de la diversité du vivant est complète, le concept de biodiversité va plus loin qu'une simple description. En effet, la diversité est non seulement une affaire d'interaction au sein de chaque niveau fonctionnel entre les échelles fonctionnelles mais également avec les sociétés humaines (Levrel, 2006).

Les écosystèmes marins sont particulièrement riches et productifs (Mongruel *et al.*, 2018) et caractérisés par un réseau trophique complexe (Schaal, 2009) car comme nous le savons la vie sur terre a commencé dans les océans et continue de prospérer dans sa

biodiversité de la plus petite bactérie au plus grand animal qui ait jamais vécu sur terre - la baleine bleue (UNEP, 2012 ; Vo, 2017). En outre, les eaux côtières sont des habitats sensibles qui soutiennent des niveaux élevés de biodiversité et fournissent de nombreuses matières premières et services marins (Costanza *et al.*, 1998 ; De Groot *et al.*, 2002 ; Beaumont *et al.*, 2008 ; D'Alessandro *et al.*, 2016).

Depuis que la vie est apparue, les extinctions d'espèces font partie de l'histoire de la Terre. Tout au long de l'évolution, des espèces ont disparu et les temps géologiques ont été ponctués de cinq grandes vagues d'extinction. Ces crises majeures de biodiversité ont vu disparaître plus de 75 % de la faune et de la flore mondiale (Barnosky *et al.*, 2011) et ont profondément modifié les communautés et les écosystèmes de la planète.

Les phases d'expansion qui ont suivi, issues des dynamiques d'évolution sur plusieurs millions d'années, ont permis l'émergence de nouvelles formes de vie pour façonner la diversité que nous connaissons aujourd'hui. Mais depuis environ deux siècles, la Terre subit une nouvelle phase d'extinction massive. Si les cinq grandes vagues d'extinctions passées sont survenues à l'échelle des temps géologiques, la perte actuelle de biodiversité ne cesse de s'accroître sur une courte échelle de temps. La communauté scientifique s'accorde déjà à dire que nous vivons actuellement la sixième crise d'extinction de biodiversité (Ceballos *et al.*, 2015 ; McCallum, 2015).

Le déclin ou la disparition d'une seule espèce dans un milieu perturbé se produit rarement de façon isolée et la modification d'un paramètre de l'habitat peut influencer toutes les espèces qui y sont associées. Des extinctions secondaires peuvent ainsi toucher des espèces qui étaient initialement plus résistantes aux perturbations, par le biais d'effets en cascade (Young *et al.*, 2016).

La mer Méditerranée constitue le plus grand bassin semi-fermé du monde qui est partagé par 21 pays ayant une population totale d'environ 450 millions. Au cours des dernières décennies, les zones côtières de cette région sont devenues l'objet d'importantes activités socio-économiques, telles que l'urbanisation, le tourisme, l'agriculture, le transport maritime et l'industrialisation qui ont donné lieu à une pollution généralisée par divers types de produits chimiques (EEA, 1999 ; UNEP/MAP, 2012 ; Amri, 2017). Le bassin méditerranéen a été décrit comme l'une des régions les plus riches et les plus complexes sur les plans géologique, biologique et culturel (Blondel *et al.*, 2010). Par sa diversité biologique et son degré d'endémicité élevés, il constitue l'un des 34 "hot spot" de la planète (Myers *et al.*, 2000 ; Coll *et al.*, 2010 ; Coll *et al.*, 2012 ; Gerovasileiou & Voultsiadou, 2012 ; Toubal *et al.*, 2014).

La présence, la quantité et les effets des déchets marins dans les océans et les mers du monde suscitent une grande inquiétude ces dernières années et l'intérêt d'un large éventail de parties prenantes : gouvernements, organisations non gouvernementales (ONG) environnementales, communauté scientifique, médias et grand public. Bien qu'étant un point chaud crucial, la mer méditerranée est décrite comme une zone gravement polluée car elle est la plus touchée par les déchets marins dans le monde (UNEP/MAP, 2015 ; Cozar *et al.*, 2015 ; Fossi *et al.* 2018). Pour ses propres besoins l'homme pollue de plus en plus les écosystèmes (air, eau, sol),

mettant en danger la survie des êtres vivants et l'équilibre écologique (Iqbal *et al.*, 2019 ; Bhat *et al.*, 2019).

Ramade (2008), a annoncé dans ses travaux que toute substance rejetée dans le milieu et d'origine anthropique est considérée comme un contaminant lorsqu'elle exerce des effets néfastes sur le plan biologique. Elle sera donc nommée xénobiotique ou substance n'existant pas à l'état naturel et ayant pour signe distinctif une forte toxicité même à de faibles concentrations. Au fur et à mesure de leur introduction dans le milieu aquatique, les xénobiotiques s'accumulent au niveau des sédiments constituant ainsi un véritable réservoir de contaminants (Burton *et al.*, 2002). Ces derniers, sous forme dissoute ou en suspension sont capables d'être absorbés par les organismes via l'alimentation, la respiration ou également par absorption cutanée (Chen & Mayer, 1999) ; ils s'en suit une nette croissance des contaminants dans l'organisme par rapport au milieu en raison d'un phénomène de bioconcentration (Belfroid *et al.*, 1996) ; puis une bioamplification au sein des niveaux trophiques augmentant l'importance des concentrations tissulaires (Fu *et al.*, 2014), aggravant les conséquences sur la santé animale est humaine (consommateur final) (Leblanc, 1995 ; Gray, 2002). L'interaction des xénobiotiques avec les molécules endogènes engendre les effets toxiques puis l'atteinte de l'intégrité cellulaire, tissulaire, de l'organisme et enfin de la population et l'écosystème (Philips & Rainbow, 1994 ; Barron ; 2002 ; Gasmi, 2018).

Les systèmes de drainage dans les bassins versants amènent habituellement les eaux pluviales et les effluents à un point de rejet dans les plans d'eau récepteurs (Guitttonny *et al.*, 2014). Les environnements côtiers subissent malheureusement des pressions croissantes liées à de multiples facteurs de stress et impacts d'origine domestique et anthropique, notamment la surpêche, la contamination, la construction côtière, les produits phytosanitaires, les nitrates et phosphates (eutrophisation), les Polychlorobiphényles (PCB), les bactéries, virus et champignons (micro-organismes), le drainage minier acide (solution minérale acide s'écoulant régulièrement d'une mine), les apports diffus des biocides incorporés dans les peintures antisalissures des bateaux (Beauchamp, 2003), les pesticides mais également les microplastiques (particules de moins 5mm) représentant 92,4 % des débris plastiques marins (Eriksen *et al.*, 2014 ; Li *et al.*, 2018) ainsi que les hydrocarbures (HAPs) (Guemouda, 2015).

Outre les hydrocarbures, les métaux lourds, sont l'une des principales préoccupations de notre présent travail. Leur présence dans le milieu marin est due à plusieurs facteurs tels que : les rejets d'eau usées et des établissements industriels, le ruissellement superficiel des pluies ainsi que les dépôts atmosphériques directs. Le trafic maritime est également une source considérable de métaux étant donné leur présence dans la composition des peintures antisalissures des bateaux (Boulajfene *et al.*, 2017).

La santé du milieu marin est gravement affectée par les ETM ou micropolluants étant donné qu'ils ne subissent aucune de dégradation biologique ou chimique. Il est de ce fait possible que ces ETM s'accumulent dans différents maillons de la chaîne trophique à des concentrations toxiques dans les organismes marins. Le seul moyen important d'évaluation de la pollution des métaux est l'étude de leur bioaccumulation dans les organismes exposés car en raison de leur solubilité, nous ne pouvons pas considérer que l'analyse des échantillons

d'eau de mer est un moyen de détermination du degré de pollution (Belhaouari *et al.*, 2011 ; Bouzahouane *et al.*, 2018).

La contamination par les métaux peut avoir des effets sur les organismes aquatiques après assimilation et accumulation. Toutefois, l'impact sur la santé n'est pas le même avec tous les métaux : certains d'entre eux tel que le cuivre et le zinc sont essentiels à faible dose et nocifs à des doses élevées, tandis que d'autres (cadmium "Cd" et plomb "Pb") sont nocifs, même à faible dose. Il est important de dire que les effets toxiques du Cd et du Pb chez les espèces marines sont multiples. Le Cd indirectement induit la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) et de lipides peroxydation par interférence avec les systèmes antioxydants. Il est également décrit comme un inhibiteur de la réparation des dommages à l'ADN (Kamel, 2014).

Le littoral algérien s'étend sur 1 622 kilomètres, il dispose d'une grande valeur écologique. Il représente un pôle de biodiversité qui englobe plusieurs types d'écosystèmes : marais, îles, lagunes, deltas, dunes, etc. (Ghodbani *et al.*, 2015).

Les côtes Algériennes sont un réservoir de biodiversité abritant de nombreuses espèces végétales et animales (Samraoui & Belair, 1997 ; Toubal *et al.*, 2014) elles s'étendent sur 15 wilayas, de Oued Kiss, dans la commune de Marsa Ben M'hidi (wilaya de Tlemcen) à l'ouest, à Oued Souani Es Sebaâ dans la commune de Souarekh (wilaya d'El tarf). L'Algérie présente une grande diversité climatique, puisqu'on y rencontre l'ensemble des étages bioclimatiques méditerranéens allant de l'humide au Saharien. Le contraste orotopographique, accentue celui climatique et confère à ce pays une grande diversité faunistique et floristique (MATE 2014). Ainsi le Littoral Algérien reste un élément clé de la conservation de la biodiversité marine et côtière puisqu'il est constamment menacé de dégradation en raison de la concentration de la population, des activités économiques et des infrastructures le long de la bande côtière. (Kacemi, 2011).

La population algérienne est très inégalement répartie sur le territoire ; en effet, elle est majoritairement concentrée à moins de 250 km du littoral méditerranéen, au-delà de 250 km au sud du littoral la population se fait rare hormis au niveau de quelques villes qui correspondent à des oasis.

Les 12 wilayas ayant une densité de moins de 20 habitants au km<sup>2</sup> (Djelfa, Laghouat, El Oued, Naama, El Bayadh, Ouargla, Ghardaïa, Adrar, Bechar, Tamenrasset, Illizi et Tindouf) représentent 89 % de la superficie du pays pour à peine 13 % de la population.

Les 36 autres wilayas, ayant toutes une densité supérieure à 20 habitants au km<sup>2</sup>, et toutes situées au nord du pays, représentent 11 % de la superficie (soit environ 240 000 km<sup>2</sup>) et regroupent 87 % de la population.

Parmi ces 36 wilayas du Nord, les densités les plus fortes se retrouvent autour des grandes agglomérations (Alger, Oran, Constantine et Annaba), viennent ensuite les wilayas littorales plus rurales (Chlef, Tipaza, Tizi Ouzou, Jijel, Skikda, etc), puis les wilayas intérieures (Relizane, Mascara, Médéa, Souk Ahras, etc) et enfin les wilayas proches du Sahara (Tébessa, M'sila, Tiaret, Saïda, etc). (ONS RGPH, 24, 2019).

Outre la forte concentration de la population sédentaire, le littoral algérien constitue la destination phare d'une population supplémentaire d'estivants. En effet, l'Algérie a séduit un peu plus de 2 millions de touristes en 2018 dont la majorité se sont précipités vers les façades maritimes. Les Tunisiens viennent en tête avec plus d'un million de visiteurs, suivis par les Français puis par les Marocains dont le nombre était de 80 317.

Cette forte concentration démographique a entraîné une urbanisation démesurée. Le taux d'urbanisation est passé de 26% en 1962 à 61,4% en 2010. Plus de 51% des unités industrielles sont localisées sur la côte. Ainsi, pas moins de 5 568 unités industrielles y sont implantées, soit 53 % du parc national (Bouroumi, 2014).

Bien que l'activité industrielle soit positive et souhaitable pour le développement social et économique du pays, elle s'est accaparée des meilleurs sites littoraux et s'est développée au détriment des autres usages liés à la mer (Kacemi, 2011). En effet selon le 5<sup>ème</sup> rapport du Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement Les unités industrielles implantées sur le littoral telles que les complexes de GNL (Arzew, Skikda), les centrales thermoélectriques, les unités de dessalement d'eau de mer, les raffineries, les unités d'engrais chimiques, utilisent d'énormes quantités d'eau de mer comme eaux de refroidissement de leurs installations lors de divers procès. Les eaux rejetées sont souvent plus chaudes. Le trafic maritime lui-même est source de nuisances sonores dont l'impact sur la faune marine n'est pas négligeable. Les échouages de cétacés, pourraient s'expliquer en partie grâce à des perturbations dans leur système d'écholocation. Les activités industrielles liées aux hydrocarbures : transport de brut, exportation de brut (ports pétroliers), raffinage, pétrochimie, sont dans certaines régions littorales très importantes (Arzew, Bejaia, Skikda).

Dans ce contexte, les températures marine de la région d'Arzew seraient anormalement élevées Les oléoducs et pipe-lines peuvent également s'avérer source de nuisances. En ce qui concerne les rejets industriels, la mise en place des contrats de performance environnementale (ASMIDAL à Annaba et AZINC à Ghazaouet) a favorisé un modèle d'engagement des entreprises pour réduire les effets nocifs de leurs activités et un engagement des pouvoirs publics pour accompagner et soutenir les efforts des grandes entreprises polluantes dans leurs efforts (MATE, 2005).

Selon Newman (2015a), l'écotoxicologie est une science qui étudie les effets des contaminants sur les humains et les autres constituants de la biosphère. Les effets, le devenir et le transport des contaminants sont la préoccupation de tous les niveaux d'organisation biologique. Le devoir d'évaluation du risque causé par un polluant a entraîné automatiquement le développement de cette discipline qui s'est concentrée au début sur des descripteurs peu coûteux et rapides tels que les tests de toxicité ou biotests qui constituent l'ossature de l'écotoxicologie mais présentant néanmoins de nombreuses limites. Il a paru donc plus urgent de développer des méthodologies plus pertinentes pour l'évaluation de l'état de santé des écosystèmes aquatiques mais aussi afin d'évaluer à long terme l'efficacité des mesures adoptées. Conformément aux exigences de la législation en vigueur dans le cadre de ce domaine bien particulier, le développement s'est axé sur la mise en place de différents outils de surveillance. Auparavant l'évaluation de la qualité des milieux aquatiques se faisait par la mesure de paramètres physico-chimiques lesquels affectent les polluants et leur

comportement et peuvent affecter les organismes directement notamment l'intégrité et l'efficacité des barrières muqueuses et épithéliums et influencer ainsi l'entrée active ou passive des contaminants (Mubiana & Blust, 2007 ; Newman, 2015c). Bien que toujours performantes, les analyses physico-chimiques ne renseignent pas sur une perturbation passée (Guerlet, 2007). Compte tenu de ce qui précède, il est devenu essentiel d'introduire des éléments intermédiaires de qualité biologique et de se baser sur des approches spécifiques et complémentaires : les bioindicateurs et les biomarqueurs (Viarengo *et al.*, 2007) et ce dans le but de détecter les effets des polluants sur les organismes avant l'apparition des répercussions au niveau d'organisations supérieures (Allan *et al.*, 2006b ; Amiard *et al.*, 1998 ; Potet, 2017).

L'évaluation de la qualité écologique des cours d'eau repose notamment sur l'analyse de la composition et de l'abondance de différents groupes d'indicateurs biologiques par rapport à des conditions de référence qui correspondent à l'état naturel. Parmi les outils de gestion durable des milieux aquatiques, les méthodes de mesure fondées sur la surveillance biologique jouent un rôle très important puisqu'elles permettent de donner un aperçu des pressions environnementales (Armellin, 2010). 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).

Les communautés aquatiques (algues, invertébrés, poissons) sont largement utilisées, depuis plusieurs décennies, comme bioindicateurs pour évaluer la qualité biologique des cours d'eau (Heliott, 2014), ces derniers s'avèrent fiables et adéquats (Diomande *et al.*, 2009 ; Ben Moussa *et al.*, 2014). Dans ce contexte le groupe d'organismes le plus utilisé est celui des macro-invertébrés benthiques (Williams & Smith, 1996 ; Water Framework Directive, 2003 ; Diomande *et al.*, 2009 ; Archaimbault & Dumont, 2010 ; Armellin, 2010 ; Adandedjan, 2012 ; Ben *et al.*, 2014 ; Camara *et al.*, 2014 ; Nyamsi Tchatcho *et al.*, 2014. Sanogo *et al.*, 2014 ; Ngoay-Kossy *et al.*, 2018).

La macrofaune benthique est une composante biologique clé qui est à l'origine de processus importants comme le cycle des nutriments, le remaniement des sédiments, la bio-irrigation et la décomposition de la matière organique (Widdicombe *et al.*, 2004 ; Bremner *et al.*, 2006 ; Olsford *et al.*, 2008 ; Nasi *et al.*, 2018).

Les organismes benthiques, en particulier les espèces sessiles ou sédentaires dont la mobilité est nulle ou limitée réagissent aux conditions de stress tant au niveau individuel que communautaire. Ils intègrent les effets cumulatifs et associatifs par la variation du nombre total, la sélection des taxons et l'élimination des plus sensibles (Solis-Weiss *et al.*, 2004). Ainsi, les changements dans les conditions environnementales, induits par des facteurs anthropiques, affectent fortement la structure de la communauté benthique (Nasi *et al.*, 2018), ces changements dans l'abondance et la composition des espèces pourraient correspondre à la charge de polluants (Warwick & Pearson, 1987 ; Clarke & Green, 1988 ; Wildsmith *et al.*, 2011). Par exemple, le long d'un gradient de sites très pollués à des sites vierges, la communauté macrobenthique passe habituellement d'une dominance de quelques espèces opportunistes à une faune diversifiée (Pearson & Rosenberg, 1978) ; par conséquent, la



détermination de leur structure communautaire peut révéler l'état de la pollution (Wang *et al.*, 2017).

Les impacts anthropiques à l'échelle locale se superposent à l'impact des changements climatiques mondiaux, des anomalies climatiques régionales et des événements épisodiques (Barange *et al.*, 2010) mais également les particules en suspension (aérosols) avec transport à longue distance (Mahowald *et al.*, 2018 ; Luo *et al.*, 2019), incluant souvent des effets synergiques (Rossi, 2013). Ainsi, la fourniture de biens et services essentiels des écosystèmes côtiers est considérablement réduite (Donavaro *et al.*, 2018).

Compte tenu des changements climatiques et anthropiques prévus dans le bassin méditerranéen au cours des prochaines décennies, avec l'élévation de la température, la réduction des précipitations et l'augmentation de la population (Giannakopoulos *et al.*, 2009 ; Milano *et al.*, 2012), la pression de contamination sur les écosystèmes aquatiques est susceptible d'augmenter à moyen terme (Barbosa *et al.*, 2012).

La reproduction distingue la fonction par laquelle les êtres vivants se perpétuent grâce à la production de nouveaux individus qui contiennent une certaine partie du matériel génétique hérité d'un ou plusieurs organismes parents. C'est une caractéristique fondamentale de toute la vie évolutive car chaque organisme individuel n'existe qu'à la suite d'une reproduction permettant d'assurer la pérennité et la continuité de l'espèce qui, sans reproduction, meurt et s'éteint.

Il existe deux grands modes de reproduction, la reproduction sexuée et la reproduction asexuée. Cette dernière un moyen de multiplication où n'interviennent ni gamète ni fécondation. Dans ce cas, le sexe des parents et des descendants reste identique, ou seule la mitose assure la transmission de l'information génétique aux nouvelles cellules. C'est une forme de clonage naturel. Cependant, les descendants résultant de cette reproduction sont similaires, mais pas identiques à leur géniteur, car les mutations sont transmises par les cellules reproductrices d'une génération à l'autre et s'accumulent au cours du temps, donnant également une grande variabilité. Il n'y a donc pas de reproduction (à l'identique) de l'individu à strictement parler, mais uniquement une reproduction des gènes.

La reproduction sexuée implique le croisement des patrimoines génétiques parentaux lors du processus de fécondation (Raven *et al.*, 2007). Ce mode de reproduction est possible grâce à un cycle alternant la production de gamètes matures haploïdes et le processus de fécondation permettant le brassage génétique ainsi que la restauration de la ploïdie de l'espèce (Le Moigne & Foucrier, 2009). Afin de produire les gamètes, les Cellules Germinales Souches (GSC) sont recrutées et vont engendrer des gonies différenciées qui entreront dans une phase de mitoses successives suivie du déroulement de la méiose afin de se différencier pour former l'ensemble de la lignée germinale (Cherif-Feildel, 2018).

Chez les espèces gonochoriques à reproduction sexuée, la spermatogenèse et l'ovogenèse se déroulent chez les individus différents qui conservent le même sexe tout au long de leur vie (Le Moigne & Foucrier, 2009). Dans ce cas, l'origine des GSC est embryonnaire, due à un groupe particulier de cellules embryonnaires et est spécifié en cellules de la lignée germinale, nommées cellules germinales primordiales (PGC), selon les

modèles préformistique et/ou épigénétique. Ces PGC migrent ensuite jusqu'à la future gonade et, une fois établies, elles perdent leur capacité de migration et se différencient en GSC qui engendreront les cellules germinales adultes (Lin, 1997). Plusieurs termes sont utilisés pour définir la potentialité des GSC. En effet, elles peuvent être considérées pluripotentes, comme la plupart des cellules souches, car elles expriment les facteurs dits de pluripotence (Reik & Surani, 2015 ; Yang *et al.*, 2018). Cependant, les GSC étant limitées aux types cellulaires de la lignée germinale qu'elles engendrent en se différenciant, elles peuvent également être considérées comme des cellules souches multipotentes. Certains les définissent même comme des cellules souches unipotentes car, chez les espèces gonochoriques, les GSC ne produisent qu'un seul type cellulaire après différenciation, les gonies différenciées mâles ou femelles, selon le sexe de l'individu (Yuan & Yamashita, 2010 ; Dadoune, 2013 ; Cherif-Feildel, 2018).

Les Polychètes sont des Annélides gonochoriques dont les organes génitaux se différencient par la présence de masses de cellules gamétiques apparaissant comme des renflements du péritonium dans certains segments du corps (Barnes, 1980). Selon certains auteurs, ces structures présentes chez la majorité des femelles Polychètes sont considérées comme des ovaires (Clarck & Olive, 1973 ; Olive, 1973). La reproduction sexuée du ver marin est liée en général à l'âge (mois) et à la période de marée, Ainsi qu'au déclenchement de l'épitoquie qui n'a lieu qu'une fois par an. Le polychète peut de cette manière se reproduire en masse et en abondance dans l'eau (Rettob *et al.*, 2013). Arrivés à maturité, les produits génitaux sont libérés, tombent dans le coelome, puis sont évacués par les néphridies (Hauenschild, 1966). Dans le cas de l'épitoquie, les gamètes sont évacués par simple rupture du tégument (Golding & Yuwono, 1994). L'ovogenèse peut être conventionnellement divisée en deux phases : une phase de prolifération, durant laquelle les ovogonies se divisent mitotiquement, donnant naissance à des ovocytes, et une phase de développement, durant laquelle les ovocytes accumulent le vitellus. Par ailleurs, il arrive de rencontrer deux types fondamentaux d'ovogenèse : l'ovogenèse extraovarienne et l'ovogenèse intraovarienne. Dans le premier cas, les cellules germinales quittent l'ovaire précocement, au cours de la prévitellogenèse, et subissent l'ovogenèse dans le coelome. Dans le cas de l'ovogenèse intraovarienne, les ovocytes restent dans l'ovaire, où se déroule la plus grande partie de la vitellogenèse. Ces derniers, une fois évacués dans le liquide coelomique, vont subir un accroissement et la différenciation (Eckelbarger *et al.*, 2001). L'ovogenèse peut toutefois être synchrone, comme dans le cas de la plupart des Polychètes telles que *Nereis diversicolor*. Dans ce cas, les ovocytes se trouvent au même stade de vitellogenèse chez le même individu tandis que chez d'autres espèces telles que *Hesiocaea methanicola* l'ovogenèse présente une évolution asynchrone, où on rencontre des ovocytes de tailles différentes et appartenant à des stades différents de vitellogenèse chez le même individu (Desbruyeres & Toulmond, 1998).

Les protéines jouent un rôle fondamental dans l'organisme de toutes les espèces biologiques vivantes connues, ils possèdent de nombreuses fonctions biologiques, elles permettent la croissance, l'entretien et le fonctionnement des tissus, elles peuvent posséder un rôle de structure, de stockage d'information, de transport, de signal, de défense, de catalyse, ou encore permettre la motricité, elles sont également au cœur de nombreux mécanismes de régulation (enzymes, anticorps, hormones...), (Chevallier, 2009 ; Médart, 2009 ; Lecourtois,

2013). L'étroite relation entre les taux de protéines et le cycle reproductif est due au fait que ces derniers interviennent dans la formation des gamètes, et sont également utilisées comme source d'énergie en particulier pendant la gamétogénèse. Tous ces mécanismes existent chez les êtres vivants dans les écosystèmes terrestres et aquatiques (Snani, 2016).

Les biomarqueurs constituent des outils biologiques supplémentaires et de bons candidats pour les approches écotoxicologiques car ils se situent à des niveaux intermédiaires (individu, population) et permettent d'intégrer non seulement l'état de contamination du milieu, mais aussi ses effets sur le biote. L'une des nombreuses définitions proposées du biomarqueur est celle d'un « changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental, qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant » (Lagadic *et al.*, 1997). Les organismes, végétaux et animaux, qui s'inscrivent dans cette démarche sont désignés d'espèces sentinelles et indiquent précocement la présence et/ou la toxicité d'au moins un contaminant, dont il est possible d'évaluer les effets délétères potentiels pour l'environnement.

Toutefois, il est désormais acquis qu'outre les contaminants, ces biomarqueurs sont aussi influencés par les caractéristiques structurelles des milieux aquatiques (température, cycle saisonnier, minéralisation de l'eau...), mais également par des facteurs intrinsèques aux populations comme le cycle reproducteur, les caractéristiques génétiques ou encore le parasitisme (Potet, 2017). Ainsi, l'utilisation d'une batterie de biomarqueurs moléculaires, cellulaires, biochimiques, physiologiques et comportementaux ont été proposés et constituent une approche de confiance pour évaluer l'état de santé de l'environnement et d'augmenter les possibilités de détection des signes précoces de changements biologiques (Almamoori *et al.*, 2013). Ils ont été tout d'abord classés en biomarqueurs d'exposition, biomarqueurs d'effets et biomarqueurs de vulnérabilité (National Research Council of the United States of America : NRC, 1987). De Lafontaine *et al.* (2000) a proposé leur classification en biomarqueurs de défense et biomarqueurs de dommage. Cette classification est désormais adoptée par plusieurs écotoxicologistes.

Un diagnostic complet de la qualité de l'environnement ne peut reposer sur une seule variable biologique. Les informations fournies par différents biomarqueurs sont ainsi complémentaires et l'approche « multi-marqueurs » est dorénavant préconisée et employée par tous les spécialistes de l'écotoxicologie pour la biosurveillance des milieux (Amiard & Amiard-Triquet, 2008). Parmi les biomarqueurs conventionnels étudiés, les métallothionéines (MTs); protéines fonctionnelles de l'homéostasie des métaux essentiels (e.g. Cuivre, Zinc) et de la détoxification des métaux lourds toxiques (e.g. Cadmium, Plomb) sont utilisées comme biomarqueurs d'exposition aux polluants métalliques (Amiard *et al.*, 2006 ; Viarengo *et al.*, 2007). L'inhibition de l'activité des cholinestérases; enzymes impliquées dans la transmission de l'influx nerveux, est de plus en plus recommandée comme biomarqueur d'exposition aux composés neurotoxiques tels que les pesticides organophosphorés et carbamates, mais cette enzyme peut être également inhibée par certains métaux traces, des produits phytosanitaires de synthèse, des produits pétroliers et certaines toxines algales (Payne *et al.*, 1996; Guilhermino *et al.*, 1998; Lehtonen *et al.*, 2003; Tim-Tim *et al.*, 2009). Le stress oxydant

résulte de l'accumulation des radicaux libres dans la cellule pouvant engendrer des effets génotoxiques et cytotoxiques variés : une inactivation enzymatique, une dégradation des protéines, un dommage à l'ADN et une mort cellulaire (Livingstone, 2001). Les xénobiotiques impliqués dans la production du stress oxydant cellulaire sont nombreux (métaux, PCBs, HAPs...). L'accumulation des lipides neutres, l'évaluation du contenu des lipofuscines, l'activité catalase (Cat), le taux des substances réagissant avec l'acide Thio barbiturique « Thiobarbituric acid reactive substances » (TBARs) et certaines enzymes de phase I et II (Glutathion-S transférase : GST, Ethoxy Resorufine O Deethylase : EROD, superoxydes dismutases : SOD...) sont reconnus comme biomarqueurs de stress oxydant (Cossu *et al.*, 1997 ; Koehler, 2004 ; Dagnino *et al.*, 2007 ; Bergayou *et al.*, 2009). La stabilité de la membrane des lysosomes (SML) est considérée comme une réponse des organismes aux facteurs de stress biotique et abiotique et également à l'exposition à des cocktails de polluants (Ferreira & Dolder, 2003 ; Viarengo *et al.*, 2007). Considérée comme un excellent marqueur de stress général, la stabilité de la membrane des lysosomes a été validée et appliquée également dans plusieurs études *in situ* chez une grande variété d'espèces sentinelles dont les organismes benthiques (Einsporn *et al.*, 2005 ; Schiedek *et al.*, 2006).

Les indices biologiques (Indice de maturité sexuelle SIM, Indice de Shannon-Wiener (H'), Indice d'Equitabilité) sont également d'un grand intérêt en raison des informations complémentaires qu'ils peuvent donner sur l'état de santé général des organismes à savoir l'état physiologique, en terme de développement, de reproduction et de croissance (Durou & Mouneyrac, 2007 ; Ciftcioglu *et al.*, 2020).

Les Glutathion S-Transférases sont une famille de multi-enzymes impliquées dans la phase II des processus de détoxification des xénobiotiques. Les réactions de phase II consistent à lier les métabolites à des composés hydrosolubles, augmentant ainsi l'hydrophilie des contaminants, et, de ce fait, leur taux d'excrétion (Bocquené *et al.*, 2004). Les GSTs augmentent le taux de conjugaison du glutathion par une déprotonation de la GSH, ce qui en fait un biomarqueur de défense. En effet, ces enzymes de biotransformation permettent la survie d'espèces dans un milieu détérioré (Le Goff & Dabouineau, 2009). D'après Cajaraville *et al* (2000), la glutathion -S-transférase est l'enzyme dont l'activité est la plus utilisée comme biomarqueur de substances organiques et ont été mises en évidence chez la plupart des êtres vivants tels que la levure (Haag *et al.*, 2001 ; Gros *et al.*, 2013), les mollusques (Beldi *et al.*, 2006 ; Sifi *et al.*, 2007 ; Benradia *et al.*, 2016), les vers (Bouraoui *et al.*, 2009 ; Domingues *et al.*, 2010 ; Daas *et al.*, 2011 ; Diaz-Jaramillo *et al.*, 2010 ; Ghuemouda *et al.*, 2014 ; Meghlaoui *et al.*, 2015 ; Snani *et al.*, 2015 ; Valvassori *et al.*, 2019), les crustacés (Hotard & Zou, 2008 ; Berghiche *et al.*, 2018), les insectes (Loucif-Ayad *et al.*, 2008 ; Shi *et al.*, 2012 ; Rouibi *et al.*, 2016), les poissons (Chouahda *et al.*, 2017 ; Falcão *et al.*, 2019 ; Cheghib *et al.*, 2020) et les mammifères (Saka *et al.*, 2011).

En Méditerranée, 1172 espèces d'Annélides polychètes ont été décrites (Coll *et al.*, 2010). Ces dernières représentent un pourcentage significatif de la population totale marine puisque ces espèces sont les plus abondantes en terme d'abondance et de biodiversité (Dean, 2008 ; Garcia-Alonso *et al.*, 2008 ; Gözler *et al.*, 2009) et sont reconnues comme des modèles biologiques à caractère écotoxicologique de choix pour révéler les perturbations qui affectent

les écosystèmes côtiers (Rouhi *et al.*, 2016). Ils colonisent une grande diversité d'habitats marins, des substrats meubles aux substrats durs, depuis la zone intertidale à la zone hadale. Cette immobilité relative assure l'exposition chronique à toute matière toxique dans l'environnement (Papageorgiou *et al.*, 2006). De nombreuses espèces d'Annélides polychètes ont été largement utilisées pour apprécier le degré de contamination des écosystèmes marins et estuariens. Quarante-huit espèces appartenant à vingt familles différentes ont servi de modèle pour estimer les effets des polluants métalliques et/ou organiques (Reish & Gerlinger, 1997).

Les polychètes ont une large couverture géographique à cycle de vie court, et à un cycle de vie distinct et ont été recommandés comme étant les organismes modèles marins potentiels pour l'écotoxicologie (Catalano *et al.*, 2012), ils ont été utilisés pour évaluer l'impact des activités anthropiques, les perturbations dans les systèmes aquatiques sous les champs et les conditions de laboratoire (Qingyang *et al.*, 2016). Par ailleurs ils jouent un rôle majeur dans le fonctionnement des communautés benthiques (Daas *et al.*, 2010 ; Guemouda *et al.*, 2014 ; Snani *et al.*, 2015 ; Gasmi *et al.*, 2016).

L'Annélide polychète *Perinereis cultrifera* (Grübe, 1840), de la famille des Nereididae est un ver marin d'aspect vermiforme et de couleur bronze vert à rouge clair dorsalement (Grübe, 1840), on le trouve parmi les Rhodophycées, algues rouges. Cette espèce est essentiellement utilisée en tant qu'appât pour la pêche sportive à la ligne et pour la pêche récréative à la daurade (*Dicentrarchus labrax*) et la sole (*Solea solea*) et d'autres variétés de poissons tels que le pageot, le petit loup et le marbré (Rouabah, 2003) pour ces raisons *P. cultrifera* est largement exploitée sur le littoral Nord Est Algerien. Elle a été étudiée comme sentinelle de la pollution marine impliquant l'utilisation de nombreux biomarqueurs (Daas *et al.*, 2011 ; Guemouda *et al.*, 2014 ; Meghlaoui *et al.*, 2015 ; Snani *et al.*, 2015). De par son pouvoir bioaccumulateur, de nombreux travaux ont rapportés que l'utilisation de *P. cultrifera* est appropriée pour étudier la contamination des sédiments par les métaux lourds (Dean, 2008 ; Ghirardini *et al.*, 1999 ; Mosbahi *et al.*, 2019 ; Losso & Ghirardini, 2010 ; Gasmi, 2018 ; Taş *et al.*, 2018).

En raison de leur valeur commerciale ; la biologie de la reproduction des Nereidae a été récemment étudiée (Zribi, 2007 ; Rettob *et al.*, 2013), Ce sont des espèces gonochoriques de sexes différents ou les gonades sexuelles sont absentes (Gillet, 2016), se reproduiraient à l'état atoque ou épitoque selon la localisation géographique des populations (Rouabah, 2008). Ces espèces sont semelpares, ne se reproduisent qu'une seule fois durant leur cycle de vie et meurent dans les jours qui suivent l'essaimage au cours duquel se fait l'émission des produits génitaux. Comme de nombreuses espèces de Nereis, elles subissent, au moment de la maturité génitale, l'épitoquie. Celle-ci se traduit par des transformations musculaires, l'augmentation de la taille des yeux, un élargissement des parapodes et la formation de soies.

Toujours dans le cadre de la reproduction, Clark (1961) a signalé qu'en même temps que les transformations morphologiques, le tube digestif présente lors de la reproduction des Annélides polychètes une dégénérescence de l'épithélium intestinal qui s'accompagne d'un arrêt de l'alimentation, par son déclenchement à un stade bien particulier de la vie de l'animal.

Selon le concept de Lockshin & Williams (1964), cette dégénérescence ne serait que le résultat d'un processus de mort cellulaire programmée.

Dans une variété d'enzymes biologiques, la phosphatase acide (ACP), en tant qu'hydrolase dont la présence se fait sentir en tous lieux et contenant des métaux binucléaires est répandu de manière abondante dans la nature (Zhengyi *et al.*, 2018) et est signalée chez les animaux les plantes et certaines espèces bactériennes (Baskar *et al.*, 2018). Le rôle de la phosphatase acide est primordial pour la régulation des processus métaboliques en hydrolysant diverses biomolécules phosphorylées intracellulaires et aussi pour maintenir un pool d'énergie dans les systèmes biologiques (Srivastava *et al.*, 2013).

Chez les vers immatures de *P. cultrifera*, on trouve la phosphatase acide présente dans des vacuoles dont la taille maximale est d'environ 0,6µm et il est observé une discrète réaction dans les saccules de l'appareil de Golgi. Une accentuation de l'intensité des réactions de mise en évidence de la phosphatase acide apparaît lors des premiers stades aussi bien de l'épitoque naturelle que de l'épitoque expérimentale (Dakhama *et al.*, 1985).

Chez les vers polychètes notamment l'espèce *Perinereis cultrifera*, l'accumulation de protéines totales et exogènes ; la vitelline est produite au cours de la deuxième étape de l'ovogénèse « la corticogénèse » qui suit l'étape de la vitellogénèse. En outre, les résultats des études métaboliques *in vitro* montrent une augmentation progressive du taux de sécrétion de vitellogénines (le précurseur) nouvellement synthétisé par les coelomocytes (éléocytes) qui produisent cette protéine jusqu'à la fin de la croissance des ovocytes. Ainsi, contrairement aux résultats des études précédentes cytologiques et autoradiographiques, les données actuelles indiquent clairement que le processus de vitellogénèse est actif non seulement pendant la phase de vitellogénèse, mais aussi tout au long de la corticogénèse (Beart *et al.*, 2011 ; Snani, 2016 ; Gasmi, 2018 ;). La vitellogénine synthétisée est incorporée dans les ovocytes après le transfert par le biais du fluide coelomique. Dans les cellules germinales, un processus de conversion, impliquant des clivages protéolytiques de la vitellogénine, produit des vitellines matures qui sont accumulées dans les granules vitellins (Maurice *et al.*, 2011)

Au terme d'un cycle biologique sédentaire de trois ans, l'épitoque permet à l'animal de mener une vie pélagique. Mâles et femelles se retrouvent en de véritables essaims et au cours d'une "danse nuptiale" rejettent leurs gamètes dans l'eau de mer et c'est ainsi que la fécondation s'opère.

Contrairement aux animaux terrestres, les organismes marins utilisent rarement des indices visuels pour choisir leurs partenaires pendant leur processus de reproduction (Klautau *et al.*, 1999). Par conséquent, les caractéristiques morphologiques souvent utilisées pour la classification taxonomique ne suffisent pas pour distinguer les invertébrés marins cryptiques (Mayr & Ashlock, 1991). La non-reconnaissance de ces espèces peut avoir des conséquences, telles que la sous-estimation de la diversité locale et l'incapacité à identifier les espèces menacées d'extinction (Galetti *et al.*, 2008). Ainsi, une combinaison de la morphologie avec d'autres approches de classification devrait permettre une évaluation taxonomique plus précise (Paiva *et al.*, 2018).

Les invertébrés marins englobent un certain nombre d'espèces véritablement cosmopolites qui habitent une vaste aire de répartition 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 invertébrés marins, les polychètes constituent l'un des groupes d'espèces véritablement cosmopolites (Ahrens *et al.*, 2013). Cependant, l'ancien statut cosmopolite de plusieurs espèces de polychètes largement distribuées a été remis en question (Grassle & Grassle 1976 ; Barroso *et al.*, 2010 ; Nygren *et al.*, 2010 ; Silva *et al.*, 2017). Beaucoup d'entre elles sont actuellement considérées comme des complexes d'espèces cryptiques en raison de leur faible disparité morphologique et de leur forte divergence moléculaire (une approximation du temps d'évolution), selon un cadre conceptuel récemment proposé (Struck *et al.*, 2018).

Depuis 1990, les marqueurs moléculaires sont utilisés pour détecter le polymorphisme entre et au sein des espèces (Sugita *et al.*, 1998). Ils sont utiles parce que l'ADN est plus thermostable que les isoenzymes et parce que la probabilité de variation est plus élevée et qu'elle est neutre. Ainsi, l'ADN a été considéré comme un ensemble de marqueurs génétiques impliqués dans 80% des études phylogénétiques (Avice, 2000). Actuellement, un fragment du gène mitochondrial de la cytochrome c oxydase I (COI) a été conçu comme le codage à barres moléculaire de l'ADN "DNA Barcoding" et il a été suggéré de l'utiliser comme marqueur universel pour identifier les espèces animales (Hebert *et al.*, 2003). Certains auteurs ont utilisé cette méthode fiable pour expliquer les relations interspécifiques entre les espèces marines et les relations phylogéographiques qu'elles peuvent avoir d'une région à une autre (Wood *et al.*, 2007 ; Rabaoui *et al.*, 2011), ils seront donc utilisés pour identifier les espèces et pour analyser la structure et la phylogénie des populations (Chetoui *et al.*, 2016).

Notre étude consiste à échantillonner respectivement trois populations de l'espèce *P. cultrifera* sur le littoral Est-Algérien en Méditerranée, collectées à partir de trois sites la plage de la Montagne (El-Kala) considérée comme site de référence, la plage Saint-Cloud (Annaba) et la plage Bikini (Skikda) comme sites affectés par une pollution industrielle et urbaine.

La majeure partie de nos travaux a été réalisée pendant la période qui s'étend de Janvier à Décembre 2016 cependant certains dosages ont été entretenus entre 2017 et 2018 durant lesquels nous avons testé l'impact du stress environnemental sur le déroulement de la reproduction d'une espèce sentinelle *Perinereis cultrifera* suscitant divers types d'analyses :

- Une analyse écologique (paramètres physico-chimiques de l'eau de mer, inventaire et biodiversité ainsi que les indices écologiques).
- Une analyse morphométrique et pondérale (Taille corporelle et poids corporel).
- Une analyse de la reproduction consacrée à la différenciation des sexes, le diamètre ovocytaire et la distribution des fréquences de taille ovocytaire ainsi que l'indice de maturité sexuelle et l'analyse de l'activité de la phosphatase acide.
- Une analyse biochimique représentée par la quantification des réserves énergétiques (vitellogénines et des vitellines et des protéines corporelles).

- Une analyse écotoxicologique par l'évaluation de l'activité enzymatique de la Glutathion S-transférase (GST) et le dosage des métaux lourds par spectrométrie d'absorption atomique (SAA).
- Une analyse histologique du tube digestif.
- Une analyse phylogénétique et phylogéographique grâce aux outils de la biologie moléculaire.



# MATÉRIEL ET MÉTHODES

*« Tout obstacle renforce la détermination. Celui qui s'est fixé un but n'en change pas »*

**Léonard De Vinci**

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

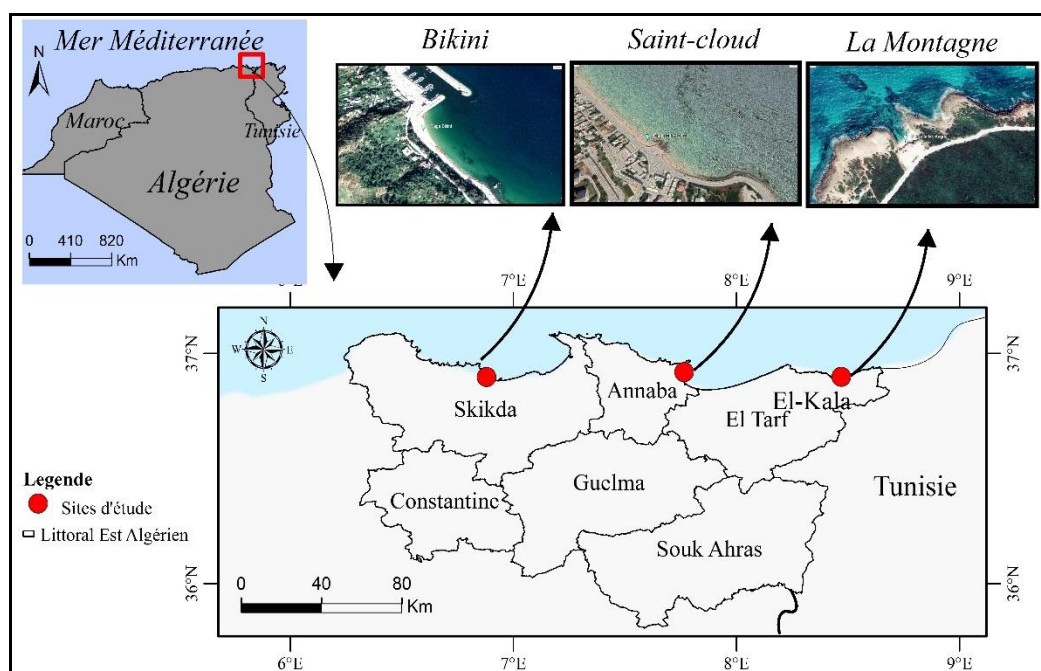
### 2.1. Analyse écologique :

#### 2.1.1. Localisation et présentation des sites d'étude :

Pour mener à bien notre étude comparative à aspect quantitatif et qualitatif nous avons échantillonné des individus de *Perinereis cultrifera* à partir de trois sites du littoral Nord-Est Algérien, où chacun d'eux présente des différences écologiques, environnementales et une différence entre haute et basse mer généralement n'excédant pas l'amplitude moyenne de 40 cm. Le premier site est situé à El-Kala (plage la Montagne), le deuxième à Annaba (plage Saint-cloud) quant au troisième et dernier site il est localisé à Skikda (plage Bikini).

Nous avons choisi de déterminer les sites d'échantillonnage sur la base de trois critères :

Le premier est relatif au niveau de pollution à l'échelle locale et la pression anthropique exercée. Le second critère est relatif à la facilité d'accès aux sites et le type de substrat rocheux qui se doit d'être assez plat et non escarpé. Enfin le troisième et dernier critère est celui de l'abondance du matériel biologique ; celui-ci n'a pu être déterminé qu'après une prospection du terrain, afin de pouvoir disposer à chaque sortie d'un lot important d'individus provenant des trois régions et ce, pendant toute la durée d'étude, sans qu'il y ait un risque d'appauvrissement des ressources. Les récoltes ont été réalisées sur une période qui s'étale de Janvier à Décembre de l'année 2016.



**Figure 1:** Localisation géographique des trois sites d'échantillonnage de *Perinereis cultrifera* sur le littoral Est Algérien (El-kala, Annaba et Skikda) (Photo personnelle, 2020), (ArcGIS).

### 2.1.2. Station 1 : Plage La Montagne (El-Kala) :

Le premier site localisé à El-Kala qui est une commune de la Wilaya d'El Tarf proche de la frontière Algéro-Tunisienne située à 20 km au Nord-Est d'El Tarf et 77 km à l'Est d'Annaba, se trouve à l'extrême Nord-Est d'Algérie sur une Latitude  $36^{\circ}53'53.33''N$  et une longitude  $8^{\circ}27'3.28''E$ . Elle dispose du plus vaste parc naturel du nord de l'Algérie dont la superficie est de 8000 hectares, Il est constitué d'un massif montagneux, de plaines et de quatre grands lacs (Oubeira, El Mellah, Tonga et le Lac des Oiseaux) ainsi qu'une côte très diversifiée, séparée localement de la plaine par un cordon dunaire important où se développe une végétation basse. Du nord au sud, on retrouve un littoral long de 40 km, des maquis et des forêts abritant différents types d'arbres. D'une manière générale, la région d'El-kala est caractérisée par un relief marqué et une situation variée où le climat est globalement humide. Au niveau de la mer, les températures descendent en-dessous de  $0^{\circ}C$ . Les mois les plus froids sont janvier et février alors que juillet et août sont les plus chauds. Le gradient altitudinal conditionne donc fortement la pluviosité. Les points les plus arrosés sont les zones sommitales avec une moyenne d'environ 900 mm/an (Belair, 1990). En terme de biodiversité animale et végétale, c'est une zone très riche qui a été classée réserve de la biosphère par l'UNESCO en 1990. De par sa facilité d'accès, sa richesse macrobenthique et sa position géographique éloignée des principaux pôles industriels et activité domestiques, nous avons choisi la plage de La Montagne (Figure 2), cette dernière est dépourvue de risque majeur de pollution et donc adéquate pour nos prélèvements.



**Figure 2:** Station 1, plage La Montagne (El-Kala) (Photo personnelle, 2016).

### 2.1.3. Station 2 : Plage Saint-Cloud (Annaba) :

Le deuxième site de récolte est localisé à Annaba au niveau de la plage (Saint-Cloud) (Figure 3), se trouve à l'extrême Nord-Est d'Algérie sur la latitude  $36^{\circ}54'5.79''N$  et la longitude  $7^{\circ}45'22.20''E$ . Annaba se situe dans le nord-est de l'Algérie, sur la rive sud du bassin algéro-provençal, à l'extrémité nord-Est de sa wilaya. Elle est distante de 600 km de la capitale Alger

et 106 km la séparent de la frontière tunisienne. La ville s'élève au fond d'une baie ouverte à l'Est sur le golfe d'Annaba. Elle est dominée à l'ouest par la chaîne de montagne de l'Edough (1.008 m d'altitude), elle bénéficie d'un climat méditerranéen où les étés y sont chauds et secs avec une température maximale moyenne de 22° C, les hivers y sont doux et humides avec une température minimale moyenne de 12° C ; les jours de neige sont rares, les pluies sont abondantes et peuvent être diluviennes (630 mm/an).

La ville est marquée par une importante activité économique où sévissent deux grandes unités industrielles de sidérurgie et d'engrais représentées respectivement par le complexe sidérurgique d'El HADJAR et le complexe FERTIAL.

Le golf d'Annaba reçoit des apports en eau douce par le biais de trois oueds : Oued Seybouse, Oued Mafrague et Oued Méboudja qui véhiculent des substances chimiques diverses et d'agents pathogènes d'origine domestique ou industrielle (Tableau 01). Il reçoit aussi d'importants rejets urbains des quartiers centre et Ouest d'Annaba qui parfois sont déversés sans traitement préalable.

Par ailleurs, nous avons choisi cette plage car en période estivale elle est très fréquentée et reste donc exposée à de grands risques de pollution marine d'origine tellurique, mais aussi celles provoquées par les activités nautiques auxquels s'ajoutent les déchets plastiques introduits accidentellement et les eaux de pluie plus au moins polluées et qui présentent un risque non négligeable d'eutrophisation.

**Tableau 1:** Principales unités industrielles dans la région d'Annaba.

Unité industrielle	Localisation	Nature des polluants	Milieu récepteur
FERTIAL	Sidi Salem	Résidus chimiques	Mer
Complexe d'El Hadjar	El Hadjar	Pollution métallique	Air/Sol/Mer
Ferrovial	El-Bouni	Eaux usées	Oued Seybouse/Mer
Laiterie de L'Edough	El-Bouni	Eaux usées industrielles	Oued Seybouse/Mer
FERPHOS	Port commercial	Produits chimiques	Mer
E.N.C.C.	Z.I. Pont Bouchet	Eaux de refroidissements	Oued Seybouse/Mer



**Figure 3:** Station 2, plage Saint Cloud à Annaba (Photo personnelle, 2016).

#### 2.1.4. Station 3 : Plage Bikini (Skikda) :

Le troisième site de prélèvement se situe dans la Wilaya de Skikda à l'Est du littoral algérien ; sur une latitude de  $36^{\circ}52'18.86''N$  et une longitude de  $6^{\circ}54'3.28''E$ , il se trouve à 105 km à l'Est de Jijel, à 65 km au Nord-Est de Constantine et à 72km à l'Ouest d'Annaba.

La station choisie pour nos prélèvements est la plage « Bikini » (figure 4) ; celle-ci est considérée comme étant très polluée par rapport au sites précédemment cités d'Annaba et d'El-Kala puisque l'essentiel de la capacité économique de la ville (Unités industrielles, port commercial, port spécialisé en hydrocarbures) est concentré dans la zone industrielle au niveau du littoral (Tableau 2). La plateforme pétrochimique à elle seule comprend deux raffineries de pétrole, deux centrales électriques, un terminal de gazoduc et un d'oléoduc, deux unités de liquéfaction de gaz et une unité chimique de polymères. Le tout s'étend sur une surface de plus de 1 500 hectares et pouvant engendrer d'importants dommages pour l'écosystème côtier.

**Tableau 2 :** Principales unités industrielles au niveau du Littoral de Skikda.

Unité industrielle	Localisation	Nature des polluants	Milieu récepteur
Raffinerie de Skikda	Zone industrielle	Hydrocarbures	Mer
SONATRACH RA1K	Zone industrielle	Hydrocarbures	Mer
SONELGAZ SPE SKIKDA	Zone industrielle	Emissions atmosphériques	Air
SNC-LAVALIN O&M	Zone industrielle	Emissions atmosphériques	Air
SONATRACH GL1K	Zone industrielle	Hydrocarbures	Mer





**Figure 4:** Station 3, plage Bikini (Skikda) (Photo Personnelle, 2016).

#### **2.1.5. Données physico-chimiques et climatiques :**

Afin de mieux interpréter nos résultats, nous avons pris en considération les facteurs naturels environnementaux qui peuvent influencer la dynamique des espèces étudiées et informer sur la localisation et l'évaluation d'un niveau de pollution. Ainsi, les paramètres physico-chimiques de l'eau de mer ont été mesurés *In Situ* à chaque sortie sur terrain, à l'aide du multiparamètre dont nous disposons « Thermo scientifique Orien 5-star multi-parametre portable » (Figure 5).

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques, elle est exprimée en degré Celsius (C°), c'est un facteur qui agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que les réactions biochimiques et chimiques ainsi que le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et plus particulièrement les microorganismes (Makhouch *et al.*, 2011). Les températures relativement élevées diminuent la teneur en oxygène et agissent comme pollution additionnelle ayant ainsi des répercussions sur les cycles biologiques (Gueddah, 2003). L'oxygène dissous est un élément fondamental, il est exprimé en milligramme par litre (mg/l), il participe aux dégradations biochimiques et chimiques et gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques (Gueddah, 2003), en dessous d'un certain seuil (hypoxie, anoxie) des conséquences sur les organismes sont observées (stress physiologique, comportement d'évitements, mortalités). La salinité exprimée en part per thousand (ppt) représente la proportion des sels minéraux dissous dans l'eau de mer, elle exerce une influence sur la densité de l'eau de mer et joue un rôle dans le maintien de certains processus biologiques en combinaison avec d'autres facteurs (Damiens *et al.*, 2000).

Le pH mesure la concentration des protons  $H^+$  contenus dans l'eau sur une échelle logarithmique, il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle comprise de 0 à 14. Il influence habituellement la plupart des mécanismes chimiques et biologiques dans les eaux (Chapman & Kimstach, 1996). Ces paramètres permettent d'acquérir des connaissances de base, de développer une surveillance pour détecter des perturbations et de mettre en place un suivi pour rétroagir sur la gestion.



**Figure 5:** Multi-paramètre « HANNA HI 9829 ».

#### **2.1.6. Techniques d'échantillonnage et traitement de la récolte :**

Deux récoltes mensuelles ont été effectuées sur chacune des trois stations retenues pendant la période d'étude ou la macrofaune benthique, les algues et le sédiment associé ont été prélevés dans la zone de balancement des marées (intertidale). 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.

Trois méthodes d'échantillonnage ont été entretenues dont deux chimiques et une mécanique :

##### **2.1.6.1. Méthodes chimiques :**

La Technique d'échantillonnage est aléatoire, simple, rapide et non couteuse, elle 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 d'asperger le substrat avec cette solution (Figure 6A). La seconde est une technique adoptée par les pêcheurs, elle vise à administrer au niveau du substrat rocheux une petite quantité de pierre d'alun de type KALUNITE dont le potassium

est naturel et ne contenant pas d'hydroxyde d'aluminium (Figure 6B). À ce jour, aucune étude scientifique sur la pierre d'alun naturelle n'a démontré sa toxicité.

La récolte se fait à vue d'œil, une fois sorties de leurs galeries, les espèces sont prélevées puis introduites directement dans un bocal rempli d'eau de mer accompagnée de quelques algues naturelles provenant du même biotope afin de maintenir les spécimens en vie.

La première technique a pour avantage d'être plus rentable car elle est rapide et permet surtout de prélever des individus entiers et en grande quantité. Cependant, ce type de procédé entraîne une altération temporaire du substrat rocheux.

D'après Younsi (2014), la conservation de la récolte se fait à une température variant de 4 à 12°C dans une glacière pendant une durée allant de 2 à 4 heures ; le tri des espèces est effectué ultérieurement au laboratoire.



**Figure 6:** Méthodes de récolte chimique, A (A l'eau de Javel) ; B (A la pierre d'alun), (Photo Personnelle, 2016).

#### **2.1.6.2. Méthode mécanique :**

Elle consiste à récolter la couche superficielle du rocher constitué d'algues brunes et parfois vertes qui abrite une faune très riche en matière de diversité en utilisant un grattoir tout en appliquant une légère pression afin de détacher le substrat du rocher selon un quadrat de 25x25 cm (Figure 7), le tout est déposé dans une boîte en plastique étiqueté (référence : mois, site). L'opération est répétée deux à trois fois puis les boîtes sont transportées dans une glacière au laboratoire.

Cette technique a pour avantage de déterminer la diversité de la faune et la flore associées, mais malheureusement pour la collecte des annélides, elle est moins rentable dans la mesure où la majorité des vers récoltés ont tendance à être sectionnés suite au bris mécanique au



cours du prélèvement. Par ailleurs, les individus de *Perinereis cultrifera* intacts sont sujets aux différents dosages.

Au laboratoire, la macrofaune est séparée des algues et des sédiments dérivants, les espèces animales sont triées par groupes zoologiques, stockées dans des solutions de conservations préalablement préparées destinées aux différents dosages et tests écotoxicologiques. Les spécimens associés à notre matériel biologique et présentant des difficultés d'identification sont envoyés aux collègues du département de Biologie Marine. En outre, les spécimens de *Perinereis cultrifera* provenant des trois sites d'étude destinés à la biologie moléculaire sont conservés dans de l'éthanol absolu.



**Figure 7:** Méthode de récolte mécanique, A (raclage opérationnel), B (zone de raclage), (Photo personnelle, 2016).

#### 2.1.7. Inventaire et biodiversité :

Afin de définir la faune et flore associées aux trois populations de *Perinereis cultrifera*, ainsi que la biodiversité des trois stations, deux études ont été entretenues, d'abord une étude qualitative par l'analyse de la répartition taxonomique qui nous a permis de dresser des listes taxonomiques suivi d'une étude quantitative par dénombrement des individus par espèces zoologiques ce qui nous a permis de déterminer les différents indices écologiques de biodiversité.

#### 2.1.8. Indices écologiques :

Un peuplement peut être caractérisé par sa composition taxonomique mais aussi par sa densité, sa richesse, sa diversité spécifique. Les indices suivants ont été déterminés dans cette présente étude :

- **Abondance (ni)** : c'est le nombre d'individus d'une même espèce.
- **Richesse totale (S)** : c'est le nombre total des espèces recensées dans un peuplement (Blondel, 1975).
- **Richesse moyenne (s)** : c'est la moyenne des richesses stationnelles ou richesse par relevé. Ce paramètre exprime le nombre d'espèces les plus représentatives du milieu au sens de la fréquence de leur présence (Ramade, 1984).

$$S' = Ki/N$$

- **La fréquence d'occurrence ou centésimale (F)** : c'est le pourcentage du nombre de relevés où une espèce est présente sur le nombre total de relevés. On considère qu'une espèce est accidentelle ( $F < 25\%$ ), accessoire ( $25\% < F < 50\%$ ), régulière ( $50\% < F < 75\%$ ), constante ( $75\% < F < 100\%$ ), omniprésente ( $F = 100\%$ ).

$$F = ri/R \times 100$$

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

R : nombre total de relevés

- **La diversité (H')** : la diversité d'un peuplement exprime le degré de complexité de ce peuplement. Elle s'exprime par un indice qui intègre à la fois, la richesse du peuplement et l'abondance spécifique. Parmi les indices disponibles permettant d'exprimer la structure du peuplement, nous avons retenu celui de Shannon & Weaver (1963).

$$H' = -\sum Pi \log_2 Pi$$

Où

$$\begin{aligned} i &= n \\ Pi &= ni/N \\ i &= 1 \end{aligned}$$

$$\log_2 Pi = \log pi \times 3,322$$

ni : effectif de l'espèce i.

N : effectif total du peuplement.

H' est exprimé en Bit (Binary digit = unité binaire d'information)

Cet indice mesure le degré de complexité d'un peuplement. 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 petit nombre d'espèces pour un grand nombre d'individus, soit à un peuplement dans lequel il y a une espèce dominante (Ponel, 1983).

- **L'équitabilité de Pielou (J')** : Des peuplements à physionomie très différente peuvent ainsi avoir la même diversité. Il est nécessaire de calculer parallèlement à l'indice de diversité H', l'équitabilité (J') en rapportant la diversité observée à la diversité théorique maximale (H' max) (Blondel, 1979).

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

$$H' = \ln S$$

Où

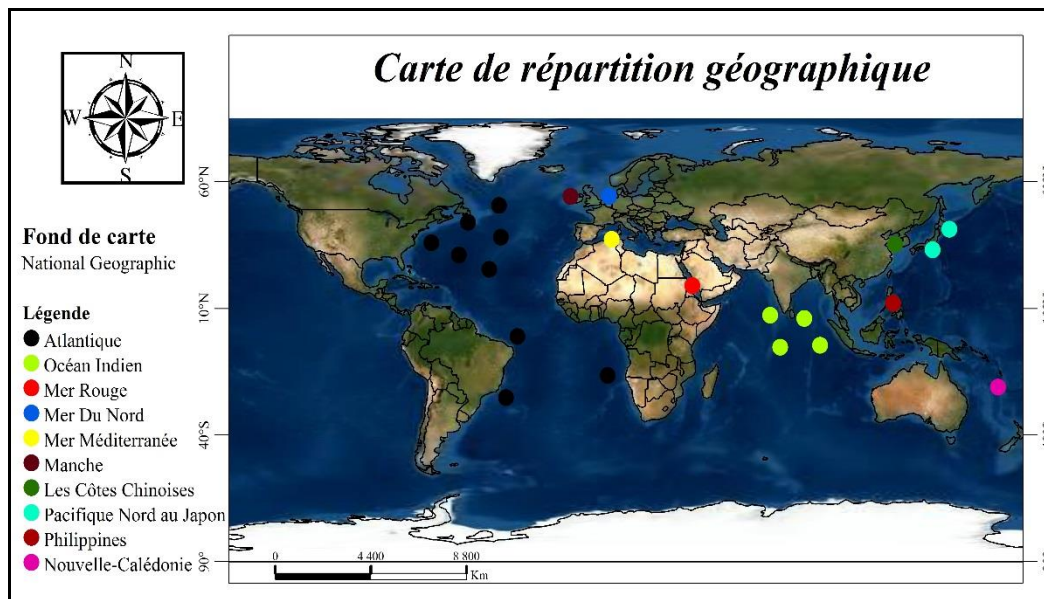
$H'_{\max} = \ln S$  : indice maximal théorique ;  $S$  : nombre total d'espèces ;  $J' = 0$  : une seule espèce dominante ;  $J'$  tend vers 1 : les espèces ont des abondances identiques.

## 2.2. Matériel biologique :

### 2.2.1. Description générale et répartition géographique de l'espèce :

*Perinereis cultrifera* (Grübe, 1840) nommé Pelure, Pelouze verte par les pêcheurs ou encore « vers à antennes et à pattes », est une espèce de vers marins appartenant à la famille des Nereididae, elle est collectée à partir de substrats durs recouverts d'algues, de la zone intertidale, et vendue comme appât commercial pour la pêche sportive (Rouabah *et al.*, 2008 ; Younsi *et al.*, 2010). L'appellation *Perinereis cultrifera* vient de la capacité du ver à creuser des galeries dans la roche. Du latin *Perinereis*, désigne le genre qui ressemble aux annélides, car c'est un ver annelé doté de parapodes et *cultrifera* qui vient de couteau ou couper dans la roche.

*Perinereis cultrifera* (Nereididae) est une espèce cosmopolite qui a colonisé presque tous les milieux marins du monde, elle a été décrite pour la première fois par Grube dans la Mer Adriatique (Grübe, 1840), Pour sa part, Durchon (1957) mentionne également son existence dans la baie de Suez, en Mer rouge, dans le Golfe Persique, dans l'Océan Indien, aux Philippines, dans le Pacifique Nord au Japon et le Pacifique Sud en Nouvelle Calédonie. Plus récemment, Wu *et al.*, (1985) témoignent de son existence sur les côtes chinoises. D'après Dhainaut (1992), cette espèce s'est nettement raréfiée sur les côtes de la Mer du Nord suite à l'hiver rigoureux de 1962/1963. La Mer du Nord représente donc certainement la limite septentrionale de son aire de répartition géographique. Elle est présente sur l'ensemble du littoral algérien où elle est exploitée en tant qu'appât pour la pêche récréative (Younsi *et al.*, 2010 ; Daas *et al.*, 2011). C'est une espèce caractérisée par une large répartition géographique, connue en Algérie sous l'appellation vernaculaire de « ver vert de roche », exploitée de façon régulière, de par sa répartition géographique elle intéresse les pays de la façade atlantique (France ; Grande Bretagne ; Portugal) et du pourtour méditerranéen (Algérie ; Espagne ; France ; Italie ; Tunisie). (Rouhi *et al.*, 2008).



**Figure 8:** Répartition géographique de *Perinereis cultrifera* à travers le monde (Photo personnelle, 2020 ; ArcGis), (D'après Fauvel, 1923), (Photo personnelle, 2019).

### 2.2.2. Choix de l'espèce

D'après Knox (1977), les Annélides Polychètes constituent un pourcentage significatif de la diversité et de l'abondance totale de la macrofaune benthique. Ainsi, elles représentent de 35 à 50 % des espèces macrobenthiques selon la nature du biotope occupé, ces espèces sont fréquemment en contact avec des substances possédant des propriétés toxiques (effluents, déchets industriels et domestiques, lessives et détergents, produits phytosanitaires, pesticides, herbicides). Nos connaissances sur les différents groupes trophiques nous donnent un aperçu sur le mode mais aussi le niveau d'utilisation de l'énergie dominante dans le milieu à partir desquels nous pouvons déduire le degré de structuration des communautés benthiques. Partant de la base qu'à plus grande complexité trophique et une plus grande présence des niveaux supérieurs (carnivores), plus grand sera son degré de structuration (Bianchi & Morri, 1985). Dans ce sens, les polychètes présentent un haut degré de diversification trophique et fonctionnelle en assumant une grande importance dans le flux énergétique global de la communauté benthique marine (Torres-Gavila, 2008 ; Zaabi-Sendi, 2013).

Le ver marin *Perinereis cultrifera* (Grübe, 1840), est une Annélide Polychète appartenant à la famille des Nereidae, généralement trouvé en grand nombre dans différents types d'habitats typiquement marin ou encore d'eau saumâtre au niveau des substrats meubles ou encore durs (Maltagliati *et al.*, 2000). *P. cultrifera* en plus d'être doté d'une tolérance physiologique élevée aux variations extrêmes 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 de la colonne d'eau vers le sédiment et vice versa (Banta *et al.*, 1999).

Etant donné que cette espèce vit dans les galeries qu'elle construit dans les sédiments (Scaps *et al.*, 1998), elle est en contact étroit avec les polluants. Les travaux de Luoma & Bryan (1982), ont rapporté qu'elle présente des concentrations en cuivre, directement liés à celles

des sédiments. D'autres études confirment sa facilité d'accumuler des contaminants comme le cadmium et le zinc (Ghirardini *et al.*, 1999) et l'arsenic (Waring & Maher, 2005). Considérant ces caractéristiques biologiques et surtout écotoxicologiques, dans ce contexte la capacité à intégrer la pollution à l'largement contribué au choix de *P. cultrifera* comme matériel biologique témoignant de l'Etat de santé du Littoral Est Algérien dans notre recherche.

#### 2.2.2.1. Position systématique :

Selon le registre européen, des espèces marines ERMS ; la classification de l'Annélide Polychète *P. cultrifera* acceptée, et citée dans Fauchald & Bellan (2009) est la suivante :

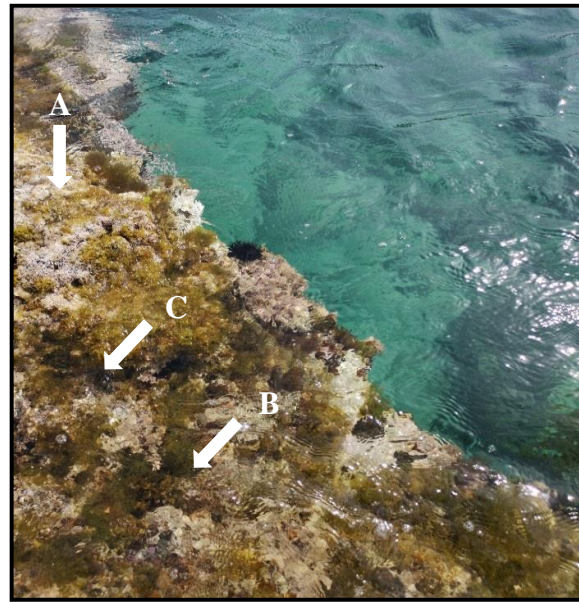
<b>Règne :</b>	Animal
<b>Embranchement :</b>	Annélides
<b>Classe :</b>	Polychètes
<b>Sous classe :</b>	Aciculata
<b>Ordre :</b>	Phyllodocida
<b>Famille :</b>	Nereidae
<b>Genre:</b>	<i>Perinereis</i> (Kinberg, 1865)
<b>Espèce:</b>	<i>Perinereis cultrifera</i> (Grube, 1840)

#### 2.2.3. Habitat et mobilité :

Les Annélides Polychètes sont des animaux essentiellement marins (Fauvel, 1923). *P. cultrifera* vit dans un environnement intertidal sélectif en raison de l'alternance des immersions et des émergences, des variations de température et de salinité ; elle doit donc faire preuve de fortes capacités d'adaptation physiologique. De plus, en raison de la variabilité spatiale des facteurs physiques, de la disponibilité des ressources et des autres espèces agissant en qualité de compétiteurs, prédateurs ou parasites (Futuyma, 1986), la distribution des espèces benthiques et intertidales est de type discontinue. Selon les exigences écologiques et le niveau d'hétérogénéité du milieu, les isolats qui constituent leurs populations sont alors plus ou moins vastes et éloignés les uns des autres (Rouabah, 2003).

Le déplacement chez les Annélides Polychètes dans le milieu de vie, se fait par une 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 s'ancrent dans le substrat, et le segment se raccourcit en tirant vers l'avant l'extrémité postérieure du segment. Cette action se propage de l'avant vers l'arrière du ver lui permettant d'avancer. Les parapodes des polychètes errants leur permettent de marcher rapidement à la surface des sédiments. Les ondulations du corps permettent également de se servir des parapodes comme des rames et de nager. Les soies jouent un rôle important dans la locomotion et permettent à l'animal de s'ancrer pour exercer une poussée (Guemouda, 2015)





**Figure 9:** Habitat des Annélides Polychètes (Nereididae) (A) : Substrat, (B) : Algue verte, (C) : Algue brune (Photo personnelle, 2016).

#### 2.2.4. Morpho-Anatomie :

##### 2.2.4.1. Morphologie externe :

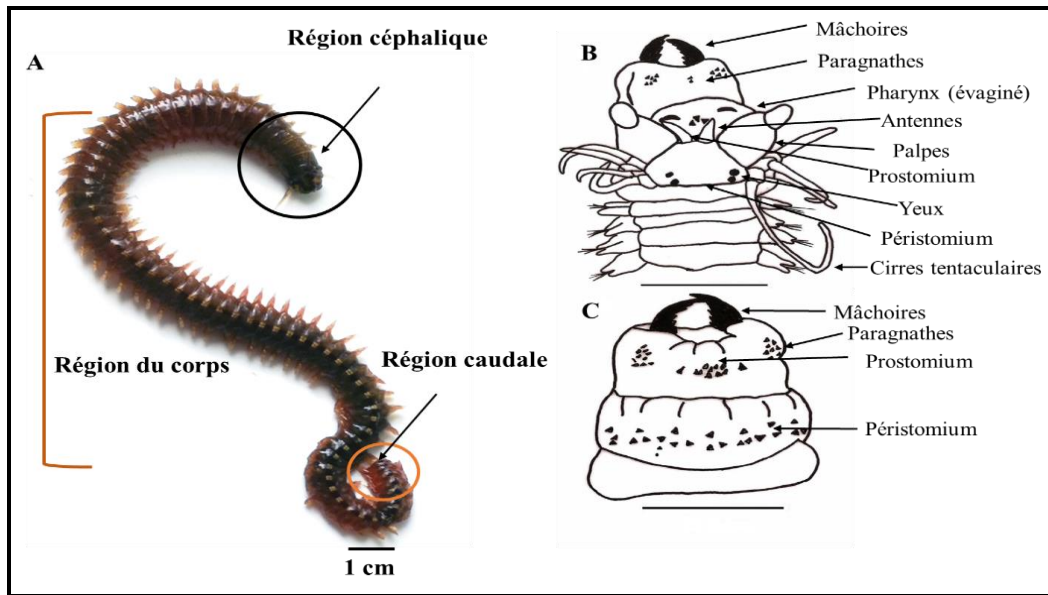
En général, le corps d'une Annélide Polychète comporte trois parties bien distinctes (Fauvel., 1923 ; Rouse & Pleijel., 2006 ; Glasby *et al.*, 2008), comme le montre la figure 10 :

**La région céphalique** constituée de deux unités, le prostomium ou la tête proprement dite ; avec deux palpes, deux antennes, et deux paires d'yeux noirs ; le péristomium situé autour de la bouche, et porte latéralement quatre paires de cirres tentaculaires. La trompe extroversée se termine par une paire de mâchoires brunes dentelées (Figure 10B, 10C). Á la surface de cette trompe, il y a des petites denticules : les paragnathes, qui sont distribuées sur des aires conventionnées par des chiffres romains allant de I à VIII, (Tableau 3 ; Figures 13, 14)

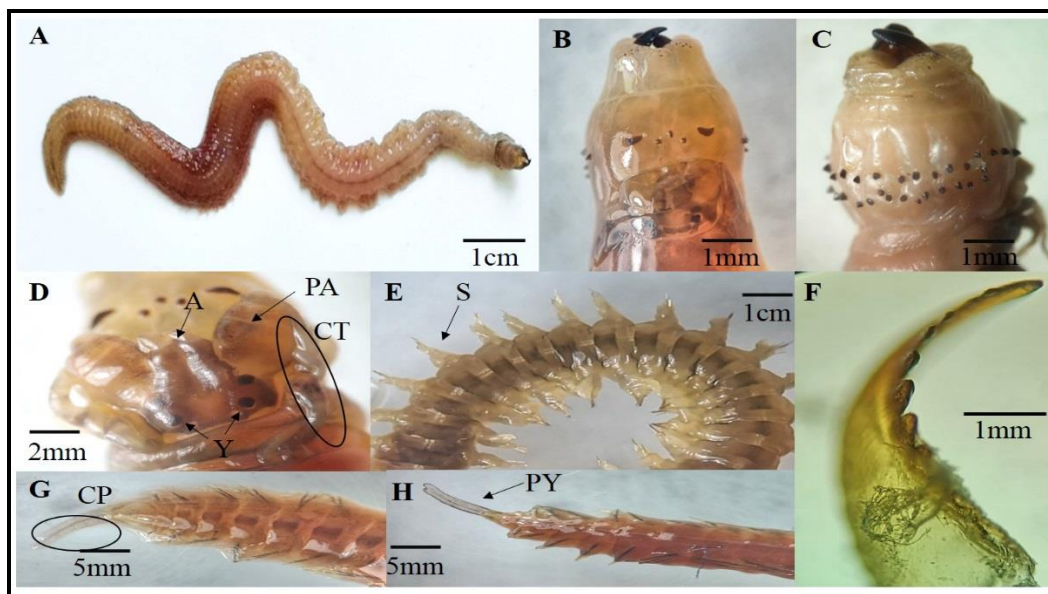
**La région du corps** se caractérise par un grand nombre de segments identiques appelés métamères ou encore sétigères arrangés le long de l'axe antéro postérieur visibles extérieurement, munis latéralement d'expansions biramées : les parapodes (Figure 12).

Un parapode est divisé en deux rames, une rame dorsale ou notopode, une rame ventrale ou neuropode. Chaque rame porte un bouquet de soies chitineuses et est soutenue par une baguette chitineuse, l'acicule, elle présente encore un prolongement sensoriel filiforme ; le cirre, il existe un cirre dorsal et un cirre ventral à chaque parapode (Figure 12).

**La région caudale :** la queue est appelée pygidium, partie postérieure qui porte l'anus, qui est terminal. Comme le prostomium, le pygidium n'est pas homologue des autres segments, ce n'est pas un métamère, il ne présente pas de parapodes et ne comporte pas de cœlome. Il montre deux fins prolongements tactiles, les cirres caudaux (Figure 10A).



**Figure 10:** Schéma montrant l'aspect général du corps d'un Nereididea (A) (Photo personnelle, 2016). Schéma explicatif du détail de la région céphalique d'un ver polychète *P. cultrifera*, face dorsale (B) et face ventrale (C), (D'après Fauvel, 1923).



**Figure 11:** Présentation des différentes parties du corps de *P. cultrifera* : Vue générale du corps (A) ; Vue dorsale de la partie céphalique (B) ; Vue ventrale de la partie céphalique (C) ; Vue dorsale des détails de la tête (D) ; Succession de métamères formant la région du corps (E) ; Mâchoire dentelée (F) ; Vue dorsale du pygidium (G) ; Vue ventrale du pygidium, (photo personnelle, 2016).

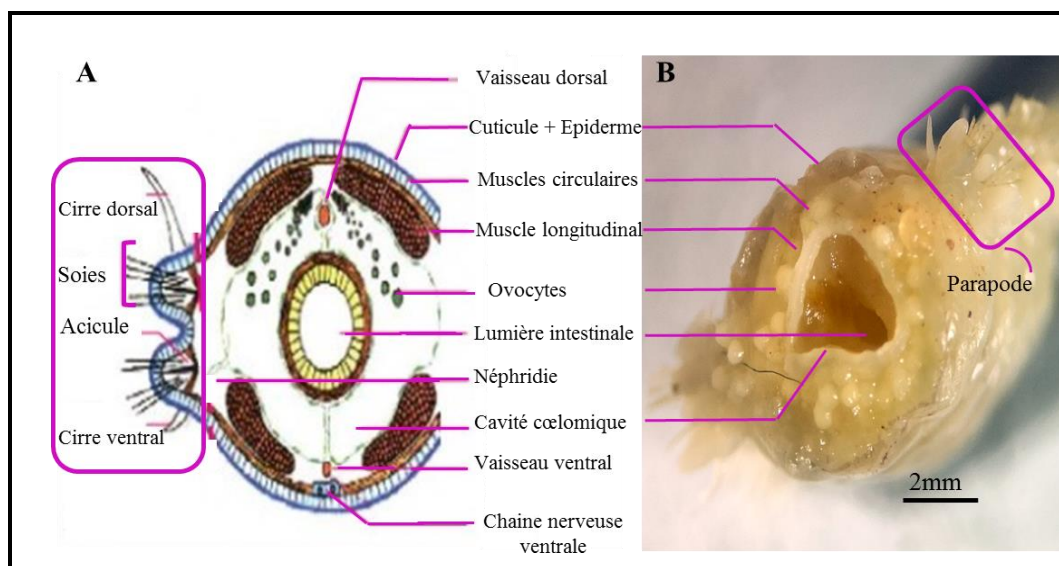
Abréviations : Quatre paires de cirres tentaculaires (CP), Palpes biarticulées (PA), Pygidium (PY), Cirres pygidiaux (CP), Paire d'antennes (A), Quatre yeux (Y), Sétigères (S).

#### 2.2.4.2. Anatomie interne :

La réalisation d'une coupe transversale dans un segment moyen permet de localiser les différents organes (Figure 12). Sous l'épiderme se trouvent une couche de muscles circulaires transversaux et quatre masses de muscles longitudinaux. Cet ensemble musculaire permet les mouvements ondulatoires du corps qui, combinés avec l'action des muscles aciculaires s'exerçant sur les parapodes, assurent la locomotion de l'animal.

Dans l'espace laissé libre par la masse musculaire, chaque segment comporte une paire de sacs cœlomiques. Le tube digestif s'étend en ligne droite dans l'axe longitudinal du corps et se différencie dans sa partie antérieure en une trompe garnie de denticules cornées ou paragnathes et portant deux mâchoires. Le système circulatoire est entièrement clos et est constitué d'un vaisseau ventral et d'un vaisseau dorsal reliés entre eux au niveau de chaque segment.

Les produits génitaux sont situés dans le cœlome et flottent librement dans le liquide cœlomique où ils poursuivent leur développement. Arrivés à maturité, les produits génitaux seront libérés dans l'eau de mer où s'effectuera la fécondation. Les animaux ne survivent pas à la suite de l'émission des produits sexuels, ils sont donc dits sémelpares.



**Figure 12:** Coupe transversale d'un segment moyen du corps de *P. cultrifera*, schéma explicatif (younsi, 2014) (A) ; observation sous loupe binoculaire (B), (Photo personnelle, 2016).

#### 2.2.5. Critères d'identification :

L'identification de notre matériel biologique a été basée uniquement sur la forme, et la répartition des paragnathes, élément clé de description du genre *Perinereis* ; les caractères morphologiques des parapodes, et de la structure des soies peuvent être également examinés (Figures 13, 14).

La première étape était d'abord d'isoler les Nereididae des autres Polychètes, ils sont reconnus par leur corps allongé et segmenté, et plus précisément par la présence simultanée de

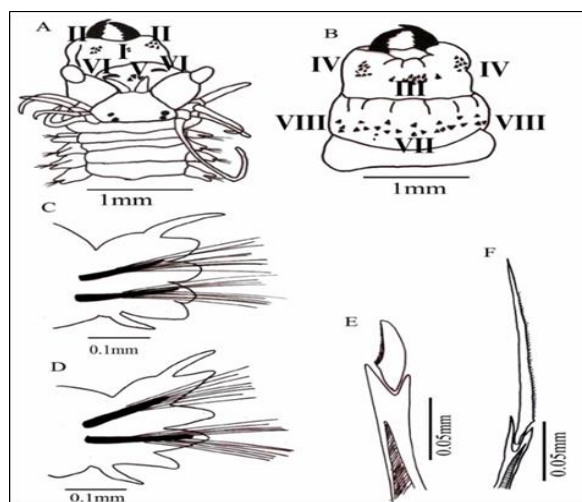


deux antennes, deux palpes, et quatre yeux sur un prostomium bien individualisé, de quatre paires de cirres tentaculaires, et une paire de mâchoires de 4-6 denticules ; en fin des parapodes biramés, et des soies composées, comme cité dans la description de la famille Nereididae dans Fauchald (1977).

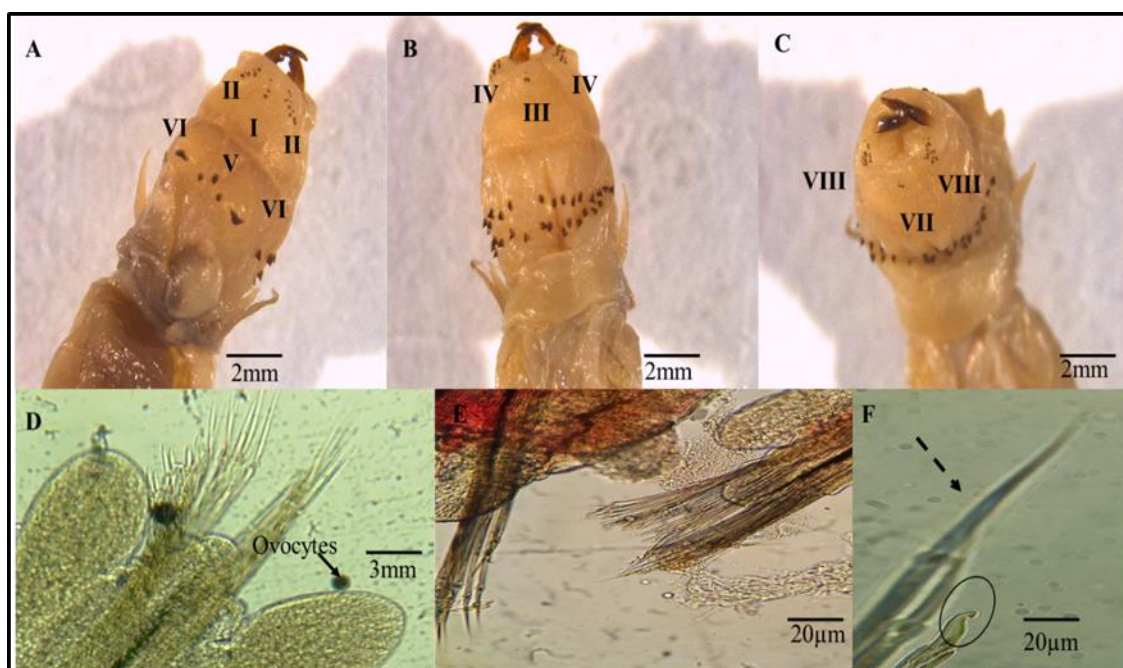
La deuxième étape était de passer à l'identification à des niveaux plus précis, qui était plus complexe, selon l'examen de la répartition du nombre de paragnathes qui présentent des formes particulières. D'après Fauvel (1923), les parapodes biramés portent des soies composées en arête homogomphe sur le notopode, et des soies en serpe hétérogomphe en plus de celles en arête homogomphe et hétérogomphe sur le neuropode de *P. cultrifera*.

**Tableau 3:** Taxonomie et principaux critères d'identification de *P. cultrifera* selon la forme et la répartition des paragnathes au niveau des deux anneaux maxiliaire et oral, de la région céphalique selon Fauvel (1923).

Anneaux	Aires	Caractéristiques des paragnathes
Anneau maxiliaire	I	1 à 3 paragnathes en ligne longitudinale
	II	Amas à rangs obliques
	III	Amas rectangulaires à 2 rangs
	IV	Amas triangulaires
Anneau oral	V	3 en triangle
	VI	De chaque côté un gros paragnathe coupant transversal
	VII-VIII	Une double rangée transversale



**Figure 13:** Taxonomie et identification de *P. cultrifera* (Fauvel, 1923) ; Répartition des paragnathes sur la face dorsale (A) ; Répartition des paragnathes sur la face ventrale (B) ; Parapodes uniramé (C) ; Parapodes biramé ; Soie chitineuse en serpe hétérogomphe (E) ; Soie chitineuse en arête homogomphe (F).



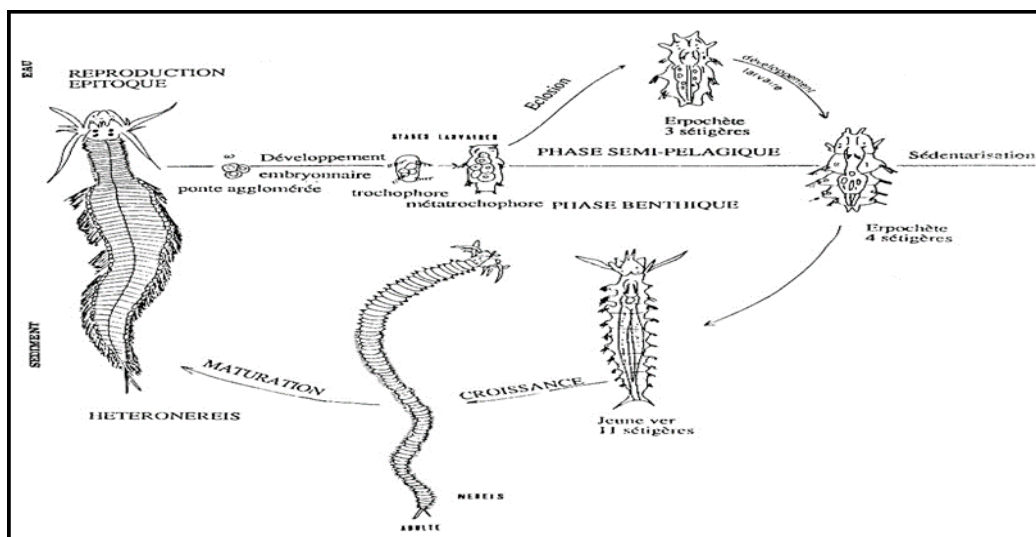
**Figure 14:** Présentation montrant l'identification de *P. cultrifera* par examen de la forme et de la localisation des paragnathes au niveau des lobes des faces dorsales et ventrales (A à C) ; en plus de celui des soies (D à F), Zoom de soie en serpe hétérogomphe (cercle), Zoom de soie en arête homogomphe (flèches pointillées), (Photo personnelle, 2016).

#### 2.2.6. 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 métatrochophore.

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'épitoquie (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 15).



**Figure 15:** Cycle de développement de *P. cultrifera* (Nérideidae) (Rouabah, 2003).

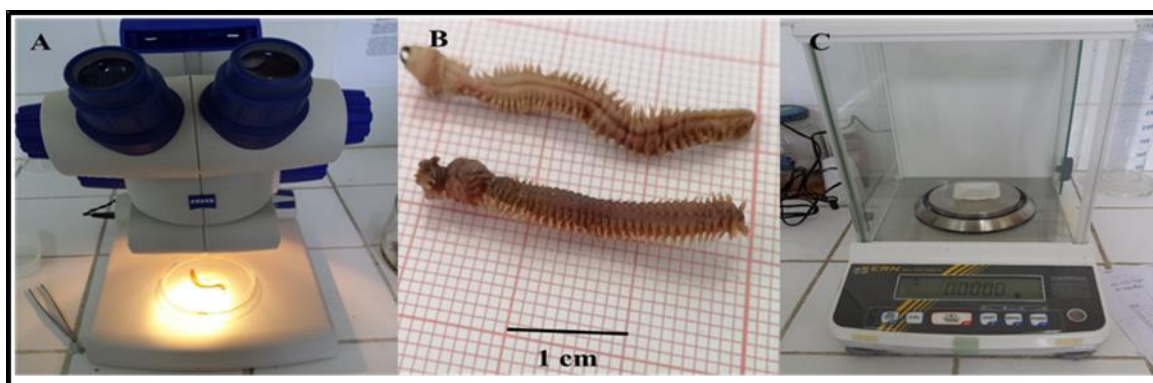
## 2.3. Analyse morphométrique et pondérale :

### 2.3.1. Paramètres morphométriques :

Une fois au laboratoire, on procède à l'identification des spécimens, les vers récoltés se ressemblent, une identification à l'œil nu n'est pas possible ; l'identification de *P. cultrifera* repose donc sur la forme et la répartition des paragnathes, éléments clés de la description du genre *Perinereis* (Fauvel, 1923).

Les vers sont placés l'un après l'autre sous loupe binoculaire de type « ZEISS STEMI DV4 », puis à l'aide de deux pinces, nous immobilisons le ver et nous exerçons une légère pression au niveau du prostomium afin de mettre en évidence la trompe.

La même procédure est effectuée pour tous les vers récoltés, afin de les classer par groupes zoologiques. Après identification des vers, on procède aux différentes mensurations à savoir ; la taille (en millimètre), le poids (en g avec une balance de type « KERN ABJ-NM/ABS-N ») et le nombre de sétigères sous loupe binoculaire (Figure 16).



**Figure 16 :** Loupe binoculaire modèle « ZEISS STEMI DV4 » (A) ; Mensurations de la taille papier millimétré (B) ; Balance de précision modèle « KERN ABJ-NM/ABS-N » (C).

## 2.4. Analyse de la reproduction :

### 2.4.1. Mode de reproduction :

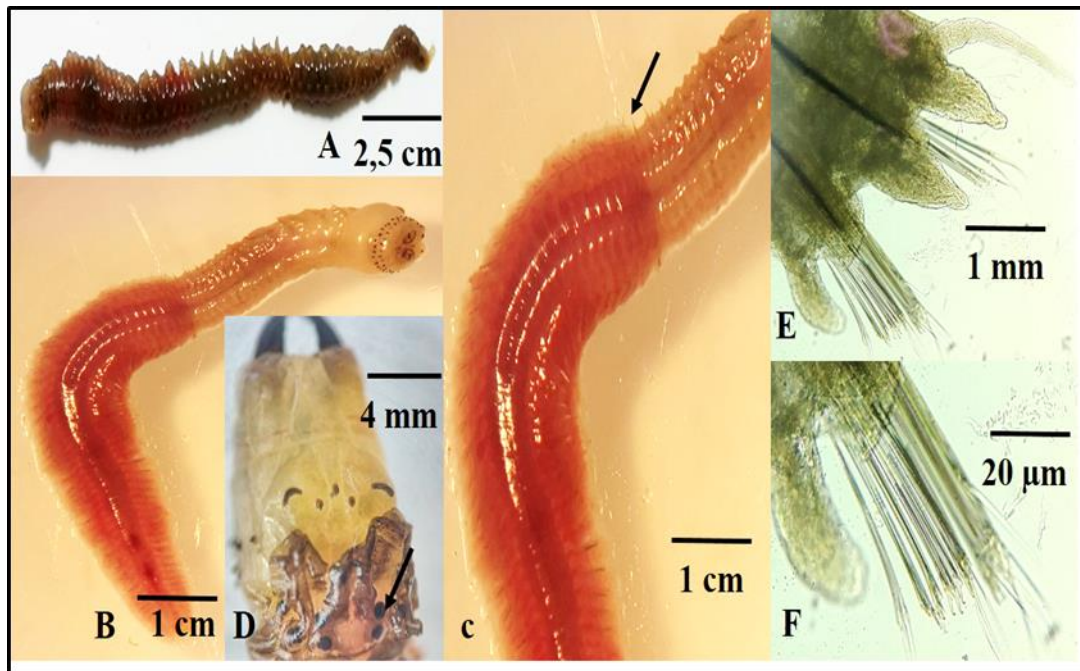
Les Polychètes représentent une composante majeure de la classe des Annélides regroupant plus de 5000 espèces. C'est la raison pour laquelle une littérature abondante concernant notamment la physiologie de la reproduction est disponible (Olive, 1999 ; Olive *et al.*, 1997). Celle-ci est sous le contrôle de facteurs environnementaux et endocriniens (Andries, 2001).

Au sein des polychètes, la famille des Néréidés est la mieux connue ; ces connaissances reposent surtout sur des expérimentations au laboratoire (Andries, 2001). Parmi les différentes espèces de Néréidés (*Nereis pelagica*, *Perineris cultifera* notamment), certaines subissent des changements morphologiques en période de reproduction (épitoque). Chez ces espèces, l'effort de reproduction est important.

*P. cultifera* est une espèce gonochorique, selon la distribution géographique des populations, la reproduction s'effectue sans modifications morphologiques (Atoque) ou s'accompagnant de transformations somatiques (Epitoque) (Durchon, 1967), en présentant d'importantes modifications morphologiques (augmentation de la taille des yeux, élargissement des parapodes, acquisition de soies en palettes) liées à une adaptation à la vie pélagique ces transformations somatiques désignées sous le nom d'épitoque sont contrôlées, de même que l'évolution des cellules germinales, par une hormone d'origine cérébrale (Durchon, 1952) et le degré d'évolution de l'épitoque peut être appréciée par les modifications morphologiques des parapodes (développement des lamelles, apparition des soies en palettes) (Dakhama *et al.*, 1985).

Le passage de l'état atoque à l'état épitoque se caractérise en particulier par l'acquisition, dans une partie du corps seulement, d'un équipement locomoteur parapodial hautement perfectionné (lamelles parapodiales et soies hétéronéréidiennes) et dont le rôle est capital au moment de l'essaimage. En outre, au cours de cette évolution, un dimorphisme sexuel apparaît à la fois au niveau de certains cirres parapodiaux et sur le pygidium. Les *Nereis* épitoques ou *Heteronereis* mâles développent des crénelures sur les cirres parapodiaux dorsaux de la région transformée, des renflements sur les cirres parapodiaux dorsaux et ventraux des premiers segments du corps et des papilles sur le pygidium. Les *Heteronereis* femelles ne différencient que des renflements sur les cirres parapodiaux dorsaux et ventraux des premiers segments du corps et le plus souvent sur un nombre de segments différent de celui du mâle. Les caractères sexuels somatiques des Néréidiens se différencient dans les conditions naturelles au moment du passage de la forme juvénile (néréidienne ou atoque) à la forme adulte (hétéronéréidienne ou épitoque). Ce moment est déterminé par l'intervention de divers facteurs externes tels que la température (Durchon & Porchet, 1971), et la lumière (Hauenschild, 1955.1960) ou interne tel que le mécanisme de feed-back exercé par les produits génitaux (Durchon, 1952 ; Porchet & Cardon 1976 ;1974), mais correspondant dans tous les cas à la levée de l'inhibition cérébrale.





**Figure 17:** Présentation des modifications caractéristiques de l'épitoque chez *P. cultrifera* en période de reproduction : début de l'épitoque (A) ; femelle épitoque (B) ; zoom de la région de changement (flèche) (C) et yeux élargies (flèche) (D) ; section longitudinale au niveau d'un parapode modifié (E) ; soies hétéronereidiennes en lamelles (F), (Photos Personnelles 2016).

#### 2.4.1.1. Vitellogénèse et aspects cytologiques :

##### (A) Pré-vitellogénèse nommée aussi une première croissance :

Elle commence immédiatement après la prophase de méiose. Les jeunes ovocytes montrent alors un cytoplasme très basophile, sans aucune inclusion, mais dont le volume s'accroît par rapport à celui du noyau. Les formations de réticulum subissent un certain accroissement. Ce stade coïncide avec le début de la période d'accroissement des ovocytes (Baert, 1986).

La croissance ovocytaire s'échelonne sur deux ans environ pour le genre *Perinereis*. Pendant cette période d'accroissement, la taille de l'ovocyte augmente considérablement : de 30 à 40 µm, les cellules atteignent un diamètre supérieur à 200 µm à la maturité. Cette croissance n'est cependant pas constante en fonction du temps. Au début de la première année de la croissance ovocytaire, les jeunes ovocytes de *P. cultrifera* présentent un diamètre moyen de 40 µm. Dans un premier temps (première année), le développement de ces cellules est relativement faible : leur diamètre double pour atteindre environ 80 µm. Une augmentation de taille considérable est observée durant la deuxième année de croissance et plus particulièrement pendant les mois d'hiver (décembre à mars). Ainsi les ovocytes matures atteignent une taille proche de 260 µm (Baert, 1986).

##### (B) Vitellogénèse ou synthèse du vitellus :

Il recouvre donc la période de croissance dite "lente" de l'ovocyte. Durant cette étape du développement ovocytaire, la cellule germinale femelle accumule des substances de réserve

désignées vitellus et destinées au développement embryonnaire. Ces éléments de nature essentiellement glycoprotéique se présentent sous la forme de granules qui sont encore rares dans l'ovocyte jeune (Dhainaut, 1970a). Par contre, lorsque la cellule atteint un diamètre de 50-60  $\mu\text{m}$ , le nombre de globules vitellins s'accroît considérablement ; dans le même temps, des globules lipidiques apparaissent et s'accumulent également dans le cytoplasme. Dans le cytoplasme d'un ovocyte en vitellogenèse, les formations membranaires (réticulum endoplasmique et appareil de Golgi) se localisent essentiellement dans la zone corticale de la cellule (Baert, 1986).

#### (C) Corticogénèse ou synthèse des alvéoles corticaux :

Elle correspond à la période de croissance ovocytaire "rapide" qui s'échelonne sur les mois d'hiver précédant la reproduction, d'où la dénomination "stade du grand accroissement". Pendant le grand accroissement, l'ovocyte "submature" voit apparaître et se développer un nouveau type d'inclusion cytoplasmique : les alvéoles corticaux. Ceux-ci, délimités par une membrane et présentant un aspect très fibreux, apparaissent entre les globules vitellins et lipidiques et se trouvent disséminés dans tout le cytoplasme jusque dans la zone périnucléaire.

#### (D) Maturité :

A ce stade cytologique, aucune inclusion cytoplasmique nouvelle n'apparaît. La cellule germinale semble cesser la synthèse de ses substances de réserve. Par contre un profond remaniement des structures cytoplasmiques s'effectue. Les alvéoles corticaux migrent vers le chorion cellulaire et constituent une gangue muqueuse épaisse de 40 à 50  $\mu\text{m}$ . Les ribonucléoprotéines se concentrent en une auréole péri nucléaire contenant quelques lames de réticulum allongées et des mitochondries localisées au stade précédent à proximité des dictyosomes. Le vitellus occupe une position intermédiaire ainsi que les lobules lipidiques. Les corps de Golgi se retrouvent quant à eux à l'intérieur de la couche muqueuse et présentent une activité phosphatase acide (Porchet, 1974).

Bien que chaque espèce présente des caractéristiques particulières, il est possible de distinguer ces différents stades dans le développement des ovocytes quelque soit le type de Néréidien étudié (Dhainaut, 1970 a & b ; Porchet, 1976).

#### 2.4.1.2. Aspects ovogénétiques :

Par ailleurs, on peut rencontrer deux types fondamentaux d'ovogenèse : Ovogenèse extra-ovarienne et Ovogenèse intra-ovarienne.

Ces derniers, une fois évacués dans le liquide coelomique, vont subir un accroissement et la différenciation. Enfin, l'ovogenèse peut être synchrone, comme le cas de la plupart des Polychètes, telles que *Nereis diversicolor* et *Perinereis cultrifera*. Dans ce cas, chez le même individu, les ovocytes se trouvent au même stade de vitellogenèse.

A la fin de la gamétogénèse, la maturité sexuelle se traduit par des modifications morphologiques et anatomiques caractéristiques de l'épitoque (désigne un individu mature) ainsi on assiste à une augmentation de la taille des yeux, un élargissement des parapodes, formations de soies hétéronereidiennes disposées en éventail (Bauchot-Boutin & Bobin,

1954), modifications musculaires dans les segments correspondants à l'exception du 19 ou 20ème segment antérieur où ils sont tassés les uns contre les autres, ce qui rend l'animal plus court, plus large et aplati à épitoquie médiane et postérieure (Durchon, 1967).

Cette métamorphose permet à l'animal, qui devient hétéronérien une adaptation à une vie pélagique courte (Herbert *et al.*, 2008) afin de nager vers la surface au moment de l'essaimage qui s'effectue à des périodes bien déterminées avec le cycle lunaire (Gambi & Cigliano, 2006) caractérisé par ce qu'on appelle la danse nuptiale. La fécondation est externe, la reproduction chez *P. cultrifera* est strictement simple, les géniteurs meurent dans les jours qui suivent l'essaimage et l'évacuation des gamètes se fait par lyse de la paroi du corps (Prevedelli & Simonini, 2003).

Chez les Nereidae, l'âge auquel les individus immatures (atoquie) entrent en gamétogénèse et passent à la maturité, et enfin à la reproduction est sous le contrôle de facteurs environnementaux (en plus du contrôle endocrinien) tels que la température, la photopériode et le cycle lunaire (Hardege *et al.*, 1990 ; Olive *et al.*, 1997 ; Andreis, 2001 ; Lawrence & Somae, 2010).

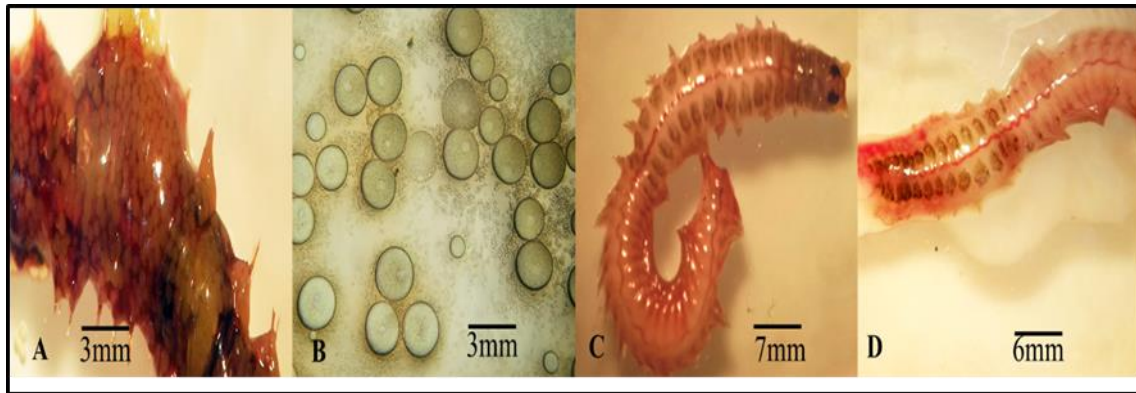
L'observation des données sur les populations étudiées sur le littoral Algérien montre que le mode de reproduction et la durée de vie varient en fonction de la localisation géographique, Ainsi à Alger, la durée de vie des individus ne dépasse pas probablement deux ans et se reproduisent par atoquie (Rouabah *et al.*, 2008) ; tandis qu'à Annaba, Rouabah & Scaps (2003) indiquent que leur durée de vie est de trois ans, et se reproduisent exclusivement par épitoquie.

#### **2.4.2. Différenciation des sexes :**

Le sexe de tous les spécimens de *Perinereis cultrifera* échantillonnés a été déterminé par l'examen macroscopique du contenu cœlomique à l'aide d'une loupe binoculaire. Une courte incision à l'aide d'une épingle aux environs du 30ème sétigère derrière la tête, de 3 à 4 mm de long, a été effectuée au niveau de la ligne médio-ventral du corps. Selon l'absence, ou bien le type de gamètes présents dans le liquide cœlomique, trois catégories d'individus ont été identifiées (figure 18) :

- Les vers sont dits indifférenciés, ou bien asexués par l'absence d'ovocytes ou de spermatozoïdes. Toutefois, cette classe correspond aux individus de petite taille qui n'ont pas encore acquis la maturité sexuelle. Cette procédure est conforme à celle utilisée par d'autres auteurs dans des études similaires (Mettam, 1979 ; Olive & Garwood, 1981 ; Mettam *et al.*, 1982 ; Moller, 1985 ; Hefferman & Keegan, 1988 ; Francés *et al.*, 1997, Abrantes *et al.*, 1999).
- Les femelles sont identifiées par la présence de gamètes sphériques de couleur jaune clair, les ovocytes. Chez ces dernières, qui sont le plus souvent matures et ayant une grande taille, les ovocytes sont clairement visibles à travers la paroi du corps (Figure 18 A et B).

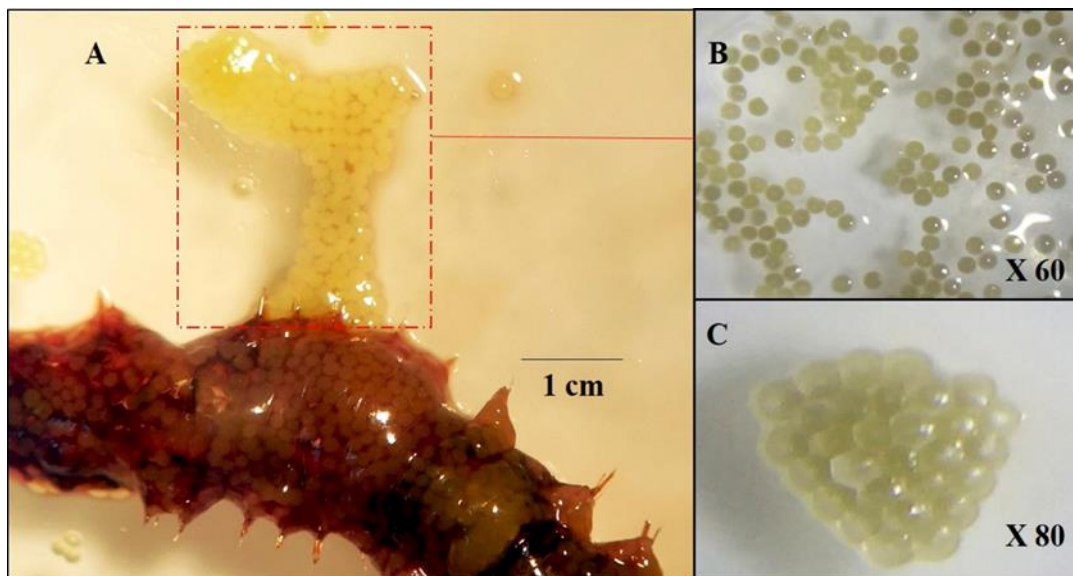
- Les mâles sont identifiés par la visualisation des amas spermatiques, ou celles de spermatozoïdes, de couleur blanc laiteux. Le sperme est mieux observé lorsque les vers sont placés sur un fond noir (Figure 18 C et D).



**Figure 18:** Différenciation des sexes chez *P. cultrifera* par visualisation des ovocytes (A et B) ; amas spermatiques (C et D) contenus dans le liquide coelomique (Photo personnelle, 2016).

#### 2.4.3. Diamètre ovocytaire :

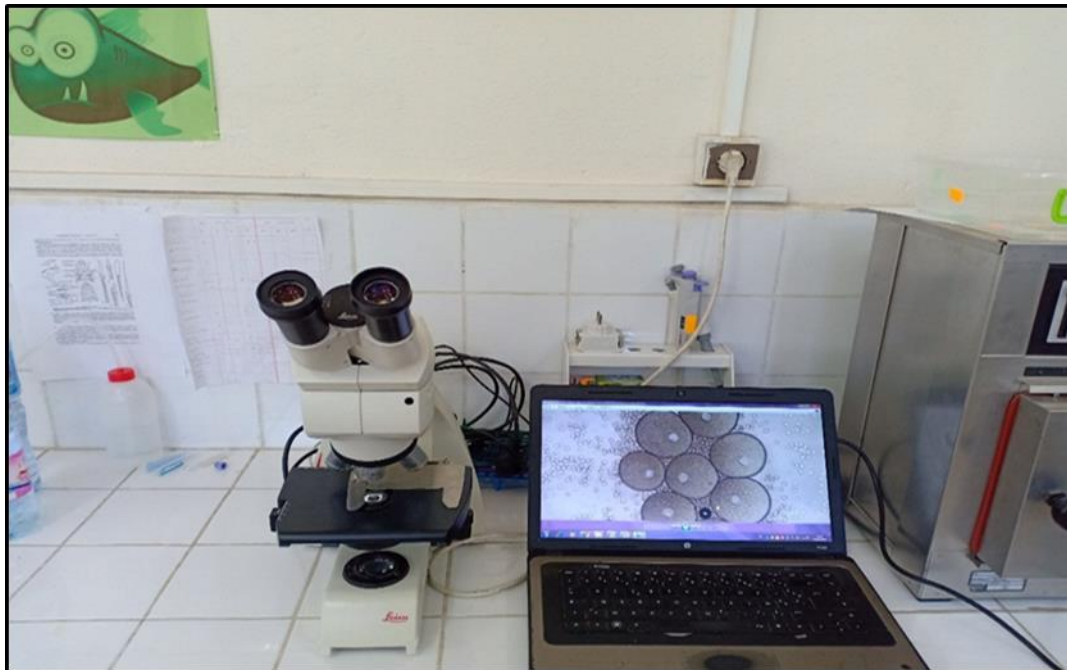
Afin de déterminer le diamètre ovocytaire moyen ( $\mu\text{m}$ ), nous effectuons des ponctions coelomiques sur huit femelles de *P. cultrifera* (Figure 19), une trentaine d'ovocytes provenant de chacun des trois sites (El-Kala, Annaba et Skikda) sont sélectionnés chaque mois durant toute la période d'étude.



**Figure 19:** Aspect d'une ponction coelomique chez *Perinereis cultrifera* montrant des ovocytes (A) ; (B et C) zoom sur les ovocytes, (Photo Personnelle, 2016).



Suite à une incision de ces dernières sur une lame et sous un microscope spécialisé lié à un ordinateur « Leica suite laser leica dm500 », l'observation microscopique montre des cellules sphériques sombres de diamètres différents : les ovocytes.



**Figure 20:** Microscope optique de type « Leica dm500 » relié à un ordinateur utilisé pour les mensurations du diamètre ovocytaire, (Photo personnelle, 2016).

#### 2.4.4. Distribution des fréquences de taille ovocytaire :

Le diamètre des ovocytes présents dans la cavité coelomique a été utilisé comme indicateur des étapes de maturation chez *P. cultrifera*, ces éléments germinatifs avaient un large éventail de dimensions, de sorte que sept groupes d'ovocytes ont été identifiés en utilisant une taille d'intervalle de classe de 50  $\mu\text{m}$ . Les ovocytes ayant complété la vitellogenèse mesuraient 250-350  $\mu\text{m}$ . Les femelles avec de petits ovocytes (diamètre inférieur à 50  $\mu\text{m}$ ) étaient présentes tout au long de l'étude.

#### 2.4.5. Indice de maturité sexuelle (SIM) :

Chez la plupart des Annélides Polychètes ; le sexe ratio est grandement en faveur des femelles (environ 80 %) (Olive & Garwood, 1981 ; Mettam *et al.*, 1982), l'indice de maturité sexuelle permet d'évaluer la fécondité des femelles selon leur stade de développement (Tableau 4).

A l'aide d'un scalpel, une incision est effectuée derrière la tête jusqu'au segment 30. Le contenu coelomique doit être étalé sur une lame, l'opération est effectuée sur 7 femelles. L'indice de maturité sexuelle a été évalué selon la formule de Durou & Mouneyrac, (2007).

$$SIM = [(1 * n_1) + (2 * n_2) + (3 * n_3) + (4 * n_4)] / N$$

Où  $n_x$  représente le nombre d'individus au stade  $x$  et  $N$  représente la somme de  $n_x$ .

**Tableau 4:** Description du stade de développement de la maturité sexuelle chez les femelles de *P. cultrifera*.

Stade de coefficient	Stade de developpement	Aspect des produits sexuels	Intervalle de diamètre ovocytaire (µm)
1	Indifférenciés	Absence d'ovocytes dans la cavité coelomique	—
2	Prolifération	Ovocytes de petites taille dans la cavité coelomique	20-60
3	Croissance	ovocytes en croissance en suspension libre dans le liquide coelomique (Vitellogenèse)	65-190
4	Mature	Ovocytes matures	190-225

#### 2.4.6. Evaluation de l'activité de la phosphatase acide :

La phosphatase acide joue un rôle important dans la régulation des processus métaboliques en hydrolysant diverses biomolécules phosphorylées intracellulaires et participe également au maintien du pool d'énergie dans les systèmes biologiques (Srivastava *et al.*, 2014).

L'activité de la phosphatase acide a été recherchée selon la technique de Miller & Palade (1964) modifiée pour le matériel marin par Bertout (1976).

##### 2.4.6.1. Protocole de dosage de la phosphatase acide :

Selon la technique de Wattiaux & De Duve (1956), 0.1 ml de fractions cellulaires est incubé pendant 30 mn à 37 °C en présence de 0.9 ml de  $\beta$ -glycérophosphate de Na 50 mM dans le tampon acétate de sodium 50 mM contenant 0.07 % de Triton X-100. La réaction est arrêtée par addition de 1 ml de TCA 10 %. Les tubes sont centrifugés à basse vitesse et la quantité de phosphate inorganique est dosée dans le surnageant. L'activité enzymatique est exprimée en pmoles de phosphate inorganique libérées par minute et par mg de protéines. (Dakhama *et al.*, 1985).

L'activité de la phosphatase acide a été recherchée selon la technique de Miller & Palade (1964) modifiée pour le matériel marin par Bertout (1976).

### 2.4.6.2. Réalisation de la gamme d'étalonnage :

La gamme d'étalonnage a été réalisée à partir d'une solution mère de BSA (1mg/ml) selon la technique de Bradford (1976). Le réactif étant le bleu brillant de comassie G250 (Conservation environ 21 jours à 4°C), se prépare comme suit :

100 mg de BBC

} (Agitation pendant 2heures)

50 ml d'éthanol

\*Les absorbances sont lues dans un spectrophotomètre CARY 60 UV-Vis à une longueur d'onde 595 nm contre un blanc de gamme. La phosphatase acide est quantifiée d'après une courbe de référence dont l'équation de la droite de régression a été déterminée (Tableau 5). 100ml d'acide orthophosphorique et compléter à 1000 ml de l'eau distillée.

**Tableau 5:** Dosage de la phosphatase acide, réalisation de la gamme d'étalonnage des protéines.

Tubes	1	2	3	4	5	6
Quantité de BSA (µl)	0	20	40	60	80	100
Eau Distillée (µl)	100	80	60	40	20	0
Réactif BBC (ml)	4	4	4	4	4	4

## 2.5. Analyse biochimique :

### 2.5.1. Le liquide cœlomique et constituants :

Le cœlome confère plusieurs avantages aux animaux. Il laisse un espace où les organes peuvent croître. Le fluide qu'il contient facilite la circulation, et peut servir à tamponner les variations de températures et à absorber les chocs. Il permet de construire un squelette hydrostatique efficace. Le fluide où baigne les organes internes peut être un filtre pour éliminer les déchets métaboliques. Enfin, il permet au tube digestif de se mouvoir indépendamment du corps de l'animal. D'après Fontaine (1982), chez les Annélides Polychètes, la cavité générale ou cœlome, est spacieuse. Elle est tapissée intérieurement, ainsi que tous les organes qu'elle renferme, par un endothélium péritonéal qui est une très mince membrane à cellules aplaties. Cette membrane péritonéale forme un mésentère dorsal et un mésentère ventral soutenant le tube digestif. Elle présente des régions plus ou moins abondamment garnies de cils vibratiles qui déterminent des courants dans la lymphe per viscérale (ou liquide cœlomique).

La cavité générale est distincte de l'appareil circulatoire qui est clos, sang et liquide cœlomique ne se mélangeant pas. C'est dans cette cavité générale que va s'accomplir la maturation des produits génitaux qui se détachent précocement, et y flottent en grande quantité. Mais outre les gamètes, on trouve aussi d'autres cellules : des Protozoaires parasites et surtout une catégorie de cellules cœlomiques particulièrement intéressante, les éléocytes. Ces éléocytes se sont vus attribuer différents noms : lymphocytes, leucocytes, amibocytes, phagocytes, granulocytes, cellules chloragogènes (Fauvel, 1959). Mais on a pu montrer, notamment chez *Sabella spallanzani* et *Amphitrite johnstoni* (Dales, 1961 ; 1964), que ces cellules constituent les étapes de la vie d'un même type cellulaire. D'après Dehorne (1930), c'est Romieu (1923) qui a employé en premier le terme d'éléocytes, car il avait observé dans ces cellules des gouttelettes colorables au Soudan III et au Tetroxyde d'osmium, donc riches en graisses non saturées. C'est dans le milieu intérieur chez les Annélides Polychètes où se fait la maturation des gamètes. Comme a pu l'écrire Porchet (1974), au moment de la reproduction, le corps des Hétéronereis est presque réduit à l'état d'un sac bourré de produits génitaux *mûrs*. Ainsi, remarque-t-il, chez les *P. cultrifera* épitoques, le contenu cœlomique des femelles (ovocytes, liquide cœlomique et cœlomocytes) représente plus de la moitié du poids total de l'animal, alors que le "cœlome" du ver sexuellement indifférencié n'en constitue que 10% environ. Durchon & Lafon (1951) notent que la multiplication et la maturation des cellules germinales, aux dépens des éléocytes, s'accompagnent de changements importants dans la composition chimique du liquide cœlomique.

### 2.5.2. Séparation des constituants cœlomiques

Toutes les opérations portant sur l'animal sont faites selon les techniques de Durchon (1955). Le contenu cœlomique de *P. cultrifera*, est prélevé par ponction intracœlomique. Les ponctions sont aspirées par une micropipette dont nous veillons à ce que l'extrémité soit suffisamment effilée et introduite dans le cœlome. Le contenu cœlomique monte de lui-même dans notre micropipette, tant par capillarité que sous l'effet de la pression intracœlomique. Le contenu cœlomique ainsi prélevé est constitué du liquide cœlomique, d'ovocytes, d'éléocytes et d'autres cellules. Il nous faudra donc séparer ces différents éléments, nous avons utilisé la méthode de séparation des constituants cœlomiques décrite par Porchet (1974).

Une première centrifugation (5000 tours/min, 10 mn) nous donne un culot constitué par les éléments figurés, le surnageant étant le liquide cœlomique. Nous recueillons ce liquide cœlomique.

Le culot subit ensuite 4 lavages à l'eau de mer. A chaque lavage, on effectue une légère centrifugation : chaque fois le surnageant est recueilli. Finalement on obtient un culot d'ovocytes.

Un examen cytologique peut nous permettre de nous assurer que le culot ovocytaire est débarrassé de tout autre élément figuré, c'est la "fraction ovocytaire" ou "ovocytes".

### **2.5.3. Dosage des vitellogénines et des vitellines :**

#### **2.5.3.1. Technique d'extraction des vitellogénines et des vitellines :**

- La préparation de la solution mère de Tris-HCl, consiste à diluer 3.02g de Tris (0.5M) dans 300 ml d'eau distillée, on ajoute à cette solution à un pH 7.4 de l'HCl concentré et la compléter à 500 ml d'eau distillée.
- Pour réaliser le tampon complet  
Diluer 2.9g de NaCl (0.5 M) dans 10 ml de la solution mère de Tris-HCl et compléter à 100 ml d'eau distillée.

Les échantillons ovocytaires conservés, sont broyés aux ultrasons grâce au désintégateur (OSI : Sonfier, celldisruptor) pendant 30 secondes à 2 répétitions, l'homogénat obtenu est centrifugé à 5000 tours/min pendant 10 minutes à l'aide d'une centrifugeuse (SIGMA). Il en résulte 3 couches distinctes, une couche de surnageant qui représente les lipides, un culot contenant des glycoprotéines et une couche intermédiaire renfermant les vitellogénines et les vitellines.

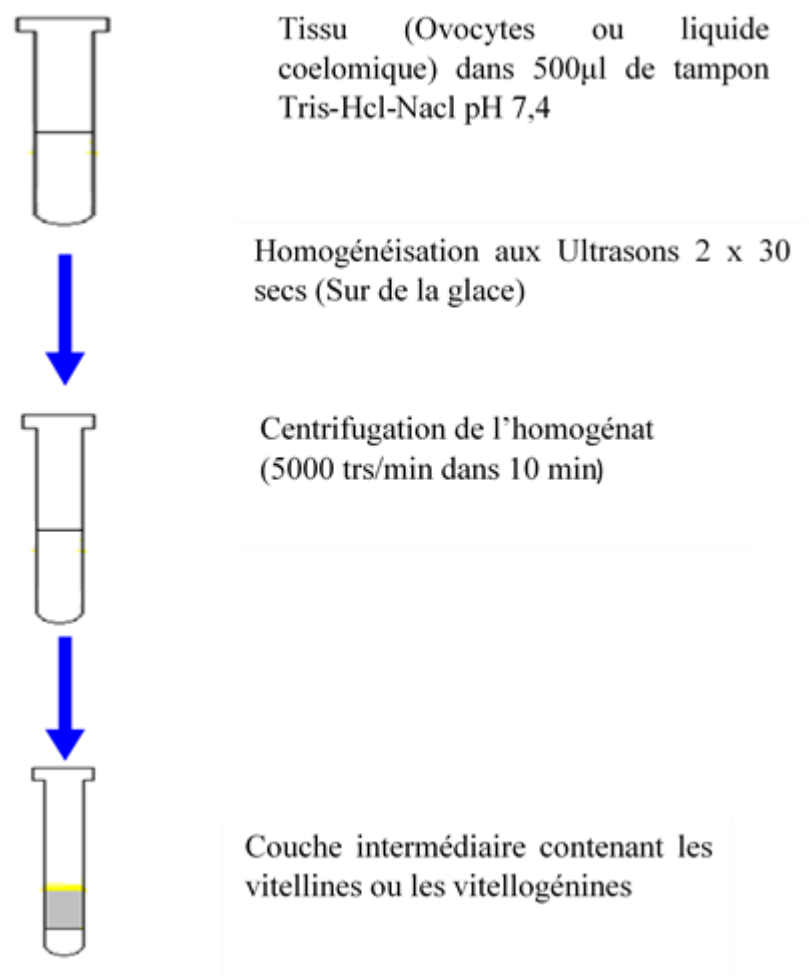
Cette dernière est récupérée à l'aide d'une simple seringue médicale, déposée dans un autre eppendorf, puis maintenue au congélateur jusqu'au dosage (Fabre *et al.*, 1990).

#### **2.5.3.2. Réalisation de la gamme d'étalonnage**

La gamme d'étalonnage a été réalisée à partir d'une solution mère de BSA (1mg/ml) selon la technique de Bradford, (1976).

#### **2.5.3.3. Détermination de la concentration en vitellogénines et vitellines des échantillons biologiques**

Prendre 100 µl de la couche intermédiaire, obtenue après centrifugation, y additionner 4 ml de BBC, bien agiter puis passer à la lecture des densités optiques au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 595 nm contre un blanc de gamme. Les résultats sont exprimés en µg/mg d'ovocytes.



**Figure 21:** Extraction des vitellogénines et vitellines Fabre *et al.* (1990).

#### 2.5.4. Dosage quantitatif des protéines corporelles :

##### 2.5.4.1. Extraction des protéines corporelles :

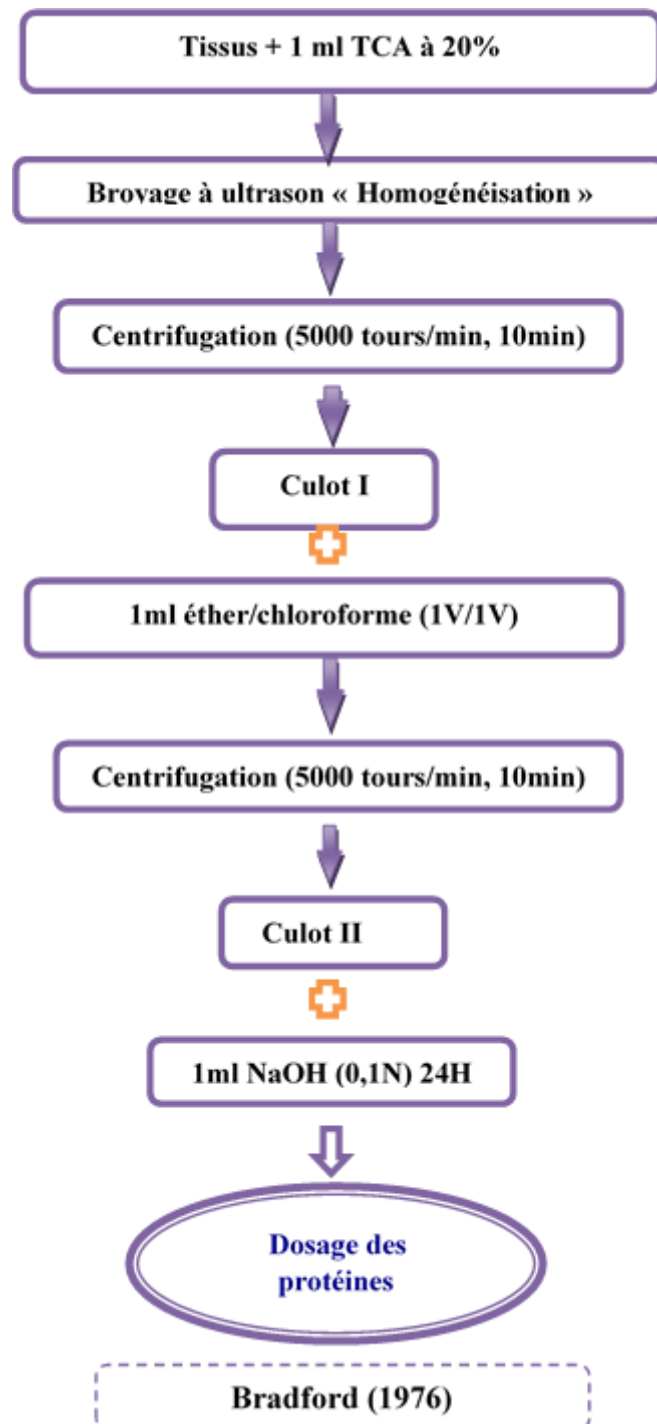
L'extraction de protéines corporelles de *P. cultrifera* a été réalisée selon le procédé de Shibko *et al* (1966) (Figure22).

Les vers ont été placés dans des tubes eppendorf contenant 1 ml d'acide trichloracétique (TCA) à 20% sont broyés à l'aide d'un homogénéisateur à ultrasons (Sonifer B-30) après un broyage mécanique les broyats subissent une première centrifugation (5000 tours /min, pendant 10min).

Au culot 1, on ajoute 1 ml du mélange éther/chloroforme (IV/IV), après une seconde centrifugation (5000 tours/min, pendant 10min), on obtient le surnageant II et le culot II. Le culot II est repris dans 1ml d'NaOH (0, 1N) pour l'estimation des protéines totales.

#### 2.5.4.2. Dosage des protéines corporelles :

Les protéines ont été quantifiées selon la méthode de Bradford (1976). Après réalisation de la gamme d'étalonnage pour chaque échantillon, une fraction aliquote de 100 µl est ajoutée à 4ml de réactif BBC. La lecture des densités optiques est obtenue par spectrophotomètre à une longueur d'onde de 595 nm. Les résultats sont exprimés en µg/mg de protéines.



**Figure 22:** Principales étapes d'extraction des protéines corporelles : selon le procédé de Shibko *et al* (1966).

### **2.5.5. Rapport vitellines et protéines corporelles :**

Les protéines jouent un rôle primordial dans la constitution de toutes les espèces biologiques vivantes elles conditionnent toutes les réactions biochimiques et hormonales et s'intègrent dans la cellule comme éléments structuraux en même temps que les glucides et les lipides (Jacob *et al.*, 1961). Il existe une étroite relation entre le taux de protéines et le cycle reproductif puisque ces derniers interviennent dans la constitution des gamètes et sont également utilisés comme source d'énergie pendant la gamétogénèse.

Le vitellus désigne l'ensemble des réserves nutritives accumulées dans l'ovocyte au cours de sa croissance et utilisées par l'embryon pour assurer son développement. Ce terme est plus généralement utilisé pour définir les réserves protéiques de l'œuf dont l'élément majeur a reçu le nom de vitelline. La vitellogenèse, mécanisme par lequel l'ovocyte se charge en réserves vitellines est un métabolisme essentiel dans le cadre de l'ovogenèse : la vitelline peut représenter de 60 à 90 % des protéines dans un ovocyte mature et son dépôt conditionne la croissance ovocytaire et la viabilité de la cellule. Sur le plan de l'origine, Le composant majeur du vitellus peut résulter d'une élaboration endogène (vitellogenèse autosynthétique) ou d'un apport de matériel extra ovocytaire (vitellogenèse hétérosynthétique). L'existence d'un processus mixte faisant intervenir les deux origines distinctes a également été postulée. Cependant la stratégie hétérosynthétique est la mieux déterminée et caractérise différents types d'organismes (Baert, 1986).

La vitellogénine est une glycoprotéine spécifique aux femelles, elle est le précurseur du vitellus (Harnish & White, 1982). Les cellules somatiques synthétisent et sécrètent dans le sang une protéine spécifique femelle sous l'influence d'une stimulation hormonale. Cette protéine, dénommée vitellogénine, est ensuite captée par l'ovocyte et s'incorpore dans les globules vitellins. Suite à son entrée dans l'ovocyte, la vitellogénine, susceptible d'être modifiée, est alors appelée vitelline. Chacune de ces étapes a fait l'objet de nombreuses investigations, particulièrement chez les Arthropodes et chez les Vertébrés qui obéissent à cette organisation générale (Baert, 1986).

### **2.6. Analyse écotoxicologique :**

Les polluants peuvent atteindre différents niveaux de l'organisation biologique. Les progrès de la biologie cellulaire ont permis une identification des mécanismes moléculaires de leur action toxique. Ces événements peuvent aussi engendrer à leur tour des altérations pathologiques à des niveaux biologiques plus élevés. Ces connaissances fondamentales ont ouvert la possibilité de forger de nouveaux outils d'évaluation et de surveillance fondés sur les réponses biologiques induites par l'exposition d'organismes à des xénobiotiques. Ceci à donner naissance à la notion de biomarqueurs qui a pris forme au début des années quatre-vingts. Cette période voit se dérouler les premiers symposiums internationaux sur les réponses aux polluants des animaux marins (Pollutant Responses in Marine Animals, 1981) et les tests écotoxicologiques dans l'environnement marin (1983), ainsi que divers programmes (Groupement Interface Chimie Biologie des Ecosystèmes Marins, 1987) (Narbonne, 2000). Suite à cette phase de développement, les biomarqueurs ont trouvé leur définition par la Société de Toxicologie et de Chimie de l'Environnement (SETAC), 1989) : ce sont des



variations biochimiques, physiologiques, histologiques ou morphologiques, mesurées chez des organismes exposés à des conditions de stress liées à la présence de substances chimiques dans l'environnement (Huggett *et al.*, 1992). Ils représentent la réponse biologique initiale des organismes face à des perturbations ou des contaminations du milieu dans lequel ils vivent. En conséquence, ils sont en général plus sensibles que les paramètres mesurés à un niveau supérieur d'organisation biologique tel que l'organe, l'individu ou la population (Stegeman *et al.*, 1992).

L'approche « biomarqueur » peut être illustrée par une relation entre l'état de santé d'un organisme et sa réponse à des concentrations croissantes de contaminants dans son environnement. Ainsi, dans un environnement vierge de toute influence, en supposant que toutes les ressources nécessaires à la vie soient disponibles et sans stress de contamination, un organisme est considéré en « bonne santé », dans un état d'homéostasie. Si la concentration en contaminants augmente, l'organisme subit un état de stress grandissant, jusqu'à un état où apparaissent des altérations fonctionnelles visibles pouvant entraîner la mort à plus ou moins long terme.

Le développement des biomarqueurs comme outil de surveillance et d'évaluation de l'environnement est étroitement lié à la connaissance des mécanismes moléculaires des processus toxiques chez différentes espèces, animales ou végétales, appartenant aux différents écosystèmes. Les indicateurs biologiques choisis comme espèces sentinelles, pour pouvoir donner des informations sur l'état de l'écosystème, doivent satisfaire à plusieurs critères (Hopkin, 1989) : la pertinence (ils doivent avoir un rôle important dans le fonctionnement de l'écosystème), la fiabilité (ils doivent avoir une large distribution, être communs et faciles à prélever), la robustesse (ils ne doivent pas succomber à de faibles doses de polluants et résister aux conditions en laboratoire), la sensibilité (ils doivent présenter des réponses mesurables : concentrations des polluants dans les tissus, perturbation de caractéristiques biologiques mesurables), la reproductibilité (leurs réponses doivent être similaires avec des doses identiques de polluant dans des sites différents). Dans ce contexte, de nombreux biomarqueurs biochimiques et cellulaires ont été étudiés chez les organismes marins puisqu'ils remplissent tous ces critères, particulièrement les poissons (Narbonne & Gallis, 1979 ; Köhler *et al.*, 2002), les mollusques (Soltani *et al.*, 2012 ; Bensouda & Soltani-Mazouni, 2014; Xiu *et al.*, 2016 ; Bairi *et al.*, 2018) et les annélides polychètes (Daas *et al.*, 2011 ; Snani *et al.*, 2015).

Classiquement, les auteurs distinguent les biomarqueurs d'exposition, d'effets et de sensibilité/susceptibilité (Lagadic *et al.*, 1997 ; Kammenga *et al.*, 2000) selon les événements toxicologiques :

### **2.6.1. Les biomarqueurs d'exposition :**

Ils sont généralement caractérisés par leur réponse précoce et leur spécificité de réaction. Ils sont induits par un type spécifique de polluants et, de ce fait, leurs variations sont indicatrices d'une exposition de l'organisme à cette classe de polluants. Un biomarqueur d'exposition peut être considéré comme une réponse biologique à des interactions entre un type de polluant et une cellule ou une molécule cible à l'intérieur de l'organisme, sans que cette réponse n'ait pour

autant de répercussions néfastes sur l'état de santé de l'individu. Il témoigne de la présence d'un contaminant dans le milieu et de sa disponibilité (biodisponibilité) pour l'organisme. Ce sont par exemple, les mesures des teneurs en contaminants eux-mêmes ou en métabolites qui en sont dérivés. Cette notion de marqueur d'exposition s'est également étendue à la mesure des réactions cellulaires de certains effets biologiques précoces ne présentant pas de toxicité immédiate pour les organismes, comme par exemple l'induction de certaines activités enzymatiques sous l'effet des contaminants.

#### **2.6.2. Les biomarqueurs d'effet :**

Ils correspondent à une altération biologique qui, en fonction de l'intensité de la réponse, peut être associée à une altération possible de l'état physiologique de l'individu, comme des effets sur la croissance ou sur le succès reproducteur. Il révèle l'action des contaminants par la mesure de paramètres biologiques. Ces derniers sont très nombreux et variés suivant le niveau biologique considéré (biochimique, cellulaire, physiologique...). Contrairement aux biomarqueurs d'exposition, ces biomarqueurs ne sont pas spécifiques d'un polluant, mais intègrent plutôt tous les types de toxicités complexes.

#### **2.6.3. Les biomarqueurs de sensibilité/susceptibilité**

Ils utilisent la mise en évidence de caractères de résistance d'origine génétique des organismes à certains contaminants, comme la synthèse d'enzymes moins sensibles ou une augmentation du pouvoir de détoxification (résistance des insectes aux pesticides). Cette classification, si elle est couramment employée, doit être maniée avec prudence du fait de la limite souvent floue entre exposition et effet, surtout lorsque l'on considère des organismes aquatiques dont la physiologie est souvent peu connue. Un exemple, montrant les limites de cette classification, concerne les dommages physiques à l'ADN. Ceux-ci peuvent être considérés comme biomarqueurs d'effets, puisqu'ils signalent des atteintes de l'intégrité cellulaire, mais ils peuvent également être considérés comme biomarqueurs d'exposition à des composés génotoxiques (les adduits lors de l'exposition à des hydrocarbures). Les biomarqueurs ne sont pas seulement limités aux études en laboratoire, ils sont également utilisés lors d'études *in situ*. Ils permettent donc de réaliser des études d'écotoxicité des substances chimiques « *chemical testing* » et de surveillance environnementale « *biomonitoring* ».

#### **2.6.4. Evaluation de l'activité enzymatique de la Glutathion S-transférase (GST) :**

La mesure de l'activité de la glutathion S-transférase (GST) est déterminée selon Habig *et al.* (1974). Elle est basée sur la réaction de conjugaison entre la GST et un substrat, le CDNB (1 chloro 2,4 dinitrobenzène) en présence d'un cofacteur le glutathion (GSH) et mesurée à une longueur d'onde de 340 nm dans un spectrophotomètre visible/UV (GENESYSTEM8).

Les échantillons (corps entier) de *P. cultrifera* récoltées au niveau des trois sites sont homogénéisés dans 1 ml de tampon phosphate (0.1M, pH 6).

L'homogénat est centrifugé à 14000 tours/min pendant 30 mn et le surnageant récupéré servira comme source d'enzyme.

Le dosage consiste à faire réagir 200µl du surnageant avec 1.2 ml du mélange CDNB (1mM) /GSH (5mM) [20.26 mg CDNB, 153.65 mg GSH, 1ml éthanol, 100ml tampon phosphate

(0.1M, PH6)]. La lecture des absorbances est effectuée toutes les 1mn pendant 5 minutes à une longueur d'onde de 340 nm contre un blanc contenant 200µl d'eau distillée remplaçant la quantité du surnageant.

Une quantification des protéines a été réalisée selon Bradford (1976), (technique citée précédemment).

L'activité spécifique de GST est déterminée d'après la formule d'Habig *et al.* (1974)

$$\text{GST } (\mu\text{M} / \text{min/mg de Protéines}) = \left( \frac{\Delta \text{DO} / \text{min}}{e} \times \frac{V_t}{V_s} \right) / \text{mg de Protéines}$$

**X :** micromole de substrat hydrolysé par minute et par mg de protéines (nM/mn/mg de protéines).

**Δ Do :** pente de la droite de régression obtenue après hydrolyse du substrat en fonction du temps.

**e :** coefficient d'extinction molaire du CDNB (mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>).

**Vt :** volume total dans la cuve : 1,4 ml [0,2 ml surnageant + 1.2 ml du mélange CDNB/GSH].

**Vs :** volume du surnageant dans la cuve : 0,2 ml.

**mg de protéines :** quantité de protéines exprimée en mg.

#### 2.6.5. Dosage des métaux lourds par spectrométrie d'absorption atomique (SAA) :

La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) est une technique décrite pour la 1<sup>ère</sup> fois par Walsh (1955). La SAA étudie les absorptions de lumière par l'atome libre. C'est une des principales techniques mettant en jeu la spectroscopie atomique dans le domaine UV-visible utilisée en analyse chimique. Elle permet de doser une soixantaine d'éléments chimiques (métaux et non-métaux). Les applications sont nombreuses étant donné qu'on atteint couramment des concentrations inférieures au mg/L (ppm). Pour nos travaux, nous avons extrait et dosé 5 éléments chimiques :

- Le cadmium :

Le cadmium ou élément dit non essentiel est assimilé aux éléments en traces métalliques (Turkmen *et al.*, 2005 ; Miquel, 2001). Il occasionne chez les êtres vivants des dysfonctionnements du système rénal, hépatique, gastrointestinal et reproductif (Amiard *et al.*, 1987). La présence du cadmium au niveau des milieux côtiers est due d'une part au compartiment atmosphérique (fumées et poussières des fonderies, des produits de l'incinération des matériaux recouverts de cadmium) et aux lessivages des terrains agricoles renfermant des engrais d'autre part. Sa demi-vie biologique peut aller de 10 à 30 ans (Nriagu & Pacyna, 1988).

- Le cuivre :

Indispensable au métabolisme des êtres vivants, le cuivre présente une certaine toxicité vis-à-vis des organismes marins et ce en fonction de sa forme chimique et de son état d'oxydation. La présence de cet élément trace dans le milieu marin est due au fait qu'il entre dans la composition de nombreux produits phytosanitaires provoquant ainsi des perturbations au niveau des espèces (Nakhlé, 2005). Dans les écosystèmes côtiers, la présence du cuivre provient généralement des eaux usées urbaines et industrielles (métallurgie, chimie) et du lessivage des sols agricoles. Le cuivre est bio disponible pour les organismes sous le degré d'oxydation (I) ou (II), à partir de sels inorganiques ou de complexes organiques.

- Le plomb :

Le plomb fait également partie des ETM (Eléments en Traces Métalliques) non essentiels (Miquel, 2001 ; Turkmen *et al.*, 2005). Il peut être bio-amplifié dans les systèmes biologiques devenant un potentiel contaminant pour les différents maillons trophiques (Amiard *et al.*, 1987). Essentiellement présent dans le compartiment atmosphérique de l'environnement, il provient des fonderies, des industries de la métallurgie, de la combustion du charbon, de l'incinération des déchets et des gaz d'échappement des véhicules. Le flux le plus important de plomb à l'océan provient de l'atmosphère (Gagneux-Moreaux, 2006). Par la formation de complexes avec les hydroxydes ou les silicates dans le milieu (Stauber & Florence, 1989), le plomb à concentration molaire égale semble moins toxique que le cuivre.

- Le zinc :

Le zinc est un métal dit essentiel. Il est impliqué dans de nombreux processus physiologiques et est donc indispensable à la vie d'un grand nombre d'organismes. A de fortes concentrations, il devient toxique pour les végétaux et les animaux et constitue un contaminant majeur pour le milieu terrestre et aquatique (Lafabrie, 2007).

- Le chrome :

Le chrome est présent naturellement dans l'environnement (environ 0,02% de la croûte terrestre) essentiellement sous forme Cr (III) dans son principal et seul minerai à valeur économique, la chromite. Seule une petite quantité de Cr (VI) se trouve naturellement dans l'environnement, la majeure partie du Cr (VI) présent dans l'environnement résulte de l'activité anthropogénique. Dans cet état d'oxydation, il est relativement stable dans l'air et dans l'eau pure, mais est réduit à l'état trivalent au contact de la matière organique dans le sol, l'eau et les organismes vivants. Dans l'eau, le chrome (VI) est principalement toxique pour les organismes (Hoet, 2015).

#### **2.6.5.1. Extraction (La minéralisation) :**

L'extraction des cations a été effectuée par une attaque acide à l'aide d'un mélange acide ( $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HClO}_4$ ) avec des proportions de 10 : 1 : 0,5 V à chaud (110°C) selon la méthode de Mediouni *et al* (2006). En effet, 30 à 40 mg de poudre animale et de sédiments

préalablement broyés et desséchés sont additionnés à 3 ml du mélange des 3 acides. Après 2 heures d'attaque acide, les extraits obtenus sont filtrés à l'aide de 50 ml d'acide nitrique (0.5%), puis conservés à froid (4°C) jusqu'au dosage des éléments traces métalliques par spectrométrie d'absorption atomique (Bankaji, 2017).

#### 2.6.5.2. Dosage des métaux lourds :

Le dosage des ETM (Cd, Pb, Zn, Cu, Cr) a été réalisé à l'unité de service commun pour la recherche à la faculté des sciences de Bizerte en Tunisie au mois de Novembre de l'année 2018 en utilisant un spectromètre d'absorption atomique de type Perkin Elmer (Pin AAcle 900T) en mode flamme. En effet, le principe du fonctionnement du spectromètre d'absorption atomique est fondé sur la théorie de la quantification de l'énergie de l'atome. La soumission d'un atome à un rayonnement d'énergie "E" permet son passage d'un état fondamental à un état excité caractérisé par un niveau d'énergie plus élevé et instable : c'est le phénomène d'absorption. Le retour de l'atome à son état fondamental s'accompagne par l'émission d'un rayonnement photonique spécifique caractérisé par sa longueur d'onde  $\lambda$ .

En pratique, l'absorbance A peut être estimée par la variation de l'intensité lumineuse à travers la chambre d'atomisation de l'élément à doser :

$$A = \lg (\Phi 0 / \Phi T)$$

Avec  $\Phi 0$  = Flux incident.  
 $\Phi T$  = Flux transmis.

Par ailleurs, la loi de Beer-Lambert établit une relation directe entre l'absorbance d'un échantillon et sa concentration en élément recherché :

$$A = k.l.C$$

Avec **k**: coefficient d'absorption spécifique de l'élément à doser.  
**l**: trajet optique (cm).  
**C**: concentration (mg.L<sup>-1</sup>).

En spectrométrie d'absorption atomique, le phénomène d'absorption se visualise lorsque la radiation caractéristique d'un élément traverse un nuage de vapeur atomique du même élément. Le spectromètre est composé d'une source lumineuse qui émet un rayonnement à une longueur d'onde spécifique de l'élément à analyser. La solution à analyser est aspirée par effet venturi à l'aide d'un nébuliseur qui projette en fines gouttelettes la solution dans le bruleur et dont la flamme très chaude sert d'atomiseur.

La Spectrométrie d'Absorption Atomique utilise trois modes différents pour la détermination de la concentration des éléments traces métalliques : mode flamme, mode four graphite et générateurs d'hydrures. Les limites de détection varient selon le mode utilisé et elles sont considérées précises de l'ordre de  $\mu\text{g. l}^{-1}$  alors que l'on peut au mieux espérer attendre le ppm en la fluorescence X.

Nos dosages étaient réalisés en mode flamme, l'évaporation de la solution se produit dans la flamme, la fusion puis l'évaporation des composés métalliques, et enfin une dissociation moléculaire libérant les atomes qui peuvent être alors absorbés. Les photons absorbés étant caractéristiques des éléments étudiés, et leurs quantités étant proportionnelle au nombre

d'atomes de l'élément, l'absorption permet de mesurer les concentrations des éléments dosés. En outre, pour chaque élément métallique, on a préparé une gamme étalon à partir d'une solution mère avec des dilutions selon la recommandation du fabricant. Ces étalons sont des solutions d'ETM diluées à des concentrations supérieures à la limite de détection de l'élément et servent à établir la courbe d'étalonnage qui est une étape nécessaire pour la détermination de la concentration des ETM dans nos échantillons, nos résultats ont été exprimé en mg/kg pour l'organisme et le sédiment.

### 2.6.5.3. Évaluation du niveau de contamination du sédiment par les métaux lourds :

L'intensité de la contamination dans les sédiments par les métaux traces a été évaluée à partir de deux indices à savoir : l'indice de géo-accumulation et l'indice de contamination. Leur principe est fondé sur la comparaison des valeurs mesurées par rapport à des valeurs de référence.

- **L'indice de géo-accumulation (Igéo) :**

L'indice de géoaccumulation (Igéo) a été à l'origine défini par Muller (1969), cet indice de caractère empirique compare une concentration donnée versus une valeur considérée comme fond géochimique (Oumar *et al.*, 2014).

$$Igéo = \log_2 \frac{Cx}{1,5 \times Bx}$$

**Cx** : concentration de l'élément X, mesurée au niveau de l'échantillon.

**1,5** : facteur de correction.

**Bx** : concentration référence de l'élément X.

Dans notre étude on utilise les valeurs de bruit de fond géochimique proposé par Turekian & Wedepohl (1961) pour le Pb, et on utilise les valeurs de bruit de fond géochimique proposé par le RNO (2005) pour le Cd, Cr, Cu et Zn. En outre, Müller (1969) a défini une échelle de valeurs avec six classes en fonction de l'intensité de la pollution. Cette échelle stipule que :  $Igéo \leq 0$  (classe 0), sans contamination ; 0~1 (1), sans à légère contamination ; 1~2 (2), contamination modérée ; 2~3 (3), contamination modérée à forte ; 3~4 (4), forte contamination ; 4~5 (5), Forte à extrême contamination et  $Igéo > 5$  (6) traduit une contamination extrême.

- **L'indice de contamination (I.C.) :**

L'indice de Contamination (I.C.) représente le rapport entre la valeur guide de l'élément trace considéré (en référence aux valeurs guides admises par l'Agence du bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 1991) et sa teneur dans le sédiment étudié. Si l'IC < 3, le sédiment est considéré de (classe 1) donc non contaminé ; si l'IC est compris entre 3~10, le sédiment est de (classe 2) donc pollué et si l'IC est > 10, le sédiment est de (classe 3) et représente un risque.

La bioaccumulation est le processus par lequel un organisme vivant absorbe une substance à une vitesse plus grande que celle avec laquelle, il l'excrète ou la métabolise. Elle désigne, alors la somme des absorptions d'un élément, à partir de toutes les voies possibles : voies



respiratoires, voie alimentaire et voie cutanée (McGeer *et al.*, 2004; Casas, 2005). Les organismes marins peuvent accumuler les contaminants dans leurs tissus via ce processus ; de même la bioamplification (ou la biomagnification) est le processus par lequel le prédateur concentre une substance (ou un élément) à un niveau supérieur à celui, où il se trouve dans la proie (Casas, 2005). Les degrés d'assimilation et de rétention des substances varient entre les différents genres et espèces, et dépendent des propriétés biochimiques de chaque substance (Casas, 2005).

Ainsi, pour évaluer le niveau de contamination des trois populations de *P. cultrifera* récoltées au niveau des trois sites d'étude, un indice nommé facteur de bioaccumulation biota-sédiment (BSAF) a été calculé d'après Rumisha *et al* (2012) ; il est basé sur la comparaison de la concentration en chaque métal présent au niveau des organismes avec celle trouvée au niveau du sédiment ; si le BSAF < 1 cela indique l'absence d'une bioaccumulation, par contre si le BSAF > 1 cela signifie une bioaccumulation de l'élément métallique en question.

- **Le facteur de bioaccumulation biota-sédiment (BSAF) :** est calculé selon la formule suivante :

$$BSAF = \frac{C_{x \text{ tissus}}}{C_{x \text{ sédiment}}}$$

**C<sub>x</sub> tissus** : concentration de l'élément X mesurée au niveau des tissus,  
**C<sub>x</sub> sédiment** : concentration de l'élément X mesurée au niveau du sédiment.

## 2.7. Analyse histologique :

### 2.7.1. Tissus à explorer :

L'étude histologique a été réalisée sur les femelles de *P. cultrifera* matures en période de reproduction et provenant des trois sites, après ablation de la tête et du pygidium. Des coupes ont été effectuées sur la région médiane du corps des femelles afin d'observer le tube digestif des femelles épitoques. Hormis les transformations liées à l'épitoquie, la reproduction s'accompagne par des altérations anatomiques internes au niveau du tube digestif de ce fait des coupes histologiques sagittales ont été effectuées afin d'interpréter la structure et l'aspect de l'épithélium intestinal.

L'étude histologique a été entretenue au niveau du laboratoire Niha entre 2017 et 2019 où les meilleures lames ont été sélectionnées.

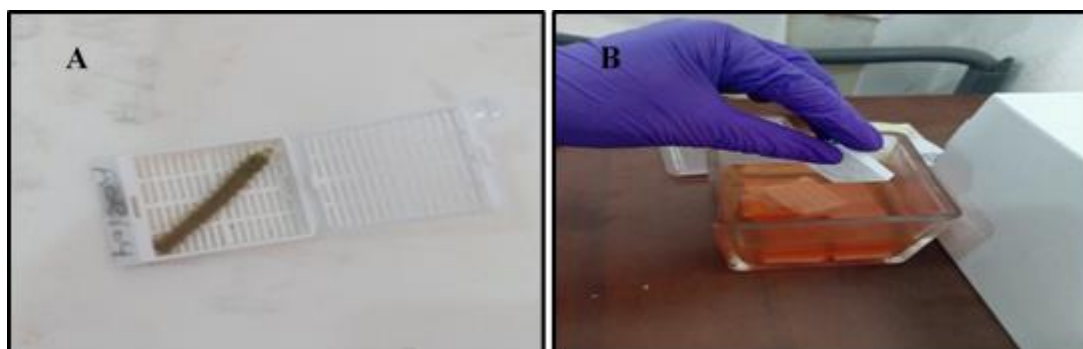
### 2.7.2. Protocole expérimental :

#### 2.7.2.1. Fixation :

Cette étape a pour but la conservation des structures, le durcissement des pièces, l'immobilisation des constituants tissulaires et cellulaires ; prévenant ainsi de la putréfaction bactérienne. La fixation doit inactiver les molécules qui pourraient changer la morphologie tissulaire, telles que les enzymes, pour éviter la destruction des protéines du tissu. Elle doit se



faire immédiatement après le prélèvement, par immersion du matériel dans un grand volume de liquide fixateur. Nos échantillons biologiques extraits des femelles de *P. cultrifera* récoltées à partir des trois sites d'études (El-Kala, Annaba et Skikda) en période de reproduction, ont été conservés dans du formol à 9% pendant au moins 48 heures (Figure 23).



**Figure 23:** Fixation de l'échantillon : insertion du ver dans la cassette histologique (A) ; immersion de la cassette dans du formol à 9% (B), (Photo personnelle, 2019).

#### 2.7.2.2. Inclusion :

Le principe de l'inclusion consiste à traiter les pièces dans un ordre déterminé par différents solvants de manière à faire pénétrer dans le tissu, à l'origine hydraté, une substance hydrophobe, qui maintiendra les constituants structuraux en place lors de la coupe ; ceci implique que la pièce soit soumise à une série de traitements successifs par des mélanges dont chacun est destiné à préparer la pénétration de celui qui le suivra et à éliminer celui qui l'a précédé.

Nos échantillons ont été déposés dans deux bains de formol (10%) pendant une heure puis dans six bains d'alcool (70%, 80% et 100%) pendant une heure et demi chacun suivi de deux bains de xylène pendant une heure et demi avant de passer à l'imprégnation dans deux bains de paraffine pendant deux heures à **40 °C**. Ce procédé est assuré par l'automate à 12 bains (Thermo) (Figure 24).



**Figure 24:** Inclusion dans l'automate à 12 bains, (Photo personnelle, 2019).

### 2.7.2.3. Mise en bloc :

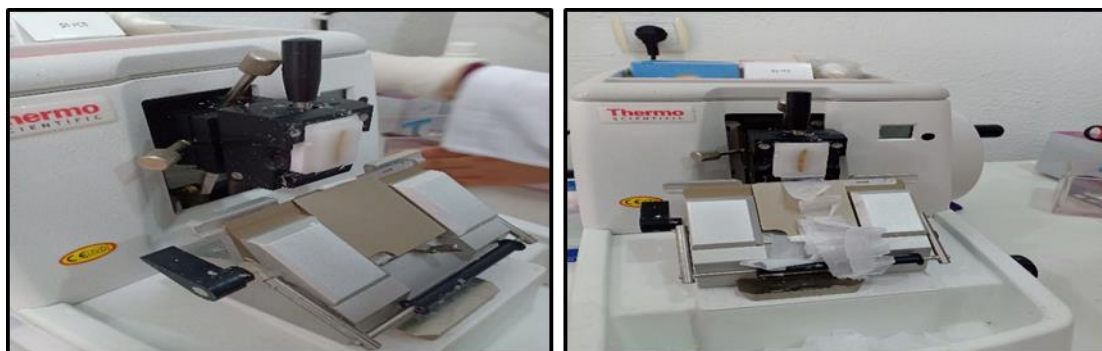
Elle consiste en l'enrobage des échantillons biologiques, déposés de manière transversale dans des moules en inox remplis de paraffine liquide (72 °C) et laisser refroidir sur une plaque refroidissante à -12 °C (Figure 25).



**Figure 25:** Mise en bloc des échantillons, (Photo personnelle, 2019).

### 2.7.2.4. Coupe :

Les coupes des échantillons biologiques ont été réalisées à l'aide d'un microtome (Thermo) après réglage de l'épaisseur à 3µm (Figure 26).



**Figure 26:** Réalisation des coupes fines au microtome Thermo, (Photo personnelle, 2019).

### 2.7.2.5. Etalement des coupes :

Les rubans ont été étalés grâce à de l'eau gélatinée sur des lames porte objets préalablement nettoyés.

### 2.7.2.6. Séchage :

Les lames ont d'abord été séchées sur une plaque chauffante de type (Thermo) à 50 C° pendant une heure (Figure 27).



**Figure 27:** Étalement des rubans et séchage, (Photo personnelle, 2019).

#### 2.7.2.7. Déparaffinage et coloration :

Nos lames ont été débarrassées de la paraffine en les déposant manuellement grâce à un porte lames dans trois bains d'xylène pendant quinze minutes pour les deux premiers bains et pendant cinq minutes pour le troisième suivi de deux bains d'alcool (100%) pendant huit minutes pour le premier et sept minutes pour le deuxième avant d'être rincées à l'eau courante pendant 4 minutes. La coloration des coupes a été réalisée avec une solution d'hématoxyline de Meyer pendant trois minutes, rincées à l'eau pendant huit minutes puis recolorées avec de l'éosine à 2% dont la concentration est de 10g/L d'eau, pendant trois minutes suivies d'un autre rinçage pendant huit minutes. Les lames sont ensuite passées dans un bain d'alcool (100%) pendant une minute (Figure 28).



**Figure 28:** Coloration des coupes à l'hématoxyline de Meyer et à l'éosine, (Photo personnelle, 2019).

#### 2.7.2.8. Montage :

Les lames colorées doivent être protégées par des lamelles ; il est donc nécessaire d'interposer entre lame et lamelle un milieu de montage (goutte d'E-KIT) afin d'éviter le dessèchement et d'assurer la meilleure conservation possible.

#### **2.7.2.9. Observation :**

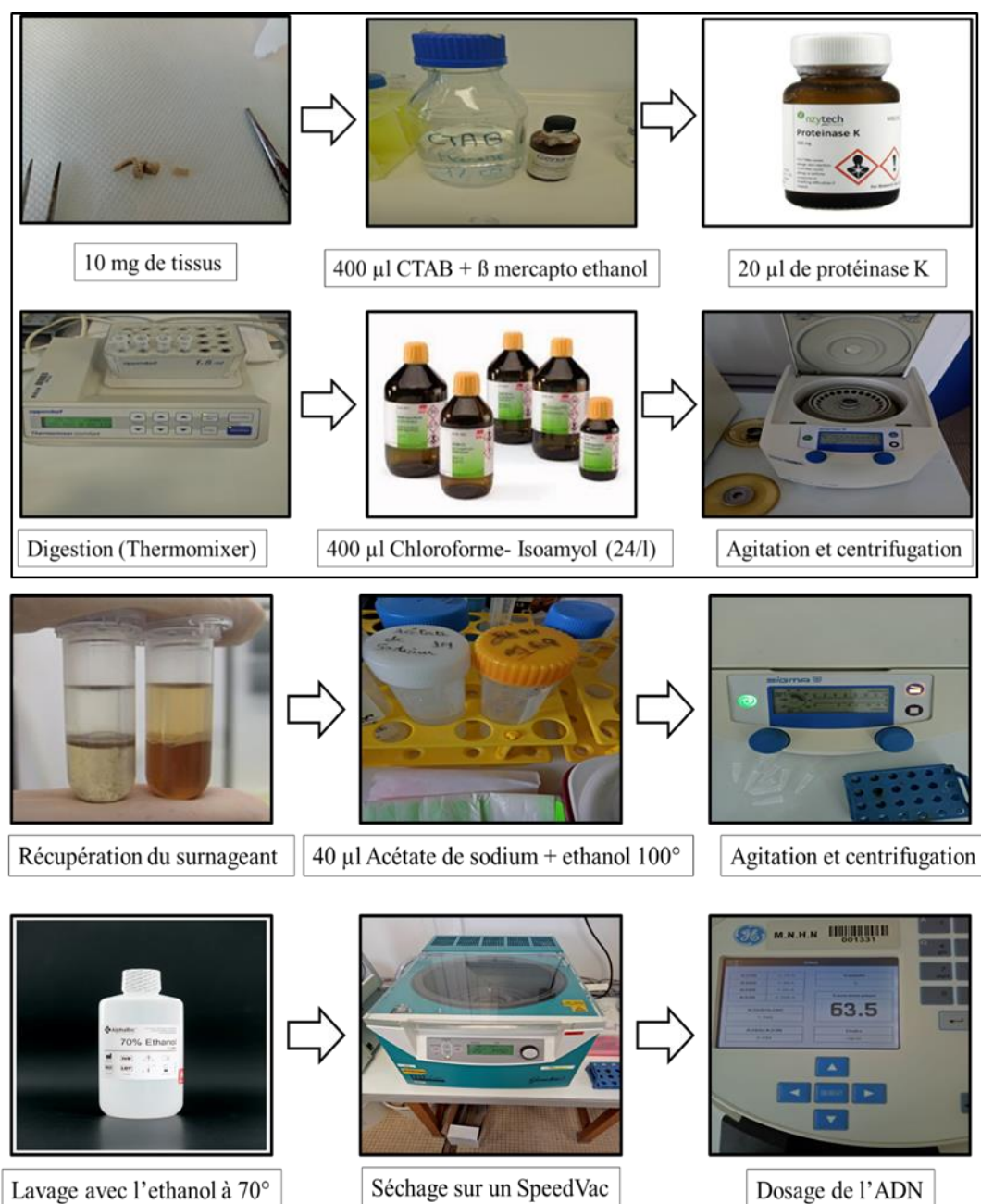
Les lames ainsi prêtes, l'observation a pu facilement être faite sous microscope optique.

### **2.8. Analyse phylogénétique et phylogéographique :**

#### **2.8.1. Extraction et dosage de l'ADN génomique :**

Notre étude phylogénétique et phylogéographique a été effectuée à la Station de Biologie Marine de Concarneau Novembre 2017 et à l'Université du Mans Décembre 2018 en France. Une soixantaine d'individus de *P. cultrifera* provenant des trois sites d'étude ont été extraits. Pour chaque individu un fragment de 10 mg de tissu a suffi à l'extraction de l'ADN génomique.

Les échantillons ont été conservés dans l'éthanol 95°. L'extraction d'ADN a été réalisée par la suite au CTAB selon le protocole de Winnepenninckx *et al.* 1993. 10 mg de tissu prélevé chez les vers sont placés dans 600µl de solution d'extraction (Tris HCl 100mM pH 8, EDTA 20 mM pH 8, NaCl 1.4 M, CTAB 2%,  $\beta$ -mercaptoethanol 0.2%). A l'homogénéat sont ajoutés 20µl de protéinase K pour hydrolyser toutes les protéines. Après une heure de chauffage à 50°C, 600µl de chloroforme-Isoamyl sont ajoutés au mélange afin de provoquer une émulsion séparant les protéines de l'ADN. Après centrifugation (15000g, 10 min), les ADN totaux du surnageant sont précipités par ajout de 30µl d'acétate de sodium et de 1.3 ml d'éthanol absolu. Les ADN totaux sont ensuite culotés par centrifugation (15000g, 10min), lavés par l'éthanol 70, séchés et repris dans 50µl d'eau ultra pure. La concentration en ADN a ensuite été mesurée à 260 nm et 280 nm au moyen d'un spectrophotomètre (Ulrospec 2100 pro UV/visible spectrophotometer). Le rapport des valeurs d'absorbance 260/280 nm a permis d'estimer la pureté de l'extrait. Un ratio compris entre 1,8 et 2 dénote un extrait d'ADN de bonne qualité, c'est-à-dire sans contamination par des protéines ou par les produits utilisés pour l'extraction. Les ADN extraits ont été par la suite dilués à une concentration de 100ng/µl pour l'amplification par PCR et le séquençage.



**Figure 29:** Principales étapes de l'extraction et du dosage de l'ADN, (Photo personnelle, 2018).

### 2.8.2. PCR (Polymerase chain reaction) :

La PCR (Polymerase Chain Reaction) consiste en l'amplification exponentielle d'un fragment d'ADN spécifique par copies multiples à l'aide de deux amorces spécifiques et d'une enzyme, la Taq ADN polymérase.

Les ADN extraits ont été amplifiés par PCR suivant le protocole du kit illustra™ Ready-ToGo PCR Beads Amplification Kits (GE Healthcare). L'amplification a été réalisée à partir de 100 ng d'ADN matrice. Les étapes d'amplification comportent une dénaturation de 3 min à 94°C, d'une hybridation de 1 min à une température variable suivant les amorces utilisées



(Tableau 6) et d'une élongation de 1 min à 72°C. Trente cycles d'amplification sont effectués par PCR. Chaque ADN a été amplifié par PCR avec le marqueur nucléaire ITS1 et COI.

A l'issue de la PCR la spécificité du couple d'amorces a été vérifiée par migration de 5 µL de produits d'amplification par électrophorèse sur un gel d'agarose 1%. Le marqueur de taille 100 pdb DNA Ladder (Promega) a été utilisé pour vérifier la longueur du ou des fragments amplifiés par rapport à la longueur attendue.

**Tableau 6:** Les différentes amorces utilisées les deux gènes ITS1 et COI.

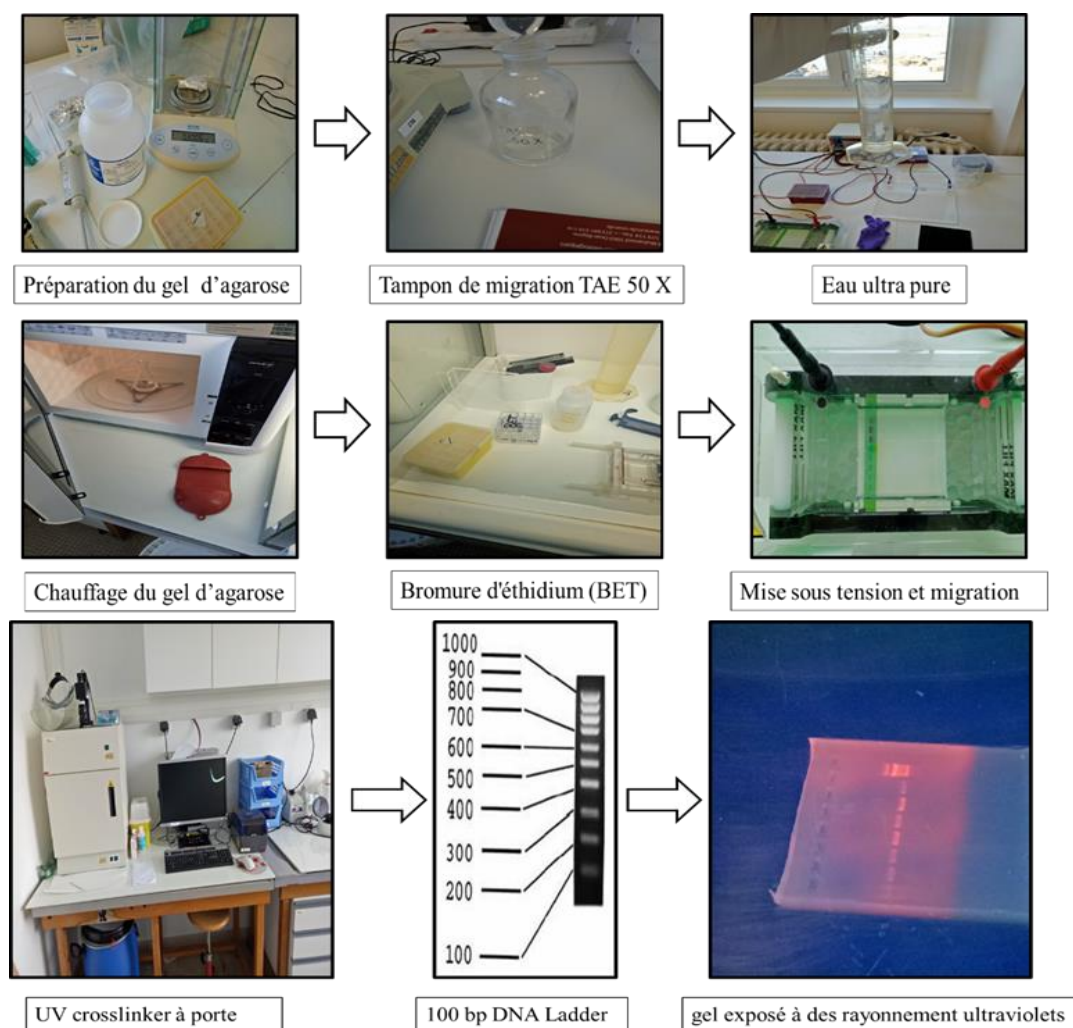
Nom de l'amorce	Séquence (5' 3' )	T° d'hybridation
<b>Amorces spécifiques du gène ITS1</b> <b>Its1a</b> <b>Its1b</b>	(Denis <i>et al.</i> 2009) cacaccgcccgtcgctacta tcgaccacgagccgagtgat	52 ° C 52° C
<b>Amorces spécifiques du gène COI</b> <b>COIa</b> <b>COIb</b>	(Folmer <i>et al.</i> 1994) ggtaacaaatcataaagatattgg taaacttcagggtgacaaaaaatca	40 ° C 40 ° C



**Figure 30:** Thermocycleur automatisant la réaction de PCR, (Photo personnelle, 2018).

### 2.8.3. Préparation des gels (électrophorèse) :

Le produit de PCR obtenu est déposé sur un gel d'électrophorèse. La migration de l'ADN est réalisée sur un gel d'agarose. 0,3g d'agarose sont ajoutés à 0,6 ml de tampon de migration TAE 50 X et 30 ml d'H<sub>2</sub>O, la solution est chauffée dans un four à micro-ondes jusqu'à ébullition. La solution est versée dans une cuve où 3 µl de bromure d'éthidium (BET) sont également ajoutés. Une quinzaine de minutes est suffisante pour une bonne polymérisation du gel. Une fois les échantillons et le marqueur de taille déposés, l'électrophorèse est effectuée à 72 (V) pendant 45 minutes.



**Figure 31:** Principales étapes de l'électrophorèse de l'ADN sur gel d'agarose, (Photo personnelle, 2018).

#### 2.8.4. Séquençage de l'ADN :

Le séquençage a été effectué à partir du produit PCR non purifié selon les recommandations de la société « Beckman Coulter Genomics ». Les produits PCR sont envoyés par poste et les résultats sont obtenus par internet. Le séquençage effectué par cette société repose sur le principe de Sanger.

#### 2.8.5. Analyse de données de séquençage :

##### Alignement et correction des séquences liées aux erreurs du séquenceur

Tout d'abord, une vérification qui consiste à réaliser un « blast » (basic local alignment searchtool) de la séquence obtenue (« query séquence ») dans la base de donnée **Genbank** (Nucleic Acid Research, 2008) est réalisée afin de vérifier si la séquence correspondait bien à notre espèce identifiée morphologiquement. Ensuite, nous avons effectué une observation de l'intensité des pics des chromatogrammes. Les séquences dont les chromatogrammes (séquences « forward » et « reverse ») présentaient un bruit de fond élevé n'ont pas été analysées afin de limiter les erreurs. Une correspondance entre les bases inscrites par le séquenceur et les pics des chromatogrammes est ensuite vérifiée. Enfin, les séquences ont été



alignées via **Clustal W** (Thompson *et al.* 1994) grâce au logiciel « MEGA-X » et l'alignement a été vérifié visuellement.

## **2.9. Analyse statistique et traitement des données :**

Les résultats obtenus sont représentés par la moyenne suivie de l'écart type ( $m \pm s$ ). La régression linéaire ainsi que l'analyse de la variance à un, deux et trois critères de classification ont été réalisées respectivement. L'analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA) a été utilisée afin de comparer les moyennes deux à deux. Cette analyse a été appuyée par le test de Tukey. La comparaison des effets (mois, site et type d'épitoquie) a été effectuée par l'analyse de la variance (ANOVA) à un, deux et trois critères de classification. La relation entre les différents paramètres a été effectuée par l'analyse de corrélation de Pearson ainsi que l'analyse des composantes principales (ACP). Les tests statistiques ont été effectués grâce au **logiciel R** version 3.3.3 d'analyse et de traitement statistique des données.

# RÉSULTATS

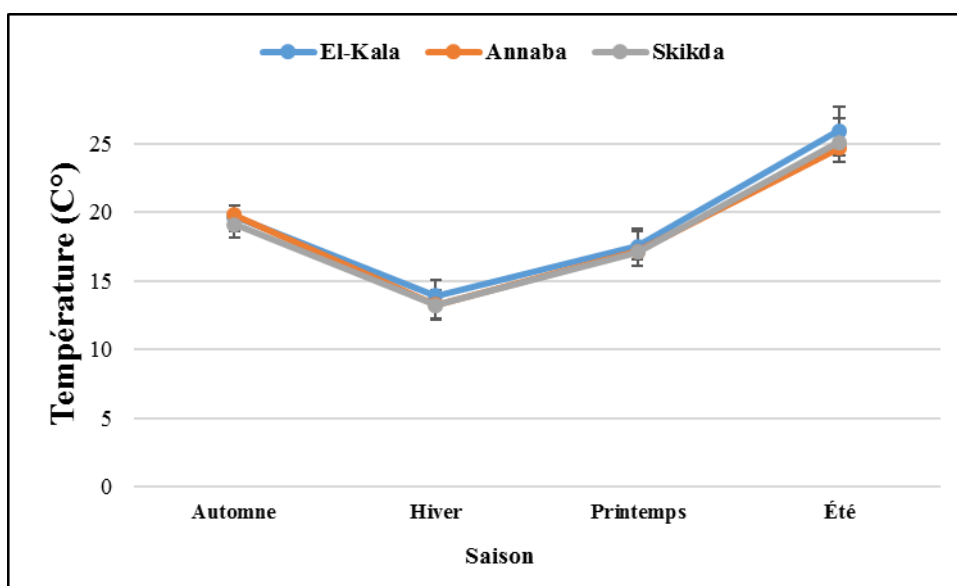
« La science sans religion est boiteuse, la religion sans science est aveugle »  
Albert Einstein

### 3. RÉSULTATS :

#### 3.1. Analyse physico-chimique de l'eau de mer :

D'après l'examen des différents paramètres physico-chimiques de l'eau de mer mesurés *in situ* au niveau des trois sites d'étude : El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud), et Skikda (Bikini), et ce, durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016, (Figures 32, 33, 34 ; Tableau 7).

Par ailleurs, les températures de l'eau de mer fluctuent d'une manière similaire au niveau des trois sites d'étude, celles enregistrées au niveau d'El-Kala (La Montagne) sont légèrement supérieures à celles relevées au niveau d'Annaba (Saint-Cloud), et Skikda (Bikini), ; Les valeurs enregistrées en saison Hivernale annoncent une importante diminution, où les températures sont de  $13,93 \pm 1,15$  C° à El-Kala (La Montagne),  $13,26 \pm 1,02$  à Annaba (Saint-Cloud) et  $13,02 \pm 1,15$  C° à Skikda (Bikini), une augmentation progressive est observée, d'abord au Printemps, puis en Été durant lequel les températures atteignent leurs pics avec  $25,93 \pm 1,80$  C° à El-Kala (La Montagne),  $24,66 \pm 1,15$  à Annaba (Saint-Cloud) et  $26,1 \pm 1,73$  C° à Skikda (Bikini).

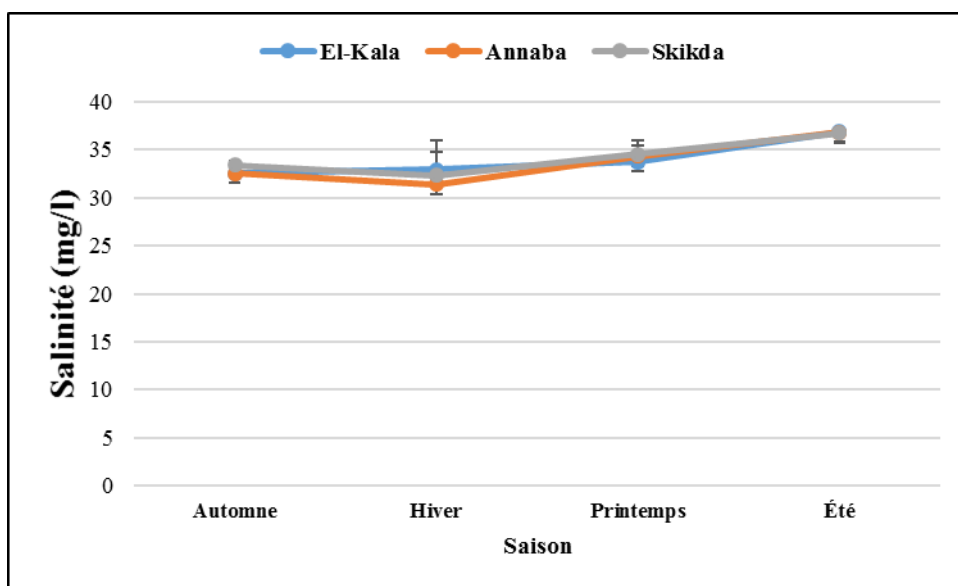


**Figure 32:** Variations saisonnières de la température (C°) de l'eau de mer prélevée au niveau des trois sites d'étude : El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016.

L'analyse ANOVA à un seul facteur contrôlé ne montre aucune différence significative entre les moyennes de température, au niveau des différents sites d'étude ( $P > 0,05$ ), et ce, durant les quatre saisons (Tableau 7).

Le test de Tukey nous a permis de classer les trois sites en un seul groupe A au cours de toutes les saisons d'étude (Tableau 7).

Sur l'ensemble des sites, les mesures de la salinité (mg/l) montrent des fluctuations spatiotemporelles similaires, d'une manière générale les basses salinités sont observées d'abord en Automne puis en Hiver où nous avons enregistrées une diminution des valeurs avec un minimum au niveau d'Annaba (Saint-Cloud)  $31,36 \pm 1,20$  (mg/l) et  $32,33 \pm 2,40$  (mg/l) pour le site de Skikda (Bikini) contre une légère élévation au niveau d'El-Kala (La Montagne)  $32,96 \pm 3,07$  (mg/l). La salinité croît régulièrement durant la saison printanière puis estivale où elle atteint des valeurs maximales illustrées par un pic de  $36,86 \pm 0,20$  (mg/l) au niveau d'El-Kala (La Montagne).



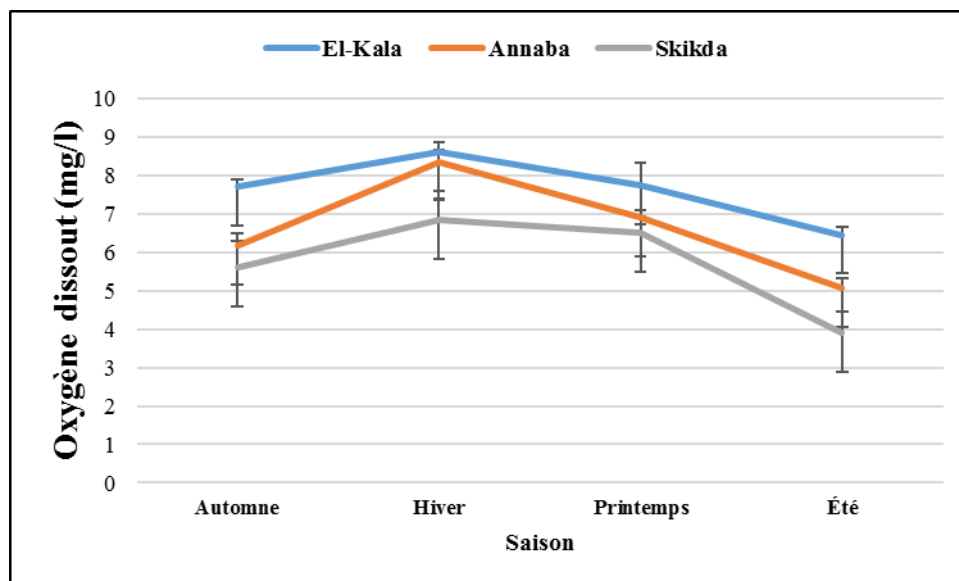
**Figure 33:** Variations saisonnières de la salinité (mg/l) de l'eau de mer prélevée au niveau des trois sites d'étude : El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016.

L'analyse ANOVA à un seul facteur contrôlé ne montre aucune différence significative entre les moyennes de la salinité, au niveau des différentes sites d'étude ( $P > 0,05$ ), et ce, durant les quatre saisons (Tableau 7).

Le test de Tukey nous a permis de classer les trois sites en un seul groupe A au cours de toutes les saisons d'étude (Tableau 7).

En revanche, les concentrations en oxygène dissout (mg/l) fluctuent de façon très importante au niveau des 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 d'abord une faible diminution des valeurs en saison printanière tandis qu'en Été les valeurs enregistrées déclinent fortement.

Durant le cycle d'étude le site d'El-kala (La Montagne) présente les concentrations les plus élevées en oxygène dissout avec un pic de  $8,6 \pm 0,26$  (mg/l) atteint durant la saison Hivernale alors que les plus faibles concentrations ont été observées au niveau de Skikda (Bikini) avec un minimum de  $3,90 \pm 0,55$  (mg/l) enregistré en Été.

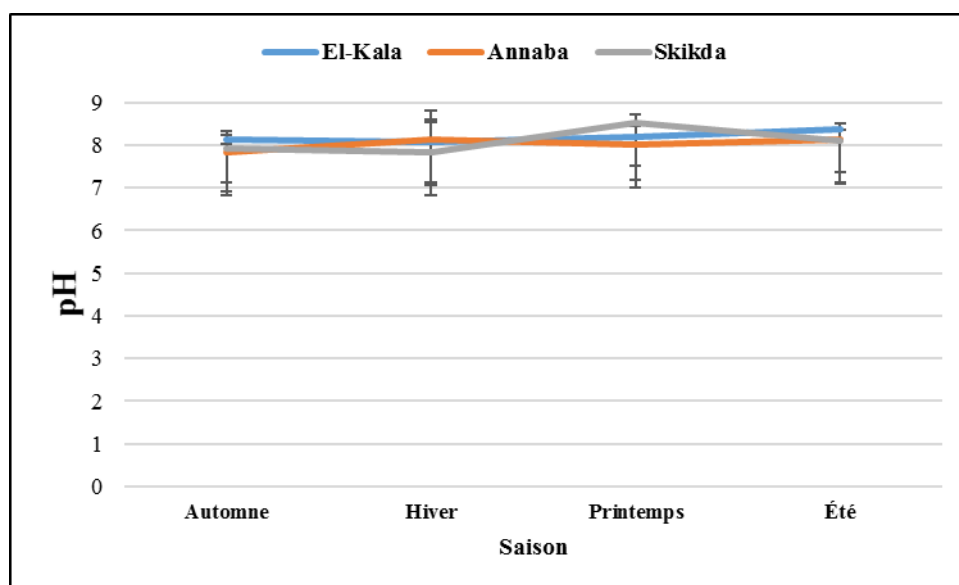


**Figure 34:** Variations saisonnières de la concentration en oxygène dissout (mg/l) de l'eau de mer prélevée au niveau des trois sites d'étude : El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016.

L'analyse ANOVA à un seul facteur de contrôle indique une différence très significative entre les moyennes de l'oxygène dissout, au niveau des différents sites d'étude ( $P < 0,05$ ) durant le Printemps, et une différence hautement significative ( $P < 0,01$ ) en Automne et en Hiver alors qu'une différence très hautement significative ( $P < 0,001$ ) a été enregistrée durant l'Été (Tableau 7).

Le test de Tukey nous a permis de classer les différents sites d'étude en deux et trois groupes selon la saison ; durant l'Automne, l'Hiver et l'Été deux groupes sont identifiés, la saison Automnale est représentée par le groupe A au niveau d'El-kala (La Montagne) et le groupe B au niveau d'Annaba (Saint-Cloud) et Skikda (Bikini). En Hiver le groupe A caractérise les deux sites El-kala (La Montagne) et Annaba (Saint-Cloud) tandis que le groupe B représente le site Skikda (Bikini). En revanche durant l'Été le groupe A représente les sites El-kala (La Montagne) et Annaba (Saint-Cloud) et le groupe C caractérise le site Skikda (Bikini). Par ailleurs, on classe trois groupes durant le Printemps : AB pour Annaba (Saint-Cloud), A pour El-kala (La Montagne) et B pour Skikda (Bikini), (Tableau 7).

Les valeurs du pH révèlent des variations relativement proches au niveau des trois sites d'étude, avec un pH légèrement alcalin inférieur au niveau d'Annaba (Saint-Cloud) et Skikda (Bikini) par rapport à celles enregistrées au niveau d'El-Kala (La Montagne) à l'exception des valeurs observées à Skikda (Bikini) en saison Printanière où on constate l'inverse. Les valeurs les plus faibles sont de  $7,83 \pm 0,21$  et  $7,83 \pm 0,72$  détectées respectivement au niveau d'Annaba (Saint-Cloud) et de Skikda (Bikini).



**Figure 35:** Variations saisonnières du pH de l’eau de mer prélevée au niveau des trois sites d’étude El-Kala : (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l’année 2016.

L’analyse ANOVA à un seul facteur contrôlé ne montre aucune différence significative entre les moyennes de pH, au niveau des différents sites d’étude ( $P > 0,05$ ), et ce, durant les quatre saisons (Tableau 7).

Le test de Tukey nous a permis de classer les trois sites en un seul groupe A au cours de toutes les saisons d’étude (Tableau 7).

**Tableau 7:** Traitement statistique des paramètres physico-chimiques : température (C°), salinité (mg/l), oxygène dissout (mg/l), et pH de l'eau de mer, au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

Saison	Site/Paramètre			
	La Montagne	Saint-Cloud	Bikini	P
	<b>Température</b>			
<b>Automne</b>	19,66 ± 0,85 <b>A</b>	19,83 ± 0,68 <b>A</b>	19,13 ± 0,66 <b>A</b>	<b>0,517 NS</b>
<b>Hiver</b>	13,93 ± 1,15 <b>A</b>	13,26 ± 1,02 <b>A</b>	13,2 ± 1,15 <b>A</b>	<b>0,689 NS</b>
<b>Printemps</b>	17,53 ± 1,26 <b>A</b>	17,13 ± 1,45 <b>A</b>	17,12 ± 1,72 <b>A</b>	<b>0,932 NS</b>
<b>Été</b>	25,93 ± 1,80 <b>A</b>	24,66 ± 1,15 <b>A</b>	25,1 ± 1,73 <b>A</b>	<b>0,635 NS</b>
	<b>Salinité</b>			
<b>Automne</b>	32,53 ± 1,35 <b>A</b>	32,5 ± 1,08 <b>A</b>	33,43 ± 0,25 <b>A</b>	<b>0,484 NS</b>
<b>Hiver</b>	32,96 ± 3,07 <b>A</b>	31,36 ± 1,20 <b>A</b>	32,33 ± 2,40 <b>A</b>	<b>0,718 NS</b>
<b>Printemps</b>	33,7 ± 1,80 <b>A</b>	34,33 ± 1,70 <b>A</b>	34,56 ± 0,85 <b>A</b>	<b>0,778 NS</b>
<b>Été</b>	36,86 ± 0,20 <b>A</b>	36,8 ± 0,26 <b>A</b>	36,76 ± 0,15 <b>A</b>	<b>0,847 NS</b>
	<b>Oxygène dissout</b>			
<b>Automne</b>	7,7 ± 0,20 <b>A</b>	6,17 ± 0,32 <b>B</b>	5,60 ± 0,70 <b>B</b>	<b>0,003**</b>
<b>Hiver</b>	8,6 ± 0,26 <b>A</b>	8,36 ± 0,32 <b>A</b>	6,83 ± 0,56 <b>B</b>	<b>0,004**</b>
<b>Printemps</b>	7,73 ± 0,60 <b>A</b>	6,90 ± 0,20 <b>AB</b>	6,50 ± 0,43 <b>B</b>	<b>0,037*</b>
<b>Été</b>	6,46 ± 0,21 <b>A</b>	5,06 ± 0,26 <b>A</b>	3,90 ± 0,55 <b>C</b>	<b>0,000***</b>
	<b>pH</b>			
<b>Automne</b>	8,13 ± 0,20 <b>A</b>	7,83 ± 0,21 <b>A</b>	7,93 ± 0,30 <b>A</b>	<b>0,373 NS</b>
<b>Hiver</b>	8,06 ± 0,55 <b>A</b>	8,12 ± 0,68 <b>A</b>	7,83 ± 0,72 <b>A</b>	<b>0,828 NS</b>
<b>Printemps</b>	8,2 ± 0,26 <b>A</b>	8 ± 0,50 <b>A</b>	8,53 ± 0,20 <b>A</b>	<b>0,244 NS</b>
<b>Été</b>	8,36 ± 0,15 <b>A</b>	8,13 ± 0,37 <b>A</b>	8,1 ± 0,26 <b>A</b>	<b>0,491 NS</b>

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



### 3.2. Inventaire et biodiversité :

Dans le but de réaliser l'inventaire faunistique et floristique des trois sites d'étude : El-Kala (la Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Skikda (Bikini), nous avons identifié les différents groupes zoologiques et botaniques récoltés durant la période d'étude qui s'étale de Janvier à Décembre de l'année 2016. Les Nereididae sont d'abord isolés des autres Polychètes, ils sont caractérisés par leur corps allongé et segmenté, et plus précisément 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 ; en fin des parapodes biramés, et des soies composées, comme cité dans la description de la famille Nereididae dans Fauchald (1977).

L'identification du genre *Perinereis* a été basée sur les éléments clé décrit par Fauvel (1923), à savoir la forme, et la répartition des paragnathes au niveau des deux anneaux : maxillaire (I, II, III, IV), et oral (V, VI, VII, VIII) ; les caractères morphologiques des parapodes, et de la structure des soies ont également été examinés.

En revanche, l'identification des autres espèces de Nereididae a été basée uniquement sur la forme, et la répartition des paragnathes au niveau des anneaux (maxillaire et oral). Nous nous sommes intéressés dans cette étape au deux zones (VI et V) du fait qu'ils sont caractéristiques du genre et de l'espèce respectivement. Par ailleurs, les spécimens faunistiques et floristiques associés à notre matériel biologique ayant présenté des difficultés d'identification ont été envoyés aux collègues de Biologie Animale appliquée et du département de Biologie Marine.

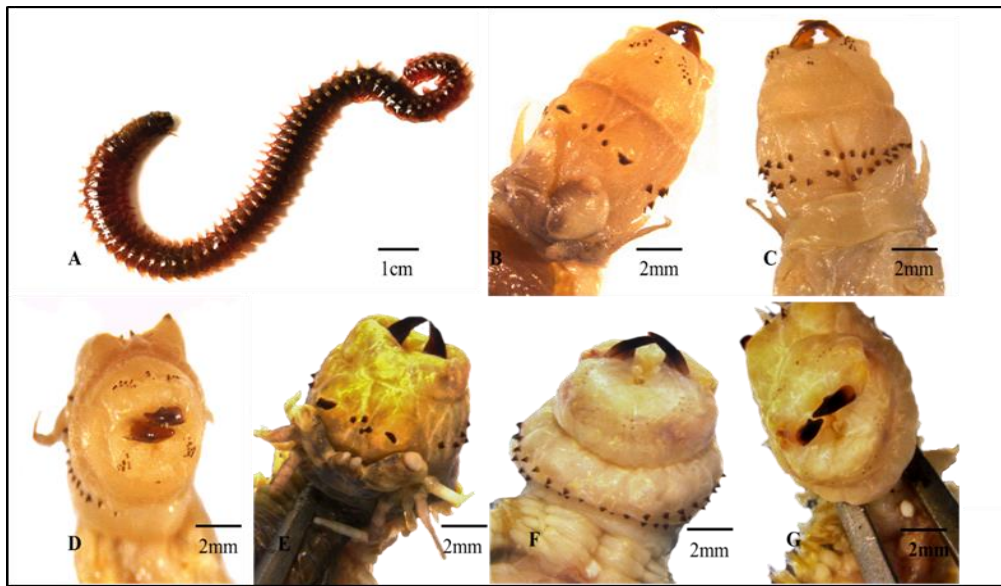
Cela nous a permis d'identifier les taxons suivants de la faune et flore illustrés respectivement (Figures 36 à 65 et 66 à 74), et de dresser des listes taxonomiques correspondantes : (Tableaux 8 et 9).

Le Tableau 8 représente la répartition des différentes espèces macrobenthiques, nous avons observé une répartition des espèces qui est assez homogène au niveau des trois sites : (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda), mais une diversification plus importante et une abondance 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 21 à 18 espèces au niveau (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda).

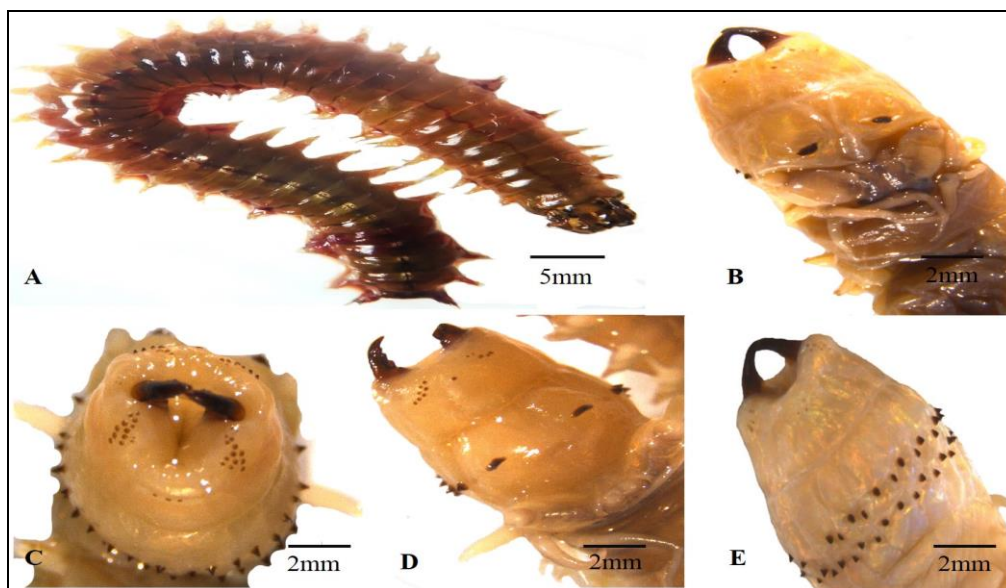
**Tableau 8:** Espèces de macroinvertébrés identifiées et recensées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016.

Famille	Site	El-Kala	Annaba	Skikda
	Espèce			
Nereidae	<i>Perinereis cultrifera</i>	+	+	+
	<i>Perinereis sp</i>	+	+	+
	<i>Perinereis floridana</i>	+	+	-
	<i>Perinereis macropus</i>	+	+	+
	<i>Perinereis marioni</i>	+	+	-
	<i>Perinereis oliveira</i>	+	-	-
	<i>Pseudonereis anomala</i>	-	-	+
	<i>Nereis falsa</i>	+	+	+
	<i>Platynereis dumerilii</i>	+	-	-
Polynoidae	<i>Lepidonotus clava</i>	+	-	-
Phascolosomatidae	<i>Phascolosoma sp</i>	+	+	+
Muricidae	<i>Stramonita haemastoma</i>	+	+	+
Trochidae	<i>Gibbula sp</i>	+	+	+
Patellidae	<i>Patella rustica</i>	+	+	+
	<i>Patella caerulea</i>	+	+	+
	<i>Cymbula safiana</i>	+	+	+
<i>Siphonariidae</i>	<i>siphonaria pectinata</i>	+	-	+
Fissurellidae	<i>Diodora graeca</i>	+	+	+
Mytilidae	<i>mytilus sp</i>	+	+	+
Chitonidae	<i>Acanthochitona sp</i>	+	-	-
Eriphiidae	<i>Eriphia verrucosa</i>	+	+	+
Grapsidae	<i>Pachygrapsus marmoratus</i>	+	+	+
Pisinae	<i>Pisa sp</i>	+	-	-
Majidae	<i>Maja sp</i>	+	-	-
Gammaridae	<i>Amphipoda sp</i>	+	+	+
Cirolanidae	<i>Eurydice pulchra</i>	+	+	+
Arbaciidae	<i>Arbacia lixula</i>	+	+	-
Parechinidae	<i>Paracentrotus lividus</i>	+	-	-
Holothuroidea	Espèce d'holothurie	+	-	-
Actiniidae	<i>Anemonia viridis</i>	+	+	-

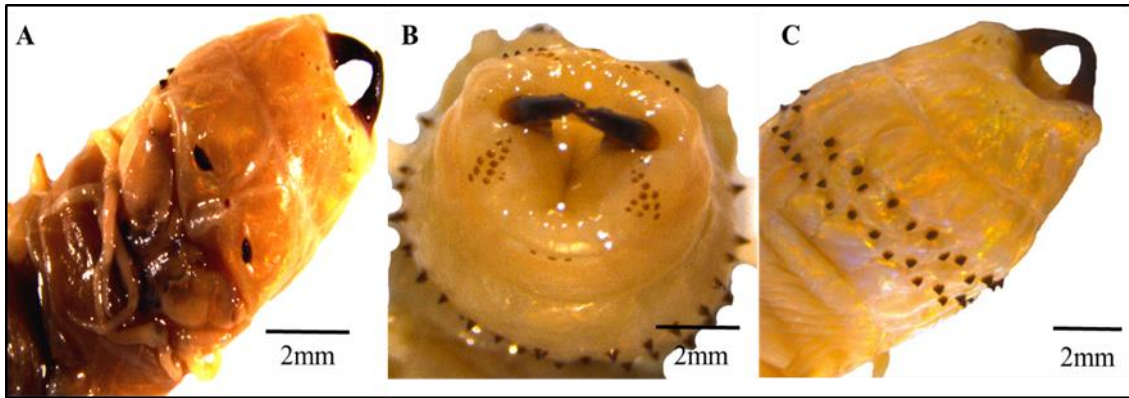
### 3.2.1. Les Nereididae :



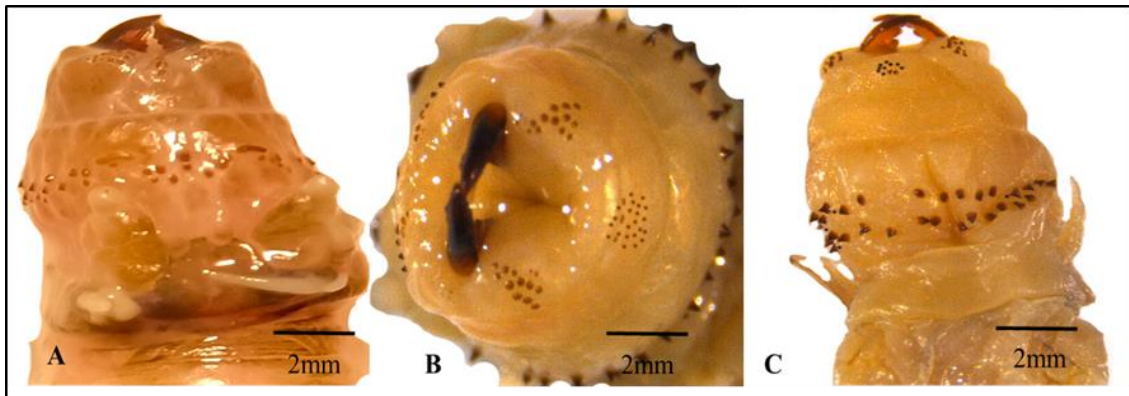
**Figure 36:** *Perinereis cultrifera* : Aspect général dorsal (A) ; face dorsale (B), face ventrale (C) et vue de haut (D) ; face dorsale, face ventrale et vue de haut d'un spécimen ayant un paragnathe supplémentaire au niveau du 5 ème lobe (E, F, G), (Photo Personnelle, 2019).



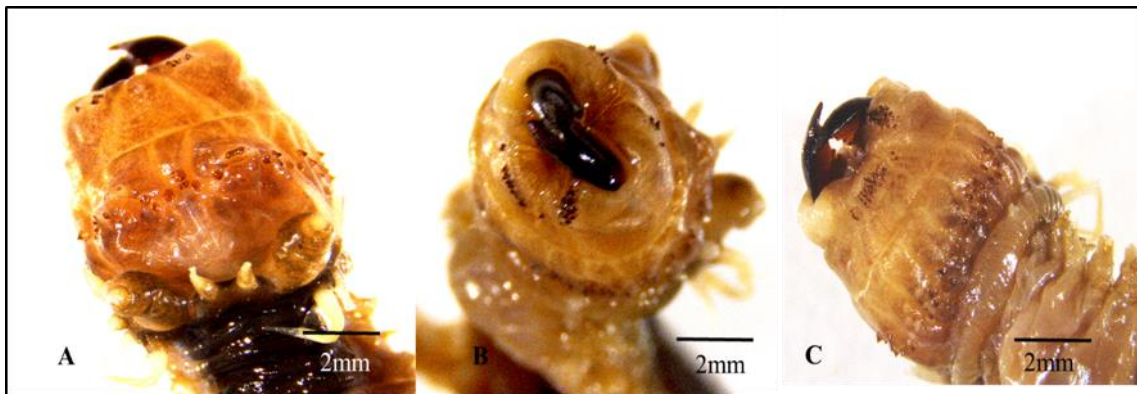
**Figure 37:** *Perinereis* sp : Aspect général dorsal (A) ; faces dorsales (B, D), vue de haut (C) et face ventrale (E), (Photo Personnelle, 2019).



**Figure 38:** *Perinereis floridana* : face dorsale (A), vue de haut (B) et face ventrale (C), (Photo Personnelle, 2019).

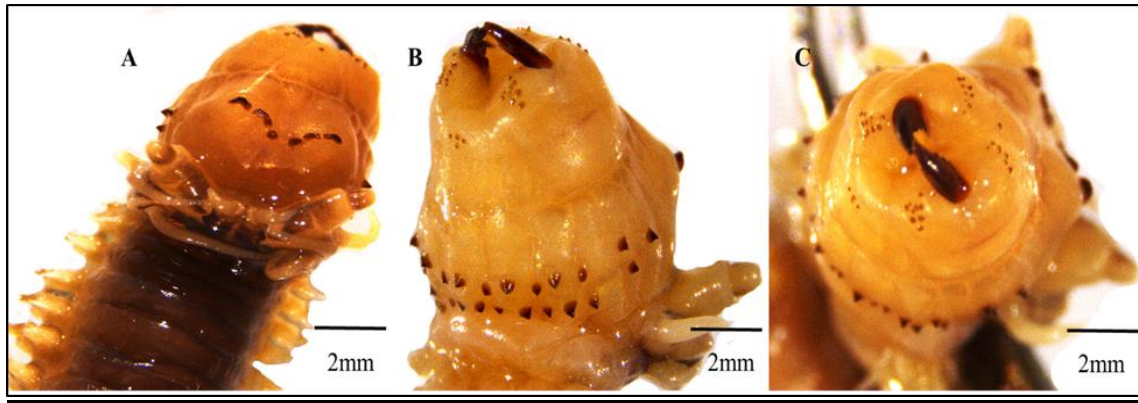


**Figure 39:** *Perinereis macropus* : face dorsale (A), vue de haut (B) et face ventrale (C) de la trompe, (Photo Personnelle, 2019).

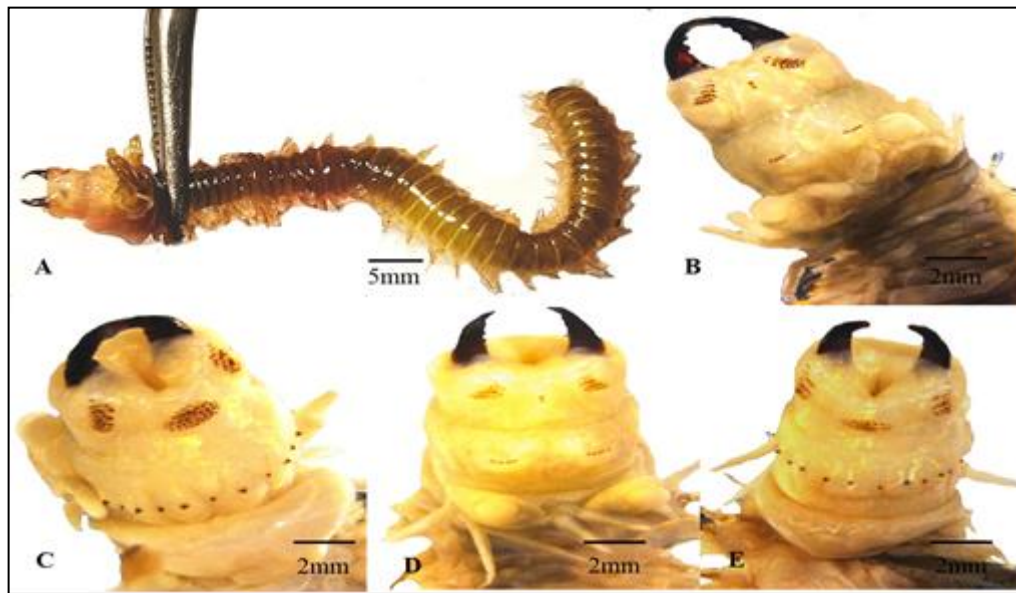


**Figure 40:** *Perinereis marioni* : face dorsale (A), vue de haut (B) et face ventrale (C), (Photo Personnelle, 2019).

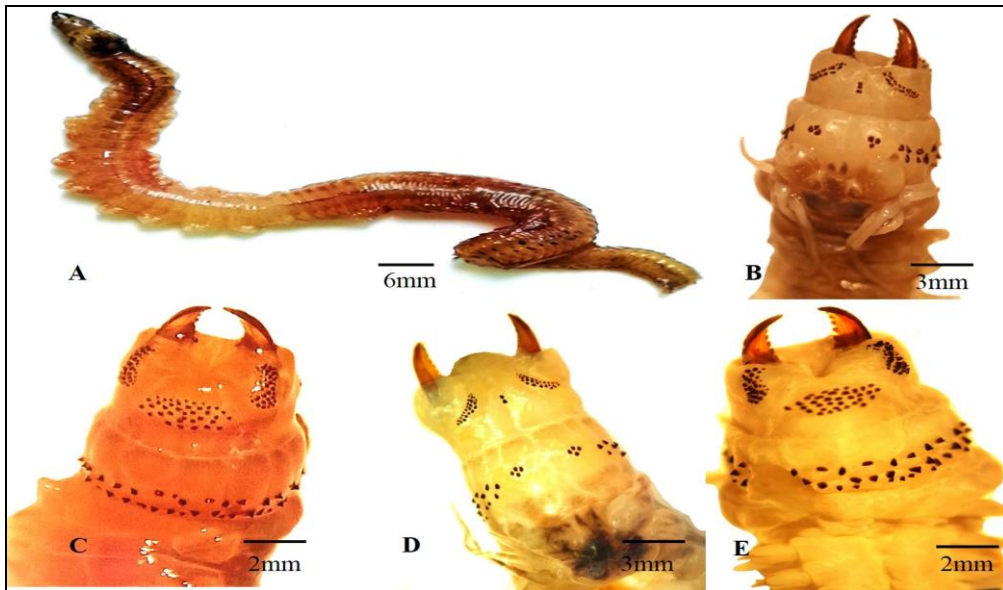




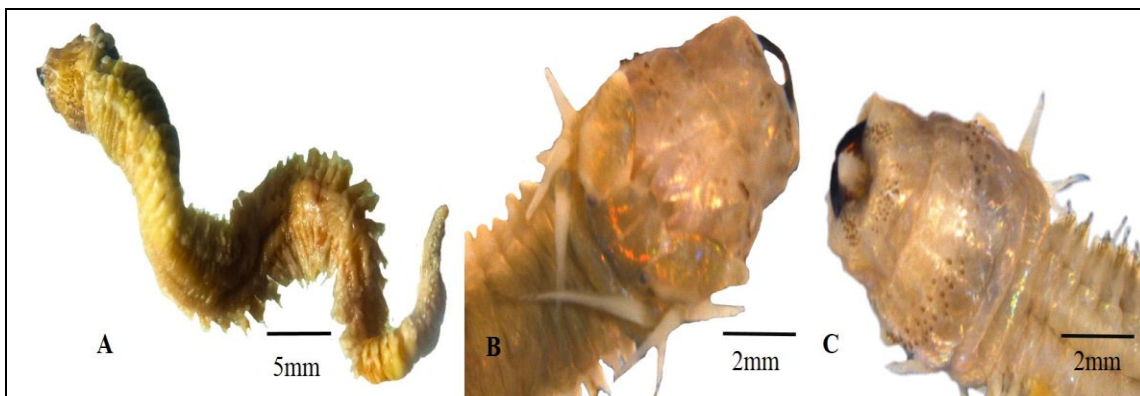
**Figure 41:** *Perinereis oliveira* : face dorsale (A), vue de haut (B) et face ventrale (C), (Photo Personnelle, 2019).



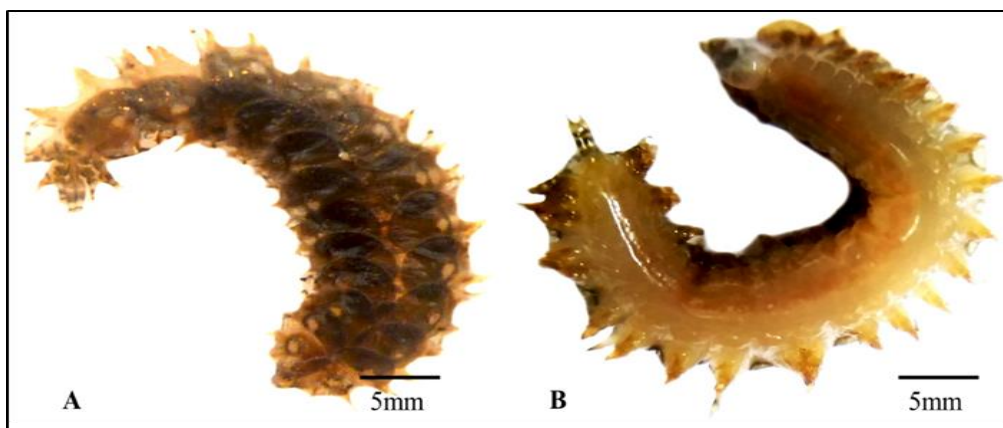
**Figure 42:** *Pseudonereis anomala* : Aspect général dorsal (A) ; faces dorsales (B, D) et faces ventrales (C, E), (Photo Personnelle, 2019).



**Figure 43:** *Nereis falsa* : Aspect général dorsal (A) ; faces dorsales (B, D) et faces ventrales (C, E), (Photo Personnelle, 2019).



**Figure 44:** *Platynereis dumerelii* : Aspect général dorsal (A) ; face dorsale (B) et face ventrale, (Photo Personnelle, 2019).

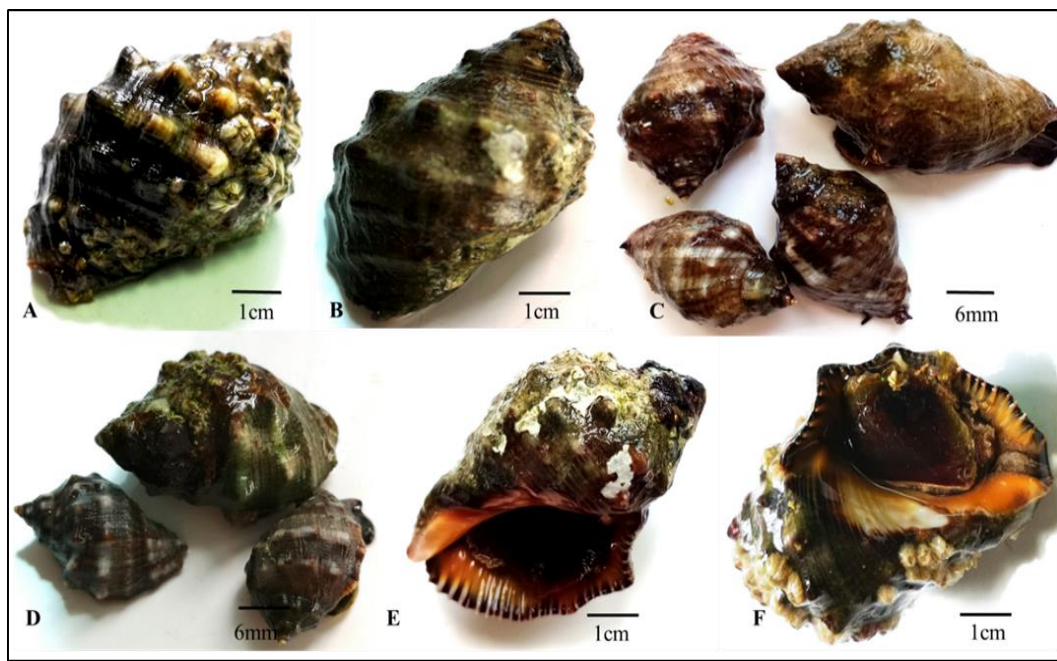


**Figure 45:** *Lepidonotus clava* : Face dorsale (A) et face ventrale (B).



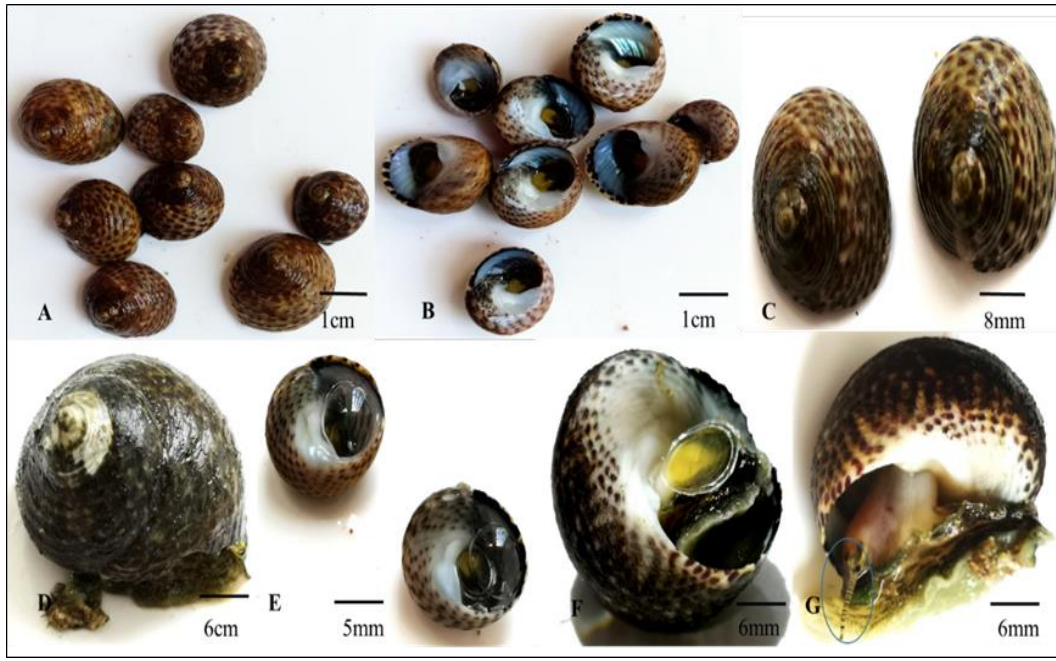
**Figure 46:** *Phascolosoma* sp : Faces dorsales (A, C) et face ventrale (B), (Photo Personnelle, 2019).

### 3.2.2. La Faune associée :

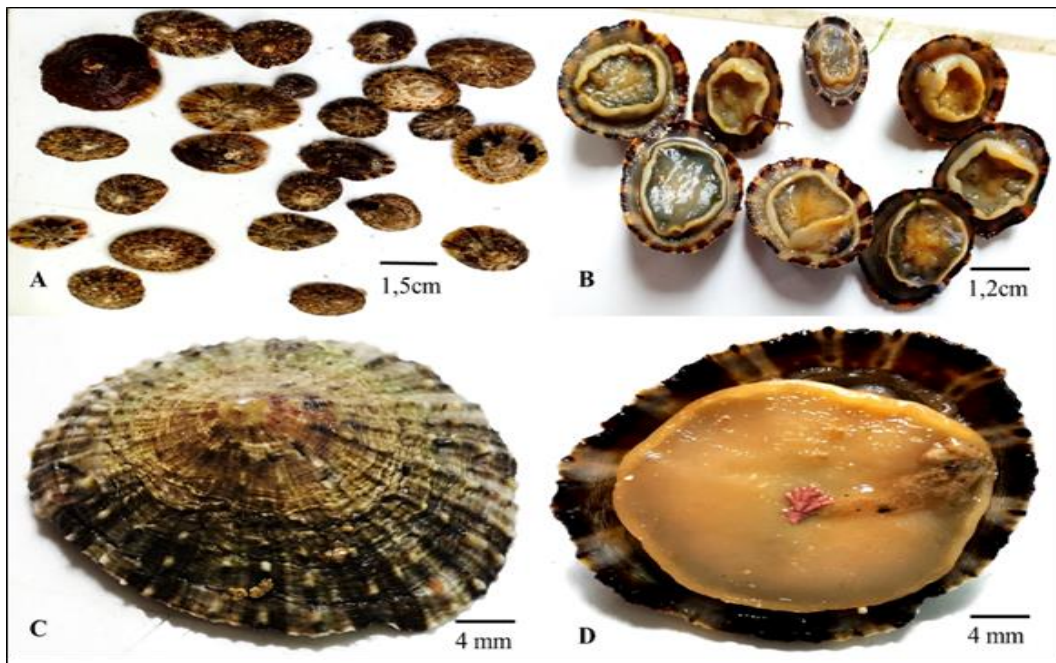


**Figure 47:** *Stramonita haemastoma* : Aspect général des individus adultes (A, B) ; aspect général des individus jeunes montrant la différence des couleurs et des sculptures (C, D) et face ventrale (B) ; Vue ventrale mettant en évidence la forme, la sculpture et la couleur de l'ouverture (E) ; vue ventrale mettant en évidence l'opercule et une partie saillante du pied de l'animal (F), (Photo Personnelle, 2019).

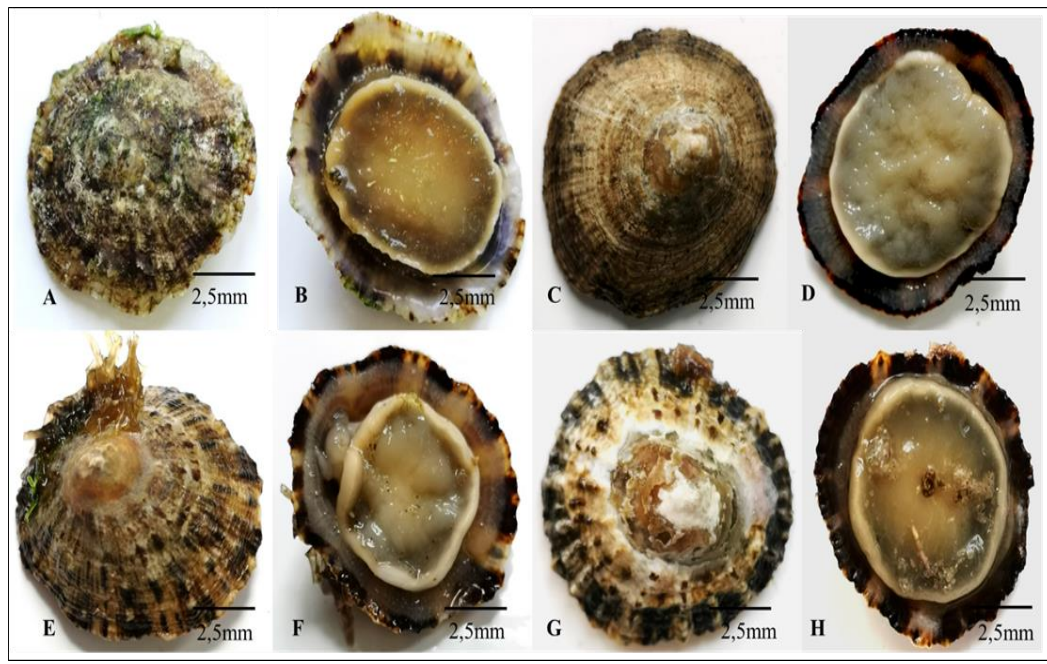




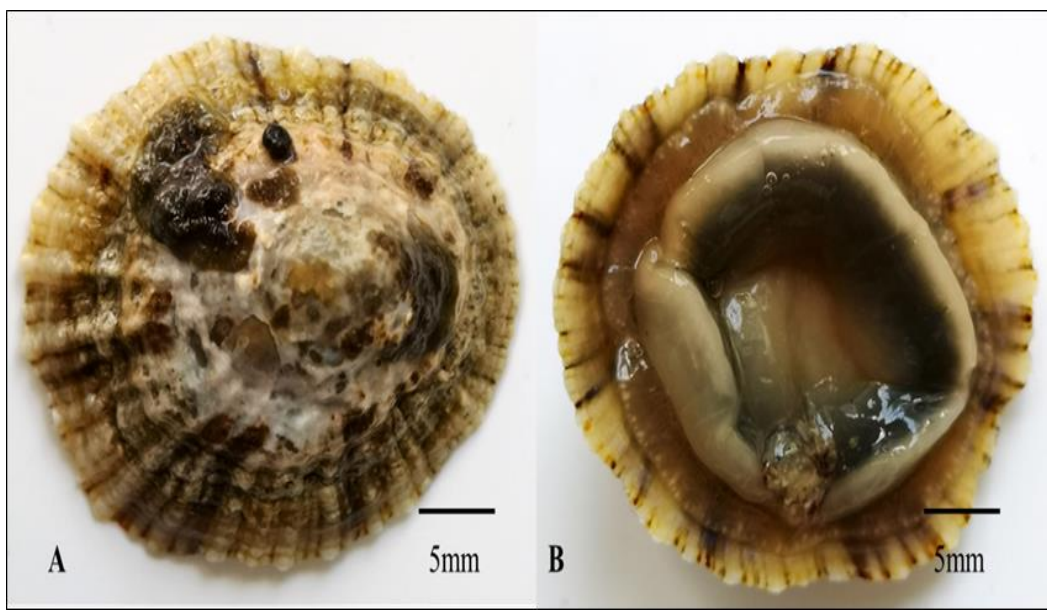
**Figure 48:** *Gibbula sp* : Aspect dorsal (A) et ventral (B, E) ; différentes vues de la partie dorsale (C, D) et face ventrale (B) ; vue ventrale mettant en évidence l’opercule et le pied de l’animal (F) ; vue ventrale montrant la tête et deux tentacules (cercle) (G), (Photo Personnelle, 2019).



**Figure 49:** *Patella rustica* : Aspect général dorsal (A) et ventral (B) des Patellidae ; vue de la partie extérieure de *Patella rustica* montrant les sculptures et l’apex excentrique (C) ; vue de la partie intérieure montrant le pied de l’animal (D), (Photo Personnelle, 2019).

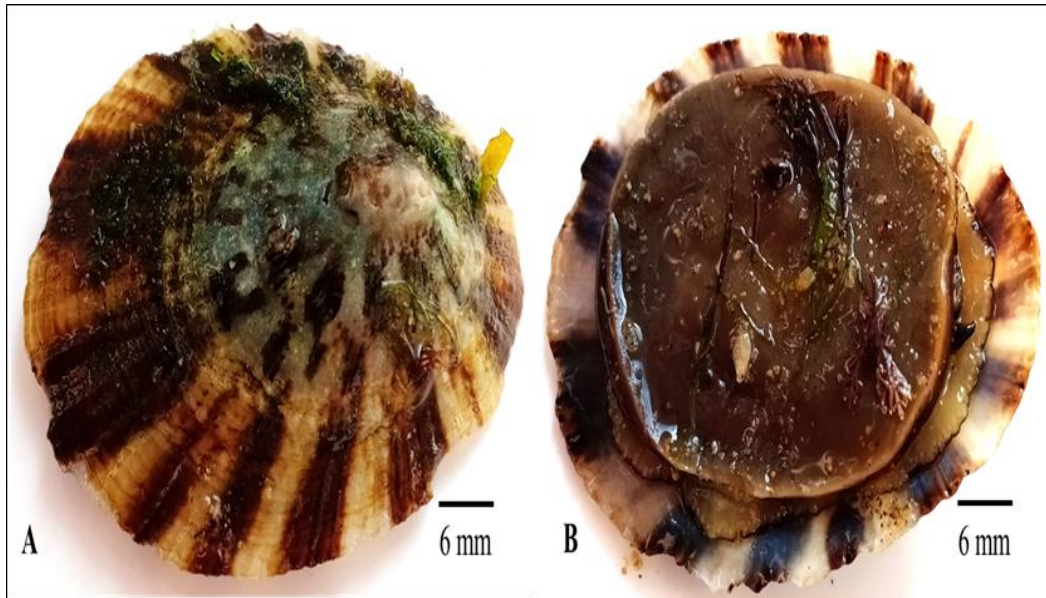


**Figure 50:** Différentes variantes de *Patella rustica* : Faces dorsales (A, C, E, G) et faces ventrales (B, D, F, H), (Photo Personnelle, 2019).

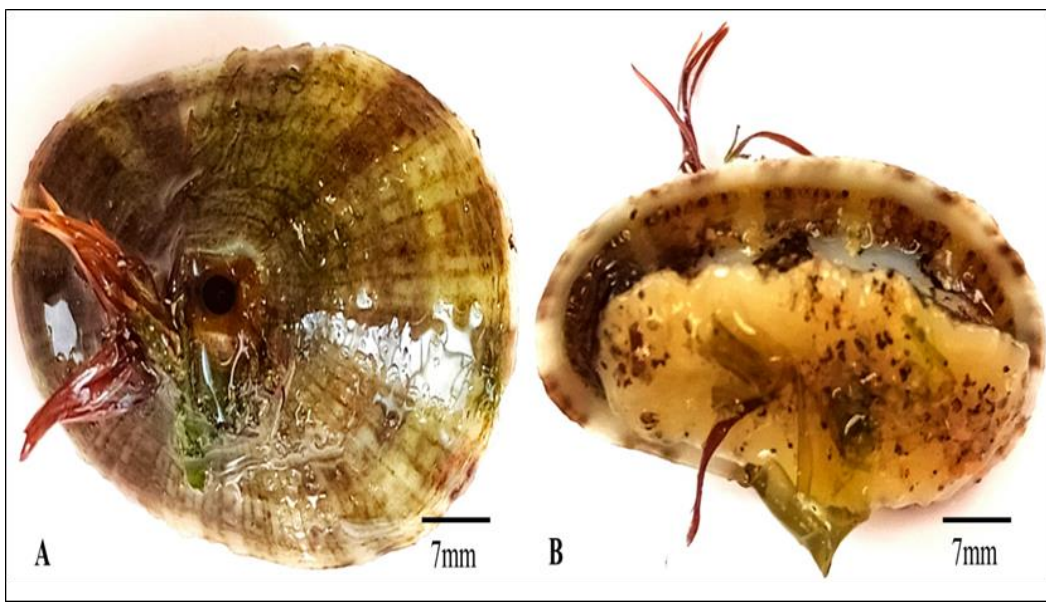


**Figure 51:** *Patella caerulea* : Vue de la partie extérieure de *Patella caerulea* montrant la forme, l'apex excentrique et les bords arrondis (A) ; vue de la partie intérieure montrant le pied de l'animal (Photo Personnelle, 2019).

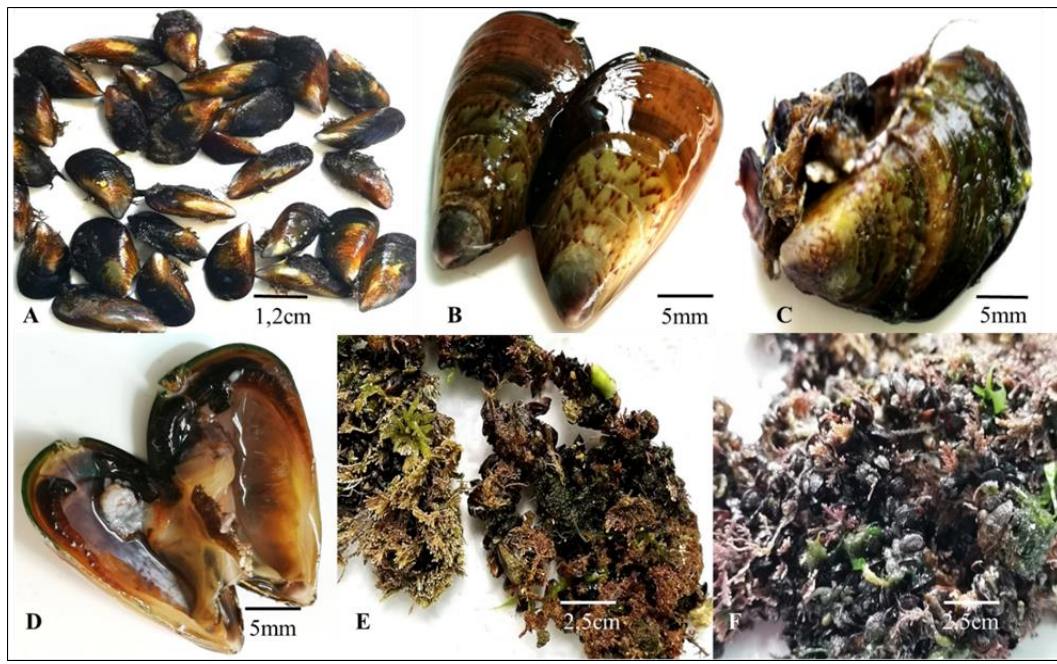




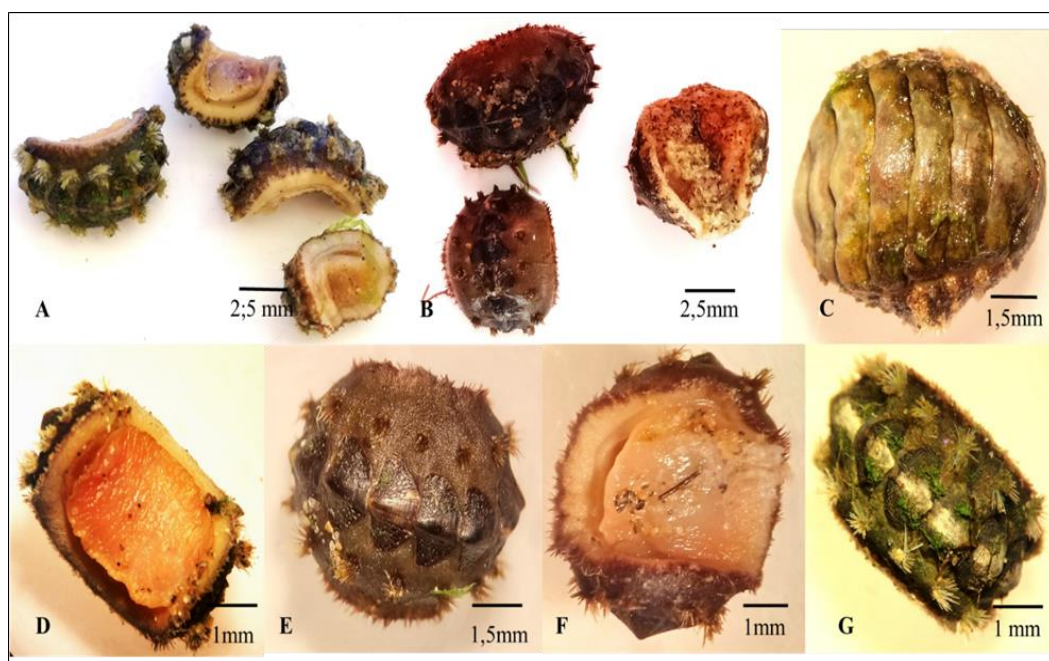
**Figure 52:** *Cymbula safiana* : Vue de la partie extérieure de *Cymbula safiana* montrant la forme, l'apex excentrique et les bords arrondis (A) ; vue de la partie intérieure montrant le pied de l'animal (B), (Photo Personnelle, 2019).



**Figure 53:** *Diodora greaca* : Vue de la partie extérieure de *Diodora greaca* montrant la forme de la coquille (A) ; vue de la partie intérieure montrant le pied de l'animal (B), (Photo Personnelle, 2019).

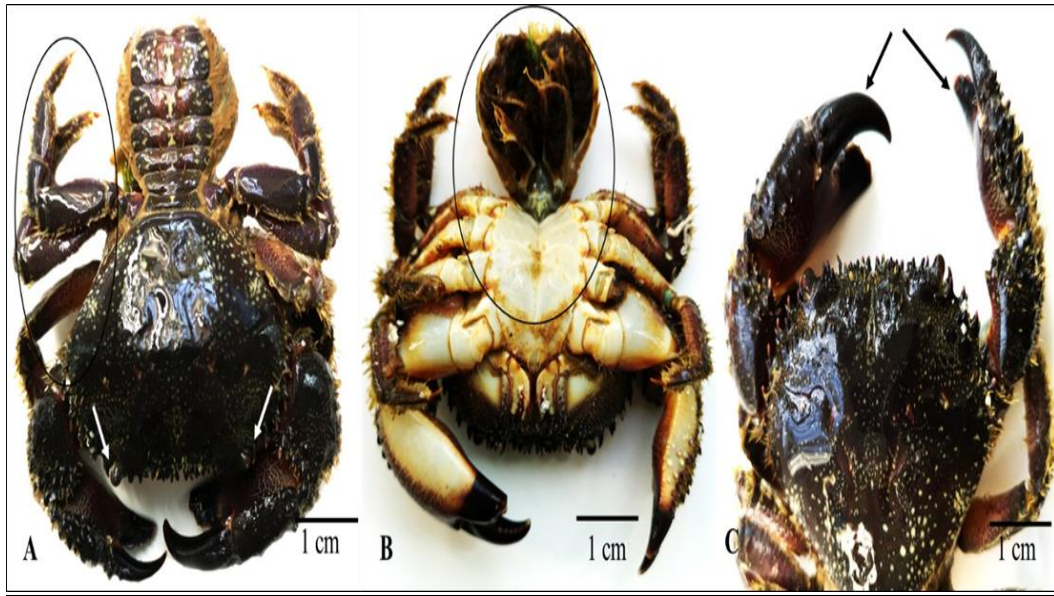


**Figure 54:** *Mytilus sp* : Aspect général des individus adultes (A) ; vue de la partie extérieure de l'animal (B, C) ; vue de la partie intérieure de la coquille (D) ; naissains attachés aux algues (E, F), (Photo Personnelle, 2019).

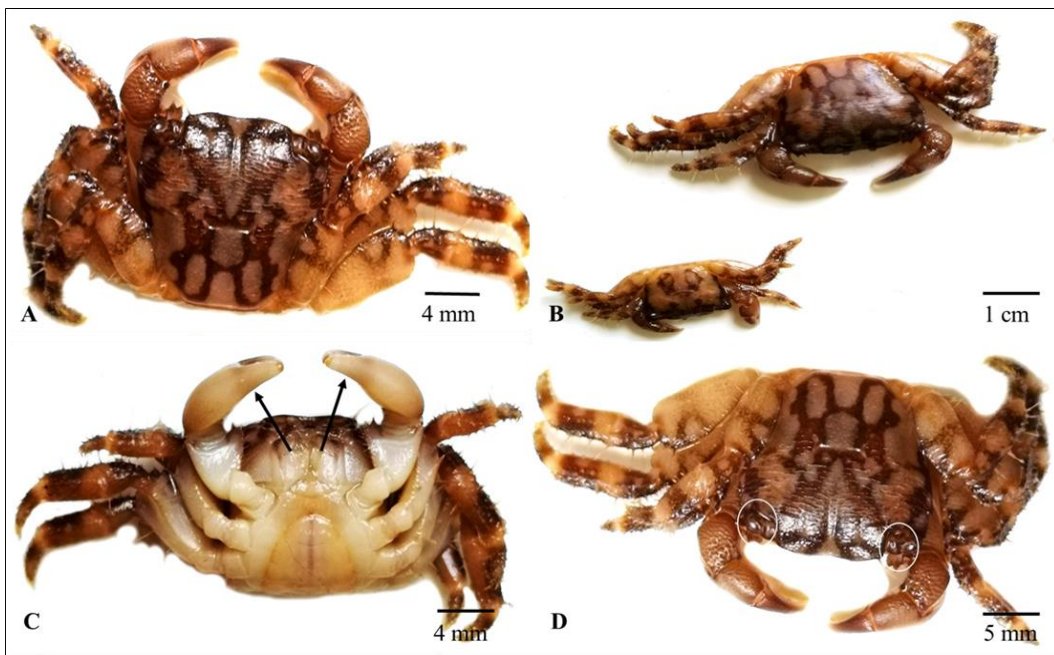


**Figure 55:** *Acanthochitona sp* : Aspect général d'individus de différentes tailles (A, B) ; vue de la partie dorsale (C, E) ; vue de la partie ventrale (D, F) ; face dorsale de l'animal illustrant une touffe de soies (G), (Photo Personnelle, 2019).





**Figure 56:** *Eriphia verrucosa* : Vue dorsale de l'animal montrant les yeux (flèches) et les péréiopodes (cercle) (A) ; vue dorsale de l'animal montrant l'abdomen (B) ; vue dorsale de l'animal montrant les pinces (flèches) (C), (Photo Personnelle, 2019).



**Figure 57:** *Pachygrapsus marmoratus* : Aspect général de l'animal (A) ; vue montrant des individus de différentes tailles (B) ; vue ventrale de l'animal montrant les pinces (flèches) (C) ; vue dorsale de l'animal montrant les yeux (cercles) (D), (Photo Personnelle, 2019).

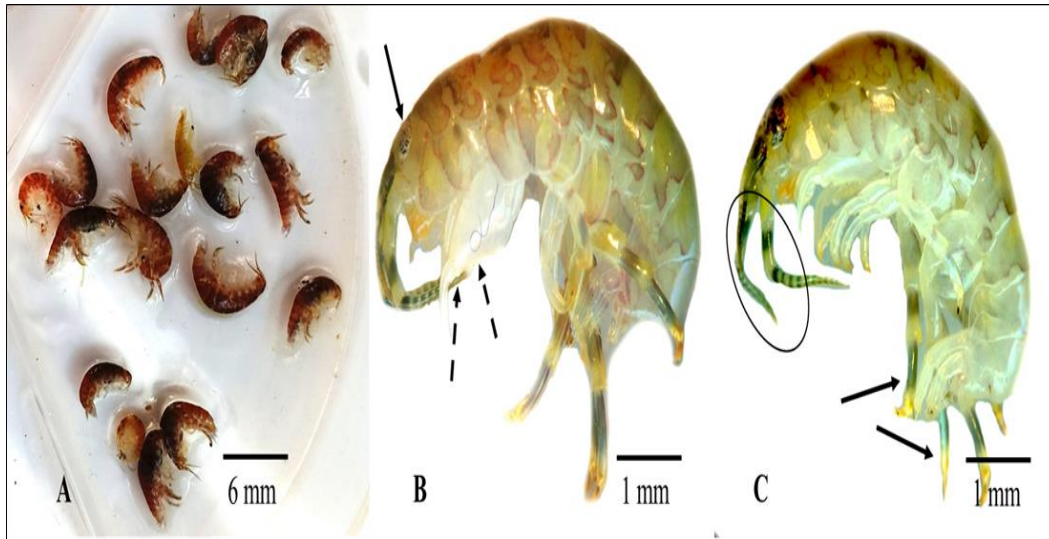


**Figure 58:** *Pisa sp* : Vue dorsale de l'animal montrant les yeux (flèches) et les épines au niveau de la carapace (cercle) (A) ; vue ventrale de l'animal montrant les pinces (flèches) (B), (Photo Personnelle, 2019).

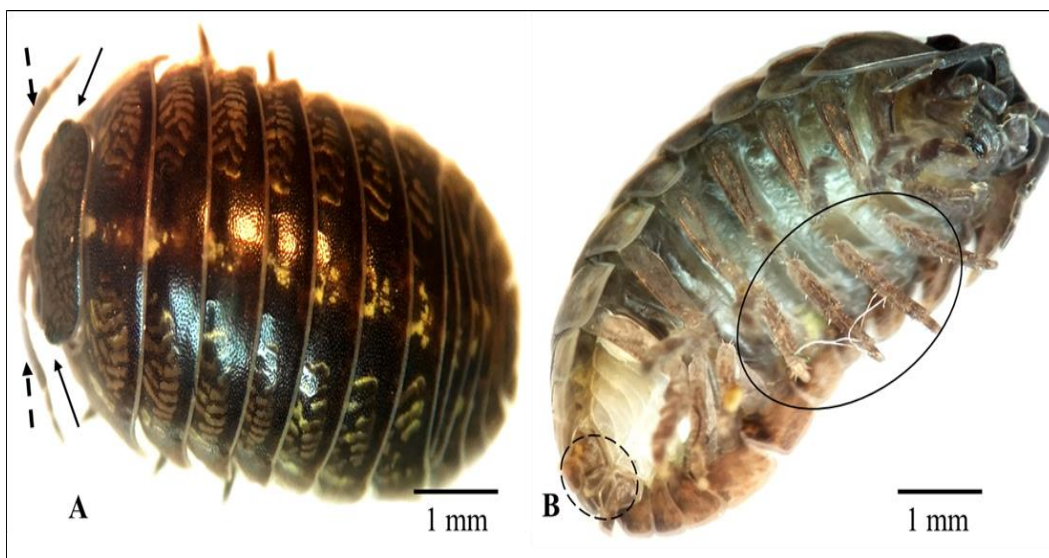


**Figure 59:** *Maja sp* : Vue dorsale de l'animal montrant les yeux (flèches) et les épines au niveau de la carapace (cercle) (A) ; vue ventrale de l'animal montrant les pinces (flèches) et quatre paires de péréopodes (cercle) (B), (Photo Personnelle, 2019).



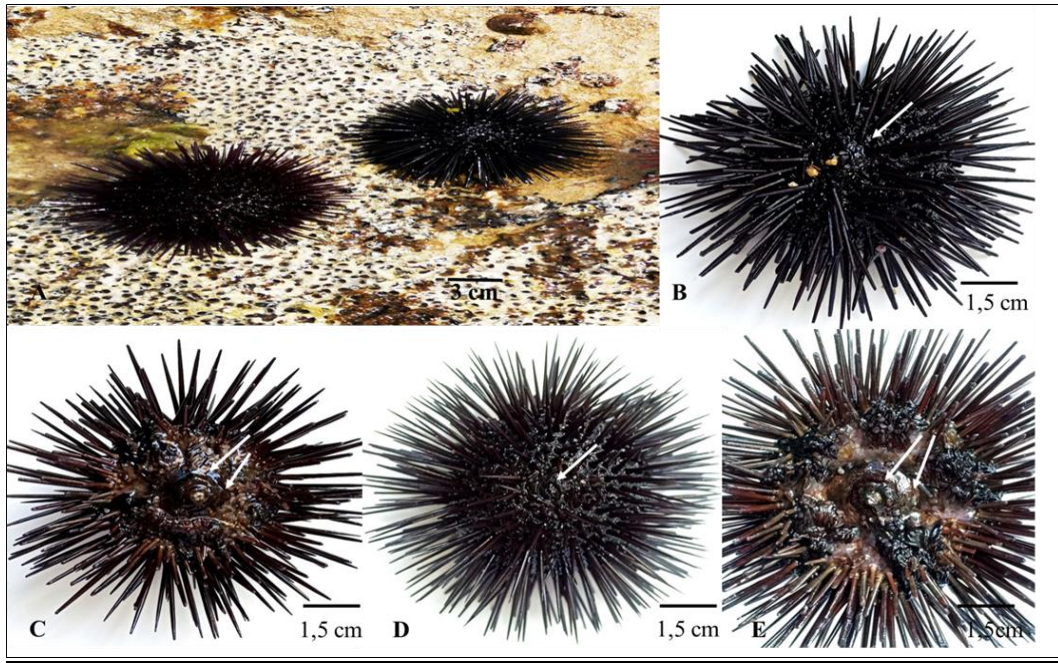


**Figure 60:** *Amphipoda* sp : Aspect général d'individus ayant différentes tailles (A) ; vue de l'animal montrant un œil (flèche) et les gnathopodes (flèches pointillées) (B) ; vue dorsale de l'animal montrant les antennes (cercle) ainsi que les péréiopodes (flèches) (C), (Photo Personnelle, 2019).

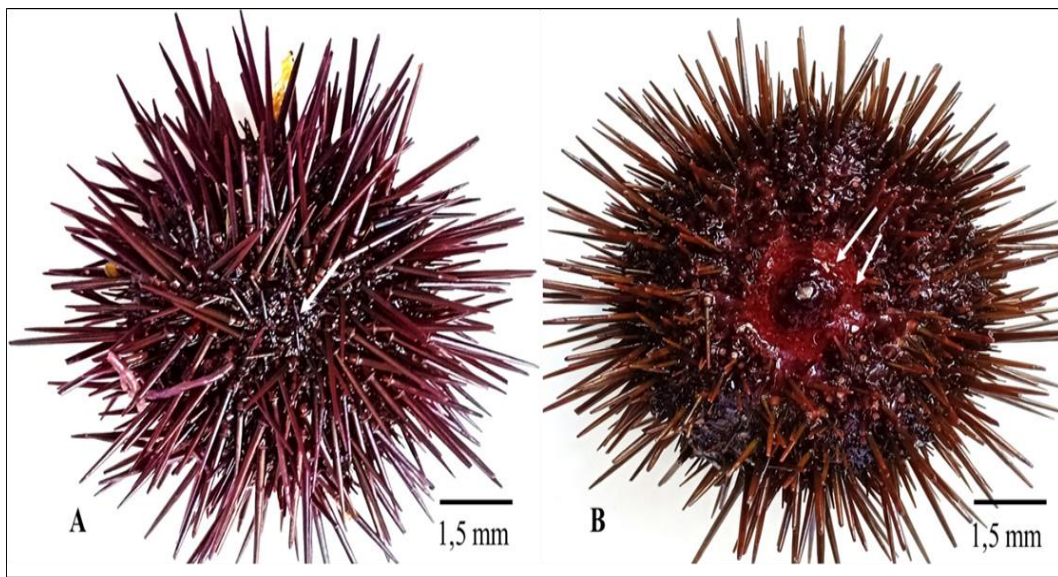


**Figure 61:** *Eurydice pulchra* : Vue dorsale montrant une pigmentation marquée s'étendant sur le côté ainsi que les yeux (flèches) et les antennes (flèches pointillées) (A) ; vue dorsale de l'animal montrant les pattes (cercle) et deux rames externes (cercle pointillée) (B), (Photo Personnelle, 2019).





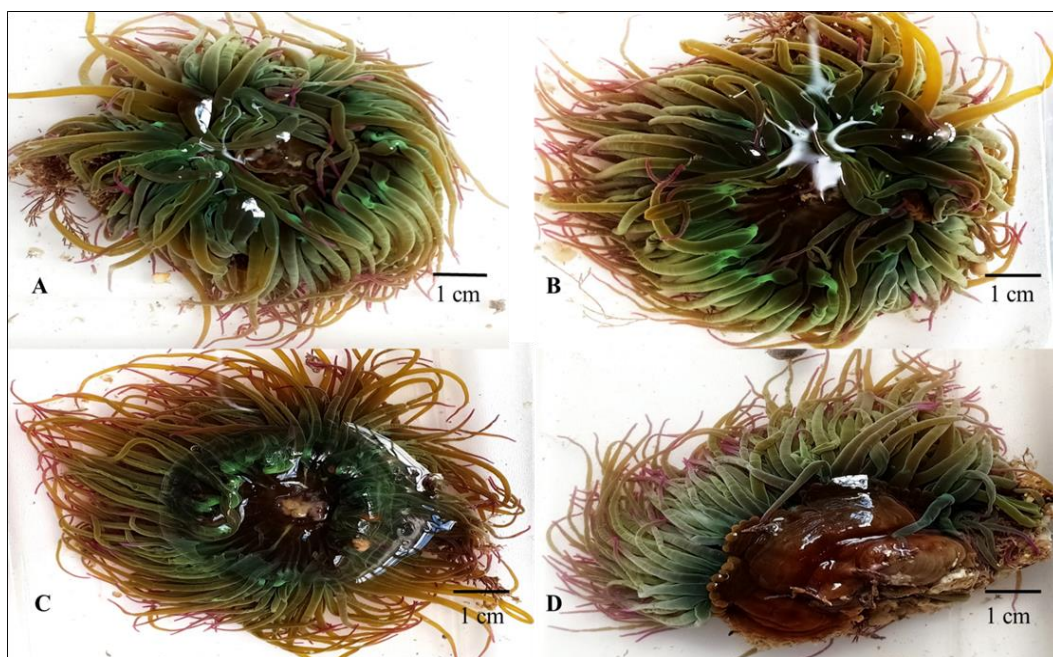
**Figure 62:** *Arbacia lixula* : Aspect général d'individus dans leur milieu naturel (A) ; zoom sur la face orale montrant la bouche (flèches) et les piquants de l'animal (B, D) ; zoom sur la face aborale de l'animal montrant l'anus entouré de plaques génitales et ocellaires (flèches) (C, E), (Photo Personnelle, 2019).



**Figure 63:** *Paracentrotus lividus* : Face orale montrant la bouche (flèches) et les piquants de l'animal (A) ; face aborale de l'animal montrant l'anus entouré de plaques génitales et ocellaires (flèches) (B), (Photo Personnelle, 2019).



**Figure 64:** Espèce d'holothurie : Aspect général de l'animal montrant les podia disposées en rangées (flèches) (A) ; vue de l'animal montrant l'anus (cercle) (B) ; vue de l'animal montrant la bouche et les tentacules (cercle) (C), (Photo Personnelle, 2019).



**Figure 65:** *Anemonia viridis* : Aspect général de l'animal montrant les différentes colorations (A) ; vue dorsale de l'animal montrant les tentacules verts avec les extrémités violettes ainsi que les cellules urticantes (B) ; vues ventrales montrant le pied de l'animal (C, D), (Photo Personnelle, 2019).



### 3.2.3. La Flore associée :

Le Tableau 9 représente la répartition des différentes espèces d'algues, nous avons observé une répartition hétérogène des espèces au niveau des trois sites : El-Kala, Annaba et Skikda. Nous avons recensé 9 espèces d'algues au niveau d'El-Kala durant la période d'étude contre 3 espèces au niveau d'Annaba et Skikda.

**Tableau 9:** Espèces floristiques identifiées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016.

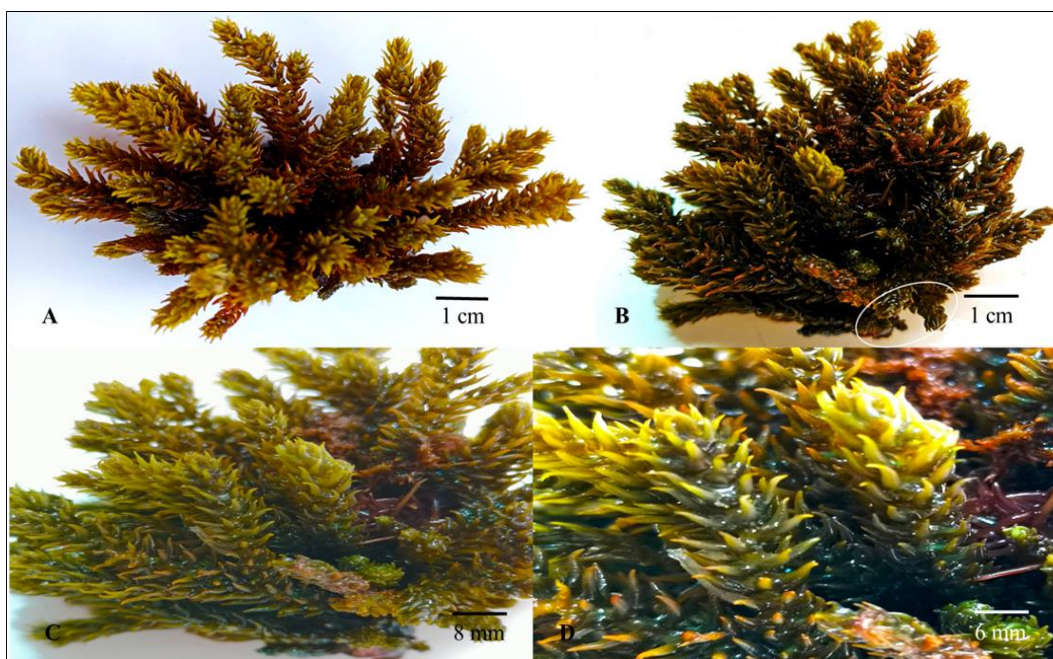
Famille	Site Espèce	El-Kala	Annaba	Skikda
Ulvaceae	<i>Ulva rigida</i>	+	+	+
Sargassaceae	<i>Sargassum sp</i>	+	-	-
	<i>Cystoseira sp</i>	+	-	-
	<i>Cystoseira compressa</i>	+	-	-
Dictyotaceae	<i>Padina pavonica</i>	+	-	-
Scytosiphonaceae	<i>Colpomenia sinuosa</i>	+	+	+
Corallinaceae	<i>Corallina caespitosa</i>	+	+	+
Rhodomelaceae	<i>Laurencia sp</i>	+	-	-
Posidoniaceae	<i>Posidonia oceanica</i>	+	-	-



**Figure 66:** *Ulva rigida* : Aspect général de l'algue (A, B) ; vues montrant la forme rigide, cartilagineuse et légèrement dentelée de la feuille courte formant des petites touffes (C, D), (Photo Personnelle, 2019).

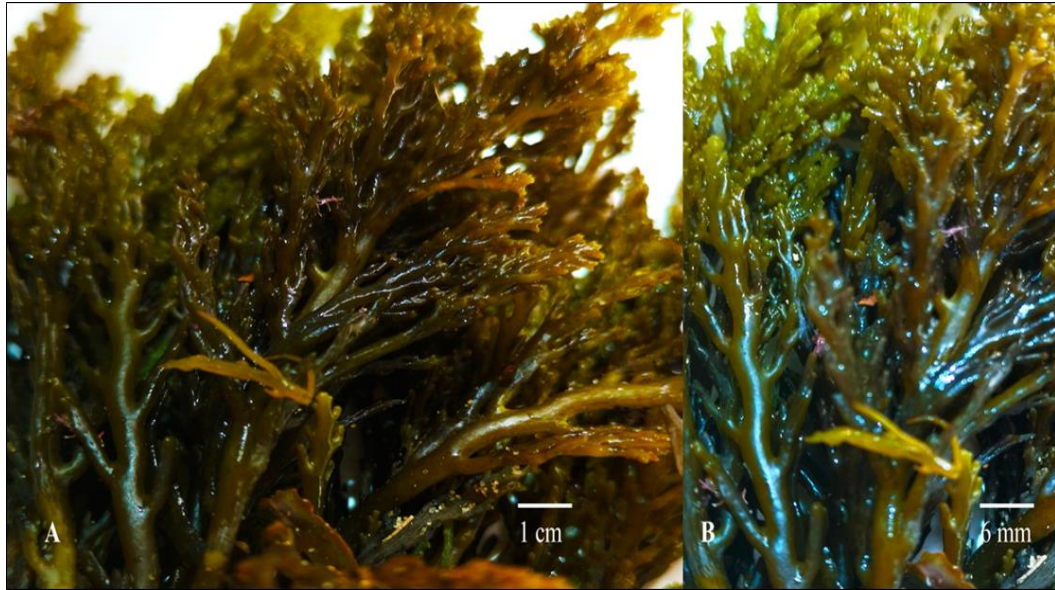


**Figure 67:** *Sargassum sp* : Aspect général de l'algue montrant le thalle formé de lames longues aplaties et ramifiées (A, B) ; vue montrant la ramification dichotome de l'algue (C) ; vue de lames montrant la nervure centrale (flèches) (D), (Photo Personnelle, 2019).

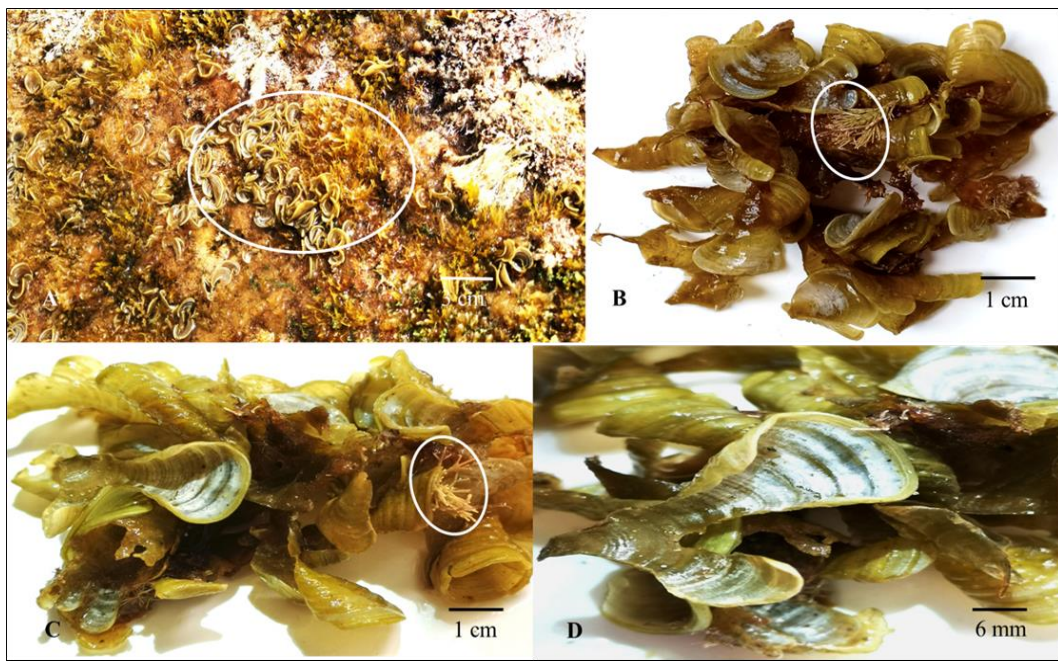


**Figure 68:** *Cystoseira sp* : Aspect général de l'algue à port dressé, arborescent, de couleur jaune verdâtre à brun foncé ainsi que la base de fixation (cercle) (A, B) ; différentes vues montrant le thalle cylindrique très ramifié et épineux (C) ; vue montrant les épines de l'algue (D), (Photo Personnelle, 2019).





**Figure 69:** *Cystoseira compressa* : Aspect général de l'algue à port dressé, arborescent, de couleur jaune verdâtre à brun foncé (A) ; vue montrant le thalle cylindrique très ramifié et épineux (B), (Photo Personnelle, 2019).



**Figure 70:** *Padina pavonica* : Aspect général de l'algue au niveau du biotope (cercle) (A) ; différentes vues montrant le thalle composé d'une lame en éventail zoné, à marge ciliée, blanche et brune fixé par une touffe de rhizoïdes (cercle) (B, C) ; zoom montrant les stries blanches (D), (Photo Personnelle, 2019).



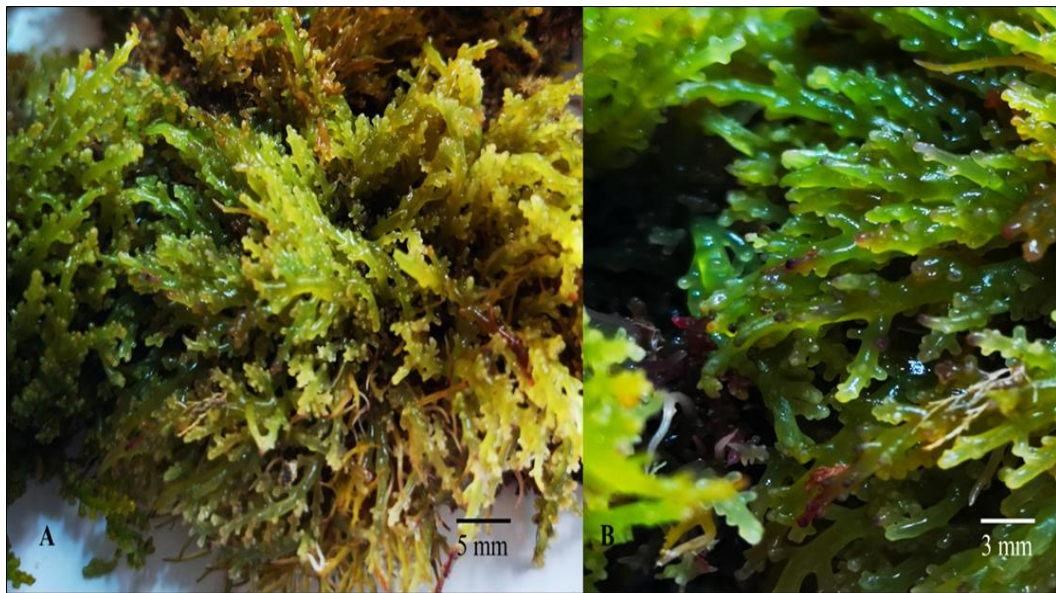


**Figure 71:** *Colpomenia sinuosa* : Aspect général de l'algue au niveau du biotope (cercle) (A) ; différentes vues montrant la forme irrégulière cérébriforme et fendue de couleur jaune verdâtre, couverte de petites touffes de poils fins (flèches) (B, C), (Photo Personnelle, 2019).



**Figure 72:** *Corallina caespitosa* : Aspect général de l'algue (A) ; zoom montrant le thalle dressé à ramification régulièrement pennée ainsi que sa croissance apicale où les extrémités en croissance apparaissent plus claires (flèches) (B), (Photo Personnelle, 2019).





**Figure 73:** *Laurencia sp* : Aspect général de l'algue (A) ; zoom montrant les ramifications pennées du thalle disposées de manière symétrique qui se développent toutes dans un même plan lui conférant ainsi une forme large de plume, où les bords du thalle sont courts et de forme arrondie (cercles) (B), (Photo Personnelle, 2019).

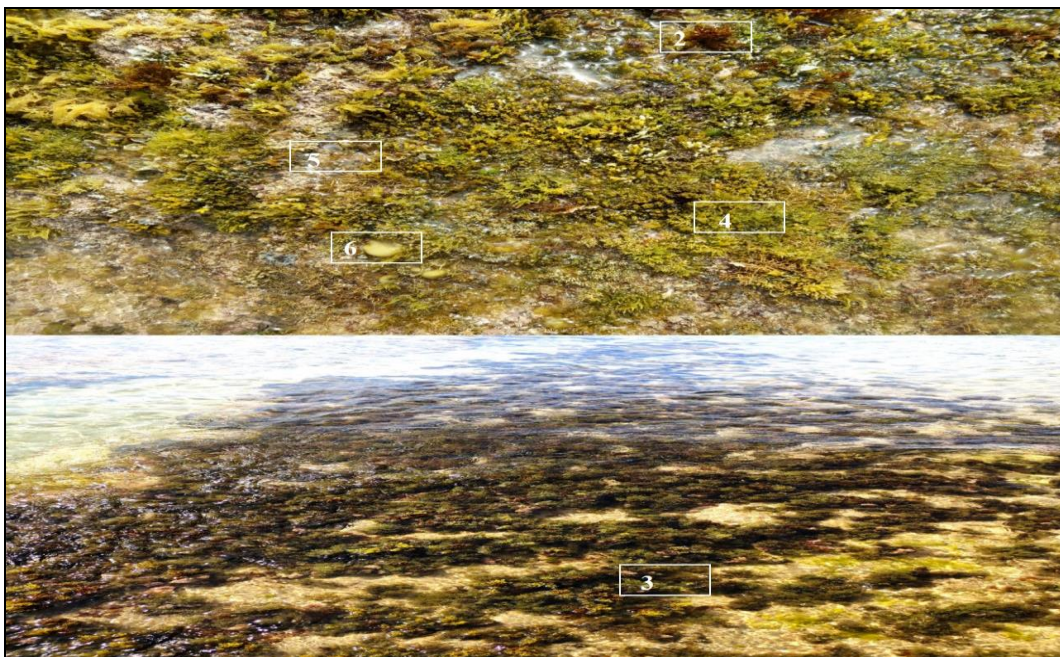


**Figure 74:** *Posidonia oceanica* : Aspect général de l'algue (A) ; zoom montrant les feuilles rubanées de l'algue (B), (Photo Personnelle, 2019).





**Figure 75:** *Ulva rigida* (1) ; *Colpomenia sinuosa* (7) ; *Padina pavonica* (5) ; *Colpomenia sinuosa* (6) ; *Laurencia sp* (8) ; *Posidonia oceanica* (9), (Photo Personnelle, 2019).



**Figure 76:** *Sargassum sp* (2) ; *Cystoseira compressa* (4) ; *Padina pavonica* (5) ; *Colpomenia sinuosa* (6) ; *Cystoseira sp* (3), (Photo Personnelle, 2019).

### 3.3. Indices écologiques :

Les indices écologiques étudiés sont les indices de composition et les indices de structure, en l'occurrence : l'abondance, la richesse totale, la fréquence centésimale, la diversité et l'équitabilité.

#### 3.3.1. L'abondance :

Le nombre d'individus des différentes espèces est très variable, Pour la famille des Nereidae, nous notons que *Perinereis cultrifera* est retrouvée en grand nombre dans tous les sites durant toute la période d'étude.

*Nereis falsa*, quant à elle est retrouvé également dans les trois sites d'étude mais présente une faible abondance au niveau d'El Kala (La Montagne).

*Perinereis capensis* et *Perinereis macropus* sont aussi retrouvées au niveau des trois sites d'étude mais avec un nombre moins important au niveau d'Annaba et Skikda.

*Perinereis floridana* et *Perinereis marioni* présentent une abondance très marquée au niveau d'El-Kala et Annaba mais sont néanmoins absentes à Skikda (Bikini). Par ailleurs, *Perinereis oliveira* a été rencontrée au niveau d'El Kala (La Montagne) seulement et *Pseudonereis anomala* est rencontrée uniquement à Skikda, en outre *Platynereis dumerilii* a été rencontrée au niveau d'El Kala (La Montagne) et demeure absente au niveau d'Annaba et Skikda (Bikini).

Concernant la faune associée, les mollusques représentés par les Mytilidae et les Patellidae sont les plus abondants au niveau des trois sites; cependant chez les Arthropodes, les Gammaridae et les Cirolanidae sont les plus abondants, enfin les échinodermes et les cnidaires sont les moins abondants au niveau des trois sites d'étude (Tableau 10).

**Tableau 10:** Nombre d'individus des différentes espèces récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016.

Famille	Site	El-Kala	Annaba	Skikda
	Espèce			
Nereidae	<i>Perinereis cultrifera</i>	781	557	412
	<i>Perinereis sp</i>	54	7	2
	<i>Perinereis floridana</i>	79	38	0
	<i>Perinereis macropus</i>	24	2	1
	<i>Perinereis marioni</i>	17	10	0
	<i>Perinereis oliveira</i>	15	0	0
	<i>Pseudonereis anomala</i>	0	0	34
	<i>Nereis falsa</i>	53	207	103
	<i>Platynereis dumerilii</i>	16	0	0
Polynoidae	<i>Lepidonotus clava</i>	11	0	0
Phascolosomatidae	<i>Phascolosoma sp</i>	46	28	9
Muricidae	<i>Stramonita haemastoma</i>	48	25	15
Trochidae	<i>Gibbula sp</i>	122	47	21
Patellidae	<i>Patella rustica</i>	81	53	49
	<i>Patella caerulea</i>	27	12	15
	<i>Cymbula safiana</i>	18	9	24
<i>Siphonariidae</i>	<i>siphonaria pectinata</i>	20	16	8
Fissurellidae	<i>Diodora graeca</i>	14	2	10
Mytilidae	<i>mytilus sp</i>	571	658	524
Chitonidae	<i>Acanthochitona sp</i>	43	0	0
Eriphiidae	<i>Eriphia verrucosa</i>	14	6	2
Grapsidae	<i>pachygrapsus marmoratus</i>	25	16	12
Pisinae	<i>Pisa sp</i>	3	0	0
Majidae	<i>Maja sp</i>	2	0	0
Gammaridae	<i>Amphipoda sp</i>	96	78	63
Cirolanidae	<i>Eurydice pulchra</i>	33	29	7
Arbaciidae	<i>Arbacia lixula</i>	17	4	0
Parechinidae	<i>Paracentrotus lividus</i>	8	0	0
Holothuroidea	Espèce d'holothurie	2	0	0
Actiniidae	<i>Anemonia viridis</i>	5	3	0
Abondance N		2245	1807	1311



### 3.3.2. Dominance de la macrofaune benthique :

#### 3.3.2.1. Dominance de la macrofaune benthique présente au niveau d'El Kala :

Nous avons récolté 1039 individus appartenant à la famille des Nereidae, avec des dominances inégales. En effet, les résultats obtenus révèlent une dominance de *Perinereis cultrifera* avec un pourcentage de 75,17%, celle-ci partage son milieu avec 7 autres espèces à savoir, *Perinereis floridana* 7,60%, *Perinereis sp* 5,20%, *Nereis falsa* 5,10%, *Perinereis macropus* 2,31%, *Perinereis marioni* 1,64%, *Platynereis dumerilii* 1,54% et enfin *Perinereis oliveira* avec un pourcentage de 1,44%, (Figure 77 ; Tableau 11).

Chez les autres familles d'annélides, deux espèces ont été identifiées, *Phascolosoma sp* révèle une forte dominance avec un pourcentage de 80,70% tandis que *Lepidonotus clava* présente un faible pourcentage avec 19,30%, (Figure 77 ; Tableau 11).

Concernant la faune associée, le mollusque bivalve *Mytilus sp* représente l'espèce la plus dominante avec un pourcentage de 49,70% suivi de *Gibbula sp* avec 10,62% et *Patella rustica* 7,05% contrairement aux autres espèces de mollusques dont le pourcentage est plus faible et qui varie entre 1% et 4%. Les arthropodes les plus répandus sont *Amphipoda sp*, *Eurydice pulchra* et *pachygrapsus marmoratus* avec des pourcentages de 8,35%, 2,87% et 2,18% respectivement. Les espèces d'échinodermes et de cnidaires sont les moins répandus avec un pourcentage entre 0,44 et 1,50%, (Figure 77 ; Tableau 11).

#### 3.3.2.2. Dominance de la macrofaune benthique présente au niveau d'Annaba :

Nous avons récolté 821 individus appartenant à la famille des Nereidae, les résultats obtenus révèlent une dominance de *Perinereis cultrifera* avec un pourcentage de 67,84% qui partage son milieu avec 5 autres espèces à savoir, *Nereis falsa* 25,22%, *Perinereis floridana* 4,63%, *Perinereis marioni* 1,22%, *Perinereis sp* 0,85% et enfin *Perinereis macropus* avec un pourcentage de 0,24%. Chez les autres espèces d'annélides rencontrées au niveau de ce site, il a été noté la présence de *Phascolosoma sp* uniquement (Figure 78 ; Tableau 11).

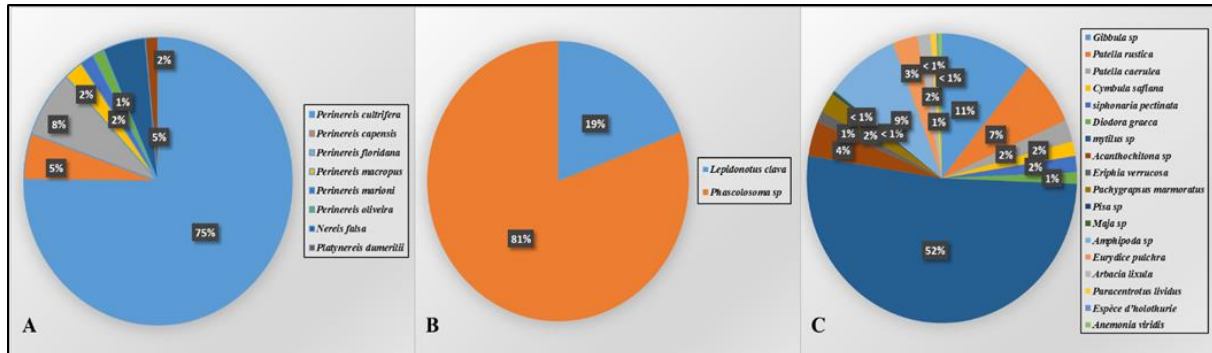
Concernant la faune associée, *Mytilus sp* représente l'espèce la plus dominante avec un pourcentage de 68,68%, les autres espèces de mollusques présentent un pourcentage plus faible compris entre 0,21% et 4,40%. Les arthropodes les plus répandus sont représentés par *Amphipoda sp* avec un pourcentage de 8,15% et *Eurydice pulchra* avec un pourcentage de 3,03%. Les espèces d'échinodermes et de cnidaires sont les moins répandus avec un pourcentage inférieur à 0,5%, (Figure 78 ; Tableau 11).

#### 3.3.2.3. Dominance de la macrofaune benthique présente au niveau de Skikda :

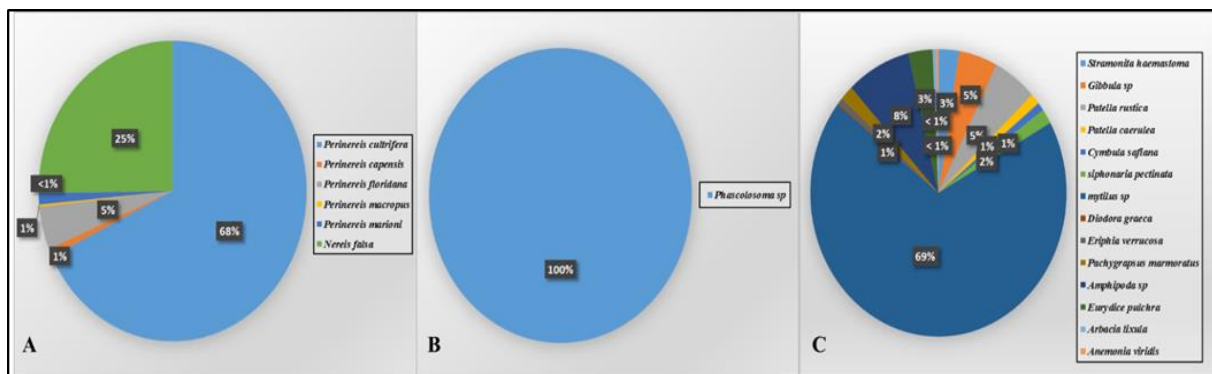
Nous avons inventorié 552 individus appartenant à la famille des Nereidae, nous avons noté que *Perinereis cultrifera* est l'espèce la plus abondante avec un pourcentage de 74,46%, suivi de *Nereis falsa* avec 18,66%, *Pseudonereis anomala* avec 6,16%, *Perinereis sp* avec 0,36% et enfin *Perinereis macropus* 0,18%. Chez les autres espèces d'annélides rencontrées au niveau de ce site, il a été noté la présence de *Phascolosoma sp* uniquement, (Figure 79 ; Tableau 11).

Concernant la faune associée, *Mytilus sp* est l'espèce la plus représentée avec un pourcentage de 69,87% comparativement aux autres mollusques. Nous avons recensé 3 espèces

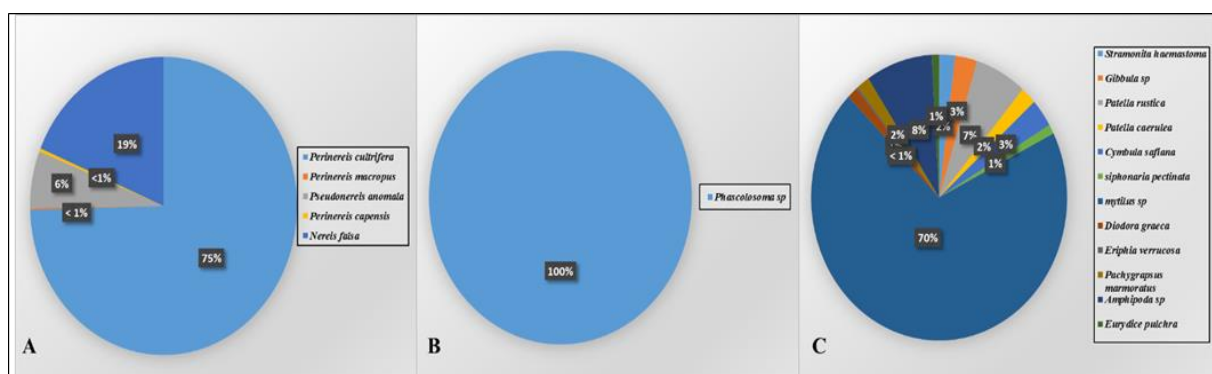
d'Arthropodes au niveau de Skikda, *Amphipoda sp* est l'espèce la plus présente avec un pourcentage de 8,50% suivi de *Eurydice pulchra* et *pachygrapsus marmoratus* avec un pourcentage inférieur à 2%. Par ailleurs nous avons noté une absence des échinodermes et des cnidaires, (Figure 79 ; Tableau 11).



**Figure 77:** Dominance de la macrofaune benthique présente au niveau du site d'El-kala durant l'année 2016 ; Nereidae (A) ; autres espèces d'annélides (B) ; faune associée (C).



**Figure 78:** Dominance de la macrofaune benthique présente au niveau du site d'Annaba durant l'année 2016 ; Nereidae (A) ; autres espèces d'annélides (B) ; faune associée (C).



**Figure 79:** Dominance de la macrofaune benthique présente au niveau du site de Skikda durant l'année 2016 ; Nereidae (A) ; autres espèces d'annélides (B) ; faune associée (C).

**Tableau 11:** Pourcentage des différentes espèces récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016.

Famille	Site	El-Kala (%)	Annaba (%)	Skikda (%)
	Espèce			
Nereidae	<i>Perinereis cultrifera</i>	75,17	67,84	74,46
	<i>Perinereis sp</i>	5,20	0,85	0,36
	<i>Perinereis floridana</i>	7,60	4,63	0
	<i>Perinereis macropus</i>	2,31	0,24	0,18
	<i>Perinereis marioni</i>	1,64	1,22	0
	<i>Perinereis oliveira</i>	1,44	0	0
	<i>Pseudonereis anomala</i>	0	0	6,16
	<i>Nereis falsa</i>	5,10	25,22	18,66
	<i>Platynereis dumerilii</i>	1,54	0	0
Polynoidae	<i>Lepidonotus clava</i>	19,30	0	0
Phascolosomatidae	<i>Phascolosoma sp</i>	80,70	100	100
Muricidae	<i>Stramonita haemastoma</i>	4,18	2,60	2
Trochidae	<i>Gibbula sp</i>	10,62	4,90	2,80
Patellidae	<i>Patella rustica</i>	7,05	5,53	6,53
	<i>Patella caerulea</i>	2,35	1,25	2
	<i>Cymbula safiana</i>	1,56	0,95	3,20
<i>Siphonariidae</i>	<i>siphonaria pectinata</i>	1,74	1,67	1,07
Fissurellidae	<i>Diodora graeca</i>	1,22	0,21	1,33
Mytilidae	<i>mytilus sp</i>	49,70	68,68	69,87
Chitonidae	<i>Acanthochitona sp</i>	3,74	0	0
Eriphiidae	<i>Eriphia verrucosa</i>	1,22	0,63	0,27
Grapsidae	<i>pachygrapsus marmoratus</i>	2,18	1,67	1,60
Pisinae	<i>Pisa sp</i>	0,25	0%	0
Majidae	<i>Maja sp</i>	0,17	0	0
Gammaridae	<i>Amphipoda sp</i>	8,35	8,15	8,40
Cirolanidae	<i>Eurydice pulchra</i>	2,87	3,03	0,93
Arbaciidae	<i>Arbacia lixula</i>	1,50	0,42	0
Parechinidae	<i>Paracentrotus lividus</i>	0,70	0	0
Holothuroidea	Espèce d'holothurie	0,16	0	0
Actiniidae	<i>Anemonia viridis</i>	0,44	0,31	0

### 3.3.3. Indice de diversité (H') et équitabilité :

La diversité (H') des peuplements des trois sites d'étude au niveau du Littoral Est Algérien durant l'année 2016 varie de 3,91 Bit à El-Kala, de 2,40 Bit à Annaba et de 2,20 Bit à Skikda.

L'équitabilité varie de 0,81 au niveau d'El Kala, de 0,55 au niveau d'Annaba et enfin de 0,52 au niveau de Skikda.

**Tableau 12:** La diversité (H') et l'équipartition (J') du peuplement de macroinvertébrés au niveau des différents sites d'étude durant l'année 2016.

Sites	Indices écologiques	
	La diversité (H')	L'équitabilité (J')
<b>El Kala</b>	3,91	0,81
<b>Annaba</b>	2,40	0,55
<b>Skikda</b>	2,20	0,52

### 3.4. Effets de la pollution sur les paramètres morphométrique et pondéral :

L'évolution mensuelle des variables : taille (longueur totale du corps) et (poids frais) a été suivie chez les femelles de *Perinereis cultrifera* échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016.

#### 3.4.1. Taille corporelle :

Nous avons observé une augmentation progressive de la taille corporelle chez les femelles de *Perinereis cultrifera* au niveau des trois sites d'étude de Janvier à Avril ( $50,03 \pm 3,99$  ;  $45,5 \pm 5,34$  et  $37,23 \pm 6,74$  mm) respectivement pour les sites d'El-Kala, d'Annaba et de Skikda. Une diminution de la taille a été notée au mois d'Août ( $25,95 \pm 4,03$  ;  $21,64 \pm 2,98$  et  $19,68 \pm 1,97$  mm) correspondant aux sites d'El-Kala, d'Annaba et de Skikda. Une légère augmentation a été observée au mois de Décembre (Figure 80).

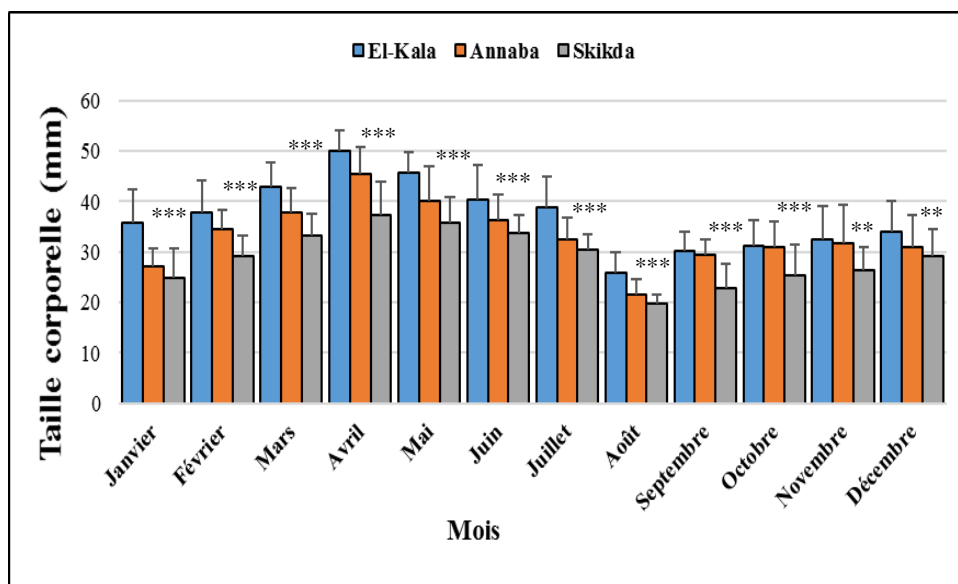
L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification a révélé une différence très hautement significative entre les sites pour les mois de : Janvier, Février, Mars, Avril, Mai, Juin, Juillet, Août, septembre et Octobre ( $p < 0,001$ ). Pour les mois de Février, Mars, Avril, Mai et Août, le test 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 (Tableau13).

Le test de Tukey a permis de classer les sites en deux groupes durant les mois de Janvier, Juin, Juillet, Septembre et Octobre. Pour les mois de Janvier, Juin et Juillet le groupe A correspond au site d'El-Kala et le groupe B représente les sites d'Annaba et de Skikda où il existe une différence entre les femelles d'El-Kala et les femelles des autres sites, par contre aucune différence n'a été enregistrée entre les femelles d'Annaba et Skikda. Pour les mois de



Septembre et Octobre le groupe A correspond aux sites d'El-Kala et d'Annaba et le groupe B représente le site de Skikda (Tableau13).

L'analyse ANOVA à un critère de classification pour les mois de Novembre et Décembre a révélé une différence hautement significative ( $P < 0,01$ ). Durant le mois de Décembre les sites sont répartis en trois groupes, le groupe A représente le site d'El-Kala, le groupe AB représente le site d'Annaba et le groupe B qui correspond au site de Skikda (Tableau13).



**Figure 80:** Variations mensuelles de la taille totale du corps (mm) des femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=30$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda).

**Tableau 13:** variations mensuelles Variations de la taille corporelle (mm) des femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=30$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016, (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

Mois \ Site	El-Kala	Annaba	Skikda	P
Janvier	35,82 ± 6,69 A	27,1 ± 3,69 B	24,76 ± 5,97 B	0,000***
Février	37,76 ± 6,52 A	34,6 ± 3,77 B	29,1 ± 4,05 C	0,000***
Mars	42,96 ± 4,78 A	37,8 ± 4,83 B	33,3 ± 4,33 C	0,000***
Avril	50,03 ± 3,99 A	45,5 ± 5,34 B	37,23 ± 6,74 C	0,000***
Mai	45,73 ± 4,06 A	40,07 ± 7,03 B	35,73 ± 5,17 C	0,000***
Juin	40,3 ± 6,92 A	36,3 ± 5,11 B	33,86 ± 3,56 B	0,000***
Juillet	38,93 ± 6,05 A	32,46 ± 4,47 B	30,5 ± 3,05 B	0,000***
Août	25,95 ± 4,03 A	21,64 ± 2,98 B	19,68 ± 1,97 C	0,000***
Septembre	30,3 ± 3,69 A	29,56 ± 2,81 A	22,76 ± 4,78 B	0,000***
Octobre	31,13 ± 5,26 A	30,9 ± 5,20 A	25,36 ± 6,13 B	0,000***
Novembre	32,5 ± 6,52 A	31,66 ± 7,64 A	26,3 ± 4,73 B	0,001**
Décembre	34,03 ± 6,19 A	31,06 ± 6,31 AB	29,19 ± 5,25 B	0,008**

\*\* : hautement significative ( $P < 0,01$ ) ; \*\*\* : 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 taille corporelle chez les femelles de *Perinereis cultrifera* récoltées au niveau des trois sites d'étude durant l'année 2016 a révélé un effet site et mois très hautement significatif ( $p < 0,001$ ) et une interaction site/mois très hautement significative ( $p < 0,001$ ) (Tableau14).

**Tableau 14:** ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) de la taille corporelle (mm) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n = 30$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016.

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	11695,3	5847,7	214,11	0,000***
Mois	11	36752,2	3341,1	122,33	0,000***
Interaction sites/mois	22	1695,4	77,1	2,82	0,000***
Erreur résiduelle	1044	28512,9	27,3		
Totale	1079	78655,8			

**DDL** : degré de liberté ; **SCE** : somme des carrés des écarts ; **CM** : carré moyen ; **F<sub>obs</sub>** : test de Fisher ; **P** : seuil de signification.

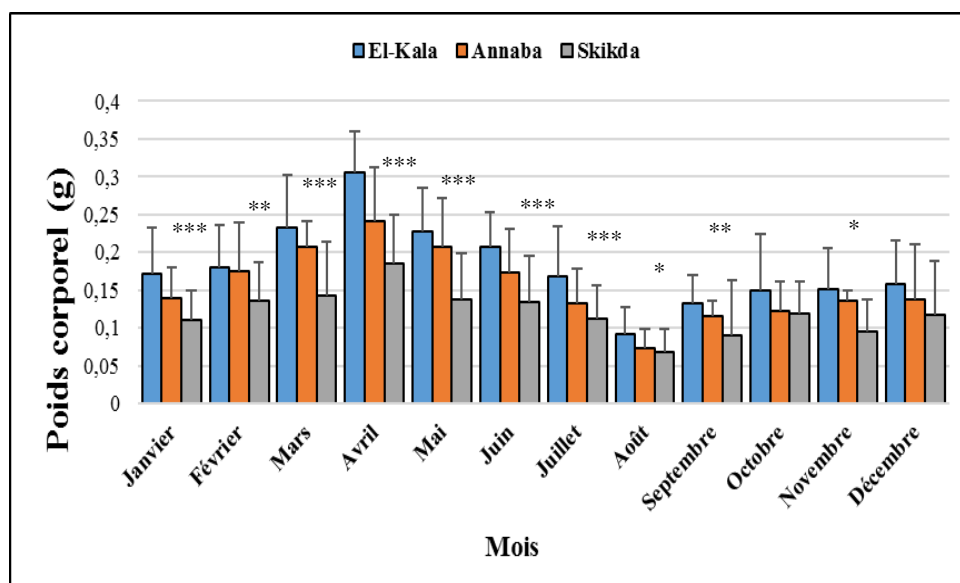
### 3.4.2. Poids corporel :

Les variations mensuelles du poids frais corporel chez les femelles de *Perinereis cultrifera* au niveau des trois sites d'étude montrent une augmentation progressive du poids corporel à partir du mois de Janvier pour atteindre un maximum au mois d'Avril ( $0,305 \pm 0,05$  ;  $0,242 \pm 0,07$  et  $0,186 \pm 0,06$  g) respectivement pour les sites d'El-Kala, d'Annaba et de Skikda, les valeurs du poids corporel diminuent pour atteindre un minimum au mois d'Août ( $0,092 \pm 0,03$  ;  $0,074 \pm 0,02$  et  $0,068 \pm 0,03$  g) respectivement pour les sites d'El-Kala, d'Annaba et de Skikda. Par ailleurs une légère augmentation a été signalée au mois de Décembre (Figure 81).

L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification a révélé une différence très hautement significative entre les sites pour les mois de : Janvier, Mars, Avril, Mai, Juin et Juillet ( $p < 0,001$ ). Durant le mois d'Avril, 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 B représente le site d'Annaba et le groupe C celui de Skikda. Durant les mois de Janvier et Juillet les sites ont été classés en deux groupes, le groupe A correspond au site d'El Kala et le groupe B celui d'Annaba et de Skikda. Pour les mois de Mars, Mai et Juin le groupe A représente les sites d'El-Kala et d'Annaba et le groupe B correspond au site de Skikda (Tableau15).

L'analyse ANOVA à un critère de classification a montré une différence hautement significative ( $P < 0,01$ ) aux mois de Février, Septembre et Novembre, les sites sont répartis en trois groupes au mois de Septembre, le groupe A représente le site d'El-Kala, le groupe AB celui d'Annaba et le groupe B le site de Skikda. En Février et Novembre les sites sont répartis en deux groupes, le groupe A correspond à El-Kala et Annaba et le groupe B celui de Skikda (Tableau13). Pour le mois d'Août, l'ANOVA à un critère de classification a révélé une différence très significative ( $P < 0,05$ ) entre les sites. Le test de Tukey nous a permis de classer

les sites en trois groupes, le groupe A représente le site d'El-Kala, le groupe AB celui d'Annaba et le groupe B correspond au site de Skikda. Durant les mois d'Octobre et Décembre, aucune différence n'a été enregistrée (Tableau15).



**Figure 81:** Variations mensuelles du poids frais corporel (g) des femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=30$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016.

**Tableau 15:** Variations mensuelles Variations du poids frais corporel total (g) des femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=30$ ), échantillonnées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016, (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

Mois \ Site	El-Kala	Annaba	Skikda	P
Janvier	0,172 ± 0,06 A	0,14 ± 0,04 B	0,110 ± 0,04 B	0,000***
Février	0,18 ± 0,05 A	0,175 ± 0,06 A	0,137 ± 0,04 B	0,008**
Mars	0,232 ± 0,07 A	0,207 ± 0,03 A	0,143 ± 0,07 B	0,000***
Avril	0,305 ± 0,05 A	0,242 ± 0,07 B	0,186 ± 0,06 C	0,000***
Mai	0,227 ± 0,05 A	0,208 ± 0,06 A	0,138 ± 0,06 B	0,000***
Juin	0,207 ± 0,04 A	0,173 ± 0,05 A	0,135 ± 0,06 B	0,000***
Juillet	0,169 ± 0,06 A	0,133 ± 0,04 B	0,112 ± 0,04 B	0,000***
Août	0,092 ± 0,03 A	0,074 ± 0,02 AB	0,068 ± 0,03 B	0,011*
Septembre	0,133 ± 0,03 A	0,115 ± 0,02 AB	0,091 ± 0,07 B	0,004**
Octobre	0,149 ± 0,07 A	0,123 ± 0,03 A	0,120 ± 0,04 A	0,089NS
Novembre	0,152 ± 0,05 A	0,136 ± 0,01 A	0,095 ± 0,04 B	0,001**
Décembre	0,159 ± 0,05 A	0,138 ± 0,07 AB	0,117 ± 0,07 B	0,057NS

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 (Site/Mois) réalisée sur les données relatives pour le poids frais total (g) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* récoltées au niveau des trois sites d'étude durant l'année 2016 à révéle un effet site et mois très hautement significatif ( $p < 0,001$ ) et une interaction site/mois hautement significative ( $p < 0,01$ ) (Tableau16).

**Tableau 16:** ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du poids frais total (g) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n = 30$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016.

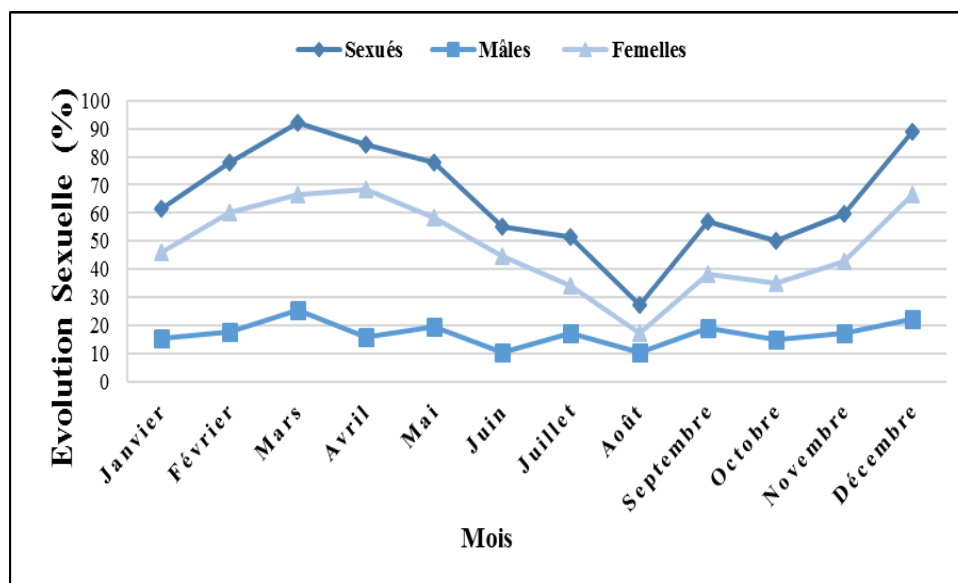
Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	0,660726	0,330363	107,32	0,000***
Mois	11	1,879336	0,170849	55,50	0,000***
Interaction sites/mois	22	0,157078	0,007140	2,32	0,001**
Erreur résiduelle	1044	3,213638	0,003078		
Totale	1079	5,910778			

**DDL** : degré de liberté ; **SCE** : somme des carrés des écarts ; **CM** : carré moyen ; **F<sub>obs</sub>** : test de Fisher ; **P** : seuil de signification.

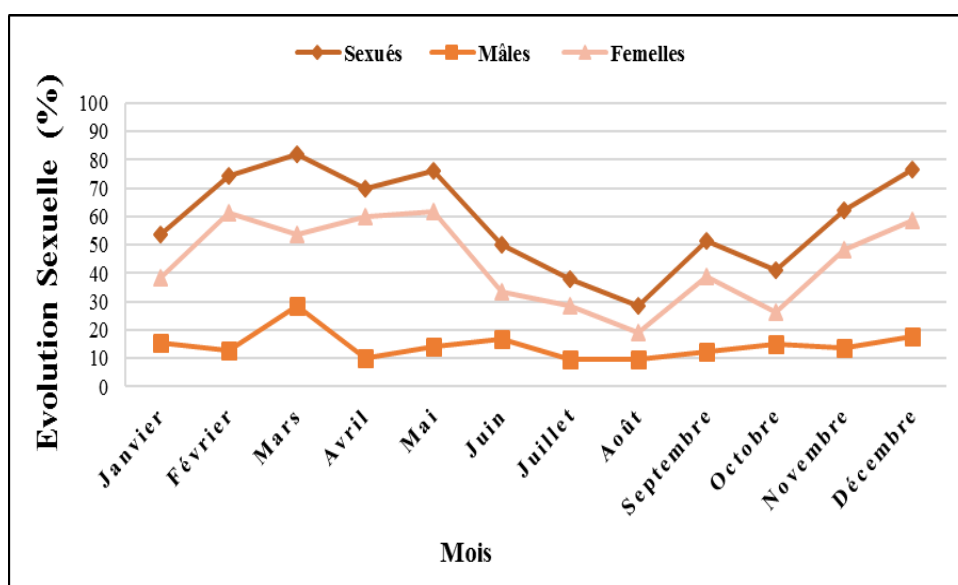
### 3.5. Taux de maturité et Sex-ratio :

La différenciation sexuelle chez *Perinereis cultrifera* a été réalisée sur des individus récoltés à partir des trois sites étudiés (El-Kala, Annaba et Skikda). L'identification a permis la reconnaissance des deux types d'individus sexués (mâles et femelles). L'évolution de l'état sexuel chez les différentes catégories échantillonnées au niveau des trois sites d'étude durant l'année 2016 est représentée sur les Figures 82, 83 et 84. Nous avons remarqué que le taux des individus mâles demeure faible au cours du cycle d'étude, cela est lié probablement au fait qu'il est plus facile de distinguer précocement les ovocytes plutôt que les amas spermatiques. La proportion de femelles varie fortement et l'évolution sexuelle des individus sexués en fonction du temps reflète la variation de la sex ratio des femelles dans la population totale. La proportion des individus sexués est maximale durant la période allant de Janvier à Avril.

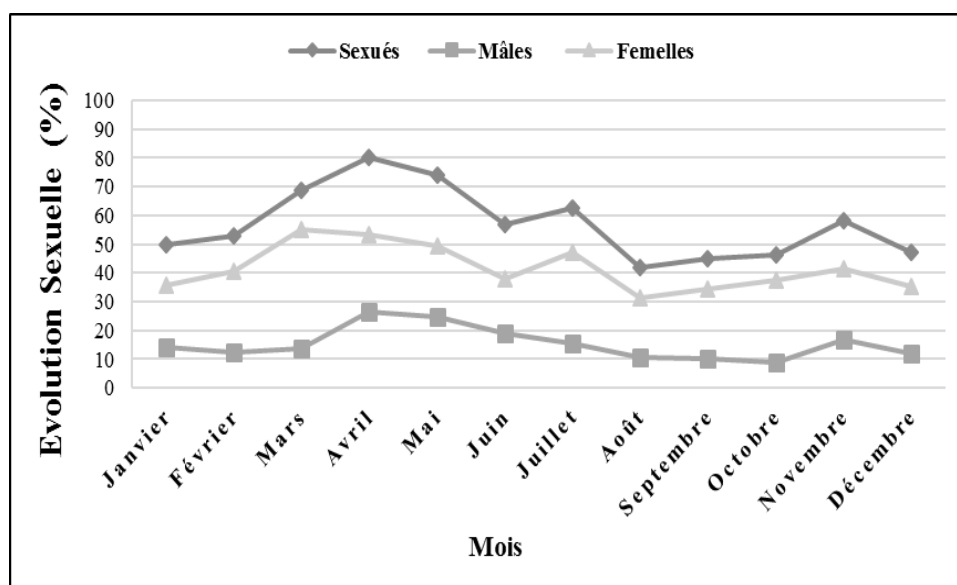
Pour les populations échantillonnées au niveau des trois sites d'étude, la proportion des sexués est maximale de Février à Mai, elle est en moyenne de l'ordre de 90% à El-Kala (La Montagne) (Tableau 17), 80% à Annaba (Saint-Cloud) (Tableau 18) et 70% à Skikda (Bikini) (Tableau 19). A partir du mois de Mai, la proportion des individus mâles et femelles diminue dans les trois populations récoltées, traduisant certainement la mort des individus matures épitoques, ce qui correspond à la fin de la période de reproduction. Il est à noter qu'une seconde diminution du pourcentage des individus sexués a lieu en Août (27,58%) dans le cas des populations échantillonnées à El-kala (La Montagne), (28,56%) à Annaba et (41,77%) à Skikda (Bikini) au cours du même mois. Cela est la conséquence directe de l'apparition d'une nouvelle génération d'individus indifférenciés dans les populations échantillonnées au cours de cette période.



**Figure 82:** Evolution mensuelle de l'état sexuel de *Perinereis cultrifera* échantillonnées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) durant l'année 2016.



**Figure 83:** Evolution mensuelle de l'état sexuel de *Perinereis cultrifera* échantillonnées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant l'année 2016.



**Figure 84:** Evolution mensuelle de l'état sexuel de *Perinereis cultrifera* échantillonnées au niveau du site de Skikda (Bikini) durant l'année 2016.

**Tableau 17:** Proportions des individus sexués par rapport à la population totale, et celle des individus mâles et femelles par rapport à la population sexuée au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) durant l'année 2016.

Mois	État sexuel		
	Sexués (%)	Mâles (%)	Femelles (%)
Janvier	61,54	15,39	46,15
Février	78	18	60
Mars	92,3	25,64	66,66
Avril	84,2	15,78	68,42
Mai	78,04	19,51	58,53
Juin	55,31	10,63	44,68
Juillet	51,66	17,24	34,42
Août	27,58	10,38	17,24
Septembre	57,13	19,04	38,09
Octobre	50	15	35
Novembre	59,66	17,14	42,85
Décembre	88,88	22,22	66,66

**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 au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant l'année 2016.

Mois	État sexuel		
	Sexués (%)	Mâles (%)	Femelles (%)
<b>Janvier</b>	53,84	15,38	38,46
<b>Février</b>	74,19	12,9	61,29
<b>Mars</b>	82,14	28,57	53,57
<b>Avril</b>	70	10	60
<b>Mai</b>	76,18	14,28	61,9
<b>Juin</b>	49,99	16,66	33,33
<b>Juillet</b>	38,09	9,52	28,57
<b>Août</b>	28,56	9,52	19,04
<b>Septembre</b>	51,23	12,19	39,04
<b>Octobre</b>	41,29	15,21	26,08
<b>Novembre</b>	62,05	13,78	48,27
<b>Décembre</b>	76,46	17,64	58,82

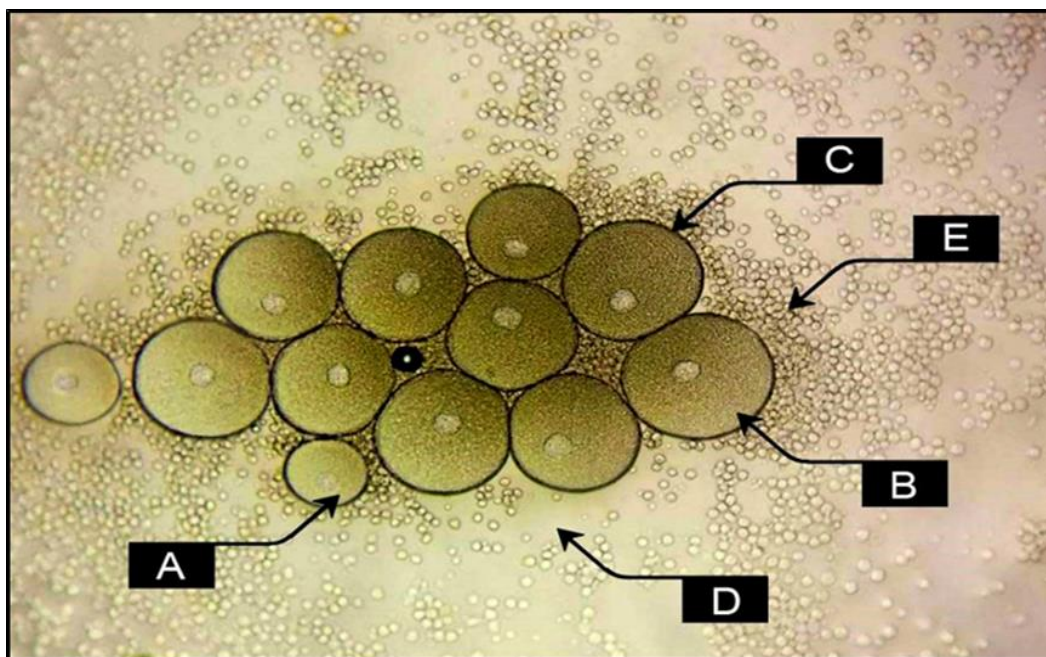
**Tableau 19:** Proportions des individus sexués par rapport à la population totale, et celle des individus mâles et femelles par rapport à la population sexuée au niveau du site de Skikda (Bikini) durant l'année 2016.

Mois	État sexuel		
	Sexués (%)	Mâles (%)	Femelles (%)
<b>Janvier</b>	49,99	14,28	35,71
<b>Février</b>	53,12	12,5	40,62
<b>Mars</b>	68,96	13,79	55,17
<b>Avril</b>	79,99	26,66	53,33
<b>Mai</b>	74,06	24,68	49,37
<b>Juin</b>	56,97	18,98	37,98
<b>Juillet</b>	62,66	15,67	46,99
<b>Août</b>	41,77	10,45	31,32
<b>Septembre</b>	44,82	10,34	34,48
<b>Octobre</b>	46,42	8,92	37,5
<b>Novembre</b>	58,32	16,66	41,66
<b>Décembre</b>	47,16	11,79	35,37

### 3.6. Étude biométrique de la croissance ovocytaire :

L'examen de ponction cœlomique de chaque individu femelle a montré un aspect hétérogène où les ovocytes sont de diamètre inégal, la croissance ovocytaire est donc de type asynchrone.





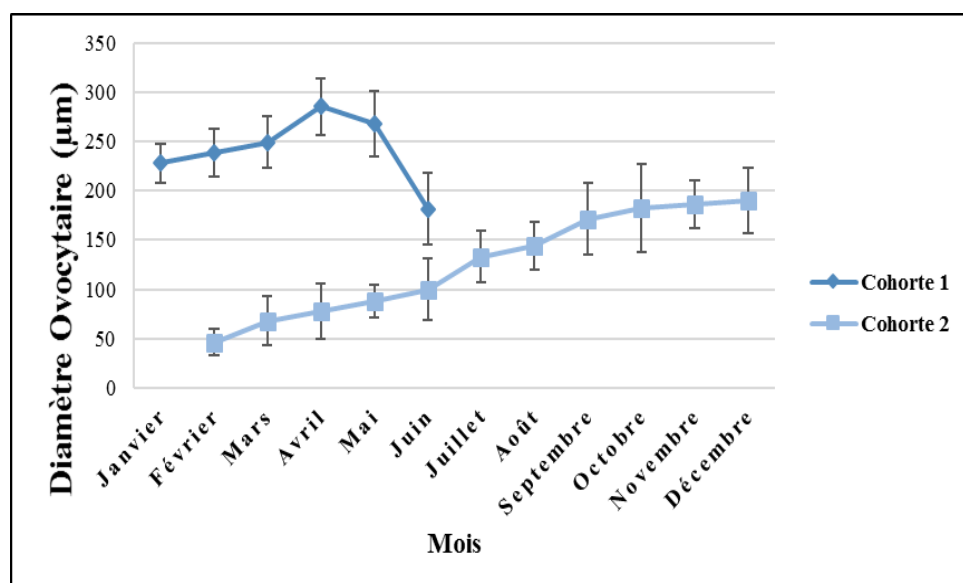
**Figure 85:** Aspect d'une ponction cœlomique chez *Perinereis cultrifera* montrant des ovocytes à différents stades de développement : ovocyte immature (A) ; ovocyte mature (B) ; membrane vitelline (C) ; liquide cœlomique (D) ; éléocytes (E).

L'évolution du diamètre ovocytaire moyen des femelles pendant la période d'étude est représentée par les Figures 86, 87 et 88 correspondant aux populations échantillonnées respectivement à partir d'El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Skikda (Bikini). Ces courbes d'évolution relatives aux trois sites étudiés affichent pratiquement la même tendance. Nous notons une évolution progressive et continue à partir du mois de Janvier jusqu'au mois d'Avril. Cependant, durant la période s'étalant du mois de Février au mois de 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 20, 21 et 22).

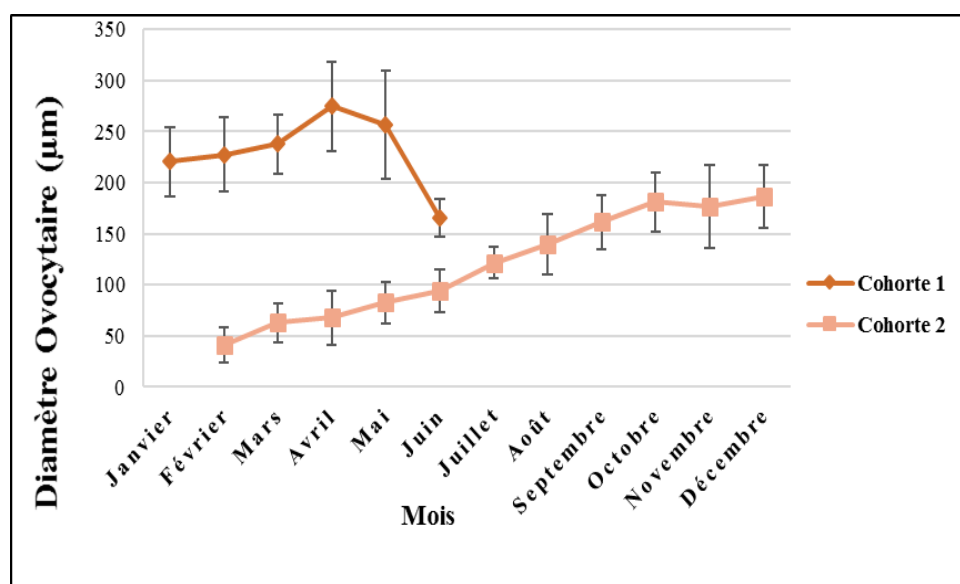
Le groupe de femelles de diamètre ovocytaire moyen inférieur à 50  $\mu\text{m}$  commence à apparaître au mois de Février puis disparaît graduellement, au fur et à mesure que les ovocytes évoluent vers la maturité, pour atteindre des tailles de plus en plus grandes. Au cours de la période allant de Mars à Mai, la taille des ovocytes atteint son maximum. Cependant, le diamètre moyen des ovocytes matures est de l'ordre de 250 à 300  $\mu\text{m}$ . En outre, à partir du mois de Juin de l'année d'étude, les femelles de grand diamètre ovocytaire disparaissent ; cela ne peut être expliqué que par la mort des femelles reproductrices. 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 86, 87 et 88).

L'analyse comparative des mensurations du diamètre ovocytaire moyen chez les femelles récoltées à partir des trois sites montre que ce dernier est plus élevé au niveau du site sain d'El-kala (La Montagne), suivi de celui d'Annaba (Saint-Cloud) puis de skikda (Bikini) au cours du mois d'avril chez la première population. En revanche, le diamètre minimum des

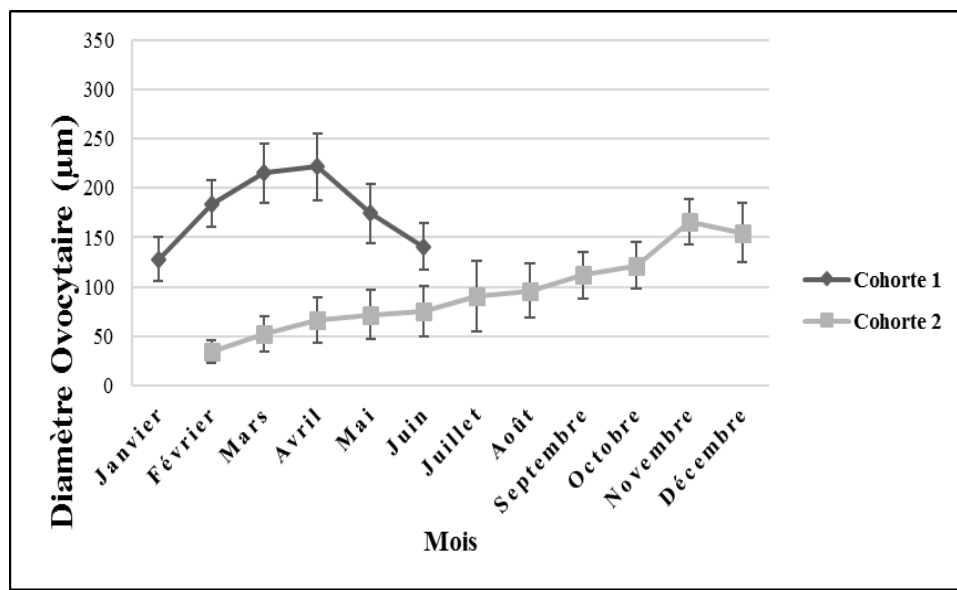
ovocytes chez cette même population au niveau des trois sites est atteint à Skikda (Bikini), suivi de Annaba (Saint-Cloud) puis d'El-kala (La Montagne), et ce, au cours du mois de Juin.



**Figure 86:** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=30$ ) récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) de Janvier à Décembre de l'année 2016.



**Figure 87:** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=30$ ) récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) de Janvier à Décembre de l'année 2016.



**Figure 88:** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=30$ ) récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) de Janvier à Décembre de l'année 2016.

**Tableau 20:** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire (Cohorte 1, Cohorte 2) des femelles *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=30$ ) récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) de Janvier à Décembre de l'année 2016.

Mois	Diamètre ovocytaire	
	Cohorte 1	Cohorte 2
Janvier	228,15 ± 19,82	
Février	238,16 ± 24,5	46,21 ± 13,17
Mars	249,2 ± 25,79	68,07 ± 25,35
Avril	285,24 ± 28,43	77,74 ± 28,18
Mai	267,65 ± 33,34	87,88 ± 16,25
Juin	181,25 ± 36,39	100,03 ± 30,68
Juillet		133,05 ± 26,5
Août		143,77 ± 24,3
Septembre		171,37 ± 36,47
Octobre		181,8 ± 44,58
Novembre		185,98 ± 24,61
Décembre		190,17 ± 32,87

**Tableau 21:** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire (Cohorte 1, Cohorte 2) des femelles *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=30$ ) récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) de Janvier à Décembre de l'année 2016.

Mois	Diamètre ovocytaire	
	Cohorte 1	Cohorte 2
<b>Janvier</b>	220,64 $\pm$ 33,74	
<b>Février</b>	227,61 $\pm$ 36,48	41,2 $\pm$ 16,84
<b>Mars</b>	237,67 $\pm$ 28,83	62,77 $\pm$ 18,91
<b>Avril</b>	275,11 $\pm$ 43,78	68,04 $\pm$ 26,39
<b>Mai</b>	256,78 $\pm$ 52,54	82,54 $\pm$ 20,71
<b>Juin</b>	165,66 $\pm$ 18,44	94,25 $\pm$ 20,73
<b>Juillet</b>		121,59 $\pm$ 15,24
<b>Août</b>		139,85 $\pm$ 29,31
<b>Septembre</b>		161,35 $\pm$ 26,39
<b>Octobre</b>		181,06 $\pm$ 29,1
<b>Novembre</b>		176,89 $\pm$ 40,43
<b>Décembre</b>		186,31 $\pm$ 30,8

**Tableau 22:** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire (Cohorte 1, Cohorte 2) des femelles *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=30$ ) récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) de Janvier à Décembre de l'année 2016.

Mois	Diamètre ovocytaire	
	Cohorte 1	Cohorte 2
<b>Janvier</b>	128,22 $\pm$ 21,76	
<b>Février</b>	184,06 $\pm$ 23,78	34,73 $\pm$ 11,75
<b>Mars</b>	215,29 $\pm$ 30,14	52,09 $\pm$ 17,62
<b>Avril</b>	221,9 $\pm$ 33,9	66,41 $\pm$ 22,92
<b>Mai</b>	174,38 $\pm$ 29,77	71,72 $\pm$ 24,75
<b>Juin</b>	140,77 $\pm$ 23,79	75,31 $\pm$ 25,99
<b>Juillet</b>		90,75 $\pm$ 35,21
<b>Août</b>		96,12 $\pm$ 27,7
<b>Septembre</b>		111,73 $\pm$ 23
<b>Octobre</b>		121,34 $\pm$ 23,56
<b>Novembre</b>		166,38 $\pm$ 23,09
<b>Décembre</b>		155 $\pm$ 29,59

Pour la première cohorte : L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification a révélé une différence hautement significative ( $P < 0,01$ ) entre les sites durant le mois de Mars, le test de Tukey nous a permis de classer les sites en trois groupes le groupe A présente le site d'El-Kala (La Montagne) , où les valeurs moyennes du diamètre ovocytaire sont les plus élevées, le groupe AB qui renferme les femelles du site d'Annaba (Saint-Cloud) qui présentent des valeurs intermédiaires entre les femelles d'El-Kala (La Montagne) et de Skikda (Bikini) et le

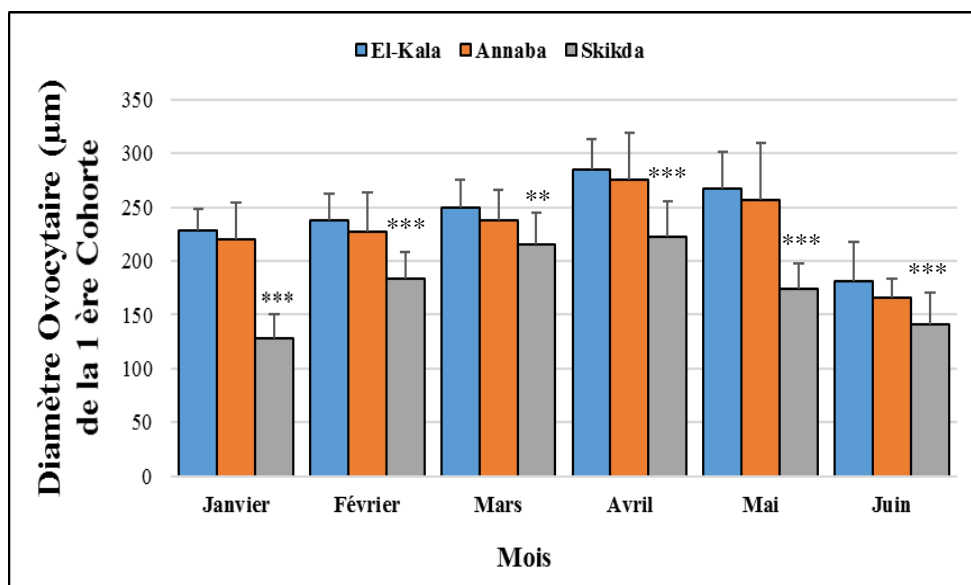
groupe B renferme les femelles provenant du site de Skikda (Bikini) et qui présente les valeurs les plus faibles (Figure 89 ; Tableau 23).

L'analyse ANOVA à un critère de classification pour les mois de Janvier, Février, Avril, Mai et Juin a révélé une différence très hautement significative ( $p < 0,001$ ), le test de Tukey nous a permis de classer les sites en deux groupes, le groupe A correspond aux sites d'El-Kala (La Montagne) et d'Annaba (Saint-Cloud) et le groupe B correspond au site de Skikda (Bikini) (Figure 89 ; Tableau 23).

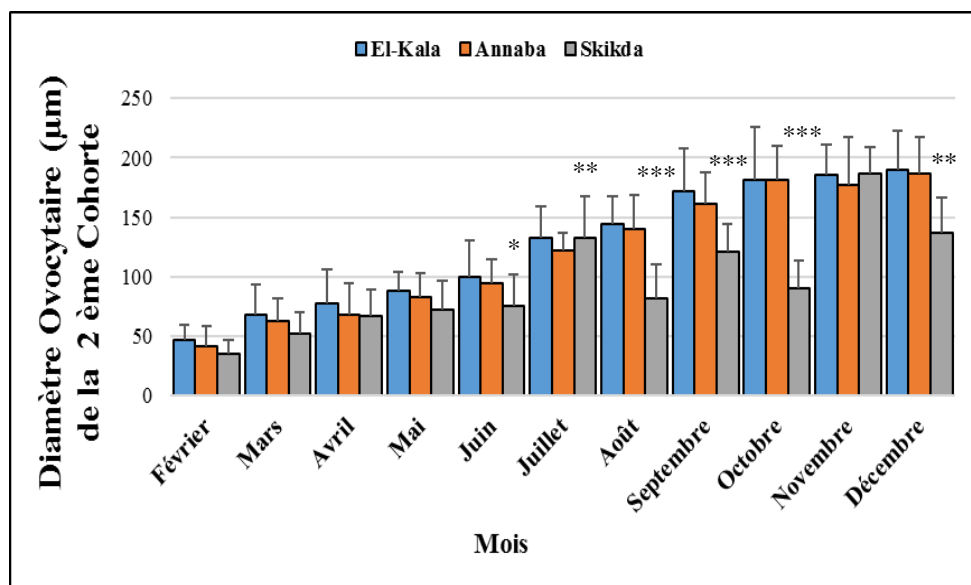
Pour la seconde cohorte : L'analyse ANOVA à un critère de classification a révélé une différence très hautement significative ( $p < 0,001$ ) pour les mois d'Août, Septembre et Octobre ; une différence hautement significative ( $P < 0,01$ ) a été signalée aux mois de Juillet et Décembre et une différence très significative ( $P < 0,05$ ) a été révélée au mois de Juin (Figure 90 ; Tableau 23).

Le test de Tukey nous a permis de classer les sites en trois groupes le groupe A présente le site d'El-Kala (La Montagne), le groupe AB qui renferme les femelles du site d'Annaba (Saint-Cloud) et le groupe B qui représente les femelles du site de Skikda (Bikini).

Durant les mois de Juillet, Août, Septembre, Octobre et Décembre le test de Tukey nous a permis de classer les sites en deux groupes, le groupe A représente les deux sites d'El-Kala (La Montagne) et d'Annaba (Saint-Cloud) et le groupe B correspond au site de Skikda (Bikini) (Figure 90 ; Tableau 23).



**Figure 89:** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=30$ ) de la première cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude, El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Skikda (Bikini) de Janvier à Décembre de l'année 2016.



**Figure 90:** Evolution mensuelle du diamètre ovocytaire des femelles *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=30$ ) de la deuxième cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude, El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Skikda (Bikini) de Janvier à Décembre de l'année 2016.

**Tableau 23:** ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey du diamètre ovocytaire chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=30$ ) au niveau des trois sites d'étude de Janvier à Décembre de l'année 2016.

	Mois	Site			P
		El-Kala	Annaba	Skikda	
Cohorte 1	Janvier	A	A	B	0,000***
	Février	A	A	B	0,000***
	Mars	A	AB	B	0,007**
	Avril	A	A	B	0,000***
	Mai	A	A	B	0,000***
	Juin	A	A	B	0,000***
Cohorte 2	Février	A	A	A	0,094NS
	Mars	A	A	A	0,116NS
	Avril	A	A	A	0,404NS
	Mai	A	A	A	0,109NS
	Juin	A	AB	B	0,033*
	Juillet	A	A	B	0,001**
	Août	A	A	B	0,000***
	Septembre	A	A	B	0,000***
	Octobre	A	A	B	0,000***
	Novembre	A	A	A	0,178NS
	Décembre	A	A	B	0,002**

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 a deux critères de classification (Sites/Mois) réalisée sur la première cohorte a révélé un effet site et mois très hautement significatifs ( $p < 0,001$ ) mais aucun effet pour l'interaction site/mois n'a été révélé ( $P > 0,05$ ) (Tableau24).

**Tableau 24:** ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du diamètre ovocytaire chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=30$ ) de la première cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016.

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	122054	61027	62,21	0,000***
Mois	5	271665	54333	55,38	0,000***
Interaction sites/mois	10	7359	736	0,75	0,677NS
Erreur résiduelle	252	247225	981		
Totale	269	648303			

**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 a révèle un effet site et mois très hautement significatifs ( $p < 0,001$ ) mais aucun effet pour l'interaction site/mois n'a été révélé ( $P > 0,05$ ) (Tableau25).

**Tableau 25:** ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du diamètre ovocytaire chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n=30$ ) de la seconde cohorte récoltée au niveau des trois sites d'étude La Montagne (El-Kala), (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016.

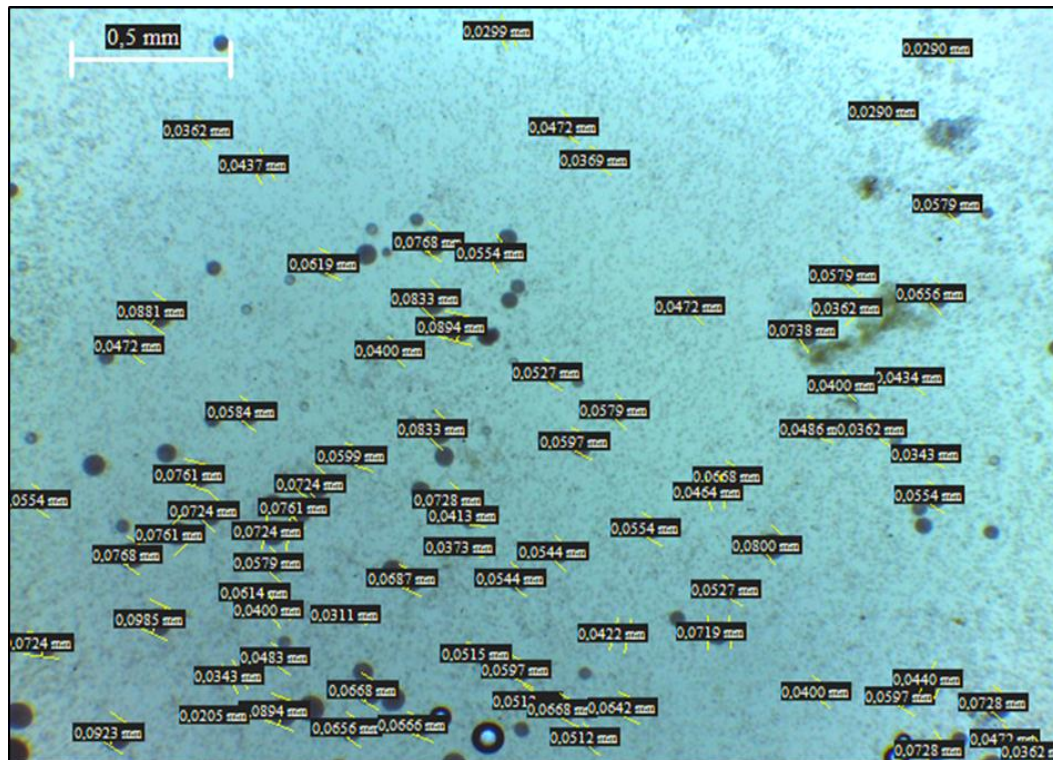
Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	53799	26899	30,50	0,000***
Mois	5	1132778	113278	128,43	0,000***
Interaction sites/mois	20	11820	591	0,67	0,856NS
Erreur résiduelle	462	407479	882		
Totale	494	1605876			

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

### 3.7. Fréquences de tailles ovocytaire :

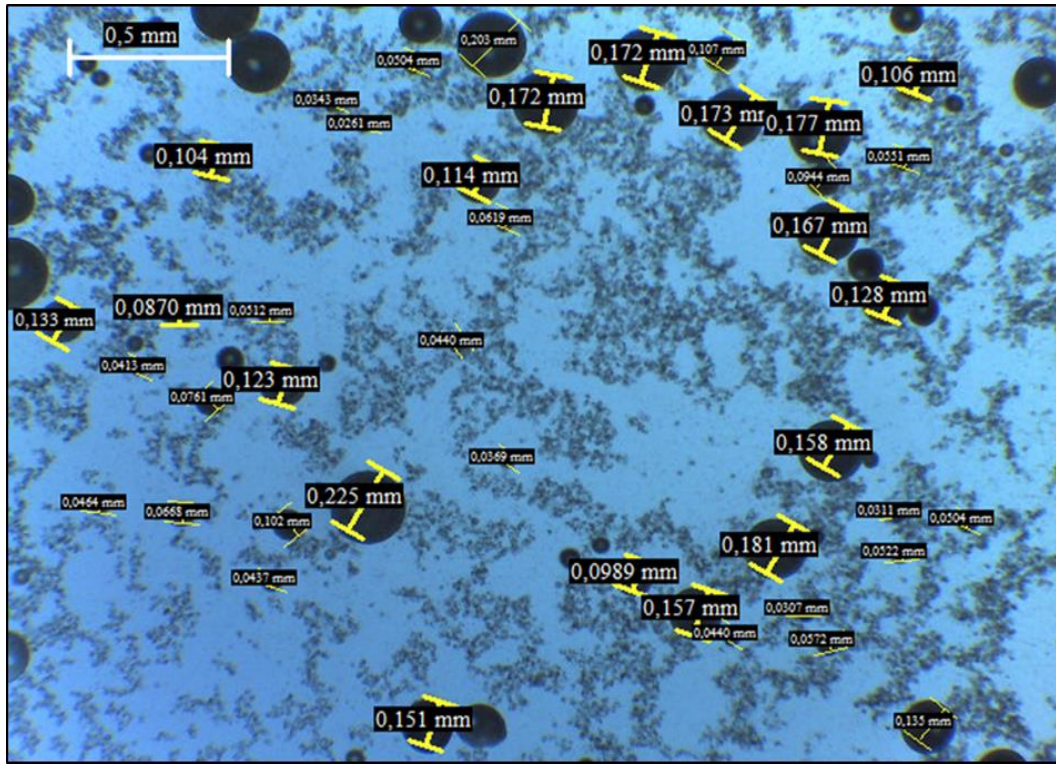
L'examen du contenu cœlomique des femelles récoltées au niveau des trois sites d'étude a montré un aspect hétérogène où les ovocytes avaient présenté des diamètres inégaux. En raison de la présence d'ovocytes en prévitellogenèse mais aussi en stade avancé de la vitellogenèse et parfois matures dans le cœlome des femelles, nous avons déduit que *Perinereis cultrifera* avait une ovogenèse asynchrone. Pour cette raison, l'étude biométrique de la croissance des ovocytes était essentielle afin de déterminer la période de reproduction ainsi que la saison d'essaimage. Le diamètre des ovocytes présents dans la cavité cœlomique a été utilisé comme indicateur des stades de maturation. Chez *Perinereis cultrifera*, ces ovocytes avaient des dimensions très diverses, de sorte que sept des groupes d'ovocytes en

Les ovocytes ayant complété la vitellogenèse mesuraient 300-350  $\mu\text{m}$ . Les femelles ayant des ovocytes de petite taille (diamètre inférieur à 50  $\mu\text{m}$ ) étaient présentes toute l'année. Le liquide cœlomique des femelles prélevées au mois d'Avril contenait une majorité de gros ovocytes, ce qui indique que cette période correspondait à la période de reproduction la plus intense. À partir du mois d'Avril, la réduction drastique du nombre d'ovocytes matures dans la cavité cœlomique a été liée à l'émission des produits génitaux lors de l'essaimage. Une proportion relativement élevée de femelles contenant des ovocytes matures a été trouvée aux mois de Mars et Avril chez les femelles collectées à El-Kala (50%), 15-39% chez les femelles collectées à Annaba et 3-19% chez les femelles collectées à Skikda. Par ailleurs durant les périodes d'hiver et d'été, nous avons trouvé une forte proportion de femelles contenant des ovocytes petits et moyens (Figures 96, 97 et 98 ; Tableaux 26, 27 et 28).

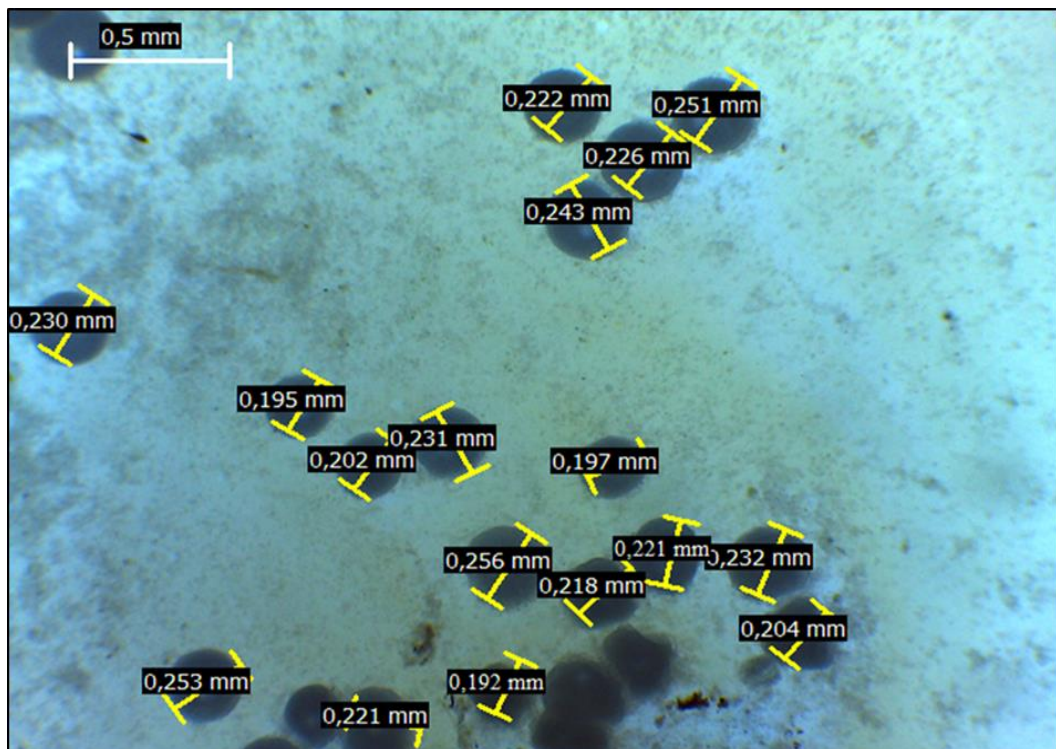


108



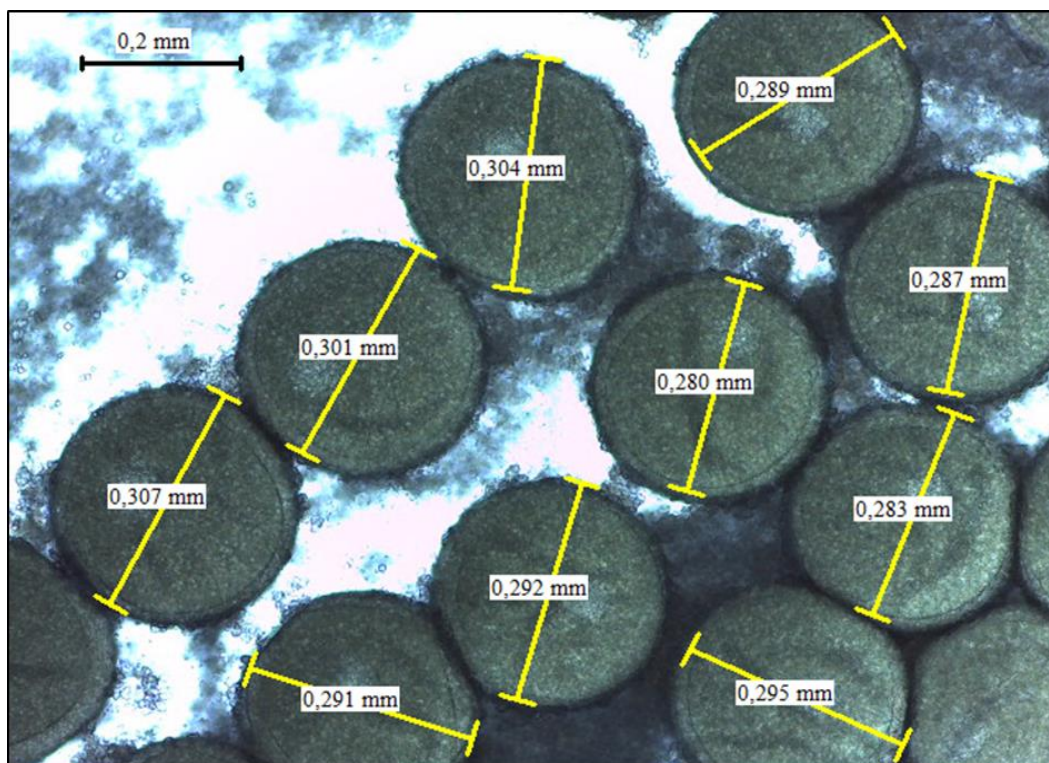


**Figure 92:** Mensurations ovocytaires chez *Perinereis cultrifera* présentant des intervalles de taille dont la majorité sont compris entre 100-150  $\mu\text{m}$  et 150-200  $\mu\text{m}$ .

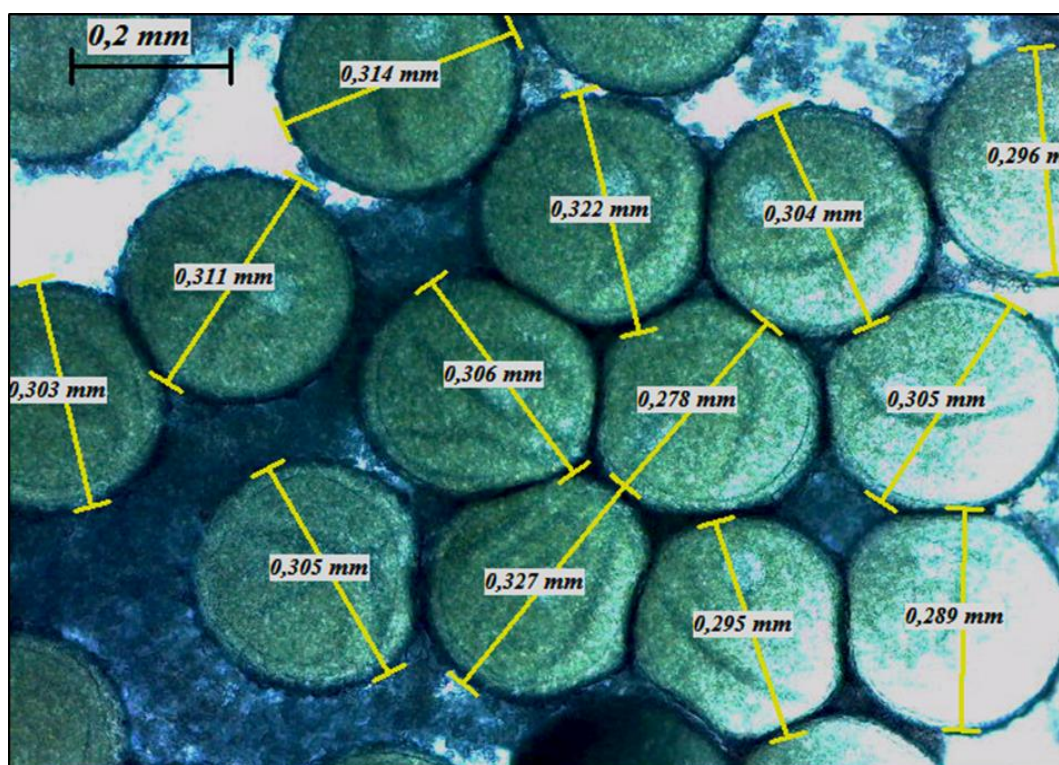


**Figure 93:** Mensurations ovocytaires chez *Perinereis cultrifera* présentant des intervalles de taille dont la majorité sont compris entre 200 et 250  $\mu\text{m}$ .

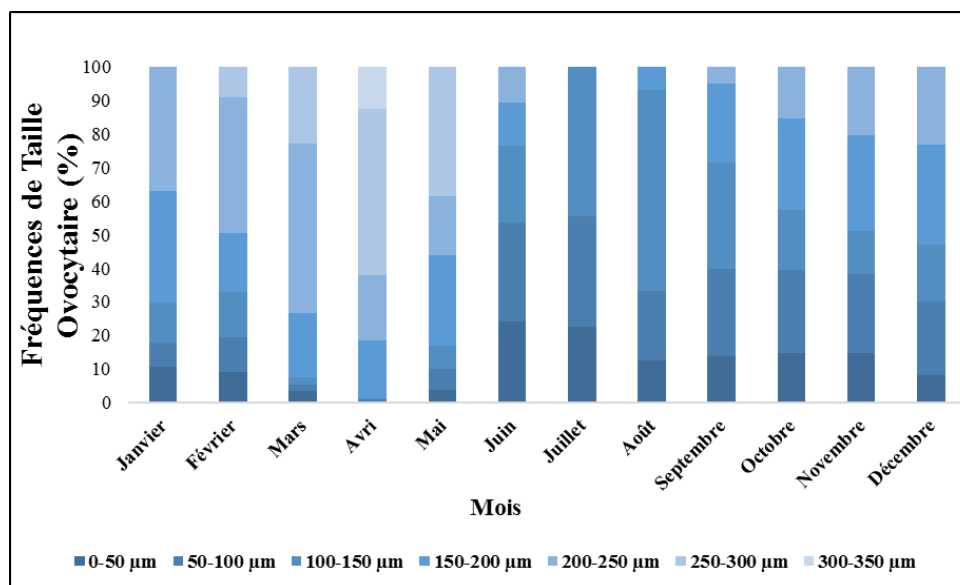




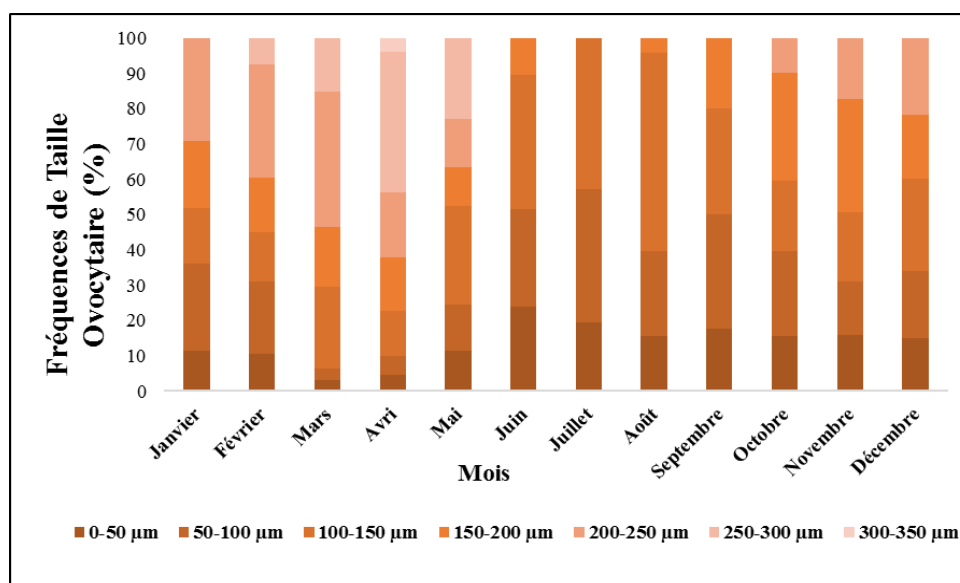
**Figure 94:** Mensurations ovocytaires chez *Perinereis cultrifera* présentant des intervalles de taille dont la majorité sont compris entre 250 et 300  $\mu\text{m}$ .



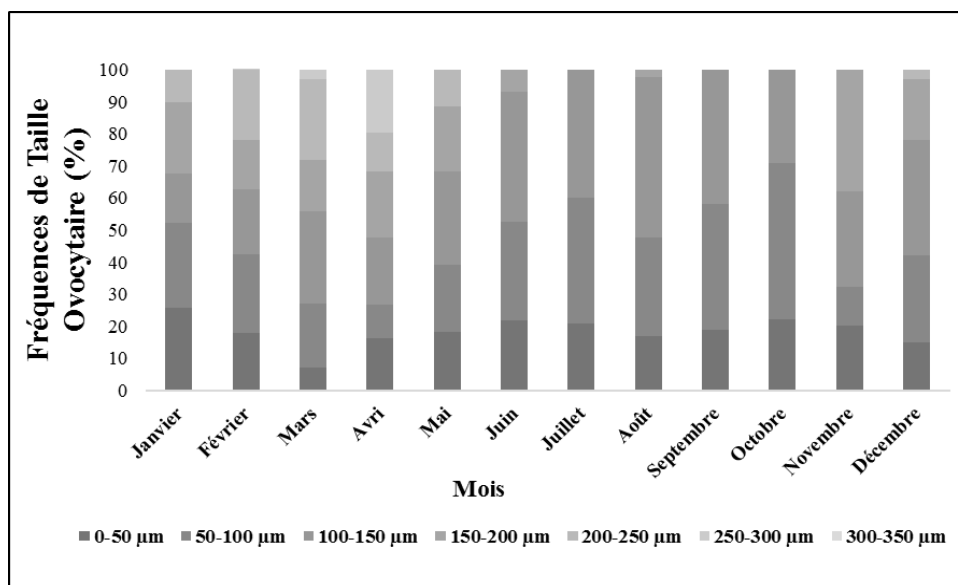
**Figure 95:** Mensurations ovocytaires chez *Perinereis cultrifera* ayant terminé la vitellogénèse (Matures) et présentant des intervalles de taille dont la majorité sont compris entre 300 et 350  $\mu\text{m}$ .



**Figure 96:** Variations mensuelles des fréquences de taille ovocytaire (%) chez les femelles de *Perenereis cultrifera* récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) durant l'année 2016.



**Figure 97:** Variations mensuelles des fréquences de taille ovocytaire (%) chez les femelles de *Perenereis cultrifera* récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant l'année 2016.



**Figure 98:** Variations mensuelles des fréquences de taille ovocytaire (%) chez les femelles de *Perenereis cultrifera* récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) durant l'année 2016.

**Tableau 26:** Variations mensuelles des fréquences de taille ovocytaire (%) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) durant l'année 2016.

Mois	Classe de taille ( $\mu\text{m}$ )						
	0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350
Janvier	11,29	24,86	15,74	19	29,1	0	0
Février	10,4	20,5	14,1	15,58	31,8	7,62	0
Mars	3	3,27	23,2	17,01	38,22	15,3	0
Avril	4,6	5,4	12,8	15,2	18,3	39,7	4
Mai	11,3	13,2	27,85	11,13	13,6	22,92	0
Juin	23,89	27,6	38,18	10,33	0	0	0
Juillet	19,4	37,9	42,7	0	0	0	0
Août	15,6	24,08	56,12	4,2	0	0	0
Septembre	17,79	32,15	30,06	20	0	0	0
Octobre	15,6	23,9	20	30,5	10	0	0
Novembre	15,9	15	19,7	32	17,4	0	0
Décembre	14,91	19,09	26	18,4	21,6	0	0



**Tableau 27:** Variations mensuelles des fréquences de taille ovocytaire (%) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant l'année 2016.

Mois	Classe de taille (µm)						
	0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350
Janvier	10,74	7,2	11,76	33,2	37,1	0	0
Février	9,1	10,3	13,6	17,58	40,3	9,12	0
Mars	3,51	1,8	2,2	19,1	50,49	22,9	0
Avril	0,4	0,6	0,23	17,2	19,5	49,57	12,5
Mai	3,8	6,2	7,07	26,7	17,61	38,62	0
Juin	24,09	29,5	22,8	12,93	10,68	0	0
Juillet	24,09	29,5	22,8	12,93	10,68	0	0
Août	12,49	20,69	60,12	6,7	0	0	0
Septembre	13,74	26,15	31,76	23,25	5,1	0	0
Octobre	14,59	25	17,7	27,5	15,21	0	0
Novembre	15,01	23,7	12,7	28,81	20	0	0
Décembre	8	22	16,9	30,1	23	0	0

**Tableau 28:** Variations mensuelles des fréquences de taille ovocytaire (%) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) durant l'année 2016.

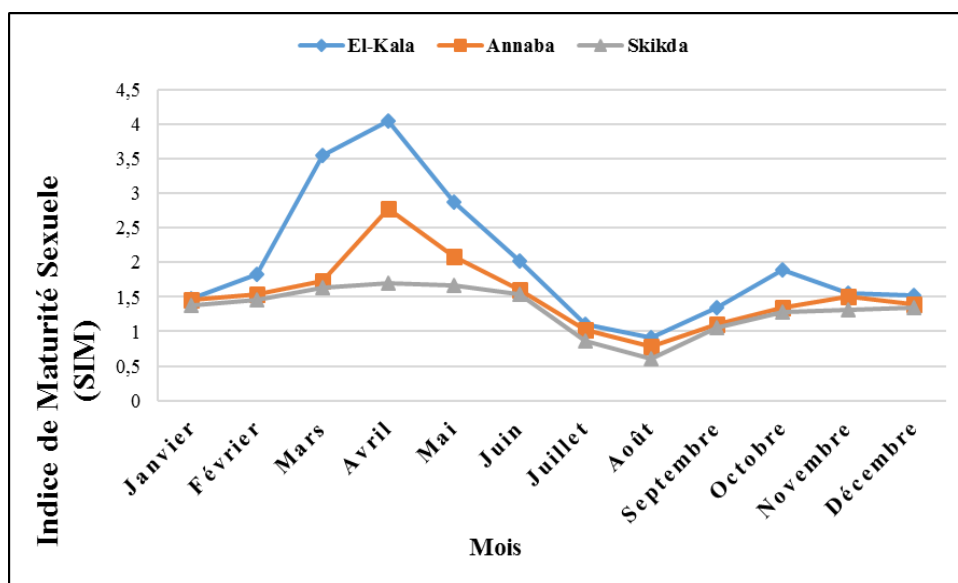
Mois	Classe de taille (µm)						
	0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350
Janvier	25,69	26,6	15,4	22,16	10,15	0	0
Février	18	24,5	20,1	15,47	21,8	0,13	0
Mars	7,13	20	28,6	16,18	24,99	3,1	0
Avril	16,23	10,54	20,8	20,7	12,13	19,6	0
Mai	18,05	21,1	28,95	20,3	11,6	0	0
Juin	21,82	30,6	40,58	7	0	0	0
Juillet	20,86	39,14	40	0	0	0	0
Août	17,02	30,68	50	2,3	0	0	0
Septembre	18,76	39,34	41,9	0	0	0	0
Octobre	22,1	48,9	29	0	0	0	0
Novembre	20,2	12,1	29,7	38	0	0	0
Décembre	14,91	27,12	36	19,14	2,83	0	0

### 3.8. Indice de maturité sexuelle (SIM) :

Le suivi mensuel de l'indice de maturité sexuelle chez *Perinereis cultrifera* affiche des variations similaires chez les femelles prélevées des trois sites. Cependant le site d'El-Kala (La Montagne), présente l'indice de maturité sexuelle le plus élevé tout au long de l'année 2016.

Les valeurs maximales de l'indice de maturité sexuelle (SIM) ont été enregistrées en avril (4,04 ; 2,77 et 1,70) respectivement pour les sites d'étude d'El-Kala (La Montagne), Annaba

(Saint-Cloud) et Skikda (Bikini). Toutefois, les valeurs les plus basses ont été enregistrées en août (0,96 ; 0,79 ; et 0,60) respectivement sur les trois sites d'étude d'El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Skikda (Bikini), (Figure 99 ; Tableau 29).



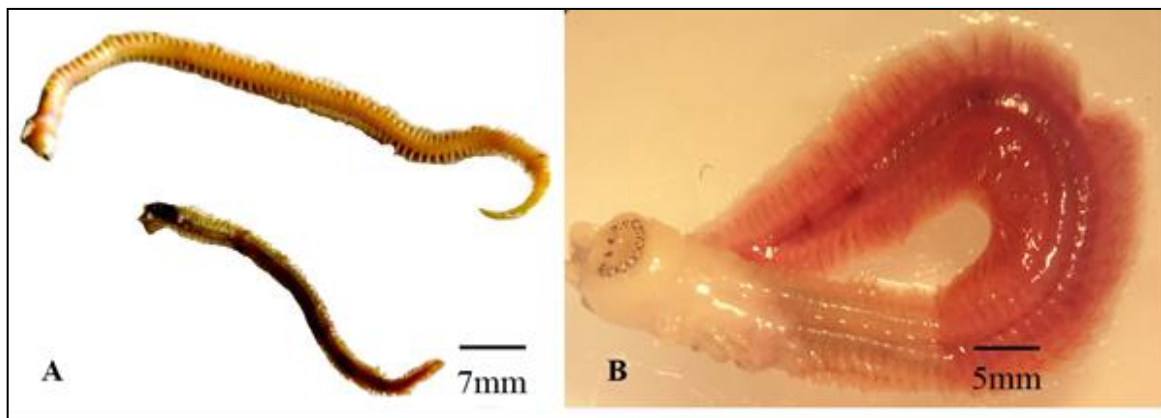
**Figure 99:** Variations mensuelles de l'indice de maturité sexuelle chez les femelles *Perenereis cultrifera* (n=50) récoltées au niveau des trois sites d'étude (El-Kala, Annaba et Skikda) durant l'année 2016.

**Tableau 29:** Variations mensuelles de l'indice de maturité sexuelle chez les femelles *Perenereis cultrifera* (n=50) récoltées au niveau des trois sites d'étude (El-Kala, Annaba et Skikda) durant l'année 2016.

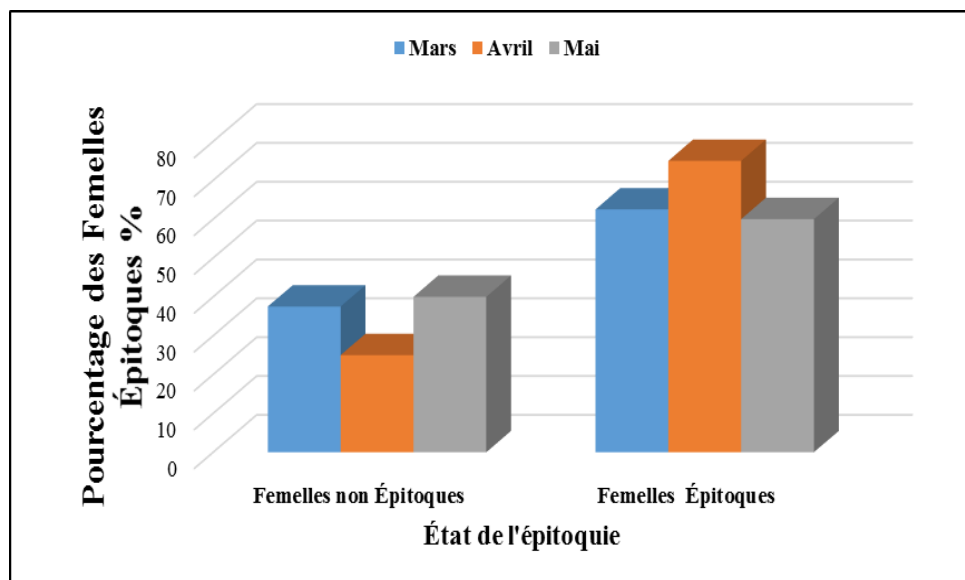
Mois \ Site	El Kala	Annaba	Skikda
Janvier	1,48	1,46	1,37
Février	1,82	1,54	1,46
Mars	3,54	1,73	1,63
Avril	4,04	2,77	1,7
Mai	2,88	2,09	1,67
Juin	2,02	1,6	1,54
Juillet	1,11	1,03	0,86
Août	0,91	0,79	0,6
Septembre	1,35	1,1	1,06
Octobre	1,89	1,34	1,28
Novembre	1,56	1,51	1,31
Décembre	1,52	1,4	1,35

### 3.9. Étude de l'épitoquie :

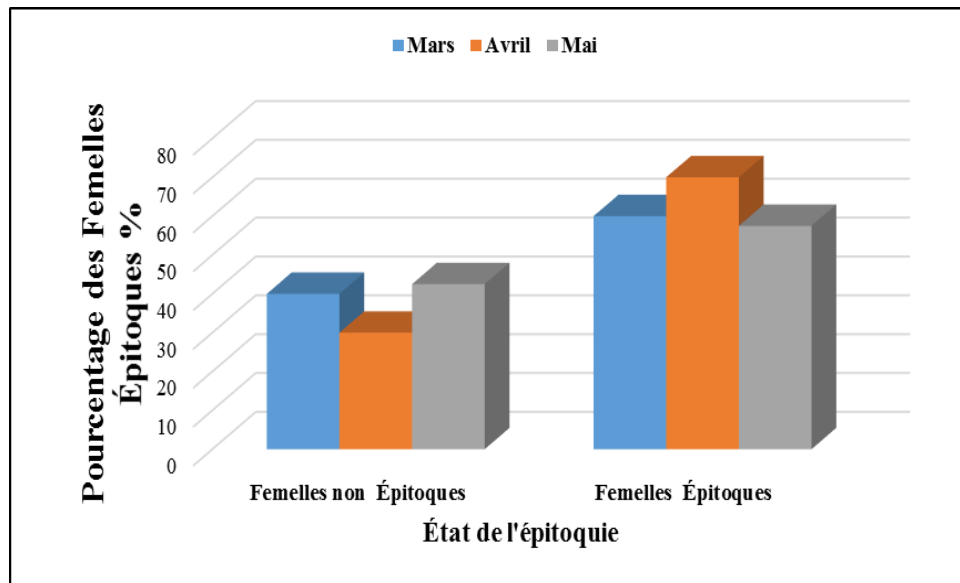
Le suivi mensuel de l'épitoquie chez les femelles de *Perinereis cultrifera* récoltées au niveau des trois sites d'étude en période de reproduction a montré deux types d'individus, les femelles épitoques et les femelles non épitoques (Figure 100). Les résultats des trois sites montrent un pic des femelles épitoques au mois d'avril avec un pourcentage de 75 % tandis que la valeur la plus faible a été observée à Skikda au mois de Mars avec un pourcentage de 52,5 %. Concernant les femelles non épitoques la valeur la plus élevée a été observée au mois de Mars à Skikda avec un pourcentage de 45% et la valeur la plus faible a été enregistrée au mois d'Avril à El-Kala avec un pourcentage de 25% (Figures 101, 102 et 103 ; Tableau 30).



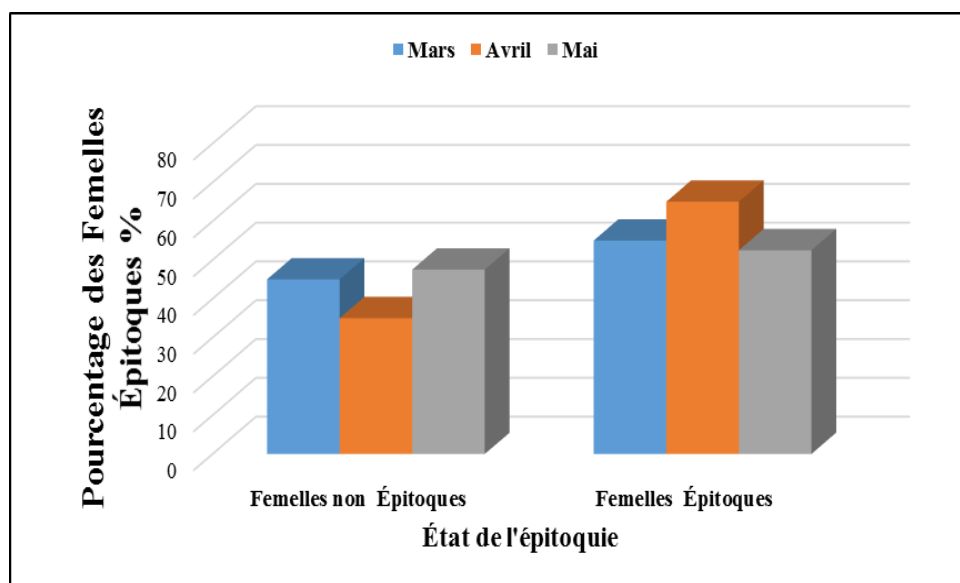
**Figure 100:** Femelles de *Perinereis cultrifera* immatures (non épitoques) (A) ; femelle épitoque (B), (Photo Personnelle, 2019).



**Figure 101:** Variations mensuelles de la présence ou l'absence d'épitoquie chez les femelles de *Perenereis cultrifera* (n=40) récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) durant la période de reproduction de l'année 2016.



**Figure 102:** Variations mensuelles de la présence ou l'absence d'épitoque chez les femelles de *Perenereis cultrifera* (n=40) récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant la période de reproduction de l'année 2016.



**Figure 103:** Variations mensuelles de la présence ou l'absence d'épitoque chez les femelles de *Perenereis cultrifera* (n=40) récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) durant la période de reproduction de l'année 2016.

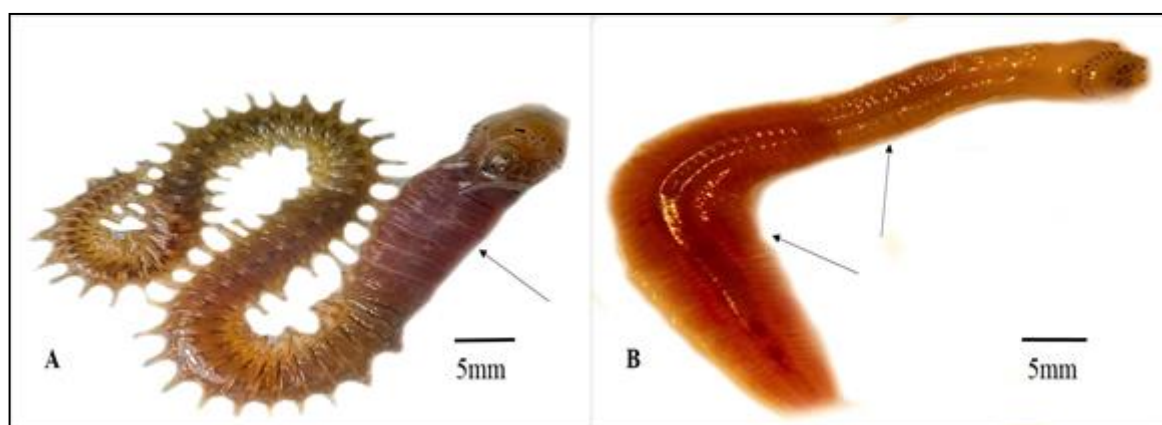
**Tableau 30:** Variations mensuelles de l'épitoquie chez les femelles de *Perenereis cultrifera* (n=40) récoltées au niveau des trois sites d'étude (El-Kala, Annaba et Skikda) durant la période de reproduction de l'année 2016.

État de l'Épitoquie	Femelles Non Épitoques (%)			Femelles Épitoques (%)		
Site Mois	El Kala	Annaba	Skikda	El Kala	Annaba	Skikda
Mars	37,5	40	45	62,5	60	55
Avril	25	30	35	75	70	65
Mai	40	42,5	47,5	60	57,5	52,5

### 3.10. Types d'épitoquie chez les femelles de *Perinereis cultrifera* :

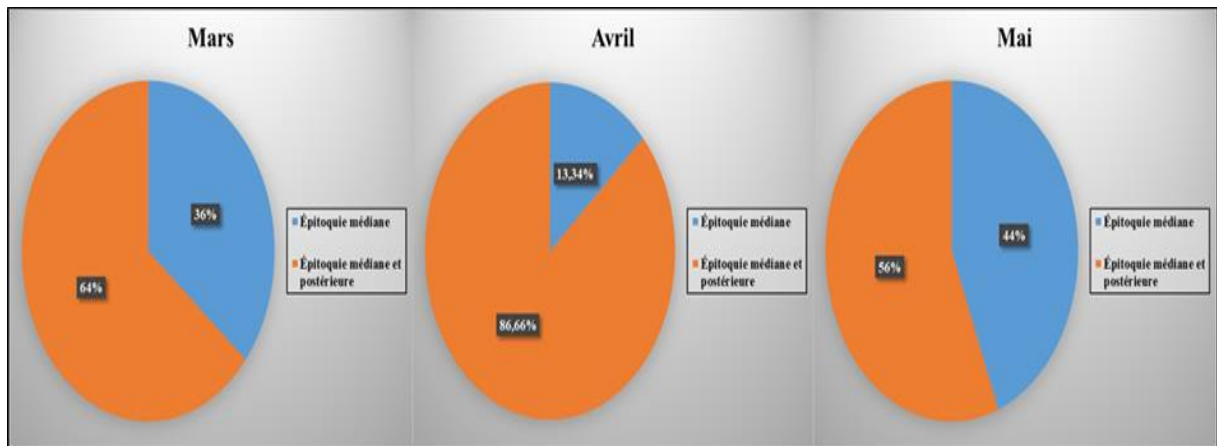
Le suivi mensuel des femelles épitoques de *Perinereis cultrifera* prélevées des trois sites d'étude en période de reproduction a montré deux types d'individus épitoques, les femelles dont l'épitoquie est médiane et les femelles dont l'épitoquie est médiane et postérieure (Figure 104). Les résultats des trois sites montrent un pic des femelles ayant une épitoquie médiane au mois d'Avril à Skikda avec un pourcentage de 77,77 % tandis que la valeur la plus faible a été observée à El-Kala au mois de Mars avec un pourcentage de 9,10 %.

Concernant les femelles ayant une épitoquie médiane et postérieure, la valeur la plus élevée a été observée au mois de Mars à El-Kala avec un pourcentage de 90,90 % et la valeur la plus faible a été enregistrée au mois d'Avril à Skikda avec un pourcentage de 22,23 % (Figures 105, 106 et 107 ; Tableau 31).

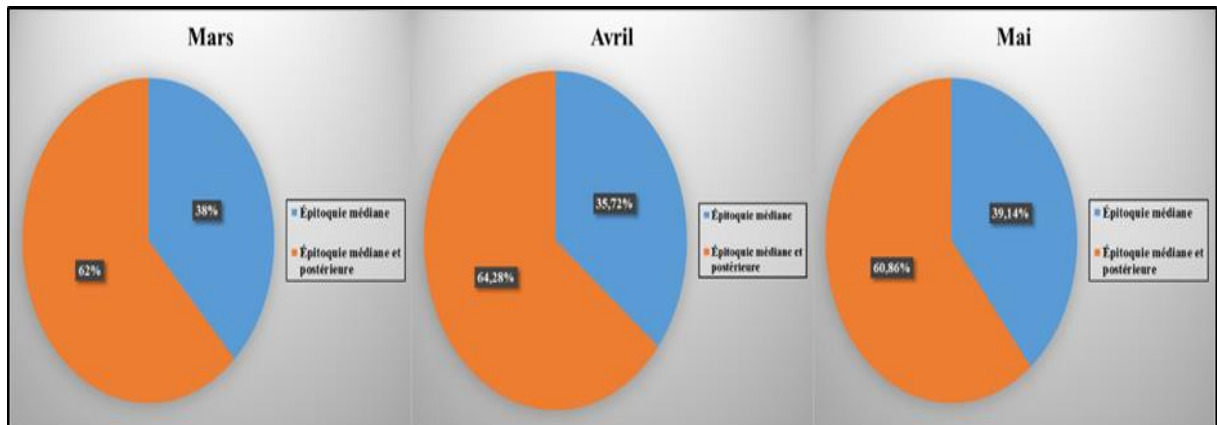


**Figure 104:** Épitoquie médiane chez une femelle de *Perinereis cultrifera* (A), femelles présentant une épitoquie médiane et postérieure (B), (Photo Personnelle, 2019).





**Figure 105:** Pourcentage des différents types d'épitoque chez les femelles de *Perenereis cultrifera* récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) durant la période de reproduction de l'année 2016.



**Figure 106:** Pourcentage des différents types d'épitoque chez les femelles de *Perenereis cultrifera* récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant la période de reproduction de l'année 2016.



**Figure 107:** Pourcentage des différents types d'épitoque chez les femelles de *Perenereis cultrifera* récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) durant la période de reproduction de l'année 2016.

**Tableau 31:** Variations mensuelles des différents types d'épitoque chez les femelles de *Perenereis cultrifera* récoltées au niveau des trois sites d'étude (El-Kala, Annaba et Skikda) durant la période de reproduction de l'année 2016.

Types d'Épitoque Site Mois	Épitoque Médiane (%)			Épitoque Médiane et Postérieure (%)		
	El Kala	Annaba	Skikda	El Kala	Annaba	Skikda
Mars	36	38	45,46	64	63	54,54
Avril	13,34	35,72	61,53	86,66	64,28	38,47
Mai	44	39,14	57,14	56	60,86	42,86

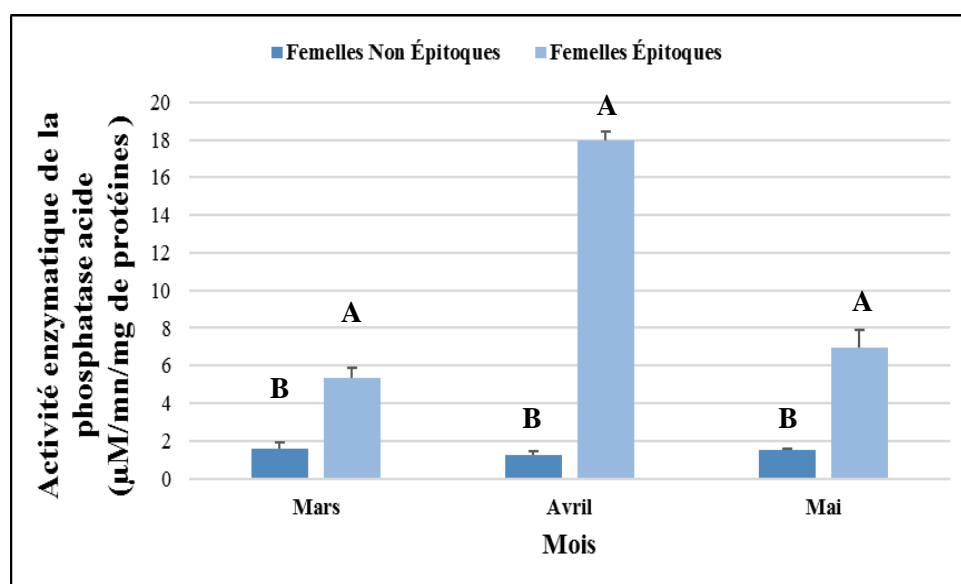
### 3.11. Évaluation de l'activité enzymatique de la Phosphatase acide au cours de la période de reproduction :

Les variations mensuelles de l'activité enzymatique de la Phosphatase acide chez les femelles de *Perinereis cultrifera* récoltées au niveau des trois sites étudiés a montré qu'au stade non épitoque l'activité de la phosphatase acide chez les femelles provenant des trois sites d'étude El-Kala, Annaba et Skikda est relativement faible (Tableau 32). Une augmentation plus importante a été enregistrée chez les femelles matures (épitoques) avec un pic au mois d'Avril atteignant  $17,96 \pm 0,46 \mu\text{M/mn/mg}$  de protéines au niveau du site d'El-Kala (La Montagne), et  $15,04 \pm 1,09 \mu\text{M/mn/mg}$  de protéines au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud), alors que la valeur la plus faible a été détectée au niveau du site de Skikda (Bikini) avec  $12,02 \pm 0,65 \mu\text{M/mn/mg}$  de protéines (Tableau 32).

**Tableau 32:** Variations mensuelles de l'activité enzymatique de la phosphatase acide chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n = 3$ ) (non épitoques et épitoques) récoltées au niveau des trois sites d'étude durant la période de reproduction de l'année 2018.

État de l'Épitoque	Femelles Épitoques			Femelles non Épitoques (Témoins)		
Site	El Kala	Annaba	Skikda	El Kala	Annaba	Skikda
Mois	El Kala	Annaba	Skikda	El Kala	Annaba	Skikda
Mars	5,34 $\pm$ 0,52	4,29 $\pm$ 1,59	4,15 $\pm$ 0,55	1,58 $\pm$ 0,37	1,29 $\pm$ 0,36	1,69 $\pm$ 0,11
Avril	17,96 $\pm$ 0,46	15,04 $\pm$ 1,09	12,02 $\pm$ 0,65	1,26 $\pm$ 0,18	1,95 $\pm$ 0,66	1,21 $\pm$ 0,10
Mai	6,93 $\pm$ 0,94	6,49 $\pm$ 0,53	5,53 $\pm$ 0,45	1,51 $\pm$ 0,06	1,48 $\pm$ 0,15	1,25 $\pm$ 0,05

L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification de l'activité enzymatique de la phosphatase effectuée sur les femelles (épitoques et non épitoques) de *Perinereis cultrifera* récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) a révélé une différence hautement significative entre les sites pour les mois de Mars et Mai ( $P < 0,01$ ) et une différence très hautement significative au mois d'Avril ( $P < 0,001$ ). Le test de Tukey nous a permis de classer les sites en deux groupes durant les trois mois d'études, le groupe A renferme les femelles épitoques et le groupe B renferme les femelles non épitoques (Figure 108 ; Tableau 33).



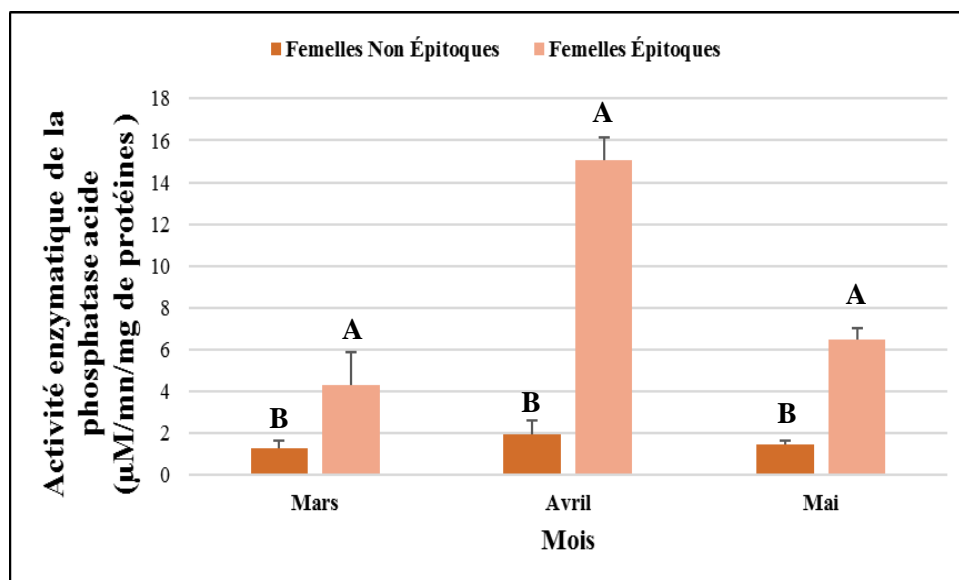
**Figure 108:** Variations mensuelles de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n = 3$ ) récoltées au niveau du site d'El Kala (La Montagne) durant la période de reproduction de l'année 2018 (classification de Tukey).

**Tableau 33:** Variations mensuelles de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n = 3$ ) récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) durant la période de reproduction de l'année 2018, (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

État de l'Épitoque	Mois		
	Mars	Avril	Mai
Femelles Épitoques	$5,34 \pm 0,52$ A	$17,96 \pm 0,46$ A	$6,93 \pm 0,94$ A
Femelles non Épitoques	$1,58 \pm 0,37$ B	$1,26 \pm 0,18$ B	$1,51 \pm 0,06$ B
P	0,001**	0,000***	0,001**

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

L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification de l'activité enzymatique de la phosphatase effectuée sur les femelles (épitoques et non épitoques) de *Perinereis cultrifera* récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) a révélé une différence très significative entre les sites pour le mois de Mars ( $P < 0,05$ ) et une différence très hautement significative aux mois d'Avril et Mai ( $P < 0,001$ ). Le test de Tukey nous a permis de classer les sites en deux groupes durant les trois mois d'études, le groupe A renferme les femelles épitoques et le groupe B renferme les femelles non épitoques (Figure 109 ; Tableau 34).



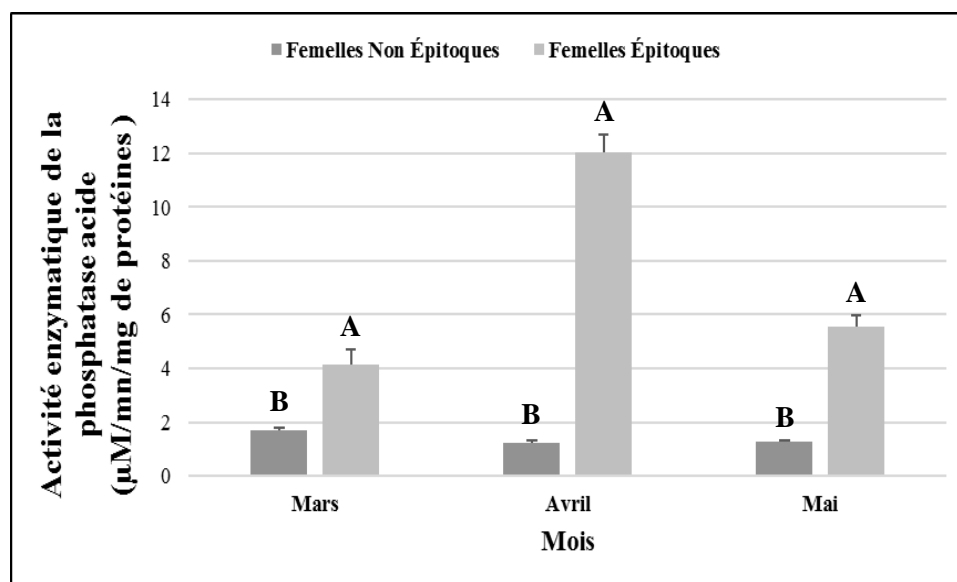
**Figure 109:** Variations mensuelles de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n = 3$ ) récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant la période de reproduction de l'année 2018 (classification de Tukey).

**Tableau 34:** Variations mensuelles de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n = 3$ ) récoltées au niveau du site d'Annaba (Saint-Cloud) durant la période de reproduction de l'année 2018, (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

État de l'Épitoque	Mois		
	Mars	Avril	Mai
Femelles Épitoques	$4,29 \pm 1,59$ A	$15,04 \pm 1,09$ A	$6,49 \pm 0,53$ A
Femelles non Épitoques	$1,29 \pm 0,36$ B	$1,95 \pm 0,66$ B	$1,48 \pm 0,15$ B
P	0,033*	0,000***	0,000***

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

L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification de l'activité enzymatique de la phosphatase effectuée sur les femelles (épitoques et non épitoques) de *Perinereis cultrifera* récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) a révélé une différence hautement significative entre les sites pour le mois de Mars ( $P < 0,01$ ) et une différence très hautement significative aux mois d'Avril et Mai ( $P < 0,001$ ). Le test de Tukey nous a permis de classer les sites en deux groupes durant les trois mois d'études, le groupe A renferme les femelles épitoques et le groupe B renferme les femelles non épitoques (Figure 110 ; Tableau 35).



**Figure 110:** Variations mensuelles de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n = 3$ ) récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) durant la période de reproduction de l'année 2018 (classification de Tukey).



**Tableau 35:** Variations mensuelles de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n = 3$ ) récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) durant la période de reproduction de l'année 2018, (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

État de l'Épitoque	Mois		
	Mars	Avril	Mai
Femelles Épitoques	$4,15 \pm 0,55$	$12,02 \pm 0,65$	$5,53 \pm 0,45$
Femelles non Épitoques	$1,69 \pm 0,11$	$1,21 \pm 0,10$	$1,25 \pm 0,05$
P	0,002**	0,000***	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) réalisée sur les données relatives pour l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles épitoques de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n = 3$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude durant la période de reproduction de l'année 2018 a révélé un effet site et mois très hautement significatifs ( $p < 0,001$ ) et une interaction site/mois hautement significative ( $p < 0,01$ ) (Tableau 36).

**Tableau 36:** ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles épitoques de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n = 3$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude durant la période de reproduction de l'année 2018.

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	36,39	18,19	25,85	0,000***
Mois	2	560,38	280,19	398,03	0,000***
Interaction sites/mois	4	22,09	5,52	7,85	0,001**
Erreur résiduelle	18	12,67	0,704		
Totale	26	631,55			

**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 trois critères de classification (Site/Mois/ État d'épitoque) réalisée sur les données relatives à l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles épitoques et non épitoques de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n = 3$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude durant la période de reproduction de l'année 2018 a révélé un effet site, un effet mois et un effet de l'état d'épitoque très hautement significatifs ( $p < 0,001$ ) et une interaction site/mois hautement significative ( $p < 0,01$ ), l'ANOVA à trois critères de classification a révélé également une interaction mois/état d'épitoque et site/état d'épitoque très hautement significative ( $p < 0,001$ ) (Tableau 37).

**Tableau 37:** ANOVA à trois critères de classification (Site/Mois/État d'épitoque) de l'activité enzymatique de la phosphatase acide ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles épitoques et non épitoques de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n = 3$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude durant la période de reproduction de l'année 2018.

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	19,06	9,53	14,93	0,000***
Mois	2	279,81	139,90	219,21	0,000***
État d'épitoque	1	694,19	694,19	1087,72	0,000***
Interaction sites/mois	4	12,08	3,02	4,73	0,003**
Interaction mois/état d'épitoque	2	280,63	140,31	219,86	0,000***
Interaction site/état d'épitoque	2	17,50	8,75	13,71	0,000***
Erreur résiduelle	40	25,53	0,64		
Totale	53	1328,79			

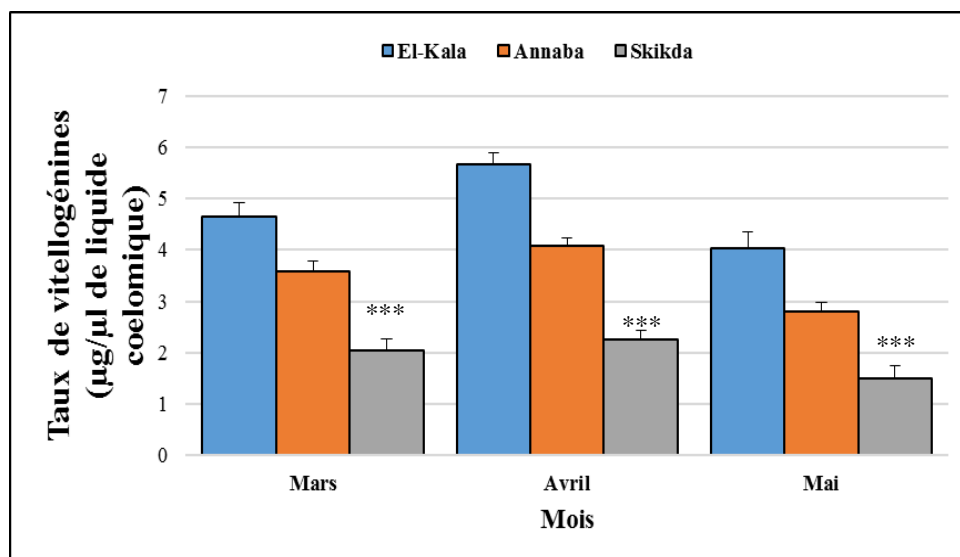
**DDL** : degré de liberté ; **SCE** : somme des carrés des écarts ; **CM** : carré moyen ; **Fobs** : test de Fisher ; **P** : seuil de signification.

### 3.12. Analyse quantitative des vitellogénines et des vitellines :

La teneur en vitellogénine et en vitellines a été mesurée respectivement dans le liquide coelomique et les ovocytes chez les femelles de *Perinereis cultrifera* récoltées au niveau des trois sites d'étude : El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Skikda (Bikini) durant la période de reproduction qui s'étale de Mars à Mai de l'année 2018.

#### 3.12.1. Évaluation du taux de vitellogénines :

Le suivi mensuel du taux de vitellogénines dans le liquide coelomique indique une valeur maximale chez les femelles récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) au mois d'Avril avec  $5,67 \pm 0,21 \mu\text{g}/\text{mg}$  de liquide coelomique tandis que la valeur minimale a été signalée chez les femelles récoltées au niveau du site de Skikda (Bikini) au mois de Mai avec  $1,50 \pm 0,25 \mu\text{g}/\text{mg}$  de liquide coelomique. (Figure 111 ; Tableau 38).



**Figure 111:** Variations du taux de vitellogénines ( $\mu\text{g}/\text{mg}$  de liquide coelomique) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant la période de reproduction qui s'étale de Mars à Mai de l'année 2018.

L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification du taux de vitellogénines ( $\mu\text{g}/\text{mg}$  de liquide coelomique) a révélé une différence très hautement significative entre les sites durant toute la période d'étude ( $p < 0,001$ ) (Tableau 38).

Le test de Tukey nous a permis de classer les sites en trois groupes durant les trois mois d'étude où le groupe A représente le site d'El-Kala, le groupe B correspond au site d'Annaba et le groupe C celui de Skikda (Tableau 38).

**Tableau 38:** Taux de vitellogénines ( $\mu\text{g}/\text{mg}$  de liquide coelomique) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant la période de reproduction qui s'étale de Mars à Mai de l'année 2018 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

Mois	Site			
	El-Kala	Annaba	Skikda	P
Mars	$4,64 \pm 0,27$ A	$3,58 \pm 0,19$ B	$2,03 \pm 0,23$ C	0,000***
Avril	$5,67 \pm 0,21$ A	$4,08 \pm 0,15$ B	$2,25 \pm 0,19$ C	0,000***
Mai	$4,02 \pm 0,31$ A	$2,79 \pm 0,19$ B	$1,50 \pm 0,25$ C	0,000***

\*\*\* : 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 significatifs ( $p < 0,001$ ) et une interaction site/mois hautement significative ( $p < 0,01$ ) (Tableau 39).

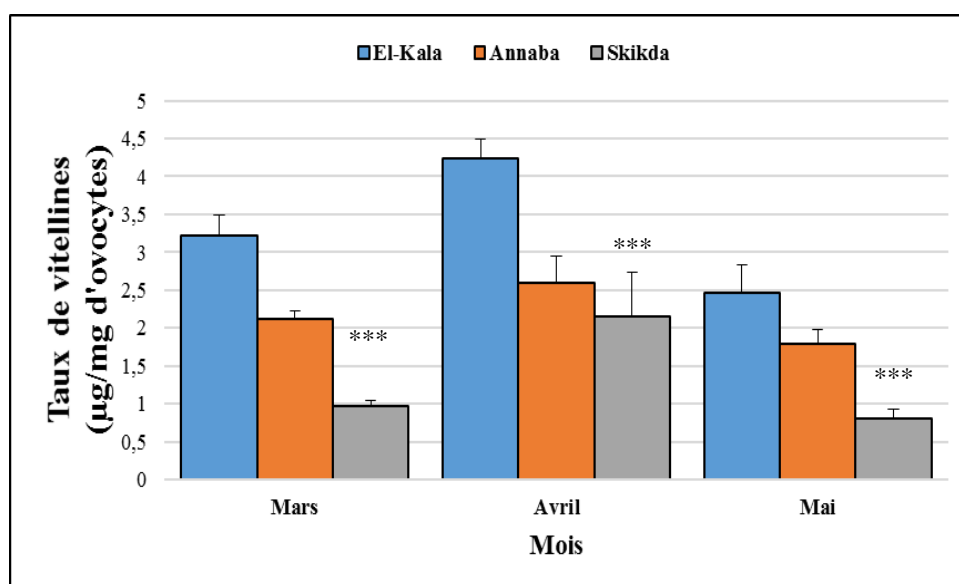
**Tableau 39:** ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du taux vitellogénines ( $\mu\text{g}/\text{mg}$  de liquide coelomique) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant la période de reproduction qui s'étale de Mars à Mai de l'année 2018.

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	61,26	30,63	576,17	0,000***
Saison	2	11,34	5,67	106,70	0,000***
Interaction sites/saison	4	1,30	0,32	6,11	0,001**
Erreur résiduelle	36	1,91	0,05		
Totale	44	75,82			

*DDL* : degré de liberté ; *SCE* : somme des carrés des écarts ; *CM* : carré moyen ; *F<sub>obs</sub>* : test de Fisher ; *P* : seuil de signification.

### 3.12.2. Évaluation du taux de vitellines :

Le suivi mensuel du taux de vitellines en période de reproduction dans les ovocytes indique une valeur maximale chez les femelles de *Perinereis cultrifera* récoltées au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) durant le mois d'Avril avec  $4,24 \pm 0,24 \mu\text{g}/\text{mg}$  d'ovocytes et une valeur minimale au mois de Mai avec  $0,81 \pm 0,12 \mu\text{g}/\text{mg}$  d'ovocytes à Skikda (Bikini) (Figure 112 ; Tableau 40).



**Figure 112:** Variations du taux de vitellines ( $\mu\text{g}/\text{mg}$  d'ovocytes) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant la période de reproduction qui s'étale de Mars à Mai de l'année 2018.

L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification du taux de vitellines ( $\mu\text{g}/\text{mg}$  d'ovocytes) a révélé une différence très hautement significative entre les sites durant toute la période d'étude ( $p < 0,001$ ) (Tableau 40).

Le test de Tukey nous a permis de classer les sites en trois groupes durant les mois de Mars et Mai où le groupe A représente le site d'El-Kala, le groupe B correspond au site d'Annaba et le groupe C celui de Skikda (Tableau 40).

Deux groupes ont été relevés durant les mois d'Avril. Le groupe A renferme le site d'El-Kala tandis que le groupe B concerne le site d'Annaba et de Skikda (Tableau 40).

**Tableau 40:** Taux de vitellines ( $\mu\text{g}/\text{mg}$  d'ovocytes) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant la période de reproduction qui s'étale de Mars à Mai de l'année 2018 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

Mois	Site			
	El-Kala	Annaba	Skikda	P
Mars	$3,22 \pm 0,26$ A	$2,11 \pm 0,11$ B	$0,96 \pm 0,07$ C	0,000***
Avril	$4,24 \pm 0,24$ A	$2,60 \pm 0,34$ B	$2,16 \pm 0,56$ B	0,000***
Mai	$2,46 \pm 0,36$ A	$1,77 \pm 0,15$ B	$0,81 \pm 0,12$ C	0,000***

\*\*\* : 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 significatifs ( $p < 0,001$ ) et une interaction site/mois hautement significative ( $p < 0,01$ ) (Tableau 41).

**Tableau 41:** ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du taux de vitellines ( $\mu\text{g}/\text{mg}$  d'ovocytes) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant la période de reproduction qui s'étale de Mars à Mai de l'année 2018.

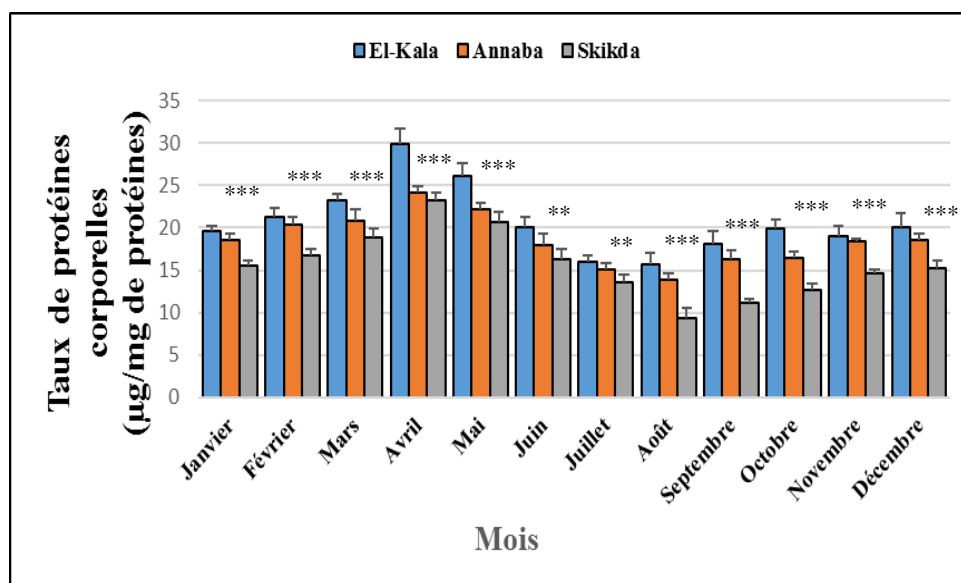
Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	30,10	15,05	174,40	0,000***
Saison	2	13,48	6,74	78,14	0,000***
Interaction sites/saison	4	1,54	0,38	4,49	0,005**
Erreur résiduelle	36	3,10	0,08		
Totale	44	48,24			

**DDL** : degré de liberté ; **SCE** : somme des carrés des écarts ; **CM** : carré moyen ; **F<sub>obs</sub>** : test de Fisher ; **P** : seuil de signification.



### 3.13. Dosage quantitatif des protéines corporelles :

La comparaison des moyennes des concentrations mensuelles en protéines corporelles au niveau des trois sites d'étude montre que la plus grande quantité est de  $29,93 \pm 1,78 \mu\text{g/mg}$  de protéines observée en Avril chez les femelles récoltées au niveau d'El-kala (La Montagne) tandis que la plus faible concentration ( $9,35 \pm 1,20 \mu\text{g/mg}$  de protéines), a été enregistrée chez les femelles échantillonnées au niveau du site de Skikda (Bikini) durant le mois d'Août. (Figure 113 ; Tableau 42).



**Figure 113:** Variations mensuelles du taux de protéines corporelles ( $\mu\text{g/mg}$  de protéines) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016.

L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification du taux de protéines corporelles ( $\mu\text{g/mg}$  de protéines) a révélé une différence très hautement significative entre les sites durant les mois de : Janvier, Février, Mars, Avril, Mai, Août, Septembre, Octobre, Novembre et Décembre ( $p < 0,001$ ). Durant les mois de Juin et Juillet l'ANOVA à un critère de classification a révélé une différence hautement significative entre les sites ( $p < 0,01$ ) (Tableau 42).

Le test de Tukey nous a permis de classer les sites en trois groupes durant les mois de Mars et Octobre, le groupe A représente le site d'El-Kala, le groupe B correspond au site d'Annaba et le groupe C celui de Skikda (Tableau 42).

Durant le mois de Juin trois groupes ont été distingués : le groupe A renferme le site d'El-Kala, le groupe AB représente le site d'Annaba et le groupe B concerne le site de Skikda (Tableau 42).

Deux groupes ont été relevés durant les mois de : Janvier, Février, Juillet, Août, Septembre, Novembre et Décembre. Le groupe A renferme les deux sites d'El-Kala et Annaba tandis que

le groupe B concerne le site de Skikda (Tableau 42). Pendant les mois d'Avril et Mai deux groupes ont été révélés. Le groupe A renferme le site d'El-Kala et le groupe B correspondant aux deux sites d'Annaba et de Skikda (Tableau 42).

**Tableau 42:** Taux de protéines corporelles ( $\mu\text{g}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

Mois	Site			
	El-Kala	Annaba	Skikda	P
Janvier	$19,55 \pm 0,68$ A	$18,60 \pm 0,68$ A	$15,54 \pm 0,56$ B	0,000***
Février	$21,26 \pm 1,04$ A	$20,40 \pm 0,88$ A	$16,79 \pm 0,75$ B	0,000***
Mars	$23,21 \pm 0,78$ A	$20,81 \pm 1,42$ B	$18,80 \pm 1,05$ C	0,000***
Avril	$29,93 \pm 1,78$ A	$24,12 \pm 0,72$ B	$23,30 \pm 0,80$ B	0,000***
Mai	$26,11 \pm 1,48$ A	$22,14 \pm 0,81$ B	$20,69 \pm 1,16$ B	0,000***
Juin	$20,13 \pm 1,15$ A	$17,98 \pm 1,31$ AB	$16,30 \pm 1,24$ B	0,002**
Juillet	$16,00 \pm 0,77$ A	$15,09 \pm 0,70$ A	$13,53 \pm 0,96$ B	0,002**
Août	$15,70 \pm 1,40$ A	$3,93 \pm 0,75$ A	$9,35 \pm 1,20$ B	0,000***
Septembre	$18,06 \pm 1,52$ A	$16,33 \pm 1,02$ A	$11,10 \pm 0,55$ B	0,000***
Octobre	$19,87 \pm 1,15$ A	$16,41 \pm 0,79$ B	$12,58 \pm 0,77$ C	0,000***
Novembre	$19,02 \pm 1,28$ A	$18,34 \pm 0,35$ A	$14,60 \pm 0,43$ B	0,000***
Décembre	$20,02 \pm 1,75$ A	$18,54 \pm 0,81$ A	$15,21 \pm 0,90$ 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) réalisée sur les données relatives aux trois sites d'étude a révélé un effet site et un effet mois très hautement significatifs et une interaction site/mois très hautement significative ( $p < 0,001$ ) (Tableau 43).

**Tableau 43:** ANOVA à deux critères de classification (Site/Mois) du taux de protéines corporelles ( $\mu\text{g}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n=5$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant l'année 2016.

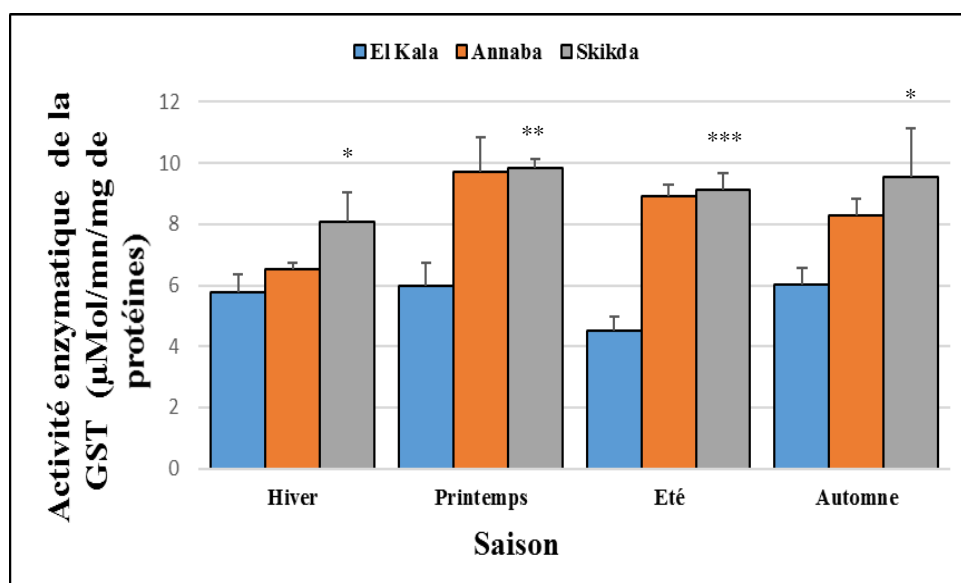
Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	742,01	371	339,95	0,000***
Saison	11	2103,72	191,24	175,24	0,000***
Interaction sites/saison	22	137,43	6,24	5,72	0,000***
Erreur résiduelle	144	157,15	1,09		
Totale	179	3140,33			

**DDL** : degré de liberté ; **SCE** : somme des carrés des écarts ; **CM** : carré moyen ; **F<sub>obs</sub>** : test de Fisher ; **P** : seuil de signification.

### 3.14. Évaluation de l'activité enzymatique de la Glutathion S-transférase (GST) :

Les variations de l'activité enzymatique de la Glutathion S-Transférase chez les femelles de *Perinereis cultrifera* récoltées au niveau des trois sites d'étude marque une baisse durant l'Hiver, suivie par une induction durant le Printemps. Durant la saison d'Été on assiste à une baisse de l'activité enzymatique de la GST au niveau des trois sites d'étude, qui reprend durant l'Automne à l'exception d'une légère baisse signalée au niveau d'Annaba (Saint-Cloud) (Figure 114 ; Tableau 44).

L'activité enzymatique la plus élevée de la Glutathion S-Transférase chez les femelles de *Perinereis cultrifera* a été enregistrée durant le Printemps avec un pic atteignant  $9,82 \pm 0,29$   $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines au niveau du site de Skikda (Bikini) ; tandis que la valeur la plus faible a été observée durant l'Été avec  $4,50 \pm 0,47$   $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines au niveau du site d'El-Kala (La Montagne) (Figure 114 ; Tableau 44).



**Figure 114:** Variations saisonnières de l'activité enzymatique de la Glutathion S-Transférase ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n=3$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016.

L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification de l'activité enzymatique de la GST a révélé une différence très hautement significative entre les sites durant la saison d'Été ( $p < 0,001$ ). Durant le Printemps l'ANOVA à un critère de classification a révélé une différence hautement significative entre les sites ( $p < 0,01$ ). Par ailleurs durant l'Hiver et l'Automne une différence très significative a été enregistrée ( $P < 0,05$ ) (Tableau 44).

Le test de Tukey nous a permis de classer les sites en trois groupes durant l'Hiver et l'Automne où le groupe A correspond au site de Skikda, le groupe B représente le site d'El-

Kala et le groupe AB celui d'Annaba. Durant le Printemps et l'Été les trois sites d'étude sont repartis en deux groupes, le groupe B correspond au site d'El-Kala tandis que le groupe A représente les deux sites d'Annaba et Skikda (Tableau 44).

**Tableau 44:** Activité enzymatique de la Glutathion S-Transférase ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n=3$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

Saison	Site			
	El-Kala	Annaba	Skikda	P
Hiver	$5,76 \pm 0,59$ B	$6,53 \pm 0,20$ AB	$8,06 \pm 1,00$ A	0,017*
Printemps	$5,96 \pm 0,78$ B	$9,73 \pm 1,09$ A	$9,82 \pm 0,29$ A	0,002**
Été	$4,50 \pm 0,47$ B	$8,89 \pm 0,40$ A	$9,13 \pm 0,52$ A	0,000***
Automne	$6,00 \pm 0,58$ B	$8,28 \pm 0,55$ AB	$9,54 \pm 1,61$ A	0,016*

\* : 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 (Site/Saison) réalisée sur les données relatives aux trois sites d'étude a révélé un effet site très hautement significatif ( $p < 0,001$ ), un effet saison hautement significatif ( $p < 0,01$ ) et une interaction site/saison très significative ( $p < 0,05$ ) (Tableau 45).

**Tableau 45:** ANOVA à deux critères de classification (Site/Saison) de l'activité enzymatique de la Glutathion S-Transférase ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *Perinereis cultrifera* ( $m \pm s$ ,  $n=3$ ) récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2016.

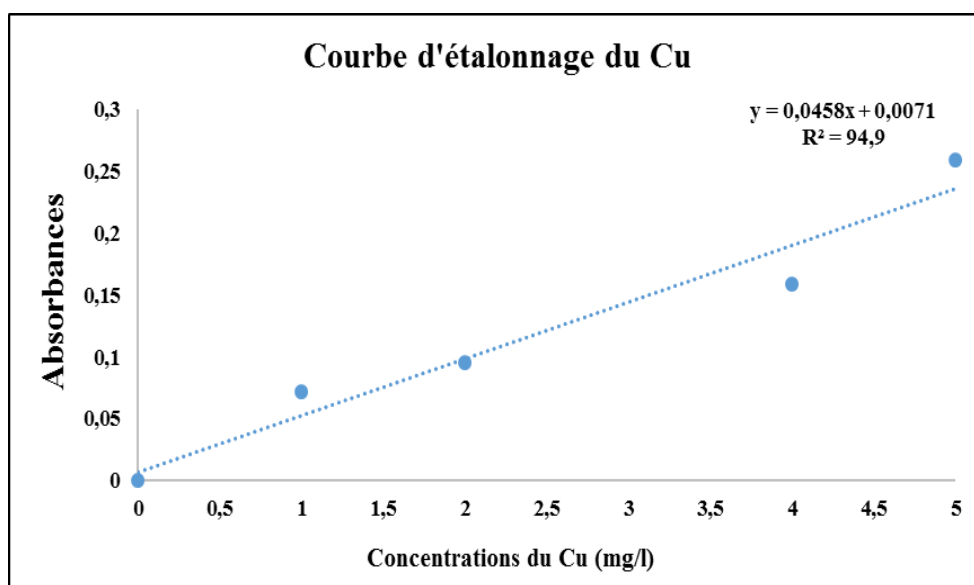
Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Site	2	85,28	42,64	70,69	0,000***
Saison	3	14,26	4,75	7,88	0,001**
Interaction sites/saison	6	12,27	2,04	3,39	0,014*
Erreur résiduelle	24	14,47	0,60		
Totale	35	126,29			

**DDI** : degré de liberté ; **SCE** : somme des carrés des écarts ; **CM** : carré moyen ; **F<sub>obs</sub>** : test de Fisher ; **P** : seuil de signification.

### 3.15. Dosage des métaux lourds par Spectrométrie d'absorption atomique (SAA) :

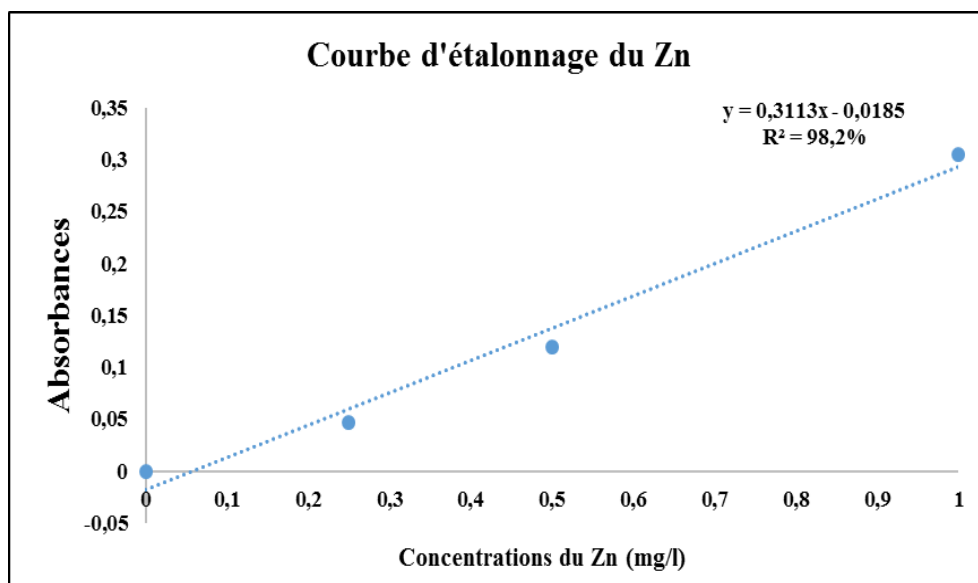
#### 3.15.1. Gamme d'étalonnage des éléments étudiés :

Les concentrations choisies pour les cinq éléments sont dans la zone linéaire et les absorbances obtenues sont proportionnelles à ces concentrations avec un coefficient de détermination très significatif  $R^2 = 94,9\%$  pour le cuivre (Figure 115),  $98,2\%$  pour le zinc (Figure 116),  $97,6\%$  pour le chrome (Figure 117),  $99,6\%$  pour le plomb (Figure 118), et  $98,6\%$  pour le cadmium (Figure 119), révélant une forte liaison entre les absorbances et les concentrations.

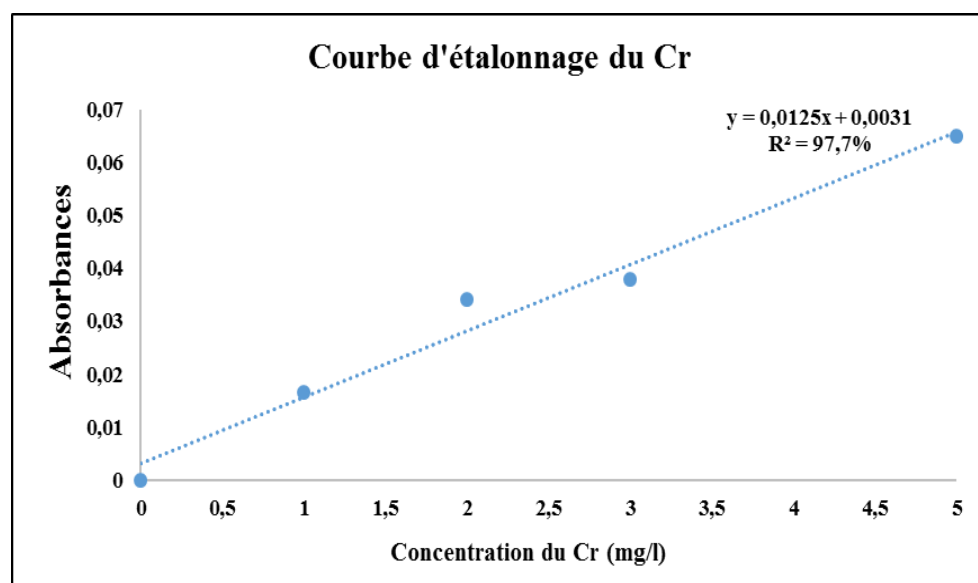


**Figure 115:** Courbe d'étalonnage exprimant l'Absorbance en fonction de la Concentration du Cuivre (mg/L).

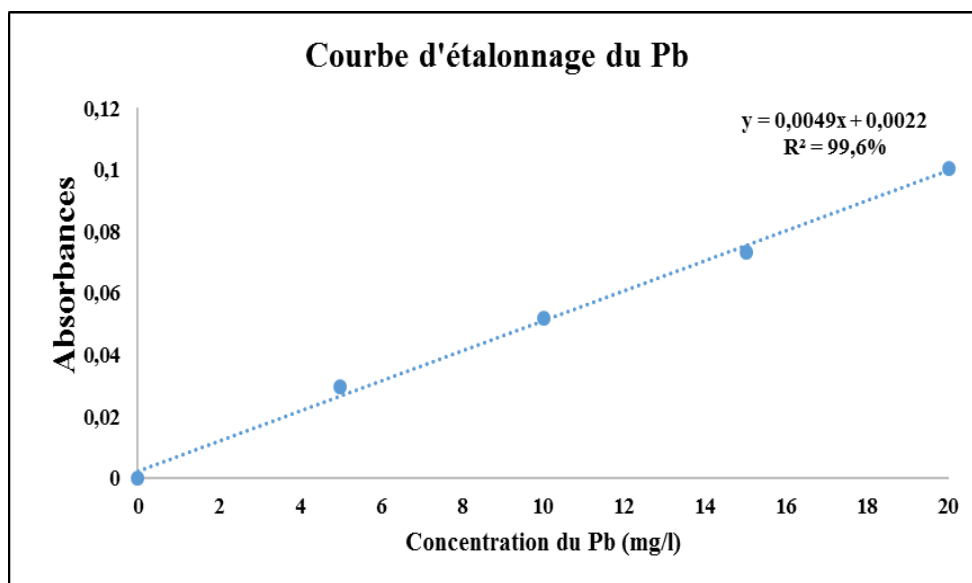




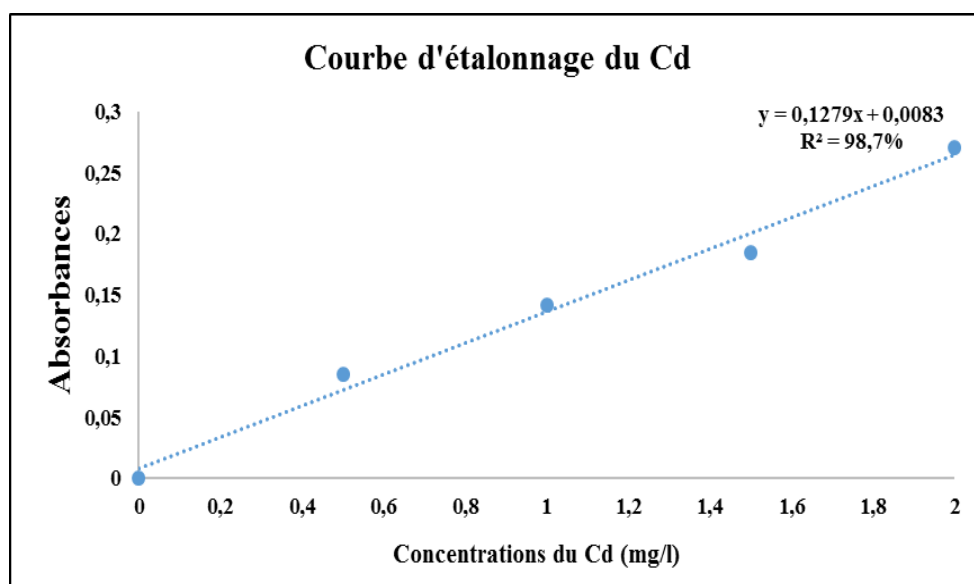
**Figure 116:** Courbe d'étalonnage exprimant l'Absorbance en fonction de la Concentration du Zinc (mg/L).



**Figure 117:** Courbe d'étalonnage exprimant l'Absorbance en fonction de la Concentration du Chrome (mg/L).



**Figure 118:** Courbe d'étalonnage exprimant l'Absorbance en fonction de la Concentration du Plomb (mg/L).



**Figure 119:** Courbe d'étalonnage du exprimant l'Absorbance en fonction de la Concentration du Cadmium (mg/L).

### 3.15.2. Évaluation des teneurs en métaux lourds dans le sédiment :

Les résultats du dosage de 5 métaux lourds (Cu, Zn, Cr, Pb, Cd) contenus dans le sédiment superficiel prélevé à partir des 3 sites d'étude : El-Kala, Annaba et Skikda font apparaître, selon le métal considéré des différences de concentration d'un site à un autre.

**Tableau 46:** Évaluation des teneurs en métaux lourds (mg/kg de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Site	Élément				
	Cu	Zn	Cr	Pb	Cd
<b>El-Kala</b>	$14,41 \pm 1,72$	$122,80 \pm 0,94$	$66,88 \pm 0,95$	$99,77 \pm 66,61$	$1,96 \pm 0,25$
<b>Annaba</b>	$15,56 \pm 1,02$	$170,53 \pm 1,91$	$74,35 \pm 5,99$	$185,49 \pm 15,34$	$2,28 \pm 0,13$
<b>Skikda</b>	$20,28 \pm 3,46$	$158,38 \pm 3,44$	$359,90 \pm 4,79$	$155,78 \pm 14,45$	$2,41 \pm 0,06$

### 3.15.2.1. Teneurs en cuivre :

Le cuivre contenu dans le sédiment prélevé à partir des trois sites d'étude possède des teneurs comprises entre  $14,41 \pm 1,72$  et  $20,28 \pm 3,46$  mg.kg de poids sec. Ce métal montre les teneurs les plus élevées dans le sédiment de Skikda ( $20,28 \pm 3,46$  mg.kg de poids sec) ; par ailleurs la teneur en cuivre du sédiment baisse légèrement au niveau des deux autres sites pour atteindre  $15,56 \pm 1,02$  mg.kg de poids sec à Annaba et  $14,41 \pm 1,72$  à El-Kala (Tableau 47).

**Tableau 47:** Évaluation des teneurs en cuivre (mg/kg de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Site	El-Kala	Annaba	Skikda
<b>Teneurs en cuivre</b>	$14,41 \pm 1,72$	$15,56 \pm 1,02$	$20,28 \pm 3,46$

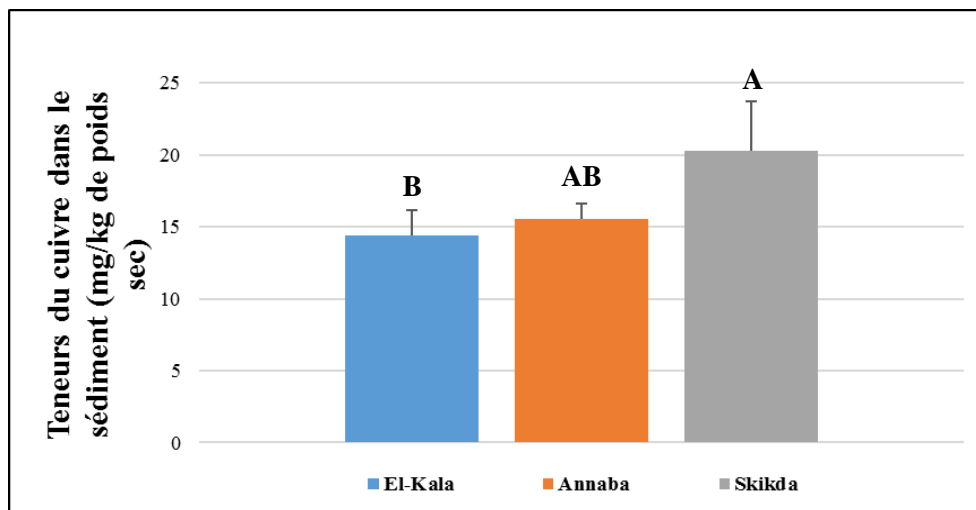
L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification des résultats obtenus pour le dosage du cuivre a révélé une différence très significative entre les trois sites d'étude ( $p < 0,05$ ) (Tableau 48).

**Tableau 48:** ANOVA à un critère de classification des teneurs en cuivre dans le sédiment niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	58,06	29,03	5,44	0,045*
Résiduelle	6	32,00	5,33		
Totale	8	90,06			

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

Le test de Tukey nous a permis de classer les sites en trois groupes selon les teneurs en cuivre, le groupe A représente le site de Skikda où les teneurs en cuivre sont les plus élevées, le groupe B renferme le site d'El-Kala contenant les teneurs les plus faibles et le groupe AB celui de Annaba où les teneurs en cuivre ont une valeur intermédiaire par rapport aux deux autres sites (Figure 120).



**Figure 120:** Évaluation des teneurs en cuivre (mg/kg de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ) (classification de Tukey).

### 3.15.2.2. Teneurs en zinc :

Les teneurs en zinc contenues dans le sédiment prélevé à partir des trois sites sont comprises entre  $122,80 \pm 0,94$  mg.kg de poids sec à El-Kala et  $170,53 \pm 1,91$  mg.kg de poids sec à Annaba ; nous notons que l'écart entre la valeur minimale et maximale est de 33. Les teneurs en zinc enregistrées à El-Kala sont relativement basses par rapport à celles notées au niveau d'Annaba et Skikda (Tableau 49).

**Tableau 49:** Évaluation des teneurs en zinc (mg/kg de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Site	El-Kala	Annaba	Skikda
Teneurs en zinc	$122,80 \pm 0,94$	$170,53 \pm 1,91$	$158,38 \pm 3,44$

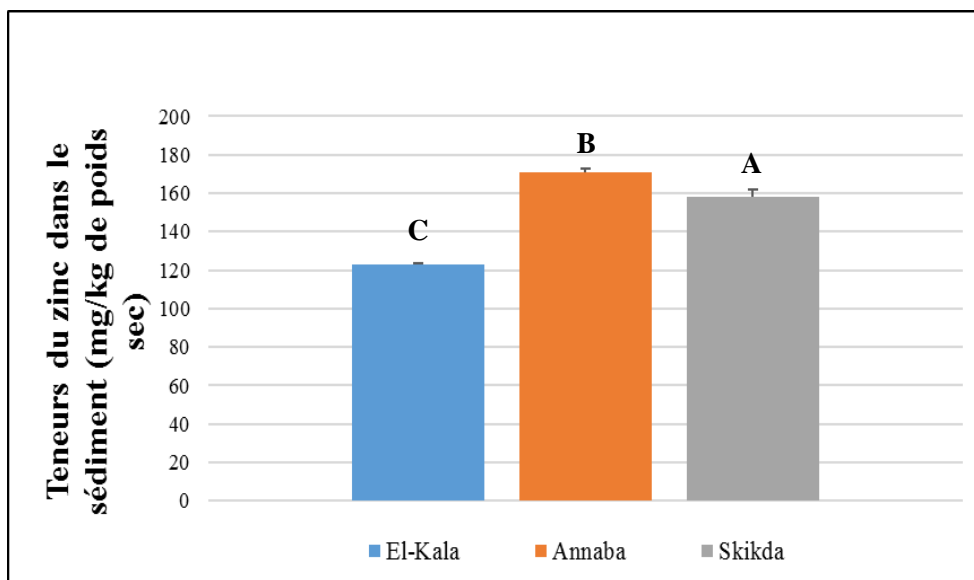
L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification des résultats obtenus pour le dosage du zinc a révélé une différence très hautement significative entre les trois sites d'étude ( $p < 0,001$ ) (Tableau 50).

**Tableau 50:** ANOVA à un critère de classification des teneurs en zinc dans le sédiment au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	3692,11	1846,06	336,20	0,000***
Résiduelle	6	32,95	5,49		
Totale	8	3725,06			

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

Le test de Tukey nous a permis de classer les sites en trois groupes selon les teneurs en zinc, le premier groupe A renferme le site d'Annaba qui présente les teneurs en zinc les plus élevées, le groupe B renferme le site de Skikda et le dernier groupe C comporte le site d'El-Kala où les teneurs en zinc sont les moins importantes par rapport au deux autres sites (Figure 121).



**Figure 121:** Évaluation des teneurs en zinc (mg/kg de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ) (classification de Tukey).

### 3.15.2.3. Teneurs en chrome :

Le chrome est présent dans le sédiment prélevé à partir des trois sites, à des teneurs comprises entre  $66,88 \pm 0,95$  mg.kg de poids sec au niveau d'El-Kala et  $359,90 \pm 4,79$  mg.kg de poids sec à Skikda ; l'écart entre la valeur minimale et maximale est de 207. Les teneurs en chrome enregistrées à Skikda sont 48 et 66 fois plus élevées que celles notées à Annaba et El-Kala respectivement (Tableau 51).



**Tableau 51:** Évaluation des teneurs en chrome (mg/kg de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Site	El-Kala	Annaba	Skikda
Teneurs en chrome	$66,88 \pm 0,95$	$74,35 \pm 5,99$	$359,90 \pm 4,79$

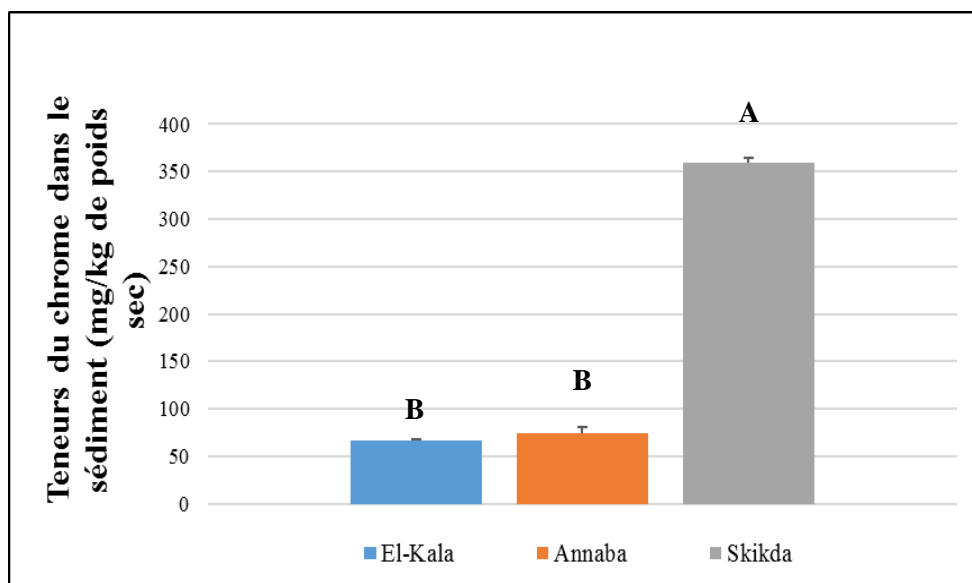
L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification des résultats obtenus pour le dosage du chrome a révélé une différence très hautement significative entre les trois sites d'étude ( $p < 0,001$ ) (Tableau 52).

**Tableau 52:** ANOVA à un critère de classification des teneurs en chrome dans le sédiment niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	167463,0	83731,5	4201,59	0,000***
Résiduelle	6	119,6	19,9		
Totale	8	167582,6			

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

Le test de Tukey nous a permis de classer les sites en deux groupes selon les teneurs en chrome, le premier groupe A renferme le site de Skikda qui présente les teneurs en chrome les plus élevées, le groupe B renferme les deux sites d'Annaba et El-Kala où les teneurs en chrome sont nettement moins importantes par rapport aux valeurs enregistrées à Skikda (Figure 122).



**Figure 122:** Évaluation des teneurs en chrome (mg/kg de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ) (classification de Tukey).

#### 3.15.2.4. Teneurs en plomb :

C'est au niveau d'Annaba qu'est marquée la teneur en plomb la plus importante avec  $185,49 \pm 15,34$  mg.kg de poids sec, soit le double de la teneur enregistrée à El-Kala  $99,77 \pm 66,61$  mg.kg de poids sec. Nous révélons par ailleurs que la teneur en plomb au niveau de Skikda est importante par rapport à la teneur signalée à El-Kala mais qui reste relativement proche de la teneur enregistrée à Annaba (Tableau 53).

**Tableau 53:** Évaluation des teneurs en plomb (mg/kg de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Site	El-Kala	Annaba	Skikda
Teneurs en plomb	$99,77 \pm 66,61$	$185,49 \pm 15,34$	$155,78 \pm 14,45$

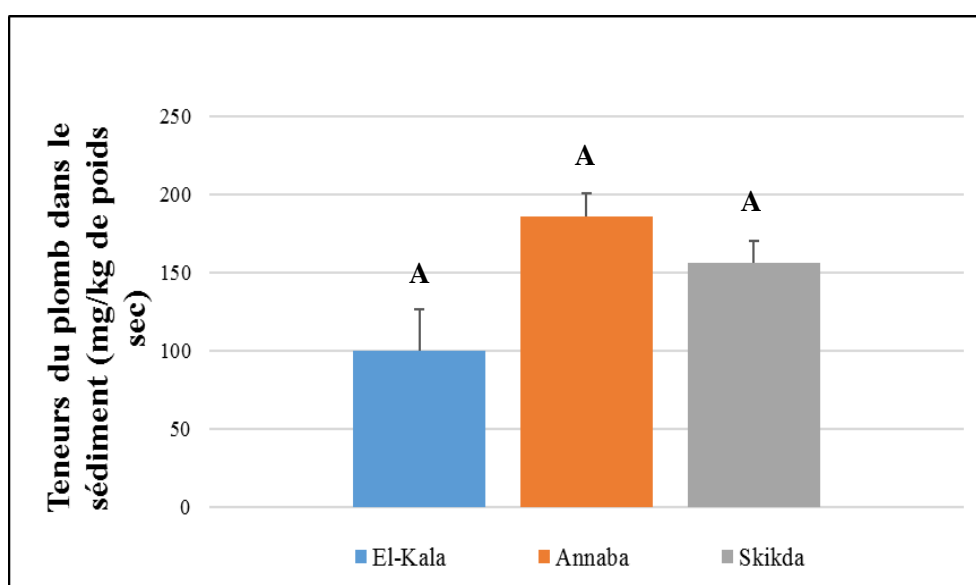
L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification des résultats obtenus pour le dosage du plomb n'a révélé aucune différence entre les trois sites d'étude ( $p > 0,05$ ) (Tableau 53).

**Tableau 54:** ANOVA à un critère de classification des teneurs en plomb dans le sédiment au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	11367	5683	3,49	0,099NS
Résiduelle	6	9763	1627		
Totale	8	21130			

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

Le test de Tukey effectué sur les teneurs en plomb nous a permis de classer les trois sites d'étude en un seul groupe A (Figure 123).



**Figure 123:** Évaluation des teneurs en plomb (mg/kg de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ) (classification de Tukey).

### 3.15.2.5. Teneurs en cadmium :

Dans le sédiment des trois sites d'étude les teneurs en cadmium sont de  $1,96 \pm 0,25$  mg.kg de poids sec,  $2,28 \pm 0,13$  mg.kg de poids sec et  $2,41 \pm 0,06$  mg.kg de poids sec enregistrées respectivement à El-Kala, Annaba et Skikda (Tableau 55).

**Tableau 55:** Évaluation des teneurs en cadmium (mg/kg de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Site	El-Kala	Annaba	Skikda
Teneurs en cadmium	$1,96 \pm 0,25$	$2,28 \pm 0,13$	$2,41 \pm 0,06$

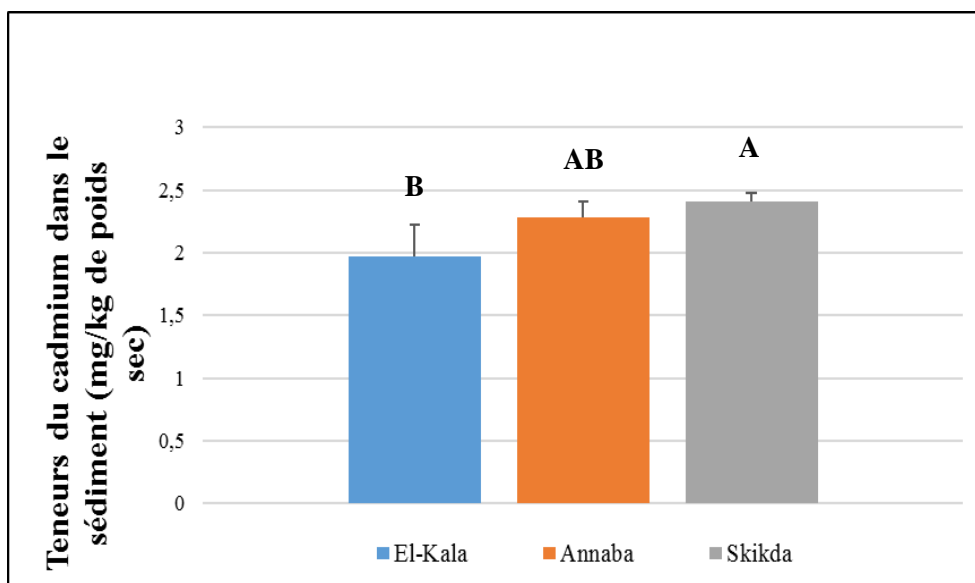
L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification des résultats obtenus pour le dosage du cadmium a révélé une différence très significative entre les trois sites d'étude ( $p < 0,05$ ) (Tableau 56).

**Tableau 56:** ANOVA à un critère de classification des teneurs en cadmium dans le sédiment au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	0,3116	0,1558	5,50	0,044*
Résiduelle	6	0,1701	0,0283		
Totale	8	0,4817			

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

Le test de Tukey nous a permis de classer les sites en trois groupes selon les teneurs en cadmium, le premier groupe A renferme le site de Skikda qui présente les teneurs en cadmium les plus élevées, le second groupe B renferme le site d'El-Kala où les teneurs en cadmium sont moins importantes par rapport aux valeurs enregistrées à Skikda et le troisième groupe AB renferme le site d'Annaba (Figure 124).



**Figure 124:** Évaluation des teneurs en cadmium (mg/kg de poids sec) relevées dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ) (classification de Tukey).

### 3.15.3. Évaluation du niveau de contamination du sédiment par les métaux lourds :

#### 3.15.3.1. L'indice de géo-accumulation (Igéo) :

L'indice de géoaccumulation des métaux traces calculé pour les sédiments des trois sites d'étude : El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Skikda (Bikini) (Tableau 57 ), nous a donné un aperçu général sur l'état de contamination métallique de notre zone d'étude.

Sur la base des résultats obtenus de l'indice de géoaccumulation et selon son interprétation par Muller (1969), on a conclu que les sédiments analysés des trois sites d'étude ne sont pas contaminés par le Cu ( $I_{geo} \leq 0$ ). Le même résultat est observé pour le Cr au niveau d'El-Kala (La Montagne) et Annaba (Saint-Cloud) ( $I_{geo} \leq 0$ ) ; cependant, le site de Skikda (Bikini) révèle une contamination modérée ( $I_{geo} > 1$ ).

Pour le Zn l'indice de géoaccumulation indique une absence de contamination au niveau d'El-Kala (La Montagne) ( $I_{geo} \leq 0$ ), tandis que les sédiments d'Annaba (Saint-Cloud) et Skikda (Bikini) présentent une légère contamination ( $I_{geo} > 0$ ). En revanche, les sédiments des trois sites d'étude : El-Kala (La Montagne), Annaba (Saint-Cloud) et Skikda (Bikini) affichent des valeurs se situant entre 1 et 3 pour le Pb et le Cd ce qui convient à une contamination modérée à forte.



**Tableau 57:** Indice de géo-accumulation (Igéo) de chaque métal lourd dosé dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'études : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017.

Élément		Cu	Zn	Cr	Pb	Cd
(Igéo) par métal et par site	El-Kala	-0,52256043	-0,13664885	-0,42835015	1,73364357	2,70781925
	Annaba	-0,41178871	0,33706616	-0,27559226	2,62830701	2,92599942
	Skikda	-0,02957312	0,23043076	1,9995992	2,37647562	3,00599874

### 3.15.3.2. L'indice de contamination (I.C.) :

Le calcul de l'indice de contamination de chaque élément dosé dans le sédiment prélevé à partir des trois sites d'étude a montré la présence d'une contamination par le Plomb et le Cadmium du fait que ces derniers enregistrent des valeurs de l'IC supérieures à 3 (Tableau 58).

Pour le plomb nous notons une forte contamination au niveau des sites d'Annaba et Skikda avec des valeurs d'IC respectivement de 8,43 et 7,08 ; le sédiment d'El-Kala présente également une contamination du fait que ce dernier enregistre une valeur d'IC de 4,59.

Concernant le cadmium, le sédiment échantillonné au niveau des trois sites montre une contamination du fait que les valeurs de l'IC obtenues sont supérieures à 3. Par ailleurs nous avons enregistré des indices de contamination de 3,26, 3,80 et 4,01 respectivement au niveau d'El-Kala, Annaba et Skikda.

Les 3 ETM restants (Cu, Zn et Cr) ont présenté un indice de contamination inférieur à 3 et le sédiment semble être indemne de toute contamination par les 3 ETM précédemment cités cependant les valeurs d'IC enregistrées à Annaba et Skikda sont supérieures à celles obtenues au niveau d'El-Kala.

**Tableau 58:** Indice de contamination (IC) de chaque métal lourd dosé dans le sédiment prélevé au niveau des trois sites d'études : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017.

Élément		Cu	Zn	Cr	Pb	Cd
(IC) par métal et par site	El-Kala	0,55	1,39	0,16	4,59	3,26
	Annaba	0,60	1,93	0,18	8,43	3,80
	Skikda	0,78	1,79	0,89	7,08	4,01

### 3.15.4. Évaluation des teneurs en métaux lourds dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* :

**Tableau 59:** Évaluation des teneurs en métaux lourds (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltées au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Site	Élément				
	Cu	Zn	Cr	Pb	Cd
El-Kala	$5,73 \pm 1,13$	$16,71 \pm 0,84$	$9,33 \pm 1,30$	$36,04 \pm 1,98$	$0,14 \pm 0,08$
Annaba	$6,38 \pm 1,69$	$32,60 \pm 1,58$	$15,55 \pm 1,50$	$67,08 \pm 14,43$	$0,34 \pm 0,25$
Skikda	$7,36 \pm 0,84$	$18,02 \pm 0,28$	$16,22 \pm 2,14$	$44,40 \pm 25,46$	$0,57 \pm 0,13$

#### 3.15.4.1. Teneurs en cuivre :

L'évaluation du cuivre dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude suit un gradient croissant d'Est en Ouest ; les vers d'El-Kala présentent la teneur en cuivre la plus faible avec  $5,73 \pm 1,13$  mg.kg de poids sec, ces teneurs augmentent légèrement au niveau d'Annaba pour atteindre  $6,38 \pm 1,69$  mg.kg de poids sec. La teneur maximale en cuivre est par ailleurs enregistrée à Skikda avec  $7,36 \pm 0,84$  mg/kg de tissu (Tableau 60).

**Tableau 60:** Évaluation des teneurs en cuivre (mg.kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Site	El-Kala	Annaba	Skikda
Teneurs en cuivre	$5,73 \pm 1,13$	$6,38 \pm 1,69$	$7,36 \pm 0,84$

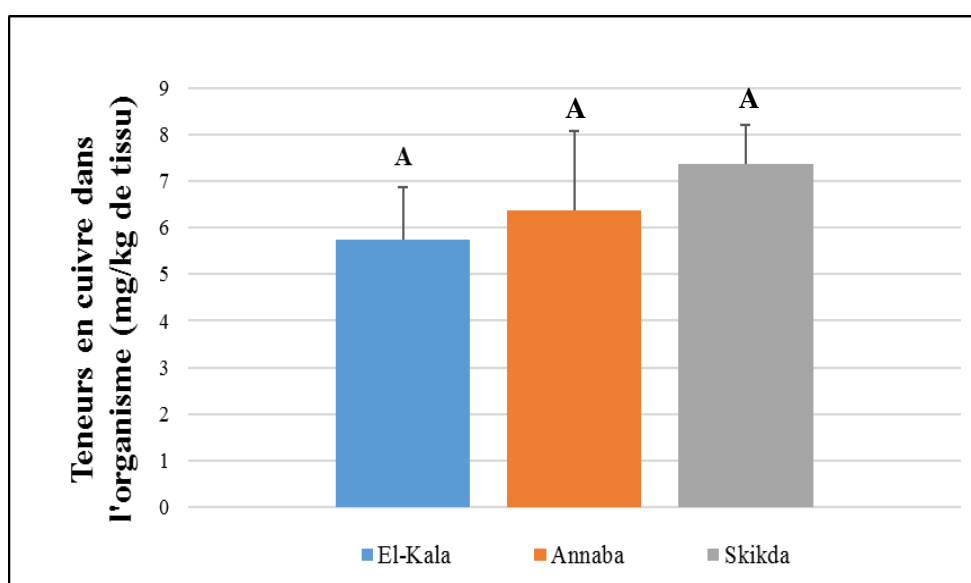
L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification des résultats obtenus pour le dosage du cuivre n'a révélé aucune différence entre les trois sites d'étude ( $p > 0,05$ ) (Tableau 61).

**Tableau 61:** ANOVA à un critère de classification des teneurs en cuivre dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	4,02	2,01	1,23	0,356NS
Résiduelle	6	9,79	1,63		
Totale	8	13,81			

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

Le test de Tukey effectué sur les teneurs en cuivre nous a permis de classer les trois sites d'étude en un seul groupe A (Figure 125).



**Figure 125:** Évaluation des teneurs en cuivre (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ) (classification de Tukey).

#### 3.15.4.2. Teneurs en zinc :

Les teneurs en zinc dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude présentent des valeurs comprises entre  $16,71 \pm 0,84$  et  $32,60 \pm 1,58$  mg/kg de tissu, le site de Skikda présente des teneurs en zinc 2 fois plus élevées que celles révélées à El-Kala et Annaba (Tableau 62).

**Tableau 62:** Évaluation des teneurs en zinc (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Site	El-Kala	Annaba	Skikda
Teneurs en zinc	$16,71 \pm 0,84$	$32,60 \pm 1,58$	$18,02 \pm 0,28$

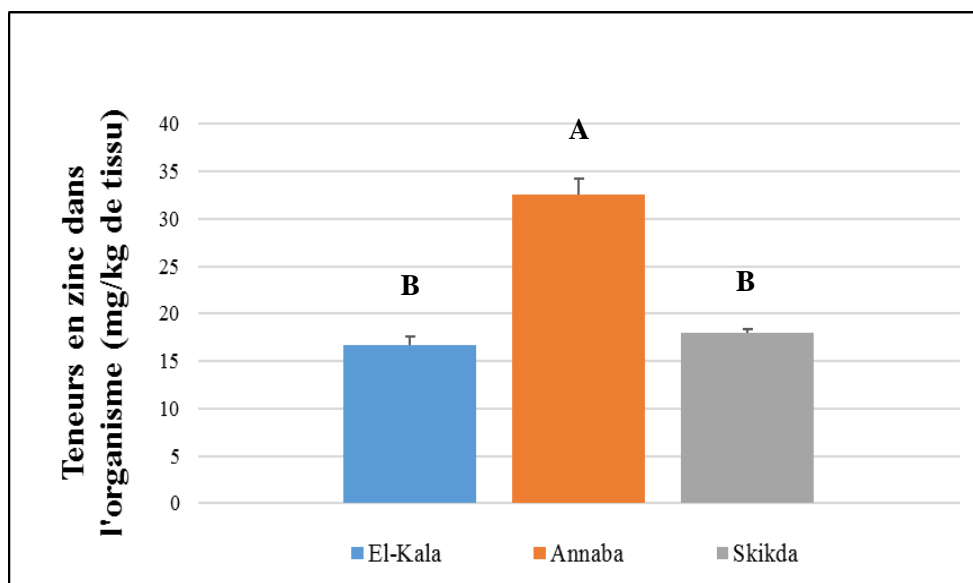
L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification des résultats obtenus pour le dosage du zinc a révélé une différence très hautement significative entre les trois sites d'étude ( $p < 0,001$ ) (Tableau 63).

**Tableau 63:** ANOVA à un critère de classification des teneurs en zinc dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	467,10	233,55	212,15	0,000***
Résiduelle	6	6,61	1,10		
Totale	8	473,71			

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

Le test de Tukey nous a permis de classer les sites en deux groupes selon les teneurs en zinc, le premier groupe A renferme le site de d'Annaba qui présente les teneurs les plus importantes, le second groupe B renferme les deux sites d'El-Kala et Skikda où les teneurs en zinc sont moins élevées par rapport aux valeurs enregistrées à Annaba (Figure 126).



**Figure 126:** Évaluation des teneurs en zinc (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ) (classification de Tukey).

#### 3.15.4.3. Teneurs en chrome :

Les teneurs en chrome contenues dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau d'Annaba et Skikda sont deux fois plus élevées que celles enregistrées chez les individus échantillonnés à El-Kala (Tableau 64).

**Tableau 64:** Évaluation des teneurs en chrome (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Site	El-Kala	Annaba	Skikda
Teneurs en chrome	$9,33 \pm 1,30$	$15,55 \pm 1,50$	$16,22 \pm 2,14$

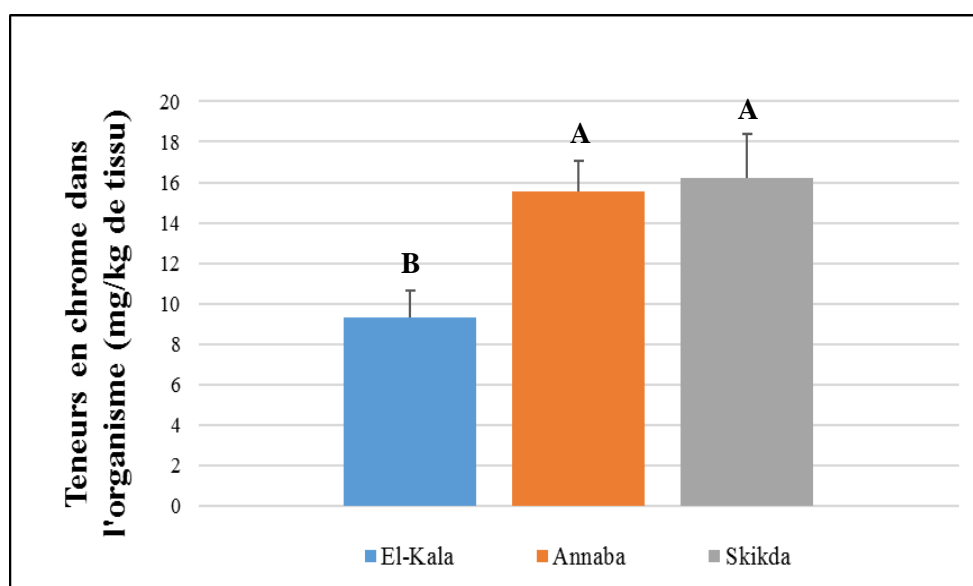
L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification des résultats obtenus pour le dosage du chrome a révélé une différence hautement significative entre les trois sites d'étude ( $p < 0,01$ ) (Tableau 65).

**Tableau 65:** ANOVA à un critère de classification des teneurs en chrome dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	86,43	42,22	15,16	0,005**
Résiduelle	6	17,11	2,85		
Totale	8	103,54			

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

Le test de Tukey nous a permis de classer les sites en deux groupes selon les teneurs en chrome, le premier groupe A renferme les sites d'Annaba et Skikda qui présentent les teneurs en chrome les plus élevées quant au second groupe, B il renferme le site d'El-Kala où les teneurs en chrome sont deux fois moins importantes par rapport aux valeurs enregistrées dans les autres sites (Figure 127).



**Figure 127:** Évaluation des teneurs en cuivre (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ) (classification de Tukey).

#### 3.15.4.4. Teneurs en plomb :

La teneur en plomb la plus importante contenue dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* est estimée à  $67,08 \pm 14,43$  mg/kg de tissu sec au niveau du site d'Annaba soit le double de la teneur enregistrée au niveau d'El-Kala, par ailleurs la teneur obtenue à Skikda est légèrement plus importante que celle relevée à El-Kala (Tableau 66).



**Tableau 66:** Évaluation des teneurs en plomb (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Site	El-Kala	Annaba	Skikda
Teneurs en plomb	$36,04 \pm 1,98$	$67,08 \pm 14,43$	$44,40 \pm 25,46$

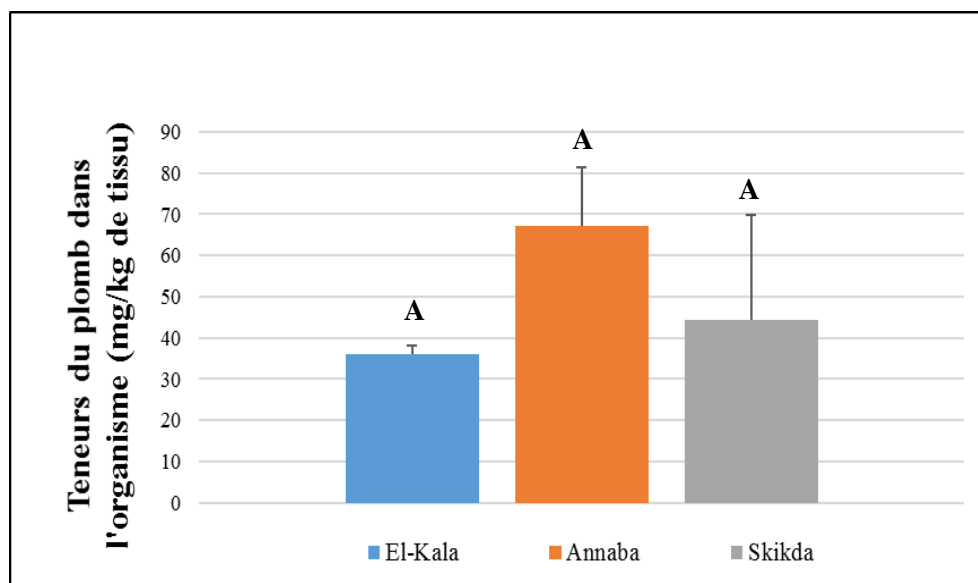
L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification des résultats obtenus pour le dosage du plomb n'a révélé aucune différence entre les trois sites d'étude ( $p > 0,05$ ) (Tableau 67).

**Tableau 67:** ANOVA à un critère de classification des teneurs en plomb dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	1548	744	2,70	0,146NS
Résiduelle	6	1721	287		
Totale	8	3269			

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

Le test de Tukey effectué sur les teneurs en plomb nous a permis de classer les trois sites d'étude en un seul groupe A (Figure 128).



**Figure 128:** Évaluation des teneurs en plomb (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ) (classification de Tukey).

#### 3.15.4.5. Teneurs en cadmium :

Dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude les teneurs en cadmium suivent un gradient croissant d'Est en Ouest et sont de  $0,14 \pm 0,08$  mg.kg de poids sec,  $0,34 \pm 0,25$  mg/kg de tissu et  $0,57 \pm 0,13$  mg.kg de poids sec enregistrées respectivement à El-Kala, Annaba et Skikda (Tableau 68).

**Tableau 68:** Évaluation des teneurs en cadmium (mg.kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Site	El-Kala	Annaba	Skikda
Teneurs en cadmium	$0,14 \pm 0,08$	$0,34 \pm 0,25$	$0,57 \pm 0,13$

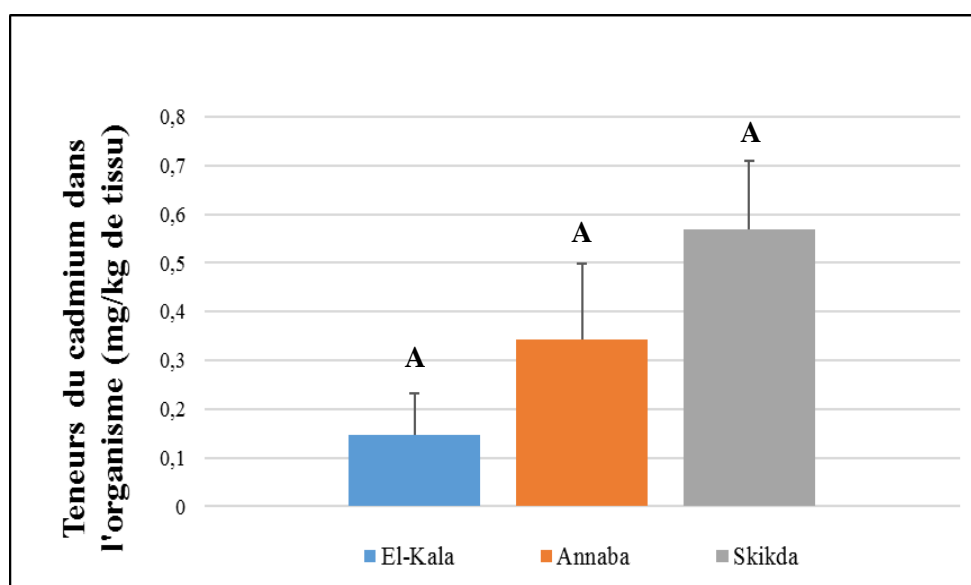
L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification des résultats obtenus pour le dosage du cadmium n'a révélé aucune différence entre les trois sites d'étude ( $p > 0,05$ ) (Tableau 69).

**Tableau 69:** ANOVA à un critère de classification des teneurs en cadmium dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ).

Sources de variation	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	0,2689	0,1344	4,42	0,066NS
Résiduelle	6	0,1825	0,0304		
Totale	8	0,4513			

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

Le test de Tukey effectué sur les teneurs en cadmium nous a permis de classer les trois sites d'étude en un seul groupe A (Figure 129).



**Figure 129:** Évaluation des teneurs en cadmium (mg/kg de tissu) relevées dans l'organisme des individus de *Perinereis cultrifera* récoltés au niveau des trois sites d'étude : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017 ; ( $m \pm S$  ;  $n = 3$ ) (classification de Tukey).

#### 3.15.4.6. Facteur de bioaccumulation biota-sédiment (BSAF) :

**Tableau 70:** Facteur de bioaccumulation (Facteur d'accumulation Biota-Sédiment BSAF) des éléments métalliques au niveau du corps de *P. cultrifera* récoltés des trois sites d'études : La Montagne (El-Kala), Saint-Cloud (Annaba) et Bikini (Skikda) durant le mois d'Avril de l'année 2017.

Élément		Cu	Zn	Cr	Pb	Cd
(BSAF) des éléments métalliques par site	El-Kala	0,39	0,13	0,14	0,36	0,07
	Annaba	0,41	0,19	0,20	0,36	0,14
	Skikda	0,36	0,11	0,04	0,28	0,23

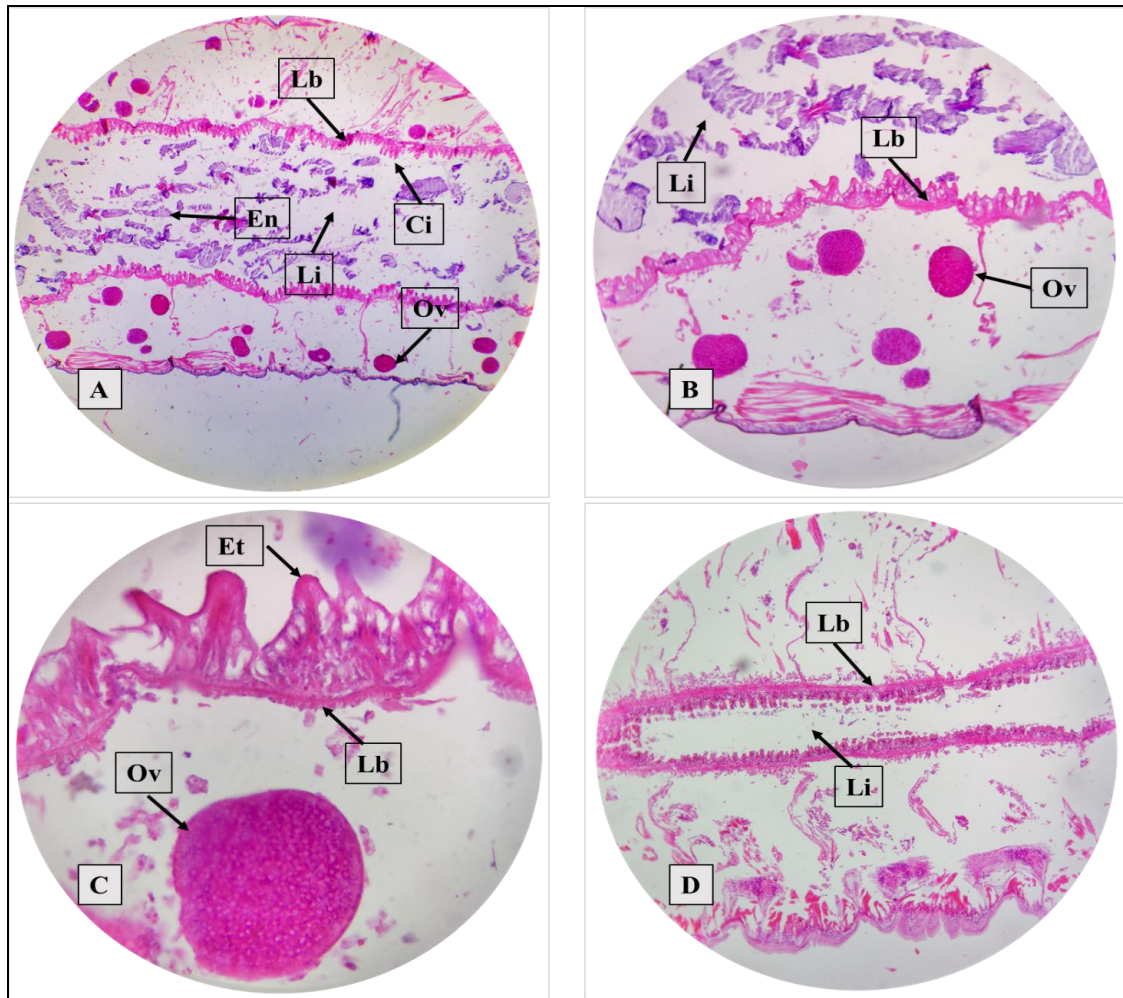
Le calcul du facteur d'accumulation Biota-Sédiment n'a pas montré une bioconcentration chez les individus de *P. cultrifera* du fait que les valeurs enregistrées au niveau de l'organisme étaient inférieures à celles enregistrées au niveau des sédiments.

#### 3.16. Interprétation de la structure de l'épithélium intestinal en période de reproduction chez les femelles récoltées à partir des trois sites d'étude (El-kala, Annaba et Skikda) :

Comme il a été cité précédemment ; lors de la reproduction, hormis les transformations somatiques désignées sous le nom d'épitoquie, il se produit des altérations anatomiques internes qui ont lieu au niveau du tube digestif se traduisant par une dégénérescence de l'épithélium intestinal, qui s'accompagne d'un arrêt de l'alimentation.

La figure 130 montre un épithélium intestinal régulier avec des entérocytes bien visibles et individualisés alignés sur une lame basale distinguée ; la lumière intestinale est large remplie de divers nutriments justifiant une alimentation normale de l'individu concerné ; cependant, cette coupe histologique confirme que l'épitoquie n'a pas encore eu lieu à ce stade de développement quoi que l'ovogenèse vient juste de commencer par l'apparition de quelques ovocytes en début de vitellogenèse distribués de part et d'autre du tube digestif au niveau du cœlome des espèces récoltées au niveau d'El-kala (Figure 130 A, 130 B, 130 C) et Skikda (Figure 130 D).

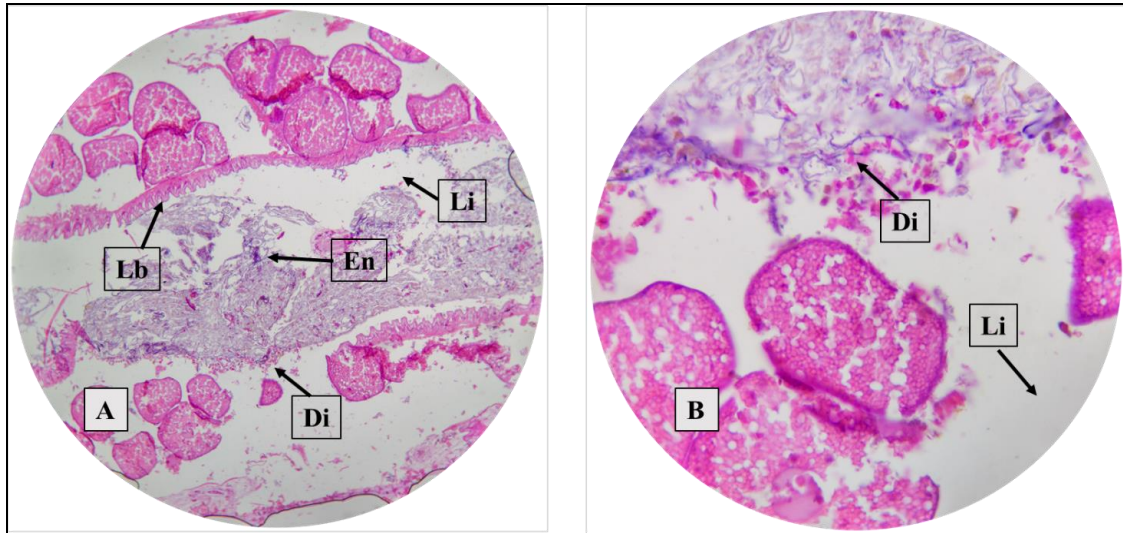
Les figures 131 et 132 illustrent un épithélium irrégulier où les cellules intestinales présentent une dégénérescence très poussée où elles ont complètement perdu leurs microvillosités et font hernie dans la lumière intestinale appauvrie en éléments nutritifs témoignant une installation du phénomène de l'épitoquie chez l'espèce considérée récoltée au niveau des deux sites d'Annaba (Figure 131 A et B) et Skikda (Figure 132 A et B).



**Figure 130:** Coupe histologique d'une partie du tube digestif chez *Perinereis cultrifera* ; A, B, C : montrant un épithélium intestinal avant épitoque GR× 60, 150, 600 d'une femelle d'El-kala ; D : montrant un épithélium intestinal avant épitoque d'une femelle de Skikda GR×150 (Photo Personnelle, 2019).

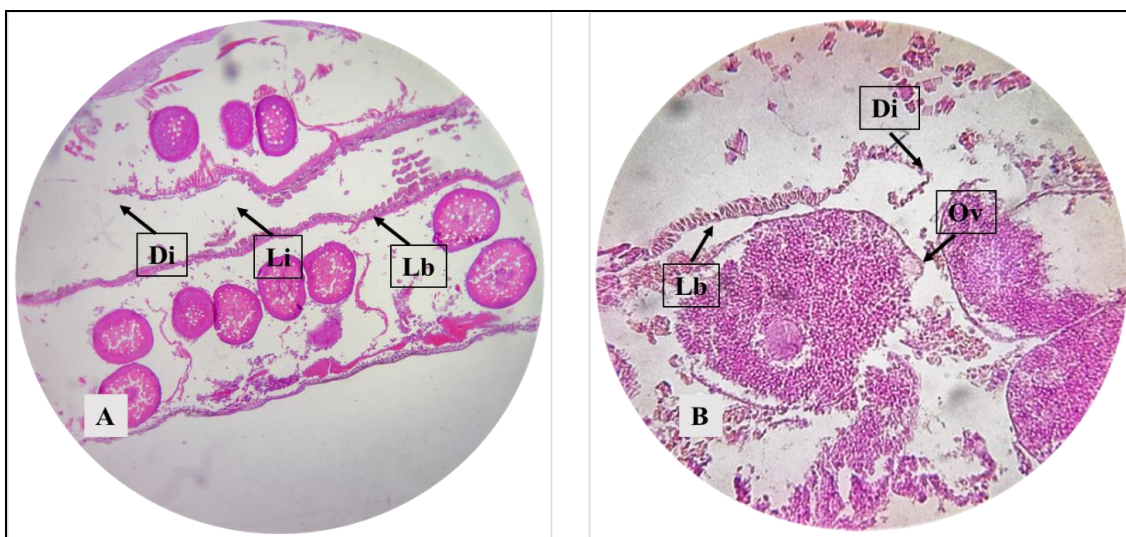
**Abréviations :** Li : Lumière intestinale ; Ov : Ovocyte en prévitellogénèse ; En : Eléments nutritifs ; Ci : Cellules intestinales, Lb : Lamé basale ; Et : Entérocyte.





**Figure 131:** Coupe histologique d'une partie du tube digestif chez *Perinereis cultrifera* d'Annaba montrant un épithélium intestinal en pleine épitoquie : A : GR×150, B : GR× 600 (Photo Personnelle, 2019).

**Abréviations :** En : Eléments nutritifs ; Lb : Lane basale ; Di : Dégénérescence intestinale ; Li : Lumière intestinale.



**Figure 132:** Coupe histologique d'une partie du tube digestif chez *Perinereis cultrifera* de Skikda montrant un épithélium intestinal en pleine épitoquie : A : GR×150, B : GR×600 (Photo Personnelle, 2019).

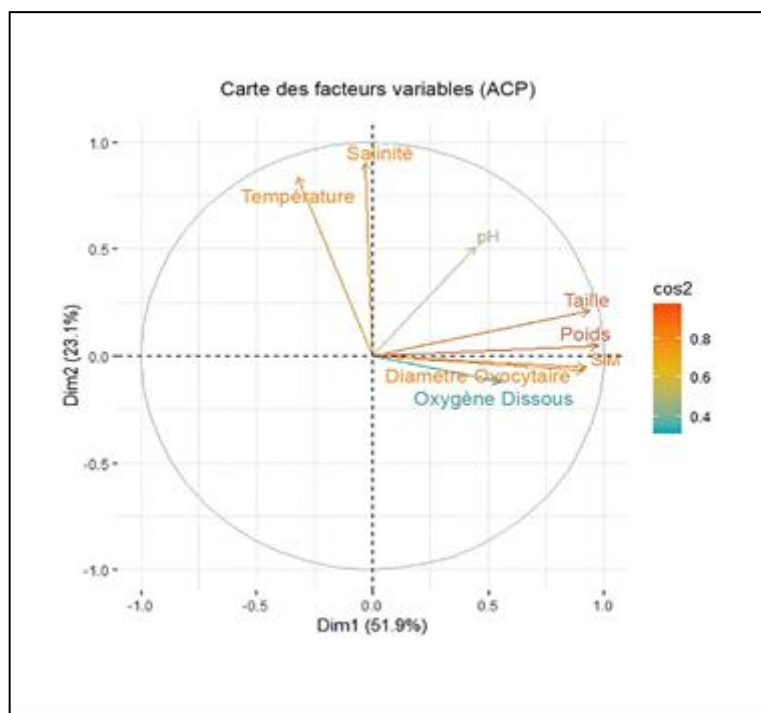
**Abréviations :** Li : Lumière intestinale ; Lb : Lane basale ; Di : Dégénérescence intestinale ; Ov : Ovocyt.



### 3.17. Analyse en composantes principales :

Chaque groupe est caractérisé par un ensemble de huit variables (pH, oxygène dissous, température, salinité, longueur, poids frais, diamètre des ovocytes, SIM). Le logiciel utilisé a permis de prendre en compte des vecteurs dont la direction centrée sur les axes factoriels signifie qu'une partie du nuage de points affectée par l'action des facteurs impliqués et la longueur indique leur intensité.

Les deux premiers axes factoriels dépassent respectivement 51,89% - 23,11% de la variance ou environ 75,01% de la variance totale (Figure 133). Nous ne retiendrons que les deux premiers axes pour l'interprétation de l'analyse. La surface des points est proportionnelle aux valeurs prises par les variables.



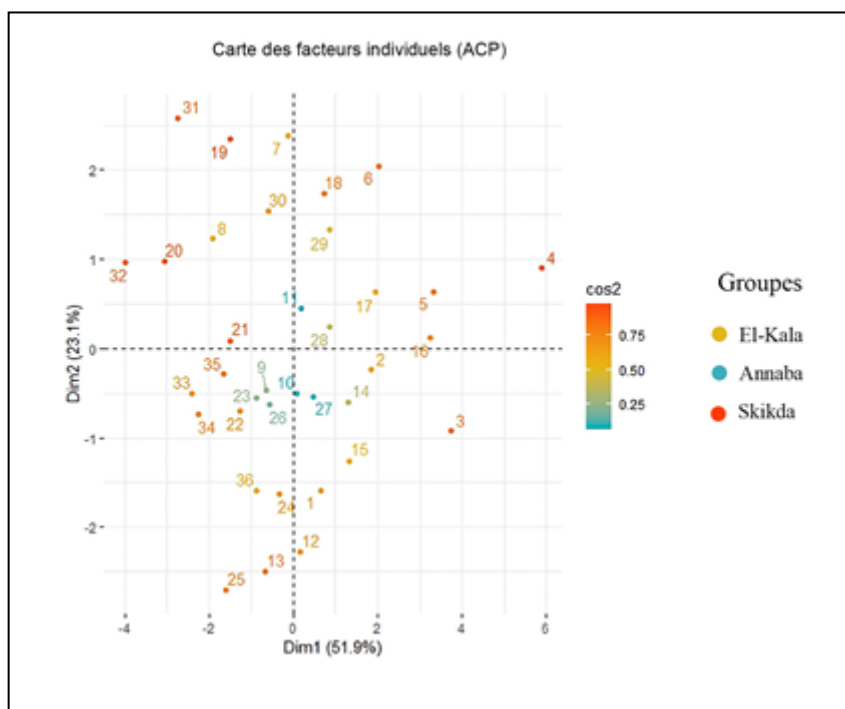
**Figure 133:** Projection des variables ACP sur le plan F1xF2.

Projetés sur le plan F1xF2, les nuages de points sont structurés en trois groupes, représentant des sites différents (Figure 134). En bleu, c'est le groupe du site de la ville d'Annaba, en jaune, c'est le groupe du site de la ville d'El-Kala et en orange, c'est le groupe du site de la ville de Skikda. Tous les groupes se distinguent par les paramètres biologiques (longueur, poids frais, diamètre des ovocytes, SIM) et physiques (pH, oxygène dissous, température, salinité).

Le site d'El-Kala, est influencé par un pH et un Oxygène dissous plus importants que les deux autres sites (à savoir Skikda et Annaba), résultants sur des individus plus grands, plus lourds, avec un diamètre ovocytaire et un SIM plus importants.

Le site de Skikda, est influencé par une Température et une Salinité plus importantes que les deux autres sites (à savoir El Kala et Annaba), résultants sur des individus moins grands, moins lourds, avec un diamètre ovocytaire et un SIM plus petits (moins importants).

Le site d'Annaba, est un site intermédiaire concernant les paramètres physico-chimiques et les individus de ce site ont un poids, une taille, un diamètre ovocytaire et un SIM moyens.



**Figure 134:** Projection des individus sur le plan F1xF2 de l'ACP.

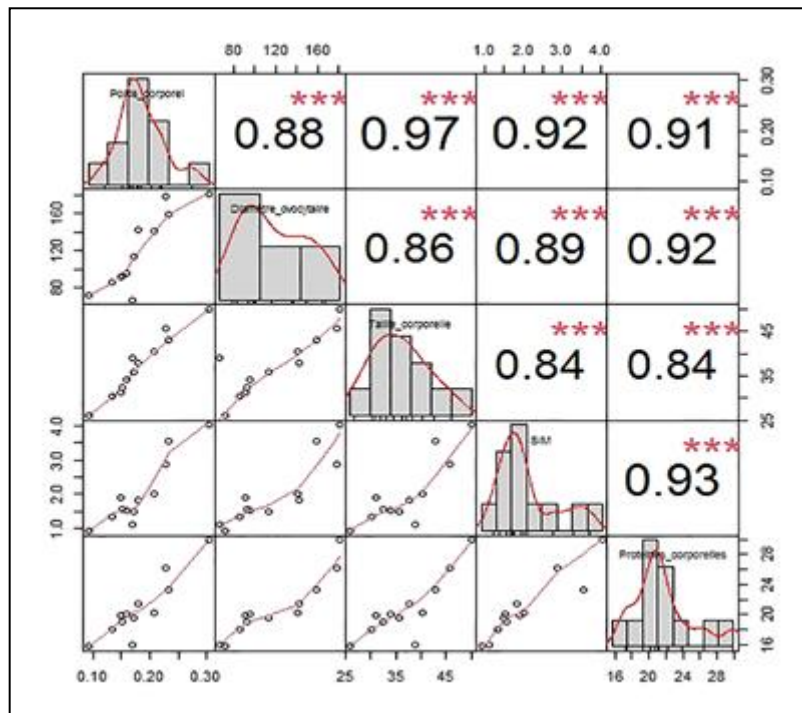
### 3.18. Tests statistiques de corrélation entre les différents paramètres :

L'analyse de corrélation de Pearson a été effectuée afin de déterminer les liens entre les différents paramètres de croissance et de reproduction utilisés au niveau des trois sites durant l'année l'année 2016.

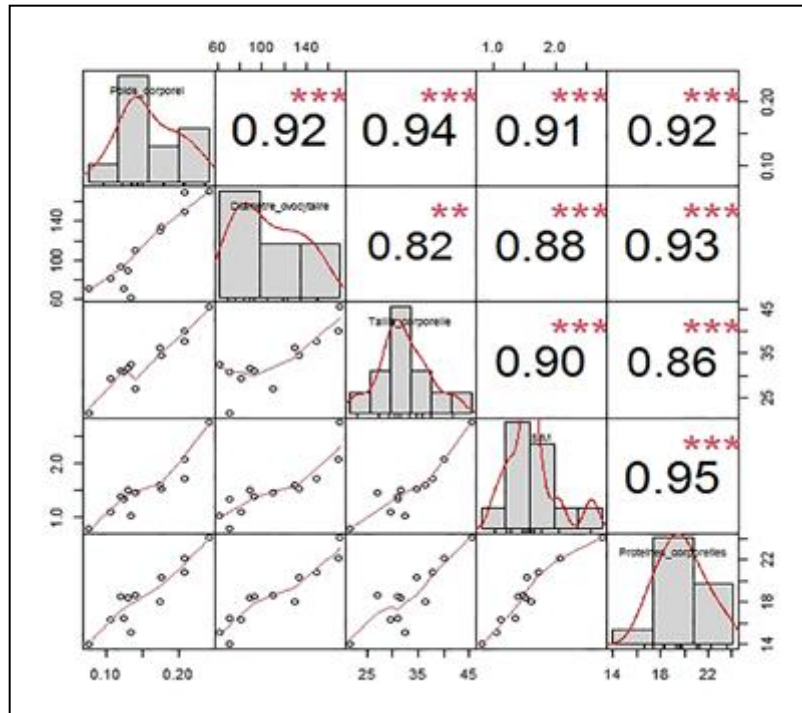
Les tests de corrélation effectués sur les données relatives au site d'El-Kala (La Montagne) révèlent une très forte corrélation entre les paramètres (Figure 135).

Par ailleurs, les tests de corrélation effectués sur les données relatives au site d'Annaba (Saint cloud) ont montré des résultats similaires à ceux d'El-Kala (La Montagne) et les paramètres sont très hautement corrélés (Figure 136).

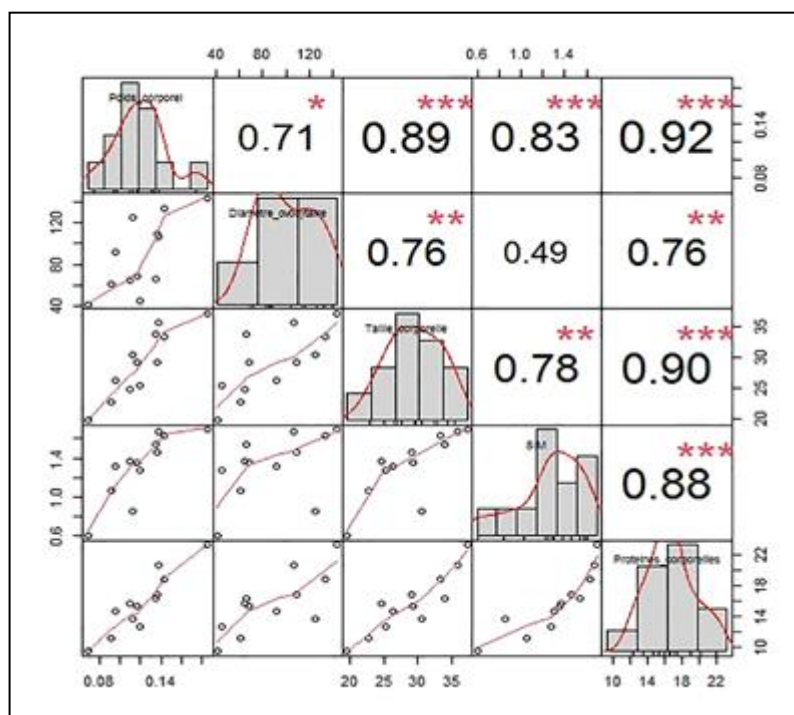
En revanche, les tests effectués sur les données relatives au site de Skikda (Bikini) ont montré des résultats moins corrélés comparativement aux deux sites précédemment cités (Figure 137).



**Figure 135:** Corrélation de Pearson effectuée entre les différents paramètres du site El-Kala (La Montagne), (Taille corporelle, Poids corporel, Diamètre ovocytaire, SIM et protéines corporelles) durant l'année 2016.

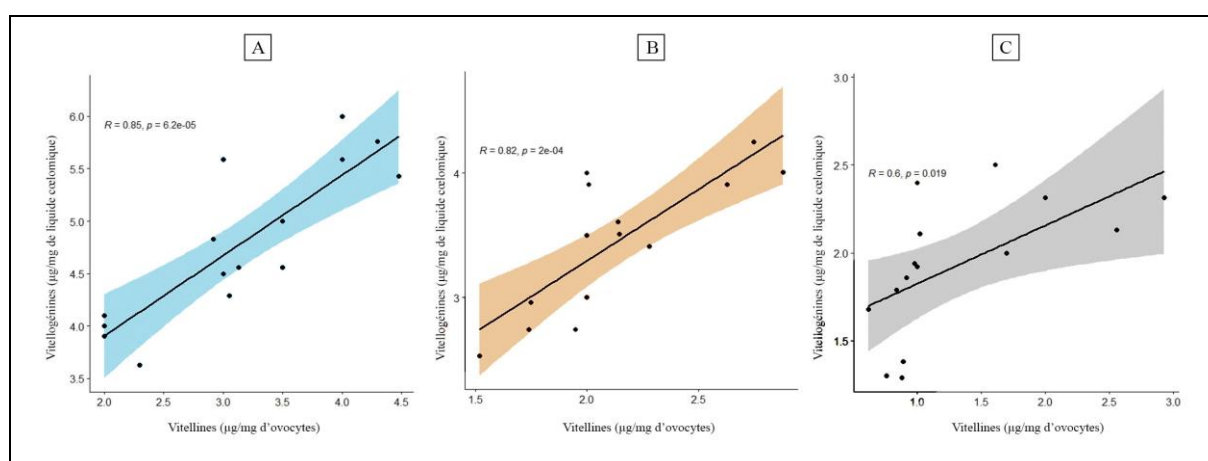


**Figure 136:** Corrélation de Pearson effectuée entre les différents paramètres du site Annaba (Saint Cloud), (Taille corporelle, Poids corporel, Diamètre ovocytaire, SIM et protéines corporelles) durant l'année 2016.



**Figure 137:** Corrélation de Pearson effectuée entre les différents paramètres du site Skikda (Bikini), (Taille corporelle, Poids corporel, Diamètre ovocytaire, SIM et protéines corporelles) durant l'année 2016.

Les tests de corrélation effectués sur les réserves énergétiques (vitellogénines et vitellines) chez les femelles de *P. cultrifera* récoltées au niveau des trois sites d'étude ont montré des résultats très hautement corrélés au niveau d'El-Kala (La Montagne) et d'Annaba (Saint cloud) cependant, l'analyse de corrélation effectuée sur les mêmes paramètres au niveau du site Skikda (Bikini) ont montré des résultats moins corrélés comparativement aux deux autres sites (Figure 138).

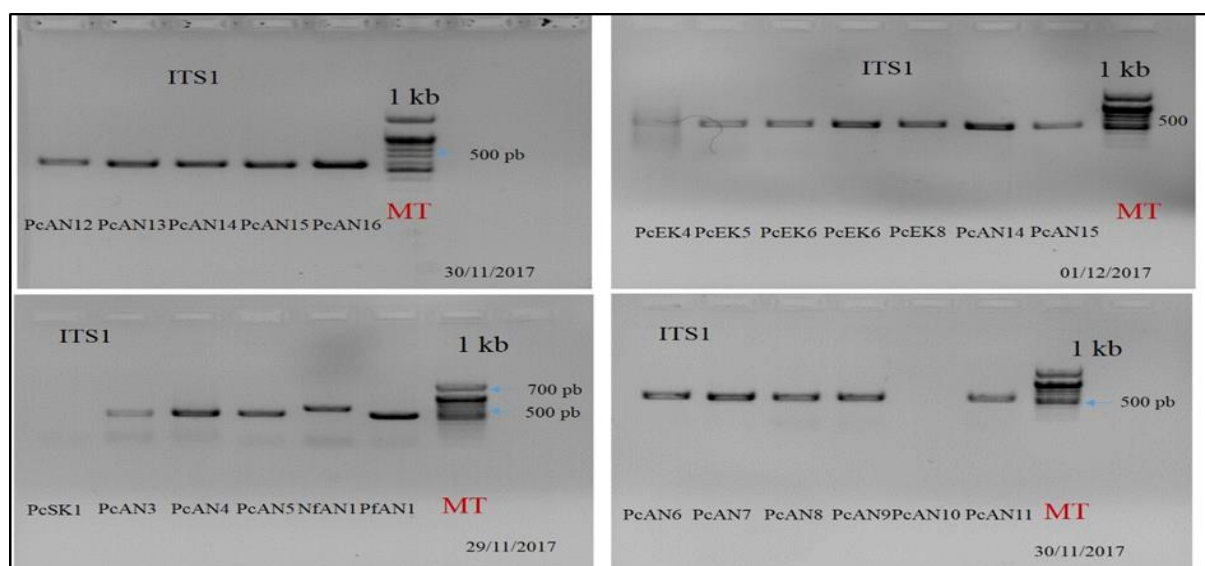


**Figure 138:** Corrélation de Pearson effectuée sur les réserves énergétiques (vitellogénines et vitellines) chez les femelles de *P. cultrifera* récoltées au niveau d'El-Kala (A) ; d'Annaba (B) et Skikda (C).

### 3.19. Analyse phylogénétique et phylogéographique :

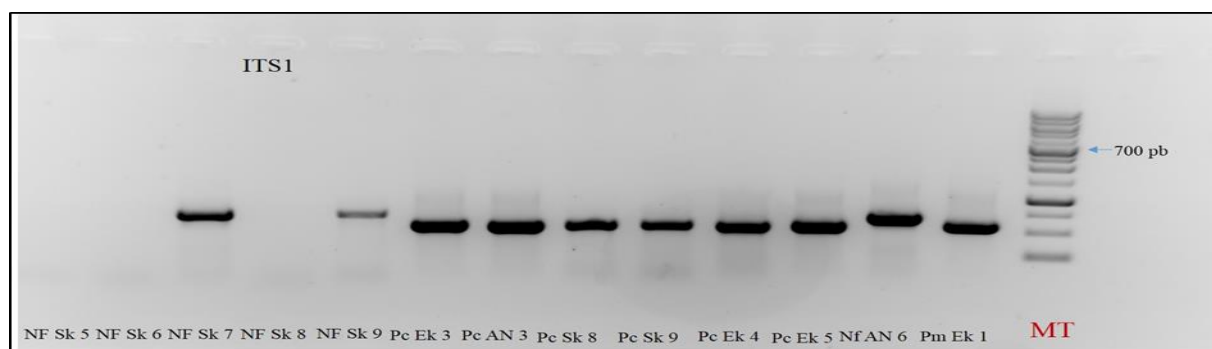
#### 3.19.1. Résultats d'essais d'amplifications par PCR :

Après l'extraction de l'ADN des différentes espèces récoltées, nous avons effectué des essais de PCR avec des amorces pour voir laquelle est spécifique à notre espèce. Les résultats obtenus ont montré une amplification au niveau de l'ADN des deux gènes ITS1 et COI (Figures 139 à 141).



**Figure 139:** Profil électrophorétique après amplification du gène ITS 1, Marqueurs de taille : 1 kilobase. Les PCR réalisées avec les amorces : ITS1a et ITS1b a permis d'amplifier un fragment d'ADN à 520 pb.

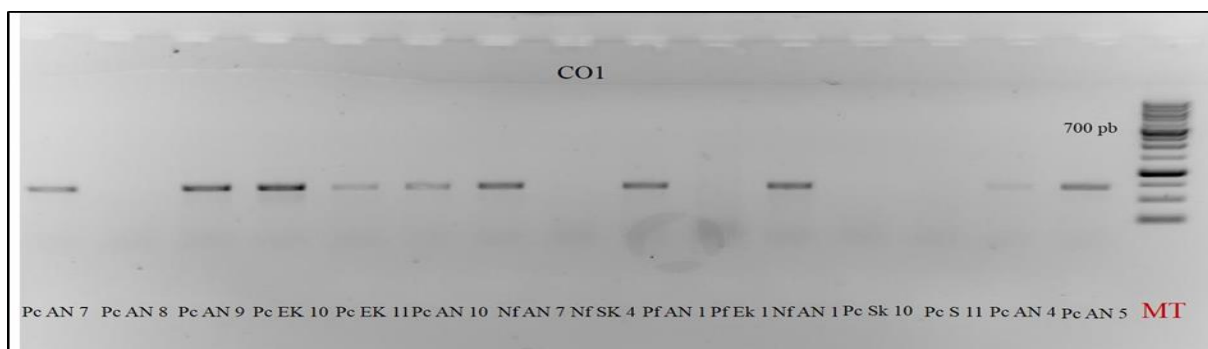
**Abréviations :** AN : Annaba ; Ek : El-Kala ; Pc : *Perinereis cultrifera* ; Sk : Skikda ; Pf : *Perinereis floridana* ; Nf: *Nereis falsa*.



**Figure 140:** Profil électrophorétique après amplification du gène ITS 1, Marqueur de taille : 1 kilobase. Les PCR réalisées avec les amorces : ITS1a et ITS1b a permis d'amplifier un fragment d'ADN à 520 pb.

**Abréviations :** AN : Annaba ; Ek : El-Kala ; Pc : *Perinereis cultrifera* ; Sk : Skikda ; Pm : *Perinereis macropus* ; Nf : *Nereis falsa*.





**Figure 141:** Profil électrophorétique après amplification avec le marqueur COI, Marqueur de taille : 1 kilobase. Les PCR réalisées avec les amorces : COI a et COI b a permis d’amplifier un fragment d’ADN à 750 pb.

**Abréviations :** AN : Annaba ; Ek : El-Kala ; Pc : *Perinereis cultrifera* ; Sk : Skikda ; Pf : *Perinereis floridana* ; Nf: *Nereis falsa*.

### 3.19.2. Analyses phylogénétiques des séquences du gène ITS1 :

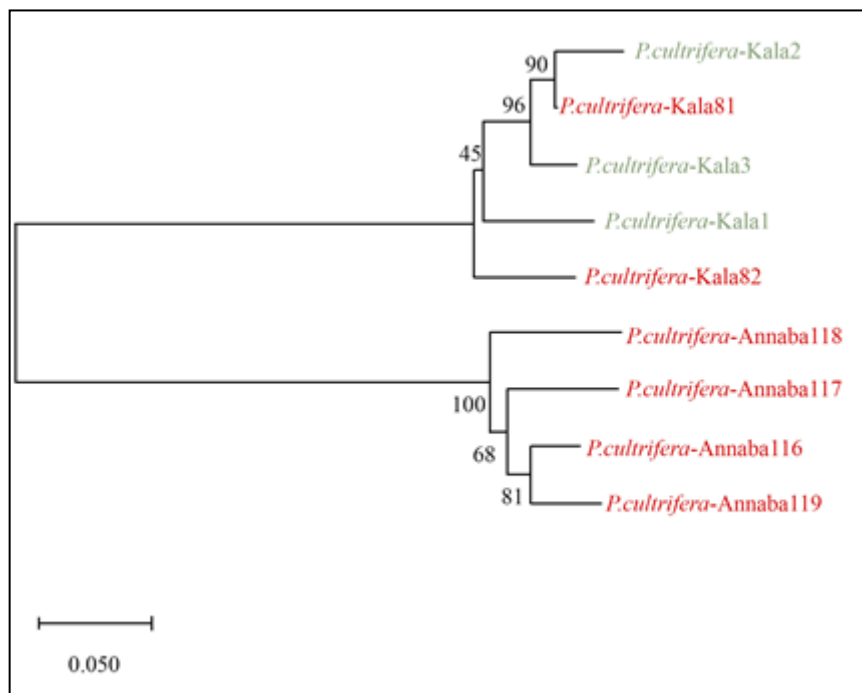
Le résultat du blast des trois séquences est représenté sur le (Tableau 71). Les séquences du gène *ITS1* ont été obtenues pour l’espèce *P. cultrifera* du site de référence ; El-Kala. Ces séquences ont été comparées avec celles de Meghlaoui (2015) (*P. cultrifera*-Kala81, *P. cultrifera*-Kala82, *P. cultrifera*-Annaba118, *P. cultrifera*-Annaba117, *P. cultrifera* Annaba116 et *P. cultrifera*-Annaba119) et utilisées comme référence.

Un arbre phylogénétique a été construit à partir de neuf individus issus de la même espèce et deux sites différents en insérant neuf séquences représentatives de l’espèce *P. cultrifera* (Figure 142).

Les individus issus du même site forme un clade a part pour les deux sites d’étude (El-Kala et Annaba). *P. cultrifera*Kala2 se rapproche phylogénétiquement de la séquence de *P. cultrifera*Kala81. L’arbre phylogénétique construit avec ces séquences est présenté dans la Figure (142).

**Tableau 71:** Pourcentage de similarité entre les séquences les espèces ; *P.cultrifera* pour le gène ITS1.

Abbreviations	Taxon	Origine	% similarité	Numéro d’accès
Pc EK1	<i>Perinereis cultrifera</i>	El-Kala	79.41	EF545150
Pc EK2	<i>Perinereis cultrifera</i>	El-Kala	82.45	EF545150
Pc EK3	<i>Perinereis cultrifera</i>	El-Kala	82.43	EF545150



**Figure 142:** Arbre phylogénétique des séquences du gène ITS1 construit par la méthode du P-distance et Neighbor-joining.

*Les valeurs de bootstrap (pourcentage de 1000 réplicats)*

*La barre d'échelle représente le nombre de substitutions nucléotidiques pour 1000 nucléotides.*

*Les 6 séquences provenant des deux sites (El-Kala et Annaba) pour ; 81, 82, 116, 117, 118 et 119 sont indiquées en rouge et les 3 issues du site d'El-Kala en vert.*

# DISCUSSION

*« Le but de la discussion ne doit pas être la victoire, mais l'amélioration. »*  
**Joseph Joubert**

## 4. DISCUSSION

### 4.1. Paramètres physico-chimiques :

Les zones humides sont écologiquement très importantes et des écosystèmes extrêmement productifs, mais très sensibles essentiellement dans des lieux de transition soumis aux contraintes environnementales et anthropiques (Mouillot *et al.*, 2005 ; Rossi *et al.*, 2006 ; Blanchet *et al.*, 2008). Les côtes algériennes comme plusieurs zones humides méditerranéennes, sont soumises à une pression croissante des activités anthropiques (urbanisation, industrie, pollution, aquaculture, tourisme et la surpêche). Les conséquences peuvent être détectées sur l'état général des écosystèmes, principalement dans une macrofaune plus sensible et plus exposée (Ben Mustapha *et al.*, 1999 ; Ayari & Afli, 2003). Les organismes aquatiques en général sont souvent confrontés à des fluctuations de leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques et les environnements biologiques. Les modifications des facteurs environnementaux imposées à ces vies aquatiques sont généralement graduelles, rythmées et prévisibles (Ahamefula, 2014). Le littoral est très vulnérable à un large assortiment de contaminants et de micropolluants directement rejetés dans les mers et les océans, pour qui s'ajoutent à celles qui sont rejetées dans l'air et drainées par les sols et les rivières (Bensouda & Soltani-Mazouni, 2014).

Les polychètes constituent une classe importante du phylum Annelida. Les polychètes vivent tous dans la mer, avec plus de 10 000 des espèces connues dans le monde entier et dont l'aire de répartition s'étend de la zone de marée aux grands fonds (Kirkegaard, 1983 ; Bakken & Wilson, 2005) ; ils jouent un rôle important dans la niche benthique (Kelly *et al.*, 2006 ; Sampértegui *et al.*, 2013). Ils ont développé quelques caractéristiques pour faire face à certaines de ces conditions environnementales défavorables. Les vers polychètes, comme la faune benthique sont un paramètre biologique qui indique la fertilité aquatique globale des sédiments, et l'étude des polychètes peut être utilisée comme informations de base pour évaluer les poissons démersaux car ils constituent un élément alimentaire majeur dans la nutrition des animaux de fond. En outre, et plus encore et surtout, ils pourraient être utilisés comme de bons indicateurs de la pollution marine. Les polychètes sont un de ces organismes sentinelles.

La température est un facteur écologique important ; elle contrôle l'intensité de la reproduction (la quantité de gamètes produits) (Mackie & Scloesse, 1996) et stimule le processus de gamétogenèse en corrélation avec d'autres facteurs, ce qui entraîne des variations dans les taux d'accumulation des polluants (Tran *et al.*, 2001, 2002).

L'un des impacts majeurs et directs du réchauffement climatique est l'augmentation de la température des eaux de surface. Selon le GIEC (P.I. sur le changement climatique, 2007), la température de la surface de la mer à l'échelle mondiale est aujourd'hui supérieure d'environ 1 °C à celle d'il y a 140 ans, et constitue l'une des principales conséquences physiques du changement climatique. Les projections faites en 2007 par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) montrent que la température de la

surface de la mer continuera à augmenter à l'échelle mondiale tout au long du 21<sup>e</sup> siècle. Cette hausse entraîne une augmentation de l'énergie cinétique de l'eau et, par conséquent, une diminution de la capacité de rétention d'oxygène des eaux de surface, ce qui peut diminuer la productivité des eaux de surface déjà sollicitées par la demande biologique en oxygène (DBO) (Jacoby, 1990) et cela se traduit par une diminution de l'oxygène dissous.

La température est l'un des paramètres physico-chimiques les plus sensibles aux changements naturels, elle varie en fonction de la température extérieure (air), des saisons, de la nature géologique du sol et de la profondeur du niveau de l'eau par rapport à la surface des sédiments (Rodier *et al.*, 2005), et des changements anthropiques tels que les rejets d'eaux usées. Dans les trois sites d'étude, les valeurs thermiques de l'eau n'ont pas montré de grandes variations. En outre, la variation de température a des effets sur tous les autres paramètres mesurés tels que le pH, la conductivité de l'eau et le niveau de salinité, car elle a un effet sur toutes les réactions de dégradation, la minéralisation de la matière organique et le développement. L'augmentation de la température favorise, avec d'autres facteurs, la productivité primaire et donc une augmentation de la nourriture pour la faune aquatique (Bremond & Vuichard, 1973).

Dans les trois sites étudiés, les valeurs thermiques de l'eau ne présentent pas de grandes variations. Cependant, ils ont révélé l'existence d'une saisonnalité typiquement méditerranéenne avec des fluctuations bornées entre 13,2 en hiver et 25,93 en été. Nos résultats sont en accord avec les travaux observés dans le golf d'Annaba par Khelifi-Touhami *et al* (2007), Khati-Hadj Moussa (2009), et Boumaza (2014). De même les variations de température observées au niveau d'El-Kala et Skikda sont comparables à celles trouvées dans la même région par Snani (2016).

Le pH est un indicateur des processus biologiques et physiques qui ont lieu dans la colonne d'eau, car il y reflète l'état thermodynamique des couples acide/base du système du CO<sub>2</sub>. L'acidification des océans se réfère à la diminution du pH des océans par dissolution de dioxyde de carbone additionnel dans l'eau de mer, de l'atmosphère ou par des moyens chimiques d'origine naturelle ou anthropogénique. Les scientifiques (Dore *et al.*, 2009 ; Bates *et al.*, 2012) estiment que le pH de la surface des océans a diminué d'environ 0,05 unité de pH par rapport à l'ère préindustrielle. Comme le pH est une mesure de la concentration des ions d'hydrogène et l'échelle du pH est logarithmique, une baisse de 1 unité de pH provoque une augmentation par un facteur de 10 de la concentration des ions d'hydrogène. Si l'utilisation des combustibles fossiles et l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique continuent au rythme actuel, le pH est susceptible de baisser de 0,3-0,4 unités d'ici la fin du 21<sup>ème</sup> siècle (Cooley *et al.*, 2012). Les ions d'hydrogène seront de 100-150% supérieurs aux teneurs de l'époque préindustrielle dans l'océan.

Selon Barnabé (1991), le pH des eaux côtières méditerranéennes varie entre 7,9 et 8,3. Les valeurs de pH enregistrées reflètent une faible alcalinité de l'eau compatible avec la survie des organismes. Il n'apparaît pas de variations saisonnières bien définies et les valeurs de pH n'ont pas montré de variation entre les trois sites. La salinité

détermine en grande partie les processus biologiques, mais aussi les processus chimiques dans l'eau. Elle est également connue par son influence sur la biodisponibilité des métaux (Durou *et al.*, 2005). Elle détermine la distribution et la dynamique des populations (Teske & Wooldridge, 2003 ; Pasquaud, 2006). La salinité moyenne de l'eau de mer est de l'ordre de 35 g/L, cependant cette valeur varie fortement selon les régions et la saison. La salinité a montré l'absence de différence entre les saisons avec une diminution non significative au printemps à l'arrivée de l'eau douce continentale, qui est liée à l'abondance des pluies qui diluent l'eau de mer. Nos résultats semblent être en accord avec les moyennes observées en Méditerranée qui sont de l'ordre de 38-39 UPE (Aminot & Kéroual, 2004b) et avec celles mesurées sur les côtes algériennes, notamment sur le golfe d'Annaba (Hadjadji *et al.*, 2014 ; Ounissi *et al.*, 2014 ; Kadri *et al.*, 2015 ; Amri *et al.*, 2017b). Selon le "Le Plan d'action pour le milieu marin" L'oxygène dissous dans l'eau de mer est un composé ubiquiste dont la concentration dans une masse d'eau est régie par une multitude de processus biotiques et abiotiques. Les propriétés thermodynamiques (température, salinité, pression), la dynamique physique (courant, mélange de masse d'eau, injection de bulles ou micro-bulles, échange air-mer), les processus de photo-oxydation, d'oxydation chimique et processus biologiques (photosynthèse, respiration et nitrification en milieu aérobie) influencent à des échelles diverses et variables sur la concentration en oxygène dissous dans l'eau de mer. Par ailleurs l'oxygène n'est que faiblement soluble dans l'eau et est donc moins abondant dans l'eau que dans l'air. La solubilité de l'oxygène, et sa disponibilité dans l'eau, diminue avec l'augmentation de la température et de la salinité et la profondeur de la masse d'eau. Par conséquent, les polluants organiques et les organismes aérobies épuisent rapidement l'oxygène dans l'eau et les sédiments de la masse d'eau (Chukwu, 2011).

De très faibles concentrations d'oxygène sont présentes sur le fond vaseux qui sert d'habitat aux organismes benthiques. Des mécanismes compensatoires ont été mis au point par ces organismes pour anticiper et gérer cette situation. 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. *Perinereis cultrifera* vit à la surface de sédiments sableux bien aérés, à l'abri des rochers. L'oxygène dissous est consommé pendant l'oxydation hétérotrophe de la matière organique, et la respiration par la faune et la flore aquatique. La quantité d'oxygène dissous dans l'eau est nécessaire à la vie aquatique et à l'oxydation de la matière organique essentielle à la vie aquatique en tant que nourriture (Tran *et al.*, 2001, 2002). L'oxygène dissous de l'eau de mer sur le site 3 a révélé des valeurs moyennes 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. Ceux-ci vont subir une oxydation qui entraînera une augmentation de la consommation d'oxygène et donc une diminution de sa teneur dans l'eau. Les résultats obtenus en matière de température, de salinité, de pH et d'oxygène dissous correspondent aux travaux



réalisés 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 *et al.*, 2017).

La modification de la période de reproduction et du cycle de vie des polychètes dans différentes régions géographiques pourrait être une conséquence des différents régimes de température locaux (Kristensen, 1984). Dans le cas de la côte atlantique d'El Jadida (Maroc) les différences de recrutement peuvent être attribuées à des facteurs climatiques (Ait Alla *et al.*, 2006).

La mer Méditerranée compte parmi les régions océaniques se réchauffant le plus vite : 2 à 3 fois plus vite que l'océan global (Cramer *et al.*, 2018 ; Marbà *et al.*, 2015). Les observations d'impacts du réchauffement s'accumulent depuis maintenant deux à trois décennies et sont marquées par un biais "d'effort de recherche" nord-sud et ouest-est. Plus de 450 articles scientifiques font état d'impacts du réchauffement climatique sur la faune et la flore marine du bassin, principalement en relation aux "vagues de chaleur marines", véritables canicules sous-marines (Marbà *et al.*, 2015). Ces impacts sont de natures diverses et opèrent à des échelles spatio-temporelles et des niveaux d'organisation écologique variés. Citons, par exemple, des impacts sur la croissance, la survie, la fertilité, les schémas de migration, la distribution spatiale et la phénologie des organismes pélagiques et benthiques, du phytoplancton à la végétation marine, des invertébrés aux vertébrés (Marbà *et al.*, 2015).

#### **4.2. Évaluation de la biodiversité :**

Nos activités affectent directement ou indirectement la quasi-totalité des océans et la biodiversité qui les occupent. Seul 13.2 % de l'océan mondial peut aujourd'hui encore être considéré comme à l'état "sauvage" (Jones *et al.*, 2018). Pour autant, Halpern *et al.* (2015) ont calculé que 97.7 % des océans faisaient l'objet de multiples perturbations. Le changement global, à travers le changement climatique et des phénomènes massifs de pollution, d'invasion biologique, d'eutrophisation, de perte, de dégradation et/ou de fragmentation d'habitats, de surexploitation des ressources vivantes, tend à altérer le fonctionnement des écosystèmes et réduire les biens et services qu'ils fournissent (Halpern *et al.*, 2015; Hammerschlag *et al.*, 2019; Poloczanska *et al.*, 2016; Smale *et al.*, 2019).

Le littoral méditerranéen s'étend sur près de 200 000 km et présente une extraordinaire diversité de paysages mais également une importante richesse biologique où d'innombrables espèces animales et végétales y prospèrent (Cubells, 2007). Selon Coll *et al.*, (2010), 17 000 espèces marines sont présentes en méditerranée. La faune méditerranéenne ne constitue pas une unité biogéographique, elle présente, au contraire, des échanges étroits avec l'océan Atlantique et le complexe mer Rouge, océan Indien et océan Pacifique (Augier, 1973). Par exemple, sur les côtes de l'Afrique du Nord, depuis la frontière Algéro-Marocaine jusqu'au Cap Bon, les peuplements sont caractérisés par la présence de la plupart des espèces typiquement méditerranéennes auxquelles s'ajoute un bon nombre d'espèces d'origine atlantique, aussi bien sénégalaises que Nord-atlantiques (Pérès & Picard, 1964). Les

intrusions des espèces d'origine Atlantique sont favorisées par le courant d'entrée, par le détroit de Gibraltar, d'eau Atlantique liée au caractère déficitaire en eau de la Méditerranée.

Du fait de leur mobilité permanente, de la variété des écosystèmes qu'ils englobent et des transformations qu'ils subissent, les littoraux sont des espaces particulièrement fragiles (Ghodbani & Bougherira, 2019), le développement considérable des activités humaines provoque des perturbations écologiques drastiques et modifie continuellement la structure des écosystèmes imposant ainsi le suivi quantitatif et qualitatif du milieu pour une gestion plus rationnelle et durable des ressources naturelles dont celles d'intérêt économique important (Antit *et al.*, 2018).

Les fonds des substrats infralittoraux constituent une zone d'étude particulièrement intéressante grâce à sa grande richesse quantitative et qualitative et à la diversité des phénomènes biologiques qui se développent dans ceux-ci. Les Annélides polychètes fréquemment nommées « vers segmentés » constituent avec les Mollusques bivalves, les Crustacés et les Echinodermes les groupes dominants de la macrofaune des substrats meubles. Elles sont utilisées dans la majorité des études écologiques des communautés benthiques étant donné qu'elles apportent des renseignements tout à fait indispensables pour comprendre, dans une première phase, les changements profonds que subissent actuellement les écosystèmes marins, et agir en conséquence pour limiter les dégâts. De ce fait, ces organismes sont largement utilisés comme des indicateurs des conditions écologiques des écosystèmes marins et côtiers (Gibson *et al.*, 2000). D'une manière générale, ces organismes relativement sédentaires, ont des cycles vitaux longs qui leur permettent d'intégrer les effets des perturbations tant accidentelles que chroniques (Dauvin 1993, Reiss & Kröncke, 2005) et présentent différents degrés de tolérance au stress (Torres-Gavila, 2008).

En effet, la macrofaune benthique constitue un outil de choix pour évaluer la qualité du milieu marin. C'est un bon indicateur de l'état de santé des écosystèmes et de la variabilité des conditions environnementales. D'une part, le macrozoobenthos représente une composante clé, indispensable pour l'organisation trophique puisqu'il est corrélé avec les conditions écologiques prévalant avec le sédiment et la colonne d'eau sus-jacente où se manifestent les multiples effets de l'enrichissement de la pollution des milieux (Borja *et al.*, 2000 ; Morrissey *et al.*, 2003 ; Salas *et al.*, 2004 ; Puente *et al.*, 2008) et, d'autre part, c'est une source de nourriture pour de nombreux consommateurs (Chaouti & Bayed 2011).

L'Algérie avec ses longues côtes d'environ 1622,48 km (Bouroumi *et al.*, 2017), regroupent un éventail d'habitats, et la biodiversité marine algérienne est considérée parmi les plus élevées du bassin méditerranéen (Grimes 2004). La réalisation de suivis à moyen et long terme est l'étape clé des suivis visant à surveiller l'évolution de la biodiversité dans le temps, que ce soit en fonction d'un impact anthropique à court terme, de la dynamique naturelle à moyen terme ou de changements climatiques à long terme (Véla, 2017). A cet égard, il est important de dresser un inventaire de la biodiversité locale et de suivre son évolution le temps d'évaluer les pertes potentielles de biodiversité induites principalement par le climat mondial qui ont un fort impact sur la biodiversité locale en Méditerranée (Cramer *et al.*, 2018).

Notre étude nous a permis d'établir un inventaire aussi complet que possible des différents taxons pouvant être rencontrés dans la zone d'étude et permettant ainsi d'enrichir la liste de la biodiversité Algérienne. Notre technique a l'avantage de prélever l'endofaune et l'épifaune, ce qui nous a permis de collecter le plus grand nombre d'espèces. Au cours des campagnes de prélèvement, on a recensé un total de 5.363 individus répartis en 5 groupes faunistiques (Annélides, Mollusques, Arthropodes, Cnidaires et Echinodermes), appartenant à 20 familles. L'analyse globale de l'ensemble des peuplements récoltés a montré une répartition des espèces qui est assez homogène au niveau des trois sites d'étude dont les plus dominants et diversifiés étaient les Annélides suivies des Mollusques et des Arthropodes ; en revanche les groupes restant à savoir les Cnidaires et Echinodermes étaient moins abondants et moins diversifiés comparativement aux autres groupes. Il est à noter également que Cnidaires était absents au niveau de Skikda.

Les différentes espèces d'Annélides Polychètes occupant le même biotope que *Perinereis cultrifera* se répartissent entre 03 grandes familles : les Nereididae avec une prédominance du genre *Perinereis* (*Perinereis capensis*, *Perinereis floridana*, *Perinereis macropus*, *Perinereis marioni*, *Perinereis oliveira*, *Pseudonereis anomala*, *Nereis falsa*, *Platynereis dumerilii*), les Polynoidae (*Lipidonotus clava*) et les Phascolosomatidae (*Phascolosoma* sp) ; il est également à noter que la présence de ces espèces au niveau des trois sites montre une grande variabilité, sur les 30 espèces identifiées seul 17 étaient rencontrées au niveau des trois sites à savoir (*Perinereis cultrifera*, *Perinereis capensis*, *Perinereis floridana*, *Perinereis macropus*, *Nereis falsa*, *Phascolosoma* sp, *Stramonita haemastoma*, *Gibbula* sp, *Patella rustica*, *Patella caerulea*, *Cymbula safiana*, *Diodora graeca*, *Mytilus* sp, *Eriphia verrucosa*, *Pachygrapsus marmoratus*, *Amphipoda* sp et *Eurydice pulchra*). Une recherche récente effectuée au niveau du Littoral Ouest d'Algérie a montré que certaines espèces d'annélides polychètes (*Nereis pelagica* et *Nereis falsa*) prospèrent très bien dans les régions où les conditions physiologiques sont extrêmes influencés par des facteurs de stress anthropiques (Kies *et al.*, 2020) ces résultats viennent appuyer les nôtres puisque nous avons retrouvé *Nereis falsa* en grand nombre au niveau des sites pollués Annaba et Skikda, cela confirme les interactions entre la santé de la biodiversité et l'abondance avec des facteurs environnementaux influencés par des facteurs de stress anthropiques (Kies *et al.*, 2020). Par ailleurs l'étude menée par Chaïbi *et al.*, (2018) dans la ville portuaire de Radès en Tunisie 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 d'eux un outil biologique efficace pour déceler les signes de dégradation du milieu.

Les écosystèmes marins littoraux en méditerranée ont fait l'objet de nombreuses études révélant une diversité remarquable (Ayari & Afli, 2003 ; Grimes, 2011 ; Zaabi-Sendi, 2013 ; Dauvin *et al.*, 2013, Gillet, 2017 ; Goumri *et al.*, 2017 ; Hussein & Bensahla-Talet, 2019 ; Kies *et al.*, 2020).

La structure trophique des principales communautés benthiques à savoir (Annélides, Mollusques et Arthropodes) montrée dans notre travail semble être en accord avec les

résultats obtenus dans la même région par (Meghlaoui, 2015, Guemouda, 2015, Younsi, 2014, Rouabah & Rouabah, 2007, Snani, 2016 ; Gasmi, 2018). Les travaux sur la macrofaune le long de la côte Algérienne sont limités et consacrés aux fonds côtiers ce qui rend la comparaison avec la Tunisie et le Maroc assez difficiles en raison du manque de données en effet d'après Grimes (2011), de nombreuses études ont été portées sur les principaux groupes zoologiques tout en négligeant d'autres groupes considérés à tort comme marginaux, et ce par manque de taxonomistes qui s'intéressent à ces groupes. Dauvin *et al* (2013) ont inventorié 1642 espèces d'invertébrés. Ce chiffre est considérable, et correspond à plus de 15 % du nombre d'invertébrés connus en mer Méditerranée (10 902 espèces). La richesse des espèces diffèrait principalement d'un groupe zoologique à un autre. Le groupe le plus diversifié est celui des crustacés, avec 603 espèces, soit 27 % des espèces recensées en Méditerranée. Les polychètes, avec un nombre similaire d'espèces 599, représentaient 51% ; les mollusques, avec 322 espèces, représentaient 15%, et les échinodermes, avec 48 espèces, représentaient >31% (les pourcentages sont comparés avec le nombre d'espèces recensées en Méditerranée). Les autres groupes d'invertébrés étaient moins diversifiés, avec un total de 70 espèces. Parmi les crustacés, les amphipodes représentaient 56 % des espèces, et les décapodes constituaient le deuxième groupe le plus important, avec 18 % des espèces. Parmi les mollusques, les bivalves et les gastéropodes représentaient respectivement 57 % et 38 %. En ce qui concerne les Annélides polychètes Grimes (2004) a décrit la présence de 54 espèces des fonds durs ce qui représente un nombre non négligeable en terme de biodiversité.

Avec ces deux façades maritimes la faune annélide du Maroc qui renferme 321 espèces est constituée essentiellement d'espèces atlantiques et d'espèces méditerranéennes Gillet (2017). Néanmoins elle reste proche de celle de Tunisie qui compte 404 espèces avec une seule façade maritime (Chaibi *et al.*, 2018). Arvanitidis *et al* (2002) avaient estimé le nombre d'espèces présentes en Mer Méditerranée à 884 espèces. Près de la moitié des espèces (402) sont considérées comme cosmopolites, 275 comme Atlantico-Méditerranéennes, 68 comme Amphi-Atlantique, 121 endémiques et 18 Indo-Méditerranéennes. Bien que le nombre d'espèces annélide en Algérie soit inférieur à celui de la France nous pensons qu'il est beaucoup plus élevé ce qui montre l'importance de poursuivre des recherches dans le domaine de la systématique afin d'avoir une meilleure connaissance de la faune annélide Algérienne. L'inventaire actuel des espèces de polychètes est principalement compilé à partir de données recueillies au cours de trois périodes successives : la première de 1886 à 1928, (conduisant à 28 familles et 96 espèces), la deuxième de 1963 à 1970, (en tête à 44 familles et 196 espèces), et enfin de 1975 à 2010, (menant à la liste finale avec 58 familles et 534 espèces). Au cours de ces trois périodes, le nombre d'espèces enregistrées est passé de 96 à 534. Les thèses de doctorat de Bakalem (2008) et Grimes (2010), qui ensemble, couvrait la plupart des habitats de fond mou dans les golfes, les baies et les ports des côtes algériennes, répertoriés comme le plus grand nombre de polychètes avec 54 et 51 familles et 444 et 506 espèces, respectivement. Il convient de noter que qu'il n'y a pas eu d'études faisant état de nouveaux polychètes entre 1928 et 1963, et qu'aucune n'a eu lieu depuis 2011 (Bakalem *et al.*, 2020). Parmi les 534 espèces recensées le long de la frontière algérienne côte, 45 correspondent au statut "espèce douteuse" et 38 sont considérés aujourd'hui comme des complexes d'espèces, Ces chiffres représentent respectivement 8 et 6,5% de la richesse totale

des polychètes. Des données supplémentaires doivent être tenus pour confirmer leur présence dans les eaux algériennes. Il convient de noter que la plupart de ces espèces ont déjà été signalés dans d'autres inventaires de polychètes (Faulwetter *et al.*, 2017)

Le calcul des indices écologiques de diversité les plus utilisés, à savoir l'indice de Shannon-Weaver ( $H'$ ) et d'équitabilité de Piélo ( $J'$ ) a pour but l'estimation de l'état d'équilibre numérique des peuplements l'indice de Shannon-Weaver ( $H'$ ) et d'équitabilité.

Nos résultats montrent une diversité plus élevée au niveau du site d'El-Kala comparativement au deux autres sites Annaba et Skikda. Il est admis que les valeurs de ( $H'$ ) varie de 0 lorsque tous les individus appartiennent à la même espèce vers un nombre positif plus ou moins grand lorsque les individus sont répartis entre différentes espèces. Pour une même richesse spécifique, la valeur de ( $H'$ ) croit lorsque l'équitabilité augmente. Grimes (2010) a considéré l'échelle suivante pour les valeurs de l'indice  $H'$  :  $> 4$  très équilibré ; entre (2,5 et 4) équilibré ; entre (1,5 et 2,5) déséquilibré ;  $H' < 1,5$  très déséquilibré ; en se référant à cette échelle le site d'El-Kala est considéré comme équilibré alors qu'Annaba et Skikda sont considérées comme déséquilibrées. Si on considère également à titre comparatif l'échelle proposée par Simboura & Zenetos (2002) ; le site d'El-Kala reflète une écologie moyenne alors que les deux autres sites illustrent une écologie médiocre. En outre en ce qui concerne l'indice d'équitabilité de Piélo, Grimes (2010) a proposé également une échelle relative à cet indice de 4 classes suivantes : lorsque ( $J'$ ) varie entre (0,8 et 1) Normal ; entre (0,6 et 0,8) subnormal ; entre (0,4 et 0,6) déséquilibré ;  $< 0,4 \Rightarrow$  très déséquilibré. Ce qui nous amène à dire que seul les peuplements d'El-Kala présentent une répartition normale tandis que les peuplements d'Annaba et Skikda présentent une répartition déséquilibrée. D'après Elsayed & Dorgham (2019), les irrégularités affichées pour les indices écologiques entre les différents taxons benthiques pourraient être attribuées à la dominance persistante d'une espèce.

L'étude de la flore algale Algérienne a fait l'objet d'un certain nombre de travaux (Perret Boudouresque & Séridi, 1989 ; Kadari-Méziane, 1994 ; Séridi, 2007 ; Grimes, 2012 ; Ould-Ahmed *et al.*, 2013 ; 2019). En regroupant tous les taxons et stades d'algues signalés sur les côtes Algériennes (d'Ouest en Est), plus de 468 taxons ont été inventoriés à partir de la compilation des travaux anciens et récents sur la communauté algale de l'Algérie. Selon Séridi (2007), la flore algale Algérienne reste peu étudiée. Durant nos récoltes nous avons effectué un inventaire des espèces algales rencontrées où nous avons identifié 09 espèces. Le groupe des Ochrophytes est le mieux représenté incluant (*Sargassum sp*, *Cystoseira sp*, *Cystoseira compressa* et *Padina pavonica*), le groupe des Chlorophytes est représenté par *Ulva rigida*, le groupes des Rhodophytes est représenté par *Corallina caespitosa* tandis que le groupe des Magnoliophytes est représenté par *Posidonia oceanica*. Dans une étude très récente effectuée au niveau des côtes oranaises ces 04 groupes d'algues ont été également inventoriées (Hussein & Bensahla-Talet, 2019).

### 4.3. Effets de la pollution sur les paramètres : morphométrique et pondéral :

L'étude des paramètres morphométriques, la taille corporelle et le poids corporel ont été entrepris pour l'espèce *Perinereis cultrifera* afin de détecter un éventuel effet de la pollution sur la croissance et la reproduction de cette espèce. Les réactions des organismes à la contamination chimique de l'environnement leur permettent, dans une certaine mesure, de maintenir ou de rétablir un certain équilibre. Ces mécanismes homéostatiques se reflètent au niveau individuel par la dépense énergétique (Le Gal *et al.*, 1997). Un changement dans la croissance peut refléter un changement de la quantité d'énergie présente dans un organisme et suggère une diminution dans la conversion énergétique en tissus somatiques. Les organismes peuvent augmenter leur survie dans un environnement pollué par le développement d'une résistance avec une réponse évolutive aux polluants. Cependant, l'évolution de cette résistance s'accompagne généralement d'une forme physique coûteuse, telle que la réduction de la reproduction, la croissance (Wirgin & Waldman, 2004) ou une tolérance réduite à divers facteurs de stress (Meyer & De Giulio, 2003).

Le suivi mensuel des mesures biométriques montre une évolution similaire chez les femelles des trois populations provenant des trois sites. Le poids augmente progressivement au début de la période d'étude, pour atteindre une valeur maximale pendant les deux mois d'Avril et de Mai dans les trois sites d'étude. Cette augmentation est suivie d'une diminution du poids au début du mois de Juin. Cela correspond à la période de différenciation sexuelle. Un nombre d'auteurs ont observé que différentes espèces de bivalves exposées à la pollution environnementale peuvent avoir une croissance lente (Peteiro *et al.*, 2006). Elle peut également être associée à des épisodes de pollution chimique qui impliquent une perte de poids des tissus de organismes, liée à une mobilisation des réserves d'énergie pour leur détoxification (Modassir & Ansari, 2000). Bien que les trois populations présentent une évolution similaire, on constate que les valeurs enregistrées chez les femelles d'El-Kala (La Montagne) sont toujours élevées par rapport à celles des femelles des deux d'autres sites. Ceci est en accord avec plusieurs études réalisées sur *Nereis diversicolor* montrant que ces paramètres biométriques chez les vers provenant des sites contaminés n'ont jamais atteint une valeur supérieure que ceux du site sain. Ils ont également confirmé que les vers vivant dans des environnements perturbés ont un stade de prise de poids réduit (Durou *et al.*, 2007 ; Durou *et al.*, 2008 ; Gillet *et al.*, 2008 ; Mouneyrac *et al.*, 2009).

Comme le poids, la longueur des individus augmente progressivement au début de la période d'étude, atteignant une valeur maximale au cours des mois d'Avril et Mai dans tous les sites, suivie d'une diminution début Juin. Ces résultats s'alignent sur ceux des variations de poids mensuelles. Bien que les trois populations présentent une évolution similaire, on constate que les valeurs enregistrées chez les femelles d'El Kala (La Montagne) sont toujours élevées par rapport à celles enregistrées chez les femelles des deux sites Annaba (Saint Cloud) et Skikda (Bikini). Les individus recueillis à Skikda (site contaminé) sont plus petits que ceux de La côte d'El-Kala (site sain) et la différence entre les deux populations est très importante.



Dutrieux *et al.* (1989) indiquent que l'exposition aux polluants organiques d'un Nereidae, *Nereis*, entraîne une diminution de la taille moyenne en fonction du gradient de pollution.

Une étude sur l'effet de la résistance de *Nereis diversicolor* aux métaux a montré une diminution significative des facteurs de croissance par rapport à la population non résistante (Pook *et al.*, 2009) : chez *P. cultrifera* et les autres 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).

Si l'on compare avec les données de la littérature, les paramètres biométriques varient en fonction des populations géographiques. Cependant, dans l'Atlantique Côte française (Cazaux, 1965) les individus adultes ont un poids de 3 g. De même, dans le nord Mer (Scaps *et al.*, 1992), elle varie de 3 à 6,6 g, alors qu'en Tunisie (Zghal & Ben Amor, 1989), les spécimens ont un poids moyen de 0,24 g, et pour les populations d'El Jadida au Maroc, le poids des individus adultes varie entre 0,11 et 0,65 g (Rouhi *et al.*, 2008). Pour les populations d'Alexandrie en Egypte les spécimens ont un poids de 0,58 g (Hamdy *et al.*, 2020). Selon Durchon (1957), ce polymorphisme pourrait avoir deux origines : soit interne et liée à la génétique ou aux hormones, soit externe et dépendant des facteurs abiotiques (température, salinité, alimentation, etc.). Plusieurs auteurs ont précisé la variabilité de la structure en fonction du niveau bathymétrique. Scaps *et al.* (1992) ont révélé que les grands individus sexuellement différenciés sont dominants dans le fond de la zone avec l'algue *Fucus serratus* ; alors qu'au au sommet, ce sont les individus de petite taille qui dominent. La même observation a été faite par Miron & Desrosiers (1990) pour *Nereis virens*.

#### **4.4. Effets de la pollution sur la reproduction :**

##### **4.4.1. Étude de la maturité et de la Sex-ratio :**

Des individus sexuellement différenciés pour les trois populations des trois sites d'étude ont été observés chaque mois d'échantillonnage. Leur pourcentage a été le plus élevé pendant la période d'étude qui s'étale de Mars à Mai, indiquant que la majorité d'entre eux était sexuellement mature, et sur le point de se reproduire ; cependant, les individus sexuellement indifférenciés étaient très marqués de Juin à Juillet, où l'on constate également une nette diminution dans la population d'âge mûr au cours de ces deux mois, et c'est nécessairement le résultat de la mort des géniteurs. Nos résultats sont en accord avec les travaux sur *Perinereis cultrifera* présents en Algérie (Rouabah & Scaps, 2003, Rouabah *et al.*, 2008). Selon ces auteurs, l'augmentation de la proportion d'individus des deux sexes correspond à la période de la reproduction la plus intense, ainsi que la différenciation sexuelle des individus de la deuxième génération. Si elle s'accompagne d'une augmentation de la proportion d'individus immatures, elle reflète l'émergence d'une nouvelle génération d'individus indifférenciés.

La sex-ratio déterminée pour les deux populations de *Perinereis cultrifera* révèle que les femelles sont plus nombreuses que les mâles. Ce résultat va dans le même sens que celui des Néréides (Mouneyrac *et al.*, 2012 ; Mettam *et al.*, 1982 ; Durou *et al.*, 2008 ; Mouneyrac *et al.*, 2009 ; El-Barhoumi *et al.*, 2013; Hamdy *et al.*, 2020), probablement en raison du fait qu'il

est très difficile d'identifier les plaques spermatiques (Rouabah & Scaps, 2003 ; Rouabah *et al.*, 2008) ; Toutefois, nos résultats contredisent ceux de Prevedelli & Simonini (2003), qui a rapporté que le sex-ratio dans une population de *P. cultrifera* prise dans une tranche (lagune de Venise) est en équilibre.

#### 4.4.2. Étude biométrique de la croissance ovocytaire :

L'étude biométrique de la croissance des ovocytes de trois populations de *Perinereis cultrifera* a montré que les ovocytes ont une croissance asynchrone, et que la reproduction est plus intense de Mars à Mai ; cependant, les ovocytes mettent 9 à 12 mois pour arriver à maturité et leur diamètre à maturité est d'environ 200  $\mu\text{m}$  ; contrairement à ce qui est communément admis, nous avons trouvé des diamètres différents dans les mêmes ovocytes ; de plus, chez des espèces apparentées telles que *Platynereis dumerilii* (Fischer & Dorresteijn, 2004) et *Nereis virens* (Hoeger *et al.*, 1999), la croissance des ovocytes est synchrone. Nos résultats confirment les observations précédentes sur le mode de reproduction de *P. cultrifera* sur la côte est de l'Algérie (Daas *et al.*, 2011), qui a constaté que les individus attribués à *Perinereis cultrifera* se reproduisent exclusivement par épitoquie. Ces résultats sont en désaccord avec ceux rapportés dans la baie d'Alger (Rouabah *et al.*, 2008) indiquant que la reproduction est de type atoque. Le mode de reproduction de *Perinereis cultrifera* a été examiné dans d'autres sites de la mer Méditerranée par d'autres auteurs. La reproduction serait de type épitoque à Salammbô près de Tunis (Zghal & Ben Amor, 1989) et dans la lagune de Venise (Ansaloni *et al.*, 1986), alors qu'il est de type atoque dans la région de Marseille (Perès & Rancurel, 1948). Des individus matures ont été trouvés en Mai à Salammbô (Zghal & Ben Amor, 1989) et en Mars dans la lagune de Venise (Ansaloni *et al.*, 1986).

Nos résultats sont en accord avec ceux de Rouabah & Scaps (2003) qui a déterminé le cycle ovogénétique de *P. cultrifera* échantillonné à Saint-Cloud (Annaba). Ils ont confirmé que la croissance des ovocytes s'étend sur une période de 16 mois, et que la reproduction a lieu fin Avril début Mai. La même étude a mis en évidence deux groupes de femelles qui sont présents lors de l'ovogenèse, l'un d'eux étant porteur d'un diamètre ovocytaire important, et l'autre un diamètre plus faible. Cette dernière observation a été confirmée par Rouabah *et al.* (2008) sur deux populations, de Pointe Pescade et Figuier (baie d'Alger). Ils ont également démontré que la maturité des ovocytes prend place après 9 à 12 mois à compter du recrutement des ovogonies.

*Perinereis cultrifera* est une espèce semelpare, la reproduction entraîne la mort des individus après la libération des gamètes. On note cependant qu'au mois de juin il y a encore un groupe de femelles portant un grand diamètre, qui diminue au cours du mois de Juillet, ce qui ne laisse pas supposer qu'il y a une nouvelle cohorte de femelles en cours d'ovogenèse. Cette remarque a été observée par Golding & Yuwono (1994) dans *N. diversicolor* qui suggère qu'ils sont des individus qui ne parviennent pas à se reproduire, dans lesquels la ponte a été bloquée. Cela s'explique par la présence d'une deuxième ponte, ces résultats sont en accord avec ceux de Rouabah *et al.* (2008) qui a démontré que la reproduction chez *P. cultrifera* à partir de la baie d'Alger se déroule tout au long de l'année, mais elle est plus intense à partir du mois de Mars jusqu'à Mai. Chez *Nereis virens*, l'ovogenèse se déroule dans presque un an

et demi, en trois phases : une première phase d'une croissance lente, une phase intermédiaire pendant laquelle la taille des ovocytes est multipliée par six environ, et une dernière phase au cours de laquelle les ovocytes atteindront leur stade final de développement (Hoeger *et al.*, 1999) ; de même, selon Zribi *et al.* (2007), l'ovogénèse se produit de la même manière chez la plupart des Néréides ; chez *P. macropus*, trois catégories d'ovocytes ont été classés selon leur taille, celle de la prévitellogénèse, celle de la vitellogénèse, au cours de laquelle les ovocytes ont une taille nettement plus importante ; et qu'au stade final de maturité où les ovocytes atteignent leur diamètre maximal. Il convient de noter que le diamètre de l'ovocyte enregistré chez les femmes des deux sites Annaba (Saint-Cloud) et Skikda (bikini) était significativement inférieur à celui enregistré chez les femelles d'El-Kala, cela se traduit par le stockage de réserves pendant le processus d'ovogénèse qui semble inférieur dans cette population, alors qu'en Juin et juillet, le résultat est probablement dû à l'apparition de femelles de la nouvelle génération en cours d'ovogénèse. Nos résultats ne sont pas en accord avec celles de Hamdy *et al.* (2020) qui ont montré que l'activité gonadique était maximale pendant la période estivale chez *P. cultrifera* dans la région d'Alexandrie en Egypte. En outre, les observations sur la phase benthique du cycle de vie de *P. cultrifera* ont été transportées dans la Manche et sur la côte atlantique de France. La reproduction dans la Manche (Herpin, 1925) et le bassin d'Arcachon (Cazaux, 1965) est d'un type épitoque et les individus de *P. cultrifera* ont une durée de vie de 3 ans. Dans la région d'Arcachon la saison de reproduction est courte et la ponte a lieu de la fin avril à début juin (Cazaux, 1965). *Perinereis cultrifera* est largement répandu le long de la méditerranéenne et fréquemment utilisé dans les études du milieu marin (Scaps *et al.*, 2000 ; Guemouda *et al.*, 2014). Dans la Manche, des observations spécifiques faites par (Herpin, 1925) indiquent que la reproduction a lieu de Mai à Juin et parfois en Juillet. Cependant, nous avons également trouvé une proportion relativement élevée de femelles contenant des ovocytes de Mars à Avril ; on peut donc envisager que la période de reproduction s'étend de janvier au mois d'avril. Par conséquent, la période de ponte peut changer d'année ou de site car la gamétogénèse et la libération de gamètes pourraient être influencées par température, comme chez un certain nombre de polychètes (Olive 1997 ; Gibbs, 1968 ; Giangrande & Petraroli, 1991 ; Predevelli, 1994 ; Olive, 1995).

#### **4.4.3. Évaluation des fréquences de taille ovocytaire :**

La ponction cœlomique chez les femelles de *Perinereis cultrifera* avait un aspect hétérogène et présentait des différents diamètres d'ovocytes. En raison de l'ovogénèse asynchrone des femelles de *Perinereis cultrifera*, nous avons effectué une étude biométrique de la croissance des ovocytes en période de reproduction. Le diamètre des ovocytes présents dans la cavité cœlomique a été utilisé comme indicateur des étapes de maturation. Chez *Perinereis cultrifera*, ces éléments germinatifs avaient un large éventail de dimensions, de sorte que sept groupes d'ovocytes ont été identifiés à l'aide d'une taille d'intervalle de classe de 50  $\mu\text{m}$ . Les ovocytes ayant complété la vitellogénèse mesuraient 300-350  $\mu\text{m}$ . Les femelles avec de petits ovocytes (diamètre inférieur à 50  $\mu\text{m}$ ) étaient présentes tout au long de l'année. Ainsi, nous pouvons considérer que la période de reproduction s'étend de Mars à Mai. Nos résultats sont en accord avec les travaux de El-Barhoumi *et al.*, (2013) chez *Marphysa sanguinea*.

#### 4.4.4. Étude de l'indice de maturité sexuelle :

Chez les néréides, au cours de l'ovogenèse, les ovocytes flottent librement dans le liquide cœlomique des vers femelles. La mesure du diamètre des ovocytes nous a permis de déterminer le stade de maturité sexuelle. La présente étude a révélé des variations mensuelles de l'indice de maturité sexuelle chez les femelles de *Perinereis cultrifera* provenant des trois sites, ses variations étaient bornées entre 1,5 et 4. Ces variations sont dues à la présence de vers à différents stades de maturité sexuelle. Au premier stade, les cellules germinales sont absentes dans la cavité cœlomique. Au deuxième stade, les cellules germinales sont liées par des ponts cytoplasmiques et la méiose n'est pas initiée. Lorsque la méiose est initiée, certains ovocytes primaires apparaissent dans le liquide cœlomique mais la grappe oogoniale est toujours présente. Au troisième stade le diamètre minimum des ovocytes varie de 15 à 20  $\mu\text{m}$ . Ensuite, les ovocytes initient une phase de la croissance (vitellogenèse) absorbant ainsi les ressources par le fluide cœlomique où les ovocytes sont de taille très hétérogène (entre 65 et 190  $\mu\text{m}$ ). Au quatrième et dernier stade, les ovocytes entrent dans un processus de maturation et atteignent un diamètre maximal (égal ou supérieur à 250  $\mu\text{m}$ ) conduisant à des gamètes matures et facilement prêtes à être engendré. Nos données sont proches de celles de Durou & Mouneyrac (2007), obtenues chez *Nereis diversicolor* où l'indice de maturité sexuelle était plus élevé en période de reproduction et variable selon le gradient de pollution.

#### 4.4.5. Étude de l'épitoquie :

Les modifications morphologiques caractéristiques de l'état épitoque commencent à se manifester chez les femelles de *Perinereis cultrifera* dès le mois de Février pour le site d'El-Kala. En avril, 75 % des individus femelles à El-Kala sont épitoques. Les femelles sont de couleur vert bouteille et présentent dans le liquide cœlomique des ovocytes libres de diamètre important. Au mois de mai, 60% des femelles de *Perinereis cultrifera* du site d'El-Kala sont épitoques. La présence d'une forte proportion d'individus épitoques femelles à grand diamètre ovocytaire lors de la récolte d'Avril et leur faible abondance a été enregistrée lors de la récolte du mois de Mai qui indiquent que la période de reproduction se situe fin Avril début Mai. La reproduction de ce polychète est sous le contrôle des facteurs externes interagissant par le biais de facteurs neuroendocriniens (Cassier *et al.*, 1997). L'épitoquie est sous le contrôle de facteurs neuroendocriniens (Durchon & Joly, 1978) par l'intermédiaire du ganglion cérébral et des cellules neurocécrites. La nereidine (hormone cérébrale) inhibe les gamétogénèses mâle et femelle et les transformations somatiques de l'épitoquie. Cela se traduit par une alternance entre deux types d'épitoquie : une épitoquie médiane et une épitoquie médiane et postérieure.

Nos résultats sont en accord avec les travaux de Younsi (2014).

#### 4.5. Analyse de l'activité enzymatique de la Phosphatase acide :

Les glycoprotéines, qui apparaissent souvent sous forme d'enzymes ou de molécules de signalisation, jouent un rôle crucial dans la transduction du signal de divers processus métaboliques, par conséquent ces derniers sont reconnues comme des biomarqueurs (Li X *et al.*, 2018) dont la phosphatase acide qui joue un rôle important dans de nombreux processus biologiques (Sun *et al.*, 2018) La phosphatase acide (ACPase) est l'une des phosphatases qui catalysent l'hydrolyse des phosphomonoesters, libérant ainsi du

phosphate avec le pH optimal acide, largement répandu dans les microorganismes, les plantes et les animaux (Guimarães *et al.*, 2003). La large distribution d'APCase dans la nature, d'organismes procaryotes à eucaryotes, implique son rôle fondamental dans la vie. En plus de son implication dans le métabolisme du phosphate, des études approfondies chez l'animal (en particulier chez l'homme), les plantes et les bactéries ont révélé que l'ACPase participe à la régulation métabolique, à la conversion d'énergie et à la transduction du signal. (Siddiqua *et al.*, 2008) Le rôle biologique de l'ACPase n'est pas encore clair chez les insectes, il a été démontré qu'il était associé à de nombreux processus biologiques, tel que l'embryogenèse impliquée dans la maturation des sphères vitellines et la déphosphorylation et la dégradation de la vitelline, métamorphose agissant dans la réabsorption et le remodelage des tissus larvaires, modulation de la phosphorylation des protéines de l'hémolymphe et mobilisation des réserves stockées au cours de la métamorphose pour la production d'énergie (Ribolla *et al.*, 2001; Fialho *et al.*, 2002; Ferraro *et al.*, 2004; Silva-Zacarin *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2008; Poiani & da CruzLandim, 2012) Chez les Annélides Polychètes notamment chez l'espèce *Perinereis Cultrifera*, l'enzyme paraît localisée essentiellement dans les saccules de l'appareil de Golgi et dans les vacuoles. Les vacuoles à contenu hydrolytique étant plus nombreuses et de taille plus importante (0,8 à 1,2µm) que chez les témoins. Ultérieurement, les saccules golgiens restent riches en phosphatase acide. L'activité la plus intense est toutefois observée au niveau des citernes de réticulum, souvent en relation avec les lysosomes. Ces lamelles de réticulum paraissent impliquées dans les processus de séquestration cytoplasmique à l'origine des vacuoles autophagiques. Dans ces organites, la concentration en phosphatase est cependant généralement plus diffuse et d'intensité plus restreinte que dans les citernes de réticulum (Dakhama *et al.*, 1885). Le suivi mensuel du taux de la phosphatase acide montre, une augmentation considérable de la quantité de la phosphatase chez les femelles de *P. Cultrifera* durant le mois d'Avril, et ce chez les individus épitoque ; cependant, chez les femelles non épitoque, la phosphatase acide est de faibles teneurs ce qui confirme les résultats de l'analyse histologique de l'épithélium intestinal.

#### **4.6. Évaluation du taux de vitellogénines et de vitellines :**

La vitellogénine (précurseur du constituant majeur des réserves des ovocytes) est sécrétée par les éléocytes et absorbée par les ovocytes au cours de la vitellogénèse (Bonnier & Baert, 1992). Ce processus d'absorption est une endocytose médiée par un récepteur (Rees & olive, 1999). Dans les ovocytes, un processus de conversion, impliquant notamment des clivages protéiques, transforme le précurseur (la vitellogénine incorporée) en vitelline (Baert, 1986 ; Baert & Slomianny, 1987 ; Porchet *et al.*, 1989 ; Rees & Olive, 1999 ; Andries, 2001). Chez l'espèce *P. cultrifera*, la vitelline se produit au cours de la deuxième étape de l'ovogénèse « la corticogénèse » qui suit l'étape de la vitellogénèse. En outre, les résultats des études métaboliques *in vitro* montrent une augmentation progressive du taux de sécrétion de vitellogénines (le précurseur) nouvellement synthétisées par les coelomocytes (éléocytes) qui produisent cette protéine jusqu'à la fin de la croissance des ovocytes. Ainsi, contrairement aux résultats des précédentes études cytologiques et auto-radiographiques, les données actuelles indiquent clairement que le processus de vitellogénèse est actif non seulement pendant la phase de vitellogénèse, mais aussi tout au long de la corticogénèse (Baert & Slomianny,



1987). La vitellogénine synthétisée est incorporée dans les ovocytes après le transfert par le biais du fluide cœlomique. Dans les cellules germinales, un processus de conversion, impliquant des clivages protéolytiques de la vitellogénine, produit des vitellines matures qui sont accumulées dans les granules vitellins (Maurice *et al.*, 2011). Le fait que l'ovocyte soit capable d'assumer de façon autonome ses synthèses vitellines a souvent été considéré comme un caractère primitif (Anderson, 1973 ; Bilinski, 1976 ; Gremigni, 1979). Parmi les Annélides Polychètes, les Néréidiens ont longtemps semblé répondre à ce critère. Chez les vers marins, les résultats obtenus par autoradiographie ont en effet montré que l'ovocyte est capable de synthétiser un matériel protéique à destination des globules vitellins (Dhainaut, 1970 ; Bertout & Dhainaut, 1971 ; Dhainaut & Porchet 1977). Le suivi mensuel du taux de vitellogénines et de vitellines montre, une augmentation considérable de la quantité de vitellogénines et de vitellines chez les femelles de *P. cultrifera* durant le mois d'Avril. Une différence très hautement significative a été enregistrée concernant le taux de vitellogénines et une différence très hautement significative pour les vitellines entre le site de référence (El-Kala) et les sites pollués (Annaba et Skikda). Nos résultats sont en accord avec les travaux de Baert, 1986 et Maurice *et al.*, (2011). L'ovogenèse est asynchrone où les ovocytes baignant dans le liquide cœlomique se trouvent à des stades différents de vitellogenèse. Les résultats montrent un ralentissement du passage des constituants vitellins vers les ovocytes des femelles provenant du site d'Annaba et celui de Skikda, ceci pourrait s'expliquer soit par une perturbation de synthèse de l'hormone cérébrale (Durchon & porchet., 1971) soit par l'imperméabilité de la membrane vitelline bloquant la diffusion des matériaux vitellins sans même un dysfonctionnement des éléocytes qui se sont concentrés beaucoup plus sur les réponses immunitaires par rapport au stress environnemental.

#### **4.7. Étude du taux de protéines corporelles :**

Les réserves énergétiques constituent un précieux outil de diagnostic pour évaluer la qualité de santé des écosystèmes aquatiques et sont très intéressantes dans l'étude de la réponse d'un organisme soumis à un stress puisque la synthèse, la mobilisation et l'utilisation de défenses antitoxiques ont un coût énergétique pour l'organisme (Yeung *et al.*, 2017).

Chez les Annélides Polychètes, quand la nourriture prise excède la demande énergétique requise pour accomplir les processus physiologiques de l'animal, une formation d'éléments de stock s'ensuit, sous forme de protéines (Ware, 2000 ; Durou & Mouneyeac, 2007), pour être utilisée plus tard pour survivre à la carence alimentaire, répondre aux exigences de maintenance, croissance, reproduction et dans les mécanismes de défense contre les facteurs de stress (Durou *et al.*, 2007). Les protéines peuvent être une source importante d'énergie, bien qu'ils ne sont pas synthétisés et stockés dans ce but (Le Gal *et al.*, 1997).

Les protéines sont impliquées dans l'architecture des cellules et intensivement dans la formation des gamètes, en particulier au cours de l'ovogenèse chez les femelles, jouant également un rôle important dans la réparation et la protection des



organismes contre les dommages environnementaux (Maharajan *et al.*, 2012). En effet, la production et l'expression des protéines reflètent les réponses physiologiques aux conditions environnementales changeantes ou stressantes (Pedrosa *et al.*, 2017). Dans des conditions de stress, les protéines fournissent de l'énergie dans les voies métaboliques et les réactions biochimiques pour contrer cette agression (do Nascimento, 2016).

Les concentrations en protéines corporelles ont été plus faibles chez les individus récoltés au niveau d'Annaba et Skikda par rapport au site d'El-Kala. Ces différences peuvent être traduites comme étant une réaction aux polluants déversés à Annaba et Skikda. Cet appauvrissement en énergie a été aussi indiqué par Durou *et al.*, (2005, 2007) chez les vers *Nereis diversicolor* en corrélation avec les taux des contaminants présents ; de même Mouneyrac *et al.*, (2006, 2009) ont confirmé l'épuisement des protéines suivant le degré de la pression anthropique. L'évolution des taux de protéines révèle des différences qui varient avec la période d'activité sexuelle surtout en période de reproduction (Mars, Avril et Mai) où l'on constate un pic avec un taux plus élevé chez les femelles provenant d'El-Kala, cependant une diminution importante des taux de protéines est constatée une fois la reproduction achevée. Nos résultats sont comparables à ceux des travaux antérieurs effectués à l'Est Algérien sur *Perinereis cultrifera* et *Nereis falsa* ou seule la période de reproduction diffère (Daas *et al.*, 2011 ; Younsi, 2014). L'étroite relation entre les taux de protéines et le cycle reproductif est due au fait que ces derniers interviennent dans la formation des gamètes (Ansell *et al.*, 1980) et sont également utilisés comme source d'énergie en particulier pendant la gamétogénèse (Barber & Blace, 1981). Rouabah-Sadaoui & Marcel (1995) ont montré que la teneur en protéines totales augmente progressivement pendant la maturation de clitellum chez *Eisenia fetida*.

Il existe des variations notables dans les proportions des protéines corporelles pour la même espèce provenant de localités différentes. Ces fluctuations sont dues aux capacités nutritives plus ou moins grandes des eaux. La qualité de nourriture disponible intervient également (Pérez-Camacho *et al.*, 1995 ; Fernández-Reiriz *et al.*, 1998 ; Albentosa *et al.*, 1999). Il ne faut pas ignorer que la disponibilité alimentaire pourrait aussi influencer sur le niveau des réserves d'énergie, il est bien établi que le principal facteur qui influence la composition en acides gras chez les organismes marins est le régime alimentaire (Luis & Passos, 1995), qui chez les Nereidae semble adapté à la disponibilité et la qualité des aliments, la présence de prédateurs, la hauteur de la marée et la saison (Masson *et al.*, 1995).

#### **4.8. Effets de la pollution sur les biomarqueurs de stress :**

Certains paramètres environnementaux sont capables d'induire la production de ROS chez les organismes aquatiques. Les augmentations de température affectent tout particulièrement les organismes ectothermiques, puisqu'en stimulant les processus métaboliques, la consommation d'oxygène va augmenter, parallèlement à la production de ROS. La génération d'oxyradicaux est courante, et pourrait être augmentée en cas d'hypoxie ou d'hyperoxie, de recouvrement post-anoxique, dans les environnements sulfidiques et en cas d'ingestion de toxiques (Livingstone *et al.*, 1992). Les métaux peuvent aussi affecter les organismes en interférant

avec les cycles oxydoréducteurs, entraînant la production de ROS (Marasinghe Wadige *et al.*, 2014).

Du fait de leur réactivité, les ROS peuvent interagir avec les composants cellulaires et extracellulaires, tels que l'ADN, les protéines et les lipides, provoquant peroxydation lipidique, dommages à l'ADN, inactivation d'enzymes, dégradation des protéines et parfois perturbation de la synthèse de l'ATP et au final, la mort cellulaire (Livingstone *et al.*, 1992). Ils peuvent parfois avoir des effets bénéfiques, en attaquant les pathogènes et protégeant ainsi les organismes des infections (Lushchak, 2011). Le métabolisme des ROS est donc sous contrôle très fin, grâce à l'action de molécules antioxydantes, et leurs concentrations dépassent rarement  $10^{-8}$  M (Halliwell & Gutteridge, 1989). Lorsque la balance entre la production de ROS et leur élimination est perturbée, la concentration en ROS augmente, le statut oxydoréducteur est perturbé et des dommages cellulaires apparaissent. C'est ce qu'on appelle le stress oxydant (ou stress oxydatif ; Lushchak, 2011), qui peut apparaître chez toutes les formes de vie aérobie (van der Oost *et al.*, 2005).

Les enzymes de biotransformation jouent un rôle dans l'homéostasie, la détoxification et l'excrétion des xénobiotiques (Faria *et al.*, 2009 ; Habig *et al.*, 1974). Le cytochrome P450 1A appartient à la grande famille des oxygénases à fonction mixte. Son activité (activité EROD, éthoxyrésorufine-O-dééthylase) permet de biotransformer les polluants hydrophobes en composés hydrosolubles, préservant ainsi l'intégrité cellulaire. Cette enzyme est peu exprimée en temps normal, mais fortement inductible en présence de polluants. Elle participe à la phase I de biotransformation des xénobiotiques (Roméo & Giambérini, 2008) et présente une faible spécificité de substrat puisqu'elle est inductible par de nombreux polluants organiques (PCB, HAP, dioxines, DDT, pesticides ; Lagadic *et al.*, 1994 ; Vasseur & Cossu-Leguille, 2003). D'autres molécules que les oxygénases peuvent aussi intervenir dans ces réactions de phase I (époxydes hydrolases, estérases, amidases). Dans cette optique les glutathion S-transférases (GST) sont des enzymes cytosoliques de phase II qui catalysent la conjugaison des composés toxiques, ayant généralement subi les réactions de phase I, avec un groupement -SH (issu le plus souvent du glutathion). L'ajout de ce groupement va neutraliser les sites électrophiles des xénobiotiques, les rendant plus hydrosolubles et donc plus facilement excrétables (Contardo-Jara *et al.*, 2009 ; Faria *et al.*, 2009 ; Habig *et al.*, 1974).

D'autres enzymes peuvent également intervenir lors de cette phase II, en conjuguant d'autres groupements endogènes (dérivés de glucides, acides aminés, sulfate) sur les molécules étrangères. Les uridinediphospho glucuronosyltransférases (UDP GT) sont les plus importantes et conjuguent de l'acide glucuronique sur le xénobiotique pour aboutir à un composé polaire ; les sulfotransférases (SULT) conjuguent des groupements sulfates (Newman, 2015f).

Ce système peut parfois être à l'origine de la production de métabolites encore plus réactifs, voire mutagènes, que la molécule mère ; il devient délicat de parler de détoxification dans ce cas. Les activités de biotransformation chez les invertébrés et leur induction sont faibles

comparé à celles observées chez les vertébrés. L'activité de la GST est toutefois très utilisée comme biomarqueur de pollution organique (Cajaraville *et al.*, 2000 ; Robillard *et al.*, 2003). Chez les bivalves, les GST sont généralement considérées comme des biomarqueurs d'exposition sensibles à de nombreux contaminants ; cependant, les réponses observées peuvent varier en fonction des espèces ou des tissus cibles (Faria *et al.*, 2009). L'activité des GST peut aussi être augmentée en cas de stress oxydant, car elles contribuent à la biotransformation des peroxydes lipidiques. L'activité des GST peut donc être induite directement ou indirectement par la présence d'un composé toxique (Contardo-Jara *et al.*, 2014).

Nos résultats montrent que les plus faibles valeurs de l'activité enzymatique de la GST ont été signalés durant l'Hiver au niveau des trois sites tandis que les valeurs les plus élevées de la GST ont été enregistrées durant le Printemps. D'après la littérature il existe une corrélation positive entre les niveaux de l'activité enzymatique de la GST et la concentration des polluants dans le milieu (Van der Oost *et al.*, 2003 ; Roméo & Giambérini, 2013), de même, entre la concentration et le temps d'exposition aux différents polluants et l'induction du stress oxydatif (Amirad & Amirad-Triquet, 2013). L'activité GST des femelles originaires de Skikda et d'Annaba a été significativement plus importante que celle des femelles provenant d'El-Kala pendant toute la période d'étude ce site est considéré comme moins pollué.

Dans une récente étude visant à traiter l'effet du changement climatique sur un écosystème benthique, une induction de la GST a été signalée chez *Hediste diversicolor*, ces résultats ne sont pas seulement importants en termes purement écotoxicologiques mais montrent également que cette espèce de polychète, essentielle sur le plan écologique et économique, est particulièrement vulnérables et sensibles aux changements climatiques (Bhuiyan *et al.*, 2021).

Les recherches sur d'autres modèles aquatiques tel que les mollusques bivalves ont rapporté l'induction de certains biomarqueurs comme la GST était beaucoup moins significative après la ponte par rapport à la période d'avant la ponte. Ces observations peuvent être dues à une réduction importante du fardeau corporel de la pollution lors de la ponte. Une perte des contaminants dans les tissus ou les organes a été rapportée dans la période d'après le frai chez les bivalves. La ponte a servi de mécanisme important pour l'élimination des polluants pour les organismes aquatiques pendant le processus de reproduction, mûrs (Amira *et al.*, 2011; Bensouda & Soltani-Mazouni, 2014; Xiu *et al.*, 2016).

D'après Cajaraville *et al* (2000), la glutathion -S-transférase est l'enzyme dont l'activité est la plus utilisée comme biomarqueur de substances organiques et ont été mises en évidence dans la plupart des êtres vivants tels que la levure (Haga *et al.*, 2001 ; Gros *et al.*, 2013), les mollusques (Beldi, 2007 ; Sifi *et al.*, 2007 ; Bensouda & Soltani-Mazouni, 2014; Xiu *et al.*, 2016 ; Merad, 2017), les vers (Bouraoui *et al.*, 2009 ; Domingues *et al.*, 2010 ; Daas *et al.*, 2011 ; Díaz-Jaramillo *et al.*, 2011 ; Díaz-Jaramillo *et al.*, 2013 ; Ghuemouda *et al.*, 2014 ; Díaz-Jaramillo *et al.*, 2015 ; Meghlaoui *et al.*, 2015 ; Snani *et al.*, 2015 ; Gasmi, 2018), les crustacés (Hotard *et al.*, 2008 ; Benradia *et al.*, 2016 ; Berghiche *et al.*, 2018), les insectes

(Loucif-Ayad *et al.*, 2008 ; Shi *et al.*, 2012 ; Barre *et al.*, 2016 ; Rouibi *et al.*, 2016), les poissons (Chouahda *et al.*, 2017 ; Falcão *et al.*, 2019 ; Cheghib *et al.*, 2020) et les mammifères (Saka *et al.*, 2011).

Nos résultats sont en accord avec ceux des travaux antérieurs sur les populations Algériennes de *Perinereis cultrifera* confirmant une induction de l'activité enzymatique de la GST chez les vers en provenance des sites pollués (Daas *et al.*, 2011 b ; Guemmouda *et al.*, 2014 ; Guemmouda, 2015 ; Meghlaoui, 2015 ; Meghlaoui *et al.*, 2015 ; Snani *et al.*, 2015 ; Snani, 2016 ; Gasmi, 2018) ; mais également avec les travaux effectués sur la famille des Nereididae utilisées comme biomarqueur de pollution témoignant un état de stress, en relation avec le niveau de contamination du milieu (Geracitano *et al.*, 2002 ; Geracitano *et al.*, 2004 ; Ventura-Lima *et al.*, 2011 ; Díaz-Jaramillo *et al.*, 2010 ; Díaz-Jaramillo *et al.*, 2011 ; Díaz-Jaramillo *et al.*, 2013 ).

## **4.9. Dosage des métaux lourds :**

### **4.9.1. Dosage des métaux lourds dans les sédiments :**

La contamination métallique des écosystèmes aquatiques a attiré l'attention des chercheurs d'horizons très différents. Elle constitue, en effet, l'un des aspects de la pollution le plus menaçant pour ces milieux. Par ses effets toxiques, elle est capable d'engendrer des situations critiques voire dangereuses. Les métaux traces sont présents dans tous les compartiments de l'environnement des écosystèmes marins, à la fois parce qu'ils sont naturellement présents et parce que les activités anthropogéniques favorisent leur mobilité et leur dispersion dans la nature. Les métaux traces présentent un danger potentiel pour les consommateurs des produits marins, du fait de leur comportement de bioaccumulation dans les espèces marines, la difficulté de leur élimination et de leur large répartition dans les milieux aquatiques, sont sujets par conséquent à un effet cumulatif dans les divers compartiments de l'écosystème marin (eau, sédiment, faune et flore), (Guendouzi, 2020).

D'après Belhaouari *et al* (2011), l'eau de mer ne peut être considérée comme un des moyens de détermination du degré de pollution du milieu marin en raison de la solubilité des ETM, par ailleurs pour évaluer l'impact de la pollution sur la santé du Littoral Est d'Algérie nous avons concentré nos études sur les compartiments (Organisme et Sédiment) où 05 éléments métalliques ont été analysés à savoir (Cu, Zn, Cr, Pb et Cd). Les sites d'études ont été choisis en fonction de l'activité humaine et industrielle, la présence du complexe El-Hadjar à Annaba (Belabed *et al.*, 2013 ; Boutabia-Trea *et al.*, 2017) et du port pétrolier à Skikda, montre que ces industries pourraient être responsables de l'augmentation des teneurs en métaux en mer. Le site d'El Kala est peu influencé par les apports anthropiques, étant donné la faible urbanisation de la région. De plus, il y a une absence notable d'industries et par conséquent, peu ou pas de pollution industrielle atmosphérique ou continentale (Ounissi & Khelifi-Touhami, 1999).

Les sédiments sont un puits important pour les métaux et autres polluants (Belhadj *et al.*, 2017 ; Carricavur *et al.*, 2018) ; ils ont été décrits comme une source non ponctuelle de métaux et de métaux liés aux sédiments qui peuvent être rejetés dans les eaux sus-jacentes et avoir des effets néfastes sur les organismes aquatiques (Geng *et al.*, 2015). La détermination des concentrations des métaux traces dans les sédiments marins côtiers superficiels est d'une grande importance du fait que ce compartiment abiotique a la capacité de séquestrer ces éléments (Amiard-Triquet *et al.*, 1999) ; il a également la capacité d'interagir avec d'autres compartiments biotiques et abiotiques de l'écosystème marin (Geffard, 2001 ; Benoit, 2005).

L'analyse des métaux lourds (Cu, Zn, Cr, Pb et Cd) dans les sédiments n'a été effectuée que sur une seule saison (Printemps 2016) ; les données obtenues donnent des informations sur le niveau de pollution dans au niveau du Littoral Est d'Algérie et viennent compléter les rapports précédents et montrent qu'Annaba et Skikda restent fortement contaminées par les métaux (Abdenmour *et al.*, 2000, 2004 ; Beldi *et al.*, 2006 ; Gueddah, 2003 ; Larba & Soltani, 2014 ; Merad *et al.*, 2017 ; Kehal *et al.*, 2004 ; Zeghdoudi *et al.*, 2018 ; Gasmi, 2018 ; Amira *et al.*, 2018).

Les résultats obtenus montrent des valeurs en métaux plus élevées au niveau d'Annaba et Skikda. L'indice de géoaccumulation et l'indice de contamination ont été largement employés pour distinguer les apports anthropiques des sources naturelles, ainsi que l'estimation de l'intensité de la contamination anthropique (Nga *et al.*, 2016 ; Rumisha *et al.*, 2012 ; Awadh *et al.*, 2015 ; Wu *et al.*, 2016).

Le calcul de l'indice de géoaccumulation et l'indice de contamination de chaque élément dosé dans le sédiment prélevé à partir des trois sites d'étude a montré la présence d'une contamination par le Chrome, le Plomb et le Cadmium. Pour le plomb nous notons une forte contamination au niveau des sites d'Annaba et Skikda ; le sédiment d'El-Kala présente également une contamination.

Concernant le cadmium le sédiment échantillonné au niveau des trois sites montre une importante contamination. Le Cu et le Zn n'ont pas présenté une contamination au niveau des trois sites d'études En revanche une contamination modérée au niveau de Skikda a été révélée pour le Cr. De façon générale les résultats de dosage des métaux dans les sédiments suivent plus au moins le gradient habituel, le Zinc est le métal le plus abondant suivi du, Pb, du Cr et du Cd au niveau des trois sites d'études.

A travers les deux indices utilisés, on a conclu que les sédiments des site d'Annaba et Skikda sont plus impactés par les métaux traces étudiés. En revanche, les sédiments provenant du site d'El-Kala, sont les moins contaminés par l'ensemble des métaux traces examinés durant la période d'étude.

En comparant nos résultats avec les travaux très récents de Guendouzi (2019) effectués au niveau du sédiment des différentes régions du Littoral Algérien (Oran, Alger et Collo) nous constatant que nos valeurs en Zn sont pratiquement identiques tandis que les valeurs du Cu, du Cr, du Pb et du Cd sont plus élevées.

#### 4.9.2. Dosage des métaux lourds dans l'organisme :

Les résultats du dosage des métaux lourds dans le corps de *Perinereis cultrifera* montrent que les teneurs les plus faibles sont celles enregistrées au niveau d'El-Kala et les teneurs les plus élevées sont retrouvées au niveau d'Annaba et Skikda. Les teneurs enregistrées dans l'organisme sont inférieures à celles retrouvées dans le sédiment. Nos résultats pour le (Cu, Zn et Cr) sont en accord avec les résultats obtenus par Bouzahouane *et al.* (2018) au niveau du golf d'Annaba et du Littoral d'El-Kala. Guendouzi *et al.* (2020) a montré que la bioaccumulation en Zn atteignait les niveaux les plus élevés dans les tissus par rapport à ceux en Cu, Pb, et Cd. Toutes les espèces indicatrices, qu'elles soient benthiques ou pélagiques, présentent des concentrations variables suivant les individus et les sites de prélèvement (Boutiba *et al.*, 2003 ; Rouane-Hacene 2012).

Les invertébrés, en particulier les Annélides polychètes jouent un rôle essentiel en tant qu'espèces de bioturbation influençant grandement les flux de matière organique, de nutriments et de contaminants dans les sédiments et à travers les l'interface sédiments-eau (Dale *et al.*, 2019 ; Fonseca *et al.*, 2018 ; Gomes *et al.*, 2019 ; Bhuiyan K.A *et al.*, 2021). Plusieurs espèces de polychètes ont signalé une forte accumulation de métaux lourds dans leurs tissus (Berthet *et al.*, 2003 ; Nejmeddine *et al.*, 1988 ; Demuynck & Dhainaut-Courtois, 1994 ; Geffard *et al.*, 2005 ; Gomes *et al.*, 2013 ; Sandrini *et al.*, 2008 ; Freitas *et al.*, 2012 ; Bhuiyan K.A *et al.*, 2021).

Le cadmium avec le plomb sont au premier rang de la liste des substances dangereuses prioritaires (ATSDR, 2015). Par ailleurs la capacité des polychètes à accumuler le Cd dépend de la concentration du métal dans le milieu environnant (Gomes *et al.*, 2013). Il a été démontré que certaines espèces accumulent le Cd à la fois à partir des formes dissoutes et particulaires des sédiments et de l'eau (Zhou *et al.*, 2003 ; Geffard *et al.*, 2005).

Nos résultats pour le Cd et le Zn sont proche avec ceux signalés par Guendouzi (2019), Boudjellal *et al.* (1998) au Lac Mellah (El-Kala) ; Taleb & Boutiba (2007) au Port d'Oran ; Belabed *et al.* (2013) dans la moule *Perna perna* dans le Golf d'Annaba ; et par Rouane-Hacene *et al.* (2015) dans le littoral d'Oran et de Mostaganem. Par contre, ces teneurs en Cd sont faibles par rapport à celles mesurées dans les moules implantés dans le bassin algérien (Andral *et al.*, 2011 ; Benedicto *et al.*, 2011), et par rapport aux résultats de Benzaoui *et al.* (2015) dans le littoral oranais. Nos résultats pour le Cr sont plus élevés par rapport à ceux signalés par Belabed *et al.* (2013) et Guendouzi (2019). Concernant le Cu, nos résultats sont faibles par rapport à ceux signalés par Belabed *et al.* (2013) dans le Golf d'Annaba. En outre nos résultats pour le Pb sont plus élevées par rapport à ceux de Belabed *et al.* (2013) et Guendouzi (2019).

Le calcul du facteur d'accumulation Biota-Sédiment n'a pas montré une bioaccumulation chez les individus de *P. cultrifera* du fait que les valeurs enregistrées au niveau de l'organisme étaient inférieures à celles enregistrées au niveau des sédiments.



#### 4.10. Analyse histologique de l'épithélium intestinal :

Au moment de l'épitoquie l'évolution peut être appréciée par les modifications morphologiques des parapodes ainsi que le développement des lamelles et apparition des soies en palettes. En début d'épitoquie, des modifications initiales sont observées dans la zone apicale où les entérocytes et les microvillosités perdent leur structure régulièrement et acquièrent une structure irrégulière et leur nombre tend à se réduire. Les organites apicaux denses tendent à se désorganiser et leur nombre régresse considérablement. Dans le cytoplasme sous-jacent, on note une prolifération de rosettes de glycogène, le plus souvent réparties en plages d'étendue variée, mais parfois englobées à l'intérieur de systèmes membranaires (Dakhama *et al.*, 1985). Le début des processus de dégénérescence se traduit par une multiplication des vacuoles, des corps multivésiculaires et des lysosomes (Dakhama *et al.*, 1985). Dans la zone basale de la cellule, on note une tendance à la fusion des lobules lipidiques. A un stade plus avancé, la morphologie des dictyosomes se modifie. Les saccules golgiens présentent un aspect dilaté à leur extrémité. Leur contenu renferme un matériel dense de structure (Dakhama *et al.*, 1985).

A maturité complète, certaines cellules de l'épithélium sont affectées par une dégénérescence plus poussée. Ces cellules font hernie dans la lumière intestinale une fois avoir complètement perdu leurs microvillosités. Leur noyau est en picnose et leur cytoplasme est caractérisé à la fois par la présence de nombreuses vacuoles autophagiques et par une importante vacuolisation des citernes de réticulum. Des rejets de ces cellules dans la lumière intestinale ont été observés en microscopie photonique mais l'importance de ce processus semble toutefois limitée (Dakhama *et al.*, 1985).

Chez les Néréidiens, malgré l'absence de renouvellement cellulaire, un épithélium intestinal aminci et très fragile reste en place au moment de la reproduction. Sa rupture représentera chez les femelles une voie d'expulsion des ovocytes. Lors de l'épitoquie, la chute du taux de renouvellement cellulaire est corrélative des syndromes de dégénérescence de l'épithélium. Liées à la reproduction, les modifications intestinales de l'épitoquie apparaissent comme un exemple de dégénérescence cellulaire programmée (Dakhama *et al.*, 1985). Une relation entre l'action hormonale et dégénérescence cellulaire a été décrite dans plusieurs modèles biologiques. Les muscles constituent un bon exemple d'organes cibles sensibles à l'action de différentes hormones. Chez les Annélides Polychètes, des fibres présentent des processus de dégénérescence, leur fragmentation sera à l'origine des sarcolytes libérés dans la cavité coelomique et phagocytés par les éléocytes (Dhainaut, 1984). Au niveau de l'épithélium intestinal, l'induction de la dégénérescence de l'épithélium larvaire sous l'action de l'hormone thyroïdienne a clairement été démontrée chez les Amphibiens (Hourdry & Dauca, 1977). Chez les Insectes, à des degrés variés, l'ecdysone apparaît responsable de la mort cellulaire de l'épithélium larvaire (Radford & Misch, 1971 ; Andriès, 1979). La Nereis diffère des exemples précédemment cités car la dégénérescence survient lors de la chute d'une hormone stimulatrice et non lors de son apparition. Wyllie *et al.* (1980) signalent toutefois dans des conditions de chute d'hormone trophique (ACTH) ou hormones sexuelles de nombreux cas

d'apoptoses, mode de dégénérescence auquel se rattachent selon les auteurs, les processus de dégénérescence liés à la métamorphose. D'autre part, la dégénérescence intestinale chez les Annélides est définitive (sans mise en place d'un nouveau type d'épithélium). On peut penser qu'à ce moment le ver a accumulé suffisamment de réserves énergétiques. Dans le cadre de la stratégie de la reproduction, tous les remaniements morphogénétiques (muscles, yeux, soies) convergent alors vers une adaptation à la vie pélagique conditionnant la libération des gamètes par essaimage (Dakhama *et al.*, 1985).

#### **4.11. Analyse phylogénétique et phylogéographique:**

Une grande partie de la taxonomie actuelle des organismes marins est basée sur des informations phénotypiques et géographiques limitées. Cela peut avoir conduit à considérer de nombreuses espèces morphologiquement similaires, mais évolutives et phylogénétiquement distinctes, comme des morphospèces uniques réparties sur une grande échelle (Maltagliati *et al.*, 2001).

La situation se complique encore lorsque l'on pense que les aires de répartition des espèces sont artificiellement étendues à la suite de transferts effectués par l'homme. Parce que les études consacrées aux taxons à large répartition révèlent soit un complexe d'espèces morphologiquement similaires avec une distribution restreinte, soit des envahisseurs très efficaces (Bickford *et al.*, 2007 ; Nygren, 2014, Struck *et al.*, 2018 ; Pazoki *et al.*, 2020).

Dans ce contexte les mesures génétiques s'avèrent souvent très utiles lorsqu'on cherche à distinguer des populations entre elles (Rouabah & Rouabah, 2007). Des études portant sur les complexes d'espèces à l'aide de techniques moléculaires suggèrent que le nombre réel d'espèces d'annélides polychètes pourrait être beaucoup plus important (Chen *et al.*, 2002 ; Virgilio *et al.*, 2009 ; Glasby *et al.*, 2013)

De nombreux travaux ont montré l'existence de complexes d'espèces jumelles chez les Annélides polychètes appartenant au genre *Perinereis* (Bonyadi-Naeini *et al.*, 2017 ; Wehe & Fiege, 2002 ; Yousefi *et al.*, 2011 ; Maltagliati *et al.*, 2001 ; Scaps *et al.*, 2000 ; Muir & Bamber, 2008 ; Muir & Hossain, 2014 ; Park & Kim, 2017). En effet, Bonyadi-Naeini *et al.* (2017) ont signalé des spécimens appartenant au complexe d'espèces de *P. cultrifera* qui n'étaient pas en accord avec les autres membres de l'espèce. Par ailleurs de nombreuses espèces ont été enregistrées sous le nom de *Perinereis cultrifera* : *Perinereis obfuscata*, *Perinereis helleri*, *Perinereis perspicillata*, *Perinereis floridana* et *Perinereis helleri*.

La première caractéristique qui ressort de notre étude est le niveau d'hétérogénéité entre les échantillons récoltés au niveau des différents sites d'études, comme le révèlent les analyses morphologiques et biochimiques. 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 des individus varient fortement.

En ce qui concerne les séquences ITS, nous avons pu réaliser des amplifications qui confirment bien nos résultats, car ces dernières ont déjà été séquencées chez d'autres espèces de du genre *Perinereis*, Parmi lesquelles les séquences ITS qui ont été déterminées chez : *P.*

*aibuhitensis*, *P. floridana*, *P. SP1* et *P. SP2* (Chen *et al.*, 2002). En ce qui concerne le marqueur génétique COI nous attendons les résultats du séquençage chez *Perinereis cultrifera*, *Perinereis floridana*, *Perinereis macropus* et *Nereis falsa*.

L'étude génétique des deux populations de *P. cultrifera* du littoral Algérien a montré que les ITS et COI sont les marqueurs génétiques spécifiques de ces espèces et l'étude phylogénétique avec le gène ITS révèle un mélange entre les espèces des deux populations du littoral Est Algérien. En effet, les individus des différents sites se répartissent dans les différents clades sans regroupement spécifique des individus par site de récolte. Cela laisse croire qu'il existe un déterminisme purement environnemental et non génétique.

# CONCLUSION

*« Je pense, donc je suis »*  
René Descartes

## 5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Notre étude consiste à échantillonner respectivement trois populations de *Perinereis cultrifera* sur le littoral Algérien en Méditerranée, collectées à partir de trois sites se trouvant sur la côte Est représentés par : la plage de Saint Cloud à Annaba et la plage Bikini à Skikda considérée comme site affecté par la pollution industrielle et urbaine et la plage La Montagne à El Kala étant épargnée par la pollution et considérée comme un site moins pollué.

Notre travail s'étale sur la période de Janvier à Décembre de l'année 2016. L'objectif de notre étude consiste à tester l'effet du stress environnemental sur le déroulement de la reproduction de *Perinereis cultrifera* ; Cinq approches ont été entretenues dans ce travail :

Une approche écologique visant :

L'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer, qui montre une évolution similaire pour la température, la salinité et le pH, contrairement à l'oxygène dissous, dont la variation de ces concentrations fait ressortir une variabilité très hautement significative entre les différents sites d'étude.

L'analyse du biotope permettant l'identification de la faune des macroinvertébrés, ainsi que la flore associée à notre matériel biologique nous a permis de recenser 29 espèces de macroinvertébrés au niveau d'El-Kala (la Montagne) durant la période d'étude contre 21 à 18 espèces au niveau (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda). Par conséquent en ce qui concerne la faune associée nous avons recensé 9 espèces d'algues au niveau d'El-Kala contre 3 espèces au niveau d'Annaba et Skikda.

En revanche, l'analyse des indices écologiques de Shannon-Weaver ( $H'$ ) et d'équitabilité ( $E$ ) qui reflète les niveaux de la biodiversité, semble moins riche et moins équitable au niveau des deux sites d'Annaba et Skikda par rapport au site d'El-Kala.

Une approche biologique consacrée à :

L'évaluation des effets de la pollution sur les paramètres biométriques à savoir la taille (longueur totale du corps) et le poids (poids frais) montrant une évolution similaire ; marquée par une augmentation progressive des valeurs atteignant des valeurs maximales durant la période de reproduction cependant la croissance est plus lente chez les femelles récoltées au niveau des sites pollués.

L'évaluation des paramètres liés à la maturité sexuelle et la reproduction, qui indiquent :

Un sexe ratio en faveur des femelles au niveau des trois sites d'étude.

Une évolution de la croissance ovocytaire similaire qui devient plus prononcée signalant des valeurs de plus en plus importantes en se rapprochant de la période de reproduction ; il est à noter que la croissance ovocytaire est de type asynchrone cependant les femelles d'El-Kala présentent des diamètres légèrement plus important que ceux d'Annaba et de Skikda.

Un indice de maturité sexuelle (SIM) et des fréquences de taille ovocytaire plus important chez les femelles d'El-Kala illustrant une fécondité prononcée par rapport aux femelles d'Annaba et de Skikda.

Une présence de nombreuses femelles épitoques durant la période de reproduction où deux types d'épitoque ont été distingués au niveau des trois sites d'étude ; une épitoque médiane et une épitoque médiane et postérieure.

Une activité enzymatique de la phosphatase acide chez les femelles non épitoques présentant des valeurs faibles durant la période de reproduction dans tous les sites comparativement aux femelles épitoques. Pour ces dernières, des pics ont été enregistrés durant le mois d'Avril pour chaque site avec une valeur maximum chez les femelles provenant d'El-Kala.

Une approche biochimique où :

L'évaluation du taux de vitellogénines et de vitellines a marqué une diminution considérable de leurs quantités chez les femelles de *P. cultrifera* prélevées à partir des deux sites de Skikda et Annaba due à la présence des polluants dans le milieu.

L'évolution du taux de protéines corporelles est similaire chez les femelles provenant des trois sites d'étude cependant les femelles d'El-Kala présentent un taux plus élevé comparativement aux femelles d'Annaba et Skikda.

L'évaluation de l'activité enzymatique de la Glutathion S-transférase (GST) dans le corps entier des femelles *Perinereis cultrifera* a marqué une induction de cette enzyme chez les individus en provenance des deux sites d'Annaba et Skikda, en relation avec le processus de détoxification, témoignant ainsi un état de stress par la présence des polluants de nature multiple dans ce milieu.

Le dosage des métaux lourds (Cu, Zn, Cr, Pb, Cd) dans les sédiments a permis d'enregistrer des teneurs non négligeables, où il a été constaté que les sites d'Annaba et Skikda sont les plus contaminés par les éléments métalliques étudiés où une différence très significative a été enregistrée pour le Cu et le Cd ainsi qu'une différence très hautement significative enregistrée pour le Zn et le Cr ; par ailleurs les indices de géoaccumulation et de contamination ont révélé la présence d'une contamination par le Chrome, le plomb et le cadmium. Le dosage des métaux dans les organismes de l'espèce étudiée, indique que les teneurs en métaux dans le tissu sont inférieures à celles des sédiments et écartant une bioconcentration métallique par les éléments étudiés. Cependant, une différence très hautement significative a été signalée pour le Zn et le Cr.



L'approche histologique démontre que lors de la reproduction, le tube digestif présente une dégénérescence de l'épithélium intestinal qui s'accompagne d'un arrêt de l'alimentation confirmant le déroulement d'une épitoquie.

L'étude génétique des deux populations de *P. cultrifera* du littoral Algérien montre l'importance des marqueurs génétiques ITS et COI spécifiques dans la mesure des variations intra et inter spécifique. L'étude phylogénétique effectuée sur les individus de *P. cultrifera* recoltés au niveau des sites d'étude avec le marqueur génétique ITS a révélé l'existence d'un déterminisme environnemental.

A l'avenir Il serait intéressant de mener des recherches supplémentaires approfondies sur :

- D'étendre les sites d'étude de l'Est à l'Ouest (Jijel et Bejaia...).
- L'ultrastructure des ovocytes.
- L'utilisation d'une approche « multi marqueurs » en milieu marin, afin de mieux cerner les réponses biologiques à des contaminations chimiques.
- L'impact de la pollution sur l'immunité de *Perinereis cultrifera* et des polluants sur l'expression génique de la métallothionéine.
- D'approfondir l'étude par l'endocrinologie (dosage hormonale) en fonction de la saison de reproduction.

# RÉSUMÉS

*« Même si la vie semble difficile, il y a toujours quelque chose que vous pouvez faire et réussir »*

**Stephen Hawking**

## 6. RÉSUMÉS :

### 6.1. RÉSUMÉ :

L'exploitation des Annélides Polychètes et leur intérêt dans les études écotoxicologiques font actuellement l'objet d'un grand nombre de travaux de recherche à l'Est de l'Algérie et plus précisément au niveau des sites d'études : El Kala, Annaba et Skikda.

Cette étude a pour but d'évaluer l'état de santé du littoral Est Algérien, au niveau de trois sites d'étude El-Kala, Annaba et Skikda et ce, par l'évaluation de l'impact d'une éventuelle pollution sur la reproduction d'une espèce considérée comme bioindicatrice et bioaccumulatrice, *Perinereis cultrifera* (Annélides, Polychètes), durant une période qui s'étale de Janvier à Décembre 2016. Cinq approches ont été entretenues dans ce travail :

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 signalée pour l'oxygène dissout.

L'analyse du biotope nous a permis d'identifier 29 espèces de macroinvertébrés associées à notre matériel biologique au niveau d'El-Kala (la Montagne) durant la période d'étude contre 21 à 18 espèces au niveau (Saint-Cloud) (Annaba) et Bikini (Skikda). En ce qui concerne la faune associée nous avons recensé 9 espèces d'algues au niveau d'El-Kala contre 3 espèces au niveau d'Annaba et Skikda. Par ailleurs, l'analyse des indices écologiques met en évidence une biodiversité plus stable et plus équitable au niveau du site d'El-Kala comparativement aux deux autres sites contaminés.

L'étude biologique a révélé un effet de la pollution sur la croissance des femelles *Perinereis cultrifera*.

L'évaluation des paramètres liés à la maturité sexuelle et 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. Par ailleurs les résultats de l'étude de l'indice de maturité sexuelle et la distribution des fréquences de taille ovocytaire montrent que les femelles récoltées à El-Kala sont plus fécondes que celles récoltées à Annaba et Skikda. Le suivi de l'épitoquie montre que les femelles sont épitoques en période de reproduction alternant deux types d'épitoquie ; une épitoquie médiane et une épitoquie médiane et postérieure.

En outre l'activité enzymatique de la phosphatase acide chez les femelles non épitoques présentent des valeurs très faibles contrairement aux femelles épitoques où les valeurs sont plus importantes avec un pic enregistré au mois d'Avril.

L'évaluation du taux de réserves énergétiques (vitellogénines et de vitellines) ainsi que les protéines corporelles montre une diminution considérable de leurs quantités chez les femelles

de *P. cultrifera* prélevées à partir des deux sites de Skikda et Annaba due à la présence des polluants dans le milieu.

L'évaluation de l'activité enzymatique de la Glutathion S-transférase (GST) chez les femelles *Perinereis cultrifera* a marqué une induction de l'enzyme chez les individus en provenance des deux sites d'Annaba et Skikda, en relation avec le processus de détoxification, témoignant ainsi un état de stress par la présence des polluants de nature multiple dans ce milieu.

Le dosage des métaux lourds (Cu, Zn, Cr, Pb, Cd) dans les sédiments a permis d'enregistrer des teneurs non négligeables, où il a été constaté que les sites d'Annaba et Skikda sont les plus contaminés par les éléments métalliques. Le dosage des métaux dans les organismes de l'espèce étudiée, indique que les teneurs en métaux dans le tissu sont inférieures à celles des sédiments.

L'étude histologique du tube digestif démontre que lors de la reproduction ce dernier présente une dégénérescence de l'épithélium intestinal qui s'accompagne d'un arrêt de l'alimentation confirmant le déroulement d'une épitoquie.

L'étude génétique des deux populations de *P. cultrifera* du littoral Est algérien a montré que les ITS et COI sont les marqueurs génétiques spécifiques de ces espèces et l'étude phylogénétique avec le marqueur génétique ITS a révélé l'existence d'un déterminisme purement environnemental et non génétique entre les populations de *P. cultrifera* étudiées.

**Mots clés :** *Perinereis cultrifera*, Stress environnemental, ETM, reproduction, histologie.

## 6.2. ملخص :

يعتبر استغلال Annélides Polychète واهتمامها بدراسات السمية البيئية موضوع يشغل عدد كبير من الاعمال البحثية علي مستوي شرق الجزائر وبالتحديد في مواقع الدراسة التالية: القالة – سكيكدة وعنابة.

كما تهدف هذه الدراسة الي تقييم الحالة الصحية للساحل الجزائري الشرقي علي مستوي المواقع الثلاثة للدراسة والمتمثلة في القالة سكيكدة وعنابة . وهذا من خلال تقييم تأثير التلوث المحتمل علي تكاثر نوع يعتبر مؤشرا ومراكما بيولوجيا *Perinereis cultrifera* . خلال فترة تمتد من جانفي الي ديسمبر 2016 تم الحفاظ علي 5 مناهج في هذا العمل :

يظهر تحليل المعلمات الفيزيائية والكيميائية لمياه البحر تطورا مشابها لدرجة الحرارة والملوحة ودرجة الحموضة. بينما تم الابلاغ عن تباين كبير للأكسجين المذاب .

سمح لنا تحليل الاحياء بتحديد 29 نوعا من اللاقاريات الكبيرة المرتبطة بموادنا البيولوجية علي مستوي القالة (بحر الجبل) خلال فترة الدراسة مقابل 21 الي 18 نوعا في (سان كلاود) (عنابة) وبيكيني (سكيكدة) . وفيما يتعلق بالحيوانات المصاحبة فقد حددنا 9 انواع من الطحالب علي مستوي القالة مقابل 3 انواع علي مستوي عنابة و سكيكدة . بالإضافة فقد اظهر تحليل المؤشرات البيئية وجود تنوع بيولوجي اكثر استقرارا وإحصافا في موقع القالة مقارنة بالموقعين الآخرين الملوثين.

كشفت الدراسة البيولوجية عن تأثير التلوث على نمو أنثى *Perinereis cultrifera*.

يشير تقييم المعلمات المتعلقة بالنضج الجنسي والتكاثر إلى هيمنة الإناث في المواقع الثلاثة ولكن أيضا وجود بويضات غير متزمنة وأقطار مختلفة قليلاً لصالح موقع القالة. إضافة إلى نتائج دراسة مؤشر النضج الجنسي و توزيع الترددات كما يوضح حجم البويضة أن الإناث التي يتم حصادها في القالة هي الأكثر خصوبة من تلك التي تحصد في عنابة وسكيكدة. وتظهر مراقبة Epitoquie أن الإناث تكون فوقية خلال موسم التكاثر، بتناوب نوعين من Epitoquie ؛ نوبة متوسطة ونصيب متوسط وخلفي.

بالإضافة إلى ذلك ، فإن النشاط الأنزيمي للفوسفاتيز الحمضي في الإناث غير الملقة يظهر قيماً منخفضة جداً ، على عكس الإناث الملقة حيث تكون القيم أعلى مع ذروة سجلت في أفريل.

أظهر تقييم معدل احتياطي للطاقة (فيتيلوجينين و فيتيلينين) وكذلك بروتينات الجسم انخفاضاً ملحوظاً في كمياتها في إناث فطر *P. cultrifera* المأخوذة من موقعي سكيكدة وعنابة لوجود ملوثات في المنطقة.

أشار تقييم النشاط الأنزيمي للجلوتاثيون S-ترانسفيراز (GST) في الإناث *Perinereis cultrifera* إلى تحريض الإنزيم في الأفراد من موقعي عنابة وسكيكدة، فيما يتعلق بعملية إزالة السموم، مما يدل على حالة من التوتر من قبل وجود ملوثات ذات طبيعة متعددة في هذه البيئة.

إن تحديد المعادن الثقيلة (Cu ، Zn ، Cr ، Pb ، Cd) في الرواسب جعل من الممكن تسجيل مستويات عالية حيث تبين أن موقعي عنابة وسكيكدة هما الأكثر تلوثاً بالعناصر المعدنية. كما يشير تحديد المعادن في الكائنات الحية من الأنواع المدروسة إلى أن محتويات المعدن في الأنسجة أقل من تلك الموجودة في الرواسب.

تظهر الدراسة النسيجية للجهاز الهضمي أنه أثناء التكاثر يظهر الجهاز الهضمي مع تنكس في ظهارة الأمعاء مصحوباً بانقطاع في التغذية مما يؤكد مسار النوبة.

أظهرت الدراسة الجينية لمجموعتي *P. cultrifera* من الساحل الشرقي الجزائري ان ITS و COI هما العلاقات الجينية المحددة لهذه الانواع ، وكشفت دراسة علم الوراثة باستخدام جين ITS عن وجود حتمية بيئية بحتة وغير وراثية بين كائنات *P. cultrifera* المدروسة.

**الكلمات المفتاحية:** *Perinereis cultrifera* ، الاجهاد البيئي ، ETM ، التكاثر ، الانسجة .

### 6.3. ABSTRACT :

The exploitation of Polychete Annelids and their interest in ecotoxicological studies are currently the subject of a large number of research works in eastern Algeria and more specifically at the study sites: El Kala, Annaba and Skikda. This study going to to assess the state of health of the East Algerian coast, at the level of Three study sites El-Kala, Annaba and Skikda, by evaluating the impact of possible pollution on the reproduction of a species considered to be bioindicator and bioaccumulator , *Perinereis cultrifera* (Annelidae, Polychetes), during a period that spans from January to December 2016. Five approaches were used in this work:

Analysis of the physico-chemical parameters of seawater shows a similar development for temperature, salinity and pH, while significant variability has been reported for dissolved oxygen.

The biotope analysis allowed us to identify 29 species of macroinvertebrates associated with our biological material at El-Kala (the Mountain) during the study period against 21 to 18 species at (Saint-Cloud) (Annaba) and Bikini (Skikda). Regarding the associated fauna, we have identified 9 species at El-Kala against 3 species at Annaba and Skikda. Moreover, the analysis of ecological indices shows a more stable and more equitable biodiversity at the El-Kala site compared to the two other contaminated sites.

The evaluation of parameters related to sexual maturity and reproduction indicate a dominance of females at the three sites but also the presence of asynchronous ovocytes and slightly different diameters in favor of the El-Kala site. In addition, the results of the study of the index of sexual maturity and the distribution of frequencies of ovocyte size show that the females collected in El-Kala are more fertile than those collected in Annaba and Skikda. Monitoring epitoquy shows that females are epitochial during the reproductive period, alternating two types of epitoquy. A median epitoquy and a median and posterior epitoquy. In addition, the enzymatic activity of acid phosphatase in non-epitoccal females show very low values, unlike epitoccal females where the values are higher with a peak recorded in April.

The evaluation of the rate of energy reserves (vitellogenins and vitellins) as well as the body proteins shows a considerable decrease in their quantities in the females of *P. cultrifera* taken from the two sites of Skikda and Annaba due to the presence of pollutants in the middle. Evaluation of the enzymatic activity of Glutathione S-transferase (GST) in females *Perinereis cultrifera* indicated an induction of the enzyme in individuals from the two sites of Annaba and Skikda, in relation to the process of detoxification, thus testifying to a state of stress by the presence of pollutants of multiple nature in this environment.

The determination of heavy metals (Cu, Zn, Cr, Pb, Cd) in the sediments made it possible to record non-negligible contents, where it was found that the Annaba and Skikda sites are the most contaminated by metallic elements. The determination of metals in the organisms of the



species studied indicates that the metal contents in the tissue are lower than those in the sediments.

Histological study of the digestive tract shows that during reproduction the digestive tract presents with degeneration of the intestinal epithelium which is accompanied by an interruption of feeding confirming the course of an epitoquy.

The genetic study of the two populations of *P.cultrifera* from the eastern Algerian coast showed that ITS and COI are the specific genetic markers of these species and the phylogenetic study with the ITS gene revealed the existence of a purely environmental determinism. And non-genetic between the populations of *P.cultrifera* studied.

**Keywords:** *Perinereis cultrifera*, Environmental stress, ETM, reproduction, histology.

# RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

*« Si vous voulez un seul auteur, c'est du plagiat, plusieurs, c'est de la recherche. »*

**Wilson Mizner**

## 7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

**Abdenmour C, Khelili K, Boulakoud M.S. & Rainbow P.S., 2004.** Trace metals in marine, brackish and freshwater prawns (Crustacea, Decapoda) from northeast Algeria. *Hydrobiologia*, **432** (1): 217-227.

**Abdenmour C, Smith B.D., Boulakoud M.S., Samraoui B. & Rainbow P.S., 2000.** Trace metals in shrimps and sediments from Algerian water. *Journal of Materials and Environmental Science*, **3**: 9-12.

**Abrantes A. J. C., Pinto F. & Moreira M.H., 1999.** Ecology of the polychaete *Nereis diversicolor* in the Canal de Mira (Ria de Aveiro, Portugal): Population dynamics, production and oogenic cycle. *Acta Oecologica* **20**: 267-283.

**Adandedjan D., 2012.** Diversité et déterminisme des peuplements de macroinvertébrés benthiques de deux lagunes du Sud- Bénin : la Lagune de PortoNovo et la Lagune Côtière. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi-Bénin, 261 p.

**Ahamefula Nkwoji J., 2014.** Physiological Responses of some Benthic Macroinvertebrates to Environmental Hypoxia. *Journal of Environment and Human*, **1**: 9-14.

**Ahrens J.B., Borda E., Barroso R., Paiva P.C., Campbell A.M., Wolf A., Nuges M.M., Rouse G.W. & Schulze A., 2013.** The curious case of *Hermodice carunculata* (Annelida: Amphinomididae): evidence for genetic homogeneity throughout the Atlantic Ocean and adjacent basins. *Molecular Ecology*, **22**: 2280-229.

**Ait-Alla A., Mouneyrac C., Durou C., Moukrim A. & Pellerin J., 2006.** Tolerance and biomarkers as useful tools for assessing environmental quality in the Oued Souss estuary (Bay of Agadir, Morocco). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, **143** (1): 23-29.

**Al-Attrache H., 2016.** Etude de la toxicité idiosyncratique de médicaments sur cellules HepaRG et levure : influence du stress inflammatoire et de la biotransformation. Thèse de doctorat en Biologie et Sciences de la Santé. Université de Rennes I, 253p.

**Albentosa M., Fernández-Reiriz M. J., Perez-Camacho A. & Labarta U., 1999.** Growth performance and biochemical composition of *Ruditapes decussatus* (L.) spat fed on microalgal and wheatgerm flour diets. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **232** (1): 23-37.

**Allan I., Vrana B., Greenwood R., Mills G., Roig B. & Gonzalez C., 2006b.** A “toolbox” for biological and chemical monitoring requirements for the European Union’s Water Framework Directive. *Talanta*, **69**: 302-322.

**Almamoori A.M.J., Salman J.M., Hughes R., A. & AL-Saadi A.H., 2013.** Biochemical Changes In Two Species Of Molluscs As environmental Biomarkers Of Pollution In Hilla River, Iraq. *Intarnational Journal Of Science And Nature*, **4 (1)**: 40-43.

**Amiard J.C. & Amiard-Triquet C., 2008.** Les biomarqueurs dans l'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques. *Lavoisier Tec & Doc, Paris*.

**Amiard J.C., Amiard –Triquet C., Berthet B. & Metayer C., 1987.** Comparative study of the patterns of bioaccumulation of essential (Cu, Zn) and non essential (Cd, Pb) trace metals in various estuarine and coastal organisms. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **106**: 73- 89.

**Amiard J.C., Caquet T. & Lagadic L., 1998.** Introduction - Les biomarqueurs parmi les méthodes d'évaluation de la qualité de l'environnement, *in*: Lagadic L., Caquet T., Amiard J.-C., Ramade F. (Eds.), Utilisation de Biomarqueurs Pour La Surveillance de La Qualité de L'environnement. *Lavoisier, Paris*, 21-31p.

**Amiard-Triquet C. & Amiard J.C., 2013.** Introduction. In: Ecological biomarkers Indicators of toxicological effects. **Amiard-Triquet C., Amiard J.C. & Rainbow P.S.** *London: Taylor & Francis Group*, 1-14.

**Amiard-Triquet C., Burgeot T. & Claisse D., 1999.** La surveillance de la qualité du milieu marin: l'expérience du Réseau National d'Observation (RNO) et le développement de biomarqueurs. *Océanis*, **25**: 651-684.

**Amiard-Triquet C., Burgeot T. & Claisse D., 1999.** La surveillance de la qualité du milieu marin: l'expérience du Réseau National d'Observation (RNO) et le développement de biomarqueurs. *Océanis*, **25 (4)**: 651-684.

**Aminot A. & Kérouel R., 2004b.** Caractéristiques physicochimiques majeures. *In* : **Aminot A. & Kérouel R.** (Eds.) Hydrobiologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. *Edition Ifremer, Brest*, 41-37p.

**Amira A., Merad I., Almeida C.M.R., Guimarães L. & Soltani N., 2018.** Seasonal variation in biomarker responses of *Donax trunculus* from the Gulf of Annaba (Algeria): implication of metal accumulation in sediments. *Comptes Rendus Geoscience*, **4**: 173-179.

**Amira A., Sifi K. & Soltani N., 2011.** Measure of environmental stress biomarkers in *Donax trunculus* (Mollusca, Bivalvia) from the gulf of Annaba (Algeria). *European Journal of Experimental Biology*, **1 (2)**: 7-16.

**Amirad J., Amirad-Triquet, C., Barka S., Pellerin J. & Rainbow P., 2006.** Metallothioneins in aquatic invertebrates: Their role in metal detoxification and their use as biomarkers. *Aquatic Toxicology*, **76 (2)**: 160-202.

**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. 227p.

**Amri S., Samar M.F., Sellem F. & Ouali K., 2017b.** Seasonal antioxidant responses in the sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck 1816) used as a bioindicator of the environmental contamination in the South-East Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin*, **122**: 392-402.

**Anderson D.T., 1973.** Embryology and phylogeny in annelids and arthropods. *International series of monographs in pure and applied biology*, New York, Pergamon Press.

**Andral B., Galgani F., Tomasino C., Bouchoucha M., Blottiere C., Scarpato A., Benedicto J., Deudero S., Calvo M., Cento A., Benbrahim S., Boulahdid M. & Sammari C., 2011.** Chemical contamination baseline in the Western basin of the Mediterranean Sea based on transplanted mussels. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **61**: 261-271.

**Andreis J. C., 2001.** Endocrine and environmental control of reproduction in Polychaeta. *Canadian Journal of Zoology*, **79**: 254-270.

**Andriès J.C., 1979.** Induction expérimentale de la morphogenèse et de la dégénérescence mésentérique chez *Aeshna cyanea* (Insecte Odonate). *General and comparative Endocrinology*, **39**: 174-191.

**Ansaloni I., Pellizzato M., Predevelli D. & Zunarelli-Vandini R., 1986.** Policheti di interesse economico nella laguna di Venezia. *Nova Thalassia*, **8**: 641-642.

**Ansell A.D., Frenkiel L. & Mouëza M., 1980.** Seasonal changes in tissue weight and biochemical composition for the bivalve *Donax trunculus* L. on the Algerian Coast. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **45**: 105-116.

**Antit M., Bouhedi M., Chaibi M., Kalthoum D. & Azzouna A., 2018.** Première signalisation de *Trinchesia foliata* (Forbes & Goodsir, 1839) (Gastropoda : Nudibranchia) dans la baie de Tunis (Tunisie). *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salamm*, **45**: 9-10.

**Archaimbault V. & Dumont B., 2010.** L'indice biologique global normalisé (IBGN) : principes et évolution dans le cadre de la Directive Cadre européenne sur l'Eau. *Revue SET*.

**Armellin A., 2010.** Les communautés de macroinvertébrés benthiques : un indicateur de la qualité de l'eau au lac Saint-Pierre. 8p.

**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.

**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

**Augier H., 1973.** Les particularités de la mer Méditerranée : son origine, son cadre, ses eaux, sa flore, sa faune, ses peuplements, sa fragilité écologique. *In. La mer Méditerranée. Paris : CIHEAM (Options Méditerranéennes), 19: 27-53.*

**Avice J.C., 2000.** Phylogeography. The history and formation of species, (464 p), *Harvard University Press, Cambridge, MA, USA.*

**Awadh S.M., Al-Kilabi J.A. & Khaleefah N.H., 2015.** Comparison the geochemical background, threshold and anomaly with pollution indices in the assessment of soil pollution: Al-Hawija, North of Iraq Case Study. *International Journal of Science and Research, 4 (7): 2257-2363.*

**Ayari R. & Afli A., 2003.** Bionomie benthique du petit golfe de Tunis. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô, 30: 79-90.*

**Baert J. L., 1986.** Vitelline et Organisation de la vitellogenèse protéique chez *Perinereis cultrifera* (Annélide Polychète), Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres Artois, thèse de doctorat en sciences naturelles.

**Baert J.L. & Slomianny M.C., 1987.** Heterosynthetic origin of the major yolk protein, vitellin in a Nereid *Perinereis cultrifera* (Polychaete Annelid). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry, 88 (4): 1191-1199.*

**Bairi Y., Sifi K. & Soltani N., 2018.** Growth and Responses of Biomarkers in the Snail *Helix aspersa* (Mollusca, Gastropoda) Used as Bioindicator of Soil Pollution in Northeast of Algeria. *Advances in Science, Technology & Innovation, 339-341.*

**Bakalem A., 2008.** Contribution à l'étude des peuplements benthiques du plateau continental Algérien. Thèse de Doctorat d'Etat, Université des sciences et de la technologie, Houari Boumediene, faculté des sciences biologiques, Algérie, 677p.

**Bakalem A., Gillet P., Pezy J. P. & Dauvin J. C., 2020.** Inventory and the biogeographical affinities of Annelida Polychaeta in the Algerian coastline (Western Mediterranean). *Mediterranean Marine Science, 21 (1): 157-182.*

**Bakken T., & Wilson R. S., 2005.** Phylogeny of nereidids (Polychaeta, Nereididae) with paragnaths. *Zoologica Scripta, 34 (5): 507-547.*

**Bankaji., 2017.** Réponse des halophytes aux contraintes salines et métallique. Thèse de Doctorat, Université de Carthage, 297p.

**Banta G. T, Holmer M., Jensen M. H. & Kristense, E., 1999.** Effects of two polychate worms, *Nereis disversicolor* and *Arenicola marina*, on aerobic and anaerobic decomposition in a sandy marine sediment. *Aquatic Microbial Ecology., 19: 189-204.*

**Barange M., Field J.G., Harris R.P., Hofmann E.E., Perry R.I. & Werner F.E., 2010.** *Maine Ecosystems and Global changers. Oxford University Press, New York.*

**Barbault R. & Chevassus-au-Louis B., (eds.), 2004.** Biodiversity and Global Change, *Ministère des Affaires Etrangères, adpf, 237p.*



**Barber B. J. & Blake N. J., 1981.** Energy storage and utilization in relation to gametogenesis in *Argopecten irradians concentricus* (Say). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **52 (2-3)**: 121-134.

**Barbosa A.E., Fernandes J.N. & David L.M., 2012.** Key issues for sustainable urban stormwater management. *Water Research*, **46**: 6787-98.

**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.*

**Barnes R.D., 1980.** Invertebrate Zoology. *Saunders College, Philadelphia, PA, États-Unis.*

**Barnosky A.D., Matzke N., Tomiya S., Wogan G.O.U., Swartz B., Quental T.B., Marshall C., McGuire J.L., Lindsey E.L., Maguire K.C., Mersey B. & Ferrer E.A. 2011.** Has the Earth's sixth mass extinction already arrived ?. *Nature*, **471**: 51-57.

**Barre A., Velazquez E., Delplanque A., Caze-Subra S., Bienvenu F., Bienvenu J., Benoist H. & Rougé P., 2016.** Les allergènes croissants des insectes comestibles. *Revue Française d'Allergologie*, **56 (7-8)** : 522-532.

**Barron M.G., 2002. Bioaccumulation and Bioconcentration. Chapter 32. In: Hoffman D.J., Rattner B.A., Burton Jr., G.A., & Cairns Jr., J. (Eds.). (2002). Handbook of Ecotoxicology (2nd ed.). CRC Press.**

**Barroso R., Klautau M., Solé-Cava A.M. & Paiva P.C., 2010.** *Eurythoe complanata* (Polychaeta: Amphinomidae), the 'cosmopolitan' fireworm, consists of at least three cryptic species. *Marine Biology*, **157**: 69-80.

**Baskar V., Selvaraj D. & Ramalingam S., 2018.** Genome-wide analysis of purple acid phosphatase (PAP) family proteins in *Jatropha curcas* L. *International Journal of Biological Macromolecules*, **10904**: 1-29.

**Bates N.R., Best M.H.P., Neely K., Garley R., Dickson A.G. & Johnson R.J., 2012.** Detecting anthropogenic carbon dioxide uptake and ocean acidification in the North Atlantic Ocean. *Biogeosciences*, **9**: 2509-2522.

**Bauchot-Boutin M.L. & Bobin G., 1954.** Modifications hétéronéréidiennes des parapodes, des soies et des bulbes sétigères chez *Perinereis cultrifera* (Grübe) (Annélide Polychète). *Arch. Anat. Micr. Morphologie Experimental*, **43**: 137-162.

**Beart J. L. & Slomianny M. C., 2011.** Vitellin accumulation and vitellogenin synthesis in relation to oogenesis in *Perinereis cultrifera* (Polychaeta Annelida), 121-128p.

**Beauchamp J., 2003.** La pollution littorale. *Université de Picardie jules verne.*

**Beaumont N.J., Austen M.C., Mangi S.C. & Townsend M., 2008.** Economic valuation for the conservation of marine biodiversity. *Marine Pollution Bulletin*, **56 (3)**: 386-396.

**Belabed B.-E., Laffray X., Dhib A., Fertouna-Belakhal M., Turki S. & Aleya L., 2013.** Factors contributing to heavy metal accumulation in sediments and in the intertidal mussel *Perna perna* in the Gulf of Annaba (Algeria). *Marine Pollution Bulletin*, **74**: 477-489.

**Beldi H., 2007.** Etude de *Gambusia affinis* (Poisson, Téléostéen) et *Donax trunculus* (Mollusque, Pélécypode): écologie, physiologie et impacts de quelques altérageènes. Thèse de Doctorat d'état en Sciences de la Mer, option : Biologie et écologie marines, Université d'Annaba. 105 p.

**Beldi H., Gimbert F., Maas S., Scheffler R. & Soltani N., 2006.** Seasonal variations of Cd, Cu, Pb, and Zn in the edible mollusc *Donax trunculus* (Mollusca, Bivalvia) from gulf of Annaba, Algeria. *African Journal of Agricultural Research*, **1** (4): 85-90.

**Belfroid A.C., Sijm D.T.H.M. & Van-Gestel C.A.M., 1996.** Bioavailability and toxicokinetics of hydrophobic aromatic compounds in benthic and terrestrial invertebrates. *Environmental Reviews*, **4**: 276-299.

**Belhadj H., Aubert D. & Youcef N. D., 2017.** Geochemistry of major and trace elements in sediments of Ghazaouet Bay (western Algeria): an assessment of metal pollution. *Comptes Rendus Geoscience*, **349** (8): 412-421.

**Belhaouari B., Rouane-Hacene O., Bouhadiba S. & Boutiba Z., 2011.** Utilisation d'un Gasteropode marin *Osilinus turbinatus* en biosurveillance marine : application aux métaux lourds du littoral algérien Occidental. *J. Sci. Hal. Aquat*, **3**: 89-96.

**Ben Moussa A., Chahlaoui A., Rour E. & Chahboune M., 2014.** Diversité taxonomique et structure de la macrofaune benthique des eaux superficielles de l'oued khoumane. Moulay idriss Zerhoun, Maroc. *Journal of Materials and Environmental Science*, **5** (1): 183-198.

**Ben Mustapha K., Hattour A., Mhetli M., El Abed A. & Tritar B., 1999.** Etat de la biomie des étages infra et circalittoral du golfe de Gabès. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, Tunisia*, **26**: 5-48.

**Benedicto J., Andral B., Martínez-Gómez C., Guitart C., Deudero S., Cento A., Scarpato A., Caixach J., Benbrahim S., Chouba L., Boulahdid M. & Galgani F., 2011.** A large scale survey of trace metal levels in coastal waters of the Western Mediterranean basin using caged mussels (*Mytilus galloprovincialis*). *Journal of Environmental Monitoring*, **13**: 1495-1505.

**Benoit C., 2005.** Biogéochimie et enregistrement des composés organostanniques dans les sédiments du Bassin d'Arcachon, Thèse doctorat. Université de Bordeaux 1, France, 224p.

**Benradia H., 2016.** Impact d'un inhibiteur de la synthèse de la chitine, le novaluron, sur le développement et la croissance d'un crustacé: *Palaemon adspersus*. Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université d'Annaba, Algérie. 123 p.

**Bensouda L. & Soltani-Mazouni N., 2014.** Measure of oxidative stress and neurotoxicity biomarkers in *Donax trunculus* from the gulf of Annaba (Algeria): case of the year 2012. *Annual Research & Review in Biology*, **4**: 1902-1914.

- Benzaoui M.Y., Bentaallah M.E.A., Ben Naoum B.E., Kerfouf A. & Boutiba, Z., 2015.** Heavy metals (Hg, Cd, Pb) concentrations on *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) in Oran coastal waters (Western Algeria): new evidences. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, **5**: 1-9.
- Bergayou H., Mouneyrac C., Pellerin J. & Moukrim A., 2009.** Oxidative stress responses in bivalves (*Scrobicularia plana*, *Cerastoderma edule*) from the Oued Souss estuary (Morocco). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **72**: 765-769.
- Berghiche H., Touati K., Chouahda S. & Soltani N., 2018.** Impact of the Neonicotinoid Insecticide, Actara®, on the Shrimp *Palaemon adspersus*: Biomarkers Measurement. *Advances in Science, Technology & Innovation*, 533-534.
- Berthet B., Mouneyrac C., Amiard J.C., Amiard-Triquet C., Berthelot Y., Le Hen, A., Mastain, O., Rainbow, P. S. & Smith, B.D., 2003.** Accumulation and soluble binding of cadmium, copper, and zinc in the Polychaete *Hediste diversicolor* from coastal sites with different trace metal bioavailabilities. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **45**: 468-478.
- Bertout M. & Dhainaut A., 1971.** Etude cytochimique et autoradiographique de l'ovogenèse de *Nereis diversicolor* O.F. Muller (Annélide Polychète), dans les conditions naturelles et en l'absence d'hormone cérébrale. *General and Comparative Endocrinology*, **17**: 371-387.
- Bertout M., 1976.** Spermatogenèse de *Nereis diversicolor* Müller (Annélide Polychète). 1. Evolution du cytoplasme et élaboration de l'acrosome. *J. Microsc. Biol. cell.*, **25**: 88-93.
- Bhat S. A., Cui G., Li F. & Vig A. P., 2019.** Biomonitoring of genotoxicity of industrial wastes using plant bioassays. *Bioresource Technology Reports*, **6**: 207-216.
- 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.
- Bickford D., Lohman D.J., Sodhi N.S., Ng P.K.L., Meier R., Winker K., Ingram K.K. & Das, I., 2007.** Cryptic species as a window on diversity and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, **22**: 148-155.
- Bilinski S., 1976.** Ultrastructural studies on the vitellogenesis of *Tetradontophora bielensis* (Waga) (Collembola). *Cell and Tissue Research*, **168**: 399-410.
- Bilinski S., 1976.** Ultrastructural studies on the vitellogenesis of *Tetradontophora bielensis* (Waga) (Collembola). *Cell and Tissue Research*, **188**: 399-410.
- Blades Eckelbarger P.I. & Youngbluth M.J., 1984.** The ultrastructure of oogenesis and yolk formation in *Labidocera aestiva* (Copepoda: Calanoida): *Journal of Morphology*, **179**: 33-46.

**Blanchet H., Lavesque N., Ruellet T., Dauvin J.C., Sauriau P.G., Desroy N., Declaux C., Leconte M., Bachelet G., Janson A.I., Bessineton C., Duhamel S., Jourde J., Mayot S., Simon S. & De Montaudoin X., 2008.** Use of biotic indices in semi-enclosed coastal ecosystems and transitional waters habitats-implications for the implementation of the European Water Framework Directive. *Ecological Indicators*, **8**: 360-372.

**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(4)**: 533-589.

**Blondel J., Aronson J., Bodiou J.Y. & Bœuf G., 2010.** The Mediterranean Region. Biological diversity in space and time. *Édit. Oxford University Press, Oxford, seconde édition*, 376 p.

**Bocquené G. & Galgani F., 2004.** Les marqueurs biologiques des effets des polluants : l'acétylcholinestérase. France, Ifremer, 27p.

**Bocquené G., Chantereau S., Clérendeau C., Beausir E., Ménard D., Raffin B., Minier C., Burgeot T., Pfohl-Leskowicz A. & Narbonne J. F., 2004.** Biological effects of the « Erika » oil spill on the common mussel (*Mytilus edulis*). *Aquatic Living and Resources*, **17**: 309-316.

**Bonnier P. & Baert J.L., 1992.** Identification of cathepsin L-like proteinase and aminopeptidase in yolk granules of the sand worm, *Nereis diversicolor*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, **103 (2)**: 425-430.

**Borja A., Franco J. & Perez V., 2000.** A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft- Bottom Benthos within European Estuarine and Coastal Environments. *Marine Pollution Bulletin*, **40**: 1100-1114.

**Boudjellal B., Refes W., Eddalia N., Ounadi F., Benchikh S. & Azzouz M., 1998.** Etude de la variabilité des teneurs en métaux lourds chez la moule *Mytilus galloprovincialis* (Lmk) d'un milieu lagunaire : le Lac Mellah (El-kala / Algérie), CIESM. *Rapp. Comm. int. Mer. Médit*, 236-237.

**Boulajfene W., Strogyloudi E., Catsiki V.A., El Mlayah A. & Tlig-Zouari S., 2017.** Biomonitoring of metal impact on metallothioneins levels in the gastropod *Phorcus turbinatus* (Born, 1778) in the northeastern and the eastern coasts of Tunisia. *Marine. Pollution Bulletin*, **120**: 274-285.

**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 en Biologie Animale Environnementale, option : Physiotoxicologie. Université d'Annaba, 194p.

**Bouraoui Z., Banni M., Ghedira J., Jebali J., Clerendeau C., Narbonne J.F. & Boussetta H., 2009.** Evaluation of enzymatic biomarkers and lipoperoxidation level in *Hediste diversicolor* exposed to copper and benzo [a] pyrene. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **72**: 1893-1898.

**Bouraoui Z., Ghediraa J., & Boussettaa H., 2015.** Biomarkers responses in different body regions of the Polychaeta *Hediste diversicolor* (Nereidae, Polychaete) exposed to copper. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, **15** (3): 371-376.

**Bouroumi M.T., 2014.** Le littoral algérien entre dégradation et protection du patrimoine, cas de la commune côtière d'Ain el Türck. *Colloque francophone international cultures, territoires et développement durable*.

**Boutabia-Trea S., Habachi W. & Bensouilah M., 2017.** Assessment of metallic trace elements using the Seagrass *Posidonia oceanica* and the surface sediment from North Eastern of Algeria. *Asian Journal of Biological Sciences*, **10**: 17-26.

**Boutiba Z., Taleb Z. & Abi-Ayad S.M.E.A., 2003.** Etat de la pollution marine de la côte oranaise. *Dar El Gharb (Ed)*, Algérie, pp: 69.

**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. *Journal of Chemosphere*, **207**: 715-741.

**Bradford M.M., 1976.** A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, **72**: 248- 254.

**Bremner J., Rogers S. I. & Frid C. L. J., 2006.** Methods for describing ecological functioning of marine benthic assemblages using biological traits analysis (BTA). *Ecological Indicators*, **6** (3): 609-622.

**Bremond R. & Vuichard R., 1973.** Paramètres de qualité des eaux, Ministère de la protection de la nature et de l'environnement. *SPEPE, Paris*, 179p.

**Burrows M.T., Alexander L.V., Benthuisen J.A., Donat., M.G. Feng M., Hobday A.J., Holbrook N.J., Perkins-Kirkpatrick S.E., Scannell H.A., Gupta A.S., Payne B.L. & Moore P.J., 2019.** Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climat Change*, **9** (4): 306-312.

**Cajaraville M. P., Bebianno M. J., Blasco J., Porte C., Sarasquete C. & Viagengo A., 2000.** The use of biomarkers to assess the impact of pollution in coastal environment of the Iberian Peninsula: a practical approach. *Science of the Total Environment*, **247**: 201-12.

**Camacho A. P., Labarta U. & Beiras R., 1995.** Growth of mussels (*Mytilus edulis galloprovincialis*) on cultivation rafts: influence of seed source, cultivation site and phytoplankton availability. *Aquaculture*, **138** (1-4): 349-362.

**Camara A.I., Diomande D. & Gourene G., 2014.** Impact des eaux usées et de ruissèlement sur la biodiversité des macroinvertébrés de la rivière Banco (Parc National du Banco, Côte d'Ivoire). *Revue du CAMES*, **2**: 58-68.

- Carricavur A. D., Boudet L. C., Romero M. B., Polizzi P., Marcovecchio J. E. & Gerpe M., 2018.** Toxicological responses of *Laeonereis acuta* (Polychaeta, Nereididae) after acute, subchronic and chronic exposure to cadmium. *Ecotoxicology and environmental safety*, **149**: 217-224.
- Casas S., 2005.** Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen, These Doctorat. Université de Toulon., France, 301p.
- Cassier P., Laffont R., Descamps M., Porchet M., & Soyeux, D., 1997.** La reproduction des Invertébrés, *Masson*.
- 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.
- Cazaux C., 1965.** Evolution de *Perinereis cultrifera* (Grube) au cours d'un cycle annuel à Arcachon. *Procès-Verbaux de la Société Linnéenne de Bordeaux*, **101**: 1-18.
- Ceballos G., Ehrlich P.R., Barnosky, A.D., García A., Pringle, R.M. & Palmer T.M. (2015).** Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances*, **1**: 140-253.
- 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.
- Chaouti A. & Bayed A., 2011.** Structure et organisation trophique du peuplement Macrobenétique de la lagune méditerranéenne de Smir (Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, **33**: 1-12.
- 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.
- Cheghib Y., Chouahda S. & Soltani N., 2020.** Side-effects of a neonicotinoid insecticide (actara®) on a non-target larvivorous fish *Gambusia affinis*: Growth and biomarker responses. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, **46**: 167-172.
- Chen Z. & Mayer L.M., 1999.** Sedimentary metal bioavailability by the digestive constraints of marine deposit feeders: gut retention time and dissolved amino acids. *Marine Ecology Progress Series*, **176**: 139-151.
- Cherif-Feildel M., 2018.** Structure et fonctionnement de la niche germinale chez un Lophotrochozoaire, l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Thèse de Doctorant en Biologie des organismes et écosystèmes aquatiques. Université de Caen, 278p.



**Chetoui I., Denis F., Boussaid M., Telahigue K. & El Cafsi M., 2016.** Genetic diversity and phylogenetic analysis of two Tunisian bivalves (Mactridae) *Mactra corallina* (Linnaeus, 1758) and *Eastonia rugosa* (Helbling, 1799) based on COI gene sequences. *Comptes Rendus Biologies*, **339 (3-4)**:115-122.

**Chevallier L., 2009.** Nutrition : principes et conseils. 3e édition. Edition Masson.

**Chouahda S., Cheghib Y. & Soltani N., 2017.** Impact of a Neonicotinoid Insecticide Thiamethoxam on Metric Indexes and Enzymatic Activity of Glutathione S-Transferase in Adult Females of a Mosquitofish *Gambusia affinis*. *Advances in Science, Technology & Innovation*, 311-312.

**Chukwu L., 2011.** Ecophysiology of marine life: A science or management tool?. Inaugural lecture Series. *University of Lagos, Nigeria*, 62p.

**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.

**Çinar M.E. & Altun C., 2007.** A Preliminary Study on the Population Characteristics of the Lessepsian Species *Pseudonereis anomala* (Polychaeta: Nereididae) in Iskenderun Bay (Levantine Sea, Eastern Mediterranean). *Turkish Journal of Zoology*, **31**: 403-410.

**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.

**Clarck R.B. & Olive P.J.W., 1973.** Recent advances in polychaete endocrinology and reproductive biology, *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, **11**: 175-226.

**Clark R.B., 1961.** The origin and formation of the heteronereis. *Biot Rev*, **36**: 199-236.

**Clarke K.R. & Green R.H., 1988.** Statistical design and analysis for a 'biological effects' study. *Marine Ecology Progress Series*, **46**: 213-226.

**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.

**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., Froglia 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., Martin 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.

**Contardo-Jara V., Krueger A., Exner H.J. & Wiegand C., 2009.** Biotransformation and antioxidant enzymes of *Dreissena polymorpha* for detection of site impact in watercourses of Berlin. *Journal of Environmental Monitoring*, **11**: 1147-1156.

**Contardo-Jara V., Otterstein S.K.B., Downing S., Downing T.G. & Pflugmacher S., 2014.** Response of antioxidant and biotransformation systems of selected freshwater mussels (*Dreissena polymorpha*, *Anadonta cygnea*, *Unio tumidus*, and *Corbicula javanicus*) to the cyanobacterial neurotoxin  $\beta$ -N-methylamino-L-alanine. *Toxicological & Environmental Chemistry*, **96**: 451-465.

**Cooley S., Mathis J., Yates K., & Turley C., 2012.** Eds. Frequently Asked Questions about Ocean Acidification. *U.S. Ocean Carbon and Biogeochemistry Program and the UK Ocean Acidification Research Programme*.

**Cossu C., Doyotte A., Jacquin M.C., Vasseur P., 1997.** Biomarqueurs du stress oxydant chez les animaux aquatiques. In: **Lagadic L., Caquet T., Amiar, J.C. & Ramade F. (Eds.)**, Biomarqueurs en écotoxicologie: Aspects fondamentaux. *Masson, Paris*, 149-163p.

**Costanza R., d'Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B. & Van Den Belt M., 1998.** The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, **1 (25)**: 3-15.

**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.

**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 (11)**: 972-980.

**Cubells J.F., 2007.** Quelques pas... sur le littoral de Méditerranée. France. *guide naturaliste*. Albiana.

**Daas T., Hamdi L., Daas-maamcha O. & Scaps P., 2011b.** Biomarqueurs de pollution chez l'Annélide Polychète *Perinereis cultrifera* de la côte Est Algérienne. *Bulletin de la Société zoologique de France*, **136 (1-4)**: 117-130.

**Dadoune J.P., 2013.** Cellules souches et gamètes. *Médecine de La Reproduction*, **15**: 4-16.

**Dagnino A., Allen J.I., Moore M.N., Broeg K., Canesi L. & Viarengo A., 2007.** Development of an expert system for the integration of biomarker responses in mussels into an animal health index. *Biomarkers* **12**: 155-172.

**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 (3)** : 555-566.

**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.

**Dales R.P., 1961.** The coelomic and Peritoneal Cell Systems of some Sabellid Polychaetes. *Quarterly Journal of Microscopical Science*, **102**: 327-346.

**Dales R.P., 1964.** The coelomocytes of the terebellid polychaete *Amphitrite johnstoni*. *Quarterly Journal of Microscopical Science* **105**: 263-279.

**D'Alessandro M., Esposito V., Giacobbe S., Renzi M., Mangano M.C., Vivona P., Consoli P., Scott G., Andaloro F. & Romeo T., 2016.** Ecological assessment of a heavily human-stressed area in the Gulf of Milazzo, Central Mediterranean Sea: an integrated study of biological, physical and chemical indicators. *Marine Pollution Bulletin*, **106**: 260-273.

**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.

**Danovaroa R., Nepote E., Martire M.L., Ciotti C., De Grandis G., Corinaldesi C., Carugati L., Carlo Cerrano C., Pica D., Di Camillo C.G. & Dell'Anno A., 2018.** Limited impact of beach nourishment on macrofaunal recruitment / settlement in a site of community interest in coastal area of the Adriatic Sea (Mediterranean Sea). *Marine Pollution Bulletin*, **128**: 259-266.

**Dauvin J.C., 1993.** Le benthos : témoin des variations de l'environnement. *Océanis*, **19**: 25-53.

**Dauvin J.C., Grimes S. & Bakalem, A., 2013.** Marine biodiversity on the Algerian Continental Shelf (Mediterranean Sea), *Journal of Natural History*, 1-22.

**De Groot R.S., Wilson M.A. & Boumans R.M., 2002.** A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, **41** (3): 393-408.

**De Lafontaine Y., Gagnée F., Blaisea C., Costana G., Gagnona P. & Chan H.M., 2000.** Biomarkers in zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) for the assessment and monitoring of water quality of the St Lawrence River (Canada). *Aquatic Toxicology*, **50**: 51-71.

**Dean H.K., 2008.** The use of Polychaetes (Annelida) as indicator species of marine pollution: a review. *Revista De Biologia Tropical*, **56** (4): 11-38.

**Dehorne A., 1930.** La grande vacuole des éléocytes chez les Néréides, les néphroé léocytes. *Compt. Rend. Soc. Biol.*, **103**: 663-665.

**Demuynck S., & Dhainaut-Courtois, N., 1994.** Metal-protein binding patterns in the polychaete worm *Nereis diversicolor* during short-term acute cadmium stress. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, **108** (1): 59-64.

**Denis F., Ravallec R., Pavillon J.F. & Van Wormhoudt A., 2009.** Genetic differentiation of Atlantic populations of the intertidal copepod *Tigriopus brevicornis*. *Scientia Marina*, **73**: 579-587.

**Desbruyères D. & Toulmoud A., 1998.** new species of hesionid worm, *Hesiocaeca methanicola* sp. nov. (Polychaeta: Hesionidae), living in ice-like methane hydrates in the deep Gulf of Mexico, *Cahier de Biologie Marine*, **39**: 93-98.

**Dhainaut A., 1970a.** Contribution à l'étude de la gamétogenèse des Néréidiens dans les conditions naturelles et en l'absence d'hormone cérébrale. Thèse de Doctorat en Science Naturelles, Université de Lille, 293p.

**Dhainaut A., 1970b.** Etude cytochimique et ultrastructurale de l'évolution ovocytaire de *Nereis paeagica* L. (Annélide Polychète). 1' Ovogenèse naturelle, *Zeitschrift für Zellforschung und Mikroskopische Anatomie*, **96**: 375-389.

**Dhainaut A., 1984.** Aspects cytophysiologiques des coelomocytes de Néréidiens (Annélides Polychètes). *Archives d'Anatomie microscopique*, **73**: 133-150.

**Díaz-Jaramillo M., Ferreira J.L., Amado L.L., Ventura-Lima J., Martins A., Retamal M.R., Urrutia R., Bertran C., Barra R. & Monserrat J.M., 2010.** Biomonitoring of antioxidant and oxidative stress responses in *Perinereis gualpensis* (Polychaeta: Nereididae) in Chilean estuarine regions under different anthropogenic pressure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **73**: 515-523

**Díaz-Jaramillo M., Martins da Rocha A., Chiang G., Buchwalter D., Monserrat J.M. & Barra R., 2013.** Biochemical and behavioral responses in the estuarine polychaete *Perinereis gualpensis* (Nereididae) after in situ exposure to polluted sediments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **89**: 182-188.

**Díaz-Jaramillo M., Martins da Rocha A., Gomes V., Bianchini A., Monserrat José Maria K.S. & Barra R., 2011.** Multibiomarker approach at different organization levels in the estuarine *Perinereis gualpensis* (Polychaeta; Nereididae) under chronic and acute pollution conditions. *Science of the Total Environment*, **(410-411)**: 126-135.

**Díaz-Jaramillo M., Sandoval N., Barra R. Gillet P. & Val C., 2015.** Spatio-temporal population and reproductive responses in *Perinereis gualpensis* (Polychaeta: Nereididae) from estuaries under different anthropogenic influences. *Chemistry and Ecology*, **31 (4)**: 308-319.

**Diomande D., Kotchi Bony Y., Oi Edia Konan K.F. & Gourène G., 2009.** Diversité des Macroinvertébrés Benthiques de la Rivière Agnéby (Côte d'Ivoire ; Afrique de l'Ouest). *European Journal of Scientific Research*, **35 (3)**: 368-377.

**do Nascimento L.F., da Silveira L.C., Nisembaum L.G., Colquhoun A., Abe AS., Mandarim-de-Lacerda C.A. & de Souza, S.C., 2016.** Morphological and metabolic adjustments in the small intestine to energy demands of growth storage, and fasting in the first annual cycle of a hibernating lizard (*Tupinambis merianae*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative. Physiology*, **195**: 55-64.

- Domingues, I., Agra, A. R., Monaghan, K., Soares, A. M., & Nogueira, A. J., 2010.** Cholinesterase and glutathione-S-transferase activities in freshwater invertebrates as biomarkers to assess pesticide contamination. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **29** (1): 5-18.
- Dore J.E., Lukas R., Sadler D.W., Church M.J. & Karl D.M., 2009.** Physical and biogeochemical modulation of ocean acidification in the central North Pacific. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **106** (30): 12235-12240.
- Durchon M. & Lafon M., 1951.** Quelques données biochimiques sur les Annélides. *Ann. des Sc. Nat., Zool., 11ème série*, **23**: 427-452.
- Durchon M. & Porchet M., 1971.** Premières données quantitatives sur l'activité endocrine du cerveau des Néréidiens au cours de leur cycle sexuel. *General and Comparative Endocrinology*, **16**: 555- 565.
- Durchon M., 1952.** Recherches expérimentales sur deux aspects de la reproduction chez les Annélides Polychètes : l'épitoquie et la stolonisation. *Annales des sciences naturelles*, **14**: 119-206.
- Durchon M., 1955.** Sur le polymorphisme présenté par quelques Néréidiens (Annélides Polychètes) au moment de leur reproduction. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle De l'Afrique du Nord*, **46**: 180-193.
- Durchon M., 1957.** Problèmes posés par le comportement des néréidiens au moment de leur reproduction. *Année Biologique*, **33**: 31-42.
- Durchon M., 1967.** Rôle du système nerveux dans la régénération chez les Annélides. *Bulletin de la Société. Zoologique de France*, **92**: 319-331.
- Durchon M., Joly P., 1978.** L'endocrinologie des Invertébrés. *Presses universitaires de France*.
- 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.
- 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.
- 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.
- Dutrieux E., Martin F. & Guelorget O., 1989.** Oil pollution and Polychaeta in an estuarine mangrove community. *Oil and Chemical Pollution*, **5**: 239-262.

**Eckelbarger K.J., Young C.M. & Ramirez Llodra E., 2001.** Gametogenesis, spawning behavior, and early development in the 'iceworm' *Hesiocaeca methanicola* (Polychaeta: Hesionidae) from methane hydrates in the Gulf of Mexico, *Marine Biology*, **138**: 761-775.

EEA, 1999. European Environment Agency : state and pressures of the marine and coastal Mediterranean environment. Environmental issues series No : 5, Copenhagen, Denmark. In : **Mandalakis M., Polymenakou P.N., Tselepides A. & Lampadariou N., 2014.** Distribution of aliphatic hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorinated pollutants in deep sea sediments of the Southern Cretan margin, eastern Mediterranean sea : a baseline assessment. *Chemosphere*, **106**: 28-35.

**Einsporn S., Broeg K. & Koehler A., 2005.** The Elbe flood 2002-toxic effects of transported contaminants in flatfish and mussel of the Wadden Sea. *Marine Pollution Bulletin*. **50**: 423-429.

**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.

**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** (2): 248-259.

**Eriksen M., Lebreton L.C., Carson H.S., Thiel M., Moore C.J., Borerro J.C., Galgani F., Ryan P.G. & Reisser J., 2014.** Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PloS One*, **9** (12): 111-913.

**Fabre M. C., Descamps M. & Baert J.L., 1990.** Identification and partial characterization of vitellin and vitellogenin from *Scolopendra cingulata* Latreille (Myriapoda Chilopoda). *8th International Congress of Myriapodology. Ber. Nat-med. Verein. Innsbruck. Austria*. **10**: 117-121.

**Fabre M.C., Descamps M. & Baert J.L., 1990.** Identification and partial characterization of vitellin and vitellogenin from *Scolopendra cingulate* Latreille (Myriapoda Chilopoda). In: *8th international conference on myriapodology, Innsbruck, Austria. Ber. nat.-ined. Verein Innsbruck, pp.* 117- 121.

**Falcão B., Marques M. & Nunes, B., 2019.** Behavioral and biochemical effects of the antifouler and antidandruff zinc pyrithione on the freshwater fish *Gambusia holbrooki*. *Fish Physiology and Biochemistry*, **45**: 1495-1512.

**Faria M., Carrasco L., Diez S., Riva M.C., Bayona J.M. & Barata C., 2009.** Multi-biomarker responses in the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* exposed to polychlorobiphenyls and metals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, **149**: 281-288.

**Fauchald K. & Dellan G., 2009.** *Perinereis cultrifera* (Grube, 1840). In: **Fauchald K.** (Ed) (2009). World Polychaeta database. Accessed through: **Costello M.J., Douchet P., Dohalt G., Arvantidis C. & Appeltans W., 2009.** *European Register of Marine Species*.



**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.

**Faulwetter S., Simboura N., Katsiaras N., Chatzigeorgiou G. & Arvanitidis C., 2017.** Polychaetes of Greece: an updated and annotated checklist. *Biodiversity Data Journal*, **5**: e20997.

**Fauvel P., 1923.** Polychètes errants. In : Faune de France 4. *Lechevaliers, Paris*, 488p.

**Fauvel P., 1959.** Classe des Annélides Polychètes. Traité de Zoologie de P.P. Grassé. *Masson - Tome V – Fasc*, **1**: 13-196.

**Fernández-Reiriz M. J., Labarta U., Albentosa M. & Pérez-Camacho A., 1998.** Effect of microalgal diets and commercial wheatgerm flours on the lipid profile of *Ruditapes decussatus* spat. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, **119**(1): 369-377.

**Ferraro R.B., Sousa J.L., Cunha R.D. & Meyer-Fernandes J.R., 2004.** Characterization of an ecto-phosphatase activity in *malpighian tubules* of hematophagous bug *Rhodnius prolixus*. *Arch. Insect Biochem. Physiol*, **57**: 40-49.

**Ferreira A. & Dolder H., 2003.** Cytochemical study of spermiogenesis and mature spermatozoa in the lizard *Tropidurus itambere* (Reptilia, Squamata). *Acta Histochem.* **105**: 339-352.

**Fialho E., Silveira A.B., Masuda H. & Silva-Neto M.A., 2002.** Oocyte fertilization triggers acid phosphatase activity during *Rhodnius prolixus* embryogenesis. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, **32**: 871-880.

**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.

**Folmer O., Black M., Lutz R. & Vrijenhoek R., 1994.** DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from metazoan invertebrates, *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, **3**: 294-299.

**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.

**Fontaine F., 1982.** Les lipides coelomiques chez *Perinereis cultrifera* Grube. Les relations métaboliques entre le liquide coelomique, les coelomocytes et les ovocytes chez les Annélides Polychètes: Etude comparative avec autres Invertébrés. Thèse de doctorat. Université de Lille 1, 958p.

**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.

**Frances Zubillaga, G., & Saiz Salinas, J. I., 1997.** Life cycle of *Nereis diversicolor* O. F. Müller (Annelida, Polychaeta) in two estuaries in Northern Spain with different pollution loads. *Publicaciones Especiales-Instituto Espanol de Oceanografia (Espana)*, **23**: 207-215.

**Freitas R., Costa E., Velez C., Santos J., Lima A., Oliveira C., Rodrigues A.M., Quintino V. & Figueira E., 2012.** Looking for suitable biomarkers in benthic macroinvertebrates inhabiting coastal areas with low metal contamination: Comparison between the bivalve *Cerastoderma edule* and the Polychaete *Diopatra neapolitana*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **75**: 109-118.

**Fu J., Wang H., Billah S.M., Yu H. & Zhang X., 2014.** Heavy metals in seawater, sediments, and biota from the coastal area of Yancheng City, China. *Environmental Toxicology and Chemistry* **33**: 1697-1704.

**Futuyma D. J., 1986.** Evolutionary Biology 2nd edition, Sinauer Associates Inc. Sunderland, Mass.

**Gagneux-Moreaux S., 2006.** Les métaux (Cd, Cu, Pb et Zn) dans la production des micro algues sur différents milieux de culture : Biodisponibilité, Bioaccumulation et impact physiologique. Thèse de Doctorat en biologie marine. Université de Nantes, 257p.

**Galetti P.M Jr., Rodrigues F.P., Solé-Cava A.M., Miyaki C.Y., Carvalho D., Eizirik E., Veasey E.A., Santos F.R., Farias I.P., Vianna J.A., Oliveira L.R., Weber L. I., Almeida-Toledo L.F., Francisco M.R., Redondo R.A.F., Siciliano S., Del Lama S.N., Freitas T.R.O., Hrbek T. & Molina W.F., 2008.** Genética da conservação brasileira. In: Frankham R, Ballou JD, Briscoe DA (eds) Fundamentos de Genética da Conservação, 1st edn. Editora SBG, Ribeirão Preto, 244-274p.

**Gambi M. C. & Cigliano M., 2006.** Observations on reproductive features of three species of Eunicidae (Polychaeta) associated with *Posidonia oceanica* seagrass meadows in the Mediterranean Sea. Scientific Advances in Polychaete Research. *Scientia Marina*, **70 (S3)**: 301-308.

**Garcia-Alson J., Muller C. T. & Hardege J. D., 2008.** Influence of food regimes and seasonality on fatty acid composition in the ragworm. *Aquatic Biology*, **4**: 7-13.

**Gasmi H., 2018.** Effets du stress environnemental sur la biodiversité, et la physiologie des Néréidés du genre *Perinereis* du littoral Est Algérien : « Analyse immunitaire et dosage des ETM ». Thèse de Doctorat. Université d'Annaba. 285p.

**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 (4)**: 160-166.

**Geffard A., Smith B.D., Amiard-Triquet C., Jeantet A.Y. & Rainbow P.S., 2005.** Kinetics of trace metal accumulation and excretion in the polychaete *Nereis diversicolor*. *Marine Biology*, **147**: 1291-1304.

**Geffard O., 2001.** Toxicité potentielle des sédiments marins et estuariens contaminés: évaluation chimique et biologique, biodisponibilité des contaminants sédimentaires, Thèse doctorat. Université de Bordeaux I., France., 115p.

**Geng N., Wang C., Wang P., Qi N. & Ren L., 2015.** Cadmium accumulation and metallothionein response in the freshwater bivalve *Corbicula fluminea* under hydrodynamic conditions. *Biological Trace Element Research*, **165** (2): 222-32.

**Geracitano L. A., Bocchetti R., Monserrat J. M., Regoli F. & Bianchini A., 2004.** Oxidative stress responses in two populations of *Laeonereis acuta* (Polychaeta, Nereididae) after acute and chronic exposure to copper. *Marine Environmental Research*, **58** (1): 1-17.

**Geracitano L., Monserrat J. M. & Bianchini, A., 2002.** Physiological and antioxidant enzyme responses to acute and chronic exposure of *Laeonereis acuta* (Polychaeta, Nereididae) to copper. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **277** (2): 145-156.

**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.

**Ghirardini Volpi A., Birkemeyer T., ArizziNovelli A., Delaney E., Pavoni B. & Ghetti 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.

**Ghodbani T. & Bougherira A., 2019.** Le littoral algérien entre protection de l'environnement et impératifs du développement, Enjeux et Perspectives. *Geo-Eco-Trop*, **4**: 559-56.

**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.

**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.

**Giannakopoulos C., Le Sager P., Bindi M., Moriondo M., Kostopoulou E. & Goodess C.M., 2009.** Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming. *Glob Planet Change*, **68**: 209-24.

**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.

**Gibson G.R., Bowman M.L., Gerritsen J.O. & Snyder D., 2000.** Estuarine and coastal marine waters: bioassessment and biocriteria technical guidance. EPA-822-B-00-024. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington DC; 296p.

**Gillet P., 2016.** Les annélides polychètes : Modèles biologiques des écosystèmes marins et estuariens, *Éditions universitaires européennes EUE*, 6p.

**Gillet P., 2017.** Liste des annélides polychètes du Maroc. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie*, **39**: 19-26.

**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.

**Glasby C. J., Wei N. W. V. & Gibb K. S., 2013.** Cryptic species of Nereididae (Annelida: Polychaeta) on Australian coral reefs. *Invertebrate Systematics*, **27 (3)**: 245-264.

**Glasby C.J Glasby S.P. & Pleijel F., 2008.** Worms by number. *The Royal Society B: Biological Sciences*, **275 (1647)**: 2071-2076

**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.

**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.

**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.

**Grassle J.P. & Grassle J.F., 1976.** Sibling species in the marine pollution indicator *Capitella* (Polychaeta). *Science*, **192**: 567-569.

**Gray J.S., 2002.** Biomagnification in marine systems: the perspective of an ecologist. *Marine Pollution Bulletin*, **45**: 46-52.

**Gremigni V., 1979.** An ultrastructural approach to planarian taxonomy. *Systematic Zoology*, **28**: 345- 355.

**Grimes S., 2004.** Biodiversité marine et littorale Algérienne. Université d'Es Senia-Oran, 362p.

**Grimes S., 2010.** Peuplement benthiques des substrats meubles de la côte Algérienne. Taxonomie, Structure et Statut écologique. Thèse de doctorat, Université d'Oran, Faculté des sciences. 362p.

**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.

**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*, 72p.

**Gros J., Tran T.T.H. & Collin S., 2013.** Revue bibliographique sur les adduits cystéinés et glutathionés de la vigne en vue de leur investigation dans le houblon et la bière. *Cerevisia*, **38**: 3-14.

**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 (1)**: 40-45.

**Gueddah D., 2003.** « Evaluation de la pollution industrielle et urbaine dans la région de Skikda : impact sur l'écosystème marin côtier », Université Badji Mokhtar Annaba, mémoire de Magister en Sciences de la mer, 145p.

**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, option : Physiotoxicologie. Université d'Annaba, 300 p.

**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**: 31-40.

**Guendouzi Y., 2019.** Etude de la bioaccumulation des métaux traces et des radioéléments chez la moule *M. galloprovincialis* et l'oursin *P. lividus* dans le littoral algérien. Thèse de doctorat en Ecologie et environnement marin. Université AbdelHamid Ibn Badis Mostaganem. 233p.

**Guendouzi Y., Soualili D. L., Fowler S. W. & Boulahdid M., 2020.** Environmental and human health risk assessment of trace metals in the mussel ecosystem from the Southwestern Mediterranean. *Marine pollution bulletin*, **151**:110820.

**Guerlet E., 2007.** Utilisation de biomarqueurs cellulaires chez plusieurs espèces d'invertébrés pour l'évaluation de la contamination des milieux dulçaquicoles. Thèse de Doctorat en Ecotoxicité et Biodiversité. Université de Metz, 318p.

**Guilhermino L., Barros L., Silva M.C., Soares. & A.M.V.M., 1998.** Should the use of inhibition of cholinesterases as a specific biomarker for organophosphate and carbamate pesticides be questioned? *Biomarkers*. **3**: 157-163.

**Guimarães L.H., Jorge J.A., Terenzi H.F., Jamur M.C., Oliver C. & De Lourdes Teixeira De Moraes Polizeli M., 2003.** Effect of carbon source on alkaline phosphatase production and excretion in *Aspergillus caespitosus*. *Journal of Basic Microbiology*, **43**: 210-217.

**Guitttonny-Philippe A., Masotti V., Höhener P., Boudenne J.-L., Viglione J. & Laffont-Schwob I., 2014.** Constructed wetlands to reduce metal pollution from industrial catchments in aquatic Mediterranean ecosystems: A review to overcome obstacles and suggest potential solutions. *Environment International*, **64**: 1-16.

**Haag M., Frossard N. & Pons F., 2001.** Cytochromes P450 et glutathion S-transférases pulmonaires : des liens possibles avec l'inflammation et l'asthme ?. *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique*, **41**: 579-86.

**Habig W. H., Pabst M. J. & Jakoby W. B., 1974.** The first enzymatic step in mercapturic acid formation. *Journal of Biological Chemistry*. **249**: 7130-7139.

**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.

**Halliwell B. & Gutteridge J.M.C. (Eds.), 1989.** *Free Radicals in Biology and Medicine - 2<sup>nd</sup> Edition*. Clarendon Press, Oxford, UK.

**Halpern B. S., Frazier M., Potapenko J., Casey K. S., Koenig K., Longo C., Lowndes J.S., Cotton Rockwood R., Seling E.R., Selkoe K.A. & Walbridge S., 2015.** Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature Communication*, **6**: 7615.

**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(7-Special issue)**: 1005-1021.

**Hammerschlag N., Schmitz O. J., Flecker A. S., Lafferty K. D., Sih A., Atwood T. B., Gallagher A.J., Irschick D.J., Skubel R. & Cooke S.J., 2019.** Ecosystem Function and Services of Aquatic Predators in the Anthropocene. *Trends in Ecology and Evolution*. **34**: 369-383.

**Hardedge J.D., Bartels-Hardege H.D., Zeeck E. & Grimm F.T., 1990.** Induction of swarming of *Nereis succinea*. *Marine Biology*, **104**: 291-295.

**Harnish D.G. & White B.N., 1982.** Insect vitellus, identification, purification and characterization from eight ordres. *Journal of Experimental Zoologie*, **220**: 1-10.

**Hauenschild C., 1955.** Photoperiodizitat als Ursache des von der Mondphase abhängigen Metamorphose. Thythmus bei dem Polychaeten *Platynereis dumerilii*. *Zeitschrift für Naturforschung B*, **10 (11)**: 658-662.

**Hauenschild C., 1960.** Lunar periodicity. Cold Spring Harbor Symp. *Quantitative Biology*. **25**: 491-497.

**Hauenschild C., 1966.** Der hormonale Einfluss des Gehirns auf die sexuelle Entwicklung bei dem Polychaeten *Platynereis dumerllin*, *General and Comparative Endocrinology*, **6**: 26-73.



- Hebert P. D. N., Cywinska A., Ball S. L. & deWaard J. R., 2003.** Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **270 (1512)**: 313-321.
- Hefferman P. & Keegan B. F., 1988.** Quantitative ultrastructural studies on the reproductive biology of the polychaete *Pholoe minuta* in Galway Bay. *Marine Biology*, **99**: 203-214.
- Heliott T.P., 2014.** Biodiversité des communautés d'invertébrés benthiques des rivières de la Guadeloupe et réponses aux perturbations anthropiques. Thèse de Doctorat en Écologie des systèmes aquatiques. Université Paul, Sabatier – Toulouse III.
- Herbert C. E., Breton S., Lemieux H. & Blier P. U., 2008.** Epitoky in *Nereis* (Neanthes) *virens* (Polychaeta: Nereididae): A story about sex and death. *Comparative Biochemistry and Physiology., Part B* **149**: 202-208.
- 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.
- Hoeger U., Rebscher N. & Geier G., 1999.** Metabolite supply in oocytes of *Nereis virens*: Role of nucleosides. *Hydrobiologia*, **402**: 163-174.
- Hoet P., 2015.** Chrome et composés. EMC - Pathologie professionnelle et de l'environnement, **10(3)**: 1-11.
- Hopkin S.P., 1989.** Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates. Londres, *Elsevier Applied Science*. 366 p.
- Hotard S & Zou E., 2008.** Activity of Glutathione S-Transferase in the Hepatopancreas is not Influenced by the Molting Cycle in the Fiddler Crab, *Uca pugilator*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **81**: 242-244.
- Hourdry J. & Dauca M., 1977.** Cytological and cytochemical changes in the intestinal epithelium during anuran metamorphosis. *International review of cytology. Supplement*, **5**: 337-385.
- Huggett R.J., Kimberle R.A, Mehrle P.M Jr. & Bergman H.L. 1992.** Biomarkers, biochemical, physiological and histological markers of antropogenic stress. *Boca Raton, FL: Lewis*.
- 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*.
- Iqbal M., Abbas M., Nisar J. & Nazir A., 2019.** Bioassays based on higher plants as excellent dosimeters for ecotoxicity monitoring: *a review*. *Chemistry International*, **5**: 1-80.

**Jacob F. & Monod J., 1961.** Genetic regulatory mechanisms in the synthesis of Pheretima Kinberg., 1865. A variation in another anthropochorous species of the oriental earthworm genus. *Bull. Tall Timbers Res. Sin.*, **13**:18-44.

**Jacoby H.D., 1990.** Water quality. In: Waggoner, P.E. (Ed.), *Climate Change and U.S. Water Resources. John Wiley and Sons, New York*, 307- 328p.

**Jones K. R., Klein C. J., Halpern B. S., Venter O., Grantham H., Kuempel, C. D., Shumway N., Friedlander A.M., Possingham H.P. & Watson J.E.M., 2018.** The Location and Protection Status of Earth's Diminishing Marine Wilderness. *Current Biology*, **28**: 2506-2512.

**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*.

**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, 226p.

**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.

**Kamel N., 2014.** Effets combinés des facteurs environnementaux et des polluants chimiques chez la moule *Mytilus galloprovincialis* : Harmonisation des biomarqueurs d'exposition suivant les recommandations OSPAR et MEDPOL. Doctoral thesis. University of Nantes, 192p.

**Kammenga J.E., Dallinger R., Donker M.H., Kohler H.R., Simonsen V., Triebkorn R. & Weeks J.M., 2000.** Biomarkers in terrestrial invertebrates for ecotoxicological soil risk assessment. In "Reviews of Environmental Contamination and Toxicology". Ware, G.W. (Eds.). 175 Fifth Ave/New York/NY 10010/USA, *Springer-Verlag*. **164**: 93-147.

**Kehal M., Mennour A., Reinert L. & Fuzellier H., 2004.** Heavy metals in water of the Skikda Bay. *Environmental Technology*, **25**: 1059-1065.

**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. 87P.

**Khélifi-Touhami M., Semroud R., Hamidi M., Ouinissi M., Néjib Daly A. & Aissa P., 2007.** The planktonic communities from Mediterranean Sea (Algeria, Tunisia) with a redescription of *Paracalanus indicus* Wolferden, 1905 (Copepod: Calanoïda). *Cahiers de biologie marine*, **48** (4) : 327.

**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.

- Kirkegaard J.B., 1983.** The polychaeta of west Africa. Part II. Errant species. 1. Aphroditidae to Nereididae. *Atlantide Report*, **13**: 181-240.
- Klautau M, Russo C.A.M, Lazoski C, Boury-Esnault N, Thorpe J.P. & Solé- Cava A.M., 1999.** Does cosmopolitanism result from over conservative systematics? A case study using the marine sponge *Chondrilla nucula*. *Evolution*, **53**: 1414-1422.
- Knowlton N., 1993.** Sibling species in the sea. *Annu Rev Ecol Syst*, **24**: 189-216.
- Knowlton N., 2000.** Molecular genetic analyses of species boundaries in the sea. *Hydrobiologia*, **420**:73-90.
- Knox G.A., 1977.** In, Essays in Polychaetous Annelids in Memory of Olga Hartman, edited by **D. J. Reish & K. Fauchald**, *Allan Hancock Foundation, University of Southern California, Los Angeles*, 547-604.
- Koehler A., 2004.** Toxic injury and gender-specific hepatocellular carcinogenesis in flounder (*Platichthys flesus* (L.)). *Aquatic Toxicology*? **70**: 257-276.
- Köhler A., Wahl E. & Soffker K., 2002.** Functional and morphological changes of lysosomes as prognostic biomarkers of toxic liver injury in a marine flatfish (*Platichthys flesus* (L.)). *Environmental Toxicology and Chemistry*, **21 (11)**: 2434-2444.
- Krebs C.J., 2001.** Ecology, *San Francisco, Benjamin Cummings*, 695p.
- Kristensen E., 1984.** Life cycle, growth and production in estuarine populations of the polychaetes *Nereis virens* and *Nereis diversicolor*. *Holoartic Ecology*, **7**: 249-256.
- Lafabrie C., 2007.** Utilisation de *Posidonia oceanica* (L) *Delile* comme bio-indicateur de la contamination métallique. Thèse de Doctorat en écologie marine. Univerité De Corse, 158p.
- Lagadic L., Caquet T. & Amiard J.C., 1997.** Intérêt d'une approche multiparamétrique pour le suivi de la qualité de l'environnement. In : **Lagadic L., Caquet T., Amiard J. C. & Ramade F.** (Eds.), Biomarqueurs en écotoxicologie. *Aspects Fondamentaux*. Masson, Paris, 393-401p.
- Lagadic L., Caquet T. & Ramade F., 1994.** The role of biomarkers in environmental assessment (5). Invertebrate populations and communities. *Ecotoxicology*, **3**: 193-208.
- Larba R. & Soltani N., 2014.** Use of the land snail *Helix aspersa* for monitoring heavy metal soil contamination in Northeast Algeria. *Environ. Monit. Assess*, **186 (8)**: 4987-4995.
- 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*, **364 (B)**: 3363-3376.

**Le Gal Y., Lagadic L., Le Bras S. & Caquet T., 1997.** Charge énergétique en adénylates (CEA) et autres biomarqueurs associés au métabolisme énergétique. *In Lagadic L., Caquet T., Amiard J.C., Ramade F., (Eds). Biomarqueurs en écotoxicologie : Aspects fondamentaux. Paris, Masson, 241-286p.*

**Le Goff C. & Dabouineau L., 2009.** Proposition d'un programme de surveillance (biomonitoring) pour la Réserve Naturelle de la baie de Saint-Brieuc. Université Catholique de l'Ouest, 38p.

**Le Moigne A. & Foucrier J., 2009.** Biologie du développement. 7e édition : Cours et questions de révision. Dunod.

**Leblanc G.A., 1995.** Trophic-level differences in the bioconcentration of chemicals: Implications in assessing environmental biomagnification. *Environmental Science & Technology*, **29**: 154-160.

**Lecourtois-Dreanic A., 2013.** Le conseil hygiéno-diététique à l'officine, création de fiches conseils pour les patients. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Université de Nantes, 112p.

**Lehtonen K.K., Kankaanpa H., Leiniö S., Sipilä V.O., Pflugmacher S. & Sandberg-Kilpi E., 2003.** Accumulation of nodularin-like compounds from the cyanobacterium *Nodularia spumigena* and changes in acetylcholinesterase activity in the clam *Macoma balthica* during short-term laboratory exposure. *Aquatic Toxicology*, **64**: 461-476.

**Levrel H., 2006.** Biodiversité et développement durable : quels indicateurs ? Thèse de Doctorat en Economie Ecologique. École des hautes études en sciences sociales de Paris, 407p.

**Li J., Lusher A., Rotchell J. M., Company S. D., Turra A., Bråte I. L. N., Sun C., Hossain M.S., Li Q., Kolandhasamy P. & Shi H., 2018.** Using mussel as a global bioindicator of coastal microplastic pollution. *Environmental Pollution*, **244**: 522-533.

**Li X., Li B., Hong J. & Zhou X., 2018.** Highly selective determination of acid phosphatase in biological samples using a biomimetic recognition-based SERS sensor. *Sensors and Actuators: B. Chemical*, **25223**: 1-26.

**Likens G. E., 1992.** An ecosystem approach: its use and abuse. Oldendorfe/Luhe, Ecology institute. *Excellence in ecology*, **3**: 7-24.

**Lin H., 1997.** The Fate of Stem Cells in the Germline. *Annual Review of Genetics*, **31**: 455-491.

**Livingstone D.R., 2001.** Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative Damage in aquatic organism. *Marine Pollution Bulletin*, **42**: 656-666.

**Livingstone D.R., Lips F., Martinez P.G. & Pipe R.K., 1992.** Antioxidant enzymes in the digestive gland of the common mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, **112**: 265-276.

- Lockshin R. A. & Williams C. M., 1964.** Programmed cell death. II. Endocrine potentiation of the breakdown on the intersegmental muscles of silkmother. *Journal of Insect Physiology*, **10**: 643-640.
- Losso C. & Ghirardini A. V., 2010.** Overview of ecotoxicological studies performed in the Venice Lagoon (Italy). *Environment International*, **36** (1): 92-121.
- Loucif-Ayad W., Aribi N. & Soltani N., 2008.** Evaluation of Secondary Effects of some Acaricides on *Apis Mellifera Intermissa* (Hymenoptera, Apidae): Acetylcholinesterase and Glutathione S-Transferase Activities. *European Journal of Scientific Research*, **4**: 642-649.
- Luis O. J. & Passos A. M., 1995.** Seasonal changes in lipid content and composition of the polychaete *Nereis* (Hediste) *diversicolor*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, **111** (4): 579-586.
- Luo X., Bing H., Luo Z., Wang Y. & Jin L., 2019.** Impacts of atmospheric particulate matter pollution on environmental biogeochemistry of trace metals in soil-plant system: A review. *Environmental Pollution*, 113-138p.
- 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.
- Lushchak V.I., 2011.** Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. *Aquatic Toxicology*, **101**: 13-30.
- Mackie G.L. & Schloesser D.W., 1996.** Comparative biology of Zebra mussels in Europe and North America: An overview. *American Zoologist*, **36**: 244-258.
- Madiouni C., Benzarti O., Tray B., Ghorbel M.H. & Jemal F., 2006.** Cadmium and copper toxicity for tomato seedlings. *Agronomy for Sustainable Development*, **26**: 227-232.
- Magurran A. E., 1988.** Ecological Diversity and its measurement. *Princeton University Press, Princeton, NJ*.
- Maharajan A., Rajalakshmi S. & Vijayakumaran M., 2012.** Effect of copper in protein, carbohydrate and lipid contents of the juvenile lobster, *Panulirus homarus homarus* (Linnaeus, 1758). Sri. Lanka. *Journal of Aquatic Sciences*, **17**: 19-34.
- Mahowald N.M., Hamilton D.S., Mackey K.R.M., Moore J.K., Baker A.R., Scanza R.A. & Zhang Y., 2018.** Aerosol trace metal leaching and impacts on marine microorganisms. *Nature communications*, **9** (1): 1-15.
- 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** (3): 411.

- Maltagliati F., Peru A.P., Casu M., Rossi F., Lardicci C., Curini-Galletti M. & Castelli A., 2000.** Is *Syllis gracilis* (Polychaeta : Syllidae) a species complex ? An allozyme perspective. *Marine Biology*, **136**: 871-879.
- Marasinghe Wadige C.P.M., Taylor A.M., Maher W.A., Ubrihien R.P. & Krikowa F., 2014.** Effects of lead-spiked sediments on freshwater bivalve, *Hyridella australis*: linking organism metal exposure-dose-response. *Aquatic Toxicology*, **149**: 83-93.
- Marbà N., Jordà G., Agustí S., Girard C. & Duarte C. M., 2015.** Footprints of climate change on Mediterranean Sea biota. *Frontiers in Marine Science*, **2**: 56.
- Masson S., Desrosiers G. & Retière C., 1995.** Périodicité d'alimentation du polychète *Nereis diversicolor* (O.F. Müller) selon les changements de la marée. *Écoscience*, **2**: 20- 27.
- Maurice P., Beart J.L. & Dhainaut A., 2011.** Evolution of the concepts of vitellogenesis in Polychaete Annelids. *Invertebrate reproduction & development*, **16 (1-3)**: 53-61.
- Maurice P., Beart J.L. & Dhainaut A., 2011.** Evolution of the concepts of vitellogenesis in Polychaete Annelids, 53-61p.
- Mayr E. & Ashlock P.D., 1991.** Principles of systematic zoology, *2nd edn.* McGraw-Hill, New York.
- McCallum M.L., 2015.** Vertebrate biodiversity losses point to a sixth mass extinction. *Biodiversity and Conservation*, **24**: 2497-2519.
- McGeer J., Henningsen G., Lanno R., Fisher N., Sappington K. & Drexler J., 2004.** Issue paper on the bioavailability and bioaccumulation of metals, US Environmental Protection Agency risk assessment forum. *Eastern Research Group, Lexington.*, 122p.
- Médart J., 2009.** *Manuel pratique de nutrition 2<sup>ème</sup> édition : de Boeck*, 293p.
- Merad I., 2017.** Toxicité aigüe du cadmium chez *Donax trunculus* L. : variation de la composition biochimique des gonades en fonction du sexe et de l'activité sexuelle au cours de l'exposition aigüe et de la dépuraton. Thèse de Doctorat, Option : Physiotoxicologie, Université d'Annaba. 192 p.
- Mettam C., 1979.** Seasonal changes in populations of *Nereis diversicolor* **O. F. Müller** from Severn Estuary, U.K. *In: Cyclic phenomena in marine plants and animals.* Pergamon, 123-130.
- 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.
- Meyer J. N. & De Giulio R. T., 2003.** Heritable adaptation and fitness costs in killifish (*Fundus heteroclitus*) inhabiting a polluted estuary. *Ecological Applications*, **13**: 490-503.



**Milano M., Ruelland D., Fernandez S., Dezetter A., Fabre J. & Servat E., 2012.** Facing climatic and anthropogenic changes in the Mediterranean basin: what will be the medium-term impact on water stress? *C R Geosci*, **344**: 432-40.

**Miller F. & Palade G. E., 1964.** Lytic activities in renal protein absorption droplets: An electron microscopical cytochemical study. *The Journal of cell biology*, **23 (3)**: 519-552.

**Miller F. & Palade G. E., 1964.** Lytic activities in renal protein absorption droplets. An electron microscopical cytochemical study. *Journal of Cell Biology*, **23**: 519-552.

**Miquel M., 2001.** Les effets des métaux lourds sur l'Environnement et la Santé. Rapport office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. *Rapport Sénat N°261* : 360p.

**Miron G. & Desrosiers G., 1990.** Distributions and population structures of two intertidal estuarine polychaetes in the lower St. Lawrence estuary, with special references to environmental factors. *Marine Biology*, **105**: 297-306.

**Modassir y. & Ansari A., 2000.** Effect of petroleum hydrocarbon on physiological and biochemical parameters in an estuarine clam (*Paphia malabarica*). *Fishery Technology*, **37**: 40-45.

**Moller P., 1985.** Production and abundance of juvenile *Nereis diversicolor* and oogenic cycle of adults in shallow waters of western Sweden. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **65**: 603-616.

**Mongruel R., Kermagoret C., Carlier A., Scemama P., Le Mao P., Levain A., Ballé-Béganton J., Vaschalde D. & Bailly D., 2018.** Milieux marins et littoraux : évaluation des écosystèmes et des services rendus. *Rapport de l'étude réalisée pour le compte du programme EFES, IFREMER*, 366p.

**Morrissey D.J., Turner S.J., Mills G.N., Williamson R.B. & Wise B.E., 2003.** Factors affecting the distribution of benthic macrofauna in estuaries contaminated by urban runoff. *Marine Environmental Research*, **55**: 113-136.

**Mouillot D., Laune J., Tomasini J.A., Aliaume C., Brehmer P., Dutrieux E. & Dochi T., 2005.** Assessment of coastal lagoon quality with taxonomic diversity indices of fish, zoobenthos and macrophyte communities. *Hydrobiologia*, **550**: 121-130.

**Mouneyrac C., Durou C., Gillet P., Hummel H. & Amiard-Triquet C., 2009.** Linking energy metabolism, reproduction, abundance and structure of *Nereis diversicolor* populations. In: **Amiard-Triquet C. & Rainbow P. S., 2009.** *Environmental Assessment of Estuarine Ecosystems A Case Study*, Taylor & Francis Group, LLC CRC Press, 370 p.

**Mouneyrac C., Durou C., Gillet P., Hummel H. & Amiard-Triquet C., 2012.** Linking energy metabolism, reproduction, abundance, and structure of *Nereis diversicolor* populations. In: **Amiard-Triquet C. & Rainbow P.S., 2009.** *Environmental Assessment of Estuarine Ecosystems. A Case Study*. CRC Press, Boca Raton, 159-183p.

**Mubiana V.K. & Blust R., 2007.** Effects of temperature on scope for growth and accumulation of Cd, Co, Cu and Pb by the marine bivalve *Mytilus edulis*. *Marine Environmental Research*, **63**: 219-235.

**Muir A. I. & Hossain M. M. M., 2014.** The intertidal polychaete (Annelida) fauna of the Sitakunda coast (Chittagong, Bangladesh), with notes on the Capitellidae, Glyceridae, Lumbrineridae, Nephtyidae, Nereididae and Phyllodocidae of the “Northern Bay of Bengal Ecoregion”. *ZooKeys*, **(419)** : 1-17.

**Muir A.I. & Bamber R.N., 2008.** New polychaete (Annelida) records and a new species from Hong Kong: the families Polynoidae, Sigalionidae, Chrysopetalidae, Pilargiidae, Nereididae, Opheliidae, Ampharetidae and Terebellidae. *Journal of Natural History* **42 (9-12)**: 797-814.

**Muller G., 1969.** Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, **2**: 108-118.

**Myers N., Mittermeir R.A., Mittermeir C.G., Da Fonseca G.A.B. & Kent K., 2000.** Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, **403 (6772)**: 853-858.

**Nagahama Y., 1987.** Gonadotropic action on gametogenesis and steroidogenesis in teleost gonads. *Zoological Science*, **4**: 209-222.

**Nakhle K.F., Cossa D., Khalfa G. & Beliaeff B., 2005.** *Brachidontes variabilis* and *Patella* sp. As quantitative biological indicators for cadmium, lead and mercury in the Lebanese coastal waters. *Environment Pollution* vol 142, issue **1**: 73-82.

**Narbonne J.F., 2000.** History - Biological basis of the use of biomarkers in ecotoxicology. in "Use of biomarkers for quality environmental quality assessment". **Lagadic L., Caquet T., Amiard J. C. & Ramade, F.** (Eds.). Enfield, USA, Plymouth, UK, *Science Publishers, Inc.* 350p.

**Narbonne, J.F. & Gallis J.L., 1979.** In vitro and in vivo effect of pehoclor DP6 on drug metabolizing activity in mullet liver. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **23**: 344-348.

**Nasi F., Nordström M. C., Bonsdorff E., Auriemma R., Cibic T. & Del Negro P., 2018.** Functional biodiversity of marine soft-sediment polychaetes from two Mediterranean coastal areas in relation to environmental stress. *Marine Environmental Research*, **137**: 121-132.

**Nejmeddine A., Dhainaut-Courtois N., Baert J. L., Sautiere P., Fournet B. & Boulenguer P., 1988.** Purification and characterization of a cadmium-binding protein from *Nereis diversicolor* (Annelida, Polychaeta). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology*, **89 (2)**: 321-326.

**Newman M.C., 2015c.** Chapter 4 - Factors influencing bioaccumulation, in: *Fundamentals of Ecotoxicology the Science of Pollution*. *CRC Press, Boca Raton, Florida*, 129-155p.

**Newman M.C., 2015f.** Chapter 6 - Molecular effects and biomarkers, *in: Fundamentals of Ecotoxicology the Science of Pollution. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp.* 181-208.

**Newman, M.C., 2015a.** Chapter 1 - Introduction, *in: Fundamentals of Ecotoxicology the Science of Pollution. CRC Press, Boca Raton, Florida, p1-31.*

**Nga L. E., Sadjó S. M. & Zame P. Z. O., 2016.** Evaluation de la contamination métallique des sols exposés à l'incinération des pneus d'automobiles dans la ville de Ngaoundéré (Cameroun) Assessment of metal contamination of soils exposed to car tires burning in Ngaoundere (Cameroon), **7**: 4633-4645.

**Ngoay-Kossy J.C., Zébazé Togouet S.H., Wango S.P., Bolevane Ouantinam 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.

NRC (Committee on Biological Markers of the National Research Council). (1987). Biological markers in environmental health research. *Environmental. Health Perspectives*, **74**: 3-9.

**Nriagu J.O. & Pacyna J., 1988.** Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*, **333**: 134-139.

**Nyamsi Tchatcho N.L., Foto Mnbohan S., Zébazé Togouet S.H., Onana Fils M., Adandedjan D., Tchakonté S., Yemele Tsago C., Koji E. & Njiné T., 2014.** Indice multimétrique des macroinvertébrés benthiques Yaoundéens (IMMY) pour l'évaluation biologique de la qualité des eaux de cours d'eau de la région du centre sud forestier du Cameroun. *Eur. J. Sci. Res*, **123**: 412-430.

**Nygren A., 2014.** Cryptic polychaete diversity: a review. *Zoologica Scripta*, **43 (2)**: 172-183.

**Nygren A., Eklöf J. & Pleijel F., 2010.** Cryptic species of Notophyllum (Polychaeta: Phyllodocidae) in Scandinavian waters. *Organisms Diversity and Evolution*, **10**: 193-204.

**Odiète W. O., 1999.** Impacts associated with water pollution. *Environmental physiology of Animals and pollution*, 187-219.

**Olive P. J. W. & Garwood. P. R., 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**: 193-213.

**Olive P.J.W., 1973.** The regulation of ovary function in *Cirratulus cirratus* (Polychaeta), *General and Comparative. Endocrinology*, **20**: 1-15.

**Olive P.J.W., 1995.** Annual breeding cycles in marine invertebrates and environmental temperature: probing the proximate and ultimate causes of reproductive synchrony. *Journal of Thermal Biology*, **20**: 79-90.

**Olive P.J.W., 1999.** Polychaete aquaculture and Polychaete science: a mutual synergism. *Hydrobiologia*, **402**: 175-183.

**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.

**Oliveira D.M., Ramos I.B., Reis F.C., Lima A.P. & Machado E.A., 2008.** Interplay between acid phosphatase and cysteine proteases in mediating vitellin degradation during early embryogenesis of *Periplaneta americana*. *Journal of Insect Physiology*, **54**: 883-89.

**Olsgard F., Schaanning M. T., Widdicombe S., Kendall M. A. & Austen M. C., 2008.** Effects of bottom trawling on ecosystem functioning. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **366** (1): 123-133.

**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**(2), 136–143.

**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*, **76**(2), e087.

**Oumar B., Ekenguele N.L. & Balla O.A.D., 2014.** Évaluation du niveau de pollution par les métaux lourds des lacs Bini et Dang, Région de l'Adamaoua, Cameroun. *Afrique Science*, **2** (10): 184-198.

**Ounissi M. & Khelifi-Touhami M., 1999.** Le Zooplancton du plateau continental d'El Kala (Méditerranée sud-occidentale) : composition et abondance en mai 1996. *Journal de Recherche Océanographique*, **24**: 5-11.

**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.

**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.

**Palumbi S.R., 1994.** Genetic divergence, reproductive isolation, and marine speciation. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **25**: 547-572.

**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 Shelf Science*, **70**: 643-653.

**Park T. & Kim W., 2017.** Description of a New Species for Asian Populations of the “Cosmopolitan” *Perinereis cultrifera* (Annelida: Nereididae). *Zoological Science*, **34** (3): 252-260.

**Pasquaud S., 2006.** Les relations trophiques : velements de structuration des peuplements ichtyologiques en milieu estuarien. These de Doctorat. Université de Bordeaux. 361p.

**Payne, J.F., Mathieu, A., Melvin, W. & Fancey, L.L., 1996.** Acetylcholinesterase, an old biomarker with a new future? Field trials in association with two urban rivers and a paper mill in Newfoundland. *Marine Pollution Bulletin*, **23**: 225-231.

**Pazoki S., Rahimian H., Struck T. H., Katouzian A. R. & Kupriyanova E. K., 2020.** A new species of the *Spirobranchus kraussii*-complex (Annelida, Serpulidae) from the Persian Gulf and Gulf of Oman. *Zootaxa*, **4748** (3): 401-430.

**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.

**Pedrosa J., Gravato C., Campos D., Cardoso P., Figueira E., Nowak C., Soares A.M.V.M., Barata C. & Pestana J.L.T., 2017.** Investigating heritability of cadmium tolerance in *Chironomus riparius* natural populations: A physiological approach. *Chemosphere*, **170**: 83-94.

**Pérès J.M. & Picard J., 1964.** Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Recueil des travaux de la Station Marine d'Endoume*, **31** (47): 5-22.

**Perès J.M. & Rancurel P., 1948.** Observations sur la ponte de *Perinereis cultrifera* (Grübe) dans le golfe de Marseille. *Bulletin de la Société Zoologique de France*, **73**: 97-100.

**Perret B. & Séridi H., 1989.** Inventaire des algues marines benthiques d'Algérie. *Gis posidonie publ, Marseille France*, 1-117.

**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.

**Philips D.J.H. & Rainbow P.S., 1994.** Biomonitoring of trace aquatic contaminants. (2ndEd) London: *Chapman and Hall*, 292p.

**Poiani S.B. & da Cruz-Landim C., 2012.** Stored products and presence of acid phosphatase in fat body cells at pre-pupal worker stage of *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Hymenoptera, Apidae). *Micron*, **43**: 475-478.

**Poloczanska E. S., Burrows M. T., Brown C. J., García Molinos J., Halpern B. S., Hoegh-Guldberg O., Kappel V.C., Moore P.J., Richardson A.J., Schoeman D.S. & Sydeman W.J., 2016.** Responses of Marine Organisms to Climate Change across Oceans. *Frontiers in Marine Science*, 3.

**Ponel, P., 1983.** Contribution à la connaissance de la communauté des Arthropodes psammophiles de l'isthme de Giens (Var). *Travaux scientifiques du Parc national de PortCros, France*, **9**: 149-182.

**Pook C., Lewis C. & Galloway T., 2009.** The metabolic and fitness costs associated with metal resistance in *Nereis diversicolor*, *Marine Pollution Bulletin*, **58**: 1063-1071.

**Porchet M. & Cardon C., 1976.** The inhibitory feedback mechanism coming from oocytes and acting on brain endocrine activity in *Nereis* (polychaetes, annelids). *General and Comparative Endocrinology*, **30 (3)**: 378–390.

**Porchet M., 1974.** Activité endocrine cérébrale chez les Nereidae : Données quantitatives, influence sur la teneur en glucides des ovocytes et du liquide cœlomique, mécanisme régulateur de la sécrétion hormonale. Thèse de Doctorat en Sciences naturelles, Université de Lille, 222p.

**Porchet M., 1976.** Données actuelles sur le contrôle endocrine de la maturation génitale des Néréidiens (Annélides Polychètes). *Annales de Biologie*, **7-8**: 329-377.

**Porchet M., Baert J.L. & Dhainaut, A., 1989.** Evaluation of the concepts of vitellogenesis in polychaete annelids. *Invertebrate reproduction and development*, **16 (1-3)**: 53-61.

**Prevedelli D. & Simonini R., 2003.** Life history and demography of three populations of *Ophryotrocha japonica* (Polychaeta: Dorvilleidae), *Marine Ecology Progress Series*, **258**: 171-180.

**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.

**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.

**Radford S. V & Mishch D. W., 1971.** The cytological effect of ecdysterone on the midgut cells of the flesh-fly *Sarcophaga bullata*. *The Journal of cell biology*, **49 (3)**: 702-711.

**Ramade F., 1984.** Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale. Ed. Mc. *Graw Hill, Paris*, 397p.

**Ramade F., 2008.** Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et la biodiversité. *Paris: Dunod*, 737p.

**Raven P., Johnson G., Losos J. & Singer S., 2007.** Biologie. de Boeck.

**Rees S.W. & Olive P.J.W., 1999.** Photoperiodic changes influence the incorporation of vitellin yolk protein by oocytes of the semelparous polychaete *Nereis* (Neanthes) *virens*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology*, **123 (2)**: 213-220.



**Reik W. & Surani M.A., 2015.** Germline and Pluripotent Stem Cells. Cold Spring Harb. *Perspectives in Biology*, **7** (11): a019422.

**Reish D.J. & Gerlinder T.V., 1997.** A review of the toxicological studies with Polychaetous Annelids. *Bulletin of Marine Science*, **60**: 584-607.

**Reiss H. & Kröncke I., 2005.** Seasonal variability of benthic indices: An approach to test the applicability of different indices for ecosystem quality assessment. *Marine Pollution Bulletin*, **50**: 1490-1499.

**Rettob M., Arfiati D., Hakim L. & Lumingas L., 2013.** Reproduction aspects of marine worms *Perinereis cultrifera* (Grube, 1840) in Langgur Waters, Lesser Kei Islands, Southeast Maluku Regency, Indonesia. *International Journal of Basic and Applied Sciences IJBASIJENS*, Vol:13, **1**: 31-35.

**Ribolla P.E., Bijovsky A.T. & de Bianchi A.G., 2001.** Procathepsin and acid phosphatase are stored in *Musca domestica* yolk spheres. *Journal of Insect Physiology*, **47**: 225-232.

**Robillard S., Beauchamp G. & Laulier M., 2003.** The role of abiotic factors and pesticide levels on enzymatic activity in the freshwater mussel *Anodonta cygnea* at three different exposure sites. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, **135**: 49-59.

**Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Champsaur H. & Rodi L., 2005.** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer, 8ème Ed. DUNOD. Paris, 1383p.

**Roméo M. & Giambérini L., 2008.** Chapitre 1 - Historique, in: **Amiard J.-C., Amiard-Triquet, C. (Eds.)**, Les Biomarqueurs Dans L'évaluation de L'état Écologique Des Milieux Aquatiques. Lavoisier, Paris, pp. 17-54.

**Romieu M., 1923.** Recherches histophysiologiques sur le sang et sur le corps cardiaque des Annélides polychètes. Fac. Sciences Université Paris (DOINI), Thèse.

**Rossi F., Castelli A. & Lardicci C., 2006.** Distribution of macrobenthic assemblages along a marine gradient in Mediterranean eutrophic coastal lagoons. *Marine. Ecology*, **27**: 66-75.

**Rossi S., 2013.** The destruction of the 'animal forests' in the oceans: towards an oversimplification of the benthic ecosystems. *Ocean & Coastal Management*, **84**: 77-85.

**Rouabah A. & Rouabah L., 2007.** Biodiversité et complexe d'espèces *Perinereis cultrifera* : un exemple de spéciation. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, **25**: 79-87

**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** (2) : 85-99.

**Rouabah A., 2003.** Comparaison au plan biochimiques et génétique de population de l'annélide polychète *Perenereis cultrifera* du littoral français et Algérien : précision des liens de parenté. Thèse de doctorat, Université de Mentouri Constantine.

- Rouabah A., Rouabah L., Tahar A. & Scaps P., 2009.** Variation in paragraph Number of the Different Morphs of the Polychaete *Perinereis cultrifera* in Relation to Geographical Location and Type of Reproduction. *American Journal of Scientific Research*, **29**: 81-87.
- 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.
- Rouabah-Sadaoui L., & Marcel R. (1995).** Analyse des réserves nutritives protéiques du clitellum et de l'albumen du cocon chez *Eisenia fetida* Sav (annélide oligochète). Mise en évidence d'une glycolipoprotéine comparable à une vitellogénine. *Reproduction Nutrition Development*, **35 (5)**: 491-501.
- Rouane-Hacene O., Belhaouari B., & Boutiba Z., 2012.** Trace element concentrations (Zn, Cu, Pb and Cd) in the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* from Oran Harbour (Oran Bay, Algerian west coast). *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, **2 (9)**: 446-452.
- Rouane-Hacene O., Boutiba Z., Belhaouari B., Guibbolini-Sabatier M.E., Francour P. & Risso-de Faverney C., 2015.** Seasonal assessment of biological indices, bioaccumulation and bioavailability of heavy metals in mussels *Mytilus galloprovincialis* from Algerian west coast, applied to environmental monitoring. *Oceanologia*, **57**: 362-374.
- 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.
- Rouhi A., Sifi 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**: 151-160.
- Rouibi A., Bouchema W.F., Loucif-Ayad W., Achou M. & Soltani N., 2016.** Risks assessment of two acaricides (fluvalinate and oxalic Acid) in *Apis mellifera intermissa* (Hymenoptera, Apidae): Acetylcholinesterase and glutathione S-transferase activities. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, **4 (2)**: 503-508.
- Rouse G.W. & Pleijel F., 2006.** Annelid Phylogeny and Systematics. In: **Rouse G. & Pleijel F.**, Reproductive Biology and Phylogeny of Annelida. *Science Publishers, Enfield, NH, USA.*, **4**: 688p.
- Rumisha C., Elskens M., Leermakers M. & Kochzius M., 2012.** Trace metal pollution and its influence on the community structure of soft bottom Molluscs in intertidal areas of the Dar es Salaam coast, Tanzania. *Marine Pollution Bulletin*, **64**: 521-531.
- 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.

**Saka S., Bahi A. & Aouacheri W., 2011.** L'effet du stress oxydant induit par l'acétate de plomb sur le système enzymatique du glutathion chez les rats. *Annales de Toxicologie Analytique*, **23** (3): 139-145.

**Saka S., Bahi A. & Aouacheri W., 2011.** The effect of oxidative stress induced by lead acetate on the glutathione enzymatic system in rats. *Annales de Toxicologie Analytique*, **23** (3): 139-145.

**Salas F., Neto J.M., Borja A. & Marques J.C., 2004.** Evaluation of the applicability of a marine biotic index to characterize the status of estuarine ecosystems, the case of Mondego estuary (Portugal). *Ecological Indicators*, **4**: 215-225.

**Sampértegui S., Rozbaczylo N., Canales-Aguirre C.B., Carrasco F., Hernández C.E. & Rodriguez-Serrano E., 2013.** Morphological and molecular characterization of *Perinereis gualpensis* (Polychaeta: Nereididae) and its phylogenetic relationships with other species of the genus off the Chilean coast, Southeast Pacific. *Cahiers de Biologie Marine*, **54**: 27-40.

**Samraoui B. & De Belair G., 1997.** The Guerbès-Sanhadja wetlands. Part I Overview. *Écologie*, **28** (3) : 232-250.

**Sandrini J. Z., Lima J. V., Regoli F., Fattorini D., Notti A., Marins L. F. & Monserrat J. M., 2008.** Antioxidant responses in the nereidid *Laeonereis acuta* (Annelida, Polychaeta) after cadmium exposure. *Ecotoxicology and environmental safety*, **70** (1): 115-120.

**Sanogo S., Kabre T.J.A. & Cecchi P., 2014.** Inventaire et distribution spatio-temporelle des macroinvertébrés bioindicateurs de trois plans d'eau du bassin de la Volta au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **8** (3): 1005-1029.

**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. *J. Mars. Boil. U.K.*, **78**: 435-449.

**Scaps P., Retière C., Desrosiers G. & Miron G., 1992.** Dynamique d'une population de *Perinereis cultrifera* (Grube) de la côte nord Bretagne. *Cahiers de Biologie Marine*, **33**: 477-494.

**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**(4): 735-736.

**Schaal G., 2009.** Structure et fonctionnement des réseaux trophiques associés aux écosystèmes littoraux rocheux en situation écologiques contrastées : approches isotopiques et biochimiques combinées. Thèse de doctorat, Paris 6.

**Schiedek D., Broeg K., Baršienė J., Lehtonen K.K., Gercken J., Pfeifer S., Vuontisjärvi H., Vuorinen P.J., Dedonyte V., Koehler A., Balk L. & Schneider, R., 2006.** Biomarker responses as indication of contaminant effects in blue mussel (*Mytilus edulis*) and female elpout (*Zoarces viviparus*) from the southwestern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin* **53**: 387-405.

**Séridi H., 2007.** Etude de la flore algale de l'Algérie. Etude phytosociologique des peuplements algaux photophyles de l'infralittoral superficiel de substrat dur, thèse de doctorat en sciences de la nature. USTHB, 174p.

**Shannon C.E. & Weaver, W., 1963.** The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, *Urbana*. 117p.

**Shi H., Pei L., Gu S., Zhu S., Wang, Y., Zhang Y., & Li B., 2012.** Glutathione S-transferase (GST) genes in the red flour beetle, *Tribolium castaneum*, and comparative analysis with five additional insects. *Genomics*, **100** (5): 327-335.

**Shibko S., Koivistoinen P., Tratnyneck C., Newhell A. & Freidman L., 1966.** A method for the sequential quantitative separation and glycogen from a single rat liver homogenate or from a sub cellular fraction. *Analytical Biochemistry*, **19**: 514-528.

**Siddiqua A., Rehmat M., Saeed A., Amin S., Naz R., Sherazi M., Khan G.M. & Saeed A., 2008.** Acid phosphatases from the liver of *Labeo rohita*: purification and characterization. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, **31**: 802-808.

**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** (5): 177-760.

**Silva-Zacarin E.C., Tomaino G.A., Brocheto-Braga M.R., Taboga S.R. & De Moraes R.L., 2007.** Programmed cell death in the larval salivary glands of *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae). *J. Biosci.* **32**: 309-328.

**Simboura N. & Zenetos A., 2002.** Benthic indicators to use in Ecological Quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new Biotic Index. *Mediterranean Marine Science*, **3** (2): 77-111.

**Smale D. A., Wernberg T., Oliver E. C. J., Thomsen M., Harvey B. P., Straub S. C., Burrows M.T., Alexander L.V., Benthuyssen J.A., Donat., M.G. Feng M., Hobday A.J., Holbrook N.J., Perkins-Kirkpatrick S.E., Scannell H.A., Gupta A.S., Payne B.L. & Moore P.J., 2019.** Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change*, **9**(4): 306-312.

**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, 218p.

**Snani M., Meghlaoui Z., 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 Studies*, **3** (3): 249-25.

- Solis-Weiss V., Aleffi F., Bettoso N., Rossin P., Orel G. & Fonda-Umani S., 2004.** Effects of industrial and urban pollution on the benthic macrofauna in the Bay of Muggia (industrial port of Trieste, Italy). *Science of the Total Environment*, **328** (1): 247-263.
- Soltani N., Amira A., Sifi K. & Beldi H., 2012.** Environmental monitoring of the Annaba gulf (Algeria): Measurement of biomarkers in *Donax trunculus* and metallic pollution. *Bull. Soc. zool. Fr*, **137** (1-4): 51-60.
- Srivastava P. K. & Anand, A., 2014.** Immobilization of acid phosphatase from *Vigna aconitifolia* seeds on chitosan beads and its characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, **64**: 150-154.
- Stauber J. L. & Florence T. M. 1989.** The effect of culture medium on metal toxicity to the marine diatom *Nitzschia closterium* and the freshwater green alga *Chlorella pyrenoidosa*. *Wat. Res.* **23**: 907-911.
- Stegeman J.J., Brouwer M., Di Giulio R.T., Förlin L., Fowler B.A., Sanders B.M. & Van Veld P.A., 1992.** Molecular responses to environmental contamination: enzyme and protein systems as indicators of chemical exposure and effect. in "Biomarkers: biochemical, physiological and histological markers of anthropogenic stress".. Huggett, R.K. Mehrle P & Bergman H. (Eds.). Boca Raton, FL, Lewis: 235-335.
- Strong J.A., Andonegi E., Bizsel, K.C., Danovaro R., Elliott M., Franco A., Garces E., Little S., Mazik K., Moncheva S.f., Papadopoulou N.g., Patrício J., Queiros A.M., Smith C., Stefanova K. & Solaun O., 2015.** Marine biodiversity and ecosystem function relationships: The potential for practical monitoring applications. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **161**: 46-64.
- 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** (3): 153-163.
- 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.
- Sun L., Wang L., Zheng Z. & Liu., 2018.** Identification and characterization of an *Arabidopsis phosphate* starvation-induced secreted acid phosphatase as a vegetative storage protein. *Plant Science*, **277**: 278-284.
- Tansley A. G., 1935.** The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology* **16** (3): 284-307.
- Taş E.Ç., Ergen Z. & Sunlu U., 2019.** *Diopatra neapolitana* (Delle Chiaje, 1841)'da ve Yaşadığı Sedimentte Cd, Cu, Zn, Pb, Cr, Fe Düzeylerinin Araştırılması. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **6** (10): 1493-1500.

**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.

**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 (22)**: 4673-4680.

**Tim-Tim A.L.S., Morgado F., Moreira S., Rangel R., Nogueira A.J.A., Soares, A.M.V.M. & Guilhermino L., 2009.** Cholinesterase and glutathione S-transferase activities of three mollusc species from the NW Portuguese coast in relation to the 'Prestige' oil spill. *Chemosphere*, **77**: 1465-1475.

**Torres-Gavila F.J., 2008.** Estudio faunístico, ecológico y ambiental de La fauna de Anélidos poliquetos de substratos sueltos de Las Islas Chafarinas (Mar de Alboran, SW. Mediterráneo). Tesis Doctoral, Valencia, 695p.

**Toubal O., Boussehaba A., Toubal A. & Samraoui B., 2014.** Biodiversité méditerranéenne et changements globaux : cas du complexe de zones humides de Guerbès-Senhadja (Algérie). *Géographie Physique et Environnement*, **8**: 273-295.

**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 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 Chemistry*, **21**: 327-333.

**Turkeian k.K. & Wedepohl K. H., 1961.** Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Geological Society of America Bulletin*, **72 (2)**: 175-192.

**Turkmen A., Turkmen M., Tepe Y. & Akyurt I., 2005.** Heavy metals in three commercially valuable fish species from Iskenderun Bay, Northern East Mediterranean Sea, Turkey. *Food Chemistry*, **91**: 167-172.

UNEP/MAP, 2012. United nations environment programme / Mediterranean action plan report Barcelona convention, Athens. In : **Mandalakis M., Polymenakou P.N., Tselepidis, A. & Lampadariou N., 2014.** Distribution of aliphatic hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorinated pollutants in deep-sea sediments of the Southern Cretan margin, eastern Mediterranean sea : a baseline assessment. *Chemosphere*, **106**: 28 – 35.

**UNEP/MAP., 2015.** Marine Litter Assessment in the Mediterranean. *UNEP/MAP, Athens, Greece*.

**UNEP/MAP, 2012.** State of the Mediterranean marine and coastal environment. United Nations Environment Programme/Mediterranean Action Plan report, Barcelona Convention, Athens.



**Valvassori G., Benedetti M., Regoli F. & Gambi M.C., 2019.** Antioxidant Efficiency of *Platynereis spp.* (Annelida, Nereididae) under Different pH Conditions at a CO<sub>2</sub> Vent's System. *Journal of Marine Biology*, 1-9.

**van der Oost R., Beyer J. & Vermeulen N.P., 2003.** Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **13**: 57-149.

**van der Oost R., Porte-Visa C. & van den Brink P.J., 2005.** Biomarkers in environmental assessment, in: **den Besten P.J., Munawar M. (Eds.)**, *Ecotoxicological Testing of Marine and Freshwater Ecosystems: Emerging Techniques, Trends, and Strategies*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 87-137.

**Vasseur P. & Cossu-Leguille C., 2003.** Biomarkers and community indices as complementary tools for environmental safety. *Environment International*, **28**: 711-717.

**Véla E., 2017.** De l'inventaire de la biodiversité aux priorités de conservation dans le hotspot du bassin méditerranéen : peut-on combler les déficits de connaissance ?. Mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université de Montpellier, 65p.

**Viarengo A., Lowe D., Bolognesi C., Fabbri E. & Koehler A., 2007.** The use of biomarkers in biomonitoring: A2-tier approach assessing the level of pollutant-induced stress syndrome in sentinel organisms. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: *Toxicology & Pharmacology*, **146**: 281-300.

**Vignieri S. & Fahrenkamp-Uppenbrink J., 2017.** Ecosystem Earth. *Science*, **356 (6335)**: 258-259.

**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.

**Vo V.D., 2017.** Gestion de la biodiversité et traçabilité dans la chaîne d'approvisionnement. Thèse de Doctorat en Sciences de gestion. Université Paris Nanterre, 304p.

**Walsh A., 1955.** The application of atomic absorption spectra to chemical analysis. *Spectrochimica Acta*, **7**: 108-117.

**Wang Z., Leung K. M. Y., Li X., Zhang T. & Qiu J.W., 2017.** Macrobenthic communities in Hong Kong waters: Comparison between 2001 and 2012 and potential link to pollution control. *Marine Pollution Bulletin*, **124 (2)**: 694-700.

**Ware G. W., 2000.** Reviews of environmental contamination and toxicology. *Springer.*, **165**: 1-169.

**Waring J. & Maher, W., 2005.** Arsenic bioaccumulation and species in marine Polychaeta. *Applied Organometallic Chemistry.*, **19**: 917-929.

**Warwick R.M. & Pearson T.H., 1987.** Detection of pollution effects on marine macrobenthos: further evaluation of the species abundance/biomass method. *Marine Biology*, **95**: 193-200.

**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)*.

**Wattiaux R. & De Duve C., 1956.** Tissue fractionation studies. VII. Release of bound hydrolases by means of Triton X-100. *Biochemical Journal*, **63**: 606-608.

**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.

**Widdicombe S., Austen M. C., Kendall M. A., Olsford F., Schaanning M. T., Dashfield S. L. & Needham H.R., 2004.** Importance of bioturbators for biodiversity maintenance, indirect effects of fishing disturbance. *Marine Ecology Progress Series*, **275**: 1-10.

**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.

**Williams D.D. & Smith M.R., 1996.** Colonization dynamics of river benthos in response to local changes in bed characteristics. *Freshwater Biology*, **36**: 237-248.

**Winnepenninckx B., Backeljau T. & De Wachter R., 1993.** Extraction of high molecular weight DNA from molluscs. *Trends Genetics*, **9**: 407.

**Wirgin I. & Waldman J.R., 2004.** Resistance to contaminants in North American fish populations. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, **552**: 73-100.

**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.

**Wu B. L., Sun R. P. & Yang D. J., 1985.** Nereididae (Polychaetous Annelids) of the Chinese coast. *China Ocean press Beijing Springer Verlag Berlin*, 234p.

**Wu Y., Lu X., Zhuang S., Han X. & Zhou Y., 2016.** Contamination Characteristics and Assessment of Manganese, Zinc, Chrome, Lead, Copper and Nickel in Bus Station Dusts of Xifeng, *Northwest China*, 1-13.

**Wyllie A. H., Kerr J. R. & Currie A. R. 1980.** Cell death: the significance of apoptosis. *International review of cytology*, **68**: 251-306.

**Xiu M., Pan L. & Jin Q., 2016.** Toxic effects upon exposure to polycyclic aromatic hydrocarbon (chrysene) in scallop *Chlamys farreri* during the reproduction period. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **44**: 75-83.

**Yang H., Yao X., Tang F., Wei Y., Hua J. & Peng S., 2018.** Characterization of female germline stem cells from adult mouse ovaries and the role of rapamycin on them. *Cytotechnology*, **70** (2): 843-854.

**Yeung J.W.Y., Zhou G.J. & Leung K.M., 2017.** Spatiotemporal variations in metal accumulation, RNA/DNA ratio and energy reserve in *Perna viridis* transplanted along a marine pollution gradient in Hong Kong, *Marine Pollution Bulletin*, **124** (2): 736-742.

**Young H.S., McCauley D.J., Galetti M. & Dirzo R., 2016.** Patterns, causes, and consequences of Anthropocene defaunation. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **47**: 333-358.

**Younsi M., 2014.** Etude biologique de deux espèces de Polychètes Nereididae du littoral Est Algérien et analyse comparative : biogéographique, morphométrique et biochimique. Thèse présentée pour l'obtention du grade de doctorat en biologie, Université Badji Mokhtar Annaba, 171p.

**Younsi M., Daas T., Daas O. & Scaps P., 2010.** «Polychaetes of commercial interest from the Mediterranean East Coast of Algeria», *Mediterranean Marine Science*, **11**: 185-187.

**Yousef S., Rahimian H., Nabavi S.M.B. & Glasby C., 2011.** Nereididae (Annelida: Polychaeta) from intertidal habitats in the Gulf of Oman, Iran. *Zootaxa*, **3013**: 48-64.

**Yuan H. & Yamashita Y.M., 2010.** Germline stem cells: Stems of the next generation. *Current Opinion in Cell Biology*, **22**: 730-736.

**Zaâbi S., Gillet P., Chambers S., Afli A. & Boumaiza M., 2012.** Inventory and new records of polychaete species from the Cap Bon Peninsula, north-east coast of Tunisia, Western Mediterranean Sea. *Mediterranean Marine Science*, **13** (1): 36-48.

**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, Université de Carthage, Faculté des Sciences de Bizerte, 493p.

**Zeghdoudi F., Tandjir L., Ouali N. & Rachedi, M. 2018.** Evaluation of four metals (Cd, Pb, Zn and Cu) contamination in the superficial sediment and in salema, *Sarpa salpa* caught in the Gulf of Skikda (Mediterranean coast, East of Algeria). *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, **11**(4): 1311-1322.

**Zghal F. & Ben Amor Z., 1989.** Sur la présence en Méditerranée de la race épitoque de *Perinereis cultrifera* (Polychète). *Archives de l'Institut de Pasteur Tunis*, **66**: 293-301.

**Zhengyi Q., Ning L., Weidan N. & Xingguang S., 2018.** A novel fluorescence “turn off-on” nanosensor for sensitivity detection acid phosphatase and inhibitor based on glutathione efunctionalized graphene quantum dots. *The international journal of Pure and Applied Analytical Chemistry*, **19023**: 1-23.

**Zribi S., Zghal F. & Tekaya S., 2007.** Ovogenèse de *Perinereis macropus* Claparède 1870 (Annélide, Polychète) dans le golfe de Gabès (Tunisie). *Comptes Rendus. Biologies*, **330**: 199-204.

**Zribi S., Zghal F. & Tekaya S., 2007.** Ovogenèse de *Perinereis macropus* Claparède 1870 (Annélide, Polychète) dans le golfe de Gabès (Tunisie). *Comptes Rendus. Biologies*, **330**: 199-204.

# ANNEXES