



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة باجي مختار-عنابة  
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR ANNABA

FACULTÉ DES SCIENCES  
DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE  
LABORATOIRE DE BIOLOGIE ANIMALE APPLIQUÉE

Thèse en vue de l'obtention d'un Diplôme de Doctorat en Sciences

**Spécialité : Biologie Animale**

**Intitulé**

**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 »**

**Présentée par**

**M<sup>lle</sup> Hind GASMI**

**Devant un jury composé de :**

<b>Pr. N. SOLTANI</b>	<b>Président</b>	<b>Université Badji Mokhtar - Annaba</b>
<b>Pr. O. DAAS-MAAMCHA</b>	<b>Directeur de thèse</b>	<b>Université Badji Mokhtar - Annaba</b>
<b>Pr. M. HOUHAMDI</b>	<b>Examineur</b>	<b>Université 08 Mai 1945 - Guelma</b>
<b>Dr. N. ZAIDI</b>	<b>Examineur</b>	<b>Université 20 Août 1954 - Skikda</b>
<b>Dr. N. KOUACHI</b>	<b>Examineur</b>	<b>Université M-C-M - Souk Ahras</b>
<b>Dr. K. SIFI</b>	<b>Examineur</b>	<b>Université Badji Mokhtar - Annaba</b>

**Année universitaire : 2017/2018**

## **Remerciements**

Avant tout je remercie Dieu qui m'a éclairé le chemin, et m'a donné le courage pour réaliser ce travail.

Je remercie très vivement Mr **N. SOLTANI** (Professeur au département de Biologie), qui a bien voulu accepter d'être le président de ce jury, qu'il veuille accepter mon plus profond respect, et mes sincères remerciements.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et gratitude à Mme **O. DAAS** (Professeur au département de Biologie), directrice de ce travail, pour sa disponibilité, son encouragement, son soutien, sa compréhension et ses conseils, sans qui, ce travail n'existerait tout simplement pas.

Je remercie très particulièrement Mr **M. HOUHAMDI** (Professeur à l'Université du 08 Mai 1945- GUELMA), qu'il veuille accepter ma sincère gratitude, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire partie de ce jury et d'examiner ce travail.

Je remercie très vivement le Docteur **N. ZAIDI** (Maître de conférences à l'Université du 20 Août 1954 - SKIKDA), qu'elle veuille accepter mon respect et ma sincère gratitude pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Je tiens également à exprimer ma gratitude au Docteur **N. KOUACHI** (Maître de conférences à l'Université de Mohamed-Chérif Messaadia - SOUK AHRAS), pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de participer à ce jury et d'examiner ce travail.

J'adresse mes remerciements particuliers au Docteur **K. SIFI** (Maître de conférences à l'Université de Badji Mokhtar - ANNABA), qu'elle veuille accepter ma sincère gratitude pour avoir accepté de juger ce travail.

Mes plus vifs remerciements, et mon plus profond respect vont à Mr **T. DAAS** (Professeur au département de Biologie), pour son soutien permanent, sa patience, et son aide très précieuse pour surmonter les difficultés de ce travail.

J'exprime ma profonde reconnaissance aux personnes, qui m'ont aidé à finaliser ce travail, qu'ils veuillent accepter mon plus profond respect, et mes sincères remerciements :

Le Pr **N. SOLTANI-MAZOUNI**, Laboratoire de Biologie Animale Appliquée au département de biologie, Université Badji Moktar- ANNABA.

Le Pr **A. BENMOUNAH**, Directeur de l'unité de recherche de matériaux, procédés et environnement au département de génie des matériaux, Université M'hamad Bougara- BOUMERDES.

Le Pr **B. KEBBABI**, Directeur du Laboratoire de traitement des eaux au département de chimie, Université Mentouri - CONSTANTINE.

Le Docteur **H. KEBBABI-BOUGHRARA**, Membre du Laboratoire de traitement des eaux au département de chimie, Université Mentouri - CONSTANTINE.

Je tiens ici à exprimer ma sympathie et ma reconnaissance à toutes les techniciennes des laboratoires, et à tous ceux qui m'ont aidé d'une manière ou d'une autre.



# SOMMAIRE

<b>1- INTRODUCTION</b> .....	1
<b>2- MATÉRIEL ET MÉTHODES</b> .....	11
2-1- Analyse écologique .....	11
2-1-1- Présentation de la mer méditerranée .....	11
2-1-2- Choix, localisation et présentation des sites d'étude .....	12
2-1-2-1- Stations choisies de Skikda .....	13
2-1-2-2- Stations choisies de Collo .....	13
2-1-3- Paramètres physico-chimiques .....	14
2-1-3-1- Paramètres physico-chimiques de l'eau de mer .....	14
2-1-3-2- Paramètres physico-chimiques du sédiment .....	15
2-1-3-3- Analyse des éléments chimiques et des éléments traces métalliques .....	16
2-1-4- Méthode d'échantillonnage et tri de la récolte .....	21
2-1-5- Biodiversité, inventaire et indices écologiques.....	22
2-2- Analyse biologique .....	24
2-2-1- Présentation des matériels biologiques .....	24
2-2-1-1- Morphologie externe.....	25
2-2-1-2- Anatomie interne .....	28
2-2-2- Description et traits d'identification .....	29
2-2-3- Morphologie comparative entre les deux espèces .....	32
2-2-4- Autotomie et régénération .....	34
2-2-5- Reproduction .....	35
2-2-5-1- Ovogenèse chez <i>P. cultrifera</i> .....	36
2-2-5-2- Ovogenèse chez <i>P. macropus</i> .....	39
2-2-6- Cycle de développement .....	41
2-2-7- Choix des espèces .....	42
2-2-8- Différenciation sexuelle .....	43
2-2-9- Paramètres morphométriques .....	44
2-2-10- Cycle ovogénétique .....	44
2-3- Analyse immunologique.....	45

2-4- Analyse écotoxicologique .....	50
2-4-1- Préparation des échantillons préalable au dosage .....	52
2-4-2- Évaluation de l'activité enzymatique de la Glutathion S-transférase .....	52
2-4-3- Dosage du Malondialdéhyde (MDA) .....	55
2-4-4- Dosage des protéines dans les homogénats .....	57
2-5- Analyse statistique .....	58
<b>3- RÉSULTATS</b> .....	<b>59</b>
3-1- Analyse physico-chimique de l'eau de mer .....	59
3-2- Analyse physico-chimique du sédiment .....	64
3-3- Analyse des éléments chimiques et des éléments traces métalliques .....	70
3-3-1- Au niveau de l'eau de mer .....	70
3-3-2- Au niveau du sédiment .....	75
3-3-3- Au niveau des tissus (organisme) .....	91
3-4- Biodiversité, inventaire et indices écologiques .....	107
3-4-1- Inventaire des espèces identifiées .....	107
3-4-2- Indices de biodiversité .....	150
3-4-2-1- Descripteurs statistiques .....	150
3-4-2-2- Indices écologiques .....	154
3-5- Évolution de l'état sexuel .....	155
3-6- Variations des paramètres morphométriques .....	160
3-6-1- Évolutions mensuelles de la longueur L <sub>3</sub> .....	160
3-6- 2- Évolutions mensuelles du poids frais .....	170
3-6-3- Variations des relations poids-taille .....	179
3-7- Évolutions mensuelles de la croissance ovocytaire .....	182
3-8- Identification des cellules immunitaires dans le liquide cœlomique .....	191
3-9- Analyse des biomarqueurs du stress .....	196
3-9-1- Variations de l'activité enzymatique de la GST chez <i>P. cultrifera</i> .....	197
3-9-2- Variations du taux du Malondialdéhyde (MDA) chez <i>P. cultrifera</i> .....	199
<b>4- DISCUSSION</b> .....	<b>201</b>
4-1- Paramètres physico-chimiques de l'eau de mer .....	201

4-2- Paramètres physico-chimiques du sédiment .....	206
4-3- Évaluation du niveau de contamination par les ETM .....	208
4-4- Évaluation de la biodiversité des différentes stations d'étude .....	223
4-5- Effet de la pollution sur la croissance .....	227
4-6- Effet de la pollution sur la reproduction .....	231
4-7- Identification des cellules immunitaires du liquide cœlomique .....	237
4-8- Effet de la pollution sur les biomarqueurs de stress .....	240
<b>5- CONCLUSION</b> .....	<b>245</b>
<b>RÉSUMÉS (Français, Arabe, Anglais)</b> .....	<b>250</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>259</b>

## Liste des Figures

Figure	Titre	Page
1	La mer méditerranée : principales régions biogéographiques (Coll <i>et al.</i> , 2012).	11
2	Localisation géographique des sites d'étude sur le littoral Est Algérien (Google Earth).	14
3	Schéma montrant l'aspect général du corps d'un Nereididea (A) (in Younsi, 2014) ; le détail de la région céphalique d'un <i>Nereis sp.</i> , face dorsale (B) et face ventrale (C) (in Fontaine, 2006).	26
4	Présentation des différentes parties du corps des deux espèces : <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>P. macropus</i> : Vue dorsale de la totalité 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) ; Vue ventrale du pygidium (E) ; Mâchoire dentelée (F).</li> <li>• <i>P. cultrifera</i> : Vue dorsale de la totalité du corps (G) ; Vue dorsale de la partie céphalique (H) ; Vue ventrale de la partie céphalique (I) ; succession de métamères identiques formant la région du corps, chacun porte une paire de parapodes (J) ; Vue dorsal du pygidium (K) ; Vue dorsale des détails de la tête (L).</li> </ul> Abréviations : quatre paires de Cirres Tentaculaires (CT), Palpes biarticulées (Pa), Pygidium (Py), Cirres Pygidials (CP), paire d'Antennes (A), quatre Yeux (Y).	27
5	Coupe transversale d'un métamère du corps de <i>P. cultrifera</i> , Schéma explicatif (in Younsi, 2014) (A) ; observation sous loupe binoculaire (B). Abréviations : Cirre dorsal (CD), Cirre ventral (CV), Parapode (P).	28
6	Taxonomie et identification des Annélides Polychètes (Fauvel, 1923 ; Imajima & Gamô, 1970) : <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>P. cultrifera</i> : partie antérieure du corps (A), répartition des paragnathes sur la face dorsale (B), et sur la face ventrale (C), parapodes uniramés (D), parapodes biramés (E).</li> <li>• <i>P. macropus</i> : répartition des paragnathes sur la face dorsale (F), parapode biramé de la partie antérieure (G), parapode biramé de la partie moyenne (H), parapode biramé de la partie postérieure (I), soie chitineuse en arête homogomphe (J), en arête hétérogomphe (K), et en serpe hétérogomphe (L).</li> </ul>	30

Figure	Titre	Page
7	Présentation montrant l'identification des deux espèces par examen des paragnathes : <i>P. macropus</i> (A à C) ; <i>P. cultrifera</i> (D à F) ; en plus de celui des soies en arête au niveau du notopode, et celles en arête et en serpe au niveau du neuropode ( <i>P. cultrifera</i> , ♂) (G) ; zoom des soies : en arête homogomphe (flèche), en arête hétérogomphe (cercles) ; en serpe hétérogomphe (flèches pointillées) (H, I). Abréviations : anneau Maxillaire (M), anneau Oral (O) ; Notochaeta (NtC) ; Neurochaeta (NrC) ; Amas spermatique (As).	31
8	Présentations montrant les différences morphologiques entre les deux espèces : aspect général de la face ventrale montrant la tête dévaginée, ainsi que la succession des métamères (A) ; <i>P. cultrifera</i> avec une forme homogène des parapodes le long du corps (B, C) ; <i>P. macropus</i> avec une forme modifiée des parapodes au niveau de la partie postérieure (D à F) ; Parapode biramée chez <i>P. cultrifera</i> (G) ; Parapode biramée de la partie antérieure chez <i>P. macropus</i> (H) ; Parapode biramée de la partie postérieure chez <i>P. macropus</i> (I). Abréviations : Cirre Dorsal (CD) ; Lobe Dorsal Notopodial (LDNt) ; Notochaeta (NtC) ; Lobe Ventral Notopodial (LVNt) ; Neurochaeta (NrC) ; Lobe Ventral Neuropodial (LVNr) ; Cirre Ventral (CV).	33
9	Présentation montrant la différence entre la longueur totale du corps de deux individus <i>P. macropus</i> causée par autotomie indiquant une partie déjà régénérée (A), début de la régénération au niveau de la partie médiane du corps (B), zoom de la partie régénérée (C).	34
10	Représentation schématique des différents stades de l'ovogenèse chez <i>P. cultrifera</i> (Porchet, 1974) montrant la correspondance avec : l'augmentation de la taille des ovocytes (en relation avec les inclusions métaboliques) (A) ; et celle avec les changements cytotologiques ultrastructurale et biochimique : Jeunes ovocytes en phase de vitellogenèse (A) ; Ovocytes en corticogenèse (C) ; ovocytes en maturité (D). Abréviations : Enveloppe Ovocytaire (EO) ; Mitochondrie (Mit) ; Enclaves Lipidiques (EL) ; Globules Vitellins (GV) ; Nucléole (Nu) ; Noyau (N) ; Face Proximale du dictyosome (FP) ; Vésicule Golgienne (VG) ; Glycogène Particulaire (GP) ; Alvéoles Corticaux (AC) ; Microvillosités (mV) ; Chorion (Ch) ; Couche Muqueuse (CM).	38
11	Présentation des modifications caractéristiques de l'épitoquie chez <i>P. macropus</i> en période de reproduction : le changement de la couleur du corps (A) ; la modification morphologique des parapodes (flèche) (B) ; début de la région de modification (flèche) et yeux élargies (C) ; zoom du début de changement (flèche) (D) ; section longitudinale au niveau d'un parapode modifié (E) ; soies hétéronereidiennes en lamelles (F). Abréviations : Lamelle Cirre Dorsal (LLCD) ; Lamelle Post-chaetal Notopodiale (LPNO) ; Noto-Acicule (NtAc) ; Lamelle Post-chaetal Neuropodiale (LLPN) ; Neuro-Acicule (NrAc) ; Lamelle Cirre Ventral (LLCV).	40

Figure	Titre	Page
12	Cycle de vie chez <i>Perinereis</i> (in Rouabah, 2003).	42
13	Différenciation entre les deux sexes par visualisation des cellules germinales, amas spermatiques chez <i>Perinereis macropus</i> (A, B), et ovocytes chez <i>Perinereis cultrifera</i> (C à E).	44
14	Représentation des différentes étapes de la préparation, et la coloration des échantillons du liquide coelomique destinés à l'identification des cellules immunitaires, selon les techniques de coloration au Giemsa, rouge neutre, May-Grünwald Giemsa (protocoles d'après Matozzo & Marin (2010)), et au kit Frottis (protocole d'après le manuel d'instructions).	49
15	Extraction et dosage de la glutathion S-transférase selon Habig <i>et al</i> (1974) ; dosage des protéines selon Bradford (1976).	54
16	Extraction et dosage du Malondialdéhyde selon Draper & Hadley (1990) ; dosage des protéines selon Bradford (1976).	56
17	Variations saisonnières de la température (C°) de l'eau de mer prélevée des quatre stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014.	59
18	Variations saisonnières de la salinité (mg/l) de l'eau de mer prélevée des quatre stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et l'Été de l'année 2013-2014.	60
19	Variations saisonnières de la concentration en oxygène dissout (mg/l) de l'eau de mer prélevée des quatre stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014.	61
20	Variations saisonnières du pH de l'eau de mer prélevée à partir des quatre stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014.	62
21	Variations saisonnières des différentes fractions granulométriques (%) du sédiment prélevé au niveau des stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014.	67
22	Variations saisonnières du pH du sédiment prélevé au niveau des stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014.	69

Figure	Titre	Page
23	Représentation en (%) de l'analyse quantitative en éléments chimiques et ETM (mg/l) de l'eau de mer prélevée au niveau de Ben Zouit (A) et Tamanart (B) (Collo), l'Îlot (C) et Bikini (D) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	72
24	Concentrations en éléments chimiques, y compris ceux métalliques non toxiques (groupe A) (mg/l) présents au niveau de l'eau de mer prélevée de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), l'Îlot (Îl) et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	73
25	Représentation en (%) de l'analyse quantitative en éléments chimiques et ETM ( $\mu\text{g/g}$ ) du sédiment prélevé au niveau de Ben Zouit (A) et Tamanart (B) (Collo) Bikini (C) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	77
26	Concentrations en éléments chimiques majeurs non métalliques ( $\mu\text{g/g}$ ) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	79
27	Concentrations en éléments métalliques majeurs non toxiques (groupe A) ainsi que celle en <b>Ti</b> toxique (groupe C) ( $\mu\text{g/g}$ ) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	80
28	Concentrations en ETM non toxiques (groupe A) ( $\mu\text{g/g}$ ) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	81
29	Concentrations en ETM très toxiques (groupe B) ( $\mu\text{g/g}$ ) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	82
30	Concentrations en ETM toxiques (groupe C) ( $\mu\text{g/g}$ ) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	83
31	Concentrations en Vanadium et Yttrium ( $\mu\text{g/g}$ ) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	83
32	Facteur d'enrichissement en éléments métalliques majeurs non toxique (groupe A), ainsi que celui en <b>Ti</b> toxique (groupe C) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	87
33	Facteur d'enrichissement en ETM non toxiques (groupe A) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	88
34	Facteur d'enrichissement en ETM très toxiques (groupe B) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	89
35	Facteur d'enrichissement en ETM toxiques (groupe C) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	90

Figure	Titre	Page
36	Facteur d'enrichissement en ETM (Vanadium et Yttrium) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	90
37	Représentation en (%) de l'analyse quantitative en éléments chimiques et ETM ( $\mu\text{g/g}$ de tissu) chez <i>P. cultrifera</i> récoltée de Ben Zouit (A) et Tamanart (B) (Collo), Bikini (C) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	94
38	Représentation en (%) de l'analyse quantitative en éléments chimiques et ETM ( $\mu\text{g/g}$ de tissu) chez <i>P. macropus</i> récoltée de Ben Zouit (Collo) durant le mois de Juin 2016.	95
39	Concentrations en éléments majeurs, y compris ceux métalliques non toxiques (groupe A) ( $\mu\text{g/g}$ de tissu) chez <i>P. cultrifera</i> (Pc) et <i>P. macropus</i> (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	97
40	Concentrations en éléments métalliques moins abondants non toxiques (groupe A) ( $\mu\text{g/g}$ de tissu) chez <i>P. cultrifera</i> (Pc) et <i>P. macropus</i> (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	98
41	Concentrations en éléments métalliques moins abondants et très toxiques (groupe B) ( $\mu\text{g/g}$ de tissu) chez <i>P. cultrifera</i> (Pc) et <i>P. macropus</i> (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	99
42	Concentrations en éléments métalliques moins abondants et toxiques (groupe C) ( $\mu\text{g/g}$ de tissu) chez <i>P. cultrifera</i> (Pc) et <i>P. macropus</i> (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	99
43	Concentrations en Cs ( $\mu\text{g/g}$ de tissu) chez <i>P. cultrifera</i> (Pc) et <i>P. macropus</i> (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	100
44	Concentrations en P, Br et Eu ( $\mu\text{g/g}$ de tissu) chez <i>P. cultrifera</i> (Pc) et <i>P. macropus</i> (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	100
45	Facteurs de bioaccumulation en éléments métalliques abondants et non toxique (A) au niveau des tissus de <i>P. cultrifera</i> (Pc) et <i>P. macropus</i> (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	103
46	Facteurs de bioaccumulation en éléments métalliques moins abondants et non toxiques (A) au niveau des tissus de <i>P. cultrifera</i> (Pc) et <i>P. macropus</i> (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016 (suite).	104

Figure	Titre	Page
47	Facteurs de bioaccumulation en éléments métalliques et très toxiques (B) au niveau des tissus <i>P. cultrifera</i> (Pc) et <i>P. macropus</i> (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	105
48	Facteurs de bioaccumulation en éléments métalliques et toxiques (C) au niveau des tissus de <i>P. cultrifera</i> (Pc) et <i>P. macropus</i> (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	106
49	Facteurs de bioaccumulation en Y au niveau des tissus de <i>P. cultrifera</i> (Pc) et <i>P. macropus</i> (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	106
50	<i>Pereinereis cultrifera</i> : Aspect général dorsal (A) ; Faces dorsales (B, D) et faces ventrales (C, E), de la trompe des spécimens couramment trouvés ; faces dorsale et ventrale d'un spécimen avec des paragnathes semi fins (F, G).	107
51	<i>Pereinereis macropus</i> : Aspect général dorsal (A) ; Face dorsale (B) et ventrale (C), de la trompe des spécimens couramment trouvés ; faces dorsales d'autres spécimens aussi trouvés (D à G).	108
52	<i>Perinereis oliveira</i> : Faces dorsales (A), vue du haut antérieure (B), et face ventrale (C).	108
53	<i>Nereis falsa</i> : Aspect général dorsal (A) ; Faces dorsale (B, D) et ventrale (C, E) de la trompe.	109
54	<i>Platynereis dumerelii</i> : Aspect général dorsal (A) ; spécimens à l'intérieur des tubes de mucus (B, C) ; Faces dorsale (D) et ventrale (E) de la trompe.	109
55	<i>Eullalia sp</i> : Aspect général dorsal (A à C) ; zoom de la trompe extroversée (D).	110
56	<i>Lepidonotus clava</i> : Faces dorsale et ventrale (A, B) ; la tête (C) ; élytre (D) ; le pygidium avec les urites (E).	110
57	Espèce de Syllidae : Aspect général dorsal (A) ; la tête (B) ; zoom de la tête sous microscope (C, D).	111
58	Espèce de Terebellidae : Aspect général dorsal (A, B) ; détails de la tête montrant les filaments tentaculaires (flèches) en plus des branchies (flèches pointillées) (C, D).	111
59	Espèce de Cirratulidae : Aspect général dorsal (A) ; zooms des régions antérieure (B) montrant les filaments tentaculaires ainsi que les branchies (ayant le même aspect et ne se distinguent que par la présence de vaisseaux sanguins pour les branchies) ; détail des crochets (C).	112
60	Espèce de Sabellidae : Aspect général avec et sans tube (A à C) ; panache branchiale (D).	112

Figure	Titre	Page
61	<i>Lysidice sp</i> : Aspect général (A) ; vue dorsale de la partie antérieure montrant le prostomium bilobé (B) ; celle de la partie antérieure montrant les yeux, ainsi que la mâchoire supérieure (C) ; vue ventrale de la partie antérieure montrant l'armature buccale composée d'un labre (mâchoire inférieure blanche), et d'une mâchoire supérieure noire, formée de deux pièces paires (D).	113
62	Espèce de Lumbrinereidae : Aspect général (A) ; vue dorsale de la partie antérieure montrant les yeux (cercle), ainsi que la partie postérieure montrant les urites (flèche) (B) ; vue ventrale des deux parties antérieure et postérieure (C) ; zoom du prostomium conique, et des quatre yeux en rangé transversale (cercle) (D) ; forme des parapodes bilobés dont l'antérieur est plus court que le postérieur (E).	113
63	<i>Stramonita haemastoma</i> : Aspect général des adultes (A) ; aspect général des jeunes individus montrant la différence de la couleur, et des sculptures (B, C) ; vue ventrale montrant la forme, la sculpture et la couleur de l'ouverture (D) ; vue ventrale montrant la présence de l'opercule, et une partie saillante du pied de l'animal (E).	114
64	<i>Echinolittorina punctata</i> : Aspect général (A à C) ; vue ventrale montrant la présence de l'opercule (D).	114
65	<i>Melarhappe neritoides</i> : Aspect général montrant la différence avec <i>Echinolittorina punctata</i> , souvent associée avec (A) ; zoom de la coquille (B, C) ; vue ventrale montrant la présence de l'opercule (D).	115
66	<i>Gibbula sp</i> : Aspects dorsal et ventral (A, B) ; différentes vues de la face dorsale (C, D) ; animal en mouvement montrant la tête et deux tentacules (flèches) (E) ; vue ventrale montrant la présence de l'opercule, et une partie du pied de l'animal (F).	115
67	<i>Patella rustica</i> : Aspect général des Patellidae (A) ; vue de la partie extérieure de <i>Patella rustica</i> montrant les sculptures et l'apex excentrique (B) ; vue de la partie intérieure montrant le pied de l'animal (C) ; vue de la partie intérieure de la coquille vide, montrant sa profondeur ses rayures très sombres, ainsi que l'animal (D).	116
68	<i>Patella vulgata</i> : Aspect général des Patellidae (A, B) ; vue de la partie extérieure de <i>Patella vulgata</i> montrant la forme, l'apex excentrique et les bords arrondis (C) ; vue de la partie intérieure montrant le pied de l'animal (D) ; vue de la partie intérieure de la coquille vide, montrant sa profondeur, ses rayures ainsi que la zone jaune-orange au centre (E).	116
69	<i>Siphonaria pectinata</i> : Aspect général de <i>Siphonaria pectinata</i> à coté de <i>Patella rustica</i> (A) ; différentes vues de la partie extérieure (B) ; vue de la partie intérieure montrant le pied de l'animal (C) ; vue de la partie intérieure de la coquille vide, montrant sa profondeur et ses rayures (D).	117

Figure	Titre	Page
70	<i>Diodora graeca</i> : Aspect général d'individus de différentes tailles (A) ; vue extérieure de la coquille à côté de l'animal (B) ; vue de la partie extérieure (C) ; vue de la partie intérieure de la coquille vide (D) ; vue de la partie ventrale montrant le pied de l'animal, sa bouche (flèche), et ses yeux à la base de ses tentacules (flèche pointillée) (E).	117
71	<i>Mytilus sp</i> : Aspect général d'individus de différentes tailles (A, B) ; vue de la partie extérieure (C) ; vue de la partie intérieure de la coquille (D) ; naissains attachés aux algues (E).	118
72	Espèce de Chitonida : Aspect général d'individus de différentes tailles (A, B) ; vue de la partie dorsale (C, E) ; vue de la partie ventrale de l'animal montrant l'orifice buccal (flèche) (D, F) ; zoom d'une touffe de soies (flèche pointillée) (G).	118
73	<i>Pachygrapsus marmoratus</i> : Aspect général d'individus de différentes tailles (A) ; vue de la partie dorsale (B) ; vue de la partie ventrale (C) ; zoom de la partie antérieure de l'animal montrant ses yeux (flèches) et ses pinces (cercle) (D).	119
74	<i>Pachygrapsus maurus</i> : Aspect général d'individus de différentes tailles (A) ; vue de la partie dorsale (B), zoom de de l'animal montrant les yeux (cercles) (C) ; zoom de la partie ventrale montrant les pinces (flèches) (D).	119
75	<i>Eriphia verrucosa</i> : Aspect général (individus délimité) (A) ; vue dorsale de l'animal montrant une paire de pinces (flèches) et quatre paires de péréiopodes (cercles) (B) ; vue dorsale de l'animal montrant ses yeux (cercles) (C) ; vue ventrale de l'animal (D).	120
76	Espèce de Majidae : Aspect général d'individus de différentes tailles (individus délimités) (A) ; vue dorsale de l'animal montrant les épines au niveau de la carapace (flèches et cercles) (B) ; celle montrant les yeux (flèches pointillées), une paire de pinces (flèches) et quatre paires de péréiopodes (cercle) (C) ; vue ventrale de l'animal (D).	120
77	Espèce de Paguridae : Aspect de différentes espèces de Mollusques (coquilles d'animaux morts de différentes tailles) colonisées à l'intérieur par les Paguridae (flèches), ainsi que par les Serpulidae au niveau de la face extérieure (flèches pointillées) (A à D) ; aspect de l'animal sans coquille (E, F) ; Vue dorsale (G), et ventrale (H) de la partie antérieure.	121
78	Espèce de Gammaridae : Aspect général (A, B) ; zoom d'un individu montrant les différentes parties du corps, ainsi que les antennes (cercle), un œil (flèche), les gnathopodes (flèches pointillées) (C).	121
79	Espèce de Caprellidae : Aspect général (A à D) ; zooms de quelques individus (B) montrant les différentes parties du corps, ainsi que le céphalon (flèche pointillée), les antennes (cercle) et les gnathopodes (flèches) (C) ; détail de la partie antérieure (D) ; et celle de la partie postérieure (E).	122

Figure	Titre	Page
80	Espèce d'Isopoda : Aspect général (A, B) ; vue dorsale montrant les yeux (flèches), et deux rames internes (C) ; vue latérale montrant un œil (flèche), les pattes (cercle pointillée), et deux rames externes (cercle) (D).	122
81	<i>Phascolosoma sp</i> : Aspect général de l'animal montrant un corps tubulaire (A) ; différentes vues montrant l'introvert (la trompe dévaginable) (flèche) qui porte à l'extrémité la bouche (flèche pointillée), ainsi que la partie caudale portant des papilles (cercle) (B à D).	123
82	<i>Aspidosiphon sp</i> : Aspect général de deux individus (flèches) à côté de <i>Phascolosoma sp</i> (A) ; différentes vues montrant l'introvert (flèches), les papilles préanales (flèches pointillées), et celles caudales (cercles) (B à D).	123
83	<i>Arbacia lixula</i> : Aspect général d'individus de différentes tailles (A) ; aspect aplati de la face ventrale (B) ; zoom de la face dorsale montrant ses piquants (C) ; zoom de la face dorsale montrant le test (D).	124
84	<i>Actinia equina</i> : Aspect général (A) ; vue dorsale montrant le disque oral semi fermé (B) ; vue ventrale montrant le pied (C) ; zoom de la couronne des tentacules rétractiles (D).	124
85	<i>Actinia sp</i> : Vue latérale montrant le disque oral et le pied (A, B, D) ; zoom du pied (C).	125
86	<i>Anemonia viridis</i> : Aspect général montrant la différence de la coloration (A, B) ; vue dorsale montrant les tentacules de couleur verte avec extrémités violettes (C) ; vue ventrale montrant le pied (D).	125
87	Espèce de Platyhelminthes : Aspect général de l'animal montrant le corps aplati et flexible, et les ocelles (cercles) (A, B).	126
88	Espèce de Nemertea : Aspect général (A à D) ; zoom de la partie antérieure (E).	126
89	<i>Corallina officinalis</i> : Aspect général (A) ; zoom montrant le thalle avec ses ramifications ainsi que leur forme (B) ; zooms des parties antérieure (C), et postérieure (D) montrant les intergenicula cylindriques (flèches) séparés par les genicula visibles (flèches pointillées), l'intergenicula apical trifurqué (cercles), ainsi que l'espace entre les branches latéraux.	130
90	<i>Corallina sp</i> : Aspect général (A) ; zoom montrant le thalle avec ses ramifications, ainsi que leur forme (B) ; zooms de la partie antérieure montrant la forme des intergenicula (flèche) séparés par les genicula visibles (flèche pointillée), l'intergenicula apical trifurqué (cercles), ainsi que l'espace entre les branches latéraux (C, D).	130
91	<i>Jania sp<sub>1</sub></i> : Aspect général sous différents grossissements (A, B) ; ramification du thalle avec des intergenicula sous forme de filaments cylindriques fins (C) ; zoom montrant les genicula visibles, ainsi que les apex des intergenicula (D).	131

Figure	Titre	Page
92	<i>Jania sp<sub>2</sub></i> : Aspect général sous différents grossissements (A, B) ; ramification du thalle avec des intergenicula sous forme de courts filaments cylindriques fins (c) ; zoom montrant la forme dichotome des apex des intergenicula (D).	131
93	<i>Amphiroa sp</i> : Aspect général sous différents grossissements (A à D) ; vue montrant la base d'attachement (flèche) (E) ; vue montrant l'apex des intergenicula (F).	132
94	<i>Lithophyllum byssoides</i> : Aspect général montrant le thalle attaché au substrat rocheux (A) ; vues de la face extérieure (B, E) ; vues de la face intérieure (D).	132
95	<i>Ceramium sp</i> : Aspect général (A) ; zoom montrant le thalle filamenteux et ses ramifications irrégulières, ainsi que l'apex fourchu en deux pointes caractéristique du genre <i>Ceramium</i> (B à D) ; zoom montrant les cils au niveau du thalle (E).	133
96	<i>Osmundea pinnatifida</i> : Aspect général (A, B) ; zooms montrant les axes ramifiés (C, D).	133
97	<i>Pyropira sp</i> : Aspect général au niveau du biotope (A) ; vue montrant l'algue fixée sur un mollusque gastéropode (B) ; zoom montrant le thalle sous forme de lame très minces avec des bords ondulés (C).	134
98	<i>Rissoella verruculosa</i> : Aspect général au niveau de son biotope montrant des frondes attachées au substrat rocheux (A) ; vue montrant les frondes reliés à une base (cercle), en plus de leurs aspect ondulé (B) ; zoom montrant la base d'attachement (C) ; zooms montrant ses bords ondulés et denticulés (D, E).	134
99	<i>Gelidium sp</i> : Aspect général (A, B) ; (B) ; vue montrant la ramification (C) ; zoom des ramifications (D).	135
100	<i>Nemalion sp</i> : Aspect général au niveau de son biotope attaché au substrat rocheux (A), et au niveau du laboratoire (B) ; vue montrant un filament arrondi (C) ; zoom montrant sa base d'attachement (D) ; zoom de sa pointe (E).	135
101	<i>Champia parvula</i> : Aspect général au niveau de son biotope (cercles) (A) zoom montrant la coloration iridescente (B) ; vue montrant plusieurs axes cylindriques ramifiés ou non attachés à une base (C) ; zoom montrant la forme segmentée des axes, sur lesquels on visualise des nodules (D)	136
102	<i>Caulerpa racemosa</i> : Aspect général (A à C) ; vue montrant le stolon (flèche noire) portant des axes cylindriques (cercle), recouverts de ramules (flèches vertes) (D) ; zoom montrant un des rhizoïdes répartis sur le stolon (flèche pointillée), par lesquels l'algue se fixe sur le substrat, en plus des ramules (E).	136
103	<i>Halimeda sp</i> : Aspect général montrant le thalle formé d'une succession de disques aplatis superposés (A, B) ; zooms du thalle (C, D).	137

Figure	Titre	Page
104	<i>Cladophora sp</i> : Aspect général sous forme d'une touffe composée de filaments fins (A à E) ; zoom d'un filament montrant ses ramifications (F).	137
105	<i>Chaetomorpha sp</i> : Aspect général au niveau de son biotope sur <i>Lithophyllum byssoides</i> (cercle) (A) ; vue montrant amas de filaments enchevêtrés (B, C) ; zooms montrant la forme cylindrique des filaments, en plus de leurs articulations (D, E).	138
106	<i>Parvocaulis parvulus</i> : aspect général montrant un disque rayé muni d'un pédoncule (A).	138
107	<i>Ulva lactuca</i> : Aspect général (A) ; vue montrant la base par laquelle l'algue se fixe sur le substrat (flèche) (B) ; vues montrant le thalle formé de lames aplatis et minces lobés et polymorphes dont les bords sont ondulés (C, D).	139
108	<i>Ulva compressa</i> : Aspect général (A, B) ; vue montrant la longueur des lames réunis à la base (C) ; vues montrant la base de fixation ; ainsi que les ondulations des lames (D, E).	139
109	<i>Ulva sp</i> : Aspect général d' <i>Ulva sp</i> fixée sur un mollusque gastéropode (A) ; différentes vues montrant le thalle ayant la forme de tube, en plus de la base par laquelle l'algue se fixe sur le substrat (B à D).	140
110	<i>Dictyopteris sp</i> : Aspect général montrant le thalle formé de lames longues, aplaties et ramifiées (A, B) ; vues de la partie antérieure montrant la ramification dichotome (C), et postérieure (D) ; zoom d'une lame montrant une nervure centrale (flèche) (E).	140
111	<i>Dictyota sp</i> : Aspect général au niveau du biotope parmi les Corallinaceae montrant une coloration iridescente (cercle) (A) ; différentes vues montrant le thalle aplati ramifié en dichotome (B, C) ; zoom montrant le sommet bilobés (D).	141
112	<i>Padina pavonica</i> : Aspect général au niveau du biotope (cercle) (A) ; différentes vues montrant le thalle composé d'une lame en éventail ouverte, et ciliée (la ciliature n'apparaît que sous l'eau) (B à D) ; vue montrant son court pédoncule (flèche), en plus d'une touffe de rhizoïdes (cercle) (E) ; zoom montrant les stries blanches (F).	141
113	<i>Padina sp</i> : Aspect général (A à C) ; différentes vues montrant le thalle composé d'une lame en éventail ouverte divisée, et munie d'un court pédoncule (flèche) (D, E).	142
114	<i>Pelvetia sp</i> : Aspect général (A) ; vue montrant le thalle cylindrique ramifié en plusieurs rameaux (B) ; zoom montrant une extrémité gonflée dichotome (C).	142
115	<i>Cystoseira sp</i> <sub>1</sub> : Aspect général arborescent au niveau du biotope (A) ; différentes vues montrant le thalle cylindrique très ramifié et épineux, en plus de la base de fixation (B, C) ; zoom montrant les épines (D).	143
116	<i>Cystoseira sp</i> <sub>2</sub> : Aspect général montrant le thalle ainsi que les axes aplatis et ramifiés (A à C) ; vue montrant la base de fixation (flèche) (D) ; zoom montrant la ramification (E).	143

Figure	Titre	Page
117	<i>Colpomenia sinuosa</i> : Aspect général (A à C) ; différentes vues montrant une masse arrondie creuse et cérébriforme (D, E) ; zoom de la face externe montrant la pigmentation (F).	144
118	<i>Scytosiphon sp</i> : Aspect général de <i>Scytosiphon sp</i> (flèche) avec <i>Ulva</i> (A) ; zoom montrant les thalles non ramifiés sous forme de tubes allongés réunis à une base (B).	144
119	<i>Halopteris sp</i> : Aspect général (A) ; zoom montrant les thalles sous forme de touffe de filaments (B) ; zoom montrant les axes ramifiés alternativement, en plus des sphacèles (tâches noirs aux extrémités) (C).	144
120	<i>Corallina</i> (1) ; <i>Caulerpa racemosa</i> (8) ; <i>Ulva lactuca</i> (10) ; <i>Ulva compressa</i> (11) ; <i>Padina pavonica</i> (13) ; <i>Cystoceira sp</i> <sub>1</sub> (14) ; <i>Cystoceira sp</i> <sub>2</sub> (15) ; <i>Colpomenia sinuosa</i> (16) ; <i>Scytosiphon sp</i> (17).	145
121	<i>Corallina</i> (1) ; <i>Lithophyllum byssoides</i> (2) ; <i>Pyropora sp</i> (5) ; <i>Gelidium sp</i> (6) ; <i>Chaetomorpha sp</i> (9) ; <i>Ulva lactuca</i> (10) ; <i>Ulva compressa</i> (11) ; <i>Dictyota sp</i> (12).	146
122	<i>Corallina</i> (1) ; <i>Ceramium sp</i> (3) ; <i>Osmundea pinnatifida</i> (4) ; <i>Champia parvula</i> (7) ; <i>Caulerpa racemosa</i> (8) ; <i>Ulva lactuca</i> (10) ; <i>Ulva compressa</i> (11) ; <i>Padina pavonica</i> (13) ; <i>Colpomenia sinuosa</i> (16).	147
123	Dominance (%) des différents embranchements des invertébrés recensés au niveau des quatre stations d'étude : Ben Zouit (A) et Tamanart (B) (Collo), l'Îlot (C) et Bikini (D) (Skikda) durant l'année 2013-2014.	153
124	Évolution de l'état sexuel (%), chez les populations de <i>P. cultrifera</i> échantillonnées de Ben Zouit (A) et Tamanart (B) (Collo), l'Îlot (C) et Bikini (D) (Skikda) durant la période d'étude.	156
125	Évolution de l'état sexuel (%), chez les deux populations de <i>P. macropus</i> échantillonnées de Ben Zouit (A) et Tamanart (B) (Collo) durant la période d'étude.	157
126	Variations mensuelles de la longueur L <sub>3</sub> (mm) chez les populations sexuées et asexuées de <i>P. cultrifera</i> échantillonnées au niveau de Ben Zouit (m ± s ; n = 10 à 60) (A) et Tamanart (m ± s ; n = 10 à 80) (B) (Collo) de Septembre 2013 à Août 2014.	162
127	Variations mensuelles de la longueur L <sub>3</sub> (mm), chez les populations sexuées et asexuées de <i>P. cultrifera</i> échantillonnées au niveau de l'Îlot (m ± s ; n = 10 à 40) (A) et Bikini (m ± s ; n = 10 à 30) (B) (Skikda) de Septembre 2013 à Août 2014.	163
128	Variations mensuelles de la longueur L <sub>3</sub> (mm) chez les populations sexuées et asexuées de <i>P. macropus</i> échantillonnées au niveau de Ben Zouit (m ± s ; n = 10 à 40) (A) et Tamanart (m ± s ; n = 10 à 50) (B) (Collo) de Septembre 2013 à Août 2014.	167

Figure	Titre	Page
129	Variations mensuelles du poids frais (g) chez les populations sexuées et asexuées de <i>P. cultrifera</i> échantillonnées au niveau de Ben Zouit ( $m \pm s$ ; $n = 10$ à $60$ ) (A) et Tamanart ( $m \pm s$ ; $n = 10$ à $80$ ) (B) (Collo) de Septembre 2013 à Août 2014.	172
130	Variations mensuelles du poids frais (g), chez les populations sexuées et asexuées de <i>P. cultrifera</i> échantillonnées au niveau de l'Îlot ( $m \pm s$ ; $n = 10$ à $40$ ) (A) et Bikini ( $m \pm s$ ; $n = 10$ à $30$ ) (B) (Skikda) de Septembre 2013 à Août 2014.	173
131	Variations mensuelles du poids frais (g) chez les populations sexuées et asexuées de <i>P. macropus</i> échantillonnées au niveau de Ben Zouit ( $m \pm s$ ; $n = 10$ à $40$ ) (A) et Tamanart ( $m \pm s$ ; $n = 10$ à $50$ ) (B) (Collo) de Septembre 2013 à Août 2014.	177
132	Analyse de la régression entre le poids frais (g) et la longueur $L_3$ (mm) chez les populations de <i>P. cultrifera</i> , échantillonnées au niveau de Ben Zouit (A) et Tamanart (B) (Collo).	180
133	Analyse de la régression entre le poids frais (g) et la longueur $L_3$ (mm) chez la population de <i>P. cultrifera</i> , échantillonnée au niveau de l'Îlot (Skikda).	180
134	Analyse de la régression entre le poids frais (g) et la longueur $L_3$ (mm) chez les populations de <i>P. macropus</i> , échantillonnées au niveau de Ben Zouit (A) et Tamanart (B) (Collo).	181
135	Structure d'une ponction cœlomique chez <i>P. cultrifera</i> , montrant des ovocytes immatures (ovi), en cours de maturation (ovm) (A), et ovocytes matures (ovM) (B).	182
136	Variations mensuelles du diamètre ovocytaire ( $\mu\text{m}$ ) chez les populations de <i>P. cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n = 3$ à $6$ ), échantillonnées au niveau de Ben Zouit (A), et Tamanart (B) (Collo) de Septembre 2013 à Août 2014.	184
137	Variations mensuelles du diamètre ovocytaire ( $\mu\text{m}$ ) chez les populations de <i>P. cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n = 3$ à $6$ ), échantillonnées au niveau de l'Îlot (A) et Bikini (B) (Skikda) de Septembre 2013 à Août 2014.	185
138	Variations mensuelles du diamètre ovocytaire ( $\mu\text{m}$ ) chez les populations de <i>P. macropus</i> ( $m \pm s$ ; $n = 3$ à $6$ ), échantillonnées au niveau de Ben Zouit (A) et Tamanart (B) (Collo) de de Septembre 2013 à Août 2014.	188
139	Coloration des cellules immunitaires du liquide cœlomique au May Grunwald-Giemsa, chez <i>P. cultrifera</i> échantillonnée de Ben Zouit (A à C) et de Tamanart (D) (Collo), durant le mois de Mars 2015. Abréviations : Granulocytes (G), Semigranulocytes (Sg), Hyalinocytes (H).	191
140	Coloration des cellules immunitaires du liquide cœlomique au Rouge Neutre 02%, chez <i>P. cultrifera</i> échantillonnée de Ben Zouit (Collo) (A à D) durant le mois de Mars 2015. Abréviations : Granulocytes (G), Semigranulocytes (Sg), Hyalinocytes (H).	192

Figure	Titre	Page
141	Coloration des cellules immunitaires du liquide cœlomique au Giemsa (A), au Kit Frottis (B) chez <i>P. cultrifera</i> échantillonnée de Tamanart (Collo) durant le mois de Mars 2015. Abréviations : Granulocytes (G), Semigranulocytes (Sg).	192
142	Identification des cellules immunitaires chez : <i>N. diversicolor</i> (A), (Cuvillier-Hot <i>et al.</i> , 2014) ; <i>P. cultrifera</i> après coloration au rouge neutre (B) ; et après coloration au Kit Frottis (C) (Snani, 2016) ; <i>Paratelphusa masoniana</i> après coloration au Giemsa 10% (D) (Gupta <i>et al.</i> , 2013) ; <i>Carcinus aestuarii</i> après coloration au May Grunwald- Giemsa (E) (Matozzo & Marin, 2010) ; et observation de celles chez <i>Fenneropenaeus chinensis</i> au microscope électronique (F) (Zhang <i>et al.</i> , 2006). Abréviations : Granulocytes de type I (G1), Granulocytes de type II (G2), Granulocytes de type III (G3), Cœlomocyte de type I (CI), Cœlomocyte de type II (CII), Cœlomocyte de type III (CIII), Granulocytes (G), Semigranulocytes (Sg), Hyalinocytes (H), Granulocytes acidophiles (Ag), Granulocytes basophiles (Bg), Hyalinocytes (h), grands Granulocytes (LGH), petits Granulocytes (SGH), Hyalinocytes (HH).	193
143	Dosage des protéines dans l'extrait enzymatique des femelles <i>P. cultrifera</i> : droite de régression exprimant l'absorbance à 595 nm, en fonction de la quantité d'albumine ( $\mu\text{g}$ ).	196
144	Variations saisonnières de l'activité enzymatique de la Glutathion S-Transférase GST ( $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>P. cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n = 3$ ) récoltées au niveau des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2014-2015.	197
145	Taux du Malondialdéhyde (MDA) ( $\mu\text{mol}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles <i>P. cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n = 3$ ) récoltées au niveau des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo) l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2014-2015.	199

## Liste des Tableaux

Tableau	Titre	Page
1	Classification des éléments métalliques dans un contexte environnemental en trois catégories : A, B et C d'après Wood (1976) in Campbell & Couillard (2004).	18
2	Les différentes catégories de contamination basées sur le facteur d'enrichissement (E.F) selon Yongming <i>et al</i> (2006) ; ainsi que celles basées sur l'indice de géoaccumulation (I <sub>geo</sub> ) selon Müller (1969) (in Wu <i>et al.</i> , 2016).	20
3	Taxonomie et identification de <i>P. cultrifera</i> et <i>P. macropus</i> selon la répartition des paragnathes (nombre et forme) sur les deux anneaux maxillaire et oral, de la tête extroversée, selon Fauvel (1923) et Imajima & Gamô (1970).	30
4	Dosage des protéines dans les homogénats de <i>P. cultrifera</i> : réalisation de la gamme d'échantillonnage.	57
5	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 quatre stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).	63
6	Variations saisonnières des pourcentages des différentes fractions granulométriques (%), ainsi que la médiane D(0,5) du sédiment prélevé au niveau des stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014.	66
7	Traitement statistique des variations saisonnières des différentes fractions granulométriques (%), ainsi que la médiane D (0,5) du sédiment prélevé au niveau des stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant l'année 2013-2014 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).	68
8	Variations du pH du sédiment prélevé des trois stations de l'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).	70
9	Analyse qualitative et quantitative en éléments chimiques et ETM (mg/l), de l'eau de mer prélevée des quatre stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	71
10	Analyses qualitative et quantitative en éléments chimiques et ETM (µg/g) du sédiment prélevé au niveau des trois stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	76

Tableau	Titre	Page
11	Evaluation du facteur d'enrichissement (E.F) et de l'indice de géoaccumulation (I <sub>geo</sub> ) des éléments métalliques présents au niveau du sédiment prélevé des trois stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	84
12	Analyses qualitative et quantitative en éléments chimiques et ETM ( $\mu\text{g/g}$ de tissu) au niveau du corps de <i>P. cultrifera</i> et <i>P. macropus</i> récoltées des trois stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	91
13	Représentation du facteur de bioaccumulation (Facteur d'accumulation Biota-Sédiment BSAF) des éléments métalliques au niveau du corps de <i>P. cultrifera</i> et <i>P. macropus</i> , récoltées des trois stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant le mois de Juin 2016.	101
14	Liste taxonomique de la faune associée à <i>P. cultrifera</i> et <i>P. macropus</i> au niveau des quatre stations : Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), l'Îlot (ÎL) et Bikini (BK) (Skikda), échantillonnée au cours de l'année 2013-2014	127
15	Liste taxonomique de la flore associée à <i>P. cultrifera</i> et <i>P. macropus</i> au niveau des quatre stations : Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), l'Îlot (ÎL) et Bikini (BK) (Skikda), échantillonnée au cours de l'année 2013-2014	148
16	Représentation de la richesse spécifique (S), l'abondance (n et N), et la dominance des différents embranchements (%) collectés à partir des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) au cours de l'année 2013-2014.	151
17	Evaluation de l'indice de Shannon Wiever ( $H'$ ), et l'indice d'équitabilité de Piélou (E) des peuplements collectés à partir des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) au cours de l'année 2013-2014.	154
18	Évolution du sexe ratio chez les populations de <i>P. cultrifera</i> et <i>P. macropus</i> échantillonnées des différentes stations d'étude, de Septembre 2013 à Août 2014.	158
19	Variations mensuelles de la longueur $L_3$ (mm) chez les populations sexuées et asexuées de <i>P. cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n = 10$ à $80$ ), échantillonnées au niveau des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) de Septembre 2013 à Août 2014.	160
20	ANOVA à un critère de classification (station) de la longueur $L_3$ (mm) chez les populations sexuées de <i>P. cultrifera</i> ( $n= 10$ ), au niveau des quatre stations de l'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) de Septembre 2013 à Août 2014 ; (appuyée par la classification de Tukey).	164
21	ANOVA à deux critères de classification (station/mois) de la longueur $L_3$ (mm) chez les populations sexuées de <i>P. cultrifera</i> ( $n= 10$ ), récoltées au niveau des quatre stations de l'étude, Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) de Septembre 2013 à Août 2014.	165

Tableau	Titre	Page
22	Variations mensuelles de la longueur L <sub>3</sub> (mm) chez les populations sexuées et asexuées de <i>P. macropus</i> (m ± s ; n = 10 à 50) échantillonnées au niveau des deux stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo) de de Septembre 2013 à Août 2014.	166
23	Comparaison statistique (test t de Student) de la longueur L <sub>3</sub> (mm) chez les populations sexuées de <i>P. macropus</i> (n = 10), échantillonnées au niveau des deux stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo) de Septembre 2013 à Août 2014.	168
24	ANOVA à deux critères de classification (station/mois) de la longueur L <sub>3</sub> (mm) chez les populations sexuées de <i>P. macropus</i> (n= 10), échantillonnées de Ben Zouit et Tamanart (Collo) de Septembre 2013 à Août 2014.	169
25	Variations mensuelles du poids frais (g) chez les populations sexuées et asexuées de <i>P. cultrifera</i> (m ± s ; n = 10 à 80), échantillonnées au niveau des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) de Septembre 2013 à Août 2014.	170
26	ANOVA à un critère de classification (station) du poids frais (g) chez les populations sexuées de <i>P. cultrifera</i> (n = 10), échantillonnées au niveau des quatre stations de l'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) de Septembre 2013 à Août 2014 ; (appuyée par la classification de Tukey).	174
27	ANOVA à deux critères de classification (station/mois) du poids frais (g) chez les populations sexuées de <i>P. cultrifera</i> (n= 10), échantillonnées au niveau des quatre stations de l'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) de Septembre 2013 à Août 2014.	175
28	Variations mensuelles du poids frais (g) chez les populations sexuées et asexuées de <i>P. macropus</i> (m ± s ; n = 10 à 50) échantillonnées au niveau des deux stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo) de Septembre 2013 à Août 2014.	176
29	Comparaison statistique (test t de Student) du poids (g) chez les populations sexuées de <i>P. macropus</i> (n = 10), échantillonnées au niveau des deux stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo) de Septembre 2013 à Août 2014.	178
30	ANOVA à deux critères de classification (station/mois) du poids frais (g) chez les populations sexuées de <i>P. macropus</i> (n= 10), échantillonnées de Ben Zouit et Tamanart (Collo) de Septembre 2013 à Août 2014.	179
31	ANOVA à un critère de classification (station) du diamètre ovocytaire (µm) chez les populations de <i>P. cultrifera</i> (m ± s ; n = 3 à 6) échantillonnées des quatre stations de l'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) de Septembre 2013 à Août 2014 ; (appuyée par la classification de Tukey).	186

Tableau	Titre	Page
32	ANOVA à deux critères de classification (station/mois) du diamètre ovocytaire ( $\mu\text{m}$ ) chez les populations de <i>P. cultrifera</i> , échantillonnées des quatre stations de l'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) de Septembre 2013 à Août 2014.	187
33	Variations mensuelles du diamètre ovocytaire ( $\mu\text{m}$ ) chez les populations de <i>P. macropus</i> ( $m \pm s$ ; $n = 3$ à $6$ ) échantillonnées des deux stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo) d de Septembre 2013 à Août 2014 ; (test t de Student).	189
34	ANOVA à deux critères de classification (station/mois) du diamètre ovocytaire ( $\mu\text{m}$ ) chez les populations de <i>P. macropus</i> , échantillonnées des deux stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo) de Septembre 2013 à Août 2014.	190
35	Mensurations des cellules immunitaires (A : granulocytes, B : semigranulocytes, C : hyalinocytes) chez <i>P. cultrifera</i> prélevée des trois stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot (Skikda) durant le mois de Mars 2015 : largeur de la cellule (larg C en $\mu\text{m}$ ), longueur de la cellule (Long C en $\mu\text{m}$ ), longueur du noyau (Long N en $\mu\text{m}$ ), rapport de la largeur de la cellule/la longueur de la cellule (Larg/Long %), rapport de la longueur du noyau/la longueur de la cellule (N/C %), pourcentage des différents types (%) ; ( $m \pm s$ ; $n = 4-5$ lames ; 200 cellules/lame).	194
36	Dosage des protéines : réalisation de la gamme d'étalonnage.	196
37	Activité enzymatique de la Glutathion S-Transférase GST ( $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>P. cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n = 3$ ) récoltées au niveau des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2014-2015 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).	198
38	ANOVA à deux critères de classification (station/saison) de l'activité enzymatique de la Glutathion S-Transférase GST ( $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>P. cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n = 3$ ) récoltées au niveau des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2014-2015.	198
39	Taux du Malondialdéhyde (MDA) ( $\mu\text{mol}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>P. cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n = 3$ ) récoltées au niveau des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2014-2015 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).	200
40	ANOVA à deux critères de classification (station/saison) du taux de MDA ( $\mu\text{mol}/\text{mg}$ de protéines) chez les femelles de <i>P. cultrifera</i> ( $m \pm s$ ; $n = 3$ ) récoltées au niveau des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), et l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2014-2015.	200



# *INTRODUCTION*

## INTRODUCTION

Même si les conditions qui ont donné naissance à la vie sur Terre sont encore pour les scientifiques, loin d'être identifiées de façon précise ; il est néanmoins clair que cette caractéristique unique est maintenue en plus de certaines conditions physiques, par des cycles biogéochimiques, de circulation permanente des divers éléments chimiques, en interaction avec les processus bioénergétiques (Kristensen *et al.*, 2014) ; en outre, un trait extraordinaire de cette vie est sa diversité, avec environ neuf millions types de plantes, d'animaux, de protistes, et de champignons, en plus de sept milliards de personnes (Cardinale *et al.*, 2012) ; au même titre il est bien évident que cette biodiversité renforce le bon fonctionnement, ainsi que la stabilité des différents processus des écosystèmes (Duffy, 2009), par lesquels les communautés écologiques captent les ressources, produisent la biomasse, et recyclent les nutriments essentielles (Cardinale *et al.*, 2012).

Un des grands écosystèmes marins de la planète est la mer Méditerranée, ses caractéristiques géomorphologiques et climatiques lui confèrent une grande importance socioéconomique, et écologique ; cette dernière est qualifiée de « hot spot » en terme de biodiversité (Coll *et al.*, 2010 ; Coll *et al.*, 2012 ; Gerovasileiou & Voultziadou, 2012) ; celle-ci représente de 4 % à 18 % de la biodiversité marine mondiale, malgré sa surface estimée de 0,82 % (de celle des océans) (Durrieu de Madron *et al.*, 2011), elle englobe une complexe réserve de ressources énergétiques, minérales, et biologiques, assurant d'importants processus, et donc fournit à l'humanité une grande variété de ressources et de services (Liquete *et al.*, 2016). Cependant, elle est simultanément soumise à une pression anthropique qui ne fait que s'accroître au cours du temps (Gürlük, 2009 ; Lejeusne *et al.*, 2009 ; Coll *et al.*, 2010 ; Coll *et al.*, 2012), combinée aux changements climatiques (Gerovasileiou & Voultziadou, 2012), en particulier sa partie littorale, celle du Nord-Ouest connaît un climax en terme de productivité (Lejeusne *et al.*, 2009) ; pour les même auteurs, les populations en développement des zones Nord-Est et Sud exercent une pression anthropique croissante, et sans précédent aux dépends de l'environnement, sans technologies et sans gestions requises.

Dans cette optique, le bassin méditerranéen et les organismes qui y vivent subissent de nombreux facteurs de stress de nature multiple, naturelle, auxquels viennent s'ajouter celles d'origine humaine ; ayant comme principaux problèmes, le réchauffement climatique, et les évènements extrêmes, et en plus de ceux de la pollution, la surexploitation des ressources naturelles, la destruction et l'introduction des espèces, et le transport maritime (Lejeusne *et*

*al.*, 2009 ; Doney *et al.*, 2012 ; Mora & Zapata, 2013) ; dont les effets directs ou induits se font clairement manifestés sur le fonctionnement de ces différents composants, physiques et biologiques (Lejeusne *et al.*, 2009 ; Durrieu de Madron *et al.*, 2011 ; Doney *et al.*, 2012) ; ces organismes réagissent d'abord par la mise en place d'un nouvel état physiologique/comportemental, par un ensemble coordonné de réponses, devant être compensatoires et/ou adaptatives permettant à l'animal de rétablir l'homéostasie et survivre, si les effets du stress sont intenses, les réponses peuvent perdre leurs valeurs adaptatives, manifestant des altérations des fonctions de base, et par conséquent, celle de la croissance, de la reproduction, des mécanismes de défense, et même de la survie (Pinel-Alloul, 2004) ; de tels événements peuvent avoir des conséquences néfastes sur la stabilité d'une population d'organismes, la communauté dont ils sont un élément, et au-delà, les services et les fonctions qu'ils fournissent à l'écosystème (Attrill & Depledge, 1997 ; Borja *et al.*, 2015).

Dans ce contexte, plusieurs rapports d'écologistes sur l'état de santé de l'écosystème mettent en évidence d'une part la relation proportionnelle entre la stabilité de ce dernier et la biodiversité, en effet, la production de la biomasse (organismes autotrophes et hétérotrophes) est fournie par la production primaire (photosynthèse et chimiosynthèse) pour soutenir la production secondaire, permettant ainsi le transfert d'énergie et de nutriments à travers les niveaux trophiques (Strong *et al.*, 2015).

D'autre part, la relation étroite entre les facteurs anthropiques en plus de ceux naturels et les changements alarmants de la biodiversité (Coll *et al.*, 2010) notamment sa disparition continue, les écosystèmes perdent aujourd'hui des espèces à des taux seulement observés lors d'événements antérieurs d'extinction massive (Mora & Zapata, 2013), les moyennes d'extinction sont de l'ordre de 1000 fois, et peuvent arriver à 10000 fois par rapport aux taux références (Joppa *et al.*, 2016) ; en outre, l'introduction des espèces dites invasives qui exercent des effets négatifs (par exemple la prédation) sur les autres espèces (conduisant à leur extinction, changement de leur distribution géographique) (Mora & Zapata, 2013) ; au même titre que la dégradation des habitats, la pollution, l'eutrophisation et le changement climatique (Coll *et al.*, 2010 ; Mora & Zapata, 2013).

La contamination des écosystèmes provient de nombreux apports anthropiques (molécules/énergie) (Livingstone, 1993), celle du milieu marin est d'origines diverses, liées aux activités agricoles, industrielles, urbaines, et engendre des composés inclus dans deux

catégories principales, organiques (insecticides, hydrocarbures, polychlorobiphényles (PCB)) et inorganiques (éléments métalliques et non métalliques) (Durrieu de Madron *et al.*, 2011 ; Amiard-Triquet & Amiard, 2013) ; selon Ramade (2008), une substance d'origine anthropique rejetée dans le milieu est un contaminant, si elle exerce un effet défavorable sur le plan biologique il s'agit alors d'un polluant ou d'un xénobiotique, ce dernier terme désigne une substance qui n'existe pas à l'état naturel, et qui se caractérise par une forte toxicité à des faibles concentrations. Ces contaminants rejetés dans l'environnement (atmosphère, sol, eau), finissent par se retrouver plus ou moins rapidement dans le milieu aquatique, en particulier estuarien et côtier, où ils exercent de nombreuses perturbations comme l'altération des habitats, l'excès en éléments nutritifs, et l'excès en apport de produits chimiques toxiques (Kennish, 2002).

Des grandes quantités et diversités de xénobiotiques ont été et sont encore introduites dans le milieu aquatique, ils s'accumulent au niveau des sédiments qui constituent de véritables réservoirs de contaminants (Burton *et al.*, 2002), et présentent alors une source permanente de contamination ; ces contaminants dissous ou en suspension peuvent être assimilés par les organismes via l'alimentation, et la respiration, ou encore par absorption cutanée (Chen & Mayer, 1999) ; une fois à l'intérieur des organismes, ils vont subir un accroissement de leurs concentrations corporelles supérieur à celles présentes dans le milieu, d'abord par bioconcentration au niveau de l'organisme exposé (Belfroid *et al.*, 1996), et par la suite via leurs transfert le long de la chaîne alimentaire, au fur et à mesure qu'ils circulent vers les niveaux supérieurs du réseau trophique (Leblanc, 1995 ; Gray, 2002). Ces persistance et bioamplification peuvent alors augmenter les possibilités d'impact, et aggraver les conséquences sur la santé animale et humaine (consommateur final) ; les effets toxiques se manifestent à la suite de l'interaction des xénobiotiques avec des molécules endogènes, puis par l'atteinte de l'intégrité de la cellule, du tissu, de l'organisme et enfin de la population et de l'écosystème ; ces effets dépendent de la durée de vie d'un polluant à l'intérieur de l'organisme, à son tour déterminée par l'équilibre entre différents processus physiologiques, d'absorption, de stockage, de métabolisme et d'excrétion (Philips & Rainbow, 1994 ; Barron, 2002).

La surveillance de la qualité de l'environnement est actuellement pour des raisons à la fois écologiques et économiques, une préoccupation de la communauté scientifique, en relation avec les politiciens, et les gestionnaires de l'environnement, qui envisagent un

contrôle strict des ressources naturelles ; celui de la pollution aquatique est une priorité pour le développement durable et la conservation des écosystèmes, et organismes aquatiques. Dans le cadre de ces programmes de surveillance, plusieurs méthodologies ont été testées, et développées prenant en compte la rentabilité, en termes de représentativité, et de coût, que la littérature les groupe en deux catégories complémentaires en écotoxicologie, d'une part, l'approche chimique qui analyse la présence ou non d'un ou plusieurs xénobiotiques dans l'écosystème, en mesurant leurs concentrations dans ses différents compartiments (qualitativement et quantitativement) (Perez *et al.*, 2000), elle est donc indispensable pour identifier les causes ; et d'autre part, l'approche biologique qui intègre les interactions entre polluants/organismes, et mesure les réponses à différents niveaux de l'organisation biologique, qui est donc indispensable pour évaluer et prédire la réponse d'espèces à un état de stress. Par ailleurs, en tenant compte d'une part de la grande diversité des polluants, de leurs comportements et devenir dans le milieu à surveiller, d'autre part de l'existence de nombreuses interactions polluants/polluants, et polluants/organismes (Aït-Aïssa *et al.*, 2003), l'analyse chimique n'est pas toujours possible, et limitée.

Cependant, les effets à des niveaux hiérarchiques élevés sont toujours précédés par des changements à des niveaux inférieurs de l'organisation biologique ; de même, on peut s'attendre que les réponses biochimiques et physiologiques sont activés rapidement (Moreira *et al.*, 2006), et peuvent être précocement observés avant que la communauté ne soit affectée (Duquesne & Küster, 2010) ; ainsi l'analyse d'une série de marqueurs biologiques a été proposée comme choix plus approprié, pour suivre les effets des polluants dans les écosystèmes aquatiques (Adam *et al.*, 2009) ; ils permettent la mise en évidence d'un changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental, chez des organismes exposés à des conditions de stress de l'environnement, révélant une exposition présente ou passée à au moins une substance chimique à caractère polluant (Lagadic *et al.*, 1997, in : Pinel-Alloul *et al.*, 2004) ; les paramètres peuvent se mesurer dès la première interaction du xénobiotique à un récepteur cellulaire, jusqu'aux altérations structurelles et fonctionnelles ; ainsi l'utilisation de biomarqueurs au niveau moléculaire ou cellulaire a été proposée comme outil sensible d'alerte précoce pour la mesure d'effets biologiques (Van der Oost *et al.*, 2003) ; ces effets sont par la suite liés aux conséquences possibles aux niveaux d'organisation plus élevés.

De nombreux biomarqueurs ont été étudiés et employés, ceux subcellulaires sont définis selon plusieurs critères, dont les plus utilisés sont basés sur la spécificité de leurs

réponses, à un certain type de molécule, ou d'effet, traduisant une réponse spécifique ou non spécifique au stress, ainsi couramment classés en biomarqueurs d'exposition, d'effet, et de susceptibilité, selon Depledge *et al* (1994), la variation du premier groupe indique une exposition à un contaminant, ou à une classe précise de contaminants, celle du deuxième, traduit des altérations biologiques, qui en fonction de l'intensité de la réponse, peut être associée à des effets allant des perturbations des fonctions de la cellule aux altérations physiologiques (effets sur la croissance) ; plus tard, De Lafontaine *et al* (2000), propose plutôt les nominations, biomarqueurs de défense, traduisant une acclimatation/adaptation de l'organisme exposé au stress, par activation des mécanismes de détoxification et de métabolisation des xénobiotiques, et biomarqueurs de dommages indiquant une véritable atteinte de l'organisme exposé.

A l'échelle de la communauté, ces biomarqueurs sont mesurés sur des organismes, dont les variations de présence (disparition ou apparition) ou de l'abondance relative, au sein d'une communauté signalent une perturbation, avant que toute la population, ou l'écosystème ne soient perturbés. Ces organismes sont considérées comme indicateurs biologiques de la pollution, et doivent répondre aux critères suivants : la pertinence, la fiabilité, la robustesse, la sensibilité, et la reproductibilité (Philips & Rainbow, 1994), la batterie des bioindicateurs marins couramment utilisés est large, elle comprend des espèces végétales et animales (invertébrés, et vertébrés). Par ailleurs, plusieurs chercheurs accordent que la mise en évidence des réponses des biomarqueurs face au stress peuvent être insuffisantes, cependant pour évaluer l'état de santé d'un milieu, il est nécessaire de prendre en compte la structure et les fonctions des peuplements qui sont directement liées aux conditions de leur environnement (Harley *et al.*, 2006), en particulier la faune macrobenthique ; plusieurs chercheurs ont également testé et développé des indices de diversité, récemment renforcées par d'autres indices biotiques basés sur la numération et la classification des différents taxons en groupes écologiques ou encore en groupes trophiques, les indices plus couramment utilisés sont l'indice de Shannon-Weaver ( $H'$ ), l'indice biotique marin (AMBI), l'indice bentix (BENTIX), l'indice basé sur le ratio Polychètes/Amphipodes (benthiques, opportunistes) (BOPA) et l'indice de qualité benthique (BQI) (Simboura & Zenetos, 2002 ; Bakalem *et al.*, 2009). Ces indices sont des indicateurs écologiques de la qualité de la masse d'eau aussi bien que celle du sédiment, bien que certains ont été confirmés pour les fonds meubles, et leurs utilisation pour des substrats durs reste à discuter (Grimes, 2010) ; ces indices ont mis en évidence des relations des modifications de la structure des populations en fonction de la

qualification écologique du milieu étudié, souvent classée en différentes classes allant de l'azoïque jusqu'à l'excellente qualité écologique.

Les Annélides Polychètes constituent un taxon très abondant dans les communautés benthiques en terme de richesse numérique et biodiversité (Giangrand *et al.*, 2005 ; Dean, 2008 ; García-Alonso *et al.*, 2008 ; Gözler *et al.*, 2009 ; Lewis & Watson, 2012) ; en tenant compte que cette classe comprend à la fois des espèces sensibles et tolérantes (Pocklington & Wells, 1992), elle est considérée comme le groupe le plus représentatif de la santé des communautés benthiques ; en addition de plusieurs caractéristiques, qui d'une part leur confèrent d'importantes fonctions écologiques (Hutchings, 1998 ; Giangrande *et al.*, 2005), et d'autre part, garantissent leurs expositions permanentes aux polluants présents à la fois au niveau de la colonne d'eau et du sédiment (Dean, 2008) ; leurs cycles de vie parfois très courts, aboutissant à des évènements de reproduction très importants ; en plus de leurs forte abondance et biomasse, ils permettent la détection de réponses rapides de la population à tout changement, leurs différents régimes alimentaires, en plus des quantités du sédiment qu'ils ingèrent, représentent des sources de contamination (Dean, 2008 ; Lewis & Watson, 2012), ils constituent également une importante source alimentaire pour de nombreux oiseaux et poissons benthiques (Scaps *et al.*, 2002) et sont largement utilisés en tant qu'appât pour la pêche sportive et professionnelle (Fidalgo e Costa, 1999) et aliment pour l'aquaculture (Olive, 1999) ; ainsi, selon Papageorgiou *et al* (2006), tous changements à long terme dans le bien être du benthos doit être reflété dans les communautés des polychètes, de même, Lewis & Watson (2012) les considèrent comme une composante essentielle de toute boîte à outils des écotoxicologues, en particulier pour l'évaluation des sédiments. Selon Reich & Gerlinger (1997) quarante-huit espèces appartenant à vingt familles différentes ont servi comme espèces bioindicatrices pour estimer les effets des polluants métalliques et/ou organiques, bien qu'il est évident que ces chiffres ont augmenté depuis.

La famille des Nereididae est l'une des familles les plus diverses avec plus de 40 genres et 600 espèces (Jumars *et al.*, 2015 ; Read & Fauchald, 2016), ils présentent une large répartition géographique et écologique, dans presque tous les habitats marins, côtiers, estuariens, et d'eau douce (Gözler *et al.*, 2009) ; faisant partie des polychètes, ils partagent leurs caractéristiques, et donc sont considérés comme espèces clés des communautés benthiques (Durou *et al.*, 2007 b), ou bien encore comme « des ingénieurs écologiques » (Fadhullah & Syakir, 2016) ; de même, sédentaires ou bien errantes, ils vivent habituellement en exposition chronique aux polluants, ils s'adaptent aux variations environnementales

extrêmes et peuvent se reproduire dans des environnements stressés (Zubillaga & Salinas, 1997 ; Scaps *et al.*, 2002) ; c'est pour cela qu'un nombre croissant d'études confirme le choix de plusieurs espèces de Nereididae comme espèces bioindicatrices de la contamination par une large gamme de produits.

De nombreux biomarqueurs biochimiques et cellulaires spécifiques, et non spécifiques ont été représentatifs de l'exposition de plusieurs espèces de Nereididae, et corrélés aux teneurs en contaminants, parmi lesquels on peut citer les monooxygénases à cytochrome P450, les métallothionéines, les systèmes de régulation du stress oxydant, les marqueurs de dommages (généotoxiques, peroxydation lipidique), et les cholinestérases (Durou *et al.*, 2007 ; Douhri & Sayah, 2009 ; Bouraoui *et al.*, 2009 ; Daas *et al.*, 2011b ; Catalano *et al.*, 2012 ; Fossi-Tankoua *et al.*, 2012 ; Díaz-Jaramillo *et al.*, 2011 ; Díaz-Jaramillo *et al.*, 2013 ; Guemmouda *et al.*, 2014 ; Díaz-Jaramillo *et al.*, 2015 ; Meghlaoui *et al.*, 2015a) ; au même titre qu'aux biomarqueurs moléculaires (Won *et al.*, 2011 ; Rhee *et al.*, 2012), des indices biométriques ont été également employés comme biomarqueurs physiologiques, seuls ou associés à ceux biochimiques (Fidalgo e costa, 2003 ; Durou *et al.*, 2007 a ; Durou *et al.*, 2008 ; Mouneyrac *et al.*, 2010 ; Díaz-Jaramillo *et al.*, 2011 ; Fossi-Tankoua *et al.*, 2012 ; Hamdy *et al.*, 2014 ; Díaz-Jaramillo *et al.*, 2015 ; Snani *et al.*, 2015), ils permettent d'avoir des données sur l'état physiologique, en termes de reproduction, de croissance, et de développement, reliés aux altérations biochimiques, ainsi qu'aux possibles altérations des fonctions en relation ; toutefois, les biomarqueurs immuno-toxicologiques qui visent l'analyse des effets immuno-toxiques induits par une exposition chimique sont moins abordés chez les Polychètes, et ce, étant donné que c'est une discipline en général récente, au même titre, les données sur la caractérisation des cœlomocytes sont moins documentées en comparaison d'une part, avec celles sur l'écologie et la physiologie de ces espèces, d'autre part avec celles sur d'autres Embranchements.

Selon la littérature, les organismes (animales, végétales) sont capables de faire face aux produits chimiques toxiques, dont leur toxicité est réduite par activation d'une stratégie de détoxification (acclimatation physiologique/ adaptation génétique) (Campbell & Couillard, 2004 ; Amiard-Triquet & Amiard, 2013), l'organisme acquiert alors de la résistance ou bien encore de la tolérance, si elle est moins efficace ; ces réponses physiologiques aux stress sont soutenues par de nombreux processus différents, telles que l'activation des systèmes enzymatiques antioxydants, l'induction et la production de substrats antioxydants (protéines de stress, métallothionéines), la limitation de la bioaccumulation (absorption contrôlée, et

excrétion accrue), la biotransformation en formes moins toxiques ; pour cela, il est généralement admis que la lutte contre les dommages du stress implique un épuisement d'énergie justifié par une réallocation des ressources d'énergie favorisant la résistance. Ainsi toute l'énergie acquise est consacrée à la défense et la réparation et n'est plus disponible pour d'autres processus (Pook *et al.*, 2009), à savoir le métabolisme, la croissance et la reproduction.

La biologie de la reproduction des Nereididae a été toujours étudiée, et plus particulièrement récemment en raison de leurs valeurs écologique et commerciale, chez ces espèces elle est sous contrôle des facteurs endogènes (hormones) liés aux facteurs exogènes tels que la température, la photopériode et le cycle lunaire (Bartels-Hardege & Zeeck, 1990 ; Lawrence & Soame, 2010) ; d'après Hébert-Chatelain *et al* (2008), les vers Polychètes de cette famille présentent une variété de modes de reproduction, y compris l'oviparité, la viviparité et l'hermaphrodisme ; contrairement aux autres espèces de polychètes itéropares, les Nereididae sont strictement sémelpares, où la reproduction a lieu une seule fois durant leur cycle de vie, d'une durée très variable selon les espèces (Andries, 2001 ; Lawrence & Soame, 2010) ; en revanche, la reproduction chez ces espèces peut s'accompagner ou non par une métamorphose morpho-physiologique qui consiste à une transition à la forme épitoque (Hébert-Chatelain *et al.*, 2008) ; au moment de la reproduction, d'autres phénomènes spécialisés se manifestent sur leur comportement, à savoir l'essaimage, la dense nuptiale et la libération de phéromones sexuelles ; ainsi, la libération des gamètes est synchronisée entre les deux sexes opposés (Hardege & Bartels-Hardege, 1990), la fertilisation a lieu, et la mort des adultes survient dans les jours qui suivent.

Cette stratégie monothélique chez ces espèces implique des phases bien identifiées que sont le stockage des réserves énergétiques pour ensuite soutenir la reproduction ; une altération de cet équilibre par un état de stress peut par conséquent traduire une séquence d'effets néfastes sur la stabilité de la population, et celle de l'écosystème. En effet, alors que le spermatozoïde a pour fonction principale de transmettre le matériel génétique à l'œuf lors de la fécondation, l'ovocyte doit en plus soutenir le développement de l'embryon, il représente alors un important réservoir du matériel énergétique, qu'il doit accumuler, en plus de la réplication de l'ADN nécessaire pour produire des millions de spermatozoïdes, et qui implique une réorganisation considérable des ressources énergétiques du soma vers le tissu germinale (Olive *et al.*, 2000).

L'Algérie dispose d'une large façade maritime qui se situe au cœur de la Méditerranée, son littoral qui s'étend sur un linéaire côtier de 1622,48 km (Bouroumi *et al.*, 2017), de l'Est à l'Ouest entre la frontière Algéro Tunisienne, et celle Algéro Marocaine, elle est constituée par une succession de baies et de golfes plus au moins ouverts (Grimes, 2012), qui se présentent comme des massifs rocheux séparés par des vallées sableuses où débouchent des oueds (Grimes, 2010 ; Grimes, 2012), en plus des lagunes littorales qui l'individualise (Grimes, 2004) ; d'après ce dernier auteur, notre pays dispose de plusieurs sites naturels qualifiés de « hot spot » de la biodiversité qui sont la région d'El-Kala, les falaises de Gouraya (dans la région de Bejaïa et Taza à Jijel), le complexe géomorphologique de la région d'Alger et l'Île Agueli, les bancs des Kabyles et la chassée de la Salamandre, le mont du Chenoua et la frange marine de Tipaza, les Îles Habibas et le complexe rocheux de l'Île Plane et celle de Rachgoun.

Toutes ces caractéristiques confèrent à notre littoral des qualités écologiques très importantes, qui sont dégradées de plus en plus par les effets engendrés par une multitude d'activités anthropiques. Plusieurs rapports sur l'état de l'environnement de notre pays confirment qu'il souffre d'une explosion démographique, qui date depuis l'indépendance, par suite à une urbanisation accélérée en plus d'une intensification d'exploitation des ressources naturelles, pour répondre aux exigences d'une forte population toujours concentrée au niveau des villes côtières (Bouroumi, 2017).

Dans ce cadre, la ville de Skikda est devenue depuis les années 70 un grand pôle industriel d'importance internationale, doté de plusieurs ports, en plus du plus grand complexe pétrochimique de l'Afrique du nord ; néanmoins, ces installations implantées sur le littoral évacuent les rejets de ses différentes activités, polluant l'air, l'eau, et le sol, aboutissant à des effets délétères sur la santé de ces écosystèmes.

L'objectif de notre travail consiste à estimer l'état de santé ou du moins le niveau de contamination du littoral Est Algérien, au niveau des côtes de Skikda, et de Collo, à travers l'évaluation de leurs qualités écologiques, en plus de celle des réponses physiologiques et biochimiques, chez deux espèces d'Annélides polychètes *Perinereis cultrifera* et *Perinereis macropus*, organismes bioindicateurs, échantillonnés de différentes stations, à savoir : Ben Zouit et Tamanart à Collo considéré comme un site sain, loin de toute source de pollution industrielle, et l'Îlot et Bikini à Skikda, site affecté par la pollution industrielle.

Notre étude a été réalisée pendant la période qui s'étend de Septembre 2013 à Juin 2016, selon le type d'analyse entreprise durant laquelle a été entretenue :

→ Une analyse du biotope (paramètres physico-chimiques de l'eau de mer ainsi que ceux du sédiment).

→ Une analyse de la biodiversité (inventaire de la faune Annélide, de la macrofaune et la flore associées aux deux espèces du genre *Perinereis*, et indices écologiques).

→ Une analyse morphométrique (longueur L<sub>3</sub> et poids corporel) ; en plus des paramètres liés à la reproduction à savoir, le sexe ratio et le diamètre ovocytaire chez les femelles.

→ Une analyse immunologique consacrée à l'identification des cellules cœlomiques impliquées dans la défense immunitaire.

→ Une analyse écotoxicologique représentée par la mesure de deux biomarqueurs de stress oxydatif, en évaluant l'activité enzymatique de la Glutathion S-transférase (GST) et le Malondialdéhyde (MDA), au niveau de l'organisme des femelles récoltées.



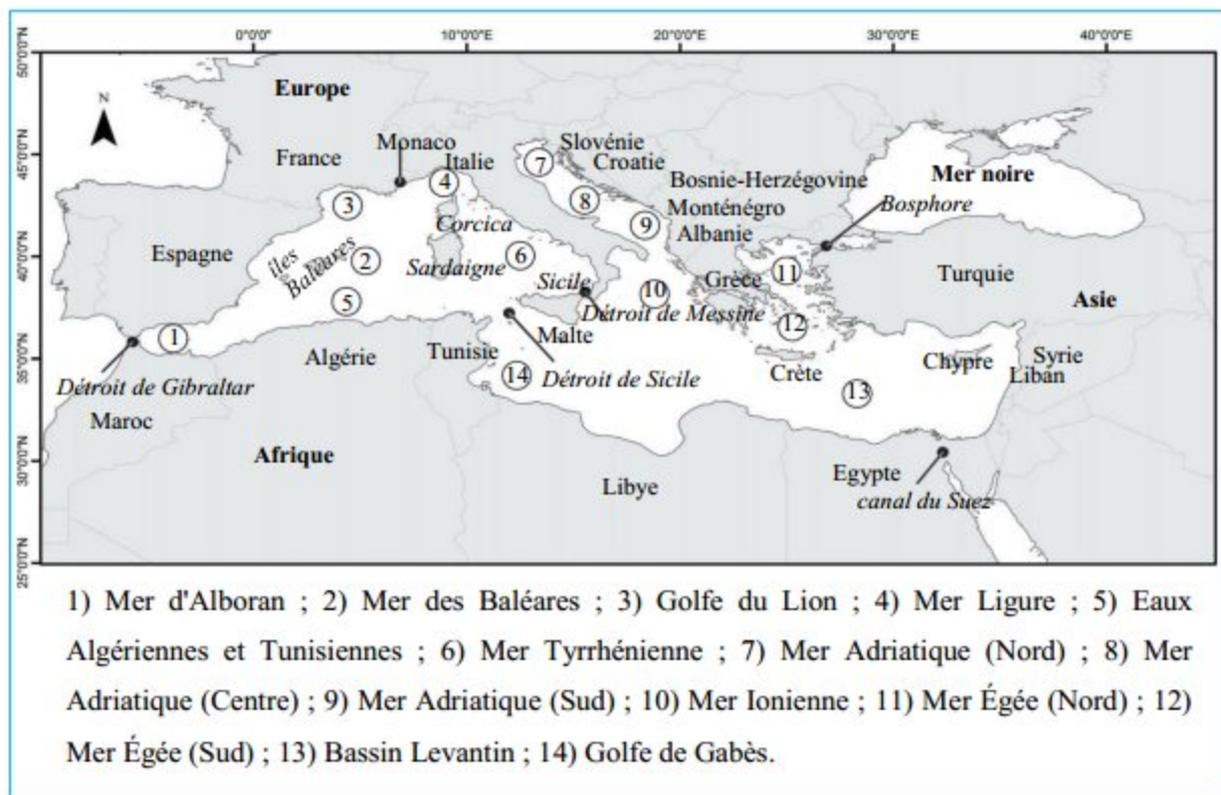
# MATÉRIEL ET MÉTHODES

## 2- MATÉRIEL ET MÉTHODES :

### 2-1- Analyse écologique :

#### 2-1-1- Présentation de la mer méditerranée :

La mer méditerranée (latin : Mare Medi Terraneum = mer au milieu des terres) est décrite comme la plus large (2500000 Km<sup>2</sup>), et profonde (moyenne de 1460 m, maximale de 5267 m) mer fermée sur terre située entre l'Afrique, l'Europe et l'Asie ; elle se relie à l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar (d'environ de 13 Km de largeur, et 300 m de profondeur) au niveau de l'Ouest, à la mer Noire et celle de Marmara par le détroit du Bosphore, au niveau du Nord-Est, et à l'océan Indien et la mer Rouge par le Canal du Suez, au niveau du Sud-Est.



**Figure 1** : La mer méditerranée : principales régions biogéographiques (Coll *et al.*, 2012).

Elle est composée de deux sous bassins majeurs divisés par le détroit de Sicile (35 Km de largeur, et 300 m de profondeur), en partie occidentale (0,85 million Km<sup>2</sup> à l'Ouest), et une autre orientale (1,65 million Km<sup>2</sup> à l'Est) (Coll *et al.*, 2010 ; Coll *et al.*, 2012 ; Skliris, 2014) ; ces deux régions sont également distinctes en tenant compte de certaines différences notamment :

- Une évaporation plus élevée au niveau de sa moitié orientale, ce qui mène à une réduction du niveau de l'eau, accompagnée par une élévation de la salinité, et ce de l'Ouest vers l'Est.

- Des valeurs moyennes annuelles de la température de l'eau de surface montrant des variations saisonnières, ainsi qu'un gradient important de l'Ouest vers l'Est, et du Nord vers le Sud.

- Une oligotrophie plus élevée au niveau de la partie orientale que celle occidentale.

- Une production biologique décroissante du Nord vers le Sud, et de l'Ouest vers l'Est, et qui est inversement proportionnelle à la croissance de la température et la salinité.

### **2-1-2- Choix, localisation et présentation des sites d'étude :**

Deux sites ont été choisis pour cette étude, au niveau de la wilaya de Skikda, à l'Est du littoral Algérien en méditerranée, la ville est située entre les longitudes de 06°27'10"E et 07°10'02"E, à 510 Km d'Alger ; elle s'étend sur une superficie maritime de 3069 km<sup>2</sup>, avec 142 km de côtes. Ces dernières sont constituées par une succession de plages, regroupées en trois zones (Ouest, Centre, Est), allant de l'embouchure de l'Oued Zehor à l'Ouest aux falaises de cap de fer à l'Est, et caractérisées par un paysage varié, avec de vastes étendues de sables, en alternance avec des falaises ; la région de Skikda appartient aux domaines bioclimatiques humides et subhumide, l'étage humide couvre toute la zone occidentale montagneuse, ainsi que les sommets à l'Est et au Sud, il est à variante douce ou tempérée au littoral et froide à l'intérieure ; l'étage subhumide couvre le reste de la région et notamment les plaines.

Le premier site est localisé à la daïra de Skikda au niveau de la zone côtière « Centre », et le deuxième à la daïra de Collo au niveau de la zone côtière « Ouest », avec deux stations de prélèvement pour chacun (Figure 2). La wilaya de Skikda est d'une importance stratégique, elle appartient au Tell septentrional composé de montagnes et de plaines, et présente des caractéristiques topographiques et hydrographiques particulières ; au niveau de la région Est de Skikda, le réseau hydrique consiste à l'Oued El Kebir, Oued Saf Saf et Oued Guebli, avec deux ports de pêche (celui de Stora, et celui de la Marsa), en plus du port mixte ainsi que le nouveau port (pétrolier). Quant à la région de Collo (Ouest de Skikda), la vallée est bordée par une série de collines et de montagnes formant un relief très accentué, le réseau hydrique consiste à l'Oued Guergoura (ou Boutout, affluent majeur d'Oued Guebli), Oued Cherka et Oued Lahmar (Beloulou, 1987), la région est dotée d'un petit port de pêche

situé à l'Ouest, et caractérisée également par une activité agricole locale, bien qu'elle est extrêmement réduite ces dernières années.

Le choix des sites a été basé en tenant compte de certaines considérations qui sont les suivantes : En premier lieu, ces deux sites ont déjà fait l'objet d'études antérieures (notre équipe de recherche), le présent travail essaye donc de poursuivre ces investigations et mettre en évidence une éventuelle évolution des changements spatio-temporelles, et ce, en analysant d'autres stations qui peuvent être soumises à différents types et niveaux de la pression anthropique, à savoir industrielle, urbaine et agricole.

En deuxième lieu, pour le choix de ces quatre stations, on a pris en considération deux points essentiels qui sont la facilité d'accès et l'abondance de l'espèce, afin de pouvoir disposer d'un lot suffisant en provenance des mêmes stations, pendant la durée de l'étude sans risque d'épuiser la ressource.

#### **2-1-2-1- Stations choisies de Skikda :**

La première station est la plage l'Îlot ( $36^{\circ}53'37''N$  ;  $6^{\circ}55'90''E$ ) située entre l'ancien port (port mixte) et le nouveau port de Skikda, la deuxième est la plage Bikini ( $36^{\circ}52'58''N$  ;  $6^{\circ}55'22''E$ ) également très proche du port de Stora.

Le littoral Est de Skikda est caractérisé par un trafic maritime intense, des rejets urbains d'une grande ville, et bien connu pour être affecté par les émissions de la zone industrielle pétrochimique, ce qui le rend un secteur fortement influencé par la pollution ayant pour majeurs problèmes la pollution causée par le transport, la transformation, et le stockage des hydrocarbures et de leurs dérivés.

#### **2-1-2-2- Stations choisies de Collo :**

La première station est la plage Ben Zouit ( $36^{\circ}58'16''N$  ;  $6^{\circ}36'57''E$ ), la deuxième est la plage Tamanart ( $37^{\circ}3'23''N$  ;  $6^{\circ}30'59''E$ ), les deux sont suffisamment éloignées de toute source de pollution industrielle, et abritent des espèces biologiques très remarquables, et donc considérées comme stations de référence comparativement aux deux stations considérées comme polluées.



**Figure 2** : Localisation géographique des sites d'étude sur le littoral Est Algérien (Google Earth).

### 2-1-3- Paramètres physico-chimiques :

Afin d'évaluer l'état de santé des stations de prélèvement et de mieux interpréter l'ensemble de nos résultats, il est nécessaire de connaître les facteurs naturels du milieu, qui permettent de mieux détecter toute perturbation de sa qualité, pouvant influencer la physiologie des deux espèces étudiées ; ainsi, à chaque sortie durant l'année 2013-2014, des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer ont été enregistrés sur terrain, afin d'éviter toute modification significative de ces paramètres ; de même, la couche superficielle du sédiment (premiers centimètres d'épaisseur) a été prélevée, conservée dans des flacons en verre, et transportée dans une glacière au laboratoire, pour des analyses ultérieures. Il est à noter que le sédiment de la station de l'Îlot à Skikda était impossible à prélever, à cause des reliefs rocheux de cette plage.

#### 2-1-3-1- Paramètres physico-chimiques de l'eau de mer :

La qualité de l'eau de mer a été évaluée selon les paramètres suivants, et ce, à l'aide d'un multi paramètres (Multi 340 i/SET) :

- La température en degré Celsius (C°),
- La salinité qui représente la masse de la substance solide dissoute dans l'eau de mer, exprimée en milligramme par litre (mg/l),
- L'oxygène dissous où la quantité d'oxygène en solution, a été évaluée en milligramme par litre (mg/l),
- Le potentiel d'hydrogène (pH) relié à l'activité des ions hydrogènes (H<sup>+</sup>) exprimant soit l'acidité ou bien l'alcalinité de l'eau de mer.

### **2-1-3-2- Paramètres physico-chimiques du sédiment :**

Une fois au laboratoire, les différents échantillons de sédiment (substrat meuble) prélevés à partir des deux sites sont séchés dans une étuve à 105 C°, jusqu'à un poids constant, cette étape a pour objectif de réduire l'influence liée à la teneur en eau très variable, les analyses suivantes ont été effectuées :

**- Analyse granulométrique :** La granulométrie de l'ensemble des sédiments étudiés a été réalisée grâce à un granulomètre par diffraction laser MALVERN (MASTERSIZER 2000) sur une gamme de 0,02 µm à 2000 µm, relié à un ordinateur muni d'un logiciel Mastersizer 2000, au niveau de l'unité de recherche matériaux, procédés et environnement, au département de génie des matériaux (faculté des sciences de l'ingénieur), à l'Université M'hamad Bougara de Boumerdes.

Le principe de cette analyse repose sur l'interaction entre un rayon laser incident et l'ensemble de particules dispersées de l'échantillon induisant une diffraction ; l'appareil est constitué de cinq sous-ensembles (un système de dispersion de la poudre ; un système de mise en circulation de la poudre ; un banc optique ; un ensemble électronique d'amplification des signaux de mesure ; un micro-ordinateur), le logiciel analyse l'intensité du rayonnement diffracté et l'angle de diffraction, qui sont en fonction de la taille des particules (inversement proportionnelle) fournissant la répartition avec le pourcentage en volume des différentes fractions granulométriques de l'échantillon.

L'analyse consiste à faire introduire l'échantillon dans l'appareil via une colonne surmontée par un petit tamis mobile, les particules étant dispersées sont transportés face au faisceau laser, le banc optique contient le système de détection de la lumière diffractée ; double clic sur l'icône Mastersizer 2000, la boîte de dialogue « User name » apparaît, un clic alors sur

« Ok », pour avoir accès au tableau de contrôle cliquer sur « Mesure » puis « Manual », pour initier la mesure il faut cliquer sur le bouton « Start », le résultat du calcul des tailles des particules s'affiche alors sous forme de classes de dimensions et leurs proportions.

Cette technique a donc pour objectif de mesurer plus finement la distribution par taille des particules de nos échantillons, et d'identifier les différentes fractions granulométriques qui les caractérisent, ainsi les classes suivantes sont basées sur la classification de Buchanan (1984) ; la teneur en chacune de ces classes granulométriques nous a permis de classer le sédiment des trois stations accessibles.

- 1) Pérites (taille des particules < 63  $\mu\text{m}$ ),
- 2) Sable très fin (entre 63  $\mu\text{m}$  et 125  $\mu\text{m}$ ),
- 3) Sable fin (entre 125  $\mu\text{m}$  et 250  $\mu\text{m}$ ),
- 4) Sable moyen (entre 250  $\mu\text{m}$  et 500  $\mu\text{m}$ ),
- 5) Sable grossier (supérieure à 500  $\mu\text{m}$ ).

- **Le pH** : 50 ml d'eau distillée sont ajoutés à 20 g de sédiment sec (bêcher en plastique), après une agitation de 2 min, laisser reposer au moins 30 min, avant de mesurer le pH à l'aide d'un pH-mètre.

### **2-1-3-3- Analyse des éléments chimiques et des éléments traces métalliques :**

Au contraire des contaminants organiques qui sont synthétiques (xénobiotiques), présentant un nombre presque sans limite et croissant, ceux inorganiques sont des constituants naturels de la croûte terrestre avec un nombre limité au tableau périodique des éléments (Campbell & Couillard, 2004), ainsi, ces éléments inorganiques sont présents dans tous les compartiments en plus des êtres vivants ; cependant, une fois que les éléments métalliques sont libérés dans le milieu, soit par des processus naturels (altération) ou anthropiques (exploitation minière), ils peuvent être transportés par voie éolienne ou par voie aqueuse, pour se trouver finalement dans le milieu aquatique.

Les métaux sont répartis dans les diverses fractions et sous différentes formes physico-chimiques, c'est la spéciation (Templeton *et al.*, 2000) ; dont la spéciation physique d'un métal correspond à sa distribution entre les formes particulières, colloïdales ou dissoutes, alors que sa spéciation chimique consiste à son implication dans la formation de divers

complexes de coordination ; ainsi, un métal cationique peut être sous forme d'ions libres hydratés, de complexes inorganiques impliquant les anions inorganiques, de complexes organiques impliquant des ligands monomères simples, et de complexes organiques impliquant des ligands polymères complexes (Campbell & Couillard, 2004). La spéciation des éléments métalliques conditionne leur mobilité et par suite leur biodisponibilité (Millero & Pierrot, 2002).

L'analyse des éléments chimiques concerne les échantillons de l'eau de mer prélevée des quatre stations (sans subir un traitement par évaporation) ; ainsi que ceux du sédiment et des organismes biologiques (en provenance de trois stations), qui ont été séchés dans une étuve à 80 C°, deux à trois jours jusqu'à un poids constant (dépendant de la nature de l'échantillon, et de son poids humide avant le séchage, au moins 05 g), pour être par la suite broyés jusqu'à l'obtention d'une poudre homogène.

La détection et la quantification des éléments chimiques a été réalisée (au cours du mois de Juin 2016) sur les trois composants : eau, sédiment, et matériel biologique, à l'aide d'un spectroscope de fluorescence X par dispersion d'énergie (Epsilon 3, PANalytical), commandé par un ordinateur sur lequel est installé un logiciel d'analyse Epsilon 3, ce travail expérimental a été réalisé au niveau du laboratoire de traitement des eaux, au département de chimie (faculté des sciences), à l'Université Mentouri de Constantine.

Cette technique d'analyse utilise une propriété physique de la matière la fluorescence des rayons X, le principe est de bombarder de la matière avec des rayons X, cette dernière réémet elle-même des rayons X dont l'analyse du spectre révèle des pics de différentes intensités qui sont caractéristiques de la composition en éléments chimiques présents dans l'échantillon ainsi que leurs concentrations massiques.

C'est une méthode d'analyse chimique considérée comme non destructive, qui ne nécessite pas une attaque acide, la procédure d'analyse consiste à préparer pour chaque échantillon constitué de 5 ml d'eau de mer ou bien 5 g de poudre (sédiment ou matériels biologiques) dans une coupelle constituée d'une bague recouverte d'un côté par un film mylar et de l'autre d'un couvercle étiqueté (référence de l'échantillon), et par la suite les placer au niveau du chargeur d'échantillons au contact du film à travers lequel ils seront analysés. La mesure à réaliser est sélectionnée à partir du logiciel « Measure Application » ; une fois commencée, l'avancement de l'analyse est surveillé sur la barre d'état, dès que la mesure est

terminée les résultats s'affichent dans la fenêtre « Last result » indiquant tous les éléments chimiques présents dans l'échantillon ainsi que leurs concentrations.

Nos résultats ont été représentées d'abord sous forme d'une caractérisation de la composition globale des échantillons en éléments chimiques et leurs concentrations, ces derniers étaient de nature différente vérifiée à partir du tableau périodique, parmi lesquels ceux métalliques subdivisés en éléments majeurs, et ceux en traces (ETM).

Selon Navratil & Minarik (2005) les éléments traces (microéléments) sont les 79 éléments chimiques constituant la croûte terrestre, dont la concentration en masse est < à 0,1 %, l'ensemble de ces éléments constitue moins de 0,5 %, tandis que, les 10 éléments majeurs (O<sub>2</sub>, Si, Fe, Al, Ca, K, Na, Mg, Ti, H) représentent plus de 99 %, d'après les même auteurs l'appellation d' « élément trace » n'est pas précise, un élément donné peut présenter au niveau d'un compartiment une très faible concentration, et ainsi considéré comme un élément trace ; cependant, le même élément peut constituer la majeure partie d'un autre compartiment ; parmi ces éléments plusieurs sont essentiels à la vie biologique, ainsi, afin d'identifier les métaux prioritaires de ceux à caractère écotoxicologique, Wood (1976) a classé ces éléments en trois catégories selon deux critères, qui sont la toxicité et la disponibilité (Tableau 1).

**Tableau 1** : Classification des éléments métalliques dans un contexte environnemental en trois catégories : A, B et C d'après Wood (1976) in Campbell & Couillard (2004).

<b>(A) Éléments non toxiques</b>			<b>(B) Éléments très toxiques et relativement accessibles</b>			<b>(C) Éléments toxiques mais insolubles ou très rare</b>		
Li	Si	Fe	Be	Se	Au	Ti	Rh	Ta
Na	K	Rb	Cr	Pd	Pt	Ga	In	W
Mg	Ca	Sr	Co	Ag	Hg	Zr*	Ba	Re
Al	Mn*		Ni	Cd	Tl	Nb	La	Os
			Cu	Sn	Pb	Ru	Hf	Ir*
			Zn	Sb	Bi			
			As	Te				

\* Classification selon Förstner & Wittmann (1981).

Pour évaluer l'impact d'un métal dans l'environnement, la détection de sa présence en plus de la simple mesure de sa concentration seules ne sont pas suffisantes, mais plutôt la vérification si un métal donné se trouve à des niveaux anormalement élevés par rapport au

fond géochimique, pour cela certains indices ont été également calculés, à savoir le facteur d'enrichissement et l'indice de géoaccumulation ; dont le principe repose sur la normalisation des concentrations des différents éléments métalliques trouvées dans nos échantillons avec des concentrations références (en ces même éléments) mesurées au niveau de la croûte terrestre (croûte supérieure), le choix de ces valeurs références mesurées par Wedepohl (1995) a été inspiré du travail de Rumisha *et al* (2012), les méthodes de calculs ont été relevées des travaux sur l'évaluation du niveau de la pollution (Yongming *et al.*, 2006 ; Rumisha *et al.*, 2012 ; Awadh *et al.*, 2015 ; Wu *et al.*, 2016).

- **Le facteur d'enrichissement (E.F)** : est un indicateur de la nature (naturelle ou bien anthropique) et l'intensité de la contamination anthropique, calculé selon la formule suivante :

$$E. F = \frac{\left(\frac{C_x}{C_{Fe}}\right) \text{échantillon}}{\left(\frac{C_x}{C_{Fe}}\right) \text{référence}}$$

$C_x$  : concentration de l'élément X (mesurée au niveau de l'échantillon, ainsi que sa concentration référence),

$C_{Fe}$  : concentration du Fer considéré comme élément de normalisation (mesurée au niveau de l'échantillon, ainsi que sa concentration référence).

- **L'indice de géoaccumulation (Igéó)** : est un critère d'estimation du niveau de la contamination métallique, calculé selon la formule suivante :

$$Igéó = \log_2 \frac{C_x}{1,5 \times B_x}$$

$C_x$  : concentration de l'élément X, mesurée au niveau de l'échantillon,

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

$B_x$  : concentration référence de l'élément X.

Afin d'interpréter les différents résultats calculés de ces deux indices, cinq catégories de contamination basées sur le E.F, ainsi que sept autres basées sur l'Igéó ont été vérifiées (Tableau 2).

**Tableau 2 :** Les différentes catégories de contamination basées sur le facteur d'enrichissement (E.F) selon Yongming *et al* (2006) ; ainsi que celles basées sur l'indice de géoaccumulation (Igéó) selon Müller (1969) (in Wu *et al.*, 2016).

<b>E.F</b>	<b>Catégories de contamination</b>	<b>Igéó</b>	<b>Niveaux de pollution</b>
< 2	Déficiência à enrichissement minimal	< 0	Non pollué
2–5	Enrichissement modéré	0-1	Non à modérément pollué
5–20	Enrichissement significatif	1-2	Modérément pollué
20–40	Enrichissement très élevé	2-3	Modérément à fortement pollué
> 40	Enrichissement extrêmement élevé	3-4	Fortement à extrêmement pollué
-	-	4-5	Fortement à extrêmement pollué
-	-	≥5	Extrêmement pollué

Afin de pouvoir déterminer le risque que représente un contaminant vis-à-vis des organismes, il est indispensable d'évaluer la biodisponibilité de ce contaminant, un composé est dit biodisponible lorsqu'il peut rentrer en contact direct avec l'organisme et être absorbé et traverser la membrane cellulaire, elle dépend de l'organisme lui-même, et des voies de l'exposition, en plus des paramètres physico-chimiques du milieu (Ehlers & Luthy, 2003) ; dans ce contexte, les organismes marins peuvent accumuler les contaminants dans leurs tissus, c'est la bioaccumulation définie par Leblanc (1995) comme l'absorption par un organisme d'un élément chimique, directement à partir de son environnement abiotique et biotique, où la concentration de cet élément peut être (ou non) supérieure à celle de la source ; de même, la bioamplification (biomagnification) est définie comme un processus par lequel un xénobiotique est transféré de la nourriture à un organisme, entraînant ainsi une concentration plus élevée par rapport à la source (Gray, 2002), il s'agit dans ce cas de la possibilité pour un toxique d'être accumulé de plus en plus le long de la chaîne alimentaire, les concentrations maximales se trouvent alors au niveau des grands prédateurs (y compris l'homme).

Ainsi, pour évaluer le niveau de contamination des deux espèces de Nereididae 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 :

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

$C_{x \text{ tissu}}$  : concentration de l'élément X mesurée au niveau des tissus,

$C_{x \text{ sédiment}}$  : concentration de l'élément X mesurée au niveau du sédiment.

Il est à noter que, contrairement aux contaminants organiques qui ne sont jamais essentiels à la vie biologique, parmi ceux inorganiques on peut distinguer certains éléments (métaux et métalloïdes) indispensables aux processus biologiques (entre autre le Cu, Fe, Co, Mn, Ni, Zn) (leur présence dans le milieu naturel est essentielle, mais ils sont toxiques à fortes concentrations), de ceux non essentiels toxiques à des concentrations inférieures à celles des éléments essentiels (ex : Cd, Hg) (Campbell & Couillard, 2004).

#### **2-1-4- Méthode d'échantillonnage et traitement de la récolte :**

Sur chacune des quatre stations d'étude, la macrofaune et la flore associée ont été prélevés dans la zone intertidale à marée basse ; la méthode d'échantillonnage est la même inspirée des travaux de Rouabah & Scaps (2003), elle consiste à déterminer une superficie de 1 m<sup>2</sup> par un quadrat (échantillonnage aléatoire simple), puis procéder à forcer les animaux à sortir de leurs galeries par l'utilisation de l'eau de javel en solution dilué à 10 % dans l'eau de mer.

Les vers sont alors immédiatement collectés en douceur à l'aide d'une pince, afin de ne pas les couper ; en plus de certaines espèces de macroinvertébrés comme les Arthropodes décapodes et les Mollusques gastéropodes, qui essayent de s'enfuir, ou bien de s'accrocher au substrat ; alors que la flore et le reste des invertébrés ont été collectés (soigneusement à l'aide d'un grattoir) par raclage des algues (y compris la faune associée) ; les récoltes ont été gardées dans l'eau de mer des stations d'origine dans des boîtes en plastique étiquetées, et transportées immédiatement dans une glacière au laboratoire.

Une fois au laboratoire, le matériel retenu est placé dans un plateau à fond blanc avec environ 2 cm d'eau de mer, tous les animaux sont extraits et séparés des algues, l'ensemble est triés par groupe zoologique et botanique, et fixé dans une solution de formol à 10 % dans l'eau de mer ; ils ont été examinés sous une loupe binoculaire (ZEISS STEMI DV4) pour

faciliter l'observation de certains détails, et donc permettre une identification plus précise des espèces, et à la fin conservés dans une solution d'éthanol 70 %.

Concernant les vers polychètes et avant d'être fixés dans le formol, ils ont été immédiatement examinés, afin d'identifier et séparer les spécimens de *P. cultrifera* et *P. macropus* des autres taxons, alors des lots d'individus (de chaque espèce) nécessaires pour les différentes analyses qui restent (biologique, immunitaire, et écotoxicologique) ont été déterminés, et conservés suivant les objectifs des protocoles correspondants.

Il est à noter que pour l'identification des différents groupes zoologiques et botaniques plusieurs données bibliographiques ont été consultés (Grimes, 2004 ; Fontaine 2006 ; Moissan, 2006 ; Fish & Fish, 2011) ; notamment pour les Annélides Polychètes on cite principalement les ouvrages de Fauvel (1913 ; 1923 ; 1936) indispensables à la taxonomie des Polychètes, en plus de ceux d'Imajima & Gamô (1970), Imajima (2003) ; quant à la confirmation du statut taxonomique actuel des différents taxons, deux principaux sites webographiques ont été également vérifiés (MarBEF data et AlgaeBase).

De même, l'identification des genres et espèces de la famille des Nereididae nécessite l'observation de leurs pharynx, qui se rétracte à l'intérieur comme réponse à la manipulation ; il faut donc procéder à extroverser la trompe en étant anesthésiés avec l'alcool, et si cela ne cause pas l'évagination, une légère pression a été appliquée à leur région pharyngienne derrière la tête.

#### **2-1-5- Biodiversité, inventaire et indices écologiques :**

Afin de définir la faune et la flore associées aux deux espèces d'Annélides étudiées ainsi que la biodiversité des quatre stations retenues, deux études ont été entretenues durant la période d'étude allant de Septembre 2013 à Août 2014, d'abord une qualitative par analyse de la répartition taxonomique en embranchements (zoologiques et botaniques) qui nous a permis de dresser des listes taxonomiques, et puis une autre quantitative par dénombrement des individus par espèces zoologiques, qui nous a permis de calculer les différents indices écologiques de biodiversité :

- **La richesse spécifique (S)** : est le nombre total d'espèces recensées dans le prélèvement,

**S = nombre d'espèces dans le prélèvement**

- **L'abondance (A)** : représente le nombre total d'individus d'une espèce, récoltée dans le prélèvement,

**A = nombre d'individus d'une espèce**

- **La dominance (P<sub>i</sub>)** : exprime en pourcentage l'abondance d'une espèce i par rapport à l'abondance totale des individus de toutes les espèces présentes dans le prélèvement,

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

**n<sub>i</sub>** : effectif d'individus de l'espèce i ; **N** : effectif total d'individus de toutes les espèces.

- **L'indice de Shannon-Weaver (H')** : permet d'étudier l'équilibre en terme de la composition en espèces d'un écosystème, en termes de nombre d'espèces et de leurs abondances relatives donné par la formule suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^{i=s} (P_i \ln P_i)$$

**S** : nombre total d'espèces ;

L'indice de Shannon varie entre zéro et Ln S ; **H' = 0** : tous les individus appartiennent à une seule espèce ; **H' = Ln S** : les individus appartiennent à différentes espèces.

- **L'indice d'équitabilité de Pielou (J')** : visualise l'équitabilité de la répartition des espèces.

$$J' = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{H'}{\ln S}$$

**H'<sub>max</sub> = 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- Analyse biologique :

### 2-2-1- Présentation des matériels biologiques :

L'Annélide polychète *Perinereis cultrifera* (Grube, 1948) est une espèce benthique appartenant à un complexe d'espèces (Scaps *et al.*, 2000 ; Maltagliati *et al.*, 2001 ; Rouabah & Rouabah, 2007), caractérisée par une répartition géographique étendue (Rouhi *et al.*, 2008) ; l'aire de répartition occupe la Méditerranée, le nord-ouest de l'Europe, l'océan Atlantique, l'océan Indien, et le Pacifique (Fauvel, 1923 ; 1953 ; Imajima & Gamô, 1970). En Algérie, elle est communément appelée « ver vert de roche », ou encore « ver à antennes et à pattes », elle est collectée à partir de substrats durs recouverts d'algues de la zone intertidale, et vendus comme appât commercial pour la pêche sportive (Rouabah *et al.*, 2008 ; Younsi *et al.*, 2010).

Cette espèce est très répandue au niveau de plusieurs plages des villes Algériennes, citons celles d'Alger (Pointe Pescade, Figuier), Collo (Tamanart, Ain Doula, Ain Om El-Ksab, Ben Zouit), Skikda (Miramar, Bikini, l'Îlot), Annaba (Saint Cloud) et El-Kala (El-Mordjène, la vieille Calle) (Rouabah *et al.*, 2008 ; Younsi, 2014 ; Guemmouda, 2015 ; Meghlaoui, 2015 ; Snani, 2016) ; en méditerranée elle occupe également la côte du Maroc (Rouhi *et al.*, 2008 ; Sif *et al.*, 2012) et celle de l'Egypte (Dorgham *et al.*, 2015).

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

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

L'Annélide polychète *Perinereis macropus* (Claparède, 1870) est une espèce benthique décrite par Fauvel (1913) en Méditerranée, selon le même auteur (1936) sa répartition géographique occupe le Naples, Monaco, Algérie, Tunisie et Maroc ; au niveau de

nos côtes algériennes elle semble moins répandue comparativement aux deux Nereididae *P. cultrifera* et *Platynereis dumerilii*, et ce, en se basant sur les données de Guemmouda (2015) et celles de Meghlaoui *et al* (2015 b) confirmées par le présent travail, ce qui nous conduit à déduire préliminairement que sur les quatre sites explorés jusqu'à présent (Collo, Skikda, Annaba et El-Kala) elle occupe la côte de Collo.

Les informations relatives à la biologie et l'écologie de cette espèce sont moins abordées, bien qu'elle a été récemment signalée en Tunisie au niveau de Cap Bon Peninsula (Zaabi *et al.*, 2012), et du golfe de Gabes, où sa biologie de reproduction a été étudiée par Zribi *et al* (2007 ; 2014) et Zribi & Tekaya (2009).

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

Règne :	Animal
Embranchement :	Annélides
Classe :	Polychètes
Sous classe :	Aciculata
Ordre :	Phyllodocida
Famille :	Nereididae
Genre:	<i>Perinereis</i> (Kinberg, 1865)
Espèce :	<i>macropus</i> (Claparède, 1870)

### **2-2-1-1- Morphologie externe :**

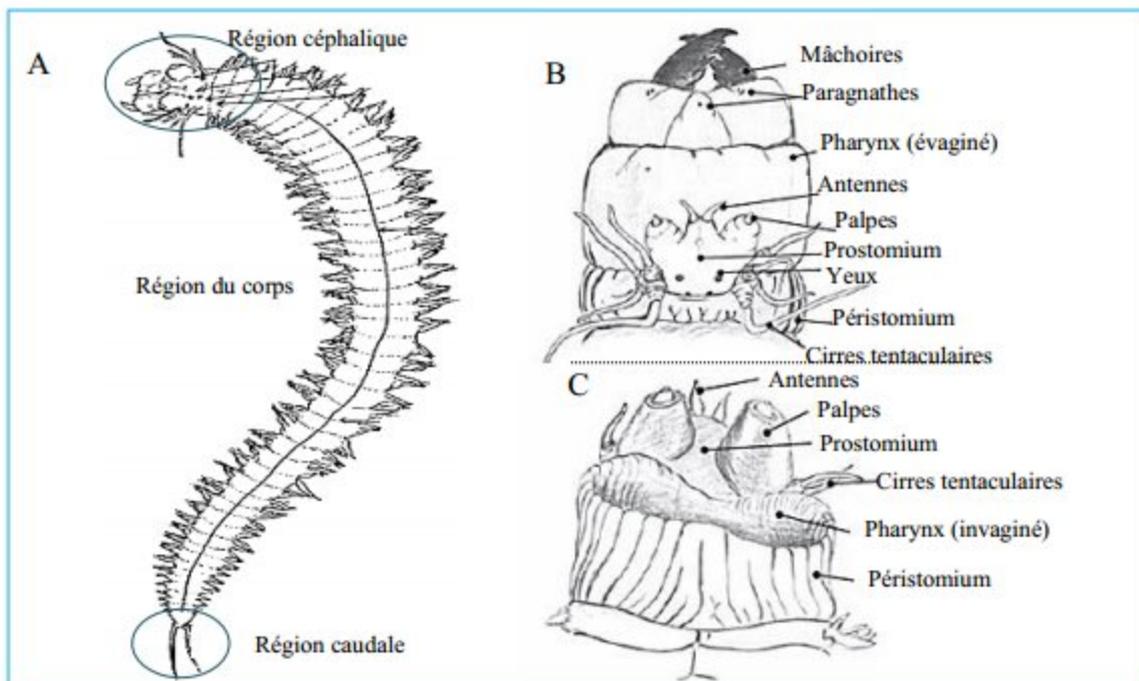
En général le corps d'un Annélide Polychète comprend trois parties (Fauvel, 1923), comme le montre la figure 3 :

**La région céphalique** composée 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 extroversé se termine par une paire de mâchoires brunes dentelées (Figure 3B, 3C). Á la surface de cette trompe, il y a des petites denticules : les paragnathes, qui sont distribués sur des aires conventionnés par des chiffres romains allant de I à VIII, (Tableau 3 ; Figures 6, 7).

**La région du corps** est constituée d'unités répétées appelés métamères (ou encore sétigères) identiques arrangées le long de l'axe antéro-postérieur, visibles extérieurement ; chaque métamère porte une paire de prolongements musculaires latéraux de la paroi du corps : les parapodes (Figure 3A).

Chaque parapode est constitué d'un lobe dorsal le notopode, avec un cirre dorsal, et un lobe ventral, le neuropode, qui porte un cirre ventral ; le parapode est biramé à l'exception des parapodes des deux premiers sétigères qui sont uniramés (lobe dorsal uniquement) ; chaque lobe du parapode biramé porte un faisceau de soies appelées aussi notochaeta ou bien neurochaeta ; selon leur localisation sur le noto ou bien le neuropode, et soutenue par une acicule (Figure 5).

**La région caudale** : la queue est appelée pygidium, porte l'anus en position terminale, et deux cirres pygidiaux. C'est en avant du pygidium que se trouve la zone de croissance et de régénération. Les seules parties du corps qui ne sont pas métamérisés sont la tête et le pygidium (Figure 3A).



**Figure 3** : Schéma montrant l'aspect général du corps d'un Nereididea (A) (in Younsi, 2014) ; le détail de la région céphalique d'un *Nereis sp.*, face dorsale (B) et face ventrale (C) (in Fontaine, 2006).



**Figure 4 :** Présentation des différentes parties du corps des deux espèces :

- *P. macropus* : Vue dorsale de la totalité 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) ; Vue ventrale du pygidium (E) ; Mâchoire dentelée (F).

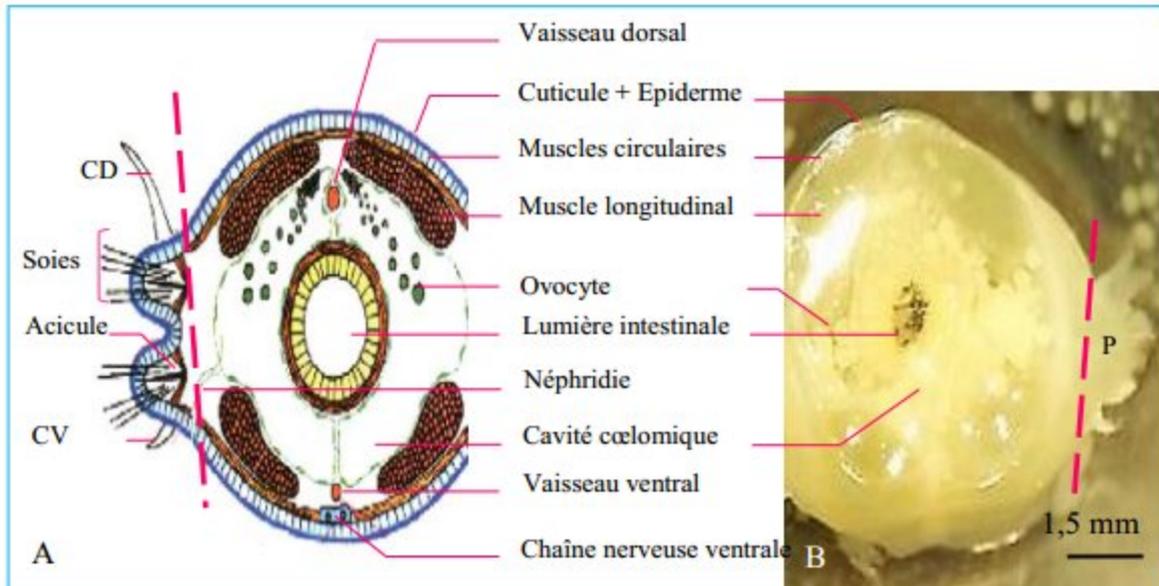
- *P. cultrifera* : Vue dorsale de la totalité du corps (G) ; Vue dorsale de la partie céphalique (H) ; Vue ventrale de la partie céphalique (I) ; succession de métamères identiques formant la région du corps, chacun porte une paire de parapodes (J) ; Vue dorsal du pygidium (K) ; Vue dorsale des détails de la tête (L).

Abréviations : quatre paires de Cirres Tentaculaires (CT), Palpes biarticulées (Pa), Pygidium (Py), Cirres Pygidiaux (CP), paire d'Antennes (A), quatre Yeux (Y).

### 2-2-1-2- Anatomie interne :

Chez les deux espèces *P. cultrifera* et *P. macropus*, les métamères sont semblables (homonomes), une coupe transversale au niveau d'un métamère du corps (Figure 5) montre que les organes dérivés du mésoderme sont organisés de façon métamérique, par contre des organes dérivés de l'endoderme qui ne le sont pas. Chaque métamère est organisé comme suit :

La paroi du corps comprend une cuticule et un épiderme ; sous laquelle se trouve une couche de muscles circulaires, et quatre muscles longitudinaux ; dans l'espace laissé libre par la masse musculaire, chaque segment comporte une paire de vésicules cœlomiques formant le cœlome dans lequel baignent les cellules germinales ; le tube digestif s'étend en ligne droite, commence par la bouche qui porte une trompe dévaginable et se termine par un anus ; le système circulatoire est clos, et constitué de deux vaisseaux médians (un dorsal et un ventral) ; la respiration est cutanée et se fait principalement au niveau des parapodes ; la communication entre le cœlome et le milieu extérieur se fait par les néphridies ; le système nerveux est composé d'une succession de ganglions cérébroïdes reliés à une chaîne nerveuse ventrale par un collier péri-œsophagien.



**Figure 5** : Coupe transversale d'un métamère du corps de *P. cultrifera*, Schéma explicatif (in Younsi, 2014) (A) ; observation sous loupe binoculaire (B).

Abréviations : Cirre dorsal (CD), Cirre ventral (CV), Parapode (P).

### 2-2-2- Description et traits d'identification :

L'identification de notre matériel biologique a été basé 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 6, 7).

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 composés, comme cité dans la description de la famille Nereididae dans Fauchald (1977).

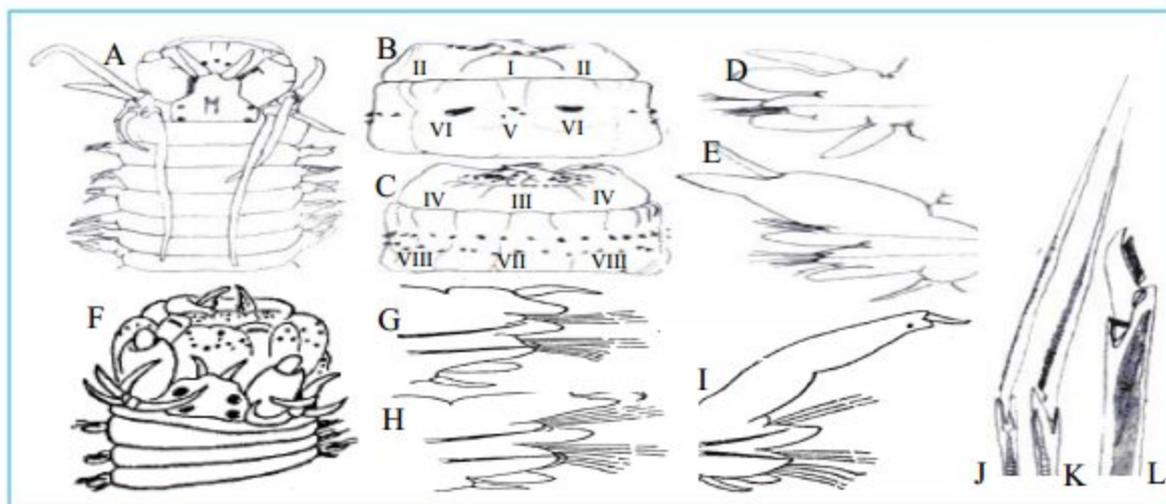
La deuxième étape était de passer à l'identification à des niveaux plus précis, qui était plus complexe, vu que ces deux espèces cohabitent avec d'autres Nereididae très similaires *Nereis falsa* et *Platynereis dumerilii* ; selon l'examen de la répartition du nombre de paragnathes qui présentent des formes particulières.

L'observation des deux anneaux : maxillaire (I, II, III, IV), et oral (V, VI, VII, VIII) du pharynx montre que le nombre des paragnathes diffère fortement selon la localisation géographique, comme le confirment d'autres études (Rouabah & Rouabah, 2007 ; Rouabah *et al.*, 2009), à l'exception des deux zones : VI (shield-shaped), et V (coniques), qui présentent moins de différences, auxquels nous nous sommes intéressés du fait qu'ils sont caractéristiques du genre et espèce respectivement.

D'après Fauvel (1923), les parapodes biramés portent des soies composées en arête homogompe sur le notopode, et des soies en serpe hétérogompe en plus des celles en arête homogompe et hétérogompe sur le neuropode pour *P. cultrifera* ; les mêmes remarques ont été attribuées également à *P. macropus* avec l'absence des soies en arête hétérogompe.

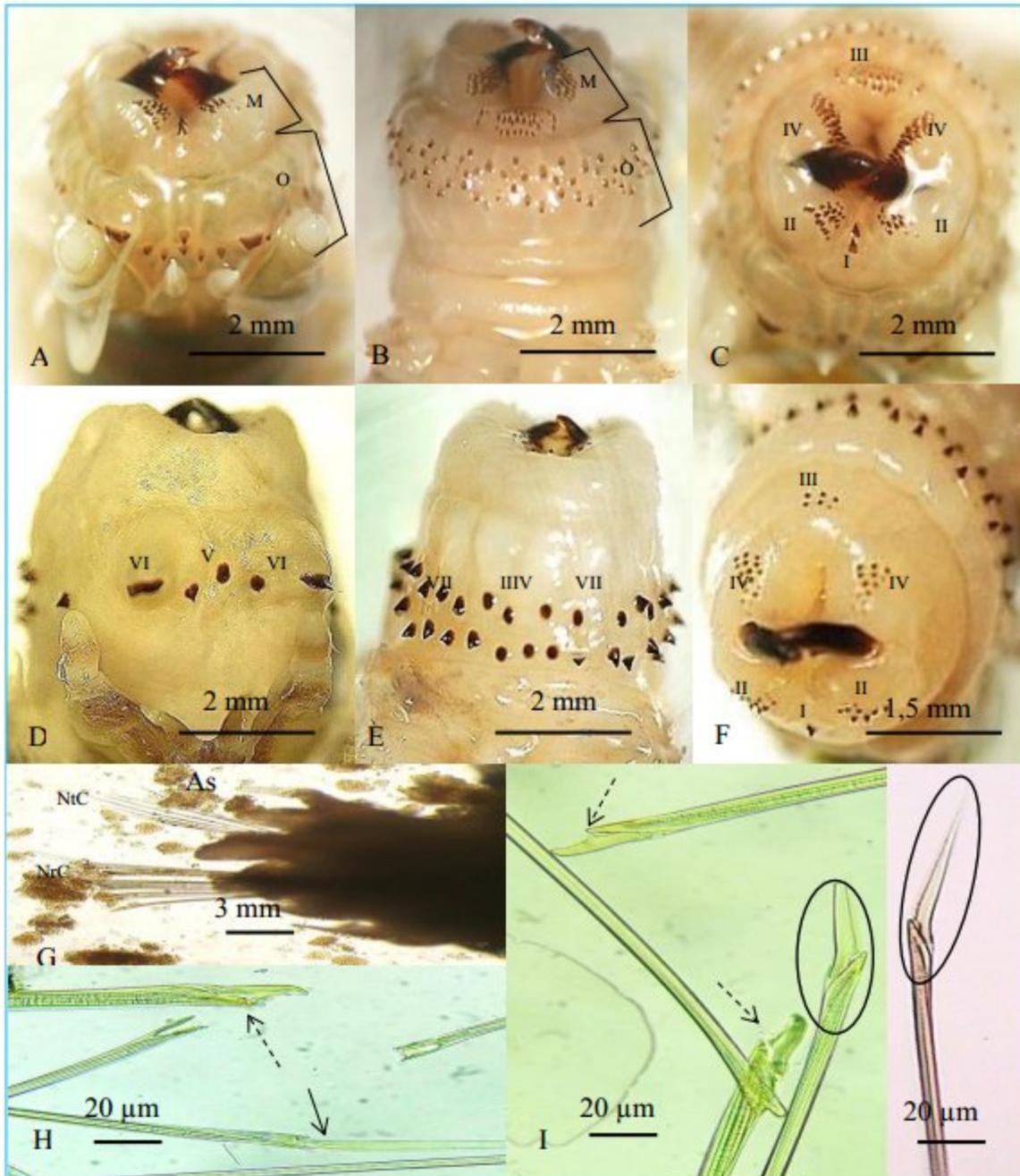
**Tableau 3 :** Taxonomie et identification de *P. cultrifera* et *P. macropus* selon la répartition des paragnathes (nombre et forme) sur les deux anneaux maxillaire et oral, de la tête extroversée, selon Fauvel (1923) et Imajima & Gamô (1970).

Anneaux	Aires	<i>P. cultrifera</i>	<i>P. macropus</i>
Anneau maxillaire	I	1-3 cônes en ligne longitudinale	3-7 cônes rarement 2
	II	de chaque côté un amas de cônes en rangs obliques	de chaque côté un amas de cônes en triangle
	III	amas rectangulaire à 2 rangs	amas rectangulaires flaqué de 3-4 cônes de chaque côté
	IV	de chaque côté un amas de cônes en triangle	de chaque côté un amas de cônes en triangle
Anneau oral	V	3 cônes en triangle	un gros cône et 5-12 (souvent 10) subégaux, en ligne irrégulière ou en groupe
	VI	de chaque côté un gros paragnathe coupant transversal (bar-chaped)	de chaque côté un gros paragnathe coupant transversal (bar-chaped)
	VII-VIII	une double rangée transversale de cônes égaux et réguliers (le double collier)	4-5 rangées de cônes subégaux



**Figure 6 :** Taxonomie et identification des Annélides Polychètes (in Fauvel, 1923 ; Imajima & Gamô, 1970) :

- *P. cultrifera* : partie antérieure du corps (A), répartition des paragnathes sur la face dorsale (B) et sur la face ventrale (C), parapodes uniramés (D), parapodes biramés (E).
- *P. macropus* : répartition des paragnathes sur la face dorsale (F), parapode biramé de la partie antérieure (G), parapode biramé de la partie moyenne (H), parapode biramé de la partie postérieure (I), soie chitineuse en arête homogomphe (J), en arête hétérogomphe (K), et en serpe hétérogomphe (L).



**Figure 7 :** Présentation montrant l'identification des deux espèces par examen des paragnathes : *P. macropus* (A à C) ; *P. cultrifera* (D à F) ; en plus de celui des soies en arête au niveau du notopode, et celles en arête et en serpe au niveau du neuropode (*P. cultrifera*, ♂) (G) ; zoom des soies : en arête homogompe (flèche), en arête hétérogompe (cercles) ; en serpe hétérogompe (flèches pointillées) (H, I).

Abréviations : anneau Maxillaire (M), anneau Oral (O) ; Notochaeta (NtC) ; Neurochaeta (NrC) ; Amas spermatique (As).

### 2-2-3- Morphologie comparative entre les deux espèces :

Les deux espèces présentent quelques différences morphologiques entre elles d'une part, et entre elles et les autres Nereididae d'autre part, remarquées aisément avec plus de pratique, dont les plus distinguées sont :

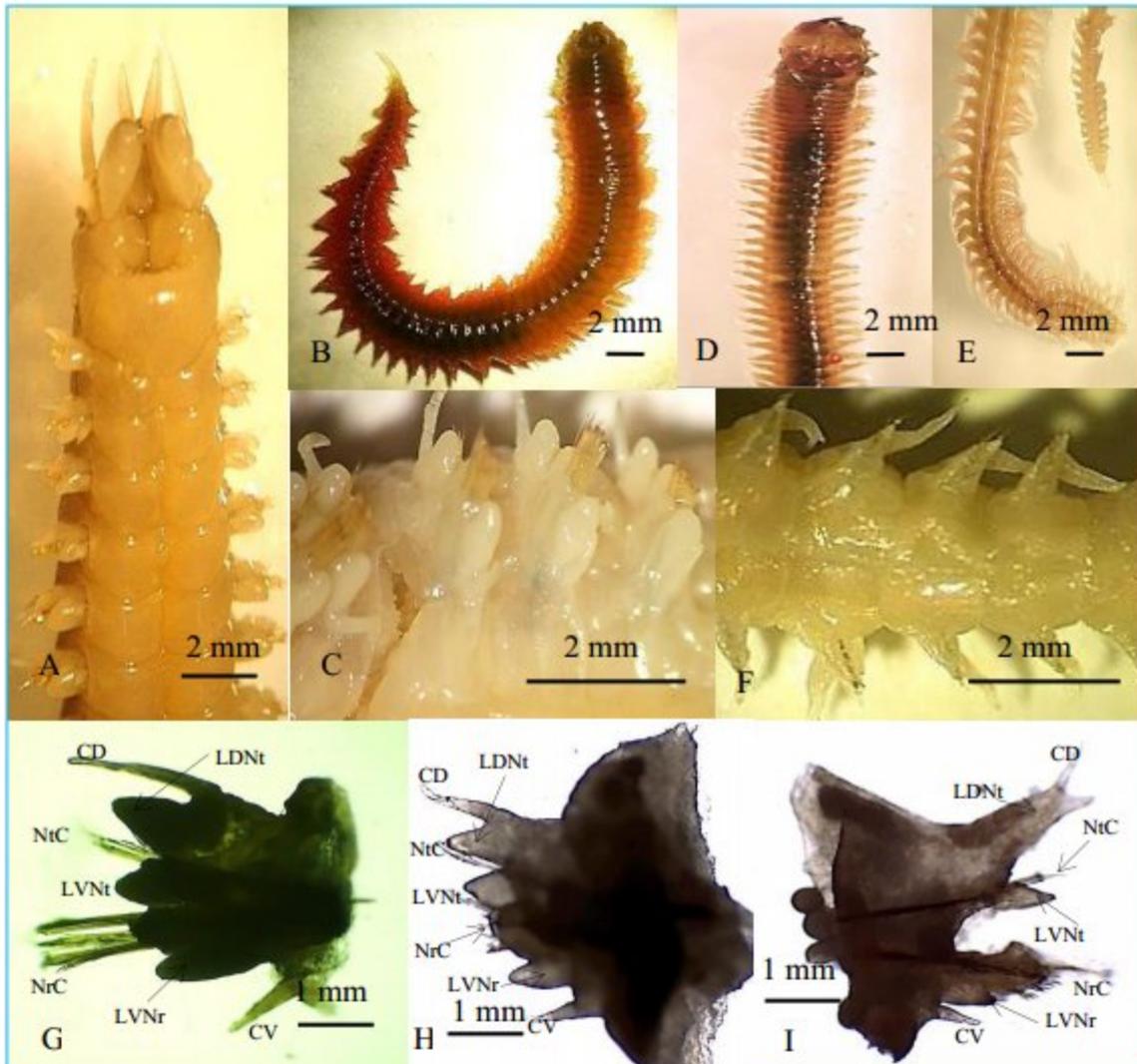
La couleur qui est verte brillante pour *P. cultrifera* et verte bronze pour *P. macropus* ; de même, chez cette dernière, on note facilement après conservation la pigmentation du corps, représentée par des bandes de vert claire à foncé (Figure 4A), qui est moins marqué chez *P. cultrifera*, dont l'intensité de la couleur s'estompe rapidement dans le formol et/ou l'éthanol, mais qui persiste tout de même au niveau du prostomium et des palpes (Figures 4L,7D), ce caractère est très utile pour la description du complexe d'espèces (Glasby *et al.*, 2013).

En général, le corps des individus de *P. macropus* est plus allongé avec un nombre de sétigères plus élevé que celui enregistré chez *P. cultrifera*, caractérisé par une longueur  $L_3$  ainsi qu'une largeur plus importantes, et par de longs cirres tentaculaires, dont le plus long peut atteindre le 5-6ème sétigère contre seulement le 3-4ème sétigère chez *P. macropus*.

Chez *P. cultrifera*, la forme des parapodes tout au long du corps est très similaire, alors que pour *P. macropus*, elle présente une modification de la forme du début de la région postérieure jusqu'au pygidium, manifestée par une élongation et un élargissement de la ligule notopodiale qui porte cependant un court cirre dorsal (Figure 8).

Concernant la forme et la répartition des paragnathes, il est à noter que ceux avec une base rectangulaire, décrits comme bar-shaped appelés « shield-shaped », sont souvent distingués chez les espèces du genre *Perinereis* présentant un seul paragnathe au niveau de l'aire VI, ou bien chez les espèces du genre *Pseudonereis* (Bakken *et al.*, 2009) ; alors que pour le reste des aires, on trouve les paragnathes dont la base est circulaire, et le sommet pointu décrits comme « uniform-base » nommés paragnathes coniques ; en outre, pour la couleur et la taille, on remarque chez *P. cultrifera* des différences d'abord entre les deux anneaux, où ceux de l'anneau oral sont particulièrement plus larges, plus élevés, et plus foncés que ceux présents sur l'anneau maxillaire, et aussi avec les paragnathes chez *P. macropus*, qui ont une taille similaire, mais plus petite, et sont moins foncés, à l'exception de ceux sur l'anneau maxillaire, qui sont très fins et très pointus (Figure 7) ; par ailleurs, chez *Nereis falsa*, on trouve le même type de paragnathes coniques et foncés, alors que chez

*Platynereis dumerilii* on distingue un autre type de paragnathes caractéristique de ce genre, dont la base est circulaire, décrits eux aussi comme « uniform-base », mais qui sont très longs et effilés.



**Figure 8 :** Présentations montrant les différences morphologiques entre les deux espèces : aspect général de la face ventrale montrant la tête dévaginée, ainsi que la succession des métamères (A) ; *P. cultrifera* avec une forme homogène des parapodes le long du corps (B, C) ; *P. macropus* avec une forme modifiée des parapodes au niveau de la partie postérieure (D à F) ; Parapode biramée chez *P. cultrifera* (G) ; Parapode biramée de la partie antérieure chez *P. macropus* (H) ; Parapode biramée de la partie postérieure chez *P. macropus* (I).

Abréviations : Cirre Dorsal (CD) ; Lobe Dorsal Notopodial (LDNt) ; Notochaeta (NtC) ; Lobe Ventral Notopodial (LVNt) ; Neurochaeta (NrC) ; Lobe Ventral Neuropodial (LVNr) ; Cirre Ventral (CV).

#### 2-2-4- Autotomie et régénération :

Les Nereididae sont très mou, sauf pour les mâchoires qui sont la seule partie dure du corps, ces vers perdent accidentellement une partie de leur corps, et ont également la capacité d'autotomie suite à un stress comme la manipulation ; cependant, ils ont également l'habilité de remplacer la partie endommagée du corps appelée régénération, une caractéristique très importante chez la plus part des Annélides, selon Bely (2006) il existe une grande variation concernant la capacité de régénération de la partie postérieure qui semble plus répandue que celle de la partie antérieure ; chez le Nereididae, le segment le plus postérieure du corps comprend la zone de prolifération et un pygidium terminal, et c'est au niveau de cette zone où les nouveaux métamères se forment durant la croissance (Yokoyama, 1988), de sorte que le segment le plus jeune du corps est toujours le plus postérieur ; si cette partie est perdue des cellules vont se différencier et se proliférer et forment un blastème afin de régénérer le pygidium qui forme alors les cires annales, ainsi que la zone de régénération qui forme les nouveaux métamères (Grimmel *et al.*, 2016). Il est également à noter que certaines espèces d'Annélides sont capables de régénérer complètement la tête, ou la queue, ou bien encore les deux à la fois, et ce parfois à partir d'un fragment du corps (Bely, 2014).

La coupure des individus des deux espèces en plus d'autotomie ont été souvent causés au cours des manipulations, de même le phénomène de régénération de quelques à plusieurs métamères a été observé, elle correspond à la partie médiane et aussi postérieure du corps (Figure 9).



**Figure 9 :** Présentation montrant la différence entre la longueur totale du corps de deux individus *P. macropus* causée par autotomie indiquant une partie déjà régénérée (A), début de la régénération au niveau de la partie médiane du corps (B), zoom de la partie régénérée (C).

### 2-2-5- Reproduction :

*P. cultrifera* et *P. macropus* sont des espèces gonochoriques, les géniteurs produisent donc des gamètes mâles ou femelles ; comme d'autres Nereididae les gonades n'ont jamais été localisés (Andries, 2001), la gamétogenèse (ovogenèse et spermatogenèse) est organisée de façon simple, les cellules germinales se développent flottant librement dans le liquide cœlomique (Eckelbarger, 2005), qui sert aussi de véhicule pour la fourniture de substances nécessaires à la croissance des ovocytes (Hoeger *et al.*, 1999) ; l'ovogenèse est qualifiée alors d'extraovarienne, durant laquelle (chez d'autres familles) les cellules germinales en prévitellogénèse quittent l'ovaire, et entrent dans le cœlome pour continuer leur différenciation, soit solitaires ou bien en masse enveloppée par une fine couche de cellules folliculaires (Eckelbarger, 2005).

La gamétogenèse peut être conventionnellement divisée en deux phases, une phase de prolifération, durant laquelle les gonies se divisent par mitose, donnant naissance à des ovocytes ou bien des spermatocytes, et une phase de développement, au cours de laquelle ils se différencient en gamètes matures ; plusieurs études sur le déroulement de l'ovogenèse chez les Nereididae (Beart, 1986 ; Andries, 2001 ; Eckelbarger, 2005 ; Lawrence & Soame, 2010) confirment qu'elle se produit en une période de temps prolongée durant laquelle ils vont subir une croissance très lente, suivie par une croissance rapide, et terminée par une différenciation d'ovocytes matures, ainsi, trois à quatre phases successives de l'ovogenèse sont généralement décrites ; en se basant sur les informations bibliographiques d'Andries (2001) et d'Eckelbarger (2005) sur l'ovogenèse chez les Nereididae, on a relevé qu'elle s'organise en quatre stades manifestants les événements suivants :

**A) Pré-vitellogénèse :** concerne les plus jeunes cellules germinales dites ovogonies, qui apparaissent en massifs de 10 à 20 cellules, reliées entre elles par des ponts cytoplasmiques, et enveloppées par une gaine de cellules (ou cellules folliculaires) ; la croissance des ovocytes commence après initiation de la prophase méiotique, manifestant un accroissement du nombre des organites (ribosomes et mitochondries), un développement du réticulum endoplasmique (RE), et la formation de microvillosités (en surface) ; par la suite, les massifs d'ovocytes se dissocient avant d'entamer la vitellogénèse.

**B) Vitellogénèse :** se prolonge durant le stade diplotène de la première prophase méiotique recouvrant une période de croissance lente, aboutissant à un accroissement du

volume de l'ovocyte due à l'accumulation au niveau de son cytoplasme des matériaux nutritives à savoir les gouttelettes lipidiques, les granules de glycogène, et principalement les granules vitellins ; chez les Nereididae le vitellus accumulé est d'origine hétérosynthétique, la vitéllogénine est produite puis transportée à l'ovocytes via endocytose, contrairement au processus autosynthétique (production par des organites protéosynthétique de l'ovocyte elle-même) ; chez *P. cultrifera* la vitellogénine (la molécule précurseur) secrétée par les éleocytes (cœlomocytes phagocytaires) donne naissance à une forme initial de vitelline, qui entre un processus protéolytique produisant alors la forme mature de vitelline le vitellus (de nature glycolipoprotéique, destiné au développement de l'embryon) qui sera accumulée au niveau des granules vitellins.

**C) Corticogénèse :** correspond à la croissance rapide de l'ovocyte, celle-ci qualifiée alors de submature développe un nouveau type d'inclusions cytoplasmique, qui apparait en l'observant in vivo sous forme de structures globulaires de tailles uniformes, cependant après fixation, elles montrent plutôt un aspect alvéolaire gonflé d'où leur appellation alvéoles corticaux ; ces dernières contiennent un matériel filamenteux constitué de polysaccharides, qui semble avoir une origine autosynthétique, l'appareil de Golgi synthétise ces derniers qui seront transporté vers l'ovocyte ; chez les plus part des espèces de Nereididae, les granules corticaux sont particulièrement très nombreux formant plusieurs couches serrées sous la membrane plasmique (ovocyte mature), et contiennent le matériel qui donne naissance après fertilisation à la gelée protectrice (la guangue) de l'œuf.

**D) Maturité :** correspond au diamètre maximal de l'ovocyte qui montre plutôt un remaniement de ces différents matériaux nutritifs accumulés durant les stades précédents, plusieurs couches peuvent être observées : à l'intérieur des ribosomes et mitochondries, puis des gouttelettes lipidiques et du vitellus en position intermédiaire, en plus des alvéoles corticaux vers l'extérieur sous la membrane plasmique.

#### **2-2-5-1- Ovogenèse chez *P. cultrifera* :**

En observant les premières données bibliographiques sur l'ovogenèse chez *P. cultrifera*, on note quatre stades décrits par Porchet (1974) dans un contexte biochimique (Figure 10) :

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

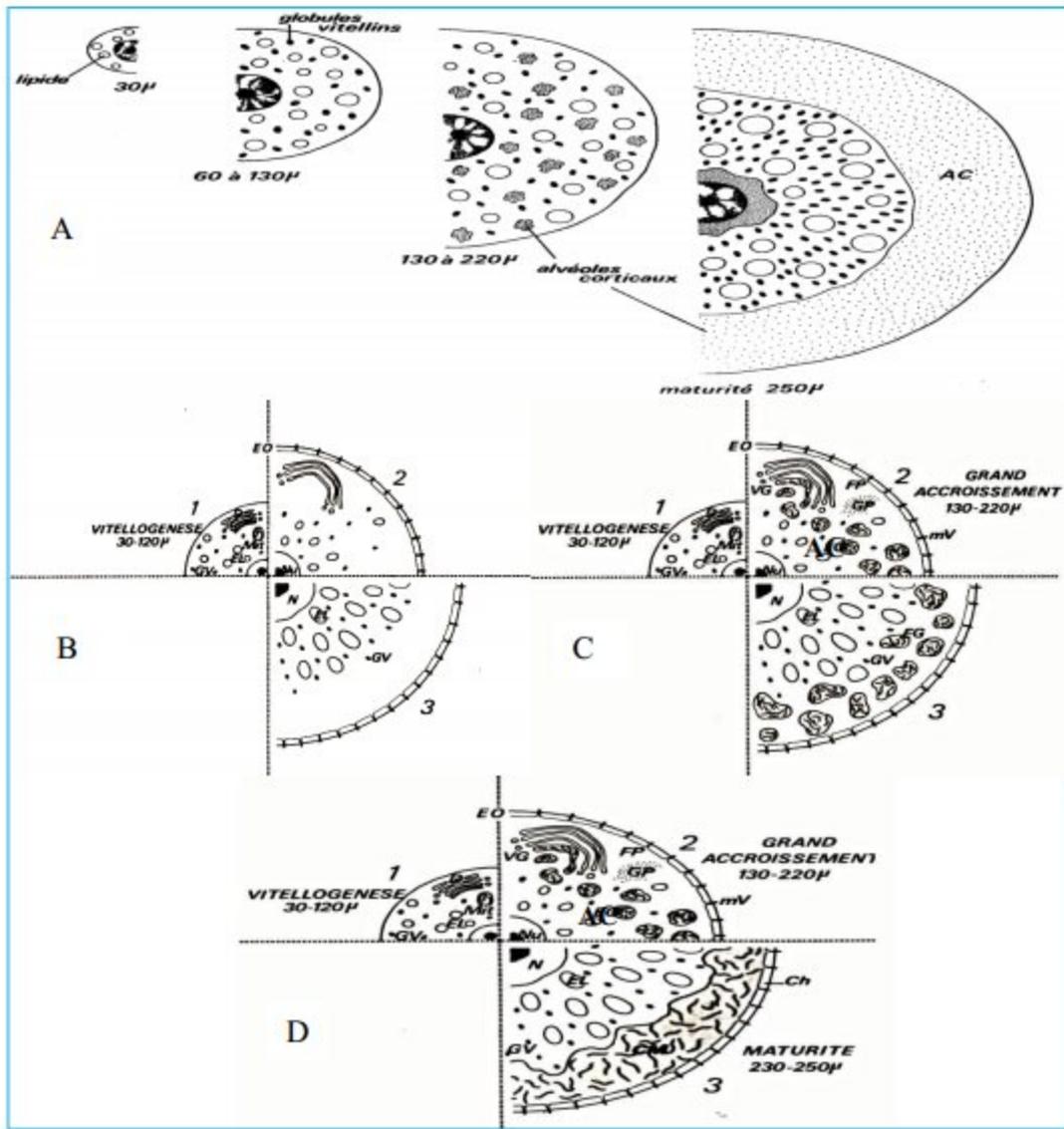
**B) Stade 2 :** l'ovocyte est de taille moyenne de 130 à 170  $\mu\text{m}$ , la synthèse du vitellus s'arrête, tandis que les alvéoles corticaux apparaissent ; c'est le début du grand accroissement.

**C) Stade 3 :** l'ovocyte est de taille moyenne inférieure à 220  $\mu\text{m}$ , les alvéoles corticaux sont plus marqués (coloration très intense par le bleu alcalin) ; c'est la fin du grand accroissement, les stades 2 et 3 constituent la corticogenèse.

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

Plus tard, Beart (1986) et Delaire-Hesdin (1989) ont relevé ces différents stades avec plus de détails (cytologiques et biochimiques) :

Chez cette espèce, dès le stade ovogonies des massifs de 10 à 20 petites cellules (10-30  $\mu\text{m}$ ) se développent dans le cœlome durant la prévitellogenèse, elles montrent un cytoplasme très basophile sans aucune inclusion cytoplasmique, mais dont le volume s'accroît par rapport au noyau (début de l'accroissement des ovocytes) ; suite à ce stade, les ovocytes entrent en vitellogenèse en continuant leur croissance lents (40  $\mu\text{m}$  à 120-130  $\mu\text{m}$ ), durant laquelle, ils accumulent des réserves nutritives (Vitellus et globules lipidiques) ; par la suite, les ovocytes de 130- 220  $\mu\text{m}$  de diamètre entament la corticogenèse ou la période de croissance rapide, manifestant l'accumulation des alvéoles corticaux (de nature glucidique à caractère acide) d'origine Golgienne, en corrélation avec une importante évolution morphologique ainsi que physiologique de l'appareil de Golgi, comparativement à celle du RE qui semble moins significative par rapport au stade précédent ; arrivant au dernier stade, la maturité des ovocyte est marquée par une légère augmentation de leurs tailles (220- 250  $\mu\text{m}$ ), en plus de profonds remaniements de ces réserves nutritives au lieu de leurs synthèses, les ribonucléoprotéines se concentrent en une auréole périnucléaire, les gouttelettes lipidiques ainsi que le vitellus occupe le centre, alors que les alvéoles corticaux migrent vers le chorion cellulaire et constitue une gangue muqueuse (40- 50  $\mu\text{m}$ ).



**Figure 10 :** Représentation schématique des différents stades de l'ovogenèse chez *P. cultrifera* (Porchet, 1974) montrant la correspondance avec : l'augmentation de la taille des ovocytes (en relation avec les inclusions métaboliques) (A) ; et celle avec les changements cytotopographique et biochimique : Jeunes ovocytes en phase de vitellogenèse (B) ; Ovocytes en corticogénèse (C) ; ovocytes en maturité (D).

Abréviations : Enveloppe Ovocytaire (EO) ; Mitochondrie (Mit) ; Enclaves Lipidiques (EL) ; Globules Vitellins (GV) ; Nucléole (Nu) ; Noyau (N) ; Face Proximale du dictyosome (FP) ; Vésicule Golgienne (VG) ; Glycogène Particulaire (GP) ; Alvéoles Corticaux (AC) ; Microvillosités (mV) ; Chorion (Ch) ; Couche Muqueuse (CM).

### 2-2-5-2- Ovogenèse chez *P. macropus* :

Concernant *P. macropus* récemment Zribi & Tekaya (2009) ont décrit les stades précoces de la croissance ovocytaire (prévitellogenèse et vitellogenèse), en étudiant l'ultrastructure des ovocytes :

**A) Stade 1 :** comprend lui-même plusieurs phases dont la première est nommée polygoniale, où les ovogonies sont de petites tailles (30  $\mu\text{m}$ ), ils se rassemblent en grappes ovales entourés par une fine couche de cellules gaines, la deuxième (60  $\mu\text{m}$ ) marquée par la présence de complexes synaptonémaux au niveau du noyau, la troisième durant laquelle, les cellules germinales se séparent les unes des autres, elles sont recouvertes par l'extension des cellules gaines, le noyau aussi s'élargit pour former ce qu'on appelle la vésicule germinale ; ce premier stade correspond à la prévitellogenèse.

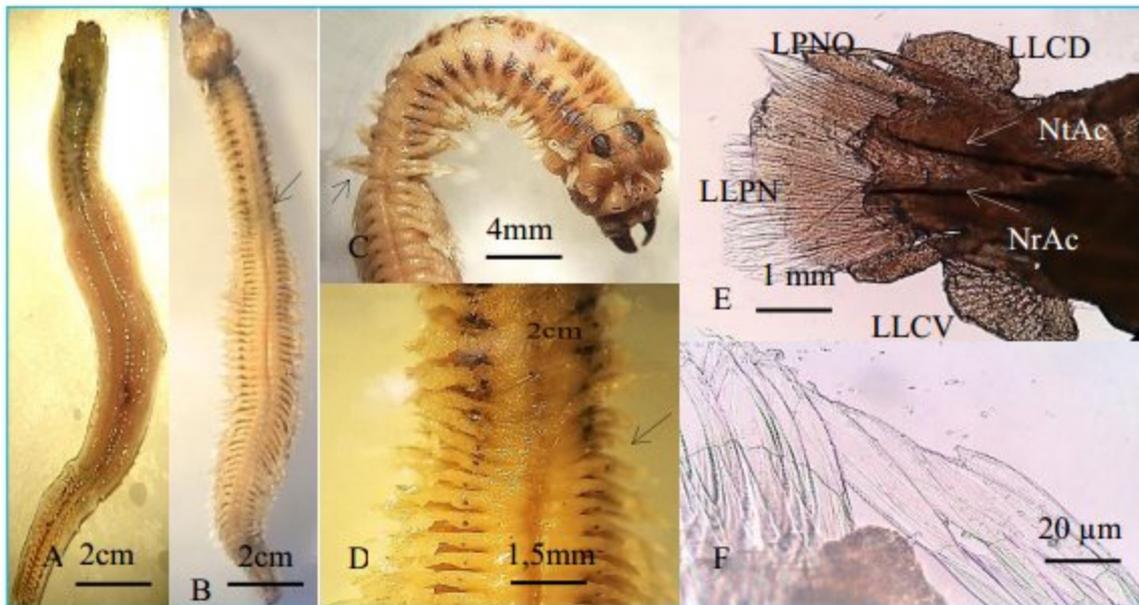
**B) Stade 2 :** la taille moyenne des ovocytes varie de 60 à 100  $\mu\text{m}$ , l'accumulation des inclusions lipidiques et des globules vitellins est à l'origine de cette augmentation du volume ovocytaire, l'ooplasmе montre plusieurs organites, le réticulum endoplasmique, l'appareil de Golgi et les mitochondries ; c'est la vitellogenèse.

De même, Zribi *et al* (2007) ont classé précédemment la croissance ovocytaire chez cette espèce en trois groupes, chacun correspond à un stade différent, dont le dernier consiste à la maturation :

**C) Stade 3 :** l'ovocyte présente une taille maximale entre 200 à 350  $\mu\text{m}$ , les constituants de l'ovocyte se séparent, le cytoplasme renferme alors des inclusions disséminées avec des gouttelettes lipidiques concentrées au près du noyau.

Parallèlement au dernier stade de la gamétogenèse, la maturité sexuelle somatique intervient, et peut s'accompagner ou non par des modifications morphologiques, et anatomiques caractéristiques de l'épitoquie (Figure 11) ; on assiste à une augmentation de la taille des yeux, un élargissement des parapodes et la formation de soies hétéronéréidiennes disposées en éventail (Hébert-Cathelain *et al.*, 2008) ; et corrélativement à des modifications musculaires, dans les segments correspondants, à l'exception des 19 ou 20<sup>ème</sup> segments antérieurs, 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 (Younsi, 2014). En plus de ces

transformations, Dakhama & Dhainaut (1985) ont signalé que lors de la reproduction, le tube digestif présente une atrophie qui s'accompagne d'un arrêt de l'alimentation.



**Figure 11** : Présentation des modifications caractéristiques de l'épitoquie chez *P. macropus* en période de reproduction : le changement de la couleur du corps (A) ; la modification morphologique des parapodes (flèche) (B) ; début de la région de modification (flèche) et yeux élargies (C) ; zoom du début de changement (flèche) (D) ; section longitudinale au niveau d'un parapode modifié (E) ; soies hétéronereidiennes en lamelles (F).

Abréviations : Lamelle Cirre Dorsal (LLCD) ; Lamelle Post-chaetal Notopodiale (LPNO) ; Noto-Acicule (NtAc) ; Lamelle Post-chaetal Neuropodiale (LLPN) ; Neuro-Acicule (NrAc) ; Lamelle Cirre Ventral (LLCV).

Cette métamorphose permet à l'animal qui porte le nom d'hétéronereis, d'acquérir une adaptation à une vie pélagique courte (Hébert-Cathelain *et al.*, 2008) afin de nager vers la surface au moment de l'essaimage, qui s'effectue à des périodes bien déterminées liées au cycle lunaire (Hardege *et al.*, 1990) ; L'essaimage chez les Nereididae est caractérisé par ce qu'on appelle la danse nuptiale, à savoir, la natation dans des cercles de plus en plus petits tout en émettant les produits génitaux dont l'éthologie a été bien décrite chez *Nereis succinea* par Hardege *et al* (1997).

La fécondation est externe, et la reproduction chez les deux espèces est strictement semelpare où les géniteurs meurent dans les jours qui suivent l'essaimage et l'évacuation des

ovocytes qui se fait par lyse de la paroi du corps des femelles (Prevedelli & Simonini, 2003 ; (Hébert-Cathelain *et al.*, 2008), tandis que pour les mâles, l'évacuation du liquide spermatique se fait à travers la rosette pigydale (Hébert-Cathelain *et al.*, 2008) ; chez *Perinereis lineata* la fécondation est plutôt interne (au niveau du liquide coelomique), pour cela, le sperme est introduit à travers la parois du corps de la femelle via des pores qu'elle développe (Arias *et al.*, 2013).

Chez les Nereididae, l'âge auquel les individus immatures entrent en gamétogenèse, et deviennent matures (avec métamorphose ou non) et enfin se reproduisent est strictement sous le contrôle des facteurs environnementaux (la température, la photopériode, et le cycle lunaire), et des facteurs endocriniens, cependant, l'induction de ces événements semble être indépendante les uns des autres (Hardege *et al.*, 1990 ; Olive *et al.*, 1997 ; Andries, 2001 ; Lawrence & Soame, 2010).

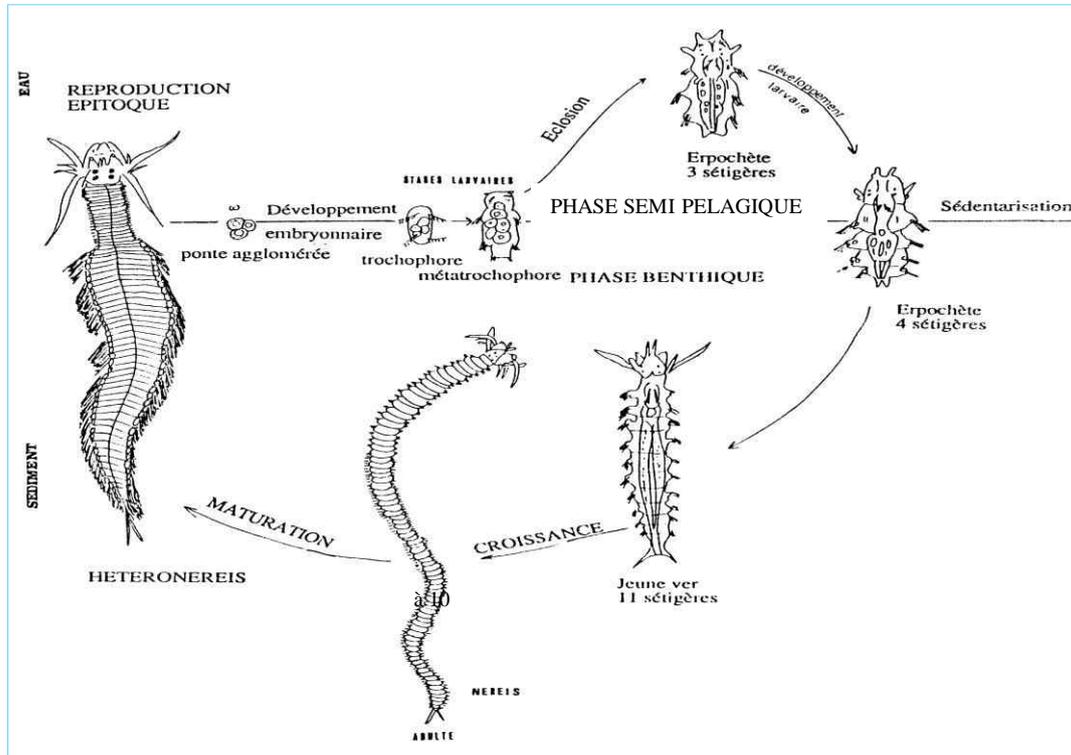
Il est à noter que les données sur les populations de *P. cultrifera* étudiées au niveau du littoral Algérien montrent que le mode de reproduction, et la longévité sont totalement différents selon la localisation géographique. Cependant à Alger, la durée de vie des individus ne dépasse pas probablement deux ans et se reproduisent par atouque (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 épitoque.

#### **2-2-6- Cycle de développement :**

La représentation schématique du cycle de vie chez le genre *Perinereis* donnée dans la figure 12 montre qu'il est marqué par deux phases, une semi-pélagique brève, et une benthique ; les œufs sont de grande taille et lecitotrophes ; la segmentation est spirale aboutissant à une larve ciliée dite « trochophore » qui présente une couronne ciliaire peu développée et qui se développe en « 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 ciliaire et acquiert des habitudes benthiques. Le jeune ver benthique de 10 à 11 métamères a le même style de vie que les adultes, il migre vers le bas durant la phase de croissance, et de différenciation sexuelle, où il accomplit les modifications morphologiques de l'épitoque (Rouabah, 2003).

D'après Prevedelli & Simonini (2003), chez *P. cultrifera*, les œufs fécondés ont tendance à s'agglutiner pour former une grappe, et adhèrent à un substrat, et les larves produisent une substance collante qui les ancre sur ce substrat et les empêche d'être emportés dans la mer ouverte par l'action de la marée.



**Figure 12** : Cycle de vie chez *Perinereis* (in Rouabah, 2003).

### 2-2-7- Choix des espèces :

Le ver marin *P. cultrifera* est un Annélide Polychète appartenant à la famille des Nereididae, 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.*, 2001) ; et montre une tolérance physiologique élevée aux variations extrêmes des facteurs environnementaux comme la température et la salinité (Wells & Ledingham, 1940). Faisant partie des polychètes, *P. cultrifera* et *P. macropus* s'adaptent également à différentes stratégies pour se nourrir et jouent un rôle important dans la bioturbation et le transfert de matière organique et des nutriments de la colonne d'eau vers le sédiment et vice versa (Banta *et al.*, 1999 ; Heilskov & Holmer, 2001) ; en plus du rôle fondamental qu'ils jouent dans la chaîne alimentaire étant que proie pour les poissons, crevettes et oiseaux (García-Alonso *et al.*, 2008) ; en outre, *P. cultrifera* semble être un

aliment nutritif supplémentaire stimulant la maturité des gonades du poisson *Solea solea* (Linnaeus, 1758) (Cardinaletti *et al.*, 2008).

Etant donné que ces deux espèces vivent au niveau des substrats durs recouverts d'algues, de sédiments et d'eau, elles sont en contact étroit avec les polluants, en plus des quantités de sédiment qu'elles ingèrent souvent (Lewis & Watson, 2012) ; les travaux de Luoma & Bryan (1982) ont rapporté que *P. cultrifera* présente des concentrations en cuivre directement liées à celles présentes dans les sédiments ; d'autres études confirment sa facilité d'accumuler des contaminants comme le cadmium et le zinc (Volpi-Ghirardini *et al.*, 1999), et l'arsenic (Waring & Maher, 2005).

Considérant ces caractères biologiques, et écotoxicologiques on peut utiliser *Perinereis cultrifera* et *Perinereis macropus* comme espèces bioindicatrices de pollution.

#### **2-2-8- Différenciation sexuelle :**

Le sexe de tous les spécimens (*P. cultrifera* et *P. macropus*) échantillonnés à partir des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart à Collo, l'Îlot et Bikini à Skikda, durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 a été identifié par examen macroscopique du contenu cœlomique, à l'aide d'une binoculaire. Après une courte incision à l'aide d'une épingle à environ 30 sétigères soit 3-4 mm de long derrière la tête au niveau de la ligne médio-ventral du corps.

Selon l'absence, ou bien la présence de gamètes dans le liquide cœlomique, trois catégories d'individus ont été identifiées :

- L'absence de gamètes : les vers sont dit indifférenciés, ou bien asexués. Cette classe correspond aux individus de petite taille qui n'ont pas encore acquis la maturité sexuelle.
- La détection d'amas spermatiques, ou celles de spermatozoïdes, de couleur blanc laiteux correspondant au sexe mâle. Le liquide spermatique est mieux observé lorsque les vers sont placés sur un fond noir (Figure 13 A, B).
- La présence de gamètes sphériques de couleur jaune clair (les ovocytes), indiquant le sexe femelle. Chez ce dernier, mature de grande taille, les ovocytes sont clairement visibles à travers la paroi du corps (Figure 13 C à E).



**Figure 13** : Différenciation entre les deux sexes par visualisation des cellules germinales, amas spermatiques chez *P. macropus* (A, B), et ovocytes chez *P. cultrifera* (C à E).

#### 2-2-9- Paramètres morphométriques :

Afin d'avoir une meilleure représentation des variables taille et poids des populations des deux espèces, il est nécessaire d'utiliser les données relatives à l'ensemble de l'effectif récolté à chaque date d'échantillonnage, ce qui est très difficile dans le cas des Nereididea souvent coupés lors de l'échantillonnage, ou bien par autotomie, ainsi, afin d'éviter de se débarrasser massivement des vers coupés, la méthode de Dessrosier *et al* (1988) a été suivie, basée sur la longueur et le poids partiels des vers coupés.

Ainsi, pour les individus des deux espèces *P. cultrifera* et *P. macropus* récoltés au niveau des stations retenues : Ben Zouit et Tamanart à Collo, l'Îlot et Bikini à Skikda, durant la période de Septembre 2013 à Août 2014, deux mensurations ont été effectuées :

- Le poids frais essuyé : les vers ont été placés sur un papier absorbant, et ensuite pesés ( $\pm 0,001$  g) en utilisant une balance de précision (Sartorius H110).
- La longueur  $L_3$  : le ver est allongé avec la trompe extroversée afin de pouvoir mesurer les trois premiers segments représentés par le prostomium, le péristomium et le premier sétigère ( $\pm$  mm), à l'aide d'un micromètre intégré à une Loupe binoculaire (ZEISS STEMI DV4).

#### 2-2-10- Cycle ovogénétique :

Afin de déterminer l'état de maturité sexuelle chez les femelles, il a été indispensable d'évaluer le diamètre ovocytaire moyen ( $\mu\text{m}$ ) d'une trentaine d'ovocytes au maximum ; à l'aide d'un microscope photonique (Leica) relié à un ordinateur muni d'une caméra

numérique (Leica ICC 50 HD), muni du logiciel LAS EZ V2.0.0 ; et ce, pour les deux espèces (*P. cultrifera* et *P. macropus*) échantillonnées à partir des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart à Collo, l'Îlot et Bikini à Skikda, durant la période de Septembre 2013 à Août 2014.

### **2-3- Analyse immunologique :**

Sur le plan anatomique, les Annélides Polychètes sont caractérisés par deux compartiments distincts chacun contenant un type cellulaire différent, qui ne se mélangent pas (Dhainaut & Scaps, 2001) ; premièrement, faisant partie des coelomates métamérisés, ils possèdent deux cavités coelomiques au niveau de chaque métamère, l'ensemble constitue le coelome remplis du liquide coelomique avec plusieurs populations de cellules « les coelomocytes » ; deuxièmement, le système circulatoire est clos contenant un autre type cellulaire « les hémocytes » ; en outre, sur le plan physiologique, la métamérie est accompagnée par la capacité de régénération (et donc de survivre), le coelome maintient la forme du corps et facilite ses mouvements (un squelette hydrostatique), il forme également un espace pour le développement des produits génitaux, et contribue avec le système vasculaire à une stratégie immunitaire très efficace, par le biais d'une coopération entre ses deux lignées de cellules indépendantes et spécialisées (Vetvica & Sima, 2009).

Les hémocytes d'après certains auteurs ne semblent pas avoir un rôle immunitaire actif (Salzet *et al.*, 2006), comparativement aux coelomocytes qui ont un rôle primordial dans la reconnaissance et la différenciation entre le « soi » et le « non soi » ; d'après Šima (1993) chez les Polychètes, les coelomocytes sont subdivisés en trois catégories de cellules (amoebocytes, eleocytes et érythrocytes) qui se distinguent d'une part, les unes des autres et d'autre part des hémocytes par certaines caractéristiques comme suit :

- Les amoebocytes : peuvent inclure plusieurs types qui diffèrent morphologiquement (sphériques, ovoïdes, filiformes, fusiforme...etc) selon les espèces, dont la taille varie de 5-50 µm, avec un seul noyau (ovale et central), des vacuoles périphériques et inclusions granulaires dans le cytoplasme.
- Les eleocytes : représentatives de la famille des Nereididae, connues par plusieurs nominations (cellules adipo-sphériques, trephocytes et amoebocytes agranulaires) désignant ces cellules trophiques de grande taille d'environ 40 µm, contenant comme réserves des lipides et glycogène au niveau de leurs cytoplasmes ; d'après Garcia-Alonso *et al* (2008) ces

cellules jouent un rôle clé dans le transfert des métabolites du tissu somatique vers le tissu germinale.

- Les érythrocytes : ou cœlomocytes rouges dont la taille est plus de 40  $\mu\text{m}$ , ces cellules porteuses d'hémoglobine ont été identifiées exclusivement chez quelques familles de Polychètes, elles contribuent alors au transport de l'oxygène, et contiennent également des réserves lipidiques et du glycogène.

Il est à noter que les amœbocytes ont été identifiées chez presque toutes les espèces étudiées, et semblent être la principale catégorie impliquée dans la défense immunitaire (phagocytose et encapsulation), comparativement aux autres types qui restent qui ont plutôt des rôles dans la régénération, le transport des nutriments et la respiration.

- Les hémocytes : sont des petites cellules de 3- 10  $\mu\text{m}$ , ne contiennent pas l'hémoglobine, subdivisées en trois classes (hémocytes de type I, de type II et de type III).

L'identification des cellules immunitaires a été réalisée sur les trois populations de *P. cultrifera* en provenance de Ben Zouit et Tamanart à Collo et de l'Îlot à Skikda, durant le mois de Mars 2015 ; le choix de de cette période est en relation avec la taille adéquate des individus proportionnelle à la quantité et la qualité du liquide cœlomique prélevé, sachant que les essais entrepris avant et après ce mois étaient non fructueux, le cœlome soit ne contient pas suffisamment de cellules immunitaires (taille petite des vers), soit très difficile à prélever vu l'abondance des gamètes et des autres contenus cœlomiques, et donc avoir plutôt des amas de cellules (en se rapprochant de la période de reproduction).

Les mensurations (nécessaires à l'identification des cellules) concernant *P. cultrifera* récoltée de la station de Bikini, ainsi que ceux de *P. macropus* des deux stations de Collo, étaient pratiquement impossible à évaluer, les images à analyser présentent un contraste insuffisant dû probablement à une mauvaise coloration, les cellules ne se distinguent pas du fond des images, en plus les noyaux sont impossibles à être délimités dans le cytoplasme, et par conséquent les résultats étaient insuffisantes voir même impossible pour être présentées.

Dans un premier temps, 30  $\mu\text{l}$  du liquide cœlomique (liquide très claire) ont été prélevés par groupe d'animaux à l'aide d'une micro pipette Pasteur, introduite délicatement dans la cavité cœlomique avec précaution afin de ne pas perforer le vaisseau dorsal (si c'est le cas une légère coloration rouge apparaisse alors).

Dans un deuxième temps, l'identification des cellules immunitaires a été réalisée par des techniques de coloration, couramment employées pour l'examen hématologique et cytologique par microscopie photonique, en utilisant un colorant seul ou en combinaison avec d'autres ; dont le principe repose sur l'affinité basique ou acide des éléments cellulaires à ces colorants ; ces techniques ont été relevées des travaux sur l'identification des cellules hémocytaires chez les crustacés, notamment celui de Matozzo & Marin (2010).

En plus, afin d'avoir les meilleurs résultats d'identification, nous avons suivi les recommandations de Cima (2010) :

Ainsi, environ 5 µl du liquide cœlomique sont déposés et étalés sur une lame, pour être fixés durant 30 min dans une solution de 1% Glutaraldéhyde-1% saccharose, puis rincés dans 0,1M Phosphate Buffered Saline (PBS, pH 7,2)<sup>1</sup> ; au cours de l'étape de fixation la lame est posée dans une boîte de pétri contenant du papier imbibé d'eau, et placée au frigo.

<sup>1</sup>- [8 g NaCl + 0,2 g KCl + 0,2 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> + 1,15 g Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> dans 1 l H<sub>2</sub>O distillée].

Après, procéder à la coloration testée par les trois techniques suivantes :

La première est celle de la coloration au Giemsa R (rapide), la lame est recouverte par le Giemsa à 10 % durant 5 min, puis lavée à l'eau distillée ; le noyau apparaît bleu, et le cytoplasme bleu clair ou violet.

La deuxième au rouge neutre à 2 % pendant 5 min, après avoir couvrir la lame par ce colorant, elle est lavée à l'eau distillée ; les cellules sont alors observées *in vivo*, et les lysosomes apparaissent rouges.

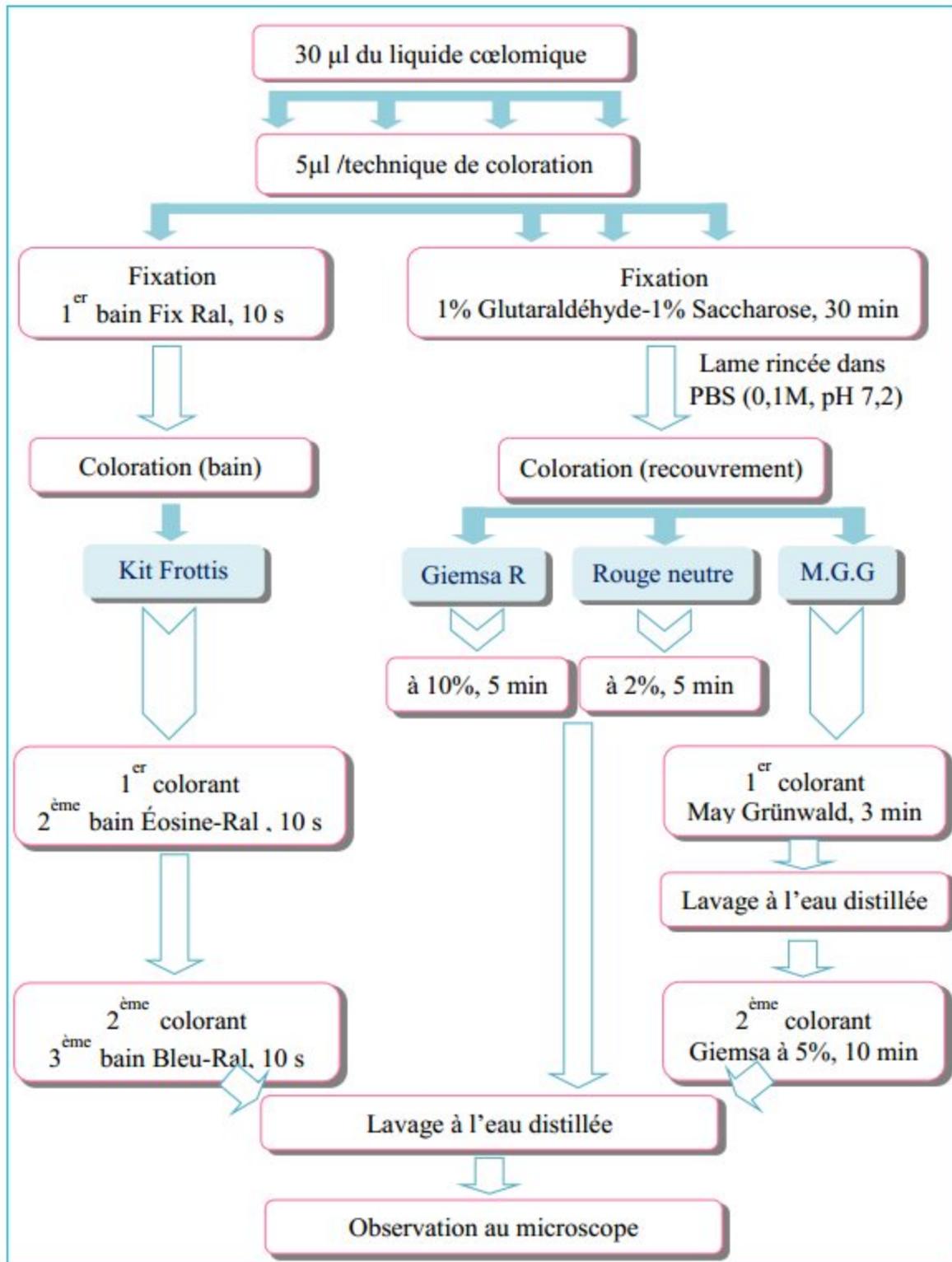
La troisième en utilisant la coloration de Pappenheim, en combinant deux colorants neutres, le premier May-Grünwald composé de l'éosine (acide), et le bleu de Méthylène (basique), le deuxième Giemsa composé lui aussi de l'éosine, et l'azur de Méthylène (basique) ; la procédure consiste à couvrir la lame par le May Grünwald durant 3 min, laver à l'eau distillée, puis recouvrir à nouveau par le Giemsa à 5 % et laisser 10 min avant de laver à l'eau distillée ; avec cette techniques les granulations basophiles sont colorées en bleu ; alors que celles acidophiles sont colorées en rose foncé, et celles neutrophiles en marron.

Une quatrième technique a été également employée en utilisant un Kit Frottis prêt à l'emploi pour une coloration rapide ; les 5  $\mu\text{l}$  du liquide cœlomique étalés sur la lame sont fixés dans le premier bain Fix-Ral (alcool absolu) pendant quelques secondes, la lame est égouttée avant d'être plongée dans le deuxième bain Éosine-Ral (la solution rouge) durant quelques secondes, la lame est égouttée puis plongée dans le troisième bain Bleu-Ral (la solution bleue), laisser quelques secondes puis laver à l'eau distillée ; il est à noter que inutile voir défavorable de laisser les lames dans les bains plus de quelques secondes seulement, la solution rouge colore les structures acidophiles (cytoplasme), alors que celle bleue colore les structures basophiles (noyau).

Une fois que les lames sont lavées, elles sont égouttées, et remises dans les boîtes de pétri, pour être observées sous microscope optique (Leica), relié à un ordinateur muni d'une caméra numérique (Leica ICC 50 HD) et du logiciel LAS EZ V2.0.0.

Dans l'ensemble, 5 lames par population ont été analysées, et huit paramètres ont été mesurés ou calculés, et vérifiés sur 200 cellules/lame, afin de pouvoir identifier et distinguer les différents types de cellules, notamment :

- La longueur de la cellule ( $\mu\text{m}$ ),
- La largeur de la cellule ( $\mu\text{m}$ ),
- La longueur du noyau ( $\mu\text{m}$ ),
- Le rapport de la largeur de la cellule sur la longueur de la cellule (%),
- Le rapport de la longueur du noyau sur la longueur de la cellule (%),
- Le pourcentage des différents types des cellules immunitaires (%).
- La présence de granulations cytoplasmiques.
- La position du noyau.



**Figure 14 :** Représentation des différentes étapes de la préparation, et la coloration des échantillons du liquide cœlomique destinés à l'identification des cellules immunitaires, selon les techniques de coloration au Giemsa, rouge neutre, May-Grünwald Giemsa (protocoles d'après Matozzo & Marin (2010)), et au kit Frottis (protocole d'après le manuel d'instructions).

## 2-4- Analyse écotoxicologique :

L'exposition des organismes vivants aux contaminants provoque généralement un état de stress, induisant les mécanismes de détoxification au niveau subcellulaire, en effet, une fois à l'intérieur des cellules ces polluants vont subir des changements cycliques de leurs états d'oxydation responsables d'une production excessive d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) (formes hyperactives et toxiques de l'O<sub>2</sub>, notamment le radical superoxyde (O<sub>2</sub>-•), le radical hydroxyl (OH•) et le peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)) ; ces dérivés prooxydants peuvent dénaturer les protéines, s'attaquer aux lipides et à l'ADN, et inactiver les enzymes, induisant ainsi un état de stress oxydatif, ce dernier est définie comme un déséquilibre entre les systèmes prooxydants et antioxydants en faveur des premiers (Sies, 1997).

Pour faire face aux conditions de stress, l'organisme dispose plusieurs systèmes de contrôle afin de maintenir l'homéostasie des cellules, déclenchant une cascade de réponses qui vont servir de biomarqueurs estimés par le niveau de la relation « polluant-réponse du biomarqueur sensible », qui au-delà d'un certain seuil (dose du polluant et temps d'exposition) va dévier de l'état normal et manifester des effets multiples à des niveaux élevés de l'organisation biologique (Van de Oost *et al.*, 2003) ; dont l'activité en condition de stress est soit induite témoignant ainsi une résistance des organismes en réponse aux perturbations de leur environnement, ou bien inhibée révélant ainsi l'effet toxique de certains polluants et laissant suggérer des dommages cellulaires.

En se basant sur les données de la littérature (Van de Oost *et al.*, 2003 ; Pinell-Alloul, 2004 ; Roméo & Giambérini, 2013 ; Amiard-Triquet & Amiard, 2013), on a essayé de résumer les biomarqueurs les plus couramment employés pour l'évaluation l'exposition des organismes aquatiques aux contaminants dans leur environnement, couramment subdivisés en biomarqueurs de défense et ceux de dommages.

Concernant les biomarqueurs de défense, il est maintenant admis que les polluants organiques activent des enzymes impliquées dans le processus de biotransformation, qui les métabolisent en composés hydrosolubles, à savoir celles de la phase I (les monoxygénases) dont la fonction est d'introduire un atome d'oxygène sur des structures hydrophobes par attaque radicalaire ; celles de la phase II responsables de la conjugaison (addition) des métabolites issus des réactions d'oxydation (phase I), ou encore celle directe des molécules possédant des groupements réactifs hydroxylés, thiols ou carboxyliques aux

substrats hydrosolubles électrophiles (très hydrophiles) pour faciliter leur excrétion, ces réactions sont catalysées par des enzymes membranaires ou cytosoliques qui sont les glutathion S-transférases (GST) (l'induction de son activité témoigne une action de défense de l'organisme), les UDP-glucuronosyls-transférases et les sulfotransférases ; ainsi que les enzymes de la phase III qui ont pour fonction l'élimination de la cellule des métabolites issus des phases I et II, par transport transmembranaire grâce à des protéines transmembranaires.

En outre, les métallothionéines participent aux processus homéostatiques des métaux essentiels et à la détoxification de ceux non essentiels, et interviennent dans la protection contre le stress oxydant, leur synthèse est principalement induite par des éléments métalliques et à moindre degré par des composés organiques (ex : pesticides).

En plus, pour s'opposer aux effets du stress oxydatif, on compte parmi les systèmes antioxydants enzymatiques, les superoxyde desmutases (SOD) responsables de dismuter l'anion superoxyde en  $H_2O_2$ , la glutathion peroxydase (GPx) dépendante ou non du sélénium utilise le GSH comme substrat pour réduire les différents types de peroxyde, dont l'activité enzymatique est liée à celle de la glutathion réductase (GRd) qui régénère le GSH à partir de la forme oxydée du glutathion GSSG, cependant, les catalases (CAT) ont pour fonction de décomposer le  $H_2O_2$  en  $H_2O$  et  $O_2$ . Par ailleurs, les systèmes antioxydants non enzymatiques représentent des composés principalement à faible poids moléculaire ayant des fonctions réductrices, ou encore capables de piéger les radicaux libres (ex : GSH, les vitamines liposolubles E et A).

Cependant, pour les biomarqueurs de dommage, l'inhibition des acétylcholinestérases témoigne l'exposition aux composés neurotoxiques ; notamment les pesticides organophosphorés et carbamates, en plus d'autres molécules à savoir, les métaux, les détergeant et les toxines algales ; en outre, l'induction de la vitellogénine se lie avec l'exposition aux perturbateurs endocriniens capables de provoquer une action féminisante affectant les mâles ; par ailleurs, les dommages cellulaires liées à la peroxydation lipidique sont susceptibles d'induire des altérations chimiques et structurales des membranes cellulaires, le processus implique une chaînes de réactions conduisant à la décomposition des acides gras polyinsaturés plus sensibles aux réactions oxydantes, leur dégradation conduit à la formation de divers composés dont la plus part sont toxiques et mutagènes, parmi lesquels le plus employé comme biomarqueur est le Malondialdéhyde (MDA).

Afin d'évaluer l'efficacité du processus de détoxification, deux réponses biochimiques ont été évaluées, l'activité enzymatique de la glutathion S-transférase, ainsi que l'accumulation du Malondialdéhyde au niveau du corps entier de *P. cultrifera* récoltée des stations étudiées : Ben Zouit et Tamanart à Collo, l'Îlot et Bikini à Skikda, et ce, durant les quatre saisons de l'année 2014-2015.

#### **2-4-1- Préparation des échantillons préalable au dosage :**

Les échantillons de femelles à poids similaire sélectionnés sont placés dans 1 ml de la solution Tampon (Phosphate de Sodium (0,1 M, pH 6), avec du saccharose)<sup>2</sup> concernant l'analyse de la GST, ou bien encore dans 1 ml de la solution Tris- HCl (50 mM, pH 7,5)<sup>3</sup> pour le dosage du MDA ; ils ont été décongelés et broyés individuellement, d'abord par un broyage mécanique avec un micro ciseau, et par la suite à l'aide d'un broyeur à ultrasons (Sonifer B-30) dans de la glace.

Les homogénats ont été centrifugés à un nombre déterminé de tours pendant un certain temps selon le protocole suivi (une seule centrifugation de 14000 tours/min pendant 30 min, concernant le dosage de la GST ; trois centrifugations de 10000 tours/min durant 10 min pour chacune, en ce qui concerne le dosage du MDA) ; le surnageant récupéré va servir au dosage de la GST ou bien du MDA (Figures 15, 16).

<sup>2</sup>- [a) 35,8 g Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> dans 1l H<sub>2</sub>O distillée ; b) 13,8 g NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> dans 1l H<sub>2</sub>O distillée ; c) 123 ml (a) + 877 ml (b) + 42 g de saccharose] ;

<sup>3</sup>- [1,5137g Tris + 0,0730 g EDTA (acide éthylène diamine tétra-acétique) + 42,78 g sucrose, + 250 ml H<sub>2</sub>O distillée].

#### **2-4-2- Évaluation de l'activité enzymatique de la Glutathion S-transférase :**

L'activité enzymatique de la glutathion S-transférase (GST) a été évaluée selon la méthode de Habig *et al* (1974), dont le principe est le suivant :

Les GST catalysent la réaction de conjugaison entre le glutathion réduit (GSH) et le 1-chloro-2,4-dinitrobenzene (CDNB) comme substrat, le produit issu de cette réaction est directement proportionnel à l'activité enzymatique de la GST, qui est dosé.

Le dosage est réalisé sur une fraction aliquote de 200 µl du surnageant à laquelle on ajoute 1,2 ml du mélange CDNB<sup>4</sup> (1mM) et GSH<sup>5</sup> (5mM) ; la cinétique de la réaction est suivie par lecture des absorbances toutes les 1min pendant 5 min contre un blanc<sup>6</sup>, à une longueur d'onde de 340 nm en utilisant un spectrophotomètre (SHIMADZI-UV-1202).

<sup>4</sup>- [20,26 mg CDNB + 100 ml Tampon Phosphate de Sodium (0,1 M, pH 6)] ;

<sup>5</sup>- [153 mg GSH + 100 ml Tampon Phosphate de Sodium (0,1 M, pH 6)] ;

<sup>6</sup>- [200 µl H<sub>2</sub>O distillée + 1,2 ml CDNB-GSH].

L'activité enzymatique de la GST est exprimée en micromole par minute par milligramme de protéines, d'après la formule suivante :

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

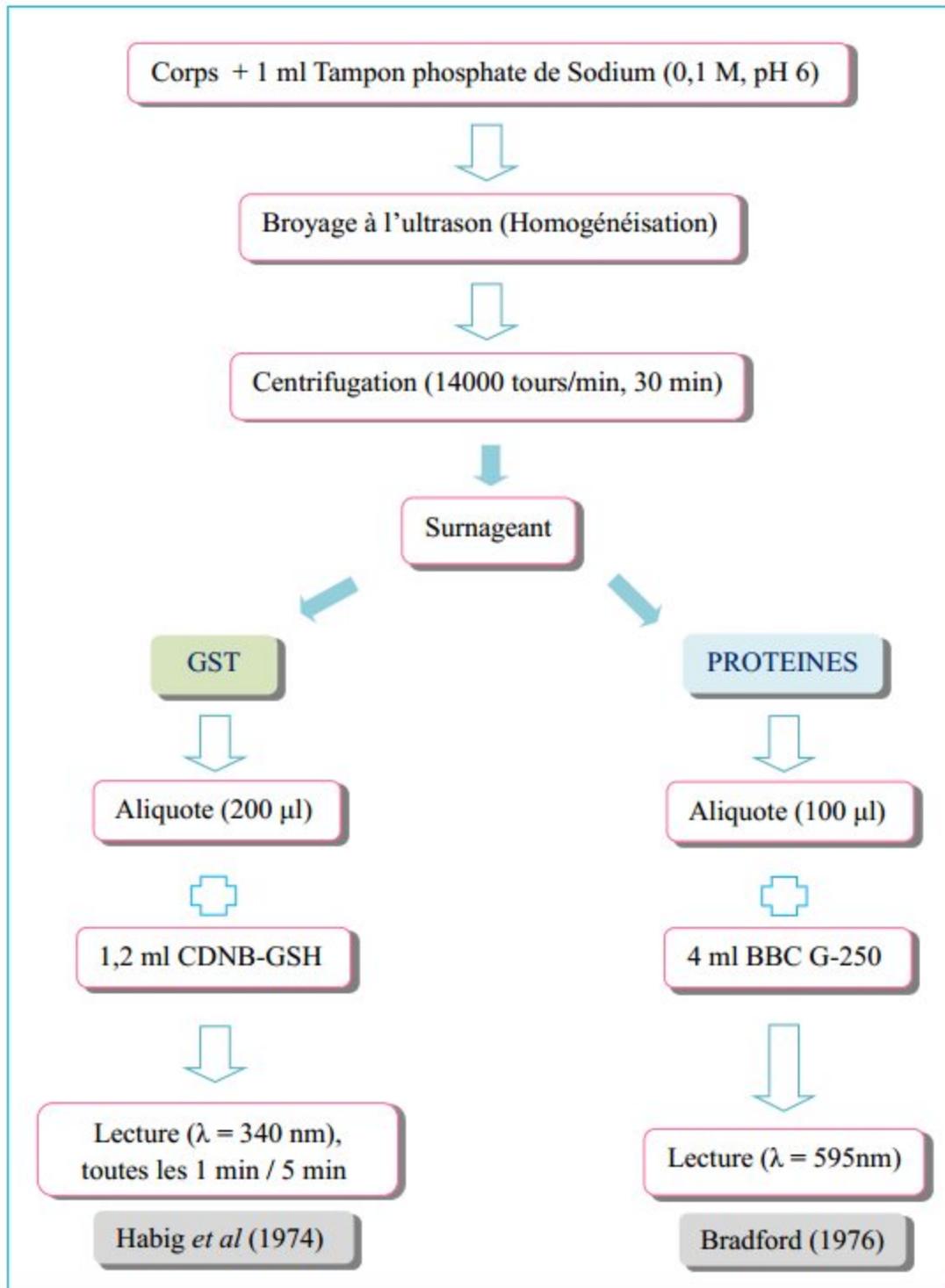
**Δ Do** : pente de la droite de régression obtenue après hydrolyse du substrat en fonction du temps ;

**e** : coefficient d'extinction molaire du CDNB 9,6 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.



**Figure 15** : Extraction et dosage de la glutathion S-transférase selon Habig *et al* (1974) ; dosage des protéines selon Bradford (1976).

### 2-4-3- Dosage du Malondialdéhyde :

Les taux du Malondialdéhyde (MDA) sont dosés selon la méthode de Draper & Hadley (1990), basée sur la mesure colorimétrique de la réaction entre l'acide thiobarbiturique (TBA) avec le malondialdéhyde (MDA), donnant un produit rouge brun dont l'intensité de la coloration mesurée est proportionnelle à la concentration en MDA.

Le dosage est réalisé à partir de 500 µl du surnageant, additionnés à 2,5 ml de TCA<sup>7</sup>, après chauffage au bain marie à 100°C pendant 15 min et refroidissement dans de la glace ; une deuxième centrifugation est effectuée (10000 tours/min, 10 min), une fraction aliquote de 2 ml du surnageant est alors prélevée, à laquelle on ajoute 1 ml d'acide thiobarbiturique (TBA)<sup>8</sup> ; après un second chauffage (100 °C, 15 min) et refroidissement, 1,5 ml de butanol sont rajoutés ; après agitation, une dernière centrifugation (10000 tours/min, 10 min) est réalisée et le surnageant récupéré est constitué de 1 ml de butanol renfermant le complexe TBA-MDA ; la lecture des absorbances se fait, contre un blanc<sup>9</sup>, à une longueur d'onde de 532 nm, en utilisant un spectrophotomètre (SHIMADZI-UV-1202).

<sup>7</sup>- [100 g TCA + 1000 ml H<sub>2</sub>O distillée] ;

<sup>8</sup>- [6,7 g TBA + 1000 ml H<sub>2</sub>O distillée] ;

<sup>9</sup>- [500 µl H<sub>2</sub>O distillée + 2,5 ml TCA].

Le taux de MDA est exprimé en micromole par milligramme de protéines, selon la formule suivante :

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

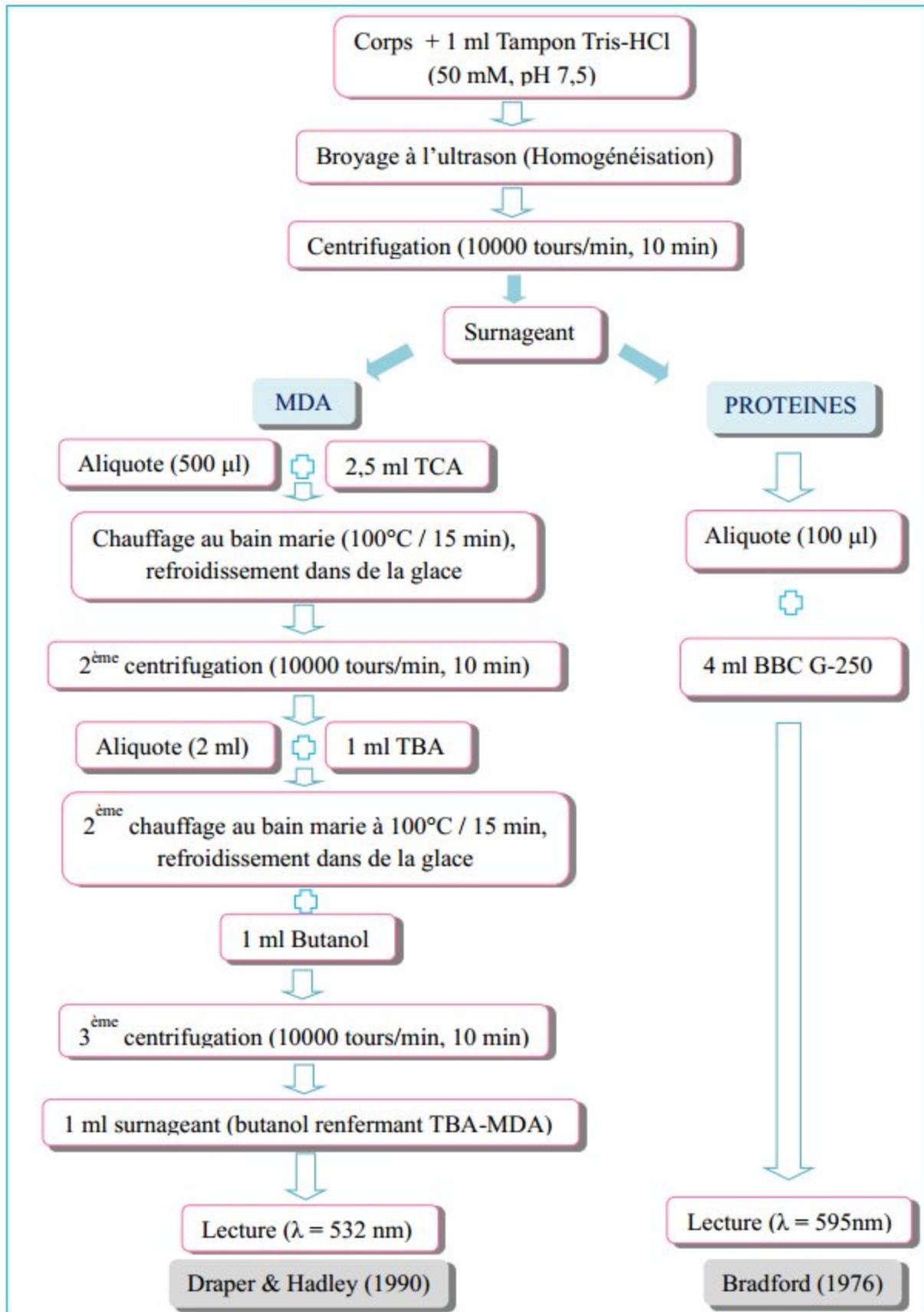
**DO** : densité optique obtenue après hydrolyse du substrat à 532 nm ;

**e** : coefficient d'extinction molaire de la TBA : 156 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> ;

**V<sub>t</sub>** : volume total de la cuve : 1ml ;

**V<sub>s</sub>** : volume du surnageant utilisé : 0,5 ml ;

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



**Figure 16** : Extraction et dosage du Malondialdéhyde selon Draper & Hadley (1990) ; dosage des protéines selon Bradford (1976).

#### 2-4-4- Dosage des protéines dans les homogénats :

Les protéines ont été quantifiées selon la méthode de Bradford (1976), qui utilise le bleu brillant de coomassie G-250<sup>10</sup> comme réactif, et l'albumine de sérum de bœuf (BSA) (1 mg/ml) comme standard (Tableau 4), une coloration bleue se forme en se fixant quantitativement aux protéines présentes dans l'échantillon, la quantité de ces protéines peut être alors estimée en déterminant la quantité de ce colorant.

<sup>10</sup>-[100 mg de BBC G-250 + 50 ml éthanol 95° ; agitation magnétique pendant deux heures ; 100 ml d'acide ortho phosphorique à 80 % sont alors ajoutés, et le tout est complété à 1000 ml avec l'eau distillée]. Solution bleue violacée, conservation à 4 c°, 2-3 semaines.

L'analyse consiste à additionner à une fraction aliquote de 100 µl du surnageant des homogénats, 4 ml du réactif BBC G-250 ; la lecture des absorbances est réalisé à une longueur d'onde de 595 nm, contre un blanc de gamme.

**Tableau 4 :** Dosage des protéines dans les homogénats de *P. cultrifera* : réalisation de la gamme d'échantillonnage.

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

## **2-5- Analyse statistique :**

Les résultats obtenus sont représentés par la moyenne suivie de l'écart type ( $m \pm s$ ).

Les moyennes obtenues pour chaque paramètre et pour les quatre stations ont été comparées par l'analyse de la variance (ANOVA) à un critère de classification (station).

L'analyse des différences significatives entre les moyennes par groupes a été vérifiée par le test de Tukey.

La comparaison des effets station et mois (ou saison) a été effectuée par l'analyse de la variance (ANOVA) à deux critères de classification.

Les moyennes obtenues pour les paramètres évalués chez *P. macropus* ont été comparées par le test t de Student entre les deux stations de Collo.

La régression linéaire, le test t de Student, le test de Tukey, ainsi que l'analyse de la variance à un et à deux critères de classification ont été réalisés grâce au logiciel MINITAB d'analyse et de traitement statistique des données, version 17 française.



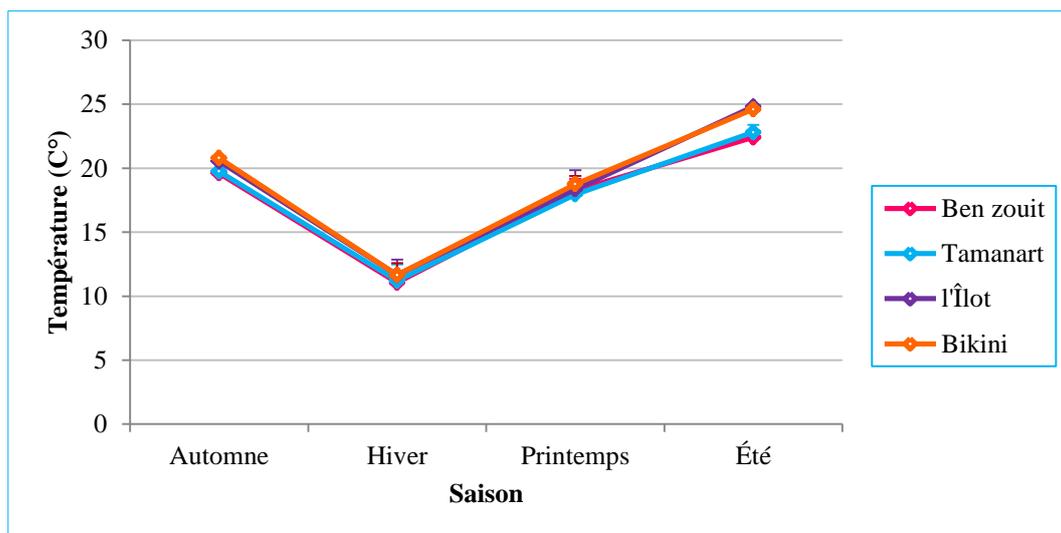
# *RÉSULTATS*

### 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 à partir des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart à Collo, l'Îlot et Bikini à Skikda, et ce, durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014, (Tableau 5 ; Figures 17, 18, 19, 20), on remarque que :

Les températures de l'eau de mer évoluent d'une manière similaire au niveau des quatre stations, celles enregistrées au niveau des deux stations de Skikda sont légèrement supérieures à celles relevées aux niveau des deux stations de Collo ; les valeurs enregistrées marquent une forte diminution durant l'Hiver, où la plus faible est de  $11,05 \pm 0,21 \text{ C}^\circ$  à Ben Zouit, suivie par une augmentation continue, d'abord au Printemps, puis en Été durant lequel les plus hautes valeurs ont été remarquées ( $24,80 \pm 0,14 \text{ C}^\circ$  à l'Îlot).



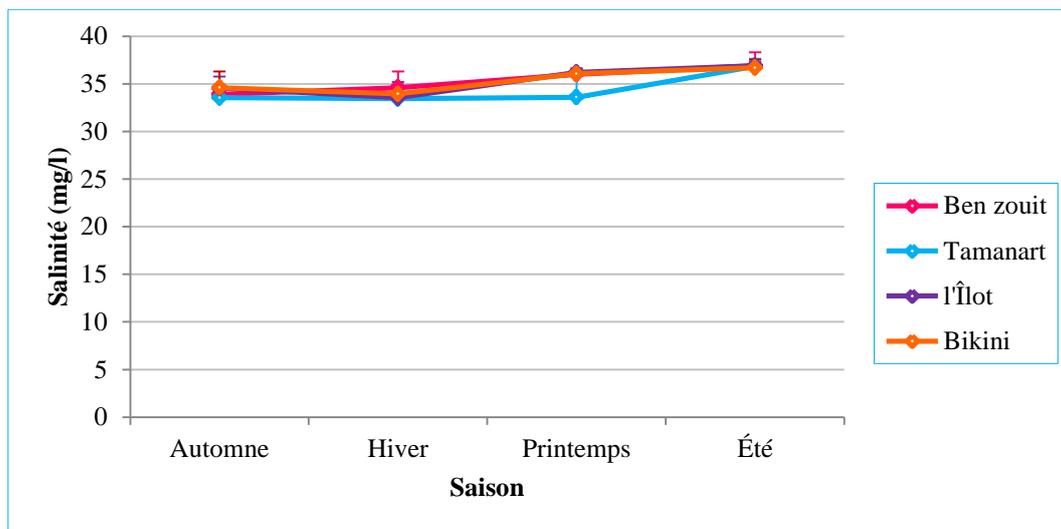
**Figure 17 :** Variations saisonnières de la température (C°) de l'eau de mer prélevée des quatre stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014.

L'analyse ANOVA à un seul facteur contrôlé (station) ne montre aucune différence significative entre les moyennes de température, au niveau des différentes stations ( $P > 0,05$ ), et ce, durant l'Automne, l'Hiver et le Printemps, alors qu'une différence hautement significative ( $P < 0,01$ ) est révélée pendant l'Été (Tableau 5).

Le test de Tukey nous a permis de classer les quatre stations en un seul groupe (A) au cours des trois premières saisons, cependant, pendant l'Été deux groupes (A) et (B) caractérisent les deux stations de Skikda, et celles de Collo respectivement (Tableau 5).

Les mesures de la salinité montrent d'une part, des fluctuations des variations spatiotemporelles, qui ont été très légères et très rapprochées, à l'exception de celles observées au cours du Printemps ; d'une façon générale, on remarque une légère diminution des valeurs durant l'Hiver, au niveau de Tamanart, l'Îlot et Bikini, contrairement au niveau de Ben Zouit où il y a une petite élévation, suivies par une augmentation d'abord au Printemps puis en Été, au niveau de toutes les stations.

D'autre part, on constate que les plus grandes valeurs d'environ 36 mg/l ont été enregistrées durant l'Été pour les quatre stations avec une valeur maximale de  $36,90 \pm 1,41$  mg/l à Ben Zouit, de même, les plus faibles d'environ 33 mg/l ont été relevées en Hiver, à l'exception de la station Ben Zouit avec  $34,60 \pm 1,70$  mg/l, représentant la plus grande valeur enregistrée durant cette saison.



**Figure 18** : Variations saisonnières de la salinité (mg/l) de l'eau de mer prélevée des quatre stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et l'Été de l'année 2013-2014.

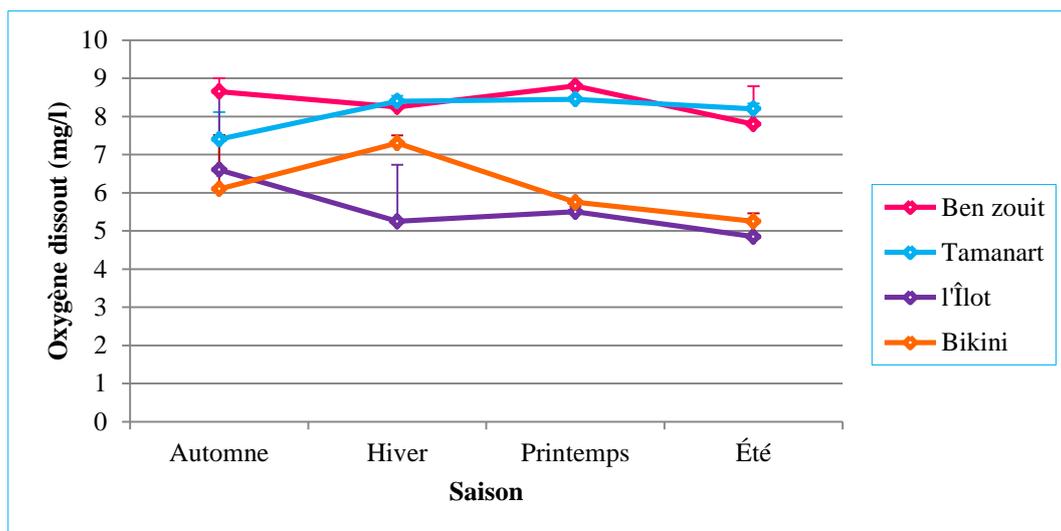
L'analyse ANOVA à un seul facteur de contrôle (station) ne révèle aucune différence significative entre les moyennes de la salinité au niveau des différentes stations ( $P > 0,05$ ), et ce, durant les quatre saisons (Tableau 5).

Le test de Tukey nous a permis de classer les quatre stations en un seul groupe A au cours de toutes les saisons d'étude (Tableau 5).

Les concentrations en oxygène dissout montrent pour chaque station différentes fluctuations : à Ben Zouit on remarque que la valeur enregistrée durant l'Automne diminue pendant l'Hiver, cependant, l'inverse est noté à Tamanart, par la suite les valeurs augmentent durant le Printemps, puis diminuent durant l'Été.

Au niveau de l'Îlot, on constate une diminution de la valeur enregistrée en Automne, qui augmente légèrement en Printemps, puis rediminue en Été ; à Bikini la variation montre une concentration plus élevée au cours de l'Hiver par rapport à celles relevées durant l'Automne, le Printemps et l'Été.

La plus haute concentration en oxygène dissout est de 8,80 mg/l à Ben Zouit durant le Printemps ; alors que la plus faible est de  $4,85 \pm 0,35$  mg/l à l'Îlot au cours de l'Été.

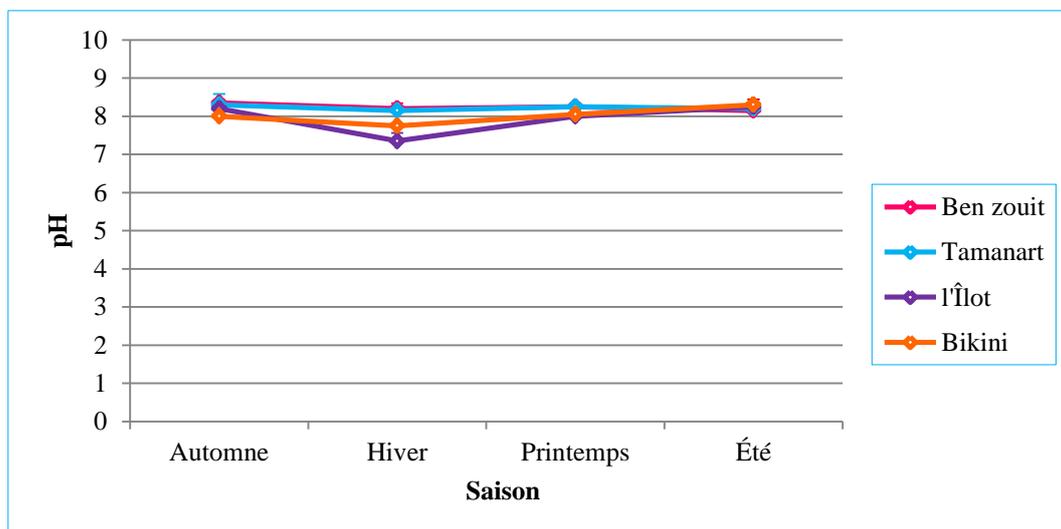


**Figure 19** : Variations saisonnières de la concentration en oxygène dissout (mg/l) de l'eau de mer prélevée des quatre stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014.

L'analyse ANOVA à un seul facteur de contrôle (station) indique une différence très significative entre les moyennes de l'oxygène dissout, au niveau des différentes stations ( $P < 0,05$ ) durant l'Hiver, et une différence hautement significative ( $P < 0,01$ ) pendant le Printemps et l'Été, par contre, aucune différence significative n'a été signalée durant l'Automne (Tableau 5).

Le test de Tukey nous a permis de classer les quatre stations en un, deux ou trois groupes selon la saison ; cependant, en Automne, on note un seul groupe (A) représente les quatre stations ; par contre, durant l'Hiver, on classe trois groupes : (AB) pour Ben Zouit et Bikini, (A) pour Tamanart, et (B) pour l'Îlot ; en outre, pendant le Printemps ainsi que l'Été, deux groupes ont été identifiés dont le premier (A) caractérise les deux stations de Collo, et le deuxième (B) regroupe les deux stations de Skikda (Tableau 5).

Les valeurs du pH montrent des variations relativement proches au niveau des quatre stations, avec un pH légèrement alcalin inférieur au niveau des deux stations de Skikda, par rapport à celles de Collo, à l'exception des valeurs enregistrées durant l'Été, où on constate l'inverse ; la valeur la plus faible était de  $7,30 \pm 0,23$  relevée à l'Îlot durant l'Hiver, alors que celle la plus grande était de  $8,35 \pm 0,07$  à Ben Zouit, et ce durant l'Automne.



**Figure 20** : Variations saisonnières du pH de l'eau de mer prélevée à partir des quatre stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014.

L'analyse ANOVA à un seul facteur de contrôle (station), montre une différence très significative entre les moyennes de pH ( $P < 0,05$ ) au cours de l'Hiver, alors qu'aucune différence significative n'a été observée durant les saisons qui restent (Tableau 5).

Le test de Tukey nous a permis de classer les quatre stations en un seul groupe (A) durant l'Automne, le Printemps et l'Été, contre deux groupes pendant l'Hiver, dont (A) regroupe les deux stations de Collo, et (B) regroupe les deux stations de Skikda (Tableau 5).

**Tableau 5 :** 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 quatre stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

Saison	Station/Paramètre				
	Ben Zouit	Tamanart	l'Îlot	Bikini	P
<b>Température</b>					
Automne	19,60 ± 1,13 A	19,75 ± 0,78 A	20,55 ± 0,21 A	20,80 ± 0,14 A	0,359 NS
Hiver	11,05 ± 0,21 A	11,20 ± 1,27 A	11,65 ± 1,20 A	11,65 ± 0,92 A	0,896 NS
Printemps	18,25 ± 0,92 A	17,95 ± 1,06 A	18,35 ± 1,48 A	18,75 ± 0,64 A	0,898 NS
Été	22,40 ± 0,42 B	22,80 ± 0,57 B	24,80 ± 0,14 A	24,60 ± 0,28 A	0,007 **
<b>Salinité</b>					
Automne	33,90 ± 0,99 A	33,55 ± 0,21 A	34,55 ± 1,20 A	34,60 ± 1,70 A	0,767 NS
Hiver	34,60 ± 1,70 A	33,45 ± 0,35 A	33,55 ± 1,63 A	33,95 ± 0,64 A	0,786 NS
Printemps	36 ± 0,57 A	33,60 ± 2,69 A	36,20 ± 0,42 A	36,05 ± 0,35 A	0,327 NS
Été	36,90 ± 1,41 A	36,85 ± 0,78 A	36,90 ± 0,42 A	36,70 ± 0,85 A	0,995 NS
<b>Oxygène dissout</b>					
Automne	8,65 ± 0,35 A	7,40 ± 0,71 A	6,60 ± 2,12 A	6,10 ± 1,41 A	0,368 NS
Hiver	8,25 ± 0,21 AB	8,40 ± 0,14 A	5,25 ± 1,48 B	7,30 ± 0,28 AB	0,044 *
Printemps	8,80 ± 0,00 A	8,45 ± 0,35 A	5,50 ± 0,14 B	5,75 ± 0,92 B	0,005 **
Été	7,80 ± 0,99 A	8,20 ± 0,14 A	4,85 ± 0,35 B	5,25 ± 0,21 B	0,007 **
<b>pH</b>					
Automne	8,35 ± 0,07 A	8,30 ± 0,28 A	8,20 ± 0,14 A	8 ± 0,14 A	0,336 NS
Hiver	8,20 ± 0,14 A	8,15 ± 0,07 A	7,30 ± 0,23 B	7,35 ± 0,21 B	0,016 *
Printemps	8,25 ± 0,09 A	8,25 ± 0,07 A	8 ± 0,28 A	8,05 ± 0,21 A	0,471 NS
Été	8,15 ± 0,071 A	8,20 ± 0,00 A	8,25 ± 0,07 A	8,30 ± 0,14 A	0,443 NS

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

### 3-2- Analyse physico-chimique du sédiment :

La caractérisation de la nature physico-chimique du sédiment superficiel prélevé au niveau des stations : Ben Zouit et Tamanart à Collo, et Bikini à Skikda, durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été, de l'année 2013-2014, a été effectuée par analyse de différents paramètres qui sont l'analyse granulométrique et la mesure de son pH.

L'examen des résultats granulométriques caractérisant le sédiment prélevé par saison de chaque station (Tableaux 6 et 7 ; Figure 21) indique les différentes fractions suivantes :

Pour la fraction péliste, on marque son absence au niveau de Ben Zouit, ainsi qu'au niveau de Bikini, et ce durant toutes les saisons ; cependant, à Tamanart cette fraction était présente avec des proportions très proches, durant deux saisons seulement qui sont l'Automne et le Printemps, présentant une moyenne de  $3,13 \pm 0,04$  %.

De même, pour les autres fractions granulométriques on assiste à des fluctuations remarquables : au niveau de Ben Zouit, celles du sable fin, moyen, et grossier ont été présentes durant l'Automne ainsi que l'Été, avec une dominance de la dernière fraction (88,22% et 53% respectivement), qui a été exclusive pendant l'Hiver et le Printemps (100%).

À Tamanart, les quatre classes de sable (sable très fin, fin, moyen et grossier) étaient présentes durant l'Automne avec la codominance des sables fin et moyen (43,07% et 42,88%) ; ces mêmes constatations ont été observées également pendant l'Hiver avec 40,46% et 52,27% pour les sables fin et moyen respectivement, ainsi que durant le Printemps mais avec une dominance du sable moyen (63,93%) ; au cours de l'Été, on remarque que la classe du sable très fin était absente au même titre que celle du péliste, par ailleurs, la fraction sable moyen domine (71,42%) celle des sables fin et grossier.

À Bikini, on remarque pendant l'Automne l'absence de la fraction sable grossier, en plus de la très faible proportion du sable très fin, avec une codominance des deux fractions qui restent, celles des sables moyen (42,89%) et grossier (57%) ; l'Hiver a été marqué par l'absence de la fraction sable très fin, avec dominance du sable moyen (72,65%) ; pendant le Printemps, la classe sable grossier était exclusive (100%) ; durant l'Été, on note l'absence de la classe du sable très fin, avec une dominance majeure de la classe du sable grossier (91,88%).

Cependant, en ce qui concerne les résultats relatifs à la médiane D(0,5) on note les variations spatiotemporelles suivantes : à Ben Zouit, les valeurs étaient très élevées durant les trois premières saisons comparativement à celle notée pendant l'Été ; par contre à Tamanart, on distingue des diamètres proches durant l'Hiver, le Printemps et l'Été, plus élevés que ceux remarqués pendant l'Automne ; à Bikini, les valeurs étaient très élevées au cours du Printemps ainsi que l'Été, comparativement à celles relevées durant l'Automne et l'Hiver.

L'observation des teneurs moyennes des trois différents sédiments dans chacune de ces cinq classes granulométriques présentes ou absentes selon la station, nous révèle qu'au niveau de Ben Zouit, trois classes granulométriques étaient présentes indiquant les moyennes décroissante suivantes : sable grossier ( $85,30 \pm 22,20\%$ ) > sable moyen ( $19,10 \pm 19,70\%$ ) > sable fin ( $10,01 \pm 4,82\%$ ).

Par ailleurs, au niveau de Tamanart, on signale cinq fractions granulométriques avec des moyennes dans l'ordre décroissant suivant : sable moyen ( $57,63 \pm 12,60\%$ ) > sable fin ( $28,06 \pm 15,96\%$ ) > sable grossier ( $9,44 \pm 5,09\%$ ) > sable très fin ( $4,52 \pm 3,00\%$ ) > pélite ( $3,13 \pm 0,04\%$ ).

En outre, au niveau de Bikini, quatre fractions granulométriques étaient présentes avec des moyennes dans l'ordre décroissant suivant : sable grossier ( $72,40 \pm 41\%$ ) > sable moyen ( $44,7 \pm 35,8\%$ ) > sable fin ( $16,20 \pm 23,10\%$ ) > sable très fins ( $0,11\%$ ).

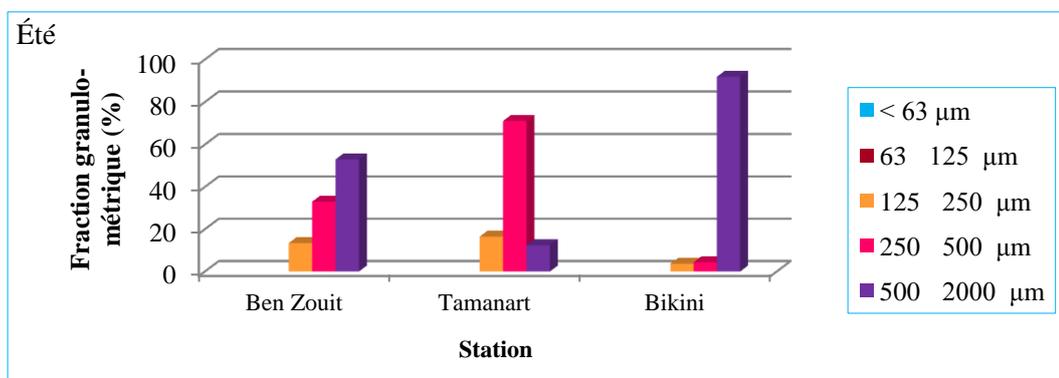
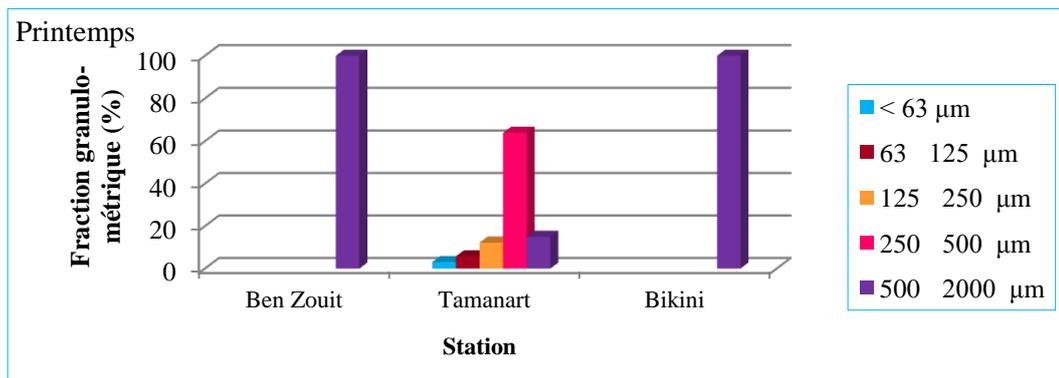
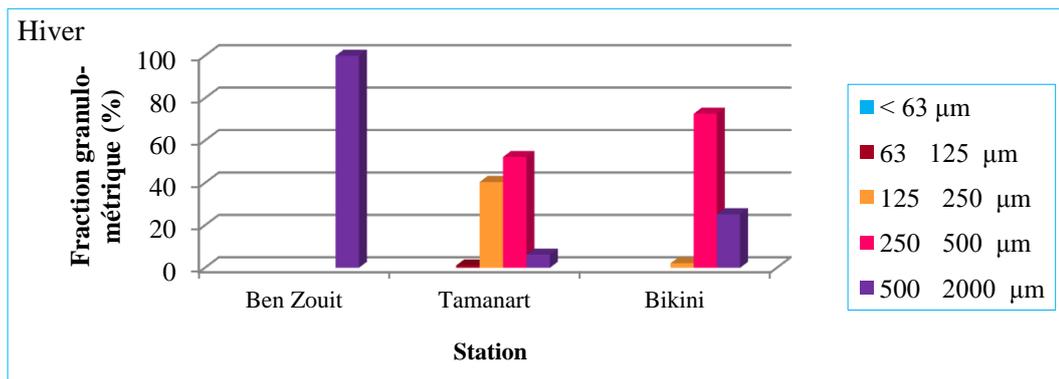
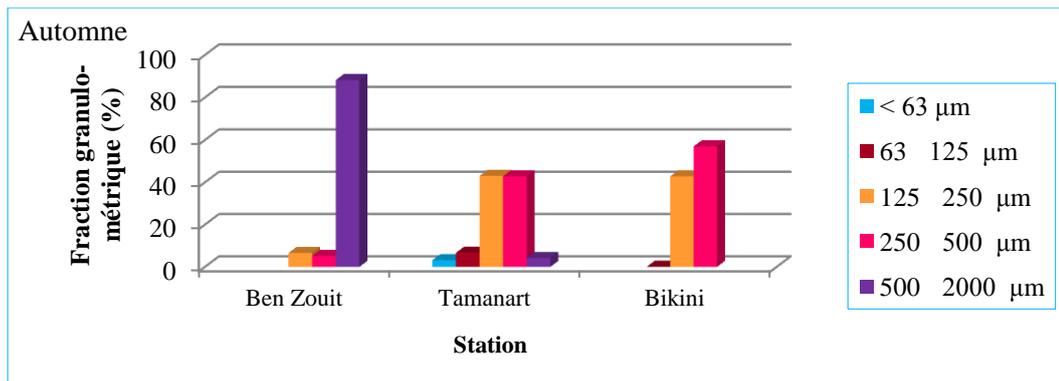
Ces différents résultats nous ont permis de comparer d'abord les différentes teneurs de chaque classe granulométrique entre le sédiment des trois stations : le plus haut niveau de la fraction sable très fin est observé au niveau de Tamanart comparativement à Bikini ; la plus grande proportion du sable fin est au niveau de Tamanart suivie par Bikini puis par Ben Zouit ; celle du sable moyen est enregistrée au niveau de Tamanart bien qu'elle soit proche de celle relevée à Bikini, suivie par Ben Zouit ; la plus grande valeur du sable grossier est relevée à Ben Zouit suivie par Bikini, puis par Tamanart.

En revanche, la plus grande valeur de la médiane D(0,5) a été enregistrée à Ben Zouit ( $1128 \pm 36 \mu\text{m}$ ), alors que la plus faible a été relevée à Tamanart ( $337,40 \pm 63,20 \mu\text{m}$ ).

Par ailleurs, ces valeurs nous ont permis de qualifier le sédiment des trois stations comme suit : celles de Ben Zouit ainsi que Bikini représentent des sables grossiers alors que, celles de Tamanart représentent un sable moyen.

**Tableau 6 :** Variations saisonnières des pourcentages des différentes fractions granulométriques (%), ainsi que la médiane D(0,5) du sédiment prélevé au niveau des stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014.

Fraction granulométrique	Saison/Station			
	Automne	Hiver	Printemps	Été
<b>Ben Zouit</b>				
Pélite (< 63 µm)	-	-	-	-
Sable très fin (63-125 µm)	-	-	-	-
Sable fin (125-250 µm)	6,60	-	-	13,42
Sable moyen (250-500 µm)	5,18	-	-	33
Sable grossier (500-2000 µm)	88,22	100	100	53
D(0,5) (µm)	1185,558	1362,151	1362,434	603,145
<b>Tamanart</b>				
Pélite (< 63 µm)	3,16	-	3,10	-
Sable très fin (63-125 µm)	6,68	1,10	5,79	-
Sable fin (125-250 µm)	43,07	40,46	12,21	16,50
Sable moyen (250-500 µm)	42,88	52,27	63,93	71,42
Sable grossier (500-2000 µm)	4,19	6,16	14,97	12,42
D(0,5) (µm)	265,786	302,996	395,105	385,60
<b>Bikini</b>				
Pélite (< 63 µm)	-	-	-	-
Sable très fin (63-125 µm)	0,11	-	-	-
Sable fin (125-250 µm)	42,89	2,08	-	3,71
Sable moyen (250-500 µm)	57	72,65	-	4,38
Sable grossier (500-2000 µm)	-	25,27	100	91,88
D(0,5) (µm)	293,222	469,944	1355,455	1157,021



**Figure 21 :** Variations saisonnières des différentes fractions granulométriques (%) du sédiment prélevé au niveau des stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014.

L'analyse ANOVA à un seul facteur de contrôle (station) montre une différence hautement significative entre les moyennes des pourcentages de la classe sable grossier ( $P < 0,01$ ), cependant, aucune différence significative ( $P > 0,05$ ) n'a été observée concernant les autres classes granulométriques qui restent (Tableau 7).

Corrélativement, le test de Tukey nous a permis de classer les trois sédiments en deux groupes, en ce qui concerne la fraction sable grossier, dont (A) regroupe Ben Zouit et Bikini, alors que (B) regroupe Tamanart ; contre un seul groupe (A) représentant les autres classes granulométriques.

L'analyse ANOVA à un seul facteur de contrôle (station), montre une différence très significative entre les moyennes de la médiane  $D(0,5)$  ( $P < 0,05$ ) ; le test de Tukey nous a permis de classer les trois sédiments en trois groupes différents, dont (A) regroupe Ben Zouit (B) Tamanart et (AB) Bikini (Tableau 7).

**Tableau 7 :** Traitement statistique des variations saisonnières des différentes fractions granulométriques (%), ainsi que la médiane  $D(0,5)$  du sédiment prélevé au niveau des stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant l'année 2013-2014 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

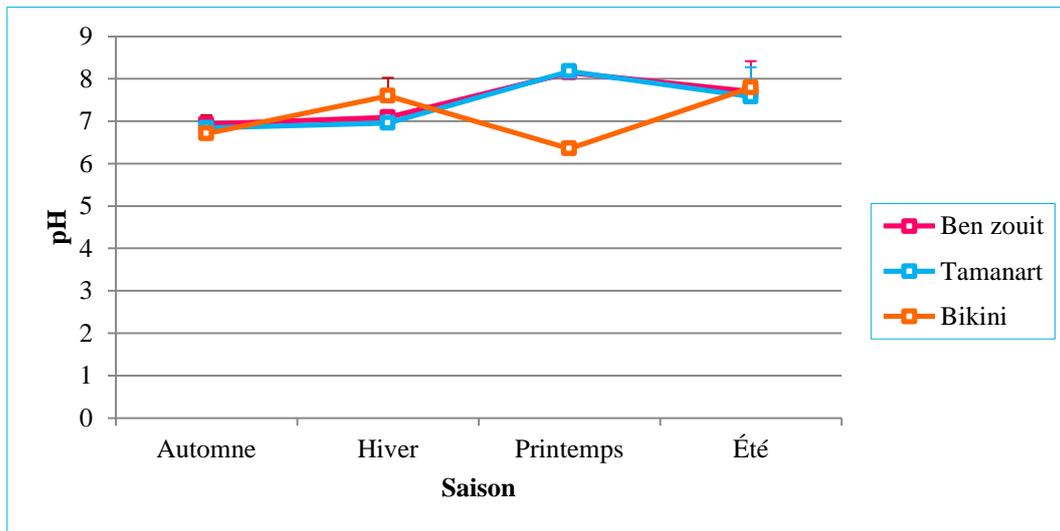
Fraction granulométrique	Station			
	Ben Zouit	Tamanart	Bikini	P
Pélite (< 63 $\mu\text{m}$ )	-	3,13 $\pm$ 0,04	-	-
Sable très fin (63-125 $\mu\text{m}$ )	-	4,52 $\pm$ 3,00 <b>A</b>	0,11 <b>A</b>	<b>0,330 NS</b>
Sable fin (125-250 $\mu\text{m}$ )	10,010 $\pm$ 4,82 <b>A</b>	28,06 $\pm$ 15,96 <b>A</b>	16,20 $\pm$ 23,1 <b>A</b>	<b>0,487 NS</b>
Sable moyen (250-500 $\mu\text{m}$ )	19,10 $\pm$ 19,70 <b>A</b>	57,63 $\pm$ 12,60 <b>A</b>	44,70 $\pm$ 35,80 <b>A</b>	<b>0,254 NS</b>
Sable grossier (500-2000 $\mu\text{m}$ )	85,30 $\pm$ 22,20 <b>A</b>	9,44 $\pm$ 5,09 <b>B</b>	72,40 $\pm$ 41 <b>A</b>	<b>0,006 **</b>
<b>D(0,5) (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	1128 $\pm$ 36 <b>A</b>	337,40 $\pm$ 63,20 <b>B</b>	819 $\pm$ 517 <b>AB</b>	<b>0,039 *</b>

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

Les données du pH du sédiment (Tableau 8 ; Figure 22) indiquent qu'au niveau des deux stations de Collo, on note une augmentation continue des valeurs à partir de l'Automne durant les deux saisons suivantes atteignant les plus grandes valeurs (8,15  $\pm$  0,07 à Ben Zouit,

et  $8,18 \pm 0,07$  à Tamanart), alors qu'une diminution de ces dernières a été marquée durant l'Été.

Concernant Bikini, on remarque une variation du pH du sédiment en fonction de la saison, où il augmente au cours de l'Hiver, puis diminue durant le printemps enregistrant la plus petite valeur ( $6,35 \pm 0,02$ ) qui s'élève par la suite pendant l'Été.



**Figure 22** : Variations saisonnières du pH du sédiment prélevé au niveau des stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014.

L'analyse ANOVA à un seul facteur contrôlé (station) ne révèle pas de différence significative entre les moyennes du pH du sédiment des différentes stations ( $P > 0,05$ ) durant l'Automne, l'Hiver et l'Été, alors qu'une différence très hautement significative marque la saison du Printemps ( $P < 0,001$ ) (Tableau 8).

Le test de Tukey nous a permis de classer les trois stations en un seul groupe (A) au cours de l'Automne, l'Hiver et l'Été ainsi qu'en deux groupes (A) et (B) pour les deux stations de Collo et celle de Skikda respectivement (Tableau 8).

**Tableau 8** : Variations du pH du sédiment prélevé des trois stations de l'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2013-2014 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

Saison	Station			
	Ben Zouit	Tamanart	Bikini	P
Automne	6,93 ± 0,06 A	6,84 ± 0,12 A	6,71 ± 0,44 A	0,724 NS
Hiver	7,09 ± 0,09 A	6,96 ± 0,08 A	7,6 ± 0,42 A	0,724 NS
Printemps	8,15 ± 0,07 A	8,18 ± 0,07 A	6,35 ± 0,02 B	0,000 ***
Été	7,70 ± 0,71 A	7,58 ± 0,69 A	7,79 ± 0,15 A	0,935 NS

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

### 3-3- Analyse des éléments chimiques et des éléments traces métalliques :

Une caractérisation qualitative et quantitative de la composition globale en éléments chimiques, et notamment celle en éléments traces métalliques a été réalisée pour les trois compartiments : l'eau de mer (mg/l), le sédiment et le matériel biologique ( $\mu\text{g/g}$ ), en provenance des différentes stations correspondantes : Ben Zouit et Tamanart à Collo, l'Îlot et Bikini à Skikda. Cette analyse a été réalisée en Juin 2016.

#### 3-3-1- Au niveau de l'eau de mer :

Les données relatives aux minéraux détectés au niveau de l'eau de mer (Tableau 9 ; Figures 23, 24) nous indiquent les résultats correspondants.

La composition élémentaire globale de l'eau de mer en provenance des quatre stations est similaire, bien que le **Fe** était absent au niveau des deux stations de Collo ; par conséquent 12 éléments chimiques ont été détectés au niveau des deux stations de Collo, contre 13 éléments au niveau des deux stations de Skikda ; entre autres ceux métalliques (métaux et métalloïdes), non métalliques (P et S), et halogènes (Cl et Br) ; concernant la première catégorie d'éléments, on compte le **Na**, **Mg**, **Al**, **Si**, **K**, **Ca**, et **Fe** en plus 02 ETM seulement qui sont le **Sr** et **Pd**, tous ces éléments chimiques font partie de la classe A considérée comme non toxique, à l'exception du **Pd** qui est plutôt très toxique (classe B).

Les concentrations des différents éléments présentent des variations spatiales, où dans l'ensemble les plus faibles en état de traces concernent les deux ETM **Sr** et **Pd**, en plus du **Fe** (à l'Îlot) ; alors que les plus élevées ont été enregistrées pour les éléments majeurs à savoir le **Cl** suivie par le **Na**, alors qu'au niveau de Bikini la concentration en **Na** était très faible comparativement à celle trouvée au niveau des autres stations y compris l'Îlot ; de même, on note des teneurs relativement élevées pour les autres éléments majeurs caractéristiques de l'eau de mer (**Mg**, **S**, **K** et **Ca**). Les teneurs des différents éléments chimiques suivent un ordre décroissant suivant :

Au niveau de Ben Zouit et Tamanart : **Cl > Na > Mg > S > Si > Ca > P > K > Al > Br > Sr et Pd.**

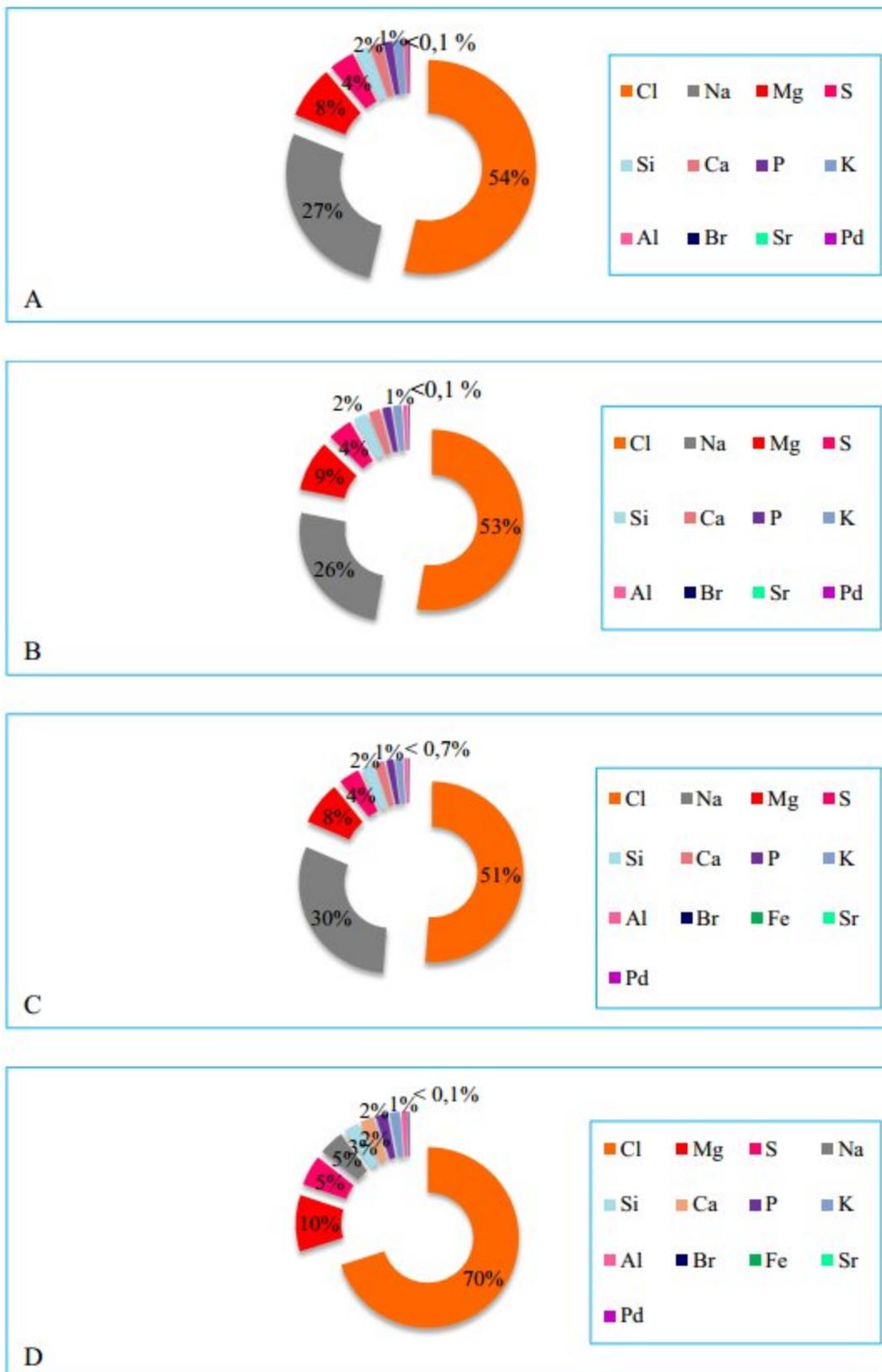
Au niveau de l'Îlot : **Cl > Na > Mg > S > Si > Ca > P > K > Al > Br > Fe, Sr et Pd.**

Au niveau de Bikini : **Cl > Mg > S > Na > Si > Ca > P > K > Al > Br > Fe > Sr et Pd.**

**Tableau 9** : Analyse qualitative et quantitative en éléments chimiques et ETM (mg/l), de l'eau de mer prélevée des quatre stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant le mois de Juin 2016.

Élément	Nb <sub>a</sub>	Nature	Classe	Ben Zouit	Tamanart	l'Îlot	Bikini
<b>Sodium (Na)</b>	11	Métaux alcalins	A	106,2	100,2	99,3	10,9
<b>Magnésium (Mg)</b>	12	Métaux alcalino-terreux	A	30,8	35,8	25,4	24,4
<b>Aluminium (Al)</b>	13	Métaux pauvres	A	2,7	3,1	2,2	2,3
<b>Silicium (Si)</b>	14	Métalloïdes	A	7,7	9	6,4	6,1
<b>Phosphore (P)</b>	15	Non-métaux	-	5,2	6,1	4,3	4,9
<b>Soufre (S)</b>	16		-	14,7	17,1	12,1	13,1
<b>Chlore (Cl)</b>	17	Halogènes	-	208	207	167,9	168,9
<b>Potassium K)</b>	19	Métaux alcalins	A	5,1	5,9	4,2	4,2
<b>Calcium (Ca)</b>	20	Métaux alcalino-terreux	A	6,8	7,9	5,6	5,6
<b>Fer (Fe)</b>	26	Métaux de transition	A	-	-	Traces	0,1
<b>Brome (Br)</b>	35	Halogènes	-	0,6	0,7	0,5	0,5
<b>Strontium (Sr)</b>	38	Métaux alcalino-terreux	A	Traces	Traces	Traces	Traces
<b>Palladium (Pd)</b>	46	Métaux de transition	B	Traces	Traces	Traces	Traces

Nb<sub>a</sub> : nombre atomique ; classification selon Wood (1976) in Campbell & Couillard (2004).



**Figure 23 :** Représentation en (%) de l'analyse quantitative en éléments chimiques et ETM (mg/l) de l'eau de mer prélevée au niveau de Ben Zouit (A) et Tamanart (B) (Collo), l'Îlot (C) et Bikini (D) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.

En général, la comparaison des concentrations de l'eau de mer des quatre stations en éléments chimiques, à l'exception des 02 ETM et du **Fe** indique que celles enregistrées à Collo étaient toujours plus élevées que celles relevées à Skikda ; bien qu'en comparant entre les deux stations de chaque site, on trouve dans l'ensemble des valeurs proches entre elles, voir même équivalentes. Cependant, au niveau des deux stations de Collo on note que Tamanart présente des teneurs plus élevées comparativement à Ben Zouit à l'exception du **Na** et **Cl** ; quant aux deux stations de Skikda, on remarque une légère variation des teneurs en éléments chimiques (sauf pour le **Na** à Bikini).

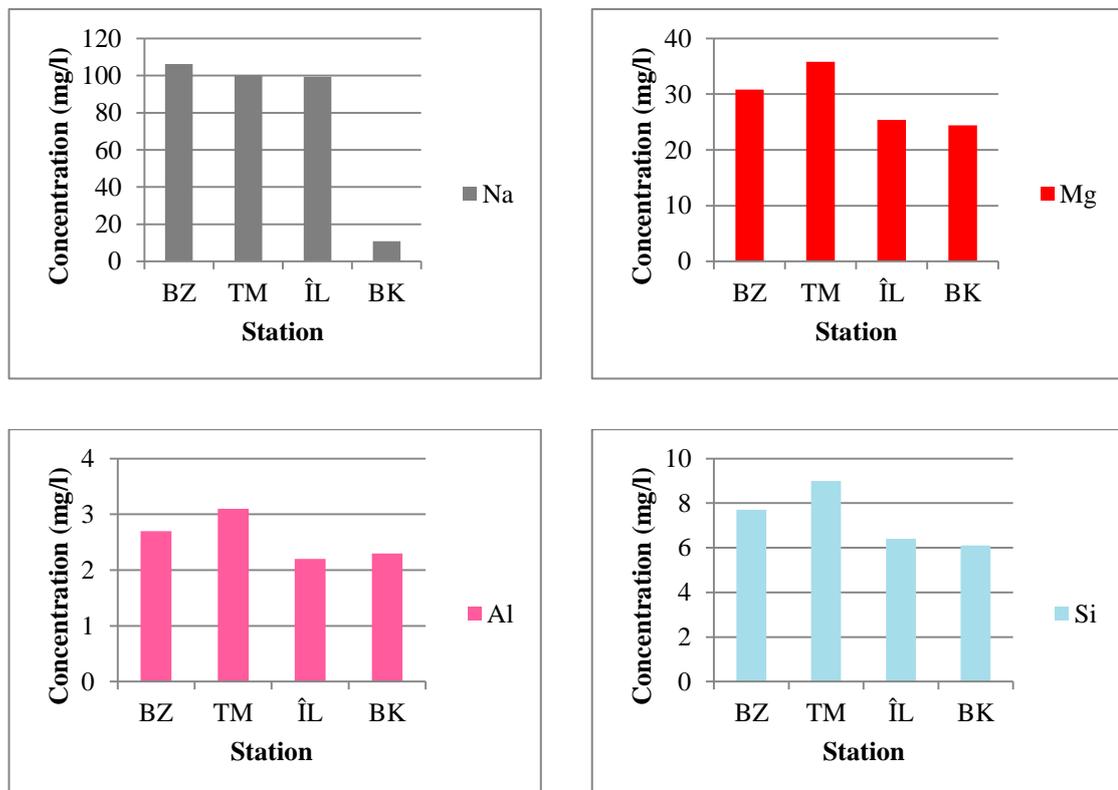
Ainsi, quatre situations selon la charge en ces éléments s'affichent :

Ben Zouit > Tamanart > l'Îlot > Bikini notamment pour le **Na**.

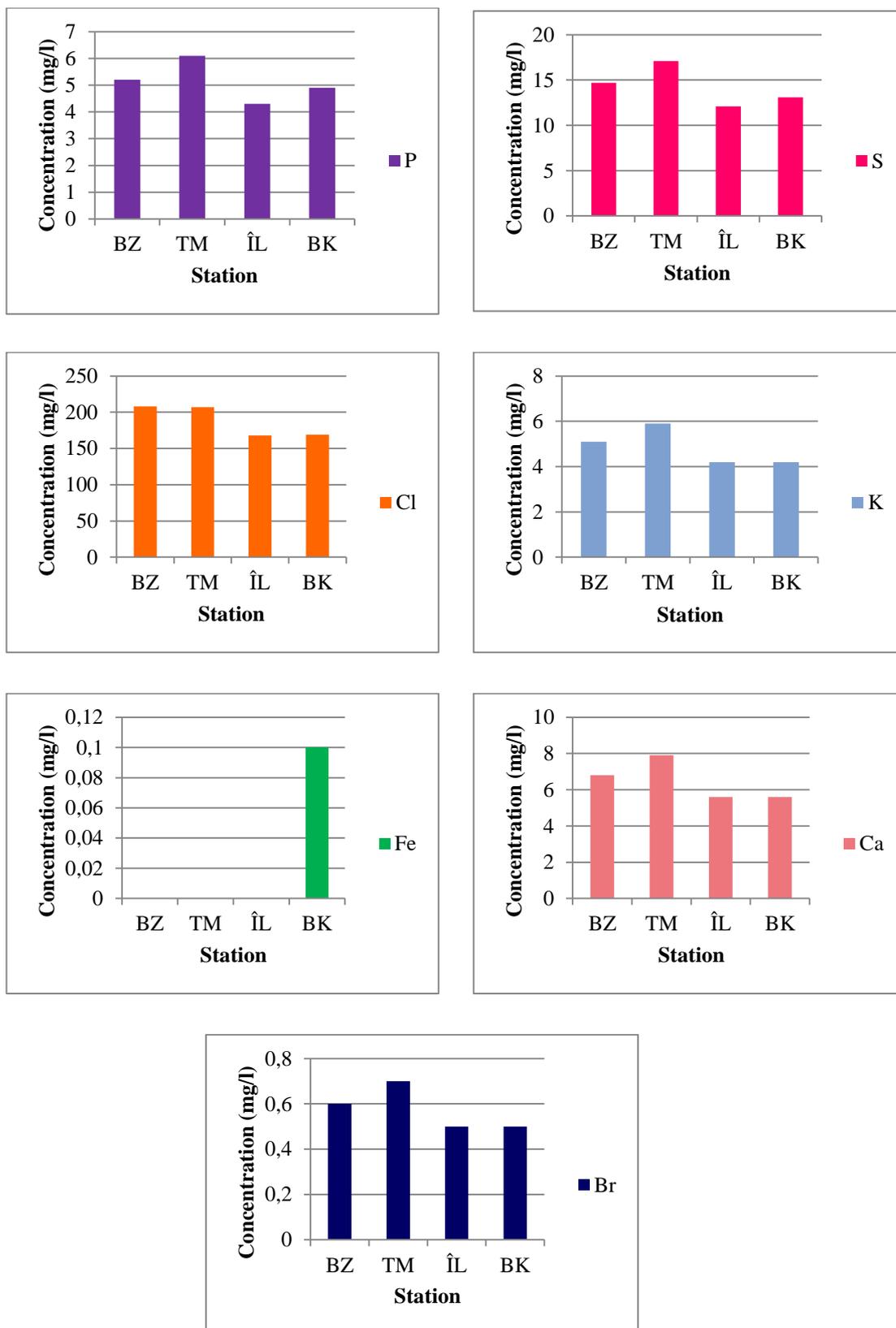
Tamanart > Ben Zouit > l'Îlot > Bikini concernant le **Mg** et **Si**.

Tamanart > Ben Zouit > Bikini > l'Îlot comprenant l'**Al**, **P**, et **S** et **Cl**.

Tamanart > Ben Zouit > l'Îlot = Bikini relative aux **K**, **Ca**, et **Br**.



**Figure 24** : Concentrations en éléments chimiques, y compris ceux métalliques non toxiques (groupe A) (mg/l) présents au niveau de l'eau de mer prélevée de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), l'Îlot (ÎL) et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



**Figure 24 :** Concentrations en éléments chimiques, y compris ceux métalliques non toxiques (groupe A) (mg/l) présents au niveau de l'eau de mer prélevée Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), l'Îlot (ÎL) et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016 (suite).

### 3-3-2- Au niveau du sédiment :

L'observation de la composition en éléments chimiques et ETM ( $\mu\text{g/l}$ ) du sédiment prélevé au niveau des trois stations : Ben Zouit et Tamanart à Collo, Bikini à Skikda durant le mois de Juin 2016 (Tableau 10 ; Figures 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31), nous indiquent que :

Au total, 26 éléments chimiques ont été détectés au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit, et 25 au niveau du sédiment prélevé de Tamanart ainsi que Bikini, qui sont dans la majorité de nature métalliques (métaux et métalloïdes), en plus de ceux non métalliques (P et S), halogènes (Cl et Br), et lanthanide (Eu). Cependant, pour les éléments métalliques, on peut distinguer les éléments majeurs (**Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe**), de ceux qualifiés d'ETM (**V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Ba, Re, Ir et Pb**) ; contrairement à ceux identifiés au niveau de l'eau de mer, ces éléments métalliques du sédiment font partie des trois classes A, B et C. Il est donc à préciser que la composition minéralogique des sédiments des trois stations est relativement homogène, bien que certains éléments soient absents selon la station considérée, comme le cas du **Ni, Ba, et Ir** au niveau de Ben Zouit ; du **S, Cu, Ba, et Re** au niveau de Tamanart ; et du **V, Ni, Cu, et Ir** au niveau de Bikini.

Les valeurs des teneurs en éléments identifiés marquent des variations remarquables entre les trois stations ; en général, les plus élevées ont été enregistrés pour le Si, suivie par cinq autres éléments majeurs qui sont l'**Al, Cl, K, Ca, et Fe**, présentant des concentrations très élevées, inversement aux autres éléments de concentrations faibles, voire même très faibles. Les concentrations des différents éléments chimiques mesurés au niveau du sédiment suivent un ordre décroissant suivant :

Au niveau de Ben Zouit : **Si > Ca > Fe > K > Al > Cl > Na > Mg > Ti > P > Mn > S > Sr > Eu > Rb > Zr > Zn > Cr > V > Br > Pb > Cu > As > Y > Ga > Re.**

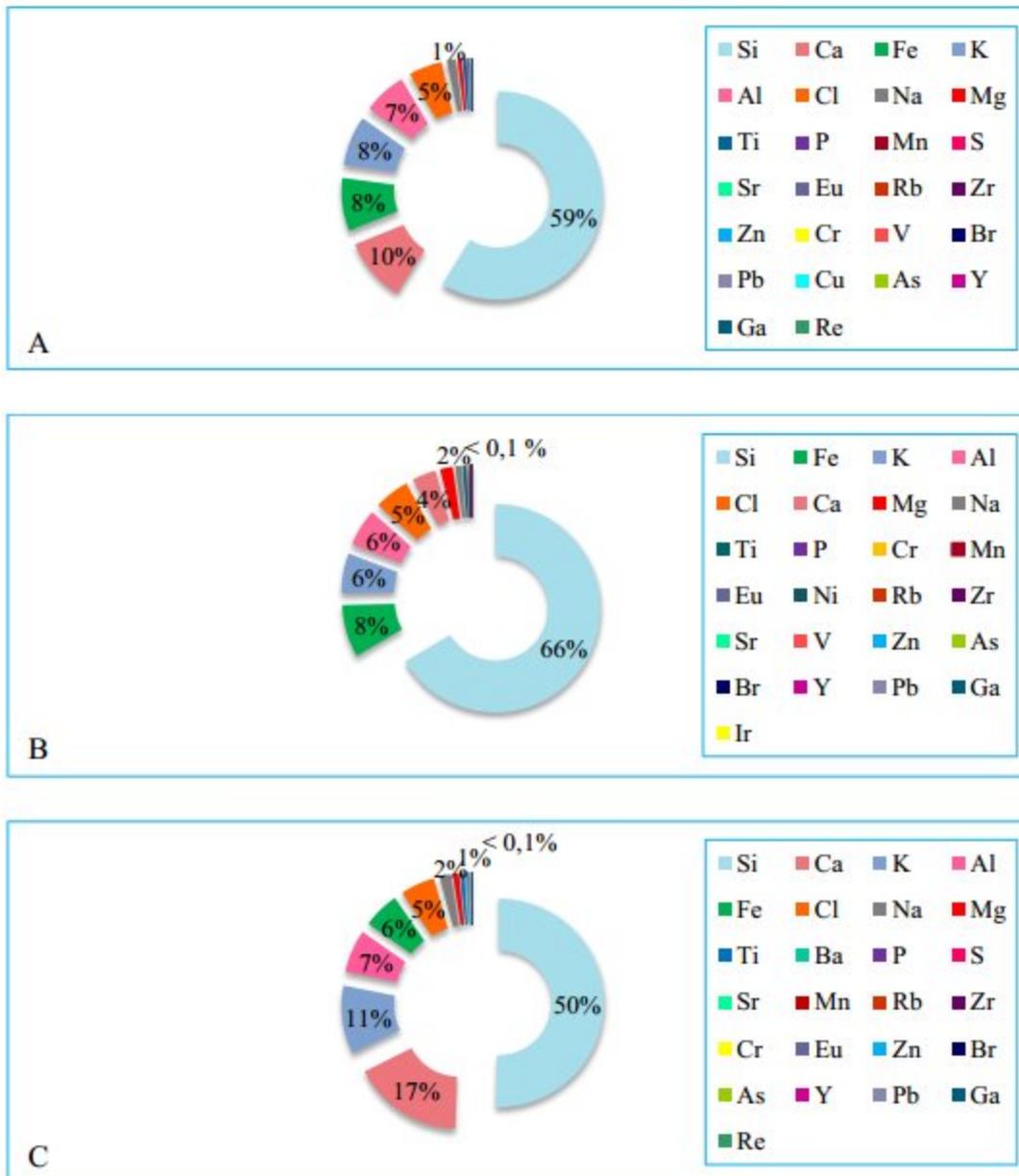
Au niveau de Tamanart : **Si > Fe > K > Al > Cl > Ca > Mg > Na > Ti > P > Cr > Mn > Eu > Ni > Rb > Zr > Sr > V > Zn > As > Br > Y > Pb > Ga > Ir.**

Au niveau de Bikini : **Si > Ca > K > Al > Fe > Cl > Na > Mg > Ti > Ba > P > S > Sr > Mn > Rb > Zr > Cr > Eu > Zn > Br > As > Y > Pb > Ga > Re.**

**Tableau 10** : Analyses qualitative et quantitative en éléments chimiques et ETM ( $\mu\text{g/g}$ ) du sédiment prélevé au niveau des trois stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant le mois de Juin 2016.

Élément	Nb <sub>a</sub>	Nature	Classe	B. Zouit	Tamanart	Bikini
Sodium (Na)	11	Métaux alcalins	A	64,5	45	80
Magnésium (Mg)	12	Métaux alcalino-terreux	A	30,1	93,1	42,3
Aluminium (Al)	13	Métaux pauvres	A	310,1	275,1	304,1
Silicium (Si)	14	Métalloïdes	A	2730,9	3139,1	2312,1
Phosphore (P)	15	Non-métaux	-	8,8	10,9	9,1
Soufre (S)	16		-	3,4	-	8,2
Chlore (Cl)	17	Halogènes	-	240,5	256,8	242,8
Potassium (K)	19	Métaux alcalins	A	360,1	294	486,8
Calcium (Ca)	20	Métaux alcalino-terreux	A	466,6	173,8	781,9
Titane (Ti)	22	Métaux de transition	C	27,3	26,2	29,2
Vanadium (V)	23		-	0,6	0,6	-
Chrome (Cr)	24		B	0,7	8,7	0,5
Manganèse (Mn)	25		A	6,1	4,6	3,3
Fer (Fe)	26		A	382,5	384,6	258,3
Nickel (Ni)	28		B	-	1,5	-
Cuivre (Cu)	29		B	0,2	-	-
Zinc (Zn)	30		B	1	0,6	0,4
Gallium (Ga)	31	Métaux pauvres	C	0,1	0,1	0,1
Arsenic (As)	33	Métalloïdes	B	0,2	0,3	0,3
Brome (Br)	35	Halogènes	-	0,4	0,3	0,4
Rubidium (Rb)	37	Métaux alcalins	A	1,6	1,5	2
Strontium (Sr)	38	Métaux alcalino-terreux	A	3,1	1,2	4,2
Yttrium (Y)	39	Métaux de transition	-	0,2	0,2	0,2
Zirconium (Zr)	40		C	1,4	1,5	1,4
Baryum (Ba)	56	Métaux alcalino-terreux	C	-	-	12,2
Europium (Eu)	63	Lanthanides	-	2,2	1,9	0,5
Rhénium (Re)	75	Métaux de transition	C	Traces	-	Traces
Iridium (Ir)	77		C	-	Traces	-
Plomb (Pb)	82	Métaux pauvres	B	0,4	0,2	0,2

Nb<sub>a</sub> : nombre atomique ; classification selon Wood (1976) in Campbell & Couillard (2004).



**Figure 25 :** Représentation en (%) de l'analyse quantitative en éléments chimiques et ETM ( $\mu\text{g/g}$ ) du sédiment prélevé au niveau de Ben Zouit (A) et Tamanart (B) (Collo) Bikini (C) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.

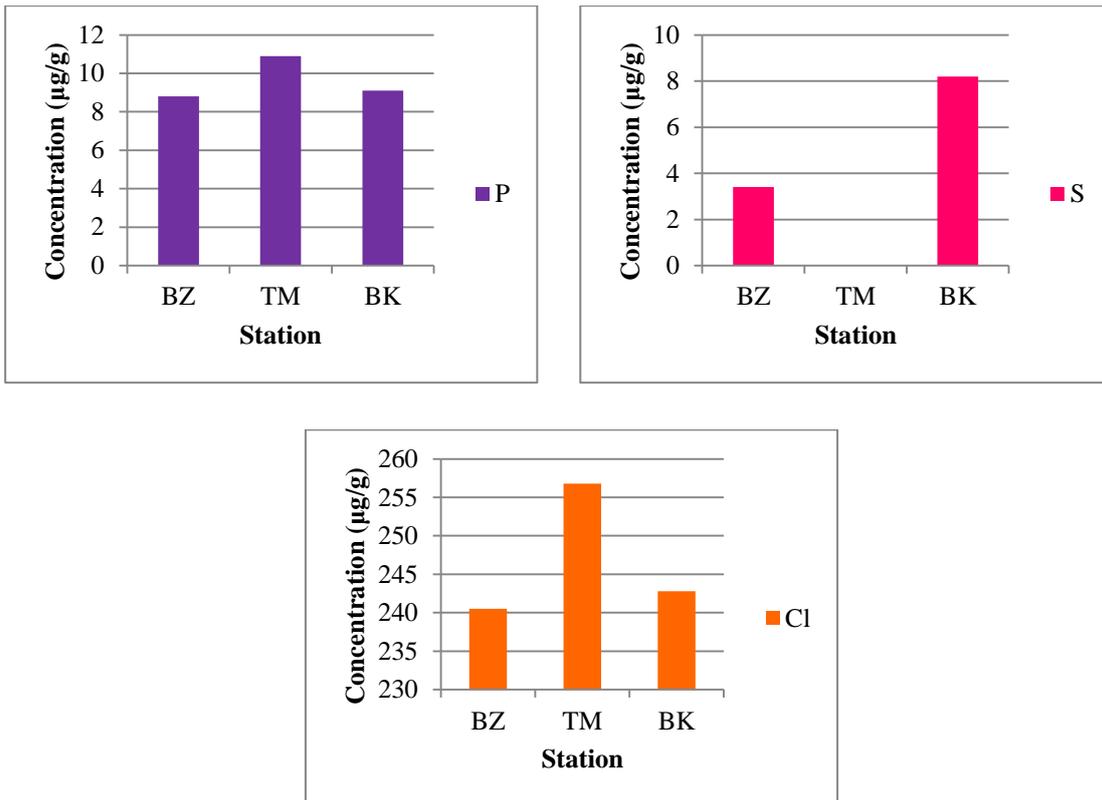
La comparaison d'une manière générale de la charge du sédiment en éléments chimiques majeurs entre les trois stations indique que celles enregistrées à Collo étaient plus faibles que celles relevées à Skikda (Bikini) notamment pour le **Na**, **K**, **Ca**, **Ti**, en plus du **S** (Bikini > Ben Zouit > Tamanart) ; alors que concernant le **Si** et **Fe**, les teneurs obtenues à Collo étaient plus importantes que celles de Skikda (Tamanart > Ben Zouit > Bikini) ; par ailleurs, deux autres constatations peuvent être également observés, où les teneurs en **Mg**, **P** et **Cl** en plus de l'**Al** à Bikini étaient plus faibles par rapport à une station de Collo et plus élevés que la deuxième (Tamanart > Bikini > Ben Zouit, ou encore Ben Zouit > Bikini > Tamanart).

La comparaison détaillée des concentrations en ETM met en évidence différents profils en se basant sur le niveau de la toxicité de ces éléments, en les classant par groupes A, B et C : d'abord, ceux du premier groupe enregistrent des fortes teneurs en **Mn** à Ben Zouit par rapport à Tamanart et Bikini respectivement ; de même, concernant le **Rb** et **Sr** à Bikini suivie par Ben Zouit et puis par Tamanart.

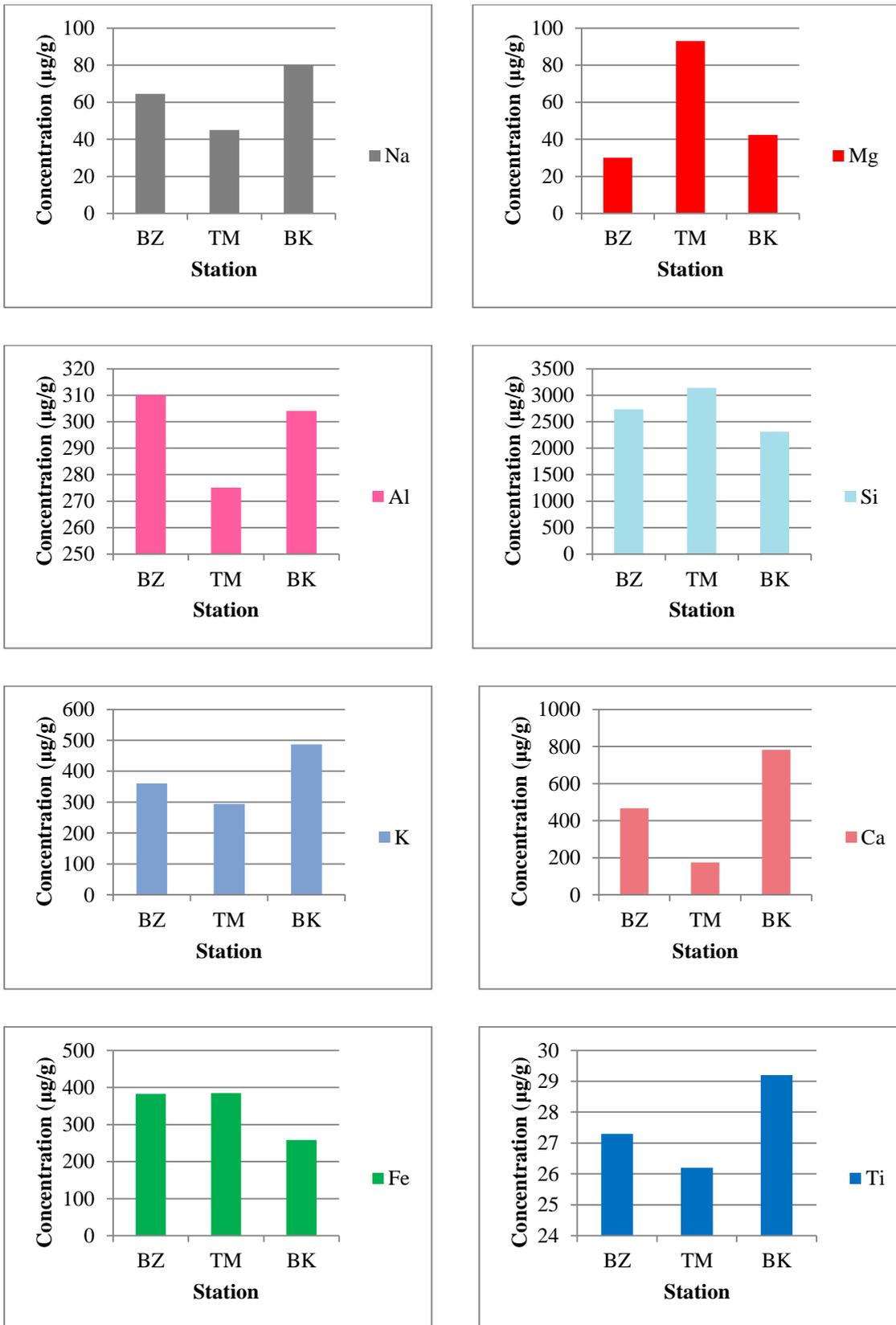
Ceux du deuxième groupe notamment le **Cr** marque une concentration à Tamanart largement supérieure à celles de Ben Zouit et Bikini respectivement ; la même remarque pour le **Zn** montrant une forte teneur à Ben Zouit comparativement à Tamanart puis à Bikini ; concernant l'**As** on observe la même concentration à Bikini et Tamanart, supérieure à celle de Ben Zouit ; quant au **Pb**, on observe le contraire où la même teneur relevée à Bikini et Tamanart est inférieure à celle enregistrée à Ben Zouit.

Ceux du troisième indiquent la même teneur en **Ga** pour les trois stations ; alors que le **Zr** présente une concentration à Tamanart très comparative à celle enregistrée au niveau de Ben Zouit et Bikini ; cependant, le **Re** a été détecté en état de trace à Ben Zouit et Bikini.

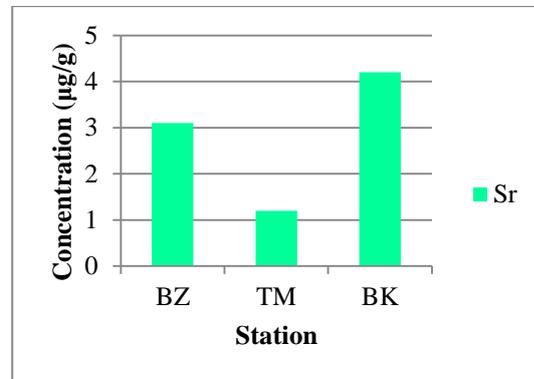
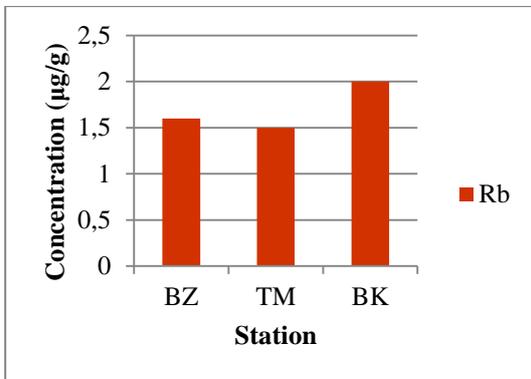
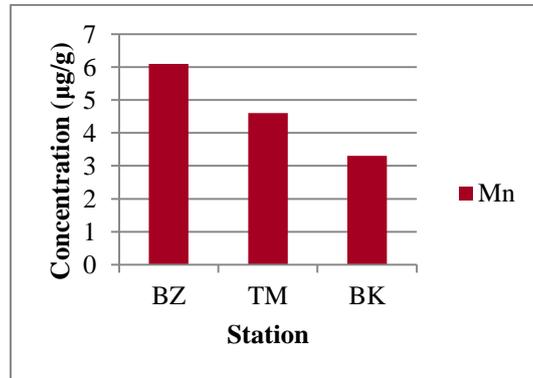
À propos des 02 ETM **V** et **Y** non classés parmi ces trois précédents groupes, on signale la même concentration au niveau des différentes stations, il est à noter que le **V** est inexistant à Bikini.



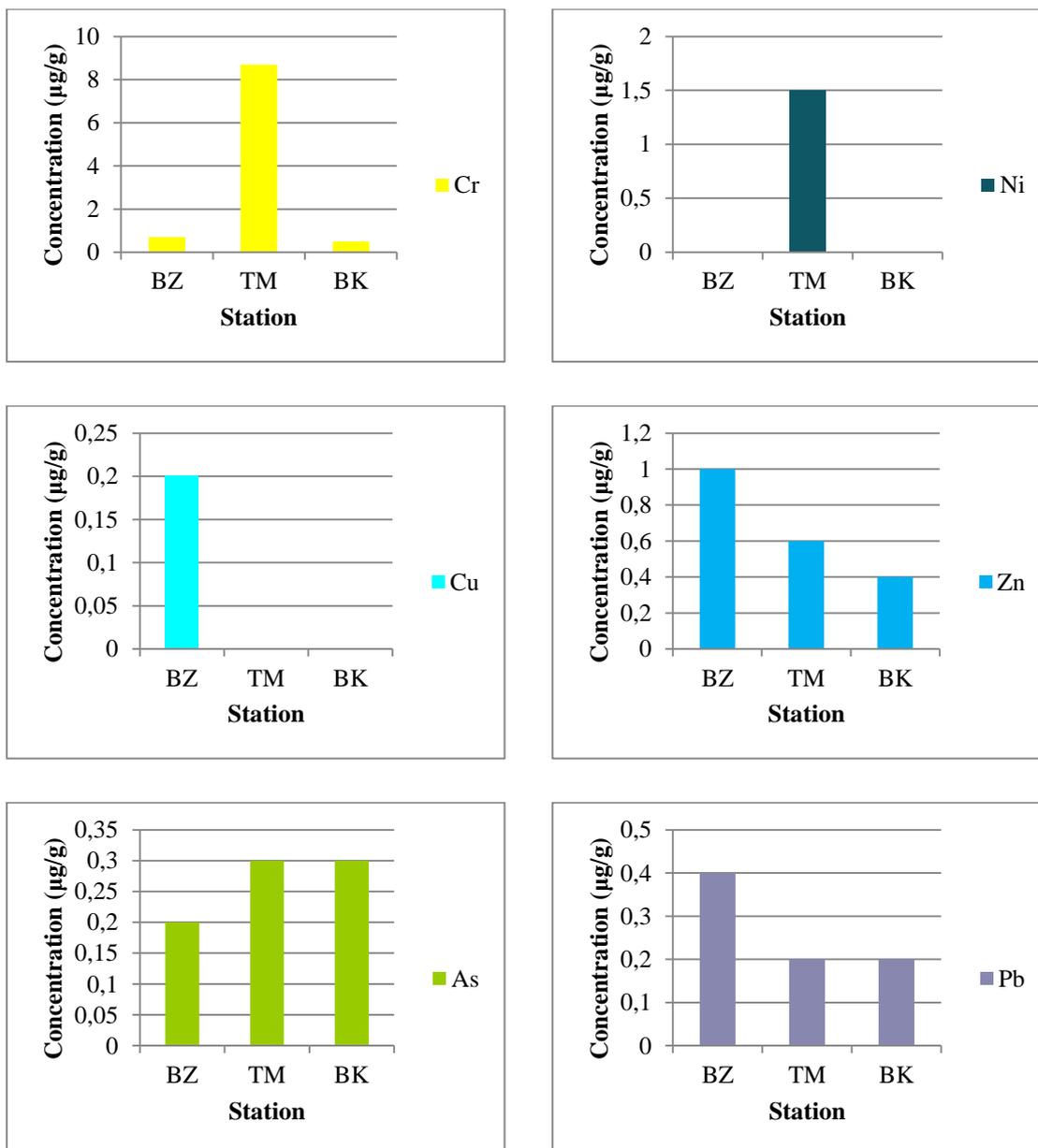
**Figure 26** : Concentrations en éléments chimiques majeurs non métalliques (µg/g) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



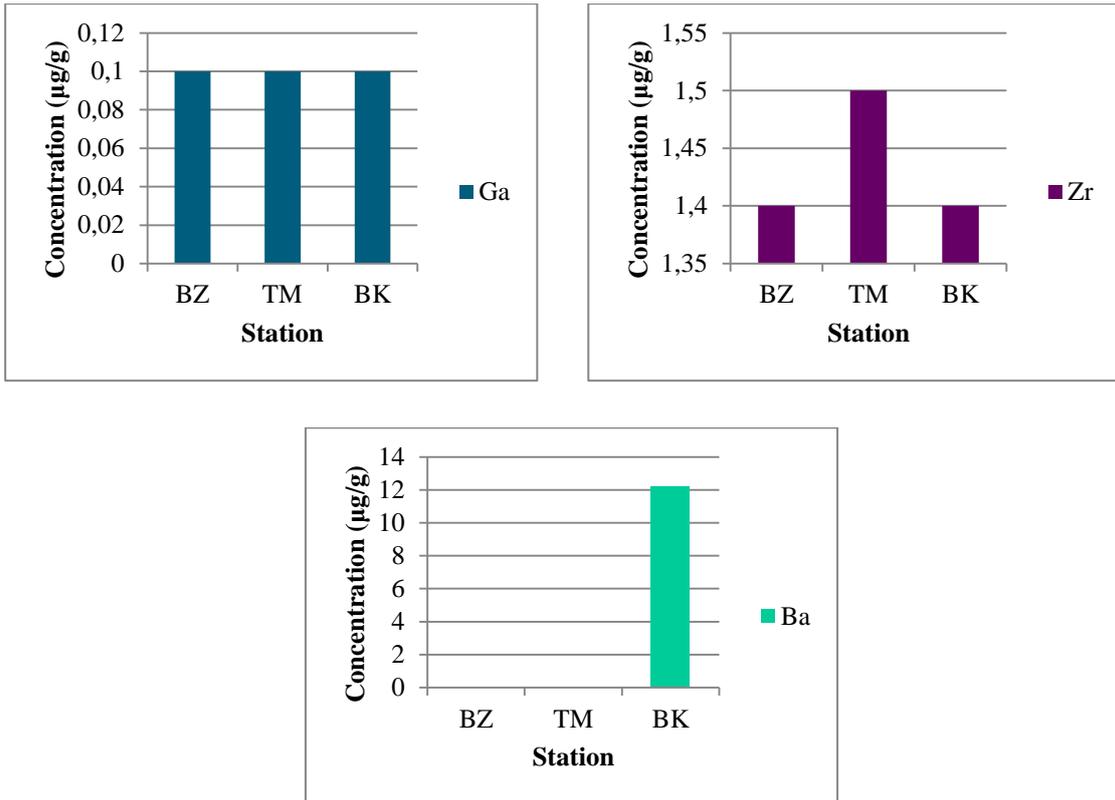
**Figure 27 :** Concentrations en éléments métalliques majeurs non toxiques (groupe A) ainsi que celle en **Ti** toxique (groupe C) ( $\mu\text{g/g}$ ) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



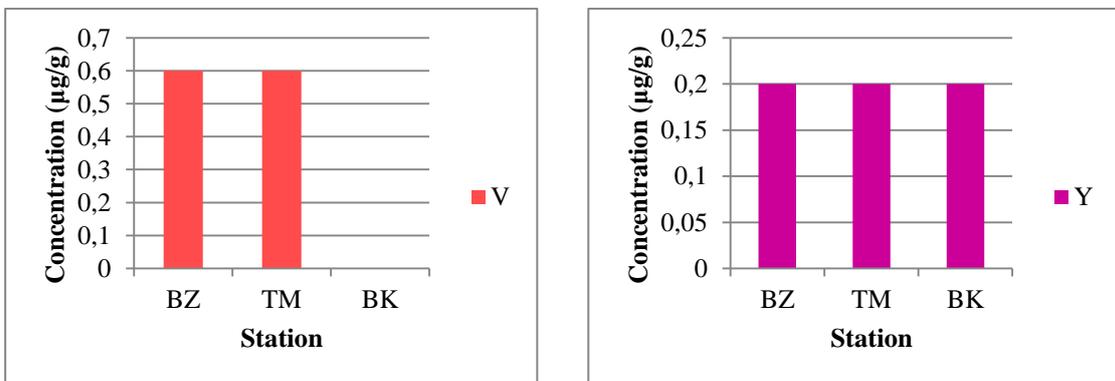
**Figure 28** : Concentrations en ETM non toxiques (groupe A) ( $\mu\text{g/g}$ ) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



**Figure 29** : Concentrations en ETM très toxiques (groupe B) (µg/g) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



**Figure 30 :** Concentrations en ETM toxiques (groupe C) ( $\mu\text{g/g}$ ) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



**Figure 31 :** Concentrations en Vanadium et Yttrium ( $\mu\text{g/g}$ ) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



L'évaluation du niveau de contamination en éléments métalliques a été réalisée à l'aide de l'évaluation du facteur d'enrichissement, ainsi que celle de l'indice de géoaccumulation du sédiment prélevé des trois stations : Ben Zouit et Tamanart à Collo, Bikini à Skikda durant le mois de Juin 2016 (Tableau 11 ; Figures 32, 33, 34, 35, 36).

**Tableau 11** : Evaluation du facteur d'enrichissement (E.F) et l'indice de géoaccumulation (Igé) des éléments métalliques présents au niveau du sédiment prélevé des trois stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant le mois de Juin 2016.

Élément	Classe	Indice/Station					
		E.F			Igé		
		Ben Zouit	Tamanart	Bikini	Ben Zouit	Tamanart	Bikini
Na	A	0,203	0,141	0,3727	-9,21732	-9,73928	-8,91059
Mg	A	0,18	0,553	0,3744	-9,39047	-7,76729	-8,90435
Al	A	0,323	0,285	0,4696	-8,54894	-8,7209	-8,57732
Si	A	0,727	0,831	0,9111	-7,38082	-7,17919	-7,62124
K	A	1,015	0,824	2,032	-6,89883	-7,19179	-6,46396
Ca	A	1,28	0,474	3,1751	-6,56525	-7,99125	-5,82011
Ti	C	0,707	0,675	1,1203	-7,41982	-7,48036	-7,32308
V	-	0,914	0,909	-	-7,04931	-7,04931	-
Cr	B	1,615	19,965	1,7084	-6,22918	-2,59327	-6,71422
Mn	A	0,935	0,701	0,7489	-7,01718	-7,42477	-7,90401
Fe	A	1	1	1	-6,91964	-6,91267	-7,48681
Ni	B	-	6,477	-	-	-4,21732	-
Cu	B	1,129	-	-	-6,74545	-	-
Zn	B	1,553	0,927	0,9199	-6,28546	-7,0228	-7,60739
Ga	C	0,577	0,574	0,8542	-7,71482	-7,71482	-7,71422
As	B	8,076	12,048	17,9384	-3,90682	-3,32193	-3,32193
Rb	A	1,175	1,095	2,1744	-6,6878	-6,7815	-6,36635
Sr	A	0,792	0,305	1,5895	-7,25649	-8,62665	-6,81831
Y	-	0,78	0,776	1,1555	-7,27872	-7,27872	-7,2785
Zr	C	0,477	0,508	0,7064	-7,98759	-7,88854	-7,98832
Ba	C	-	-	2,1841	-	-	-6,35982
Pb	B	1,9	0,945	1,4069	-5,99401	-6,99493	-6,99438

Classification selon Wood (1976) in Campbell & Couillard (2004).

Pour les éléments métalliques majeurs de la classe A (**Na, Mg, Al, Si**), en plus du **Fe**, les E.F présentent des valeurs  $< 1$  et  $= 1$  respectivement, et ce pour les trois stations, affirmant ainsi un enrichissement minimal pour ces différents éléments ; cependant, pour les deux éléments majeurs de cette classe qui restent (**K** et **Ca**), on observe des valeurs  $< 1$  à Tamanart, légèrement supérieurs à 1 à Ben Zouit, et supérieurs à 2 à Bikini, ce qui indique un enrichissement minimal à Ben Zouit et Tamanart, ainsi qu'un enrichissement modéré à Bikini. Par ailleurs, l'élément majeur de la classe C (**Ti**) présente des E.F  $< 1$  (les deux stations de Collo), et légèrement supérieurs à 1 (Bikini) ce qui révèle un enrichissement minimal.

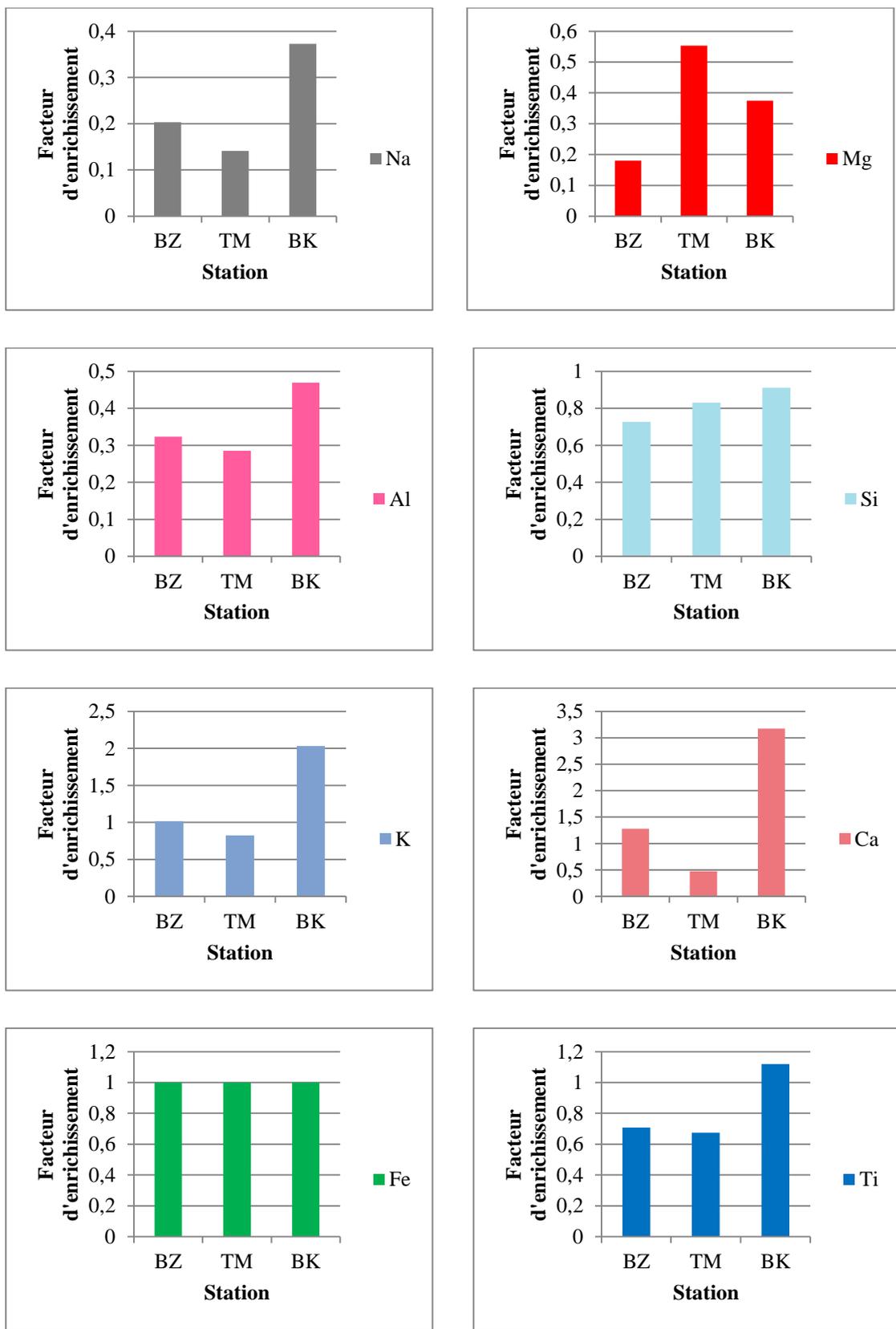
En ce qui concerne les ETM, plusieurs indications peuvent être révélées, en premier lieu, pour les ETM de la classe A (**Mn, Rb** et **Sr**), le E.F du premier élément  $< 1$  au niveau des trois stations, celui du deuxième élément est légèrement supérieur à 1 (les deux stations de Collo), et à 2 (Bikini), en plus de celui du troisième élément  $< 1$  (les deux stations de Collo), et  $> 1$  (Bikini), affirmant ainsi un enrichissement minimal concernant ces trois éléments au niveau des trois stations à l'exception du **Rb** qui présente plutôt un enrichissement modéré à Bikini.

En deuxième lieu, concernant les ETM de la classe B, le E.F du **Cr**  $< 2$  (Ben Zouit et Bikini) indique un enrichissement minimal au niveau de ces deux stations, alors que celui calculé pour Tamanart était largement supérieur et d'environ 20, affirmant ainsi un enrichissement significatif ; cette dernière remarque a été observée également pour le **Ni** présent uniquement au niveau de Tamanart ; aussi pour le **Cu** présent exclusivement à Ben Zouit, son E.F  $< 2$  affiche un enrichissement minimal ; en ce qui concerne le E.F du **Zn**, au niveau de Ben Zouit, il montre un enrichissement minimal (la plus grande valeur), au même titre qu'au niveau de Tamanart et Bikini ; les résultats relatifs au E.F du **As** présentent un enrichissement significatif au niveau de toutes les stations, ainsi qu'une valeur beaucoup plus élevée à Bikini comparativement aux deux stations de Collo ; le E.F du **Pb** était plus élevé à Ben Zouit, suivie par Bikini puis par Tamanart, indiquant un enrichissement minimal ( $< 2$ ).

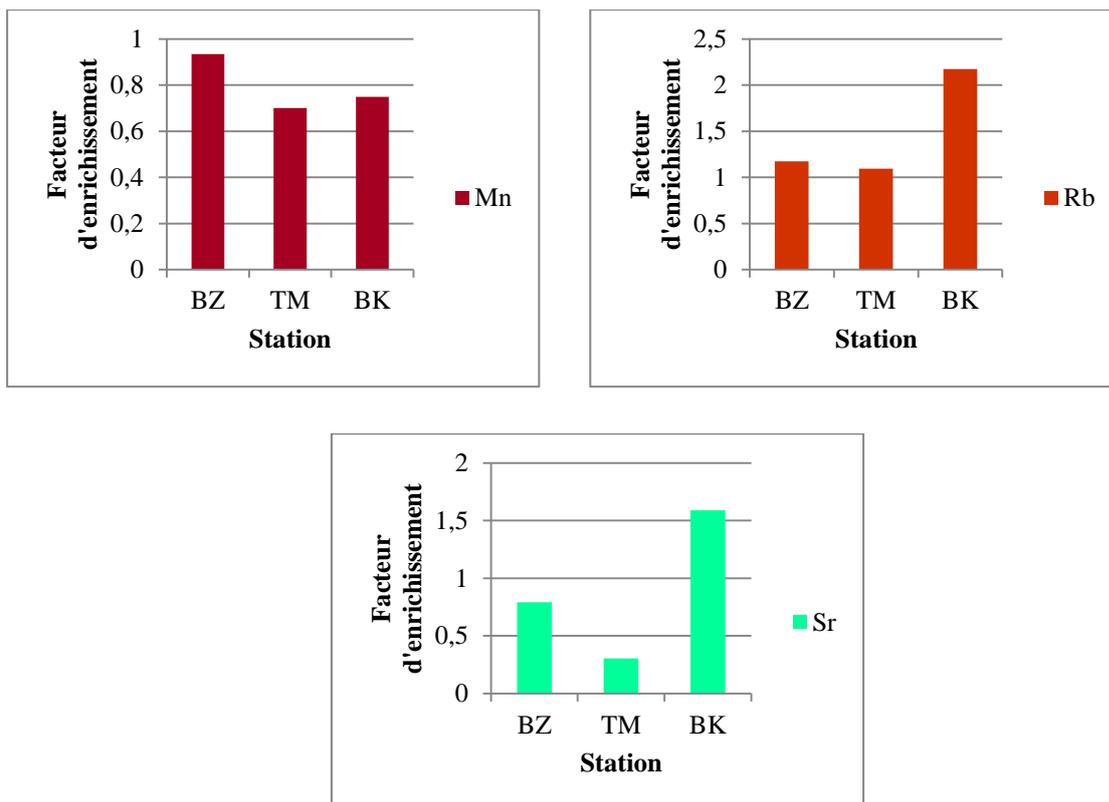
En troisième lieu, en ce qui concerne les ETM de la classe C, les E.F du **Ga** et **Zr**  $< 1$  ce qui affirme un enrichissement minimal pour les trois Stations ; cependant, concernant le E.F du **Ba** présent exclusivement à Bikini, il était  $> 2$ , ce qui convient à un enrichissement modéré.

Enfin, pour les ETM non classés parmi les classes précédentes, le **V** est absent au niveau de Bikini, et qui affirme par son E.F ( $< 1$ ) un enrichissement minimal pour les deux stations de Collo ; celui du **Y** était plus élevé à Bikini ( $< 2$ ) et révèle à son tour un enrichissement minimal au niveau des trois stations.

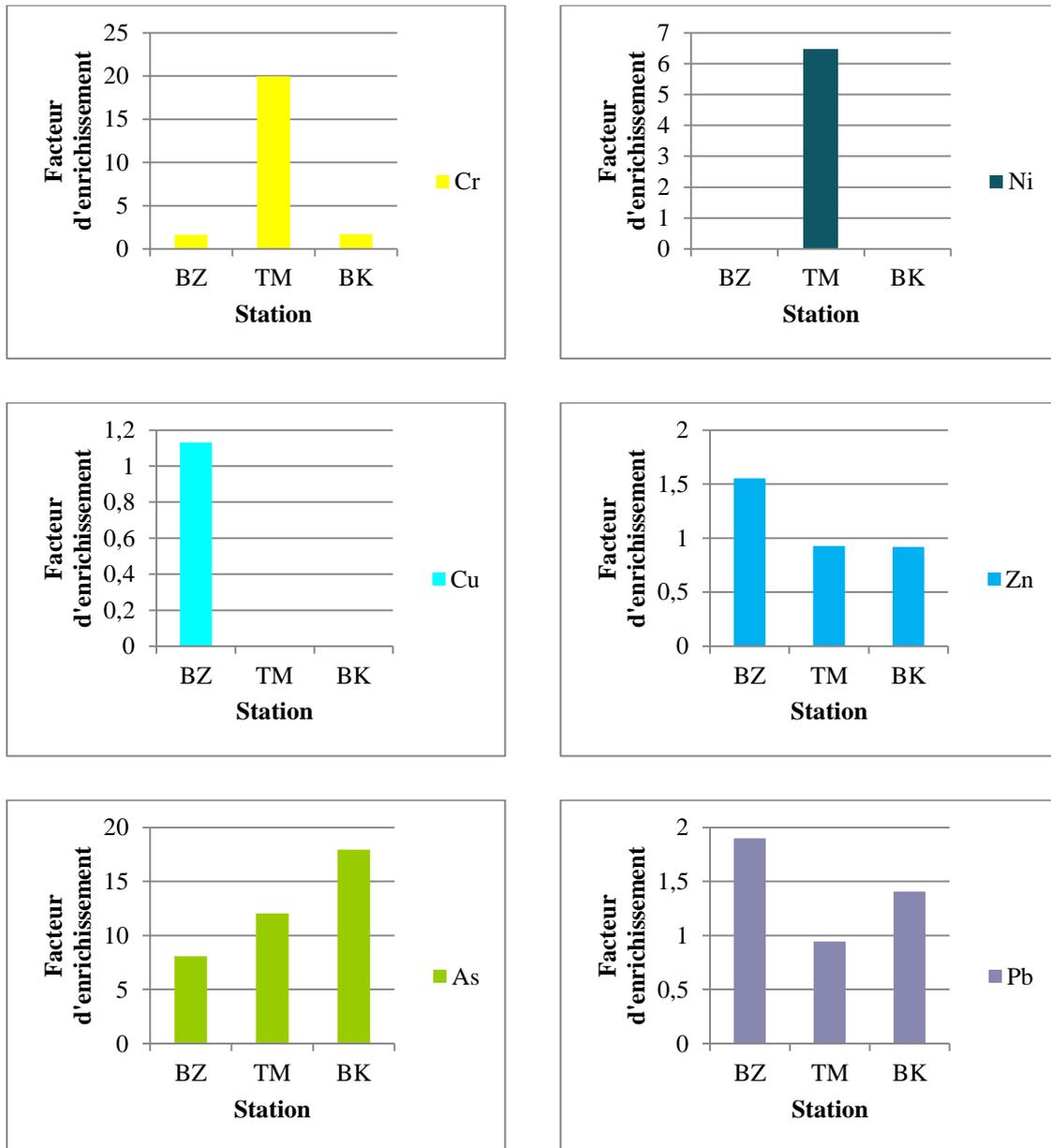
L'observation des résultats de l'indice géochimique montre des valeurs  $< 0$ , et ce, pour tous les éléments métalliques sans exception y compris les ETM, affirmant ainsi, que les trois types de sédiment ne présentent pas de pollution métallique.



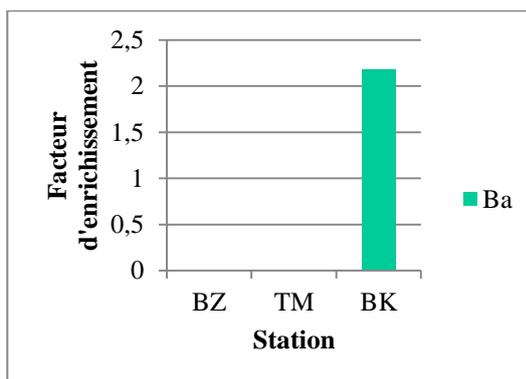
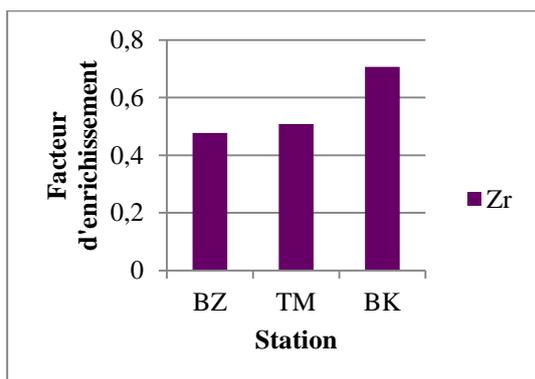
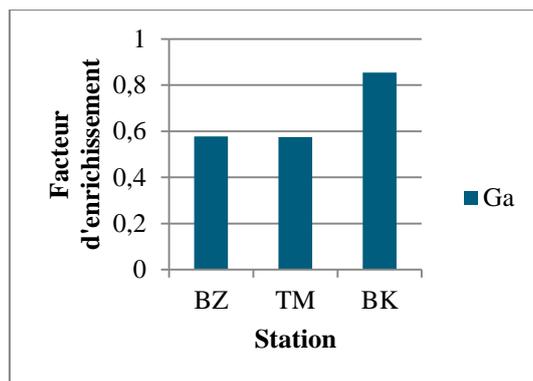
**Figure 32 :** Facteur d'enrichissement en éléments métalliques majeurs non toxique (groupe A), ainsi que celui en **Ti** toxique (groupe C) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



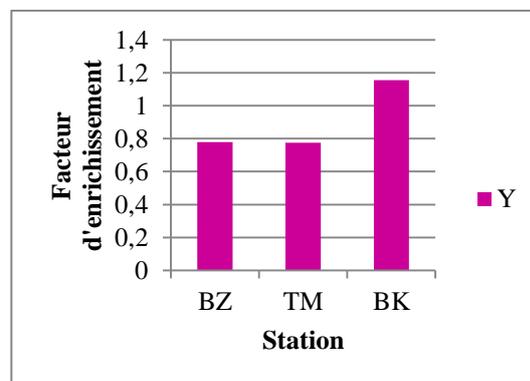
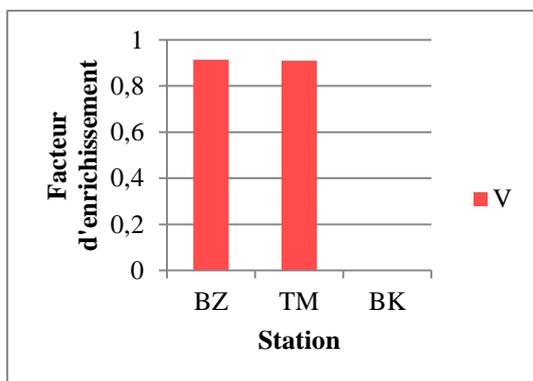
**Figure 33 :** Facteur d'enrichissement en ETM non toxiques (groupe A) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



**Figure 34 :** Facteur d'enrichissement en ETM très toxiques (groupe B) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



**Figure 35** : Facteur d'enrichissement en ETM toxiques (groupe C) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



**Figure 36** : Facteur d'enrichissement en ETM (Vanadium et Yttrium) présents au niveau du sédiment prélevé de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), et Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.

### 3-3-3- Au niveau des tissus (organisme) :

L'identification de la composition en éléments chimiques et ETM ( $\mu\text{g/g}$  de tissu), chez *P. cultrifera* et *P. macropus* échantillonnées à partir des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart à Collo, Bikini à Skikda durant le mois de Juin 2016 (Tableau 12 ; Figures 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44) nous révèle les résultats suivants.

**Tableau 12** : Analyses qualitative et quantitative en éléments chimiques et ETM ( $\mu\text{g/g}$  de tissu) au niveau du corps de *P. cultrifera* et *P. macropus* récoltées des trois stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant le mois de Juin 2016.

Élément	Nb <sub>a</sub>	Nature	Classe	Espèce/Station			
				<i>P. cultrifera</i>			<i>P. macropus</i>
				Ben zouit	Tamanart	Bikini	Ben zouit
<b>Sodium (Na)</b>	11	Métaux alcalins	A	238,4	93,5	92,3	107,7
<b>Magnésium (Mg)</b>	12	Métaux alcalino-terreux	A	49,8	37,5	30,5	44,3
<b>Aluminium (Al)</b>	13	Métaux pauvres	A	10,7	9,7	10,7	12,4
<b>Silicium (Si)</b>	14	Métalloïdes	A	31,9	47,9	72,4	66,7
<b>Phosphore (P)</b>	15	Non-métaux	-	65,1	62,4	60,4	57,1
<b>Soufre (S)</b>	16			276,1	340,3	232,1	229,2
<b>Chlore (Cl)</b>	17	Halogènes	-	1888,6	1109,8	1109,4	1270
<b>Potassium (K)</b>	19	Métaux alcalins	A	362,7	739,4	538,8	476,4
<b>Calcium (Ca)</b>	20	Métaux alcalino-terreux	A	320,7	308,3	160,5	167,6
<b>Titane (Ti)</b>	22	Métaux de transition	C	1,7	2,3	12,7	6,5
<b>Chrome (Cr)</b>	24		B	-	1,5	-	-
<b>Manganèse (Mn)</b>	25		A	0,9	0,7	1,8	0,9
<b>Fer (Fe)</b>	26		A	21,1	62,1	133,8	77,2
<b>Cuivre (Cu)</b>	29		B	0,4	0,5	0,6	0,4
<b>Zinc (Zn)</b>	30		B	9	5,1	7	6,9
<b>Arsenic (As)</b>	33	Métalloïdes	B	0,6	1	0,6	0,5
<b>Brome (Br)</b>	35	Halogènes	-	57,3	27,8	15,6	22,9
<b>Rubidium (Rb)</b>	37	Métaux alcalins	A	-	-	0,4	0,2

Éléments	Nb <sub>a</sub>	Nature	Classe	Espèce/Station			
				<i>P. cultrifera</i>			<i>P. macropus</i>
				Ben zouit	Tamanart	Bikini	Ben zouit
<b>Strontium (Sr)</b>	38	Métaux alcalino-terreux	A	2,3	2,3	1,8	1,6
<b>Yttrium (Y)</b>	39	Métaux de transition	-	-	-	0,3	-
<b>Zirconium (Zr)</b>	40		C	0,2	0,3	3,1	2,3
<b>Palladium (Pd)</b>	46		B	-	-	-	11
<b>Césium (Cs)</b>	55	Métaux alcalins	-	7,1	2,5	0,5	1,8
<b>Baryum (Ba)</b>	56	Métaux alcalino-terreux	C	0,7	-	3,2	2,5
<b>Europium (Eu)</b>	63	Lanthanide	-	-	0,4	0,5	0,4
<b>Plomb (Pb)</b>	82	Métaux pauvres	B	0,1	0,1	Traces	0,1

Nb<sub>a</sub>: nombre atomique ; classification selon Wood (1976) in Campbell & Couillard (2004).

L'analyse chimique élémentaire des tissus des deux espèces *P. cultrifera* et *P. macropus* échantillonnées à partir des trois stations montre en général un aspect qualitatif similaire ; au total on a pu identifier 21, 22 et 24 éléments concernant *P. cultrifera* récoltées de Ben Zouit, Tamanart et Bikini respectivement, contre 24 éléments en ce qui concerne *P. macropus* récoltée de Ben Zouit ; parmi lesquels on compte les éléments non métalliques (P et S), halogènes (Cl et Br) et lanthanide (Eu), en plus de la majorité des éléments qui restent, et qui sont de nature métalliques (métaux et métalloïdes).

Par ailleurs, on souligne l'absence de quelques éléments chimiques comme le cas du **Cr**, **Rb**, **Y**, **Pd**, et **Eu** chez *P. cultrifera* prélevée de Ben Zouit, en plus du **Rb**, **Y**, **Pd**, et **Ba** pour la même espèce prélevée de Tamanart, et également le **Cr** et **Pd** chez toujours la même espèce provenant de Bikini ; cependant, en ce qui concerne *P. macropus* on note l'absence du **Cr**, et **Y** seulement. Les éléments métalliques détectés pour les deux espèces sont classés comme le cas de ceux identifiés au niveau du sédiment en trois classes A, B et C.

Les teneurs en éléments identifiés chez les deux espèces varient en fonction des stations, le plus abondant était le Cl, suivi par quatre autres éléments ayant des concentrations fortement élevées qui sont le **Na**, **S**, **K** et **Ca**, au niveau des trois stations, en plus du **Fe** pour *P. cultrifera* échantillonnée de Bikini ; on compte également ceux en concentrations moins élevées, comme le **Mg**, **Al**, **Si**, **P**, **Zn**, **Br**, en plus du **Ti** (*P. cultrifera* provenant de Bikini), le



**Fe** (*P. cultrifera* et *P. macropus* provenant de Collo), et **Cs** (*P. cultrifera* provenant de Ben Zouit), en plus de ceux qui restent présentant des concentrations très faibles voir même en traces.

Concernant *P. cultrifera*, les concentrations des différents éléments chimiques détectés sont en ordre décroissant suivant :

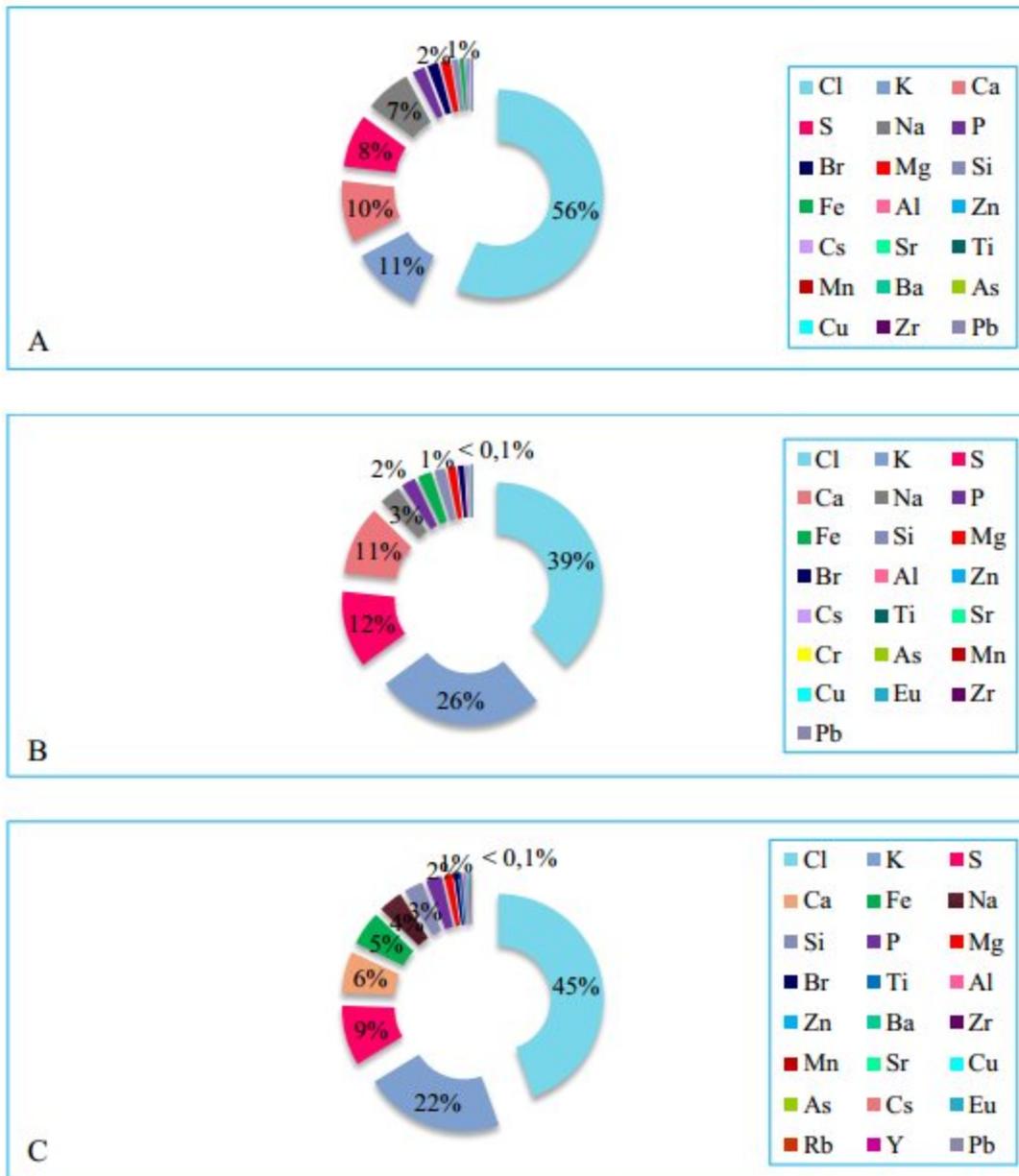
Au niveau de Ben Zouit : **Cl > K > Ca > S > Na > P > Br > Mg > Si > Fe > Al > Zn > Cs > Sr > Ti > Mn > Ba > As > Cu > Zr > Pb.**

Au niveau de Tamanart : **Cl > K > S > Ca > Na > P > Fe > Si > Mg > Br > Al > Zn > Cs > Ti > Sr > Cr > As > Mn > Cu > Eu > Zr > Pb.**

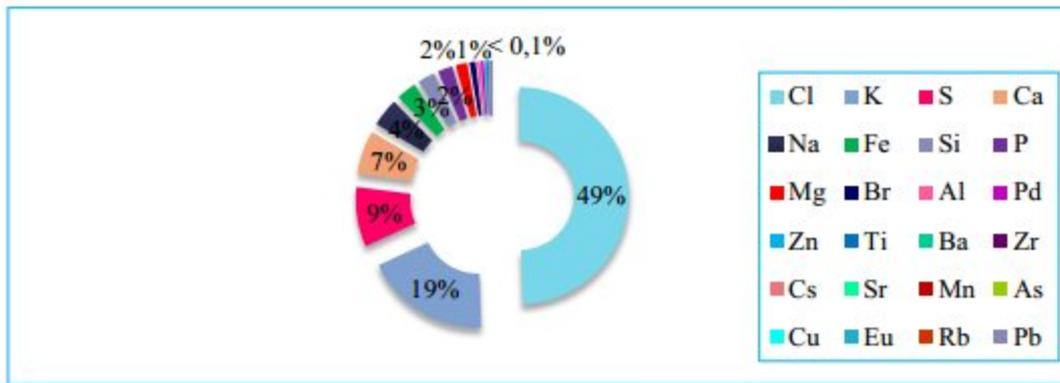
Au niveau de Bikini : **Cl > K > S > Ca > Fe > Na > Si > P > Mg > Br > Ti > Al > Zn > Ba > Zr > Mn > Sr > Cu > As > Cs > Eu > Rb > Y > Pb.**

Alors que pour *P. macropus* provenant de Ben Zouit, les concentrations mesurées des différents minéraux suivent un ordre de décroissance suivant :

**Cl > K > S > Ca > Na > Fe > Si > P > Mg > Br > Al > Pd > Zn > Ti > Ba > Zr > Cs > Sr > Mn > As > Cu et Eu > Rb > Pb.**



**Figure 37** : Représentation en (%) de l'analyse quantitative en éléments chimiques et ETM ( $\mu\text{g/g}$  de tissu) chez *P. cultrifera* récoltée de Ben Zouit (A) et Tamanart (B) (Collo), Bikini (C) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



**Figure 38** : Représentation en (%) de l'analyse quantitative en éléments chimiques et ETM ( $\mu\text{g/g}$  de tissu) chez *P. macropus* récoltée de Ben Zouit (Collo) durant le mois de Juin 2016.

La comparaison entre les trois stations nous révèle que concernant les concentrations en éléments chimiques détectés chez *P. cultrifera* en fonction de leur niveau de toxicité (groupes A, B et C), on note d'une part, et d'une manière globale des teneurs en éléments abondants, y compris ceux métalliques appartenant à la classe A, plus élevées à Collo comparativement à celles relevées à Skikda (Bikini) notamment pour le **Na**, **S**, **Cl**, et **Ca** (Ben Zouit > Tamanart > Bikini, ou bien Tamanart > Ben Zouit > Bikini) ; cependant, on enregistre pour le **Fe** des teneurs plus importantes à Skikda que celles trouvées à Collo (Bikini > Tamanart > Ben Zouit) ; en outre, le **K** présente une concentration à Skikda intermédiaire entre celles trouvées au niveau de Collo (Tamanart > Bikini > Ben Zouit).

En revanche, en ce qui concerne les éléments moins abondants qui restent, notamment métalliques, on remarque plusieurs aspects pour chaque groupe : d'abord, ceux du premier enregistrent des fortes teneurs au niveau des deux stations de Collo comparativement à celle de Skikda notamment en **Mg** et **Sr** (Ben Zouit > Tamanart > Bikini, et Ben Zouit = Tamanart > Bikini) ; toutefois, l'inverse est noté pour le **Si** et **Mn**, où leurs teneurs à Skikda étaient plus fortes que celles de Collo (Bikini > Tamanart > Ben Zouit, et Bikini > Ben Zouit > Tamanart respectivement) ; cependant, concernant l'**Al** on note la même concentration à Ben Zouit et Skikda supérieure à celle de Tamanart (Ben Zouit = Bikini > Tamanart).

En outre, pour ceux du deuxième groupe, le **Cu** présente la plus grande concentration à Bikini, suivie par Tamanart, puis par Ben Zouit (Bikini > Tamanart > Ben Zouit) ; par contre, le **Zn** affiche une forte teneur à Ben Zouit comparativement à Bikini puis à Tamanart (Ben Zouit > Bikini > Tamanart) ; cependant, concernant l'**As**, on remarque la même concentration à Ben Zouit et Bikini qui est inférieure à celle de Tamanart (Ben Zouit = Bikini

< Tamanart) ; alors que pour le **Pb**, la même teneur a été signalée au niveau des deux stations de Collo et qui est plus élevée que celle de Bikini (Ben Zouit = Tamanart > Bikini).

Par ailleurs, ceux du troisième groupe le **Ti** et **Zr** affichent des concentrations à Skikda supérieures à celles trouvées à Tamanart puis à Ben Zouit (Bikini > Tamanart > Ben Zouit) ; alors que le **Ba** enregistre une teneur à Bikini supérieure à celle à Ben Zouit (Bikini > Ben Zouit). En ce qui concerne le **Cs** (non classé), on note sa forte concentration au niveau de Ben Zouit comparativement d'abord à Tamanart et ensuite à Bikini, où sa concentration est relativement faible.

À propos des 03 éléments non métalliques qui restent, on distingue des concentrations plus élevées pour le P et Br à Collo que celles relevées à Skikda (Ben Zouit > Tamanart > Bikini) ; alors que pour l'Eu, on note l'inverse (Bikini > Tamanart).

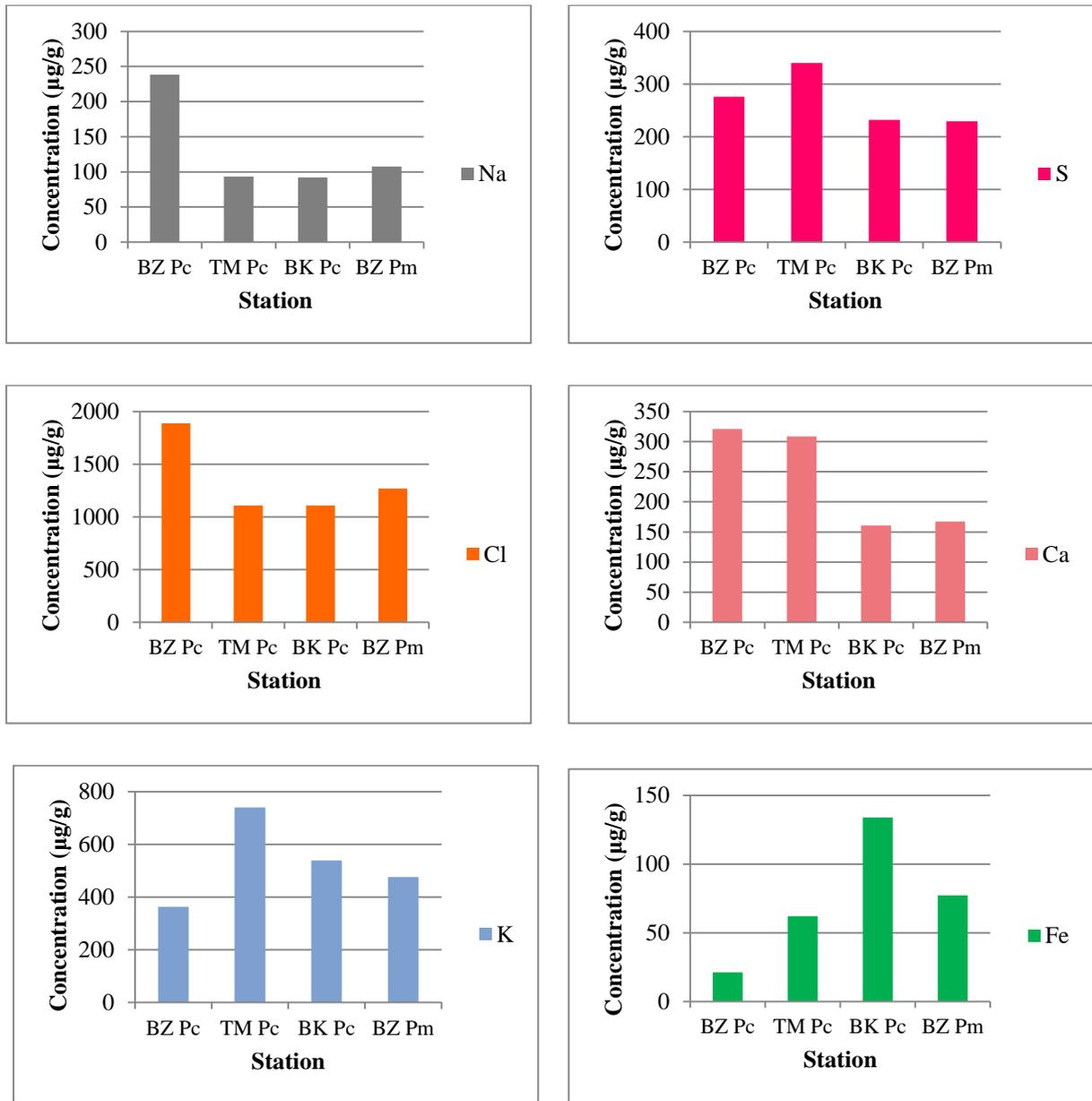
Quant à la comparaison entre les deux espèces provenant de la même station, c'est-à-dire entre les concentrations en éléments chimiques détectés chez *P. cultrifera* ainsi que chez *P. macropus* en fonction de leur niveau de toxicité, on signale des éléments abondants affichant des teneurs plus fortes chez *P. cultrifera* comparativement à *P. macropus*, et ce, pour le Cl et S, ainsi que pour ceux métalliques de la classe A : le **Na** et **Ca** ; par contre des concentrations chez *P. macropus* supérieures à celles mesurées chez *P. cultrifera*, et ce, pour le cas du **K** et **Fe**.

En revanche, en ce qui concerne les éléments qui restent en faibles concentrations, on observe d'abord, pour ceux du premier groupe de fortes teneurs en **Mg**, et **Sr** chez *P. cultrifera* comparativement à *P. macropus* ; toutefois, concernant l'**Al**, et **Si** on note l'inverse ; alors que pour le **Mn** on observe la même concentration chez les deux espèces.

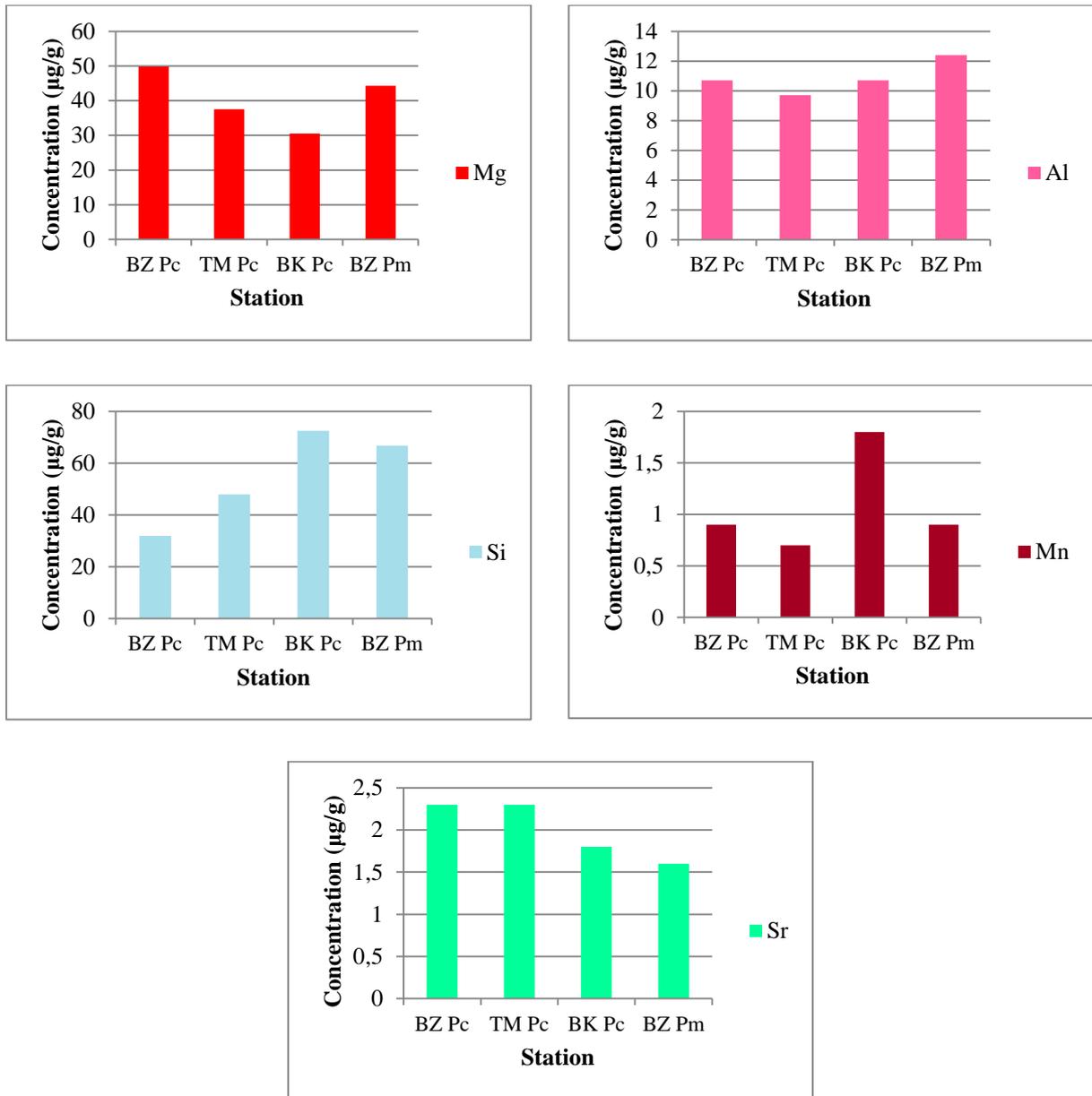
Ensuite, pour ceux du deuxième groupe, deux cas peuvent être distingués, où le premier concerne le **Cu**, et **Pb** avec la même teneur chez les deux espèces ; le deuxième concerne le **Zn**, et **As** présentant des concentrations plus élevées chez *P. cultrifera* comparativement à *P. macropus*.

Enfin, ceux du troisième groupe, le **Ti**, **Zr**, et **Ba** montrent des concentrations chez *P. macropus* supérieures à celles trouvées chez *P. cultrifera*.

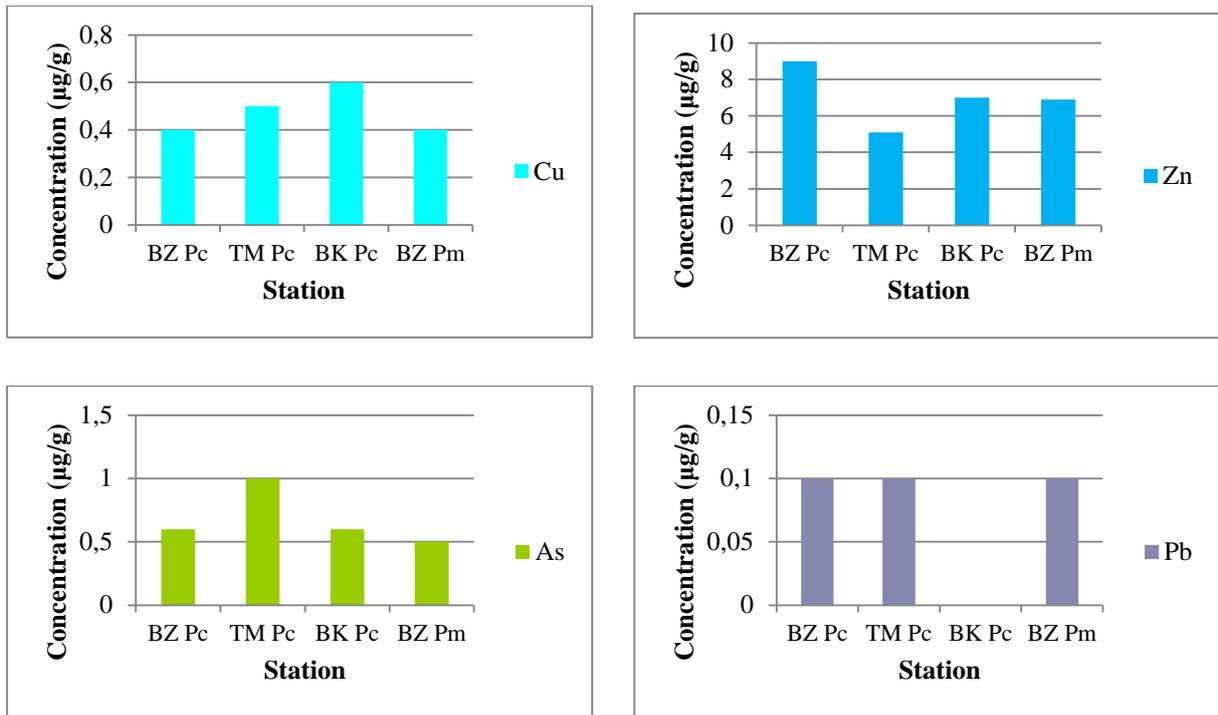
Il est à noter que le Br et P présentent de fortes teneurs décelées chez *P. cultrifera* comparativement à *P. macropus*.



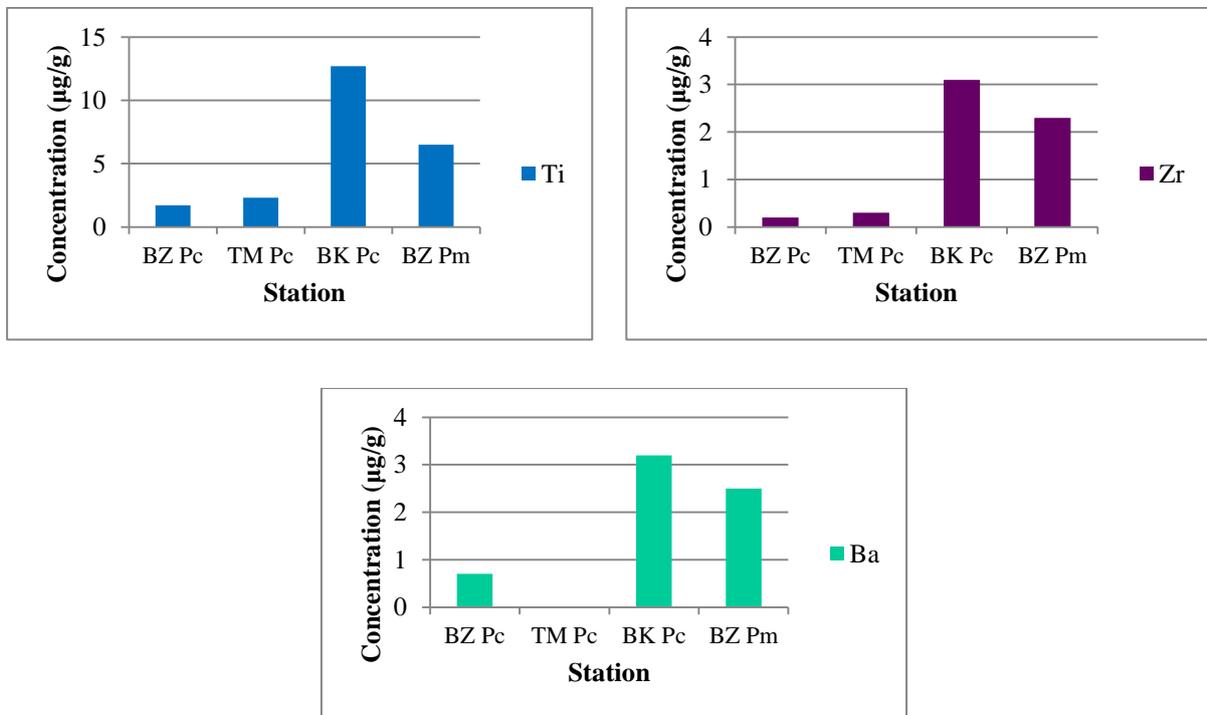
**Figure 39** : Concentrations en éléments majeurs, y compris ceux métalliques non toxiques (groupe A) ( $\mu\text{g/g}$  de tissu) chez *P. cultrifera* (Pc) et *P. macropus* (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



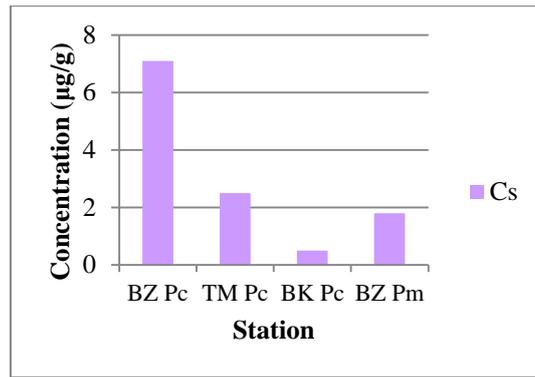
**Figure 40** : Concentrations en éléments métalliques moins abondants non toxiques (groupe A) (µg/g de tissu) chez *P. cultrifera* (Pc) et *P. macropus* (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



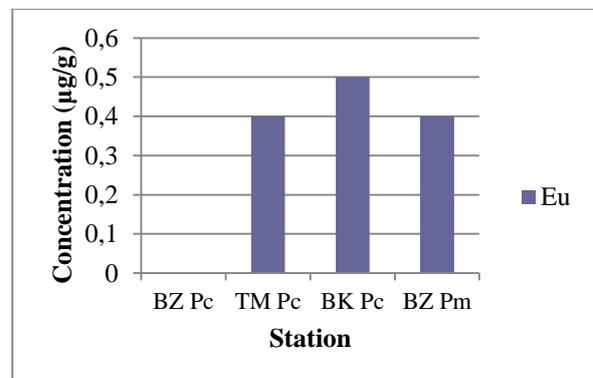
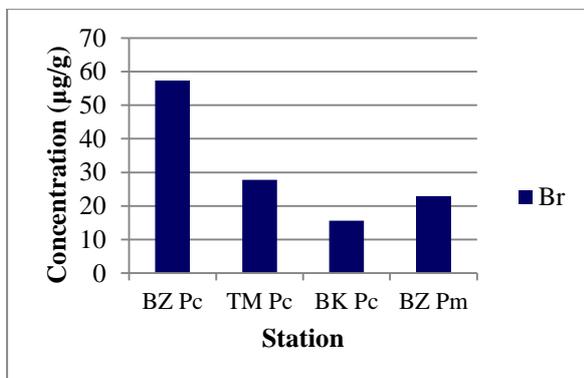
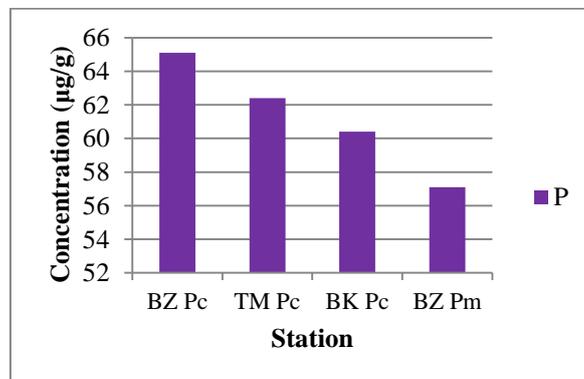
**Figure 41 :** Concentrations en éléments métalliques moins abondants et très toxiques (groupe B) (µg/g de tissu) chez *P. cultrifera* (Pc) et *P. macropus* (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



**Figure 42 :** Concentrations en éléments métalliques moins abondants et toxiques (groupe C) (µg/g de tissu) chez *P. cultrifera* (Pc) et *P. macropus* (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



**Figure 43** : Concentrations en Cs ( $\mu\text{g/g}$  de tissu) chez *P. cultrifera* (Pc) et *P. macropus* (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



**Figure 44** : Concentrations en P, Br et Eu ( $\mu\text{g/g}$  de tissu) chez *P. cultrifera* (Pc) et *P. macropus* (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



Les calculs relatifs au Facteur de bioaccumulation BSAF des éléments métalliques notamment des éléments traces mesurés au niveau du corps des deux espèces *P. cultrifera* et *P. macropus* (Tableau 13 ; Figures 45, 46, 47, 48, 49), complémentaires à l'étude quantitative, nous révèle les résultats suivants.

**Tableau 13** : Représentation du facteur de bioaccumulation (Facteur d'accumulation Biota-Sédiment BSAF) des éléments métalliques au niveau du corps de *P. cultrifera* et *P. macropus*, récoltées des trois stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart (Collo), Bikini (Skikda) durant le mois de Juin 2016.

Éléments	Nb <sub>a</sub>	Classe	Espèce/Station			
			<i>P. cultrifera</i>			<i>P. macropus</i>
			Ben Zouit	Tamanart	Bikini	Ben Zouit
Na	11	A	3,696	2,0778	1,1538	1,6698
Mg	12	A	1,654	0,4028	0,721	1,4718
Al	13	A	0,035	0,0353	0,0352	0,04
Si	14	A	0,012	0,0153	0,0313	0,0244
K	19	A	1,007	2,515	1,1068	1,323
Ca	20	A	0,687	1,7739	0,2053	0,3592
Ti	22	C	0,062	0,0878	0,4349	0,2381
Cr	24	B	-	0,1724	-	-
Mn	25	A	0,148	0,1522	0,5455	0,1475
Fe	26	A	0,055	0,1615	0,518	0,2018
Cu	29	B	2	-	-	2
Zn	30	B	9	8,5	17,5	6,9
As	33	B	3	3,3333	2	2,5
Rb	37	A	-	-	0,2	0,125
Sr	38	A	0,742	1,9167	0,4286	0,5161
Y	39	-	-	-	1,5	-
Zr	40	C	0,143	0,2	2,2143	1,6429
Pb	82	B	0,25	0,5	-	0,25

Nb<sub>a</sub> : nombre atomique; classification selon Wood (1976) in Campbell & Couillard (2004).

Plusieurs investigations en fonction de l'espèce et la station concernées, en plus de l'élément en question :

Chez *P. cultrifera*, en ce qui concerne les éléments métalliques trouvés en forte concentrations et appartenant à la classe A, une bioaccumulation a été soulignée pour le **Na** (les trois stations), **K** (Tamanart et Bikini), et **Ca** (Tamanart), où le BSAF correspondant était plus important à Collo comparativement à Bikini ; alors que parmi les autres éléments métalliques de cette classe, mais qui sont moins abondants, une bioaccumulation a été observée uniquement pour le **Mg** (Ben Zouit), ainsi que pour le **Sr** (Tamanart).

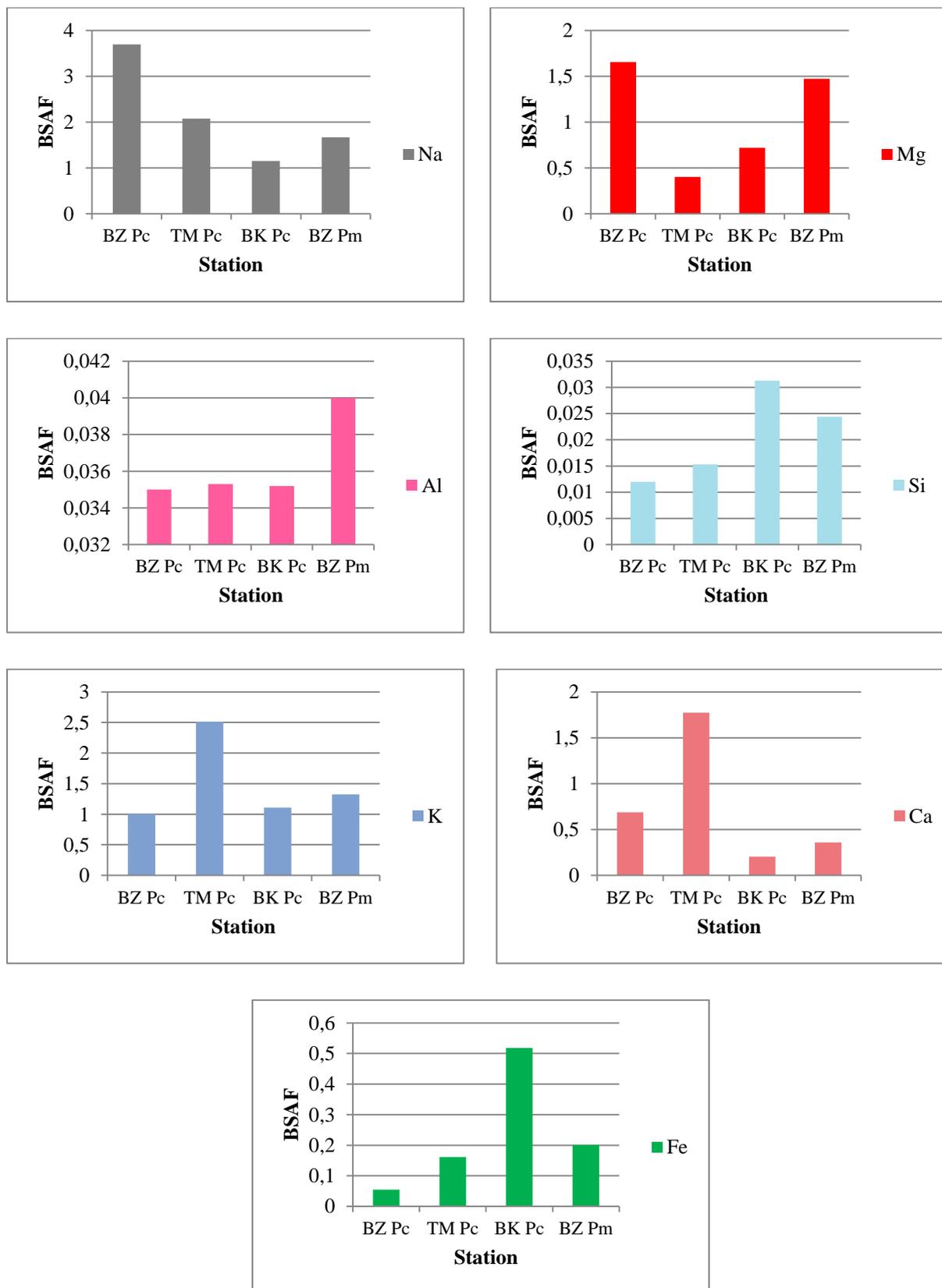
En revanche, concernant ceux de la classe B, le BSAF du **Cu**, **Zn** et **As** montrent une bioaccumulation, et ce pour les trois stations à l'exception de celui du premier élément calculé uniquement pour Ben Zouit (vu son absence au niveau du sédiment provenant de Tamanart et Bikini), la valeur du BSAF enregistré à Bikini pour le **Zn** était plus élevée que celle relevée pour les deux stations de Collo, bien que l'inverse a été constaté concernant l'**As**.

Par ailleurs, le BSAF de ceux de la classe C indique une bioaccumulation uniquement pour le **Zr** (Bikini) ; au même titre que celui calculé pour le **Y** (non classé), au niveau de Bikini (le **Y** était absent chez cette espèce provenant de Collo).

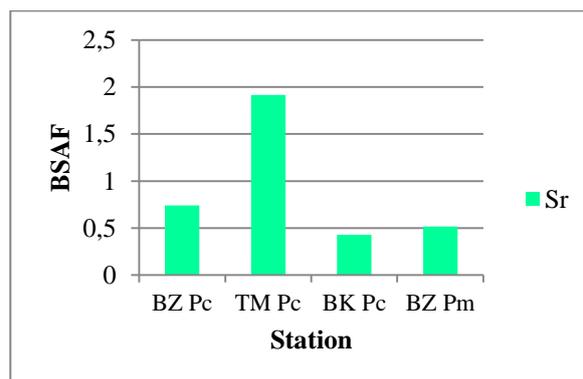
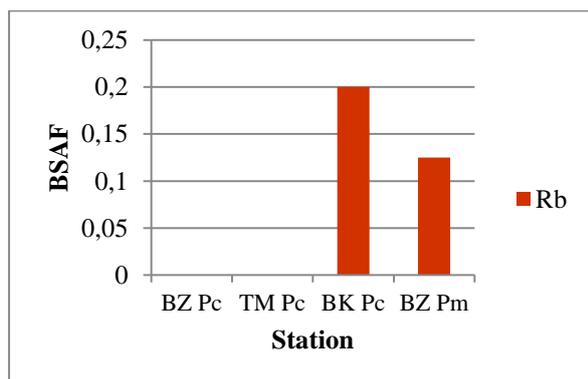
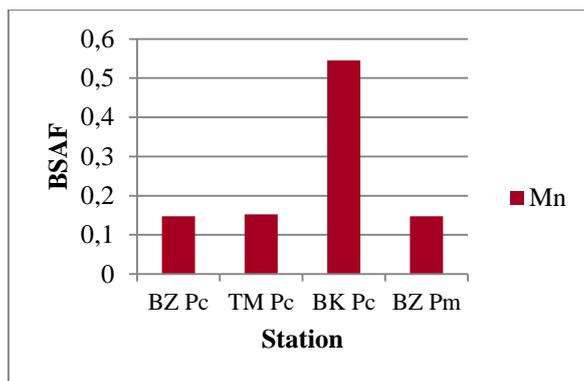
Chez *P. macropus*, concernant les éléments métalliques trouvés en forte concentrations, et appartenant à la classe A, une bioaccumulation a été observée uniquement pour le **Na**, et **K**, le BSAF calculé pour le **Na** est inférieur chez cette espèce comparativement à celui calculé pour *P. cultrifera* ; toutefois, pour ceux de la même classe, présentant des concentrations moins fortes, une bioaccumulation a été marquée exclusivement pour le **Mg**, avec un BSAF légèrement inférieur comparativement à celui calculé pour *P. cultrifera*.

Cependant, pour les éléments métalliques de la classe B, on note clairement une bioaccumulation du **Cu**, **Zn** et **As**, avec des BSAF équivalents dans le cas du **Cu**, et moins élevés chez *P. macropus* que ceux chez *P. cultrifera*, dans le cas du **Zn** et **As**.

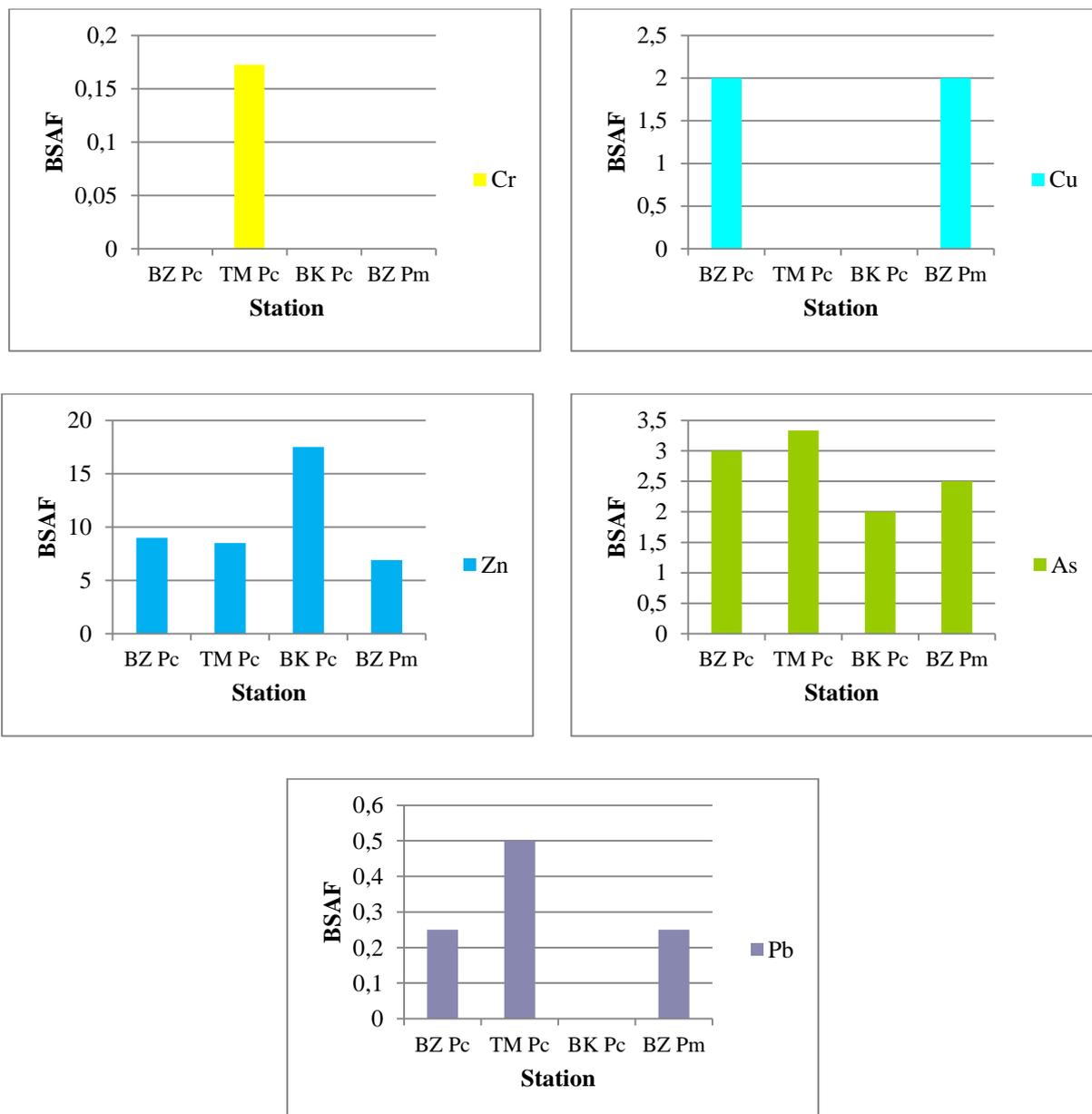
En outre, les BSAF des éléments métalliques de la classe C indiquent une bioaccumulation uniquement pour le **Zr**.



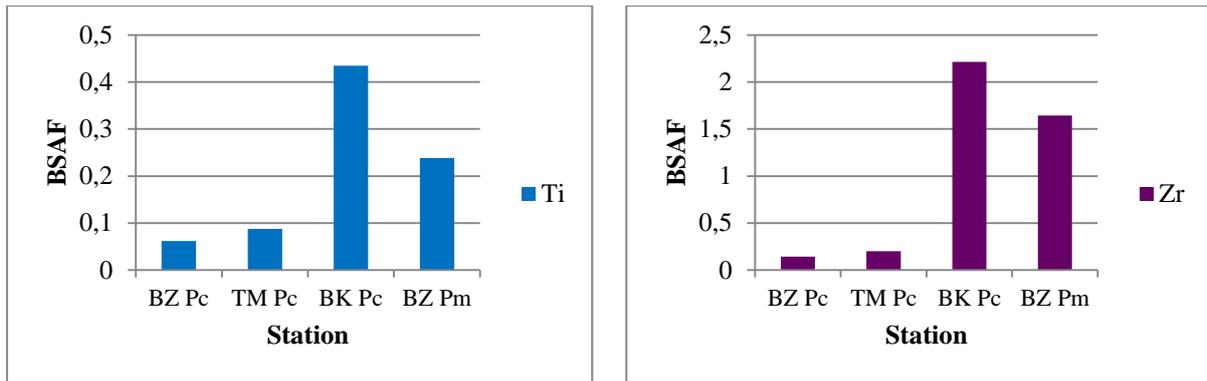
**Figure 45 :** Facteurs de bioaccumulation en éléments métalliques abondants et non toxique (A) au niveau des tissus de *P. cultrifera* (Pc) et *P. macropus* (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



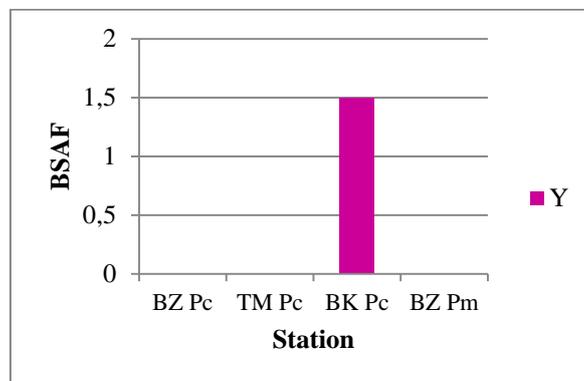
**Figure 46 :** Facteurs de bioaccumulation en éléments métalliques moins abondants et non toxiques (A) au niveau des tissus de *P. cultrifera* (Pc) et *P. macropus* (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016 (suite).



**Figure 47 :** Facteurs de bioaccumulation en éléments métalliques et très toxiques (B) au niveau des tissus *P. cultrifera* (Pc) et *P. macropus* (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



**Figure 48** : Facteurs de bioaccumulation en éléments métalliques et toxiques (C) au niveau des tissus de *P. cultrifera* (Pc) et *P. macropus* (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.



**Figure 49** : Facteurs de bioaccumulation en Y au niveau des tissus de *P. cultrifera* (Pc) et *P. macropus* (Pm) prélevées de Ben Zouit (BZ) et Tamanart (TM) (Collo), de Bikini (BK) (Skikda) durant le mois de Juin 2016.

### 3-4- Biodiversité, inventaire et indices écologiques :

#### 3-4-1- Inventaire des espèces identifiées :

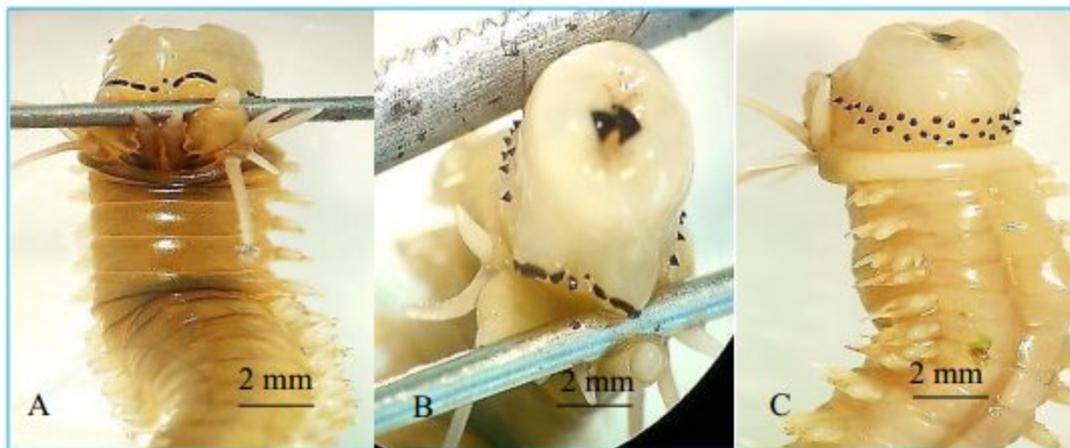
Afin de déterminer l'inventaire faunistique et floristique des quatre stations d'étude : Ben Zouit et Tamanart à Collo, l'Îlot et Bikini à Skikda, nous avons examiné les différents groupes zoologiques et botaniques récoltés durant la période d'étude de Septembre 2013 à Août 2014, ce qui nous a permis d'identifier les taxons suivants de la faune et la flore, respectivement (Figures 50 à 88, et 89 à 122), et de dresser des listes taxonomiques correspondantes (Tableaux 14, 15) :



**Figure 50** : *Pereinereis cultrifera* : Aspect général dorsal (A) ; Faces dorsales (B, D) et faces ventrales (C, E), de la trompe des spécimens couramment trouvés ; faces dorsale et ventrale d'un spécimen avec des paragnathes semi fins (F, G).

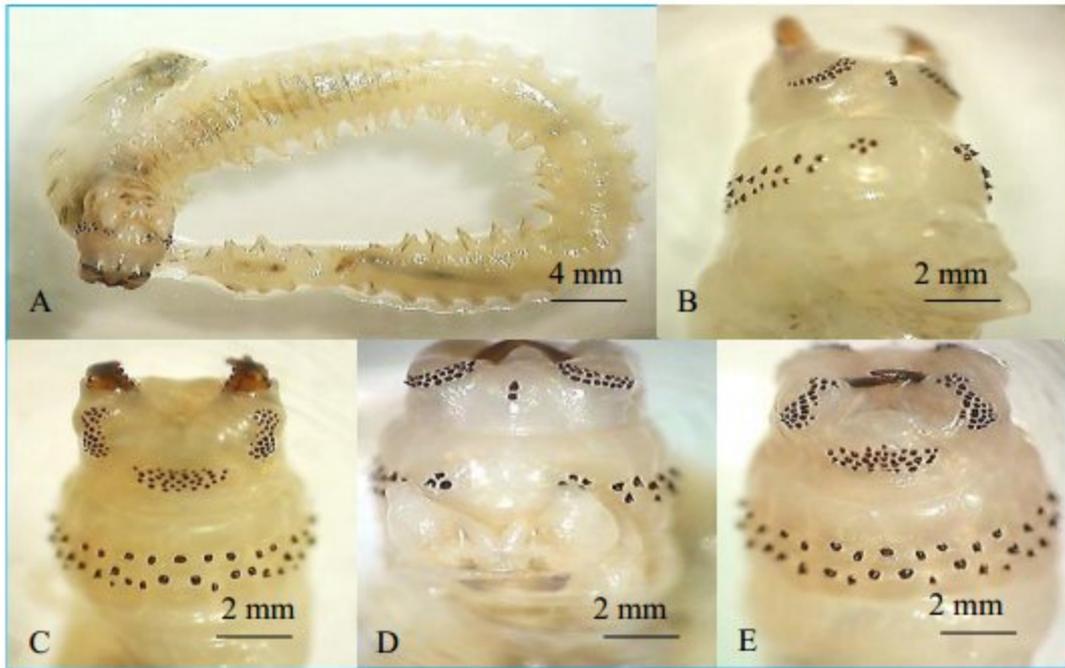


**Figure 51 :** *Perinereis macropus* : Aspect général dorsal (A) ; Face dorsale (B) et ventrale (C), de la trompe des spécimens couramment trouvés ; faces dorsales d'autres spécimens aussi trouvés (D à G).



**Figure 52 :** *Perinereis oliveira* : Face dorsale (A), vue de haut antérieure (B), et Face ventrale (C).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).



**Figure 53** : *Nereis falsa* : Aspect général dorsal (A) ; Faces dorsale (B, D) et ventrale (C, E) de la trompe.

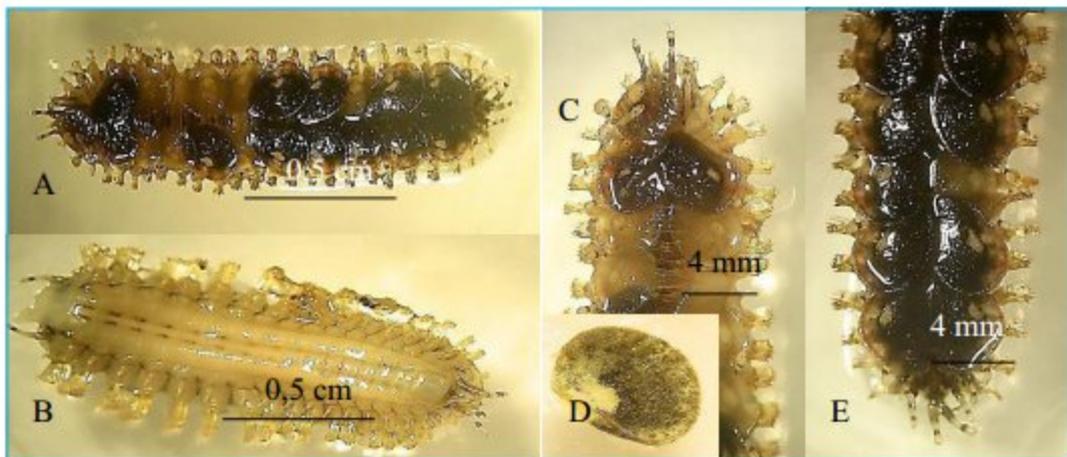


**Figure 54** : *Platynereis dumerelii* : Aspect général dorsal (A) ; spécimens à l'intérieur des tubes de mucus (B, C) ; Faces dorsale (D) et ventrale (E) de la trompe.

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).



**Figure 55** : *Eullalia* sp : Aspect général dorsal (A à C) ; zoom de la trompe extroversée (D).

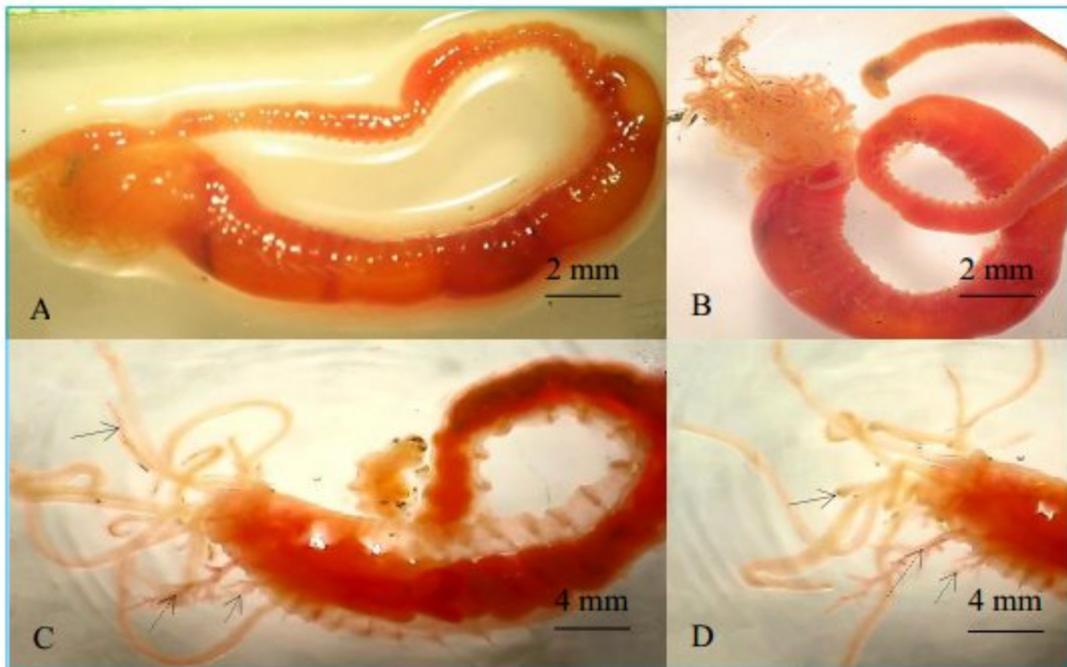


**Figure 56** : *Lepidonotus clava* : Faces dorsale et ventrale (A, B) ; la tête (C) ; élytre (D) ; le pygidium avec les urites (E).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).



**Figure 57** : Espèce de Syllidae : Aspect général dorsal (A) ; la tête (B) ; zoom de la tête sous microscope (C, D).

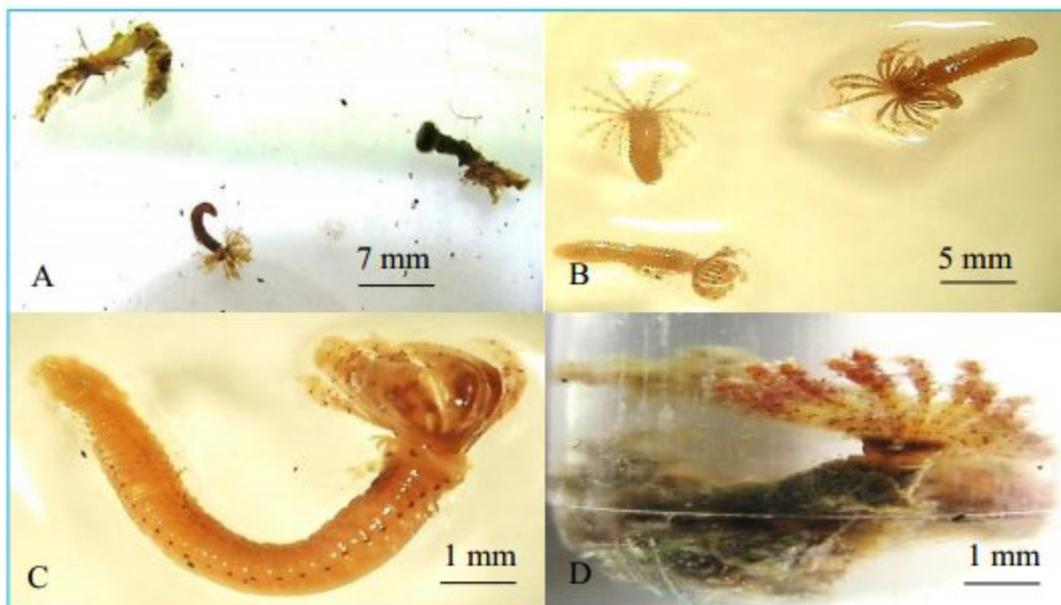


**Figure 58** : Espèce de Terebellidae : Aspect général dorsal (A, B) ; détails de la tête montrant les filaments tentaculaires (flèches) en plus des branchies (flèches pointillées) (C, D).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

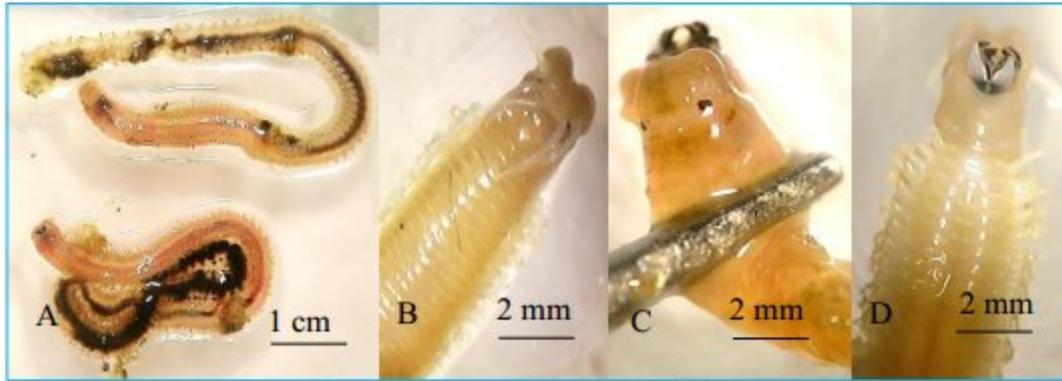


**Figure 59** : Espèce de Cirratulidae : Aspect général dorsal (A) ; zooms des régions antérieure (B) montrant les filaments tentaculaires ainsi que les branchies (ayant le même aspect et ne se distinguent que par la présence de vaisseaux sanguins pour les branchies) ; détail des crochets (C).



**Figure 60** : Espèce de Sabellidae : Aspect général avec et sans tube (A à C) ; panache branchiale (D).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).



**Figure 61** : *Lysidice sp* : Aspect général (A) ; vue dorsale de la partie antérieure montrant le prostomium bilobé (B) ; celle de la partie antérieure montrant les yeux, ainsi que la mâchoire supérieure (C) ; vue ventrale de la partie antérieure montrant l'armature buccale composée d'un labre (mâchoire inférieure blanche), et d'une mâchoire supérieure noire, formée de deux pièces paires (D).

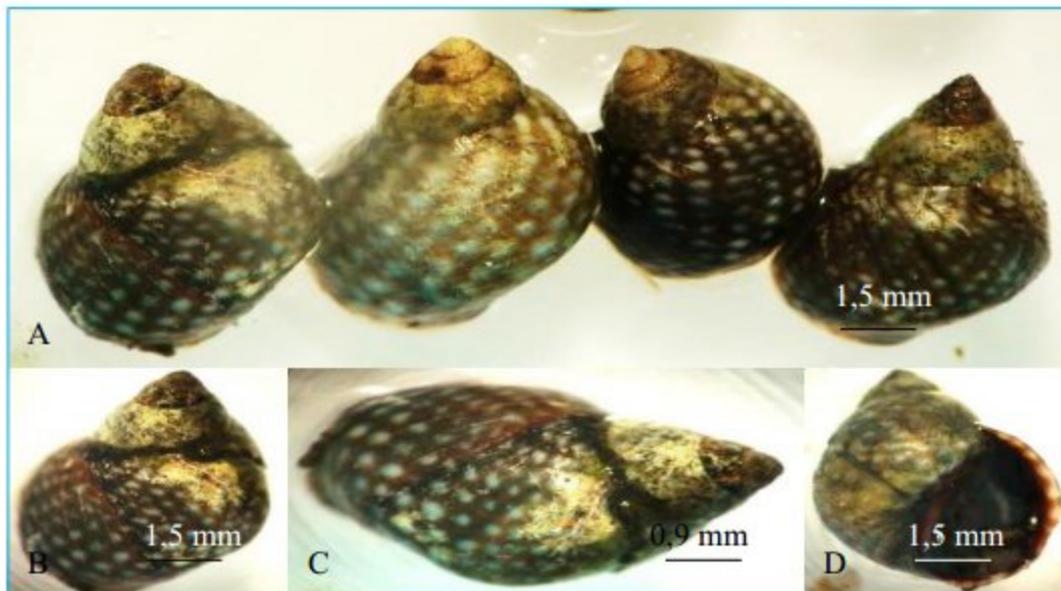


**Figure 62** : Espèce de Lumbrinereidae : Aspect général (A) ; vue dorsale de la partie antérieure montrant les yeux (cercle), ainsi que la partie postérieure montrant les urites (flèche) (B) ; vue ventrale des deux parties antérieure et postérieure (C) ; zoom du prostomium conique, et des quatre yeux en rangé transversale (cercle) (D) ; forme des parapodes bilobés dont l'antérieur est plus court que le postérieur (E).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

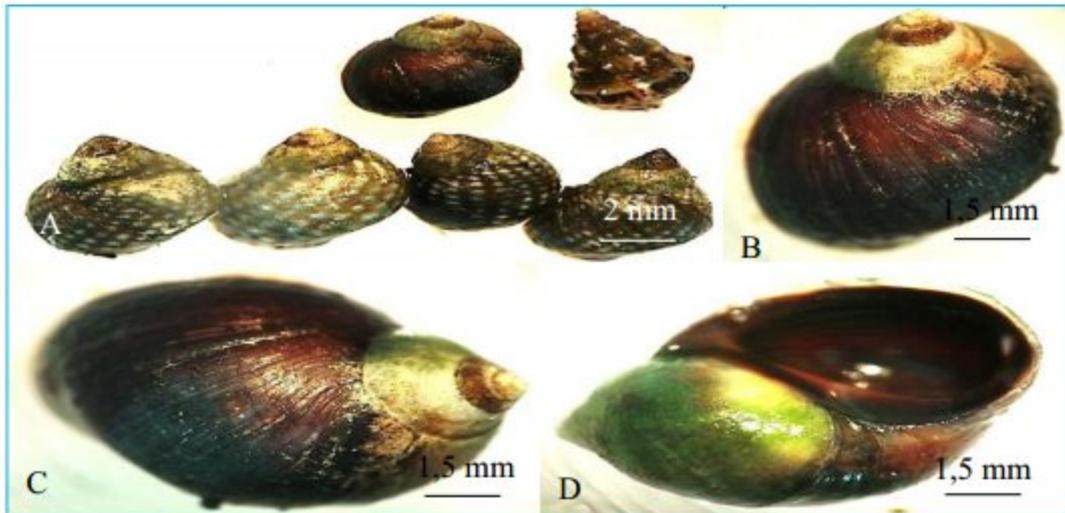


**Figure 63 :** *Stramonita haemastoma* : Aspect général des adultes (A) ; aspect général des jeunes individus montrant la différence de la couleur, et des sculptures (B, C) ; vue ventrale montrant la forme, la sculpture et la couleur de l'ouverture (D) ; vue ventrale montrant la présence de l'opercule, et une partie saillante du pied de l'animal (E).

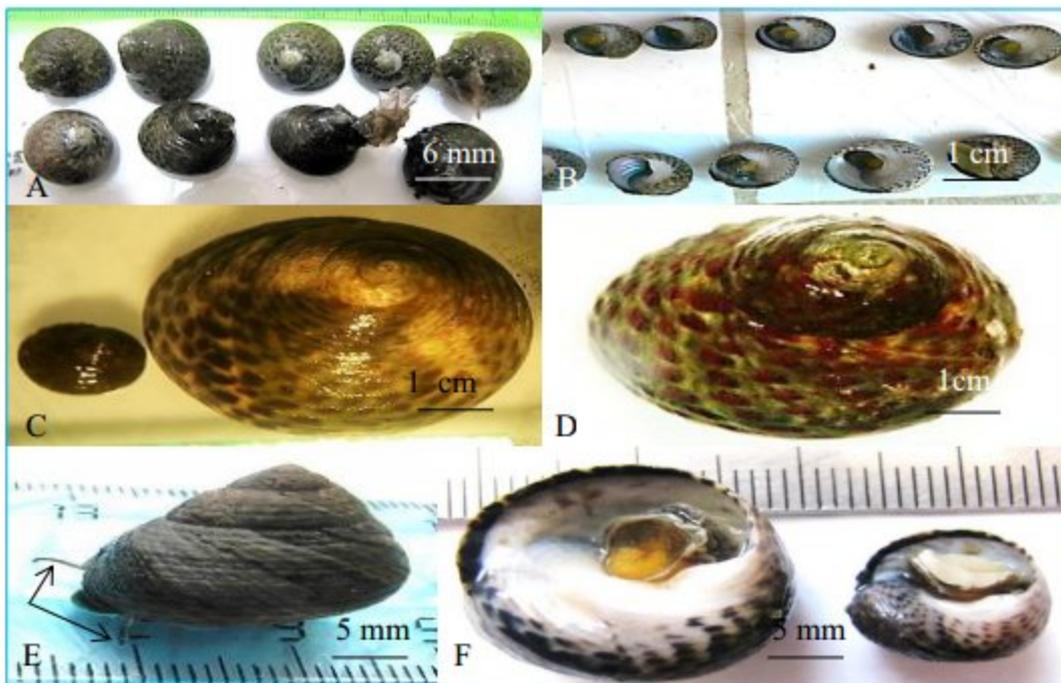


**Figure 64 :** *Echinolittorina punctata* : Aspect général (A à C) ; vue ventrale montrant la présence de l'opercule (D).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

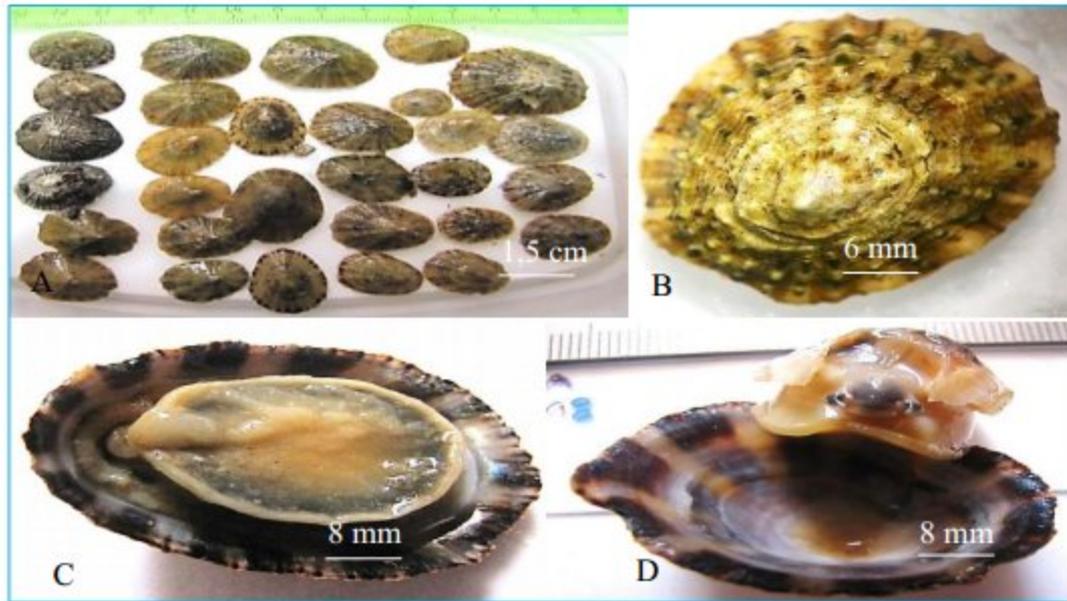


**Figure 65 :** *Melarhaphé neritoides* : Aspect général montrant la différence avec *Echinolittorina punctata*, souvent associée avec (A) ; zoom de la coquille (B, C) ; vue ventrale montrant la présence de l'opercule (D).



**Figure 66 :** *Gibbula sp* : Aspects dorsal et ventral (A, B) ; différentes vues de la face dorsale (C, D) ; animal en mouvement montrant la tête et deux tentacules (flèches) (E) ; vue ventrale montrant la présence de l'opercule, et une partie du pied de l'animal (F).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

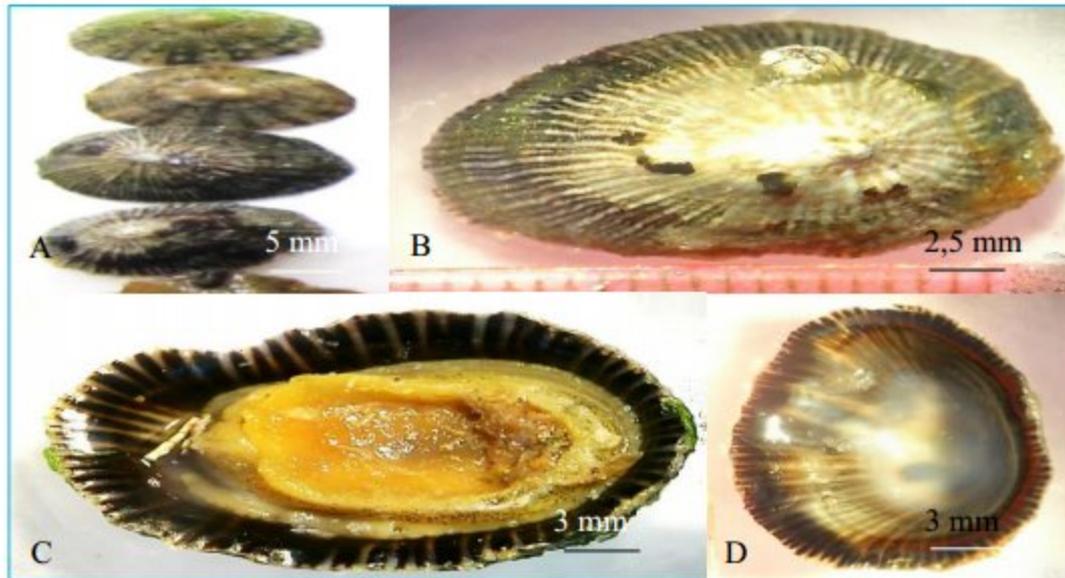


**Figure 67** : *Patella rustica* : Aspect général des Patellidae (A) ; vue de la partie extérieure de *Patella rustica* montrant les sculptures et l'apex excentrique (B) ; vue de la partie intérieure montrant le pied de l'animal (C) ; vue de la partie intérieure de la coquille vide, montrant sa profondeur ses rayures très sombres, ainsi que l'animal (D).

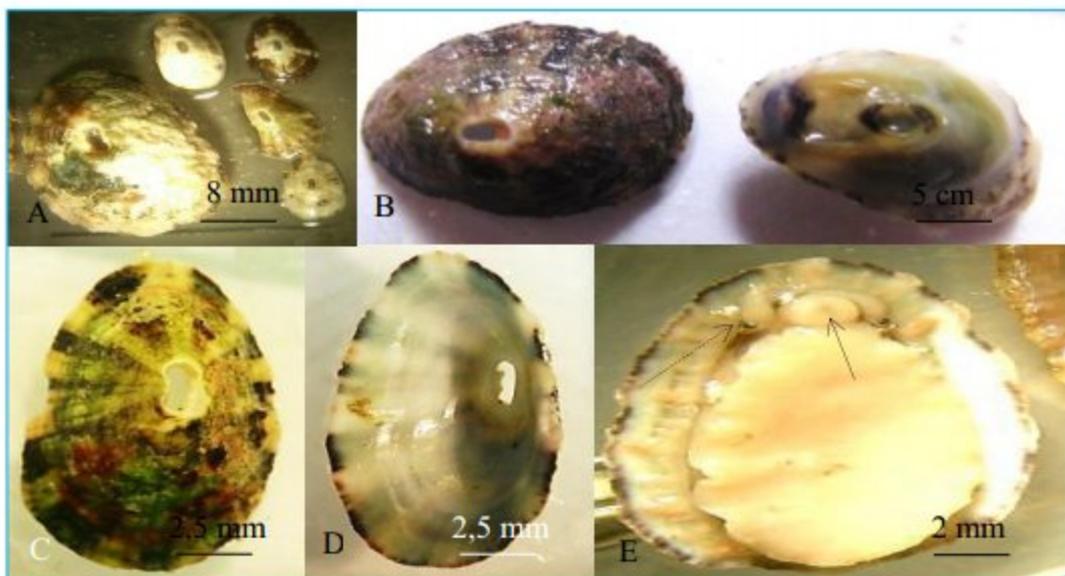


**Figure 68** : *Patella vulgata* : Aspect général des Patellidae (A, B) ; vue de la partie extérieure de *Patella vulgata* montrant la forme, l'apex excentrique et les bords arrondis (C) ; vue de la partie intérieure montrant le pied de l'animal (D) ; vue de la partie intérieure de la coquille vide, montrant sa profondeur, ses rayures ainsi que la zone jaune-orange au centre (E).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).



**Figure 69** : *Siphonaria pectinata* : Aspect général de *Siphonaria pectinata* à côté de *Patella rustica* (A) ; différentes vues de la partie extérieure (B) ; vue de la partie intérieure montrant le pied de l'animal (C) ; vue de la partie intérieure de la coquille vide, montrant sa profondeur et ses rayures (D).

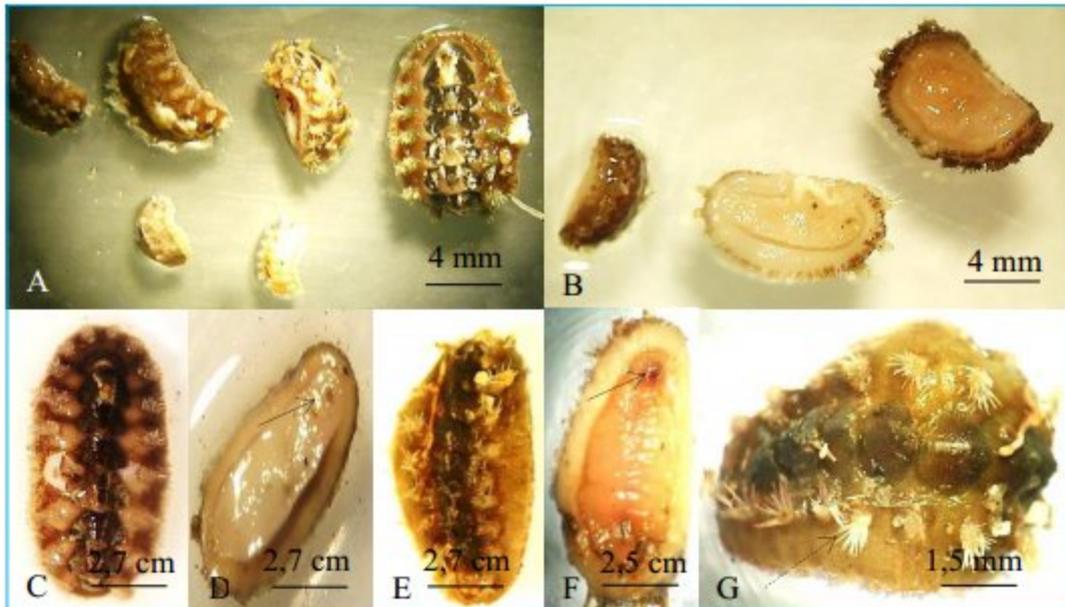


**Figure 70** : *Diodora graeca* : Aspect général d'individus de différentes tailles (A) ; vue extérieure de la coquille à côté de l'animal (B) ; vue de la partie extérieure (C) ; vue de la partie intérieure de la coquille vide (D) ; vue de la partie ventrale montrant le pied de l'animal, sa bouche (flèche), et ses yeux à la base de ses tentacules (flèche pointillée) (E).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

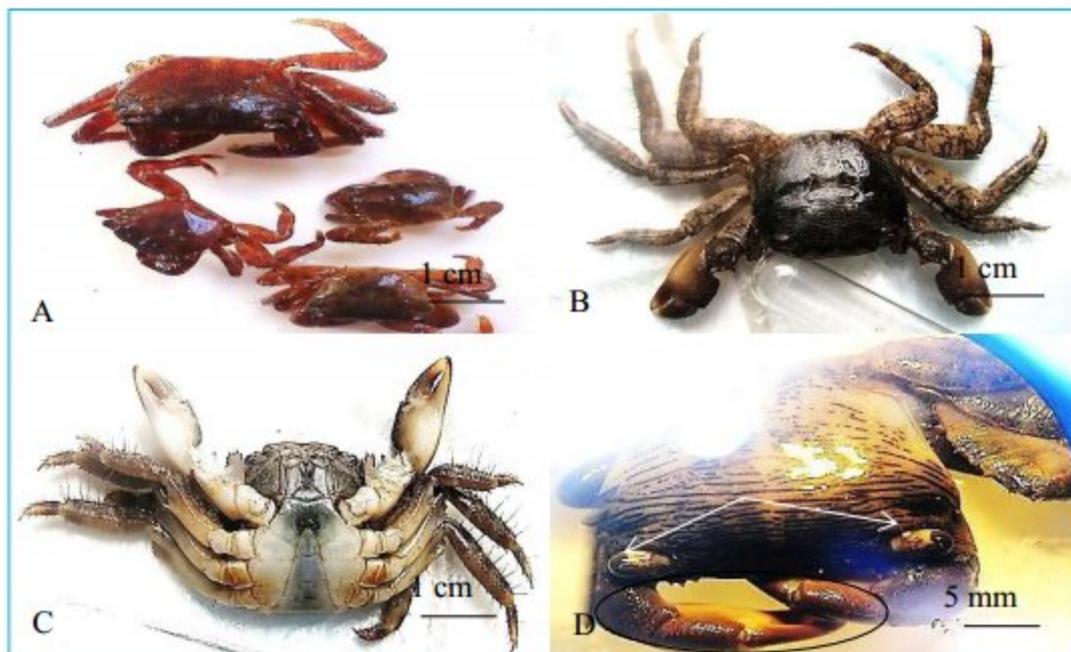


**Figure 71** : *Mytilus sp* : Aspect général d'individus de différentes tailles (A, B) ; vue de la partie extérieure (C) ; vue de la partie intérieure de la coquille (D) ; naissains attachés aux algues (E).

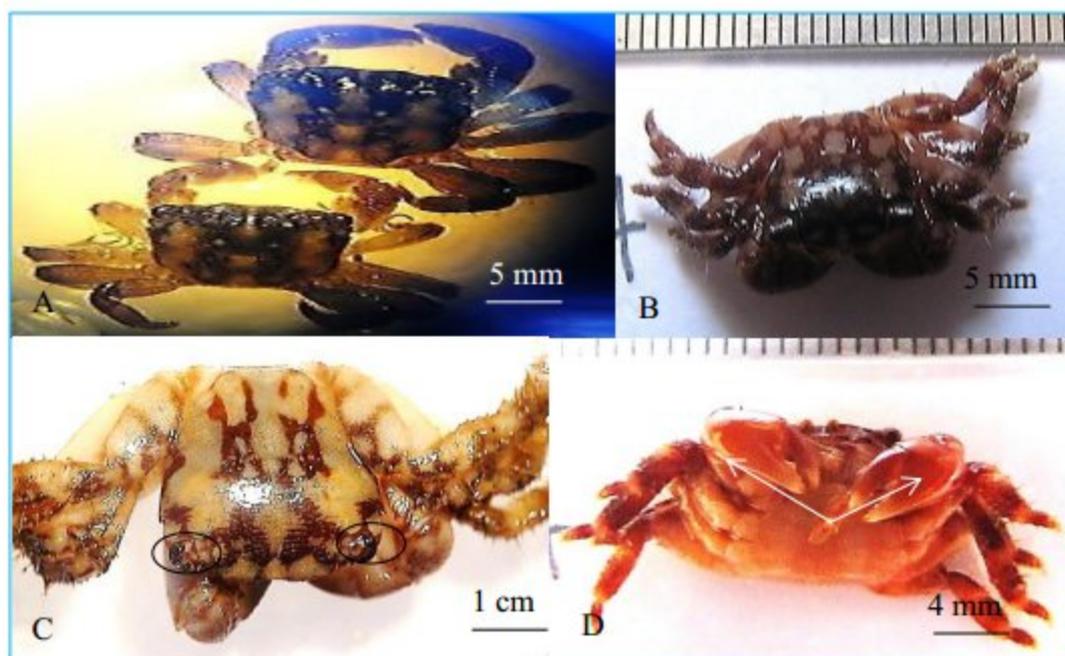


**Figure 72** : Espèce de Chitonida : Aspect général d'individus de différentes tailles (A, B) ; vue de la partie dorsale (C, E) ; vue de la partie ventrale de l'animal montrant l'orifice buccal (flèche) (D, F) ; zoom d'une touffe de soies (flèche pointillée) (G).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

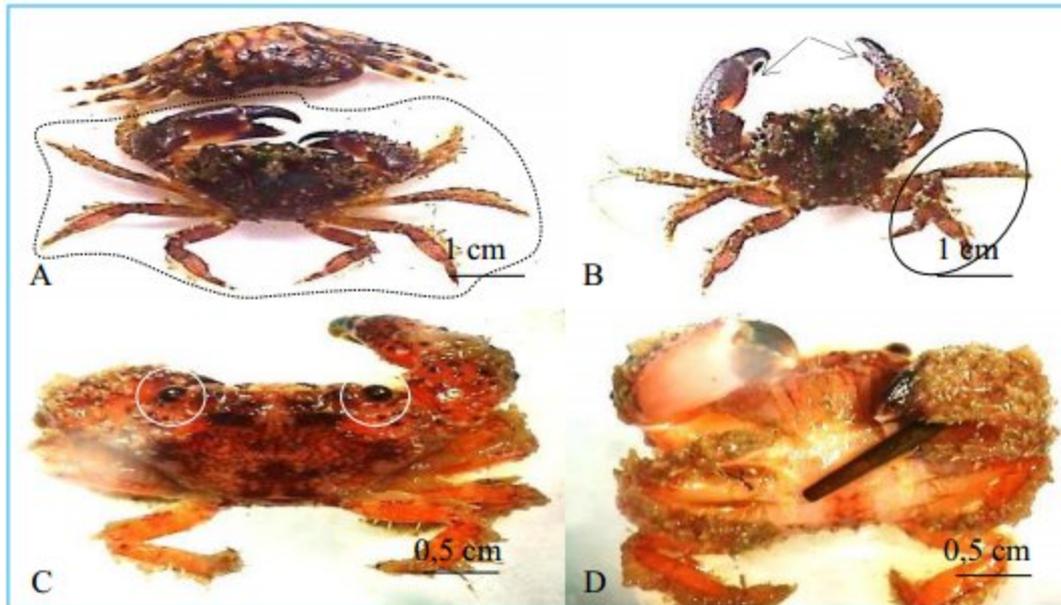


**Figure 73 :** *Pachygrapsus marmoratus* : Aspect général d'individus de différentes tailles (A) ; vue de la partie dorsale (B) ; vue de la partie ventrale (C) ; zoom de la partie antérieure de l'animal montrant ses yeux (flèches) et ses pinces (cercle) (D).

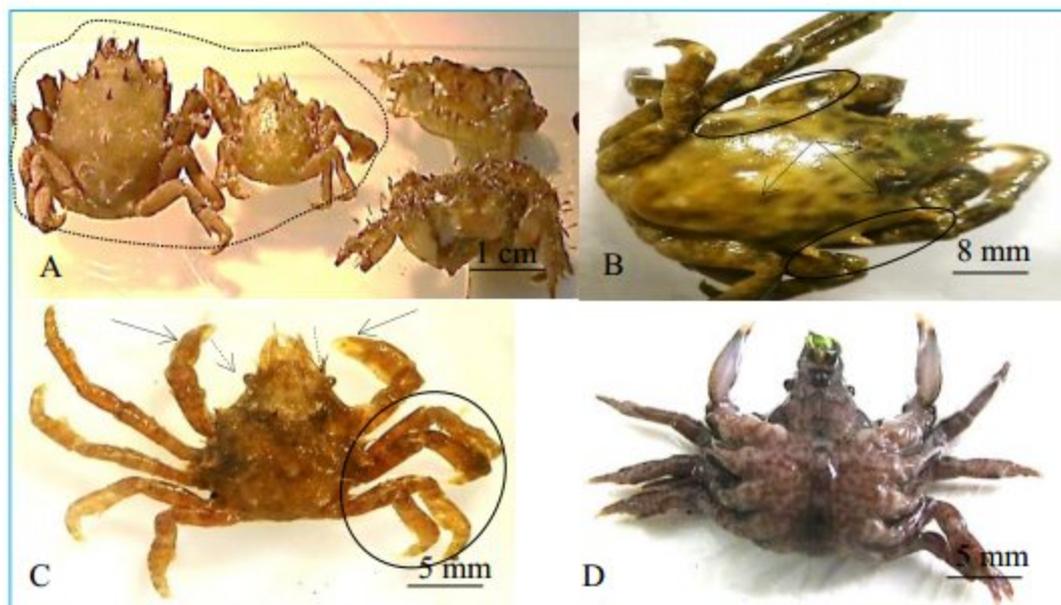


Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

**Figure 74 :** *Pachygrapsus maurus* : Aspect général d'individus de différentes tailles (A) ; vue de la partie dorsale (B), zoom de de l'animal montrant les yeux (cercles) (C) ; zoom de la partie ventrale montrant les pinces (flèches) (D).



**Figure 75:** *Eriphia verrucosa* : Aspect général (individus délimités) (A) ; vue dorsale de l'animal montrant une paire de pinces (flèches) et quatre paires de périopodes (cercles) (B) ; vue dorsale de l'animal montrant ses yeux (cercles) (C) ; vue ventrale de l'animal (D).



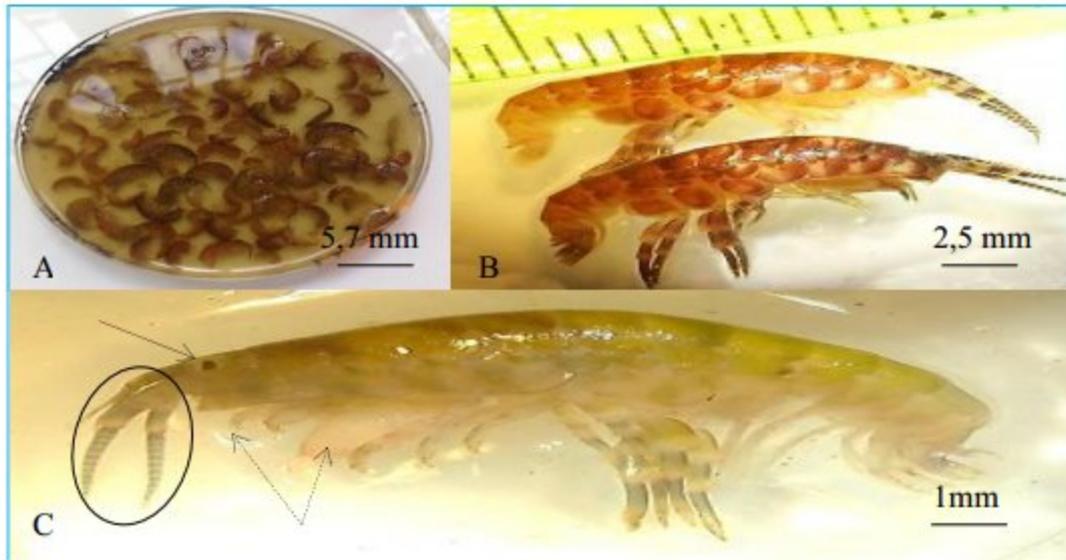
Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

**Figure 76** : Espèce de Majidae : Aspect général d'individus de différentes tailles (individus délimités) (A) ; vue dorsale de l'animal montrant les épines au niveau de la carapace (flèches et cercles) (B) ; celle montrant les yeux (flèches pointillées), une paire de pinces (flèches) et quatre paires de périoïpodes (cercle) (C) ; vue ventrale de l'animal (D).



**Figure 77** : Espèce de Paguridae : Aspect de différentes espèces de Mollusques (coquilles d'animaux morts de différentes tailles) colonisées à l'intérieur par les Paguridae (flèches), ainsi que par les Serpulidae au niveau de la face extérieure (flèches pointillées) (A à D) ; aspect de l'animal sans coquille (E, F) ; Vue dorsale (G), et ventrale (H) de la partie antérieure.

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

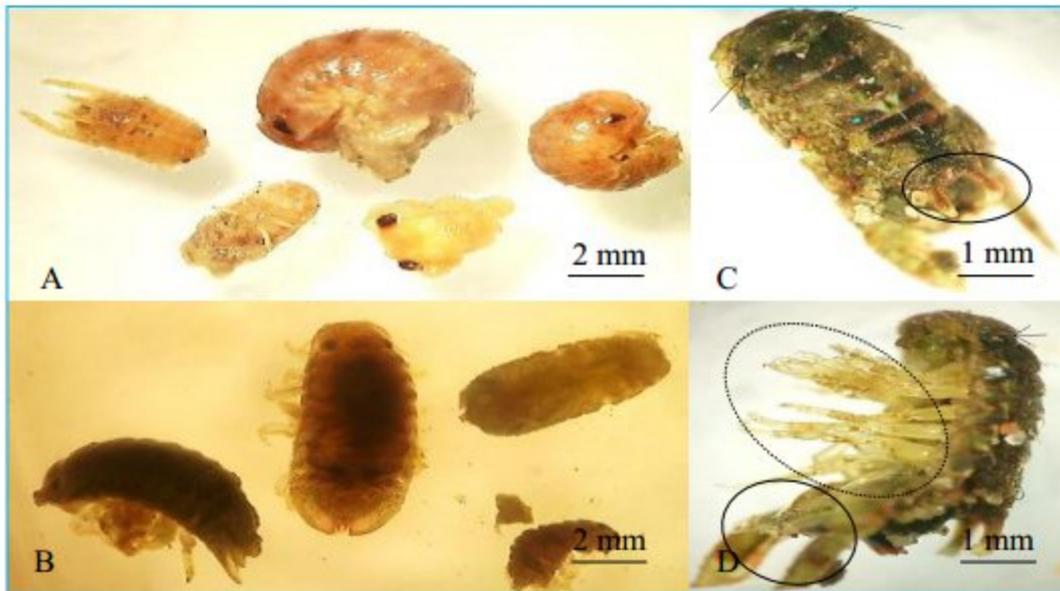


**Figure 78** : Espèce de Gammaridae : Aspect général (A, B) ; zoom d'un individu montrant les différentes parties du corps, ainsi que les antennes (cercle), un œil (flèche), les gnathopodes (flèches pointillées) (C).



**Figure 79** : Espèce de Caprellidae : Aspect général (A à D) ; zooms de quelques individus (B) montrant les différentes parties du corps, ainsi que le céphalon (flèche pointillée), les antennes (cercle) et les gnathopodes (flèches) (C) ; détail de la partie antérieure (D) ; et celle de la partie postérieure (E).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

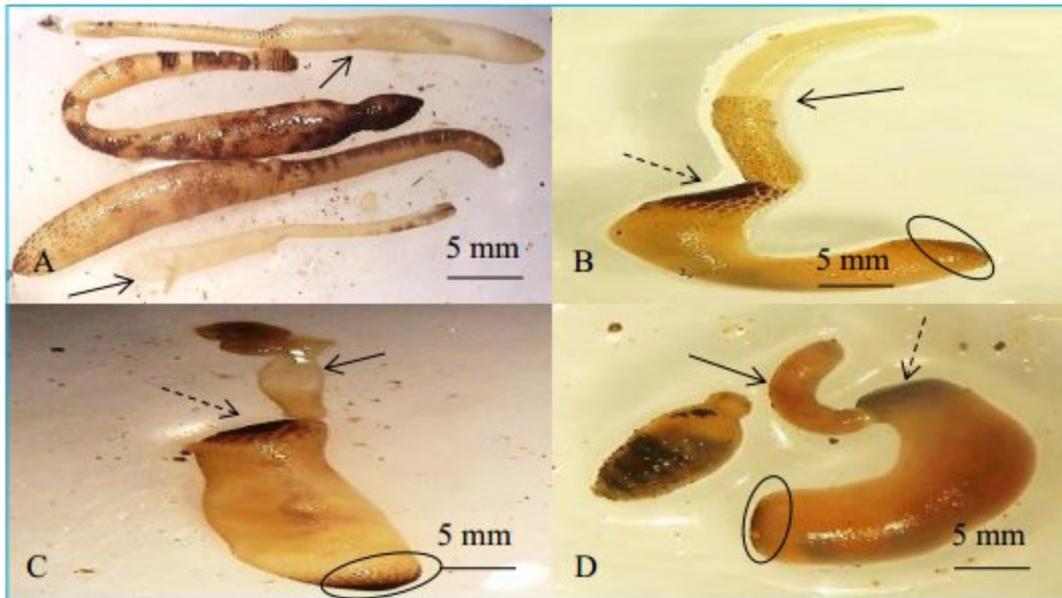


**Figure 80** : Espèce d'Isopoda : Aspect général (A, B) ; vue dorsale montrant les yeux (flèches), et deux rames internes (C) ; vue latérale montrant un œil (flèche), les pattes (cercle pointillée), et deux rames externes (cercle) (D).

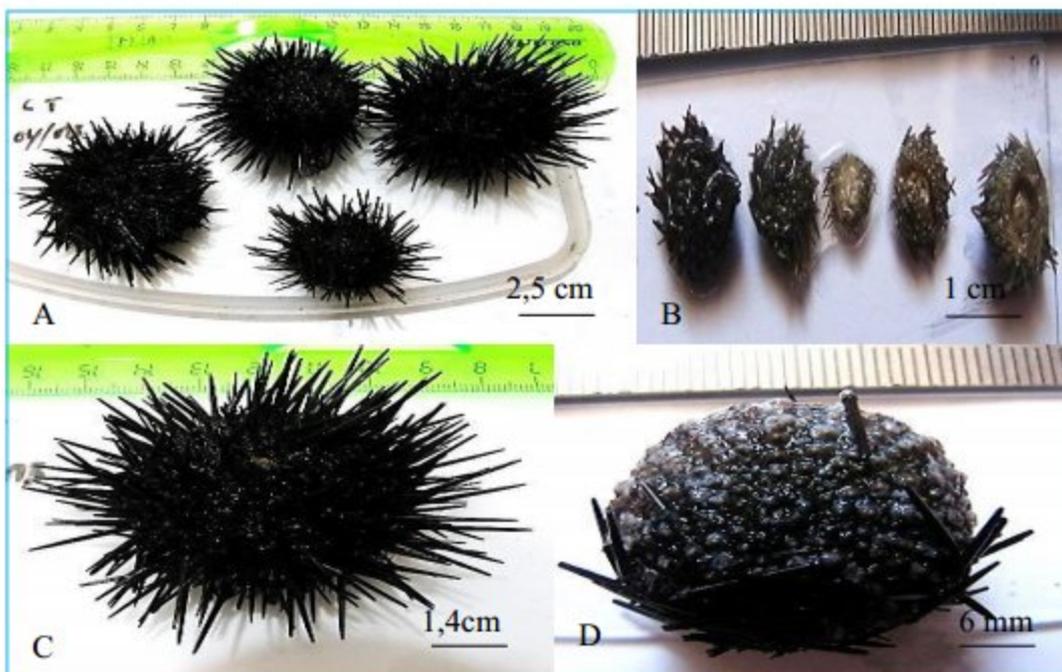


**Figure 81** : *Phascolosoma sp* : Aspect général de l'animal montrant un corps tubulaire (A) ; différentes vues montrant l'introvert (la trompe dévaginable) (flèche) qui porte à l'extrémité la bouche (flèche pointillée), ainsi que la partie caudale portant des papilles (cercle) (B à D).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

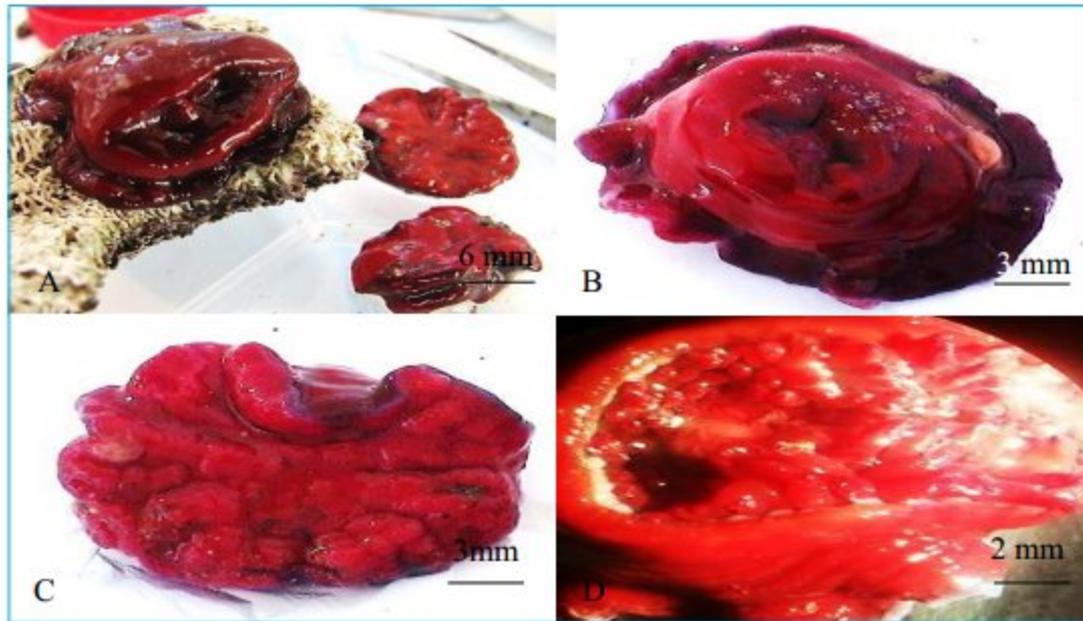


**Figure 82** : *Aspidosiphon sp* : Aspect général de deux individus (flèches) à côté de *Phascolosoma sp* (A) ; différentes vues montrant l'introvert (flèches), les papilles préanales (flèches pointillées), et celles caudales (cercles) (B à D).

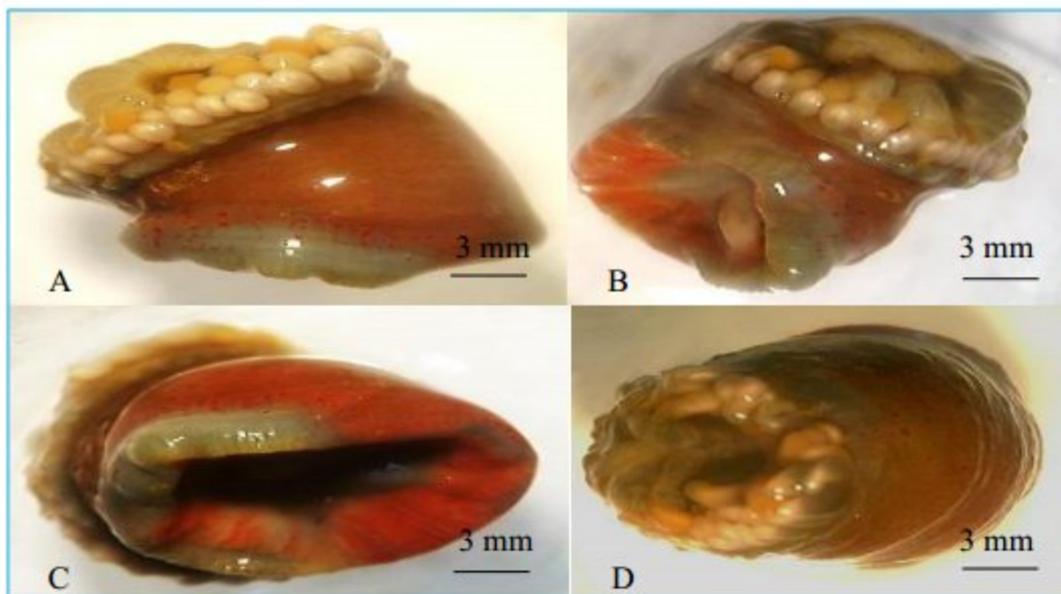


**Figure 83** : *Arbacia lixula* : Aspect général d'individus de différentes tailles (A) ; aspect aplati de la face ventrale (B) ; zoom de la face dorsale montrant ses piquants (C) ; zoom de la face dorsale montrant le test (D).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

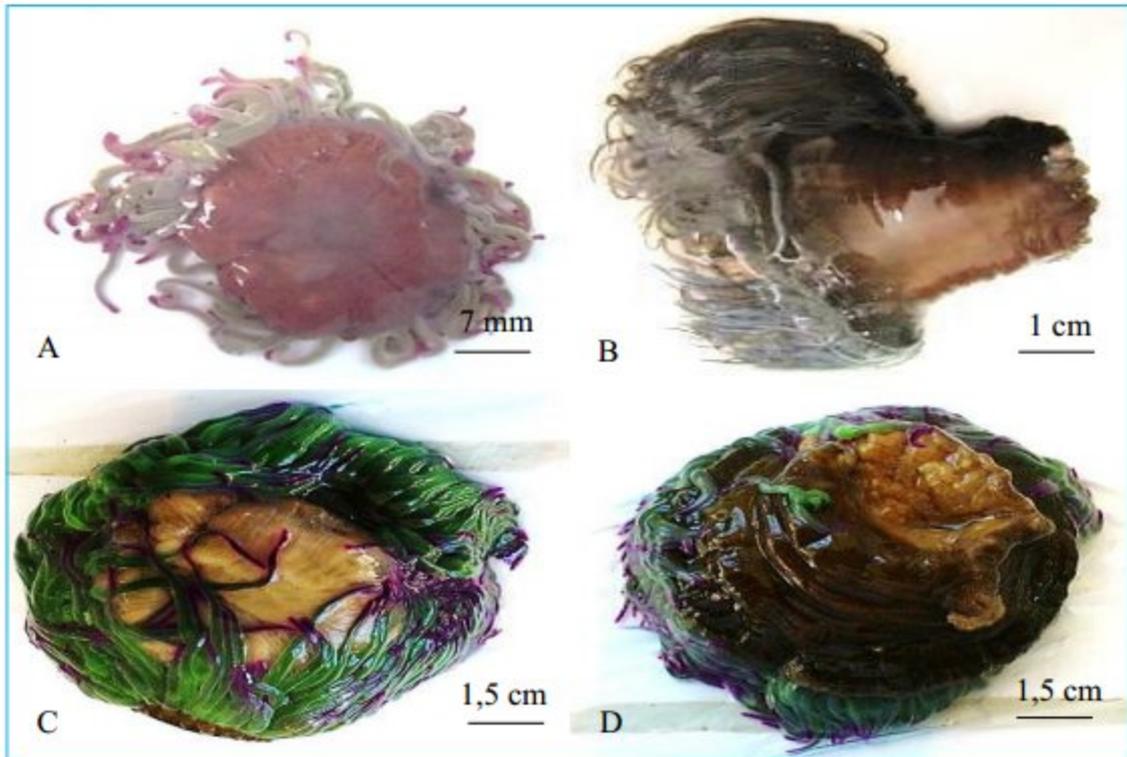


**Figure 84** : *Actinia equina* : Aspect général (A) ; vue dorsale montrant le disque oral semi fermé (B) ; vue ventrale montrant le pied (C) ; zoom de la couronne des tentacules rétractiles (D).



**Figure 85** : *Actinia sp* : Vue latérale montrant le disque oral et le pied (A, B, D) ; zoom du pied (C).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

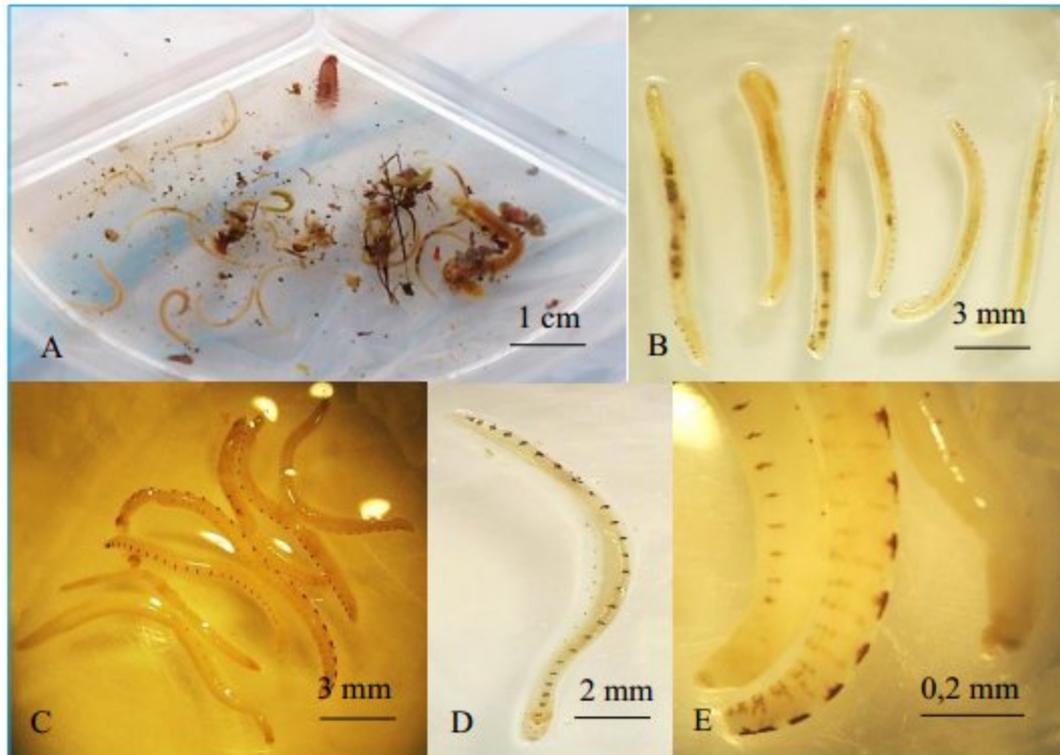


**Figure 86** : *Anemonia viridis* : Aspect général montrant la différence de la coloration (A, B) ; vue dorsale montrant les tentacules de couleur verte avec extrémités violettes (C) ; vue ventrale montrant le pied (D).



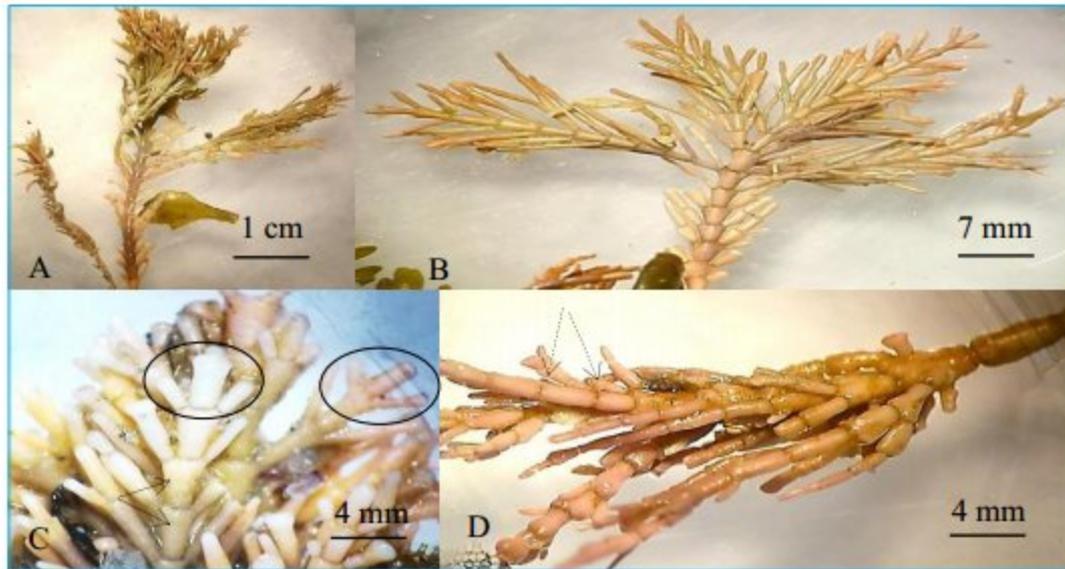
**Figure 87** : Espèce de Platyhelminthes : Aspect général de l'animal montrant le corps aplati et flexible, et les ocelles (cercles) (A, B).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

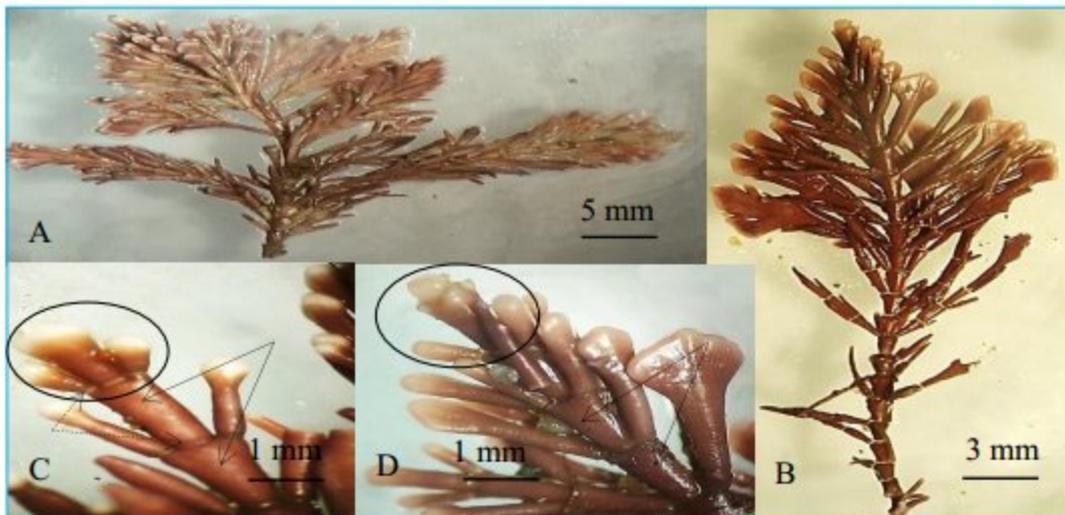


**Figure 88** : Espèce de Nemertea : Aspect général (A à D) ; zoom de la partie antérieure (E).

Espèces de la faune associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations d'étude Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).



**Figure 89 :** *Corallina officinalis* : Aspect général (A) ; zoom montrant le thalle avec ses ramifications ainsi que leur forme (B) ; zooms des parties antérieure (C), et postérieure (D) montrant les intergenicula cylindriques (flèches) séparés par les genicula visibles (flèches pointillées), l'intergenicula apical trifurqué (cercles), ainsi que l'espace entre les branches latéraux.

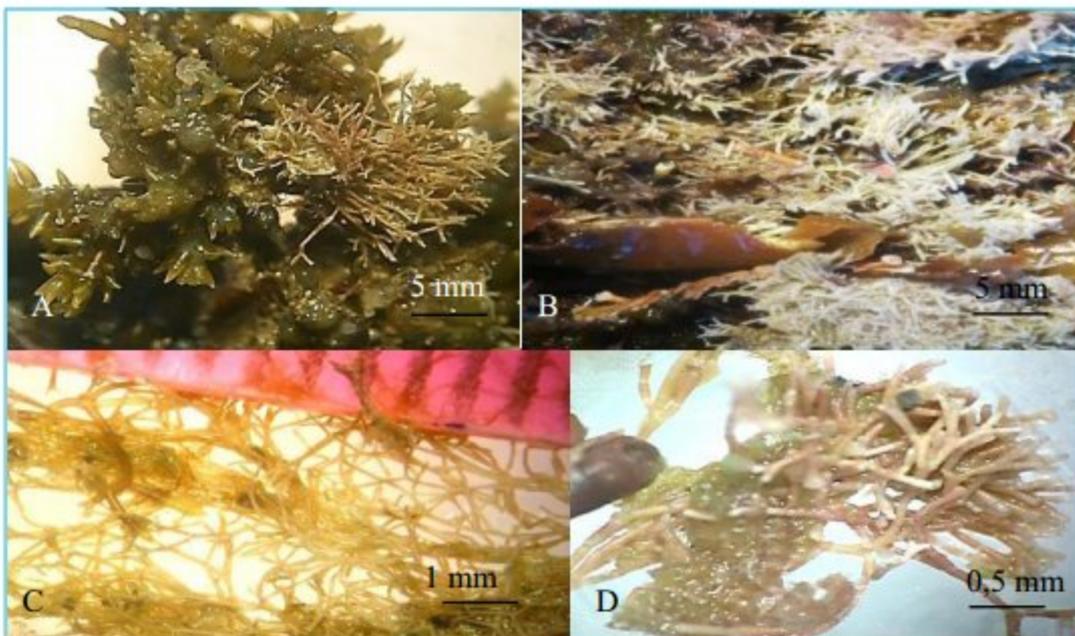


**Figure 90 :** *Corallina sp* : Aspect général (A) ; zoom montrant le thalle avec ses ramifications, ainsi que leur forme (B) ; zooms de la partie antérieure montrant la forme des intergenicula (flèche) séparés par les genicula visibles (flèche pointillée), l'intergenicula apical trifurqué (cercles), ainsi que l'espace entre les branches latéraux (C, D).

Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014  
(Source : cliché de l'auteur).



**Figure 91** : *Jania sp<sub>1</sub>* : Aspect général sous différents grossissements (A, B) ; ramification du thalle avec des intergenicula sous forme de filaments cylindriques fins (C) ; zoom montrant les genicula visibles, ainsi que les apex des intergenicula (D).



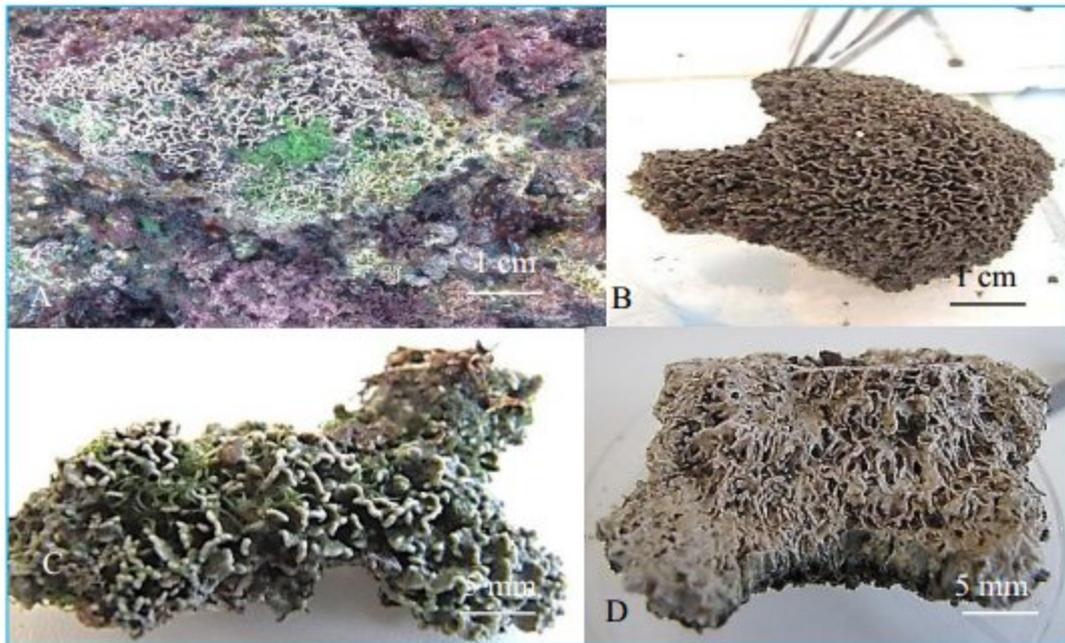
**Figure 92** : *Jania sp<sub>2</sub>* : Aspect général sous différents grossissements (A, B) ; ramification du thalle avec des intergenicula sous forme de courts filaments cylindriques fins (c) ; zoom montrant la forme dichotome des apex des intergenicula (D).

Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014

(Source : cliché de l'auteur).



**Figure 93 :** *Amphiroa* sp : Aspect général sous différents grossissements (A à D) ; vue montrant la base d'attachement (flèche) (E) ; vue montrant l'apex des intergenicula (F).



**Figure 94 :** *Lithophyllum byssoides* : Aspect général montrant le thalle attaché au substrat rocheux (A) ; vues de la face extérieure (B, E) ; vues de la face intérieure (D).

Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).



**Figure 95** : *Ceramium sp* : Aspect général (A) ; zoom montrant le thalle filamenteux et ses ramifications irrégulières, ainsi que l’apex fourchu en deux pointes caractéristique du genre *Ceramium* (B à D) ; zoom montrant les cils au niveau du thalle (E).

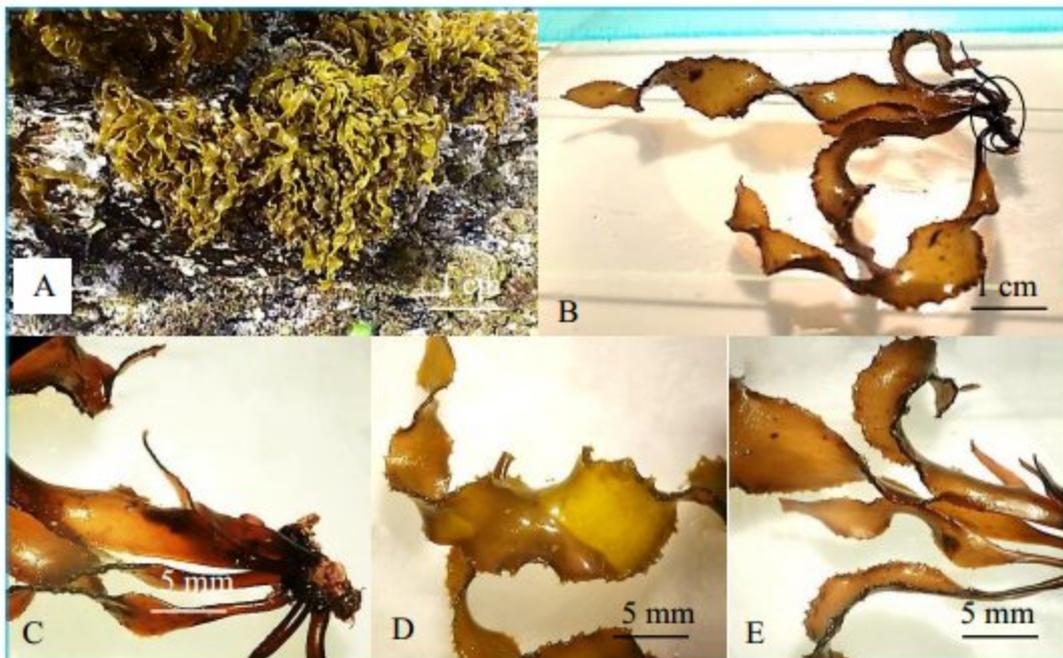


Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l’Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l’auteur).

**Figure 96** : *Osmundea pinnatifida* : Aspect général (A, B) ; zooms montrant les axes ramifiés (C, D).



**Figure 97** : *Pyropora* sp : Aspect général au niveau du biotope (A) ; vue montrant l'algue fixée sur un mollusque gastéropode (B) ; zoom montrant le thalle sous forme de lame très minces avec des bords ondulés (C).



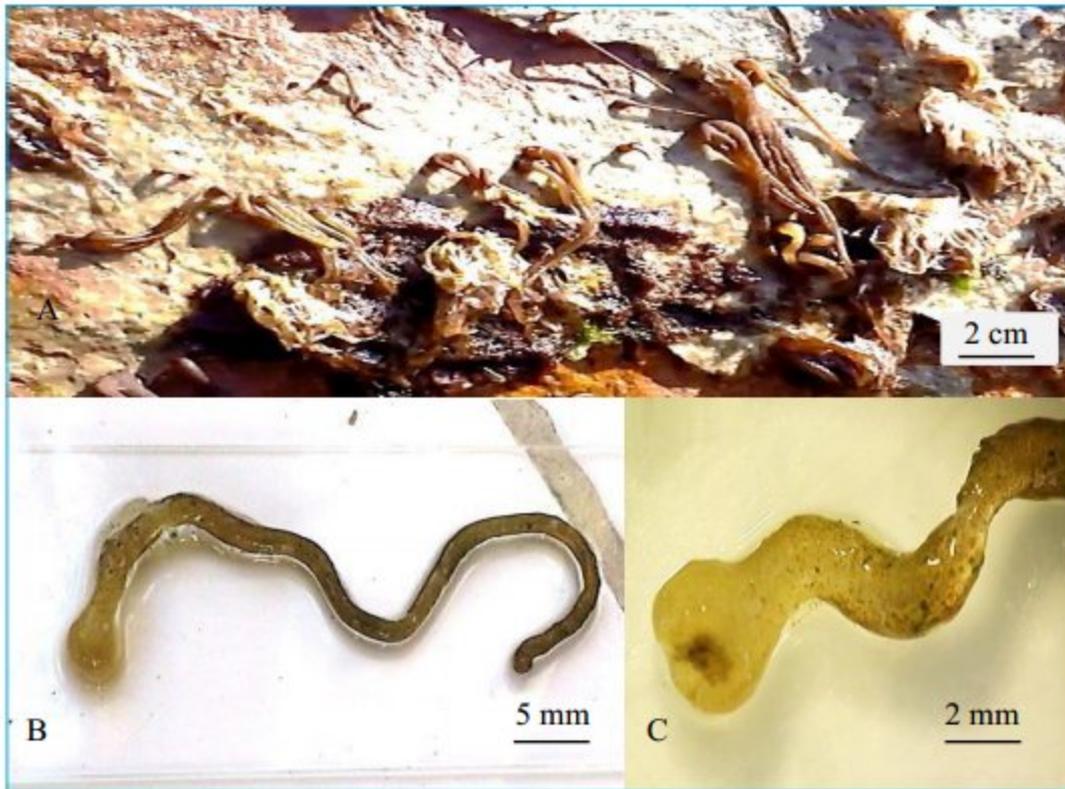
Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

**Figure 98** : *Rissoella verruculosa* : Aspect général au niveau de son biotope montrant des frondes attachées au substrat rocheux (A) ; vue montrant les frondes reliés à une base (cercle), en plus de leurs aspect ondulé (B) ; zoom montrant la base d'attachement (C) ; zooms montrant ses bords ondulés et denticulés (D, E).

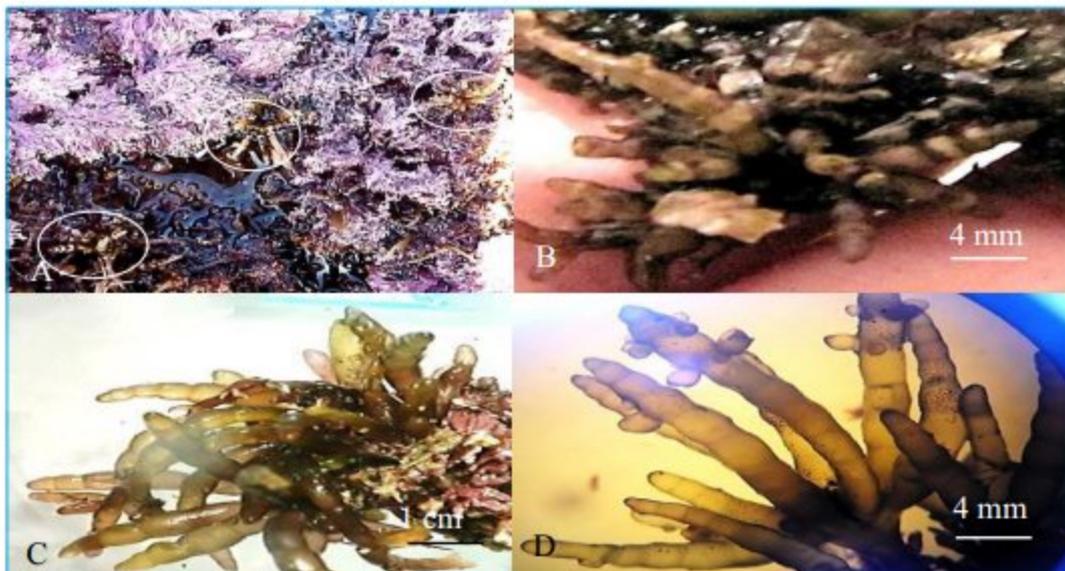


**Figure 99** : *Gelidium sp* : Aspect général (A, B) ; (B) ; vue montrant la ramification (C) ; zoom des ramifications (D).

Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014  
(Source : cliché de l'auteur).

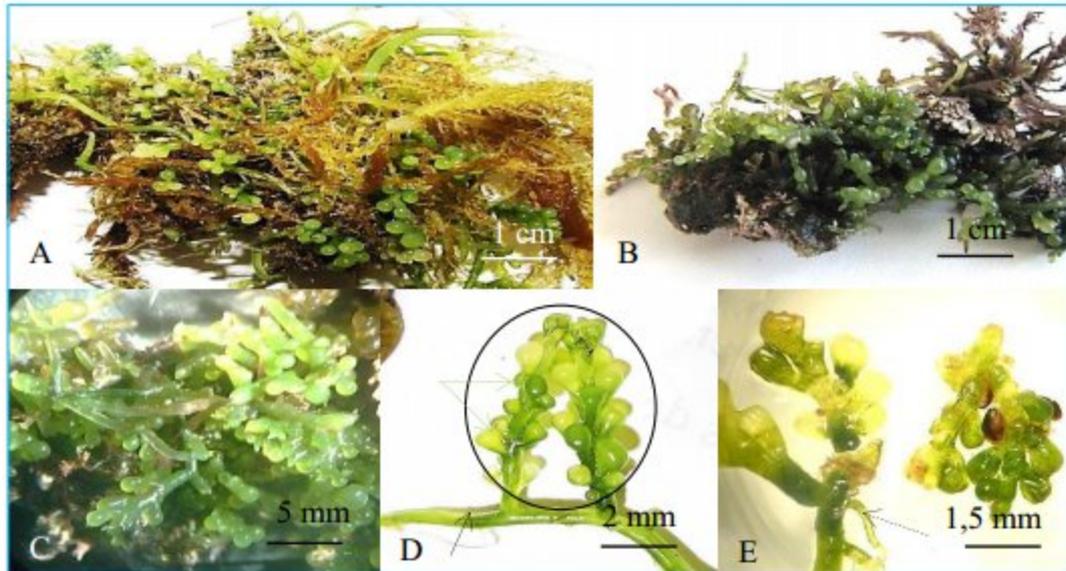


**Figure 100** : *Nemalion* sp : Aspect général au niveau de son biotope attaché au substrat rocheux (A), et au niveau du laboratoire (B) ; vue montrant un filament arrondi (C) ; zoom montrant sa base d'attachement (D) ; zoom de sa pointe (E).



Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

**Figure 101** : *Champia parvula* : Aspect général au niveau de son biotope (cercles) (A) zoom montrant la coloration iridescente (B) ; vue montrant plusieurs axes cylindriques ramifiés ou non attachés à une base (C) ; zoom montrant la forme segmentée des axes, sur lesquels on visualise des nodules (D).



**Figure 102** : *Caulerpa racemosa* : Aspect général (A à C) ; vue montrant le stolon (flèche noire) portant des axes cylindriques (cercle), recouverts de ramules (flèches vertes) (D) ; zoom montrant un des rhizoïdes répartis sur le stolon (flèche pointillée), par lesquels l'algue se fixe sur le substrat, en plus des ramules (E).

Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014  
(Source : cliché de l'auteur).

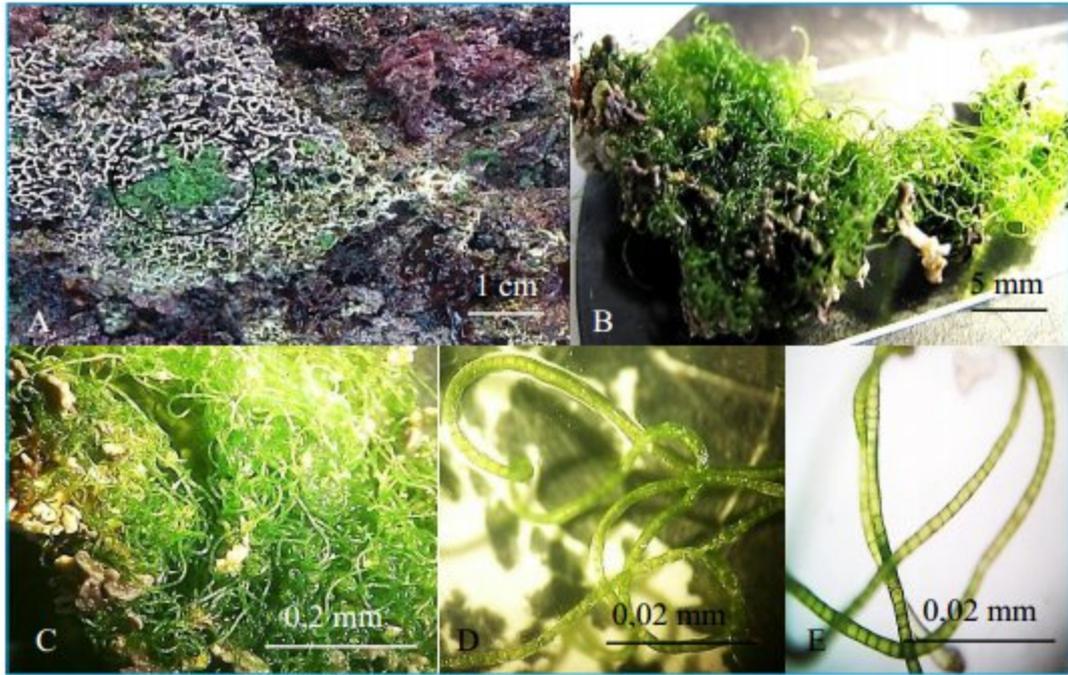


**Figure 103** : *Halimeda sp* : Aspect général montrant le thalle formé d'une succession de disques aplatis superposés (A, B) ; zooms du thalle (C, D).



**Figure 104** : *Cladophora sp* : Aspect général sous forme d'une touffe composée de filaments fins (A à E) ; zoom d'un filament montrant ses ramifications (F).

Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

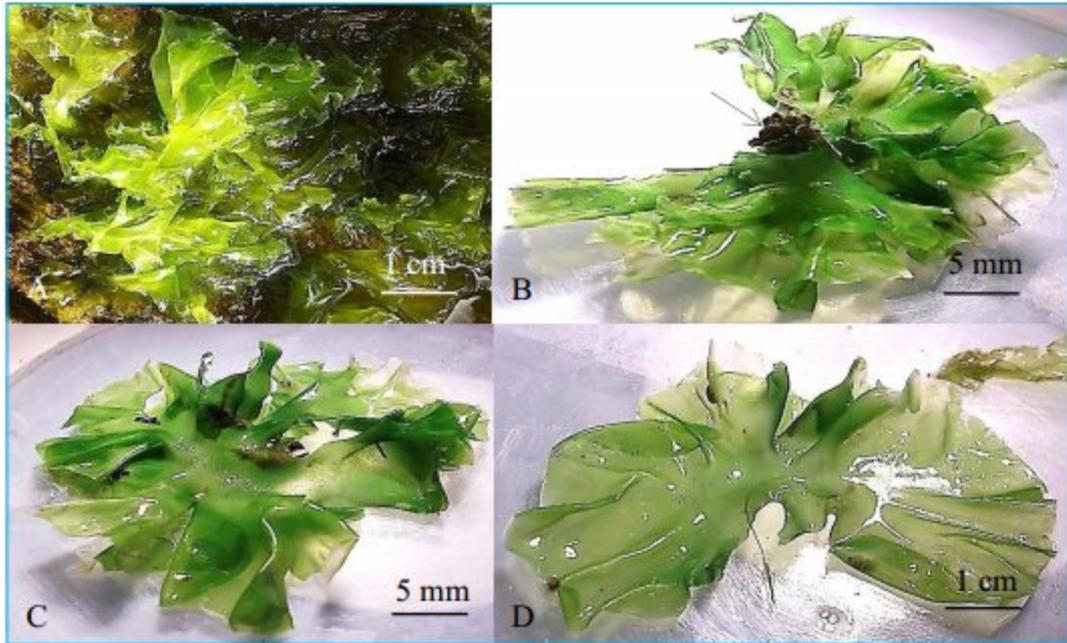


**Figure 105** : *Chaetomorpha* sp : Aspect général au niveau de son biotope sur *Lithophyllum byssoides* (cercle) (A) ; vue montrant amas de filaments enchevêtrés (B, C) ; zooms montrant la forme cylindrique des filaments, en plus de leurs articulations (D, E).

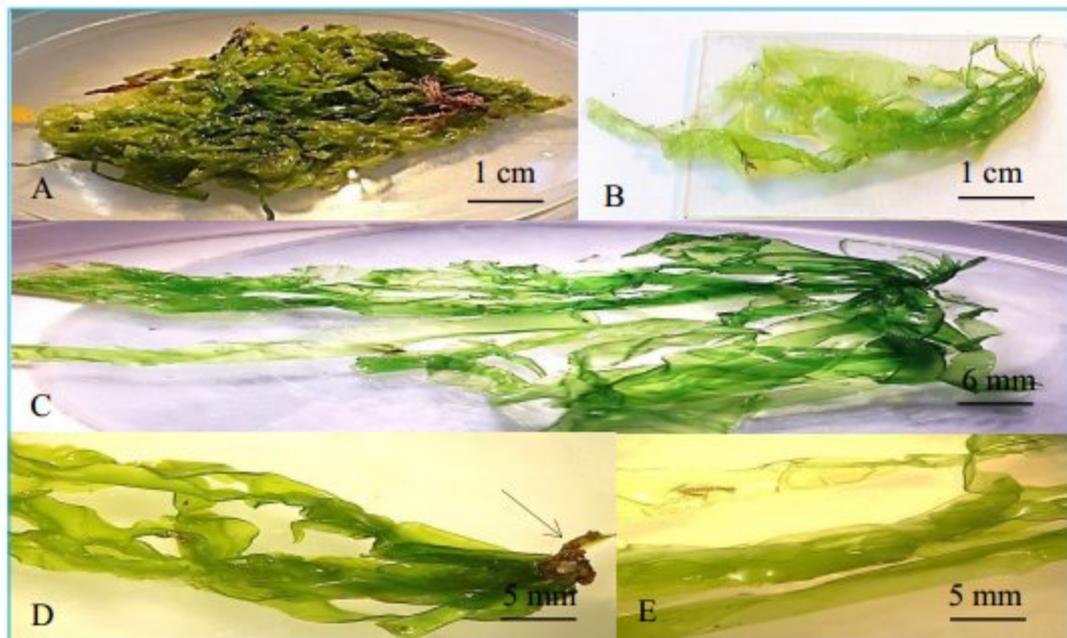


**Figure 106** : *Parvocaulis parvulus* : aspect général montrant un disque rayé muni d'un pédoncule (A).

Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

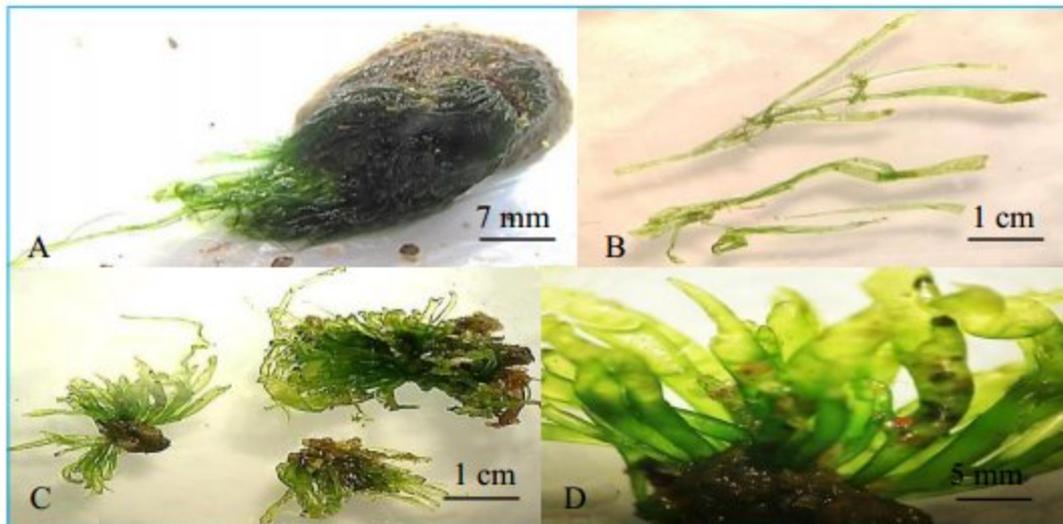


**Figure 107** : *Ulva lactuca* : Aspect général (A) ; vue montrant la base par laquelle l'algue se fixe sur le substrat (flèche) (B) ; vues montrant le thalle formé de lames aplatis et minces lobés et polymorphes dont les bords sont ondulés (C, D).

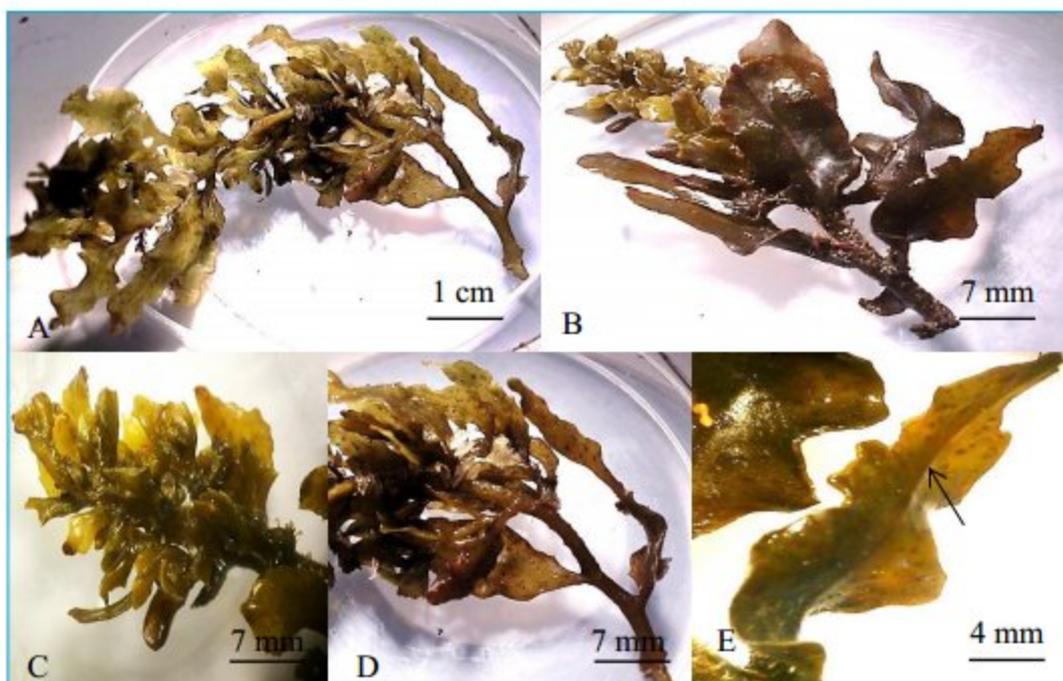


**Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).**

**Figure 108** : *Ulva compressa* : Aspect général (A, B) ; vue montrant la longueur des lames réunies à la base (C) ; vues montrant la base de fixation ; ainsi que les ondulations des lames (D, E).



**Figure 109** : *Ulva sp* : Aspect général d'*Ulva sp* fixée sur un mollusque gastéropode (A) ; différentes vues montrant le thalle ayant la forme de tube, en plus de la base par laquelle l'algue se fixe sur le substrat (B à D).



Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

**Figure 110** : *Dictyopteris sp* : Aspect général montrant le thalle formé de lames longues, aplaties et ramifiées (A, B) ; vues de la partie antérieure montrant la ramification dichotome (C), et postérieure (D) ; zoom d'une lame montrant une nervure centrale (flèche) (E).



**Figure 111** : *Dictyota sp* : Aspect général au niveau du biotope parmi les Corallinaceae montrant une coloration iridescente (cercle) (A) ; différentes vues montrant le thalle aplati ramifié en dichotome (B, C) ; zoom montrant le sommet bilobés (D).



Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

**Figure 112 :** *Padina pavonica* : Aspect général au niveau du biotope (cercle) (A) ; différentes vues montrant le thalle composé d'une lame en éventail ouverte, et ciliée (la ciliature n'apparaît que sous l'eau) (B à D) ; vue montrant son court pédoncule (flèche), en plus d'une touffe de rhizoïdes (cercle) (E) ; zoom montrant les stries blanches (F).

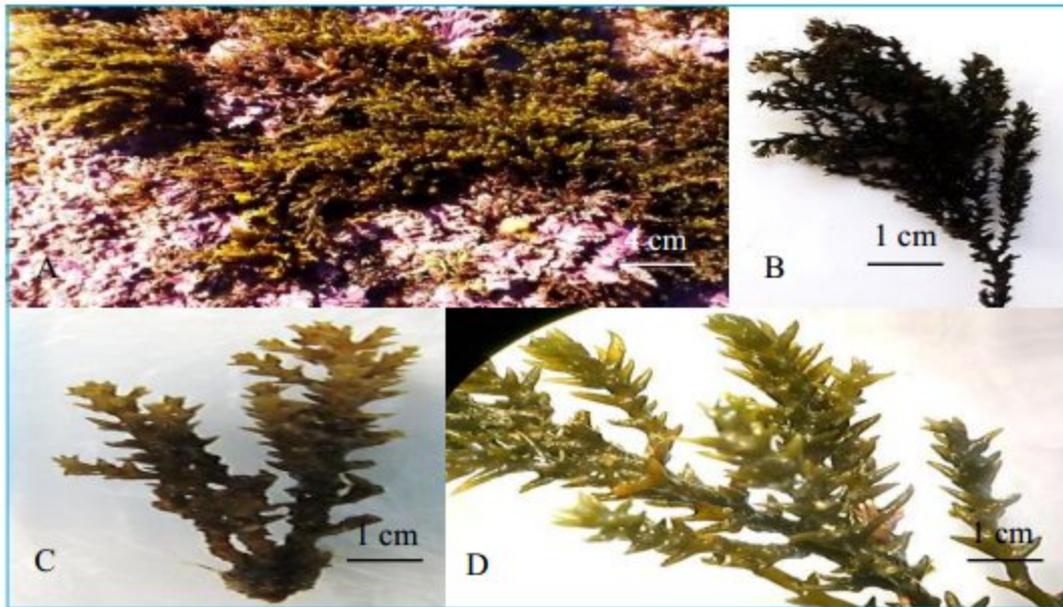


**Figure 113 :** *Padina sp* : Aspect général (A à C) ; différentes vues montrant le thalle composé d'une lame en éventail ouverte divisée, et munie d'un court pédoncule (flèche) (D, E).



**Figure 114 :** *Pelvetia sp* : Aspect général (A) ; vue montrant le thalle cylindrique ramifié en plusieurs rameaux (B) ; zoom montrant une extrémité gonflée dichotome (C).

Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014  
(Source : cliché de l'auteur).



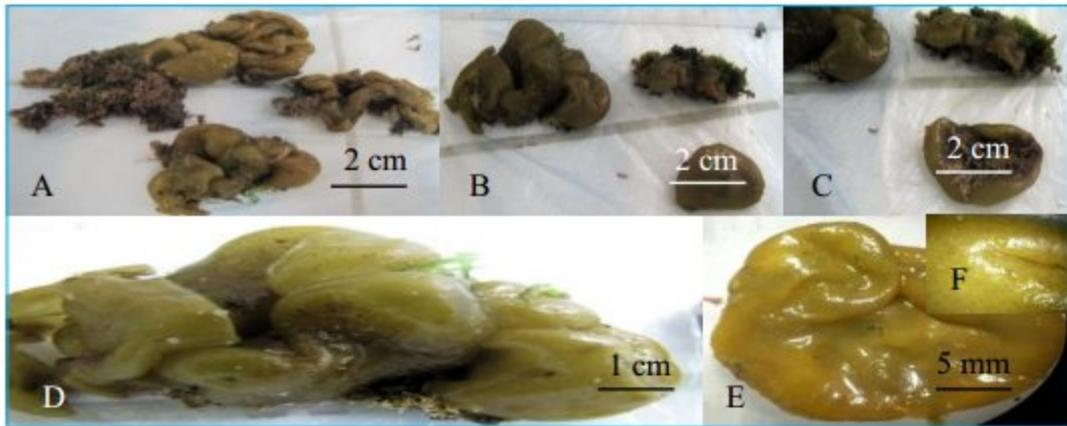
**Figure 115** : *Cystoseira sp<sub>1</sub>* : Aspect général arborescent au niveau du biotope (A) ; différentes vues montrant le thalle cylindrique très ramifié et épineux, en plus de la base de fixation (B, C) ; zoom montrant les épines (D).



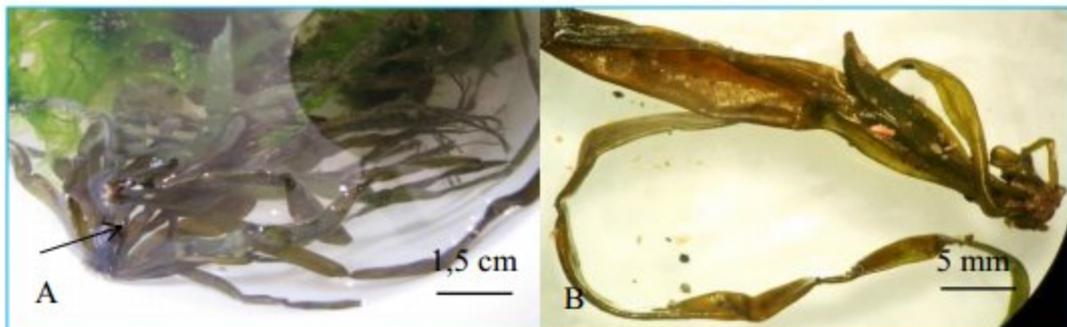
**Figure 116** : *Cystoseira sp<sub>2</sub>* : Aspect général montrant le thalle ainsi que les axes aplatis et ramifiés (A à C) ; vue montrant la base de fixation (flèche) (D) ; zoom montrant la ramification (E).

Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014

(Source : cliché de l'auteur).



**Figure 117 :** *Colpomenia sinuosa* : Aspect général (A à C) ; différentes vues montrant une masse arrondie creuse et cérébriforme (D, E) ; zoom de la face externe montrant la pigmentation (F).

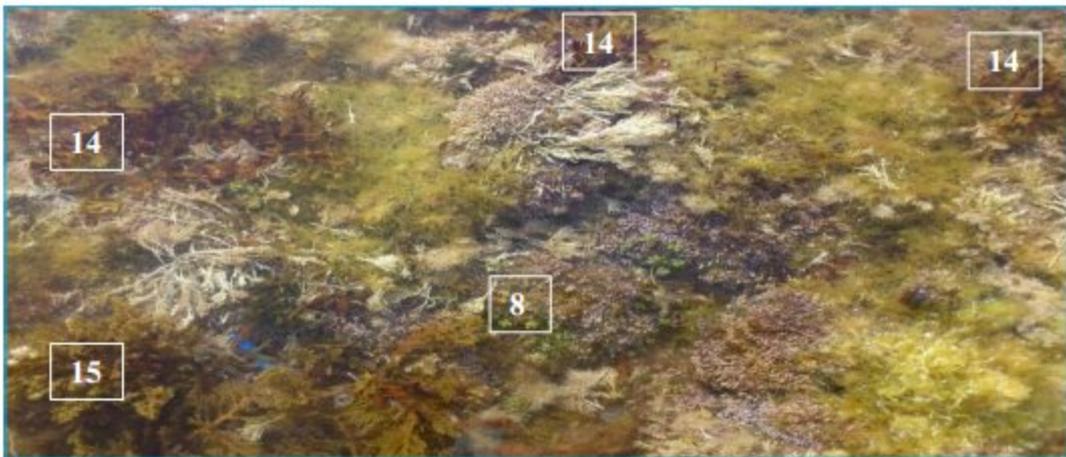
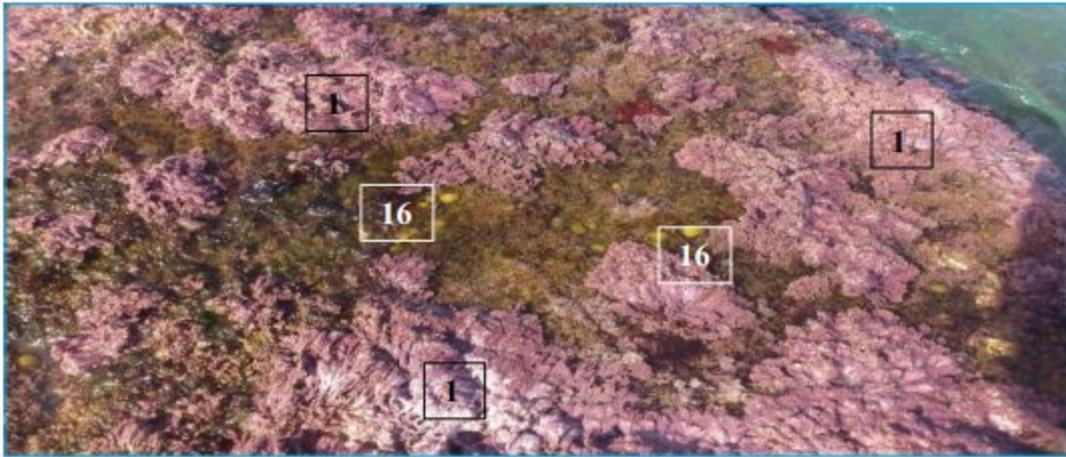


**Figure 118 :** *Scytosiphon sp* : Aspect général de *Scytosiphon sp* (flèche) avec *Ulva* (A) ; zoom montrant les thalles non ramifiés sous forme de tubes allongés réunis à une base (B).



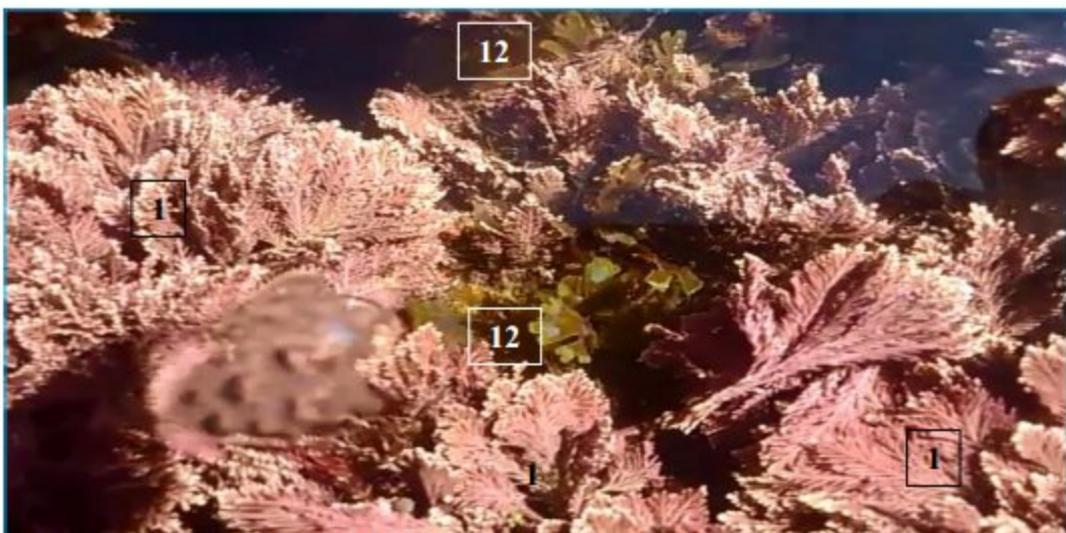
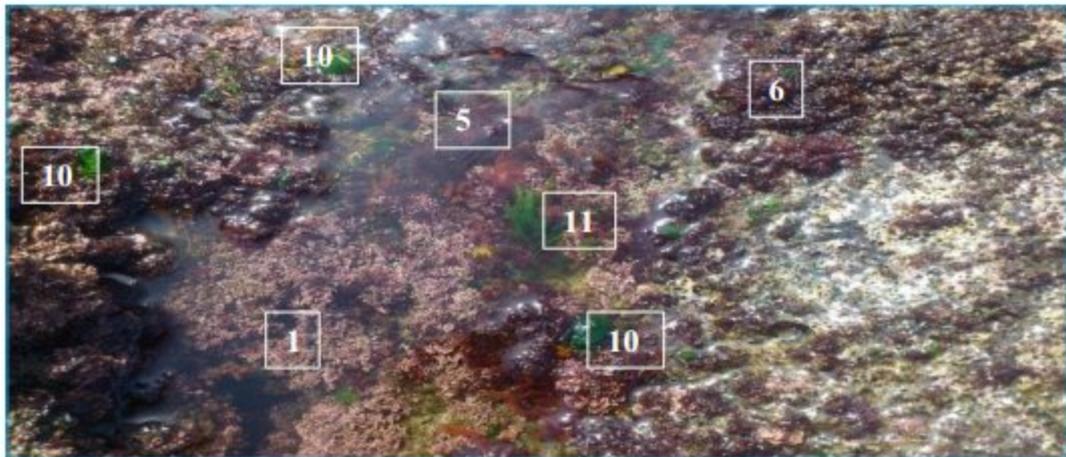
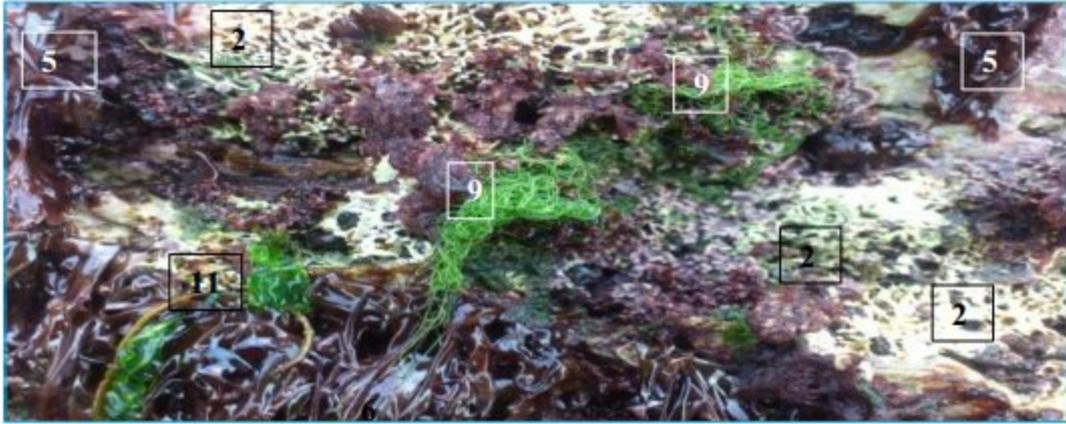
**Figure 119 :** *Halopteris sp* : Aspect général (A) ; zoom montrant les thalles sous forme de touffe de filaments (B) ; zoom montrant les axes ramifiés alternativement, en plus des sphacèles (tâches noirs aux extrémités) (C).

Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).



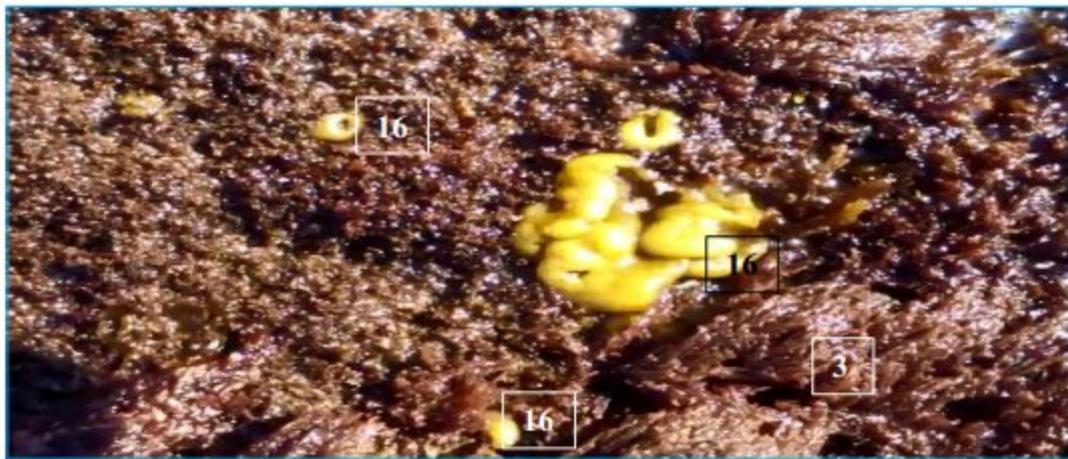
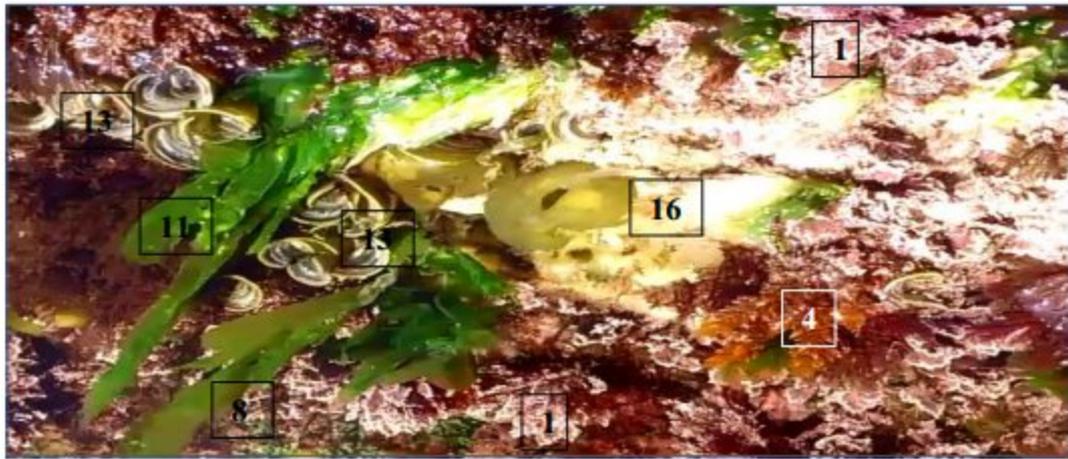
**Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).**

**Figure 120 :** *Corallina* (1) ; *Caulerpa racemosa* (8) ; *Ulva lactuca* (10) ; *Ulva compressa* (11) ; *Padina pavonica* (13) ; *Cystoceira* sp<sub>1</sub> (14) ; *Cystoceira* sp<sub>2</sub> (15) ; *Colpomenia sinuosa* (16) ; *Scytosiphon* sp (17).



Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

**Figure 121** : *Corallina* (1) ; *Lithophyllum byssoides* (2) ; *Pyropora* sp (5) ; *Gelidium* sp (6) ; *Chaetomorpha* sp (9) ; *Ulva lactuca* (10) ; *Ulva compressa* (11) ; *Dictyota* sp (12).



Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014 (Source : cliché de l'auteur).

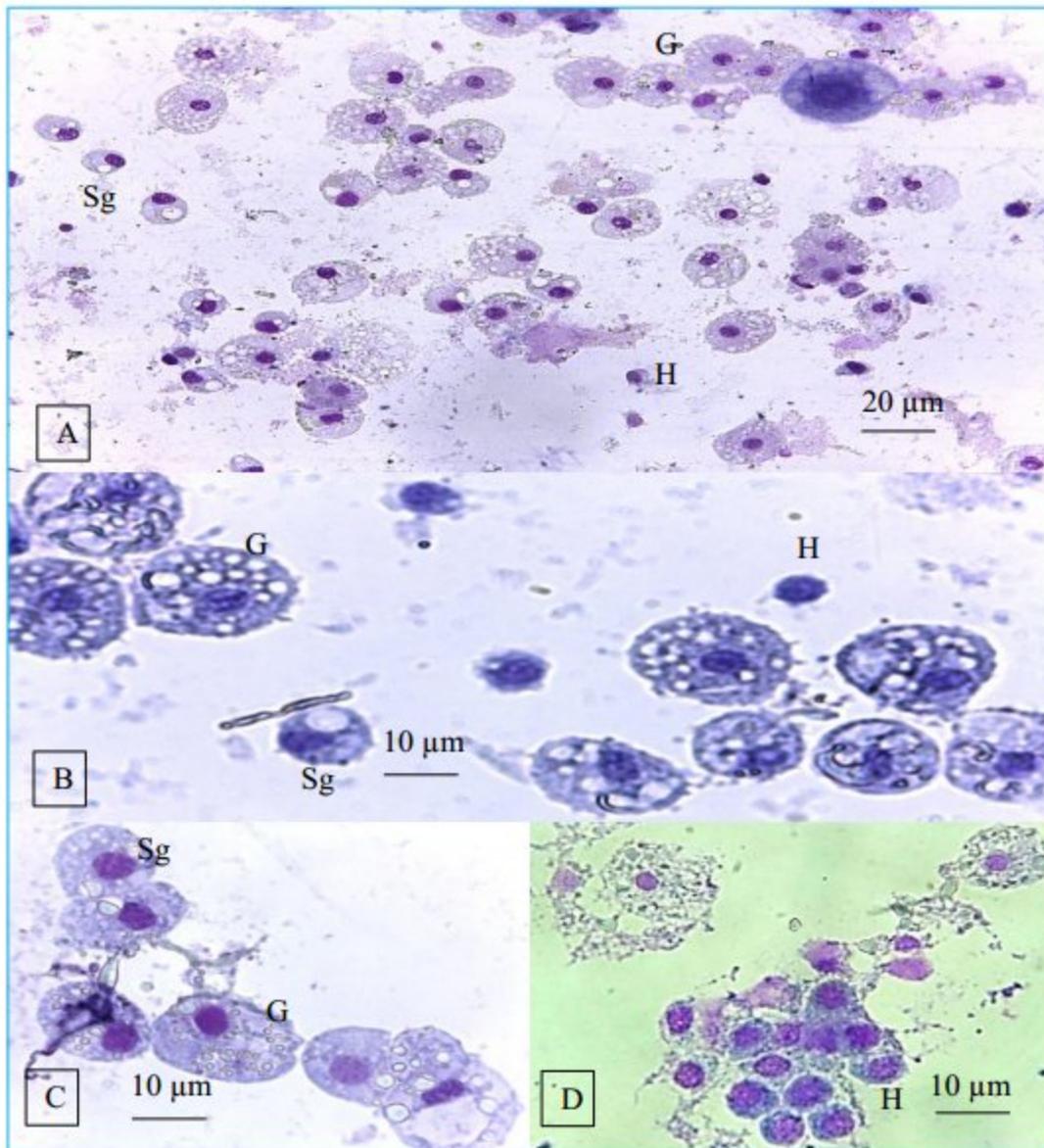
**Figure 122** : *Corallina* (1) ; *Ceramium sp* (3) ; *Osmundea pinnatifida* (4) ; *Champia parvula* (7) ; *Caulerpa racemosa* (8) ; *Ulva lactuca* (10) ; *Ulva compressa* (11) ; *Padina pavonica* (13) ; *Colpomenia sinuosa* (16).

Espèces de la flore associée à *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) retrouvées durant la période allant de Septembre 2013 à Août 2014  
(Source : cliché de l'auteur).



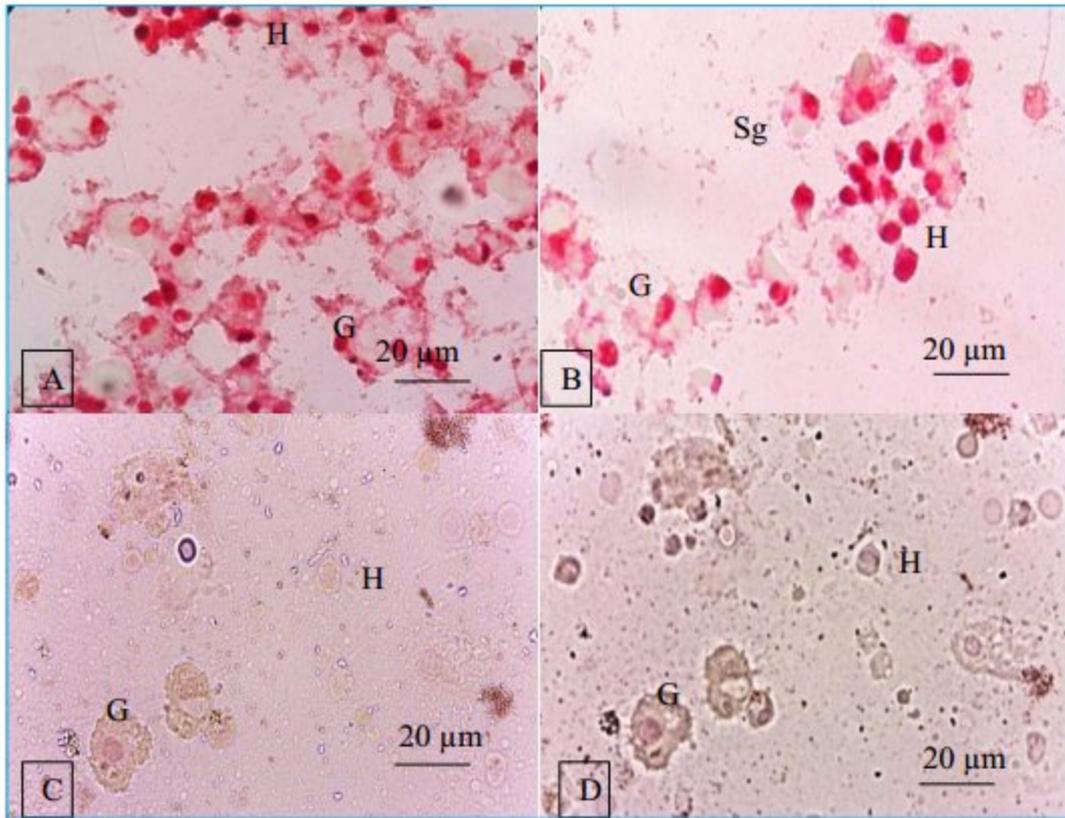
### 3-8- Identification des cellules immunitaires dans le liquide cœlomique :

L'observation des photographies correspondantes aux différentes techniques de coloration (Figures 139, 140, 141) montre une nette coloration du cytoplasme et du noyau des différents types de cellules avec la coloration du Pappenheim, en comparaison avec les autres techniques qui présentent un mauvais contraste des cellules qui apparaissent mal délimitées et par conséquent impossible à mesurer et à identifier.



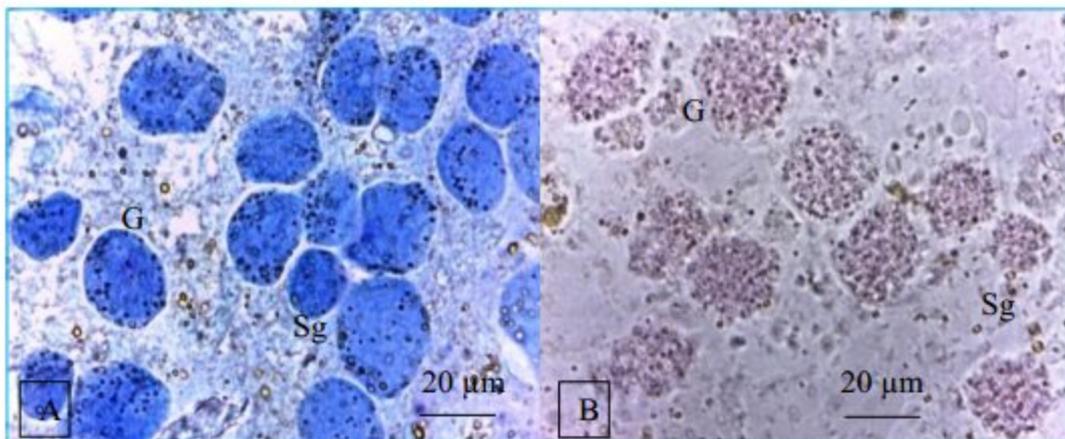
**Figure 139** : Coloration des cellules immunitaires du liquide cœlomique au May Grunwald-Giemsa, chez *P. cultrifera* échantillonnée de Ben Zouit (A à C) et de Tamanart (D) (Collo), durant le mois de Mars 2015.

Abréviations : Granulocytes (G), Semigranulocytes (Sg), Hyalinocytes (H).



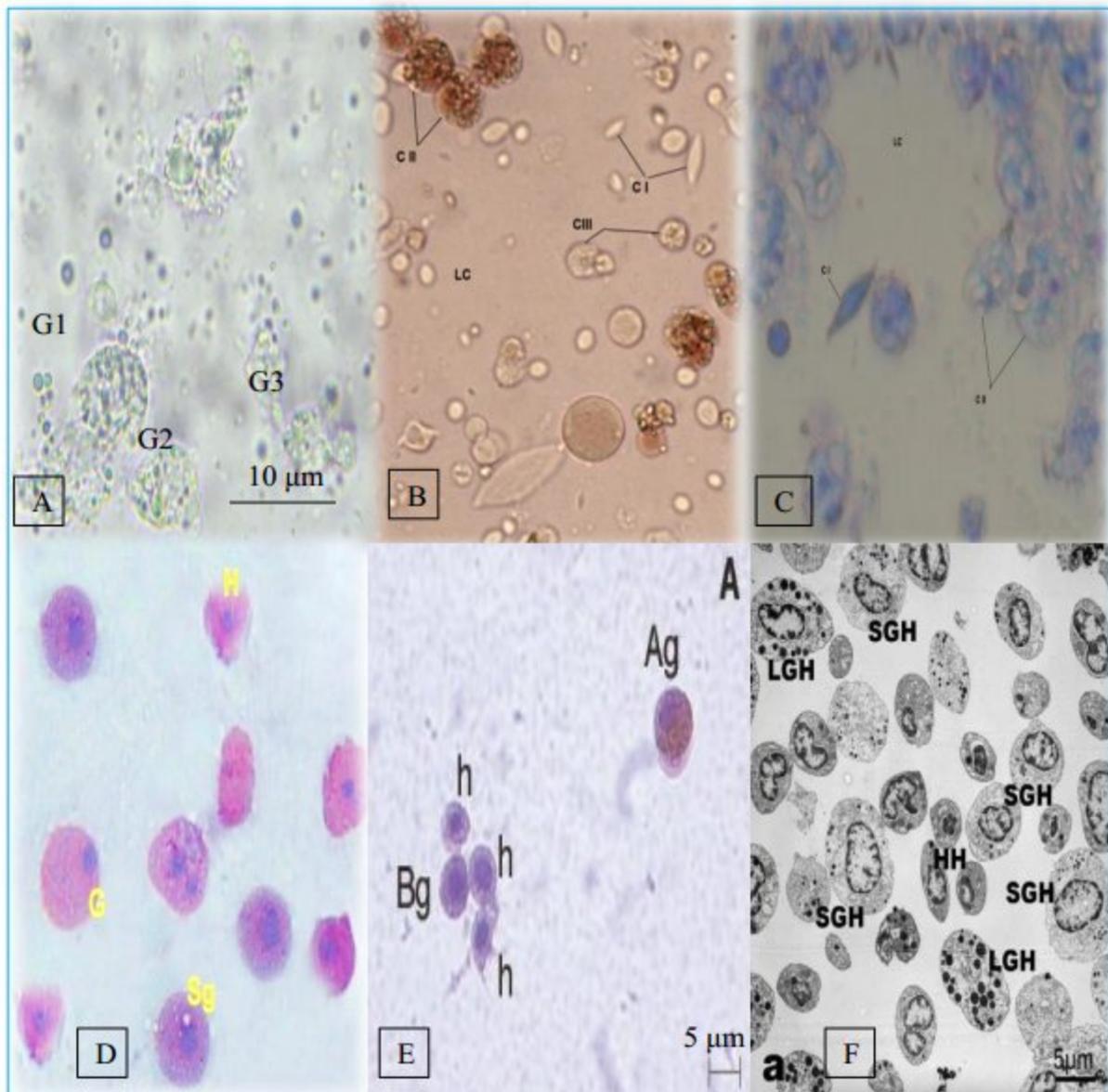
**Figure 140** : Coloration des cellules immunitaires du liquide cœlomique au Rouge Neutre 02%, chez *P. cultrifera* échantillonnée de Ben Zouit (Collo) (A à D) durant le mois de Mars 2015.

Abréviations : Granulocytes (G), Semigranulocytes (Sg), Hyalinocytes (H).



**Figure 141** : Coloration des cellules immunitaires du liquide cœlomique au Giemsa (A), au Kit Frottis (B) chez *P. cultrifera* échantillonnée de Tamanart (Collo) durant le mois de Mars 2015.

Abréviations : Granulocytes (G), Semigranulocytes (Sg).



**Figure 142** : Identification des cellules immunitaires chez : *N. diversicolor* (A), (Cuvillier-Hot *et al.*, 2014) ; *P. cultrifera* après coloration au rouge neutre (B) ; et après coloration au Kit Frotti (C) (Snani, 2016) ; *Paratelphusa masoniana* après coloration au Giemsa 10% (D) (Gupta *et al.*, 2013) ; *Carcinus aestuarii* après coloration au May Grunwald- Giemsa (E) (Matozzo & Marin, 2010) ; et observation de celles chez *Fenneropenaeus chinensis* au microscope électronique (F) (Zhang *et al.*, 2006).

Abréviations : Granulocytes de type I (G1), Granulocytes de type II (G2), Granulocytes de type III (G3), Cœlomocyte de type I (CI), Cœlomocyte de type II (CII), Cœlomocyte de type III (CIII), Granulocytes (G), Semigranulocytes (Sg), Hyalinocytes (H), Granulocytes acidophiles (Ag), Granulocytes basophiles (Bg), Hyalinocytes (h), grands Granulocytes (LGH), petits Granulocytes (SGH), Hyalinocytes (HH).

L'analyse des résultats relatifs aux différentes mesures effectuées pour l'identification, et la classification des cellules immunitaires a concerné seulement les lames colorées au May Grunwald-Giemsa (Tableau 35).

**Tableau 35** : Mensurations des cellules immunitaires (A : granulocytes, B : semigranulocytes, C : hyalinocytes) chez *P. cultrifera* prélevée des trois stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot (Skikda) durant le mois de Mars 2015 : largeur de la cellule (Larg C en  $\mu\text{m}$ ), longueur de la cellule (Long C en  $\mu\text{m}$ ), longueur du noyau (Long N en  $\mu\text{m}$ ), rapport de la largeur de la cellule/la longueur de la cellule (Larg/Long %), rapport de la longueur du noyau/la longueur de la cellule (N/C %), pourcentage des différents types (%); ( $m \pm s$ ;  $n= 4-5$  lames ; 200 cellules/lame).

Type	Larg C	Long C	Long N	Larg/Long	N/C	%
<b>Ben Zouit</b>						
<b>A</b>	19,10 $\pm$ 2,96	19,58 $\pm$ 6,66	5,87 $\pm$ 0,82	89,54 $\pm$ 4,11	27,09 $\pm$ 1,44	50,20 $\pm$ 8,64
<b>B</b>	13,89 $\pm$ 1,28	13,30 $\pm$ 2,70	5,88 $\pm$ 0,92	95,85 $\pm$ 2,76	41,04 $\pm$ 4,55	28,20 $\pm$ 2,04
<b>C</b>	8,49 $\pm$ 0,59	11,65 $\pm$ 4,03	5,84 $\pm$ 0,43	99,21 $\pm$ 1,39	71,82 $\pm$ 2,85	21,50 $\pm$ 7,49
<b>Tamanart</b>						
<b>A</b>	20,19 $\pm$ 1,20	21,80 $\pm$ 1,95	5,53 $\pm$ 0,65	92,97 $\pm$ 3,59	26,23 $\pm$ 1,21	43,10 $\pm$ 4,92
<b>B</b>	11,63 $\pm$ 1,97	12,90 $\pm$ 0,77	5,50 $\pm$ 0,87	96,78 $\pm$ 3,60	44,73 $\pm$ 8,12	21,6 $\pm$ 5,44
<b>C</b>	8,98 $\pm$ 1,80	8,20 $\pm$ 0,45	5,72 $\pm$ 0,47	100 $\pm$ 00	70,88 $\pm$ 3,93	35,30 $\pm$ 8,76
<b>l'Îlot</b>						
<b>A</b>	14,52 $\pm$ 0,41	16,78 $\pm$ 0,94	5,66 $\pm$ 0,50	87,27 $\pm$ 3,43	34,91 $\pm$ 5,65	40,75 $\pm$ 9,85
<b>B</b>	12,11 $\pm$ 0,18	12,60 $\pm$ 0,16	5,24 $\pm$ 0,41	96,25 $\pm$ 0,86	42,23 $\pm$ 3,02	30,38 $\pm$ 11,19
<b>C</b>	8,35 $\pm$ 0,37	8,31 $\pm$ 0,37	5,71 $\pm$ 0,23	99,90 $\pm$ 0,12	69,74 $\pm$ 1,3	28,88 $\pm$ 2,21

Trois types de cellules ont été définis sur la base des différentes mesures, ainsi qu'aux caractères morphologiques distingués : les granulocytes, les semigranulocytes et les hyalinocytes

Les granulocytes (A) sont les plus grandes cellules, avec les dimensions les plus élevées, à savoir la longueur des cellules (max 21,80  $\pm$  1,95  $\mu\text{m}$  ; min 16,78  $\pm$  0,94  $\mu\text{m}$ ), ainsi que leur largeur (max 20,19  $\pm$  1,20  $\mu\text{m}$  ; min 14,52  $\pm$  0,41  $\mu\text{m}$ ) ; elles se caractérisent par la présence dans le cytoplasme d'un grand nombre de granulations ; et par un rapport N/C le

plus faible ( $\max 34,91 \pm 5,65$  ;  $\min 26,23 \pm 1,21$ ) ; le noyau est en position centrée ou encore excentrée.

Les semigranulocytes (B) sont les cellules de taille moyenne, avec des dimensions intermédiaires, la longueur des cellules atteint  $13,30 \pm 2,70 \mu\text{m}$  ( $\min 12,60 \pm 0,16 \mu\text{m}$ ), leur largeur est d'environ  $13,89 \pm 1,28 \mu\text{m}$  ( $\min 11,63 \pm 1,97 \mu\text{m}$ ) ; elles contiennent également des granulations mais qui sont moins nombreuses que celles des granulocytes ; le rapport N/C est beaucoup plus élevé que celui des granulocytes, mais aussi moins élevé que celui des hyalinocytes, il varie entre  $44,73 \pm 8,12$  et  $41,04 \pm 4,55$  ; et de même le noyau est centrée ou également excentrée ; pour ces deux premiers types de cellules, on note également la présence d'une grande ou de plusieurs vacuoles.

Les petits hyalinocytes (C) se distinguent facilement des autres cellules par leur petite taille, notamment la longueur ( $\max 11,65 \pm 4,03 \mu\text{m}$  ;  $\min 8,20 \pm 0,45\mu\text{m}$ ), et la largeur ( $\max 8,98 \pm 1,80 \mu\text{m}$  ;  $\min 8,35 \pm 0,37 \mu\text{m}$ ), elles se distinguent également par leur plus gros noyau excentré, et par conséquence un rapport N/C le plus élevé ( $\max 71,82 \pm 2,85$  ;  $\min 69,74 \pm 1,30$ ), et un cytoplasme très réduit, ces cellules ne montrent ni granulations ni vacuoles.

Le pourcentage de ces trois types de cellules est variable, ils suivent l'ordre décroissant suivant : granulocytes > semigranulocytes > hyalinocytes, à l'exception de la station de Tamanart où le nombre d'hyalinocytes était plus élevé que celui des semigranulocytes.

Les autres résultats n'ont pas été présentés à cause des difficultés de reconnaissance des cellules et des noyaux, parfois par défaut de coloration ou même, par la présence d'amas de cellules très accolées ou encore superposées les unes sur les autres a rendu l'identification de leurs limites impossible et par conséquent, leurs mesures aussi.

### 3-9- Analyse des biomarqueurs du stress :

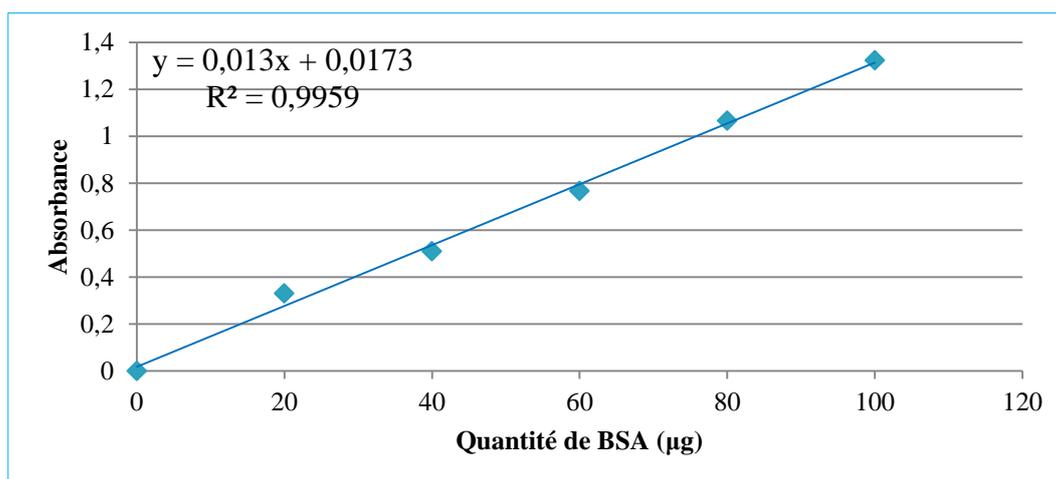
L'évaluation de l'activité enzymatique de la Glutathion S-transférase (GST) (Tableaux 37 et 38 ; Figure 144), et de l'accumulation du Malondialdéhyde (MDA) (Tableaux 39 et 40 ; Figure 145) a été déterminée saisonnièrement au niveau du corps des femelles *P. cultrifera* récoltées au niveau des différentes stations correspondantes : Ben Zouit et Tamanart à Collo, l'Îlot et Bikini à Skikda, durant les quatre saisons de l'année 2014-2015.

L'activité enzymatique de la GST ainsi que le taux du MDA ont été calculés par application des formules correspondantes ; en utilisant les pentes des droites de régression, exprimant l'absorbance en fonction du temps ; les résultats sont exprimés en micro moles par minute par milligramme de protéines ( $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) pour la GST, et en micro moles par milligramme de protéine ( $\mu\text{M}/\text{mg}$  de protéines) pour le MDA. La quantification des protéines a été mesurée à partir d'une courbe de référence (Figure 143).

**Tableau 36** : Dosage des protéines : réalisation de la gamme d'étalonnage.

Quantité de BSA ( $\mu\text{g}$ )	0	20	40	60	80	100
Absorbance (DO)	0	0,330	0,510	0,766	1,066	1,323

La droite de régression est la suivante :

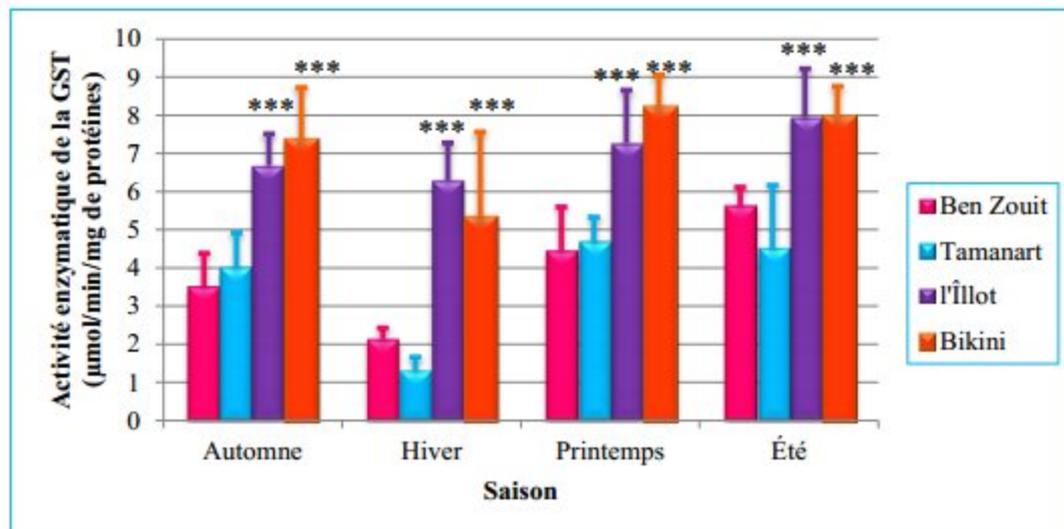


**Figure 143** : Dosage des protéines dans l'extrait enzymatique des femelles *P. cultrifera* : droite de régression exprimant l'absorbance à 595 nm, en fonction de la quantité d'albumine ( $\mu\text{g}$ ).

### 3-9-1- Variations de l'activité enzymatique de la GST chez *P. cultrifera* :

Au niveau des deux stations de Collo, les niveaux de l'activité enzymatique de la Glutathion S-transférase chez *P. cultrifera* marque une baisse durant l'Hiver, suivie par une induction durant les deux saisons suivantes, à l'exception de la diminution enregistrée durant l'Été à Tamanart ; de même au niveau des deux stations de Skikda, on assiste à une baisse de l'activité enzymatique de la GST, qui reprend à augmenter durant le Printemps et l'Été, à l'exception d'une légère baisse remarquée pendant cette dernière saison au niveau de Bikini.

Le plus haut niveau d'activité de la GST est de l'ordre de  $8,18 \pm 0,88 \mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines a été constatée au Printemps chez les individus provenant de Bikini ; tandis qu'une importante diminution a été observée chez les individus prélevée de Tamanart  $1,33 \pm 0,33 \mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines, durant l'Hiver.



**Figure 144** : Variations saisonnières de l'activité enzymatique de la Glutathion S-Transférase GST ( $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *P. cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n = 3$ ) récoltées au niveau des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2014-2015.

L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification de l'activité de la GST révèle une différence très hautement significative entre les moyennes chez les femelles échantillonnées des différentes stations ( $p < 0,001$ ), durant toute la période d'étude ; le test de TUKEY nous a permis de classer les quatre stations en deux groupes (A) et (B) représentant les deux stations de Skikda et celles de Collo respectivement durant toutes les saisons (Tableau 37).

**Tableau 37** : Activité enzymatique de la Glutathion S-Transférase GST ( $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *P. cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n = 3$ ) récoltées au niveau des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2014-2015 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

Saison	Station				
	Ben Zouit	Tamanart	l'Îlot	Bikini	P
Automne	3,52 $\pm$ 0,86 <b>B</b>	4 $\pm$ 0,91 <b>B</b>	6,68 $\pm$ 0,82 <b>A</b>	7,34 $\pm$ 1,39 <b>A</b>	<b>0,000 ***</b>
Hiver	2,13 $\pm$ 0,29 <b>B</b>	1,33 $\pm$ 0,33 <b>B</b>	6,30 $\pm$ 0,98 <b>A</b>	5,33 $\pm$ 2,23 <b>A</b>	<b>0,000 ***</b>
Printemps	4,44 $\pm$ 1,15 <b>B</b>	4,67 $\pm$ 0,66 <b>B</b>	7,27 $\pm$ 1,39 <b>A</b>	8,18 $\pm$ 0,88 <b>A</b>	<b>0,000 ***</b>
Été	5,62 $\pm$ 0,49 <b>B</b>	4,50 $\pm$ 1,66 <b>B</b>	7,94 $\pm$ 1,27 <b>A</b>	7,94 $\pm$ 0,82 <b>A</b>	<b>0,000 ***</b>

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

L'analyse de la variance à deux critères de classification (station/saison) réalisée sur les données relatives aux quatre stations révèle un effet station et saison très hautement significatif ( $p < 0,001$ ), et une interaction saison/station non significative ( $p > 0,05$ ) (Tableau 38).

**Tableau 38** : ANOVA à deux critères de classification (station/saison) de l'activité enzymatique de la Glutathion S-Transférase GST ( $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *P. cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n = 3$ ) récoltées au niveau des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2014-2015.

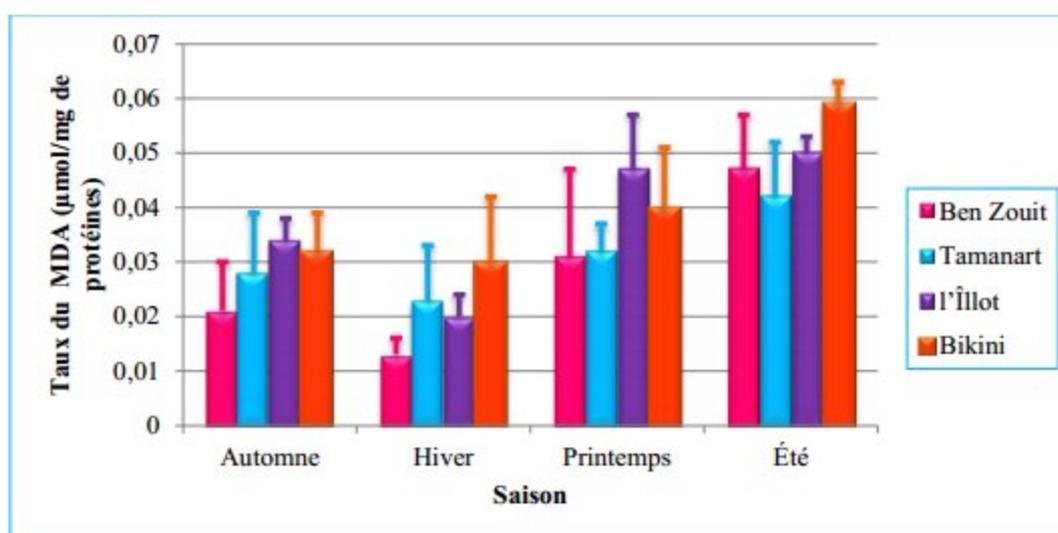
Sources de variation	ddl	SCE	CM	F <sub>obs</sub>	P
Station	3	270,11	90,036	71,75	<b>0,000 ***</b>
Saison	3	105,63	35,209	28,06	<b>0,000 ***</b>
Interaction saison/station	9	16,70	1,856	1,48	<b>0,170 NS</b>
Erreur résiduelle	80	100,39	1,255		
Totale	95	492,83			

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

### 3-9-2- Variations du taux du Malondialdéhyde (MDA) chez *P. cultrifera* :

L'examen du taux d'accumulation de Malondialdéhyde chez les femelles de *P. cultrifera* révèle des fluctuations remarquables en fonction de la saison et de la station ; au niveau des deux stations de Collo on assiste à une diminution au cours de l'Hiver suivie par une élévation durant le Printemps, puis à nouveau par une réaugmentation durant l'Été ; les mêmes constatations ont été observées concernant les deux stations de Skikda.

Le plus haut niveau du MDA est de l'ordre de  $0,059 \pm 0,004 \mu\text{M} / \text{mg}$  de protéines a été signalé en Été chez les individus provenant de Bikini ; tandis que le plus faible de l'ordre de  $0,013 \pm 0,003 \mu\text{M} / \text{mg}$  de protéines a été enregistré chez les individus prélevés de Ben Zouit pendant l'Hiver.



**Figure 145** : Taux du Malondialdéhyde (MDA) ( $\mu\text{mol}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles *P. cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n = 3$ ) récoltées au niveau des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo) l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2014-2015.

L'analyse statistique ANOVA à un critère de classification (station) du taux de MDA révèle des différences non significatives entre les moyennes chez les femelles échantillonnées des différentes stations ( $p > 0,05$ ), durant toutes les saisons ; le test de TUKEY nous a permis de classer les quatre stations en un seul groupes (A) durant toutes les saisons (Tableau 41).

**Tableau 39 :** Taux du Malondialdéhyde (MDA) ( $\mu\text{mol}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *P. cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n = 3$ ) récoltées au niveau des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2014-2015 ; (ANOVA à un seul facteur contrôlé, appuyée par la classification de Tukey).

Saison	Station				
	Ben Zouit	Tamanart	L'Îlot	Bikini	P
Automne	0,021 $\pm$ 0,009 A	0,028 $\pm$ 0,011 A	0,034 $\pm$ 0,004 A	0,032 $\pm$ 0,007 A	<b>0,245 NS</b>
Hiver	0,013 $\pm$ 0,003 A	0,023 $\pm$ 0,01 A	0,020 $\pm$ 0,004 A	0,030 $\pm$ 0,012 A	<b>0,388 NS</b>
Printemps	0,031 $\pm$ 0,016 A	0,032 $\pm$ 0,005 A	0,047 $\pm$ 0,01 A	0,040 $\pm$ 0,011 A	<b>0,451 NS</b>
Été	0,047 $\pm$ 0,01 A	0,042 $\pm$ 0,01 A	0,05 $\pm$ 0,003 A	0,059 $\pm$ 0,004 A	<b>0,104 NS</b>

NS : non significative.

L'analyse de la variance à deux critères de classification (station/saison) révèle un effet station très significatif ( $p < 0,01$ ), un effet saison très hautement significatif ( $p > 0,001$ ), et une interaction station/saison non significative ( $p > 0,05$ ) (Tableau 42).

**Tableau 40 :** ANOVA à deux critères de classification (station/saison) du taux de MDA ( $\mu\text{mol}/\text{mg}$  de protéines) chez les femelles de *P. cultrifera* ( $m \pm s$  ;  $n = 3$ ) récoltées au niveau des quatre stations : Ben Zouit et Tamanart (Collo), et l'Îlot et Bikini (Skikda) durant les quatre saisons : Automne, Hiver, Printemps et Été de l'année 2014-2015.

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F <sub>obs</sub>	P
Station	3	0,001159	0,000386	3,67	<b>0,022 *</b>
Saison	3	0,005285	0,001762	16,72	<b>0,000 ***</b>
Interaction station/saison	9	0,000556	0,000062	0,59	<b>0,798 NS</b>
Erreur résiduelle	32	0,003372	0,000105		
Totale	47	0,010372			

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



# *DISCUSSION*

#### **4- DISCUSSION :**

Durant ces dernières années, l'Algérie a connu un développement croissant et sans cesse des activités socioéconomiques, liées aux domaines de l'urbanisme, l'agriculture, l'industrie et le tourisme, accompagné par une dégradation de son milieu marin côtier ; ce résultat inévitable a été confirmé par plusieurs études au niveau de plusieurs localités le long de notre frange littorale (Abdenour *et al.*, 2000 ; Boutefnouchet *et al.*, 2005 ; Yoshida *et al.*, 2007 ; Bordjiba *et al.*, 2009 ; Bensahla *et al.*, 2014 ; Krachai & Hadjel, 2016). La ville de Skikda est parmi les grandes villes du pays soumises à la pollution, dont les principales sources sont les eaux usées évacuées par les différentes unités du complexe pétrochimique, en plus des rejets domestiques et hospitaliers d'une grande population, les rejets des ports et ceux de l'agriculture, qui finissent par se retrouver dans la mer soit directement, ou encore par l'intermédiaire des réseaux hydriques (Bordjiba *et al.*, 2009) qui vont déverser leurs contenus dans ce milieu récepteur ; ces faits sont démontrés par la littérature qui signale de fortes concentrations en polluants (métaux et hydrocarbures) (Kehal *et al.*, 2004 ; Mézédjri *et al.*, 2008 ; Maatallah *et al.*, 2013 ; Gueddah & Djebbar, 2014 ; Gueddah *et al.*, 2014 ; Meghlaoui *et al.*, 2015 a).

Notre étude vise à étudier d'une part, l'impact de la pollution sur la qualité du milieu en passant par la biodiversité des quatre stations situées au niveau de Collo et Skikda, et d'autre part, sur la physiologie des deux espèces *P. cultrifera* et *P. macropus*, durant les mois allant de Septembre 2013 à Juin 2016 (selon le type d'analyse entretenue).

##### **4-1- Paramètres physico-chimiques de l'eau de mer :**

La qualité de l'eau de mer est influencée par des processus chimiques et biologiques, qui eux même peuvent être altérés par les apports anthropiques ; selon Rodier (1996), l'étude des écosystèmes marins se base sur la mesure des paramètres complémentaires physico-chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence de micro-organismes, confirmés par la littérature qu'ils influencent le fonctionnement des écosystèmes aquatiques.

La température de l'eau joue des rôles importants dans la modification des propriétés chimiques et physiques, ainsi que dans les réactions biologiques (Abboudi *et al.*, 2014), elle a une action sur la solubilité de l'oxygène mais aussi sur d'autres éléments, dans l'eau, elle est inversement proportionnelle avec la solubilité des gaz (Alger, 1992). Chez les Nereididae, la

température est un facteur déterminant de la reproduction, notamment la gamétogenèse (Olive *et al.*, 1998 ; Rouabah & Scaps, 2003 ; Lawrance & Some, 2010), elle contrôle aussi la croissance (Arias & Darke, 1995) et l'alimentation (Olive *et al.*, 1997).

L'examen des valeurs de la température enregistrées nous révèle d'une part, une tendance à augmenter à partir des deux saisons froides l'Automne et l'Hiver, d'abord durant le Printemps puis pendant l'Été ; d'autre part les valeurs relevées au niveau des deux stations de Skikda étaient hautement supérieures à celles de Collo, et ce, durant l'Été.

En revanche, la salinité est un facteur écologique très important qui peut limiter la distribution et la croissance des organismes marins, d'après la littérature, elle affecte le développement embryonnaire (Qiu & Qian, 1997), ainsi que l'abondance et la distribution des macro-algues benthiques (Kennish, 2002). Chez les Nereididae, la salinité a un effet sur la taille des œufs (Tosuji & Sato, 2006), ainsi que sur la fertilisation et le développement embryonnaire (Ushakova & Sarantchova, 2004), en outre, les effets des niveaux élevés de la salinité et la température se combinent pour favoriser la synchronisation de la métamorphose (Fong, 1991).

Les résultats de la salinité présentent une hausse des valeurs enregistrées au cours de l'Hiver et le Printemps, bien que, celles relevées à Tamanart étaient assez stables durant les trois premières saisons, avant d'enregistrer une importante élévation pendant l'Été.

Il est à noter que la température et la salinité représentent les plus importantes propriétés de l'eau de mer contrôlant sa densité (Wright & Colling, 1995), en outre, la température en combinaison avec la lumière en plus des nutriments de la surface d'eau constituent des éléments indispensables à la croissance du phytoplancton (Durrieu De Madron *et al.*, 2011).

Par ailleurs, l'oxygène dissout est l'un des paramètres déterminants de la structure et le fonctionnement des communautés benthiques, où la réduction de sa concentration au niveau de l'eau ainsi que l'organisme entraîne une importante perte de la biodiversité, suite à un état de stress sublétal (affecte les habitats, les processus métaboliques et physiologiques, d'où se manifestent la réduction de la croissance et la reproduction, et ainsi, la perturbation des cycles de vies) (Grall & Chauvaud, 2002 ; Vaquer-Sunyer & Duarte, 2008) ; des basses niveaux en oxygène affectent également les processus biogéochimiques ainsi que la concentration des

nutriments (Steckbauer *et al.*, 2011). Chez les Spionidae, Lamont & Gage (2000) indiquent une adaptation morphologique en réponse à la réduction des niveaux de l'oxygène dissout, qui consiste à une augmentation de la surface respiratoire (le nombre et la taille des branchies).

En ce qui concerne les données de l'oxygène dissout, on souligne de fortes et proches concentrations durant toutes les saisons pour les deux stations de Collo, comparativement à celles relevées au niveau des deux stations de Skikda, qui montrent une tendance très variable durant la période d'étude indiquant des concentrations très significativement inférieures durant l'Hiver à hautement significativement inférieures pendant le Printemps et l'Été.

Le pH exprime la nature du milieu en mesurant les ions  $H^+$  sur une échelle entre acide et base (0 à 14) ; il influence un grand nombre de processus biologiques et chimiques (Durrieu De Madron *et al.* (2011), et compte parmi les facteurs déterminants de la spéciation des éléments métalliques (Millero & Pierrot, 2002 ; Simpson *et al.*, 2005), ainsi, la forme de certains composés chimiques peut devenir toxique quand le pH dépasse certaines limites (Walker *et al.*, 2001) ; par ailleurs, le pouvoir tampon est représentatif de la capacité d'un système à maintenir une composition chimique constante (Sigg *et al.*, 2014). Chez les Serpulidae, une réduction des niveaux du pH affecte la calcification (au cours de la métamorphose) des larves, au même titre que la croissance des juvéniles (Lane *et al.*, 2013). Dans ce contexte, n'importe quel paramètre écologique en dépassant les limites de tolérance des larves représente un facteur de stress (Qiu & Qian, 1997).

Nos résultats relatifs au pH, enregistrent des valeurs indiquant un pH légèrement alcalin, légèrement supérieur au niveau des deux stations de Collo durant toute la période de l'étude à l'exception de l'Été, bien que les différences étaient statistiquement non significatives à l'exception de celles constatées au cours de l'Hiver.

Nos résultats vont dans le même sens que d'autres études menées au niveau de différentes localités du littoral Est Algérien, où le suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer montre l'existence des variations saisonnières suivantes : concernant la température deux grandes périodes thermiques ont été rapportées, l'une chaude correspondant au Printemps et l'Été, et l'autre froide pendant l'Automne et l'Hiver ; les valeurs de la salinité ont été minimales en Hiver, et maximales en Été ; en ce qui concerne l'oxygène dissout, les fortes teneurs ont été enregistrées en période froide, tandis que les faibles teneurs ont été constatées en période chaude ; les valeurs du pH ont révélé un milieu neutre à légèrement

alcalin ; ces observations ont été signalées au niveau du littoral de Skikda, Annaba, et El-Kala (Amira, 2007 ; Tayaa, 2007 ; Benchikh, 2009 ; Sifi, 2009 ; Gueddah, 2014 ; Younsi, 2014 ; Guemmouda, 2015 ; Meghlaoui, 2015 ; Snani, 2016).

La température et la salinité sont deux paramètres abiotiques qui présentent d'importantes variations en fonction de la période de l'année ; celles de la température sont en relation avec les conditions climatiques locales, notamment la température de l'air et le vent. D'après Wright & Colling (1995), la température de la surface de l'eau de mer varie en fonction de la saison, elle dépend de l'insolation, et détermine la quantité de la chaleur transférée à l'atmosphère ; alors que, celles de la salinité sont dues à la dilution ou bien à l'évaporation (Gibson, 1982 ; Kennish, 2002) ; au niveau du bassin occidental de la mer méditerranée, la température varie de 12-13 C° (Hiver) à 26 C° (Été) (Durrieu De Madron *et al.*, 2011), tandis que, la salinité est estimée de 37,4 g/Kg (Nacef *et al.*, 2016).

Ces deux paramètres influencent à leurs tours les niveaux en oxygène dissout, vu que sa concentration est en fonction de sa solubilité dans l'eau de mer (Chester, 1990), une bonne oxygénation de l'eau résulte d'une baisse de la température et de la salinité (Wilson, 1999) ; d'après la littérature, l'oxygène provient principalement des échanges avec l'atmosphère (Schulz & Zabel, 2006), ainsi que de l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques, à l'inverse, il est consommé par la faune et la flore, en plus des bactéries (chester, 1990), il est à noter que d'après les données de la littérature, une hypoxie est déterminée à une concentration  $\leq 2$  mg/l, bien que selon Steckbauer *et al* ( 2011) le seuil est plutôt de 3,5 mg/l.

En ce qui concerne le pH, Chester (1990) cite que sur une échelle de milliers d'années, ce sont les changements de l'équilibre entre le CO<sub>2</sub> dissout et les ions hydrogène (H<sup>+</sup>), bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et carbonates (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) qui représentent le principal système de régulation du pH de l'eau de mer, cet auteur souligne également que le pH est légèrement alcalin, indiquant une variation entre 7,5 à 8,4, découlant de la dissolution des minéraux de nature basique.

Ali & Soltan (1996) ont signalé une augmentation de température de l'eau, une diminution de l'oxygène dissout et un pH neutre, de l'eau des sites pollués du fleuve Nil, ils ont également affirmé que l'augmentation de température de l'eau peut être responsable de la réduction des concentrations d'oxygène dissout ; de même, Douhri & Sayah (2009) confirment que la diminution de l'oxygène dissout prouve une contamination significative

organique (hydrocarbures) et inorganique (métaux lourds) ; en outre, le pH est inversement proportionnelle avec la concentration en CO<sub>2</sub>, ainsi, sa baisse est associée à la production du CO<sub>2</sub> (Beniash *et al.*, 2010, Durrieu De Madron *et al.*, 2011) ; d'après Millero (2013), au niveau des eaux fermées, les valeurs du pH peuvent montrer une variation diurne, où on constate une élévation qui s'affiche en relation avec la photosynthèse (l'après-midi), et l'inverse lors de la respiration des organismes (le soir).

Récemment, Durrieu De Madron *et al* (2011) soulignent l'état actuel des réponses de la mer méditerranée par rapport au changement climatique ainsi qu'à la pression anthropique, entre autre, les niveaux élevés de la température (particulièrement au niveau du bassin Est) en plus de ceux de la salinité, accompagnées par une réduction des apports en eau douce, avec comme une des causes de cette situation la modification des échanges de la chaleur au sein du régime océan-atmosphère lié à son tour au réchauffement climatique ainsi que, la diminution du pH causée par les teneurs élevées du CO<sub>2</sub> émis dans l'atmosphère ; en ce qui concerne l'oxygène dissout, selon Tanhua *et al* (2013), la mer méditerranée est bien oxygénée malgré la variation significative de la distribution de ces concentrations entre ses deux bassins, et ce, en relation avec les propriétés de cette mer, notamment une rapide ventilation, une basse production des eaux de nature oligotrophique, et ainsi, un faible taux de consommation d'oxygène.

En se basant sur les informations fournis sur la mer méditerranée par Durrieu De Madron *et al* (2011), on a essayé de résumer certains effets engendrés par ces changements des paramètres physico-chimiques : les fortes températures sont susceptibles d'avoir un impact sévère sur le cycle général du carbone, et ce, à cause des changements de sa solubilité, en outre, elles sont responsables également de la modification des habitats et par conséquent de la distribution des espèces, et engendrent la diminution des niveaux des nutriments manifestant ainsi une réduction de la productivité primaire, en plus d'une élongation de la saison de croissance du phytoplancton ; des niveaux élevés de la salinité de la mer méditerranée sont accompagnés par des niveaux élevés de l'alcalinité, cette dernière plus importante comparativement à celle au niveau des océans est reliée théoriquement à une absorption plus importante du CO<sub>2</sub> anthropogénique ; l'oxygène issu de la production primaire est dépendant de la température et le phénomène de l'acidification, ces deux facteurs de stress causent la dégradation des espèces productrices comme les Corallinaceae, par ailleurs, au même titre que la température, des teneurs élevées en CO<sub>2</sub> vont diminuer la disponibilité de

l'O<sub>2</sub> ; une réduction du pH affecte la physiologie et le métabolisme des organismes aquatiques via la perturbation des mécanismes de transport cellulaire, en plus, elle inverse le système carbonate (tampon) en faveur du CO<sub>2</sub> solubles dans l'eau au détriment du CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, cela va avoir d'une part, un effet bénéfique sur les producteurs primaires (élévation du CO<sub>2</sub>), d'autre part, un effet inverse sur les organismes ayant un squelette calcifié (réduction du CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>).

#### **4-2- Paramètres physico-chimiques du sédiment :**

Le sédiment est un compartiment intégral de l'écosystème aquatique, il sert d'habitat et de source de nourriture (Ireland & Ho, 2005) pour de nombreuses espèces écologiquement et économiquement importantes ; cependant, il constitue un réservoir ainsi qu'une source de polluants (Barron, 2002 ; Newman & Watling, 2007 ; Effendi *et al.*, 2016), ce qui peut engendrer des effets néfastes sur la qualité du milieu (physique, chimique et biologique) si des changements physico-chimiques conduisent à accroître la biodisponibilité de ces polluants ; d'après Simpson *et al* (2005) plusieurs paramètres qui influencent sa qualité sont très importants à évaluer, entre autre la classification des grains selon leur taille en différentes classes de dimensions, le pH et la charge en contaminants.

Nos résultats relatifs à la détermination des différentes classes granulométriques caractérisant le sédiment de surface prélevé des trois stations, nous renseignent d'une part, sur la texture du sédiment de nature sableuse, d'autre part, sur les fluctuations spatiotemporelles des pourcentages correspondants à chaque classe :

À Ben Zouit, la fraction dominante était celle du sable grossier durant les quatre saisons ; à Tamanart les deux fractions sable fin et moyen codominent durant l'Automne ainsi que l'Hiver, alors que, pendant le Printemps et l'Été c'est plutôt la fraction sable moyen qui est la plus représentative ; à Bikini, on constate la codominance du sable fin et moyen pendant l'Automne, cependant au cours de l'Hiver en plus du Printemps et l'Été, on remarque les forts pourcentages du sable moyen et grossier respectivement.

En revanche, certaines classes étaient totalement absentes durant toute la période d'étude (cas du pélite pour Ben Zouit et Bikini, en plus de celle du sable très fin pour Ben Zouit) ; il est également à noter, que seule la variation saisonnière de la fraction sable grossier était hautement significativement supérieure au niveau de Ben Zouit et Bikini

comparativement à Tamanart, ce qui va en pair avec les données relatives à la médiane D(0,5) présentant plutôt une différence très significative entre ces trois stations.

D'après ces résultats, il ressort que le sédiment de chaque station est composé d'un mélange dans des proportions variables des différentes fractions granulométriques (présentes), et ce, en fonction de la station ainsi que la saison considérée, responsables de son aspect hétérogène, ainsi, le sédiment au niveau de Ben Zouit est constitué essentiellement d'un sable grossier comparativement à celui au niveau de bikini qui est plutôt composé d'un sable moyen à grossier, tandis que, le sédiment au niveau de Tamanart est en position intermédiaire et constitué d'un sable fin à moyen.

Ces résultats sont cohérents avec ceux de Grimes (2010) qui a décrit la nature du sédiment des plages de Skikda s'étendant au fond des baies d'une largeur de quelques mètres à quelques dizaines de mètres, comme presque exclusivement sableuses avec des sables fins, des sables envasés, des vases sableuses, des sables et graviers, et des vases pures, au même titre que ceux de Guemmouda (2015), qui a confirmé la nature sableuse avec dominance du sable grossier, au niveau d'El-Kala, Annaba et Collo, bien que, ce même auteur a signalé une nature sablo-limoneuse du sédiment prélevé à partir de Skikda.

Le sédiment constitue une collection de particules « les grains de sédiments » qui sont étroitement comblées et consolidés sous une pression lithostatique croissante, les vides entre les grains « les pores » sont occupés par l'eau « eau interstitielle » (Breitzke, 2006) ; il provient du dépôt des matériaux particuliers qui constituent des produits de dégradations mécaniques, chimiques et biologiques qui sont transportés par l'eau jusqu'à ce qu'ils se déposent par sédimentation (Rodier, 1996) ; le sédiment comprend deux fractions, celle organique (vivante et inerte), et celle minérale complexe, et essentiellement caractérisé par sa granulométrie et sa composition chimique hétérogènes (Rodier, 1996 ; Simpson *et al.*, 2005 ; Amirad & Amirad-Triquet, 2015).

Les variations saisonnières enregistrées peuvent être expliquées par le fait que les textures du sédiment sont déterminées en fonction des tailles granulométriques des différents composants minéraux présents, celui marin est généralement classées en sable, limon et argile, ainsi selon leurs proportions, la texture peut être qualifiée de sableuse, limoneuse ou argileuse ; cela est soutenu par (Breitzke, 2006) qui indique que les propriétés physiques du sédiment marin dépendent des propriétés et de l'agencement de ces constituants solides et

fluides ; en revanche, le sédiment présente une importante hétérogénéité spatiale en relation avec l'hydrodynamisme (Amirad & Amirad-Triquet, 2015).

Les valeurs du pH du sédiment montrent globalement des valeurs très proches entre les trois stations confirmant sa nature légèrement neutre à légèrement basique, et ce durant la période d'étude à l'exception de celles enregistrées au cours du Printemps très hautement significativement inférieures au niveau de Bikini.

Le pH du sédiment compte parmi plusieurs facteurs de stress indirects qui influencent la chimie de ce compartiment et par conséquent la biodisponibilité des contaminants (Simpson *et al.*, 2005), d'après Bonnet (2000), le pH est en relation avec les activités biologiques et dépend de la capacité tampon du système, la réduction du sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) en sulfure (S) entraîne l'augmentation du pH, tandis que, la dénitrification (réduction des nitrates ( $\text{NO}_3$ ) en azote ( $\text{N}_2$ )) provoque sa diminution ; une baisse du pH dans le milieu ambiant peuvent libérer les métaux associés aux sédiments, leur biodisponibilité augmente alors (Walker *et al.*, 2001), et ils deviennent plus susceptibles d'être toxiques pour les organismes benthiques.

#### **4-3- Évaluation du niveau de contamination par les ETM :**

Les éléments de nature métalliques sont naturellement présents dans la croûte terrestre (Walker *et al.*, 2001) et ne sont ni créés ni détruits par les activités humaines, et donc ne sont pas sujet à la biodégradation, mais ils peuvent subir des transformations réversibles dans l'environnement naturel (Campbell & Couillard, 2004) ; cependant, le cumul des apports anthropiques a augmenté leurs teneurs naturelles (Kennish, 2002), en effet, les contaminants rejetés dans l'environnement finissent par se retrouver dans le milieu marin, et engendrent des risques de contamination de ses différents compartiments, à savoir la colonne d'eau, le sédiment, et les organismes qu'il héberge, en plus de leur transfert dans la chaîne alimentaire.

L'évaluation des concentrations en ETM est un paramètre important pour toute étude sur l'estimation de la contamination locale en éléments métalliques toxiques (Rainbow, 2006), ainsi, l'analyse des éléments chimiques a été effectuée sur les échantillons de l'eau de mer et du sédiment.

L'observation des données révèle une composition élémentaire homogène de l'eau de mer prélevée de Ben Zouit et Tamanart à Collo, l'Îlot et Bikini à Skikda ; on signale l'absence du **Fe** au niveau des deux stations de Collo, et ainsi la détection de 12 et 13 éléments chimiques de nature différente, dont 09 éléments métalliques parmi lesquelles 02 sont des ETM (**Sr**, **Pd**), tous ces éléments sont non toxiques à l'exception du **Pd** (plutôt très toxique).

Toutefois, concernant les teneurs des différents éléments on remarque certaines variations en fonction de la station considérée ; les teneurs en éléments majeurs caractéristiques de l'eau de mer notamment en **Cl** et **Na** étaient très élevées (à l'exception de Bikini), comparativement à celles moins élevées des autres éléments métalliques qui restent, en plus de celles des 02 ETM en état de trace ; en comparant les concentrations en éléments chimiques entre les quatre stations, on souligne des valeurs enregistrées à Collo toujours supérieures à celles relevées à Skikda à l'exception des 02 ETM et du **Fe** ; de même, la même remarque a été mise en évidence concernant Ben Zouit et Tamanart en faveur de cette dernière station à l'exception du **Na** et **Cl**.

L'analyse de la composition de l'eau de mer vise l'identification de la nature et la concentration de ses différents constituants normaux, dont la présence et la répartition sont relativement homogènes dans les mers (Rodier, 1996) ; bien qu'elle soit plus compliquée que la simple présence d'ions dissouts dans l'eau, elle consiste plutôt à un mélange complexe subdivisé en 4 phases , à savoir les solutés, les colloïdes (< 45 µm), et les solides (> 45 µm) qui peuvent être de nature organiques ou inorganiques, ainsi que les gaz (Kennish, 2002) ; en outre, ces analyses concernent la mise en évidence de nouveaux composés étrangers au milieu marin, et surtout des modifications d'origine anthropique de sa composition normale (Rodier, 1996).

La minéralogie des quatre stations est d'une part comparable à celle montrée par Kennish (2002), qui indique des éléments sous forme d'ions, dont les plus abondants en masse sont le chlore (**Cl**), le sodium (**Na<sup>+</sup>**), le sulfate (**SO<sub>4</sub>**) et le magnésium (**Mg<sup>+2</sup>**) ; ces éléments majeurs en plus du calcium (**Ca<sup>+2</sup>**) et potassium (**K<sup>+</sup>**) constituent plus de 99% d'ions dissouts ; d'autre part, elle est contradictoire avec des travaux antérieurs sur la qualité de l'eau de mer de Skikda, qui ont mis en évidence la présence de certains éléments non détectés dans nos résultats, à savoir le **Mn**, **Ni**, **Cu**, **Zn**, **Cd**, **Hg** et **Pb** (Mézédjri *et al.*, 2008 ; Gueddah *et al.*, 2014 ; Maatallah *et al.*, 2013) ; en plus, concernant la teneur en **Fe** à Bikini, nos résultats sont inférieurs à celles reportées par ces études qui confirment une pollution métallique ; une

plus ancienne étude similaire souligne une pollution métallique (**Cd**, **Pb** et **Hg**) non alarmante, ainsi qu'une augmentation des concentrations en ses éléments enregistrées entre les années 1990, 1991 et 2003 attribuée à l'augmentation d'une part, des activités des différentes unités du complexe pétrochimique, d'autre part, de la population autour de la baie de Skikda (Kehal *et al.*, 2004) ; il est également à citer que la pollution métallique de l'eau de mer semble être diffuse le long du littoral Algérien, notamment à Mostaganem (Bensahla *et al.*, 2014), et Oran (Krachai & Hadjel, 2016).

Les résultats relatifs à la composition élémentaire du sédiment prélevé au niveau des trois stations : Ben Zouit et Tamanart à Collo, Bikini à Skikda, mettent en évidence un aspect homogène bien que certains éléments ont été absents en fonction de la station ; en conséquence, on a pu détecter 26 éléments à Ben Zouit, et 25 à Tamanart ainsi que Bikini, parmi lesquelles 24 sont de nature métallique y compris 16 ETM, présentant différents niveaux de toxicité et disponibilité ; les concentrations les plus élevées ont été remarquées pour l'élément majeur **Si** suivie par cinq autres éléments de cette catégorie présentant des concentrations très élevées, contre des concentrations comparativement plus faibles voire même très faibles concernant les autres éléments qui restent.

En comparant la charge du sédiment en éléments chimiques entre les trois stations, en fonction de leur niveau de toxicité, on peut affirmer différentes constatations :

Des teneurs en éléments majeurs métalliques non toxiques **Na**, **K**, **Ca** et **Ti** ainsi qu'en S (élément non métallique) enregistrées au niveau des deux stations de Collo inférieurs à celles relevées à Bikini, tandis que, l'inverse a été également signalé pour le **Si** et **Fe** ; cependant, pour le P, Cl, **Mg** et **Al**, les concentrations enregistrées à Bikini étaient intermédiaires entre les deux stations de Collo. En ce qui concerne les ETM non toxiques, des fortes teneurs ont été enregistrées au niveau des deux stations de Collo par rapport à Bikini (**Mn**) ; cependant, l'inverse pour les autres qui restent (**Rb**, **Sr**).

Des teneurs élevées en ETM très toxiques affichées au niveau des deux stations de Collo comparativement à Bikini (**Cr**, en plus du **Zn**), bien que, pour l'**As** on constate la même concentration à Bikini et Tamanart, supérieure à celle de Ben Zouit, et l'inverse pour le **Pb** enregistrant la même teneur à Bikini et Tamanart inférieure à celle trouvée à Ben Zouit.

Pour les ETM toxiques, on souligne la même teneur en **Ga**, en plus de celle très proche en **Zr** au niveau des trois stations, et celle du **Re** au niveau de Ben Zouit et Bikini.

Les mêmes teneurs pour les 02 ETM **V** et **Y** (non classés) au niveau des trois stations (**V** est absent à Bikini).

D'après ces données, d'une part l'analyse qualitative a mis en évidence la présence de plusieurs éléments absents au niveau de l'eau de mer, au contraire, elle a révélé l'absence de l'ETM **Pd** (détecté dans l'eau de mer), en plus, tous les éléments qui ont été détectés sont présents au niveau de la croûte terrestre ; d'autre part, l'analyse quantitative nous indique que le **Si** est l'élément le plus abondant au niveau des trois stations, en plus des différences remarquables entre la composition en éléments qui restent ; nos données soulignent également des concentrations plus élevées voir même très élevées au niveau du sédiment comparativement à celles mesurées au niveau de l'eau de mer (**Al, Si, P, Cl, K, Ca, Fe et Sr**), quoique, l'inverse a été observé concernant les teneurs en S et Br, de même, cette dernière remarque a été enregistrée pour le **Na** (les deux stations de Collo), et **Mg** (Ben Zouit et Bikini).

Nos résultats nous indiquent alors l'absence au niveau de ces deux compartiments des éléments chimiques artificiels (qui n'existent pas à l'état naturel) ; elles vont dans le même sens que les données indiqués par Wedepohl (1995) affirmant que le **Si** est le deuxième élément le plus abondant (28,8%) de la croûte terrestre après l'O<sub>2</sub> (47,2%), suivie par les éléments suivants dans un ordre décroissant : **Al** (7,96%) > **Fe** (4,32%) > **Ca** (3,85%) > **Na** (2,36%) > **Mg** (2,20%) > **K** (2,14%) ; en revanche, selon Tessier (2012), le **Si** est un élément constitutif du quartz représentant majoritaire du sable, alors que, l'**Al** ainsi que le **K** et le **Ti** sont des composants représentatifs des argiles.

Elles sont également en accord avec la littérature qui confirme les très faibles teneurs au niveau de l'eau (comparativement au sédiment) ; dans cette optique, Amirad & Amirad-Triquet (2015) indiquent que les très faibles concentrations de l'eau en micropolluants sont difficiles à être détectés, et présentent le risque d'une contamination secondaire lors de la manipulation des échantillons, ce qui justifie probablement la présence du **Pd** en état de trace au niveau de l'eau de mer, tandis qu'il n'a pas été détecté au niveau du sédiment ; Effendi *et al* (2016) soulignent que le **Zn** se trouve en traces au niveau des eaux de surface et souterraines non polluées ; d'autres auteurs soulignent qu'un apport à long terme en

contaminants conduit à des concentrations au niveau du sédiment pouvant dépasser celles trouvées au niveau de l'eau, en raison de leurs spéciations au niveau du sédiment « sediment-binding sites » contrôlée elle-même par plusieurs mécanismes (Kennish, 2002 ; Barron, 2002) ; en outre, d'après Walker *et al* (2001) suite à la libération des polluants dans les eaux de surface en mouvement, ces éléments vont être dilués et dégradés ; à l'inverse, les éléments métalliques peuvent être remobilisés et libérés du sédiment vers la colonne d'eau sous-jacente sous action des processus naturels ou perturbations anthropiques (bioturbation, dredging) (Newman & Watling, 2007), ce qui est susceptible d'expliquer les teneurs plus élevées en certains éléments au niveau de l'eau de mer ; quant aux différences enregistrées en concentrations des différents éléments détectés au niveau du sédiment, elles sont principalement influencées par les différences de la minéralogie, la granulométrie et la concentration en matière organique.

D'après les données de Lin *et al* (2012), on peut déduire que la forme chimique sous laquelle les éléments métalliques sont présents est susceptible d'être responsable d'une grande variation spatiale de leurs teneurs ; également, la granulométrie est un facteur responsable de faire varier les concentrations d'un sédiment en éléments métalliques, et ce, selon les données de plusieurs travaux qui ont montrés une corrélation inverse entre la teneur en éléments métalliques et la taille des particules du sédiment (Rubio *et al.*, 2000 ; Rumisha *et al.*, 2012), la grande affinité que présentent ces éléments pour les sédiments fins a été expliquée par le fait qu'à masse égale, la surface disponible pour adsorber des métaux est plus importante pour des particules fines que pour les grossières, avec un rapport surface/masse plus élevé, en revanche, les fines particules sont très chargées négativement, ce qui représente une caractéristique très importante considérant que la plus part des éléments métalliques sous formes libres sont positivement chargés (Newman & Watling, 2007) ; en plus, ces relations sont encore renforcées par l'accumulation commune de la matière organique (MO), Amirad & Amirad-Triquet (2015) indiquent que les fines particules contiennent les plus haut niveaux en MO, notamment le carbone organique total (TOC), présentant alors une surface supplémentaire pour l'adsorption (Newman & Watling, 2007).

Dans ce contexte, les éléments métalliques évalués par Rubio *et al* (2000) ont montré des corrélations positivement significatives avec la MO, et la fraction des particules les plus fines, avec des teneurs beaucoup plus élevées au niveau de la vase que celles au niveau du sédiment sableux allant de cinq à sept fois plus (dans le cas d'**Al**, **Fe**, **Ti**, **Cu** et **Zn**),

également, Soon *et al* (2016) indiquent que le **V, Mn, Zn, Rb, Sr, Cr, Ni, Li, Fe** et **Al**, parmi lesquels le **Zn, Rb, Cr, Ni** et **Li** en plus du **Pb** ont été positivement corrélés avec la teneur en matière organique, ainsi que celle en argile-limon du sédiment.

D'une part, la comparaison de nos résultats relatifs aux teneurs en éléments métalliques au niveau du sédiment avec les études antérieures sur la région de Skikda est limitée aux éléments analysés par ces travaux ; elle montre premièrement, des concentrations en **Zn, Cu, Fe** et **Pb** largement inférieures à celles relevées par Guemouda (2015) qui a déterminé des niveaux de contamination métallique mineurs à El Morgène et Ain Doula comparativement à la Vieille Calle et Ain Oum Laksab qui sont à leur tour inférieurs à Oued Saf Saf, Saint cloud et Bikini ; également, Gueddah & Djebbar (2014) indiquent des teneurs très élevées en ces éléments précédents en plus de celles en **Mn, Ni** et **Cr** au niveau de la majorité des stations étudiées ; en ce qui concerne les autres régions du littoral Algérien, Ouali (2006) indique à son tour la même constatation pour tous ces différents éléments précédents au niveau d'Annaba, au même titre que Krachai & Hadjel (2016) montrant une pollution en **Fe, Zn, Cu, Cd** et **Pb** à Oran, ainsi que Allam *et al* (2016) concernant le **Fe, Cu, Ni** et **Pb** à l'exception du **Zn** à Tlemcen ; deuxièmement, ces comparaisons nous révèlent l'absence du **Cd** ainsi que le **Hg** indiqués par ces études et présentant différentes concentrations.

D'autre part, celle avec les études antérieures sur d'autres régions du globe, nous permettent d'inclure plus d'éléments chimiques à la comparaison ; ainsi, l'analyse de nos données comparativement avec ceux de six stations présentant différents types et degrés de contamination le long de la côte de Dar Es Salaam (Tanzanie) évalués par Rumisha *et al* (2012) nous révèle que concernant l'**Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V** et **Zn**, les concentrations en ces éléments étaient plus élevées que celles de nos résultats, sauf quelques exceptions pour certains éléments qui montrent parfois des teneurs proches pour certaines stations (**Al, As, Cr, Cu, Fe** et **Ni**), il est même à noter que, le **Ni** a montré également des niveaux inférieurs que ceux relevés par la présente étude pour la majorité des stations ; cependant, la comparaison avec les données évaluées au niveau de 10 stations de la baie de Marudu (Malysie) par Soon *et al* (2016) nous montrent des valeurs plus élevées voir même largement plus élevées en **Mn, Zn, As, Ti, V, Rb, Sr, Cu, Ni** et **Pb** que celles de nos résultats, bien que, l'inverse se révèle concernant le **Fe** et **Cr** (en plus de l'**As** au niveau d'une seule station), ainsi que des niveaux proches pour l'**Al**, ces auteurs indiquent que les teneurs en ces éléments étaient inférieures aux

valeurs références (selon les normes) à l'exception du **Mn**, **Zn**, **Rb**, **Ni** et **Al**, qui ont été plutôt supérieurs, en plus du **Cu** beaucoup plus supérieur.

L'évaluation de la teneur en éléments métalliques peut nous renseigner sur la contamination du milieu, cependant, elle ne fournit pas d'indication sur la nature et l'intensité de cette contamination ; le facteur d'enrichissement et l'indice de géoaccumulation ont été largement employés pour distinguer les apports anthropiques des sources naturelles, ainsi que l'estimation de l'intensité de la contamination anthropique (Yongming *et al.*, 2006 ; Rumisha *et al.*, 2012 ; Awadh *et al.*, 2015 ; Wu *et al.*, 2016) ; d'après la littérature, un facteur d'enrichissement proche de 1 indique une origine naturelle (croûte terrestre), alors que s'il dépasse une valeur égale à 10, il indique une origine anthropique (Nolting *et al.*, 1996).

L'examen des données relatives au facteur d'enrichissement, met en évidence différentes remarques : d'abord, en ce qui concerne les éléments métalliques non toxiques, on constate une origine naturelle de ceux majeurs (**Na**, **Mg**, **Al**, **Si**, **Fe**), et ce pour les trois stations, au même titre que pour le **K** et **Ca** au niveau de Tamanart, toutefois, un enrichissement minimal à Ben Zouit, et modéré à Bikini a été observé pour ces deux derniers éléments ; en outre, concernant l'élément majeur toxique (**Ti**) on peut affirmer son origine naturelle au niveau des deux stations de Collo.

Outre, concernant les ETM non toxiques, on souligne l'origine naturelle du **Mn** (les trois stations), du **Rb** et **Sr** (Collo), qui présentent à Bikini un enrichissement modéré et un minimal respectivement ; pour les ETM très toxiques, on remarque un enrichissement minimal en **Cr** au niveau de Ben Zouit et Bikini, contre un enrichissement significatif en **Cr** et **Ni** à Tamanart, un enrichissement minimal en **Cu** et **Zn** à Ben Zouit, bien que, ce dernier élément présente plutôt une origine naturelle au niveau de Tamanart et Bikini, un enrichissement significatif en **As** avec un niveau plus élevé à Bikini comparativement aux deux stations de Collo, un enrichissement minimal en **Pb** à Ben Zouit et Bikini, contre une origine naturelle pour ce dernier à Tamanart ; en ce qui concerne les ETM toxiques, on constate une origine naturelle du **Ga** et **Zr** pour les trois Stations, en plus d'un enrichissement modéré en **Ba** à Bikini ; pour les ETM non classés, on note une origine naturelle du **V** et **Y** au niveau des deux stations de Collo, en plus d'un enrichissement minimal en ce dernier élément à Bikini.

D'une part, l'examen des valeurs du E.F des différents éléments, nous a permis, d'affirmer que le E.F du sédiment en éléments métalliques majeurs non toxiques, ainsi qu'en celui toxique (**Ti**), n'indique pas un enrichissement d'origine anthropique (E.F <10), et ce, pour toutes les stations y compris celle de Skikda ; cette même remarque concerne également les ETM des classes A et C, ainsi que ceux non classés (**V** et **Y**) ; cependant pour les ETM de la classe B, on note des exceptions en ce qui concerne le **Cr** à Tamanart, ainsi que l'**As** à Tamanart et Bikini ; d'autre part, l'examen des résultats relatifs à l'indice de géoaccumulation montre des valeurs <0, et ce, pour tous les éléments métalliques (majeurs et ETM), ainsi, on signale que les trois types de sédiment ne présentent pas une pollution métallique, cette contradiction rend difficile de conclure l'état de contamination de ces trois stations, ce qui nous semble être en relation avec le choix des valeurs références du fond géochimique ; Rubio *et al* (2000) ont indiqué que pour certains éléments métalliques l'Igéo correspond à la classe « 0 » en employant les valeurs références mondiales, tandis que pour les valeurs références régionales, cet indice des mêmes éléments indique une pollution modérée.

Au niveau des écosystèmes marins, les voies d'exposition des organismes marins aux contaminants sont multiples, elles peuvent se faire soit par l'intermédiaire du sédiment (forme particulaire), ou bien de la colonne d'eau (forme soluble) ; la contamination aura lieu suite au passage des composés soit à travers la barrière corporelle (tégument) et les voies respiratoires, soit par l'ingestion de particules sédimentaires ou alimentaires contaminées (Chen & Mayer, 1999 ; Barron, 2002) ; d'après Rainbow (2006), la mesure des concentrations des métaux en solution et/ou au niveau du sédiment est indispensable à l'évaluation des variations de la contamination locale en métaux dans l'espace et dans le temps, cependant, la mesure des métaux traces accumulés dans les organismes est une méthode alternative plus appropriée.

L'examen des résultats relatifs à l'analyse chimique des tissus des deux espèces *P. cultrifera* et *P. macropus* échantillonnées à partir des trois stations met en évidence l'absence de quelques éléments en fonction de l'espèce et la station considérées, permettant ainsi la détection de 21, 22 et 24 éléments chez *P. cultrifera* (à Ben Zouit, Tamanart et Bikini respectivement), et 24 éléments en ce qui concerne *P. macropus* (Ben Zouit) dont la majorité sont des éléments métalliques, parmi lesquels les ETM présentant différents niveaux de toxicité.

Les teneurs des différents éléments identifiés chez les deux espèces varient en fonction des stations, le plus abondant était le Cl, suivi par un groupe de quatre éléments (**Na**, **S**, **K**,

**Ca**), en plus du **Fe** (*P. cultrifera* récoltée de Bikini) présentant des concentrations largement supérieures comparativement à un autre groupe affichant des concentrations mineurs, à savoir le **Mg**, **Al**, **Si**, **P**, **Zn**, **Br**, en plus du **Ti** (*P. cultrifera* provenant de Bikini), le **Fe** (*P. cultrifera* et *P. macropus* provenant de Collo), et **Cs** (*P. cultrifera* provenant de Ben Zouit), en plus d'un dernier groupe de ceux qui restent présentant des concentrations très faibles voir même en traces.

En outre, la comparaison des concentrations en éléments chimiques détectés chez *P. cultrifera* en fonction de leur niveau de toxicité, met en évidence les investigations suivantes :

Des teneurs en éléments abondants, y compris ceux métalliques non toxiques plus élevées au niveau des deux stations de Collo comparativement à Bikini (**Na**, **S**, **Cl**, **Ca**), cependant, les concentrations enregistrées en **Fe** étaient plus importantes à Bikini que celles trouvées à Tamanart et Ben Zouit, outre, la concentration en **K** enregistrée à Bikini était intermédiaire entre celles trouvées Tamanart et Ben Zouit.

Des teneurs en éléments moins abondants métalliques et non toxiques supérieurs au niveau des deux stations de Collo comparativement à Bikini (**Mg** et **Sr**), contre celles en **Si** et **Mn** plus fortes à Bikini comparativement aux deux stations de Collo, outre, la même concentration en **Al** à Ben Zouit et Skikda supérieure à celle de Tamanart.

En ce qui concerne les éléments métalliques moins abondants et très toxiques, on constate une teneur plus élevée à Bikini suivie par Tamanart puis par Ben Zouit (**Cu**), une concentration plus forte à Ben Zouit comparativement à Bikini puis à Tamanart (**Zn**), une même concentration relevée à Ben Zouit et Bikini inférieure à celle de Tamanart (**As**), une même concentration signalée au niveau des trois stations (**Pb**). Alors que pour ceux métalliques moins abondants toxiques, on note des concentrations enregistrées à Skikda supérieures à celles trouvées à Tamanart puis à Ben Zouit (**Ti**, **Zr** et **Ba**).

Concernant le **Cs** (non classé), on enregistre une concentration plus forte au niveau de Ben Zouit comparativement à Tamanart et Bikini.

Cependant pour les éléments non métalliques qui restent on signale des teneurs enregistrées à Collo plus élevées que celles relevées à Bikini (**Br** et **P**), et l'inverse pour l'Eu.

En ce qui concerne la comparaison des teneurs en éléments chimiques détectés entre *P. cultrifera* et *P. macropus* provenant de Ben Zouit selon le niveau de toxicité on souligne les variations suivantes :

Des teneurs en éléments abondants y compris ceux métalliques non toxiques plus fortes chez *P. cultrifera* comparativement à *P. macropus* (**Na**, **S**, **Cl** et **Ca**), l'inverse a été également signalé où des concentrations enregistrées chez *P. macropus* étaient supérieures à celles mesurées chez *P. cultrifera* (**Fe** et **K**).

Des teneurs en éléments métalliques moins abondants non toxiques plus élevées chez *P. cultrifera* comparativement à *P. macropus* (**Mg**, **Sr**), plus élevées chez *P. macropus* comparativement à *P. cultrifera* (**Al**, **Si**), une même concentration chez les deux espèces (**Mn**). Des teneurs en éléments métalliques moins abondants très toxiques équivalentes chez les deux espèces (**Cu**, **Pb**), et plus élevées chez *P. cultrifera* comparativement à *P. macropus* (**Zn**, **As**). Des teneurs en éléments métalliques moins abondants toxiques plus fortes chez *P. macropus* comparativement à *P. cultrifera* (**Ti**, **Zr**, **Ba**), et l'inverse concernant le **Cs** (non classé).

Des teneurs en Br et P plus fortes chez *P. cultrifera* comparativement à *P. macropus*.

Au contraire de la croûte terrestre, la partie organique de la vie est constitué plutôt d'éléments non métalliques (Markert *et al.*, 2015 a), cependant, tous les organismes sont constitués de certains éléments métalliques qui sont indispensables à de faibles concentrations.

La comparaison de nos résultats avec ceux de Guemouda (2015), nous révèle d'une part, des teneurs en **Zn**, **Cu**, **Fe** et **Pb** chez *P. cultrifera* en provenance de toutes les stations y compris celles qui sont de références, très élevées comparativement à celles mesurées chez les deux espèces échantillonnées à partir de nos stations retenues, d'autre part, elle nous indique également en ce qui concerne nos échantillons, l'absence du **Cd** présentant d'après cet auteur les plus hautes concentrations chez les vers provenant de Saint cloud (Annaba), Oued Saf Saf et l'ancien port (Skikda) ; cependant, la comparaison de nos données avec celles de Palmer *et al* (2014) chez *P. helleri*, nous a permis de constater que concernant les teneurs en **Na**, **Mg**, **P**, **S**, **K**, **Ca**, **Zn**, **As** et **Sr**, elles ont été généralement plus élevées que celles évaluées au niveau de nos échantillons, bien que pour le **Ca**, elles ont été proches de celles relevées chez *P.*

*cultrifera* à Ben Zouit ; toutefois, on n'a pas noté une grande variabilité des concentrations en **Cr**, alors que pour le **Fe** plusieurs constatations peuvent être indiquées si notre comparaison vise plus particulièrement les concentrations enregistrées chez les mâles et les femelles de *P. helleri*, où ils ont montré des niveaux plus élevés comparativement à *P. cultrifera* provenant de Ben Zouit, contre ceux plus faibles à Bikini, ainsi que des valeurs proches concernant *P. cultrifera* et *P. macropus* échantillonnées de Tamanart et Ben Zouit respectivement ; il est à noter également l'absence du **Si**, **Cl**, **Br**, **Rb**, **Y**, **Zr**, **Pd**, **Cs** et **Eu** chez *P. helleri*, ainsi que la manque des données (imprécises) concernant l'**Al**, **Ti**, **Cu** et **Ba**, ce qui a rendu impossible d'évaluer leurs niveaux.

En revanche, Li *et al* (2016) mettent en évidence chez *P. aibuhitensis*, des teneurs en **Pb**, **Zn** et **Mn** très élevées que celles de nos échantillons, bien que ces deux derniers éléments présentent des valeurs proches à celles enregistrés chez *P. cultrifera* au niveau de Ben Zouit et Bikini respectivement, alors que l'inverse a été relevé pour le **Fe** à l'exception de *P. cultrifera* en provenance de Ben Zouit ; cependant, la concentration en **Cr** était proche de celle chez *P. cultrifera* (Tmanart) ; chez *Perinereis cultrifera*, Rettob *et al* (2015) indiquent une concentration en **Ca** très largement supérieure à celles de nos résultats, ainsi qu'une concentration très proche en **Fe** à celle relevée chez *P. cultrifera* en provenance de Ben Zouit ; concernant *N. diversicolor*, Frangipane *et al* (2005) confirment des valeurs élevées dans l'ordre suivant : **Pb** < **Cr** < **Mn** < **Cu** ; Berthet *et al* (2003) montrent des concentrations beaucoup plus élevées en **Cu** et **Zn** surtout au niveau des sites contaminés ; quant aux algues, plusieurs études indiquent des teneurs élevées en éléments métalliques évalués, et ce chez différentes espèces, entre autre *Ulva lactuca*, *Codium fragile*, *Jania rubens* et *Dictyota dichotoma* (Jijel), dans l'ordre de croissance suivant : **Cd** < **Cr** < **Pb** < **Cu** < **Zn** (Laib & Leghouchi, 2012), ainsi que, *Corallina officinalis* et *Ulva lactuca* (Tlemcen) dans l'ordre suivant : **Cd** < **Cu** < **Ni** < **Pb** < **Zn** < **Fe** (Allam *et al.*, 2016).

À l'issu de ces comparaisons, les fortes concentrations en **Na**, **Mg**, **P**, **S**, **K**, **Ca** et **Fe** sont en concordance avec les données de Palmer *et al* (2014) et Rettob *et al* (2015), ce qui nous laisse suggérer que le genre *Perinereis* est plus particulièrement très riche en ces éléments ; nos résultats vont dans le même sens que les données de Maret (2016) qui indique que chez l'être humain les éléments chimiques sont subdivisés en « bulk elements » (H, C, O, N, S), qui sont > 1Kg à l'exception du S (~100 g), en macrominéraux (**Na**, **K**, **Mg**, **Ca** en plus du P et Cl), qui sont à l'ordre du g à l'exception du **Ca** (~ 1,7 Kg), et en éléments traces (**Fe**,

**Zn, Mn, Cu, Co, Mo**, en plus du **Se** et **I**), qui sont à l'ordre du mg à l'exception du **Fe** et **Zn** (2-5 g) ; en outre, les teneurs en **Zn** et **Cu** sont en relation avec la nature de certaines parties de ces deux espèces, Brayn & Gibbs (1980) indiquent que les fortes concentrations en **Zn** représentent une caractéristique des mâchoires des Nereididae, ces parties du corps sont constituées également de teneurs significatives en **Fe** et **Mn** ; dans ce contexte, ces mêmes auteurs (1979) ont identifié pour quelques familles de Polychètes certains éléments métalliques caractéristiques de leurs mâchoires, notamment le **Cu** (Glyceridae), le **Ca** (Eunicidae) et le **Ca** et **Mg** (Nephtyidae), toutefois, ils affirment que l'analyse minéralogique des acicules a permis plutôt de déterminer de fortes concentrations en **Ca** et **Mg** ( le **Zn** était en concentrations mineures) ; de même, Gibbs & Brayn (1980) confirment que les concentrations en **Cu** et **Zn** mesurés au niveau du corps ainsi qu'au niveau des mâchoires sont constantes, et indépendantes de leurs teneurs dans l'environnement, bien que cela soit contradictoire avec Luoma & Bryan (1982) qui constatent une corrélation entre les concentrations en **Cu** au niveau du corps et celles présentes au niveau du milieu.

L'examen des résultats relatifs au facteur de bioaccumulation chez les deux espèces montre plusieurs constatations selon l'espèce et la station considérées :

D'une part, concernant *P. cultrifera*, les niveaux du BSAF des éléments métalliques abondants non toxiques traduisent une bioaccumulation pour le **Na** (les trois stations), **K** (Tamanart et Bikini), et **Ca** (Tamanart) ; toutefois concernant les éléments métalliques moins abondants et non toxiques, une bioaccumulation a été observée uniquement pour le **Mg** (Ben Zouit), ainsi que pour le **Sr** (Tamanart).

Pour les éléments métalliques moins abondants et très toxiques on constate une bioaccumulation pour le **Cu**, **Zn** et **As** (les trois stations à l'exception de **Cu**), le BSAF du **Zn** enregistré à Bikini était plus élevée que celui relevée à Collo, l'inverse a été relevé pour l'**As**. Le BSAF des éléments métalliques moins abondants et toxiques met en évidence une bioaccumulation uniquement pour le **Zr** (Bikini) ; au même titre que le **Y** non classé (Bikini).

D'autre part, concernant *P. macropus* les valeurs du BSAF calculées pour les éléments métalliques abondants non toxiques mettent en évidence une bioaccumulation pour le **Na**, et **K** uniquement (moins importante pour le **Na** comparativement à *P. cultrifera*) ; toutefois, pour les éléments métalliques moins abondants et non toxiques, seul le **Mg** affiche une bioaccumulation moins importante comparativement à *P. cultrifera*. Cependant, pour les

éléments métalliques moins abondants et très toxiques, on note clairement le même niveau de bioaccumulation du **Cu**, en plus d'une bioaccumulation du **Zn** et **As** plus importante chez *P. cultrifera*. En revanche, le BSAF calculé pour les éléments métalliques toxiques indique une bioaccumulation uniquement pour le **Zr**.

Dans ce contexte, on peut souligner, une bioaccumulation des mêmes éléments métalliques (**Na**, **K**, **Cu**, **Zn**, **As**) chez les deux espèces échantillonnées à partir des trois stations, cependant, pour les autres éléments, on assiste à une bioaccumulation pour certains et l'inverse pour d'autres, et ce, en fonction de la station et l'espèce considérées ; en outre, le niveau de bioaccumulation de tous ces éléments paraît différent.

D'après la littérature, la bioaccumulation des métaux essentiels est un processus naturel (Campbell & Couillard, 2004) exigé par tous les organismes vivants afin de satisfaire leurs fonctions vitales (Markert *et al.*, 2015 a ; Markert *et al.*, 2015 b ; Maret, 2016), ainsi, plusieurs disciplines s'intéressent à l'identification des fonctions physiologiques attribuées aux différents éléments chimiques constituant les organismes (animaux, végétaux), au même titre que leurs caractères toxiques (chronique, aigue), et c'est dans ce contexte que Markert (1994) a proposé un système biologique des éléments chimiques (BSE) basé plutôt sur des aspects biochimiques et physiologiques que sur ceux purement physico-chimiques ; plus récemment, Markert *et al* (2015 a) ont résumé les éléments essentiels chez les plantes en : éléments de structure (C, H, O, N, P, **Si** et **Ca**) contribuant à la construction des molécules de bases nécessaires au métabolisme cellulaire, ou bien qui procurent le support et la rigidité (**Ca** et **Si**) ; éléments électrolytiques (**K**, **Na**, **Ca**, Cl, **Mg**) responsables du maintien d'un ratio osmotique bien définie pour le métabolisme cellulaire ; éléments enzymatiques (**V**, **Cr**, **Mo**, **Mn**, **Fe**, **Co**, **Ni**, **Cu**, **Zn**, **B**, **Sn**, **Se**, **F**) sont essentiellement des ions métalliques ayant une fonction catalytique (métabolisme cellulaire), d'autres éléments jusqu'à présent sans fonctions physiologiques prouvée.

En revanche, il faut distinguer d'une part, les éléments essentiels à la survie, de ceux qui ont plutôt des fonctions limitées considérées comme bénéfiques à la santé, d'autre part, les éléments essentiels à toutes les espèces vivantes, de ceux essentiels à un grand nombre d'espèces vivantes, et ceux essentiels à uniquement quelques espèces vivantes (Maret, 2016) ; ainsi, le **Na** a été décrit comme élément de l'information (excitabilité des neurones, et la conduction de l'influx nerveux), le **Zn** comme essentiels à tous les organismes vivants, le **Cd** comme fonctionnel pour juste quelques enzymes (ion alternatif remplaçant le **Zn** ou **Co** pour

la carboanhydrases), le **Hg** comme un poison, et le **Sr** comme essentiel à la croissance et la reproduction du corail, en plus du **Rb**, **Sr**, **Ba**, **Ti** et **Al** supposés d'avoir des fonctions essentiels/bénéfiques ; également, le **V**, **Sn** et **Se** sont essentiels uniquement aux animaux, à l'inverse, le **B** est essentiel uniquement aux végétaux, tandis qu'un grand nombre d'éléments est essentiel aux animaux au même titre que les végétaux (**H**, **C**, **N**, **O**, **Na**, **Mg**, **Si**, **P**, **S**, **Cl**, **K**, **Ca**, **Cr**, **Mn**, **Fe**, **Co**, **Cu**, **Zn**, **Mo**) (Markert *et al.*, 2015 a ; Markert *et al.*, 2015 b).

D'après Volpi Ghirardini *et al* (1999), même si les concentrations en **Zn** au niveau des tissus sont supérieures par rapport au sédiment, cela ne correspond pas à une nette bioaccumulation, mais plutôt au besoin physiologique de son rôle fondamental dans la construction des mâchoires ; ainsi, concernant nos résultats, la bioaccumulation indiquée chez les deux espèces pour le **Na**, **Mg**, **K**, **Ca**, **Cu** et **Zn** nous semble naturelle, et en relation avec leur composition biochimique, ainsi qu'aux fonctions physiologiques attribuées à ces éléments considérés comme essentiels ; cependant, l'**As**, **Y**, **Sr** et **Zr** n'ont aucune fonction biologique, à l'exception du **Sr** nécessaire à la croissance et la reproduction chez le corail pierreux (Markert *et al.*, 2015 a) laissant ainsi suggérer que c'est l'exposition des vers à ses éléments qui est à l'origine de leur bioaccumulation ; en ce qui concerne l'**As**, nos résultats relatifs au E.F ont bien montré ses niveaux d'enrichissement significatifs pour les trois stations, toutefois, lier ses niveaux du BSAF chez les deux espèces avec ceux du E.F au niveau des stations correspondantes ne nous révèle pas une corrélation avec ces teneurs au niveau du sédiment, mettant ainsi en évidence les effets des facteurs abiotiques pouvant contrôler la biodisponibilité des éléments métalliques, ainsi que la contribution de leurs transferts via l'alimentation, sans oublier les différences en ce qui concerne les capacités de détoxification des éléments métalliques.

Ces données sont en accord avec celles de Waring & Maher (2005) qui n'ont pas attribué une telle situation uniquement au niveau de la concentration en **As** au niveau du sédiment, mais également à d'autres facteurs extrinsèques au même titre que ceux intrinsèques, entre autre, ceux physico-chimiques (température, salinité, oxygène dissout, pH, potentiel redox, teneurs en MO, spéciations et compétition avec d'autres éléments...) et physiologiques (préférences du régime alimentaire, détoxification) pouvant contrôler sa bioaccumulation ; ce qui va en pair avec Barron (2002) qui indique que la biodisponibilité des contaminants associés au sédiment par rapport aux organismes aquatiques est en fonction de

l'exposition et l'absorption, elles même déterminées par les interactions physiques/chimiques entre les contaminants et les constituants du sédiment, ainsi que par les processus biologiques.

Cela peut également nous expliquer la variabilité que présentent les niveaux de la bioaccumulation qui paraît différente chez les deux espèces, une telle variation a été signalée par Palmer *et al* (2014) montrant que les petits individus présentent des niveaux plus élevés en **Na** et **Zn** que ceux enregistrés chez les plus grands ; en outre, les femelles à leur tour sont plus riches en **Ca**, **Mg**, **K** et **S** que les mâles ; Rouhi *et al* (2007) indiquent une variabilité de la bioaccumulation en fonction de la saison et de l'espèce considérée, tout en confirmant que le **Cd**, **Zn**, **Cr** et à moindre degré le **Cu** ont été préférentiellement accumulés par *S. alveolata*, contre le **Fe**, **Al** et **Mn** par *A. grubii* ; chez les algues, Allam *et al* (2016) indiquent que le **Zn** est facilement bioaccumulé chez *Corallina officinalis* comparativement à *Ulva lactuca* ; Laib & Leghouchi (2012) ont mis en évidence divers degrés d'accumulation (en fonction de l'espèce) influencés par plusieurs facteurs, entre autre la charge des contaminants et le temps d'exposition.

D'après Barron (2002), les interactions entre les différents processus biogéochimiques peuvent affecter la toxicité d'un métal en : modifiant directement sa biodisponibilité et indirectement en modifiant la sensibilité ou la physiologie de l'organisme (Barron, 2002), dans ce contexte, il est possible que les organismes de différentes populations puissent avoir différentes réponses physiologiques/biochimiques responsables des différences dans les concentrations en éléments métalliques (Wang & Rainbow, 2008) ; ainsi, Rouhi *et al* (2007) affirment que la biologie des espèces est un facteur déterminant de la nature ainsi que la concentration de l'élément bioaccumulé, et ce, en raison de la diversité des habitats, et des régimes alimentaires, ainsi que la variation des niveaux métaboliques (Gewurtz *et al.*, 2000).

En revanche, malgré que la bioaccumulation des éléments essentiels est un processus naturel, les organismes sont dotés de mécanismes efficaces pour contrôler leurs concentrations internes, et jouer un rôle dans la détoxification des éléments non essentiels ; l'organisme contrôle la concentration intracellulaire totale du métal en empêchant son entrée dans la cellule ou en accélérant sa sortie ; ainsi, sa teneur est contrôlée à l'intérieur d'une gamme étroite (organisme régulateur) ; dans d'autres cas, l'organisme synthétise des ligands d'affinité appropriée permettant de séquestrer le métal dans le milieu intracellulaire et le rendre non disponible, et donc sa teneur intracellulaire est généralement élevée variant en fonction de l'exposition (organisme accumulateur) (Campbell & Couillard, 2004).

#### 4-4- Évaluation de la biodiversité des différentes stations d'étude :

Faisant partie de la mer la plus vulnérable et menacée du monde, notre littoral est sous l'action d'une pression anthropique considérable (mondiale et locale) manifestant une dégradation qui évolue et se complexifie au cours du temps, une telle situation a augmenté la volonté d'agir et la prise de responsabilité par une réglementation qui vise le contrôle des sources de pollution, et ce, vu les rôles que jouent les habitats marins et la biodiversité qu'ils hébergent, ainsi, les efforts de protection de la biodiversité marine en Algérie ne sont pas uniquement d'ordre écologique, mais également socioéconomique (Grimes, 2011).

Actuellement, les stratégies mondiales ont évolué de la simple protection à la restauration des écosystèmes, avec comme première étape l'évaluation de l'état de condition des habitats notamment celui de la faune et la flore (Lotze *et al.*, 2011) ; à ce titre les inventaires taxonomiques sont un élément très précieux pour l'estimation de la qualité du milieu marin (Vinagre *et al.*, 2015), il servira alors de base à la valorisation des espèces au même titre qu'à la surveillance et la conservation de celles menacées.

L'examen des inventaires effectués sur les différents peuplements de la faune associée aux deux espèces *P. cultrifera* et *P. macropus* au niveau des quatre stations durant la période d'étude, nous a permis d'une part, de déterminer la composition qualitative représentée par une liste taxonomique détaillant les différents taxons et leur présence sur l'ensemble des prélèvements, d'autre part, d'analyser la structure quantitative à l'aide des différents indices écologiques.

Les différents taxons identifiés et inventoriés appartiennent à 08 embranchements au niveau des deux stations de Collo et à 06 au niveau de celles de Skikda, montrant une répartition non homogène, dont les plus diversifiés (richesse spécifique) étaient les Mollusques, les Annélides, et les Arthropodes, ces trois embranchements ont été corrélativement les plus dominants, où on signale la dominance des Annélides et des Arthropodes suivis par les Mollusques au niveau de Collo ; cependant, au niveau de Skikda on remarque plutôt la forte représentation des Arthropodes et des Mollusques comparativement aux Annélides ; en revanche, les autres embranchements qui restent, à savoir les Sipunculien, les Echinodermes, les Némertes, les Cnidaires, et les Plathelminthes constituent un groupe moins important (diversité et dominance), il est à noter que ces deux derniers embranchements étaient absents au niveau des deux stations de Skikda.

Les différentes espèces d'Annélides Polychètes occupant le même biotope que *P. cultrifera* et *P. macropus* se répartissent entre 09 familles : les Nereididae (*P. oliviera*, *Nereis falsa*, et *Platynereis dumerellii*), les Phyllodocidae (*Eullalia sp*), les Polynoidae (*Lipidonotus clava*), les Syllidae, les Trebellidae, les Cerratulidae, les Sabellidae, les Eunicidae (*Lysidice sp*) et les Lumbrinereidea (*Lumbrinereis sp*) ; il est également à noter que la présence de ces espèces au niveau des quatre stations montre une grande variabilité, et seules *P. cultrifera*, *Lipidonotus clava*, et *Lumbrinereis sp* étaient trouvées au niveau de toutes ces stations.

La composition en ces différents embranchements est cohérente avec la littérature qui montre que l'association entre les trois dominants embranchements est assez classique (Ayari & Afli, 2003) ; les travaux sur la macrofaune le long de la côte Algérienne sont limités et consacrés aux fonds côtiers ; d'après Grimes (2011), plusieurs travaux universitaires ne s'inscrivent pas dans un cadre stratégique présentant ainsi certains inconvénients, ils reposent à titre d'exemple sur certains groupes qualifiés alors de majeurs, tout en ignorant d'autres groupes (marginiaux), et ce, faute de manque de spécialistes et de matériel nécessaire à leur échantillonnage.

Cependant, le travail de Grimes (2004) fournit une référence sur la biodiversité marine Algérienne, y compris celle du golfe de Skikda (substrat meuble) qui présente une composition en peuplements similaire et homogène avec nos présents résultats (une dominance d'environ la moitié des Polychètes suivie par les Crustacées et les Mollusques, en plus de la contribution secondaire des Echinodermes et celle négligeable des Sipinculiens) ; récemment, Dauvin *et al* (2013) ont confirmé la présence de 1642 espèces d'invertébrés des fonds meubles Algériennes soit > de 15 % des espèces décrites en Méditerranée, notamment 603 espèces de Crustacées (27 %), 599 espèce de Polychètes (51 %), 322 espèces de Mollusques (15%), 48 espèces d'Echinoderme (>31 %) (les pourcentages sont comparés au nombre d'espèces décrites en Méditerranée), et un total de 70 espèces des autres groupes moins importants.

En revanche, concernant les espèces représentatives de la famille des Nereididae, Meghlaoui *et al* (2015 b) ont rapporté l'association entre quatre espèces (*P. cultrifera*, *P. macropus*, *Nereis falsa*, et *Platynereis dumerellii*) ; Grimes (2004) décrivent la présence de 54 espèces d'Annélides Polychètes des fonds durs, parmi lesquelles celles du genre *Perinereis* (*P. cultrifera*, *P. macropus*, *P. marionii*, et *P. oliveirae*), celles du Genre *Nereis* (*N. falsa*, *N. fucata*, *N. pelagica*, *N. zonata*) et une seule espèce du genre *Platynereis* (*Platynereis*

*dumerellii*), par ailleurs, d'autres études ont indiqué la présence d'autres espèces d'Annélides Polychètes au niveau des fonds meubles (la baie d'Alger, Annaba) parmi lesquelles 05 espèces de Nereididae appartenant aux genres *Perinereis* (*P. oliveirae*) et *Nereis* (*N. sp.*, *N. succinea*, *N. caudata* et *Hediste diversicolor*) (Younsi *et al.*, 2010 ; Madani *et al.*, 2011).

Le calcul des indices écologiques de diversité les plus utilisés, à savoir l'indice de Shannon-Weaver ( $H'$ ) et d'équitabilité de Piélou ( $J'$ ) a pour but l'estimation de l'état d'équilibre numérique des peuplements.

Nos résultats montrent un ( $H'$ ) plus élevé au niveau des deux stations de Collo comparativement à celles de Skikda, en corrélation avec la dominance des différentes espèces présentes au niveau de chaque station. En général il est admis que les valeurs de ( $H'$ ) sont nulles lorsque l'échantillon ne contient qu'une seule espèce, alors que les plus élevées lorsque les individus sont répartis entre différentes espèces, correspondant alors à un prélèvement équilibré et diversifié, cependant, il est à noter que les valeurs de ( $H'$ ) varient également en fonction du logarithme choisi ; pour interpréter de telles résultats. Grimes (2010) a considéré une échelle de 4 classes suivantes :  $H' < 1,5 \Rightarrow$  très déséquilibré ;  $H'$  varie entre  $[1,5-2,5] \Rightarrow$  déséquilibré ; entre  $[2,5-4] \Rightarrow$  équilibré ;  $H' > 4 \Rightarrow$  très équilibré, soulignant ainsi un ( $H'$ ) équilibré au niveau de Collo, contre un déséquilibré au niveau de Skikda, cependant, si on considère l'échelle proposée par Simboura et Zenetos (2002) on remarque que toutes les stations sont considérées alors comme fortement polluées reflétant un état écologique médiocre.

Quant aux données relatives à l'indice d'équitabilité de Piélou, elles montrent qu'il est en faveur des deux stations de Collo comparativement à celles de Skikda ; d'après la littérature, les valeurs de ( $J'$ ) varie de 0 à 1, plus elle tend vers 1 plus le peuplement est considéré comme en équilibre ; en outre, Grimes (2010) a proposé également une échelle relative à cet indice de 4 classes suivantes :  $J' < 0,4 \Rightarrow$  très déséquilibré ;  $J'$  varie de  $[0,4-0,6] \Rightarrow$  déséquilibré ; de  $[0,6-0,8] \Rightarrow$  subnormal ; de  $[0,8-1] \Rightarrow$  normal, ce qui nous conduit donc à proposer que les peuplements des deux stations de Collo présentent une répartition normale, comparativement à ceux des deux stations de Skikda qui est subnormale.

L'analyse des données qualitatives et quantitatives sur la flore associée à la faune prélevée à partir des quatre stations durant la période d'étude, nous a permis de déterminer une liste taxonomique détaillant la présence ou l'absence (sur l'ensemble des prélèvements)

des différentes espèces appartenant à 03 embranchements : les Rhodophycées, les Chlorophycées, et les Chromistes ; en plus de souligner la biodiversité au niveau des quatre stations, notamment celle des Rhodophycées le groupe le mieux représenté comparativement au deux autres qui restent, et dominé par la famille des Corallinaceae qui inclut *Corallina officinalis* et *Corallina sp*, en plus de *Lithophyllum byssoides*, espèces représentatives du biotope des deux espèces de Nereididae *P. cultrifera* et *P. macropus* respectivement ; les espèces du genre *Corallina* forment une ceinture et sont en association avec le genre *Jania*.

Nos résultats sont cohérents avec ceux de Grimes (2004), qui liste les différentes espèces de ces trois embranchements identifiées au niveau du littoral Algérien, en plus de ceux des travaux antérieurs sur la biodiversité du littoral Est Algérien (Guemmouda, 2015 ; Meghlaoui, 2015).

Ces résultats sur la biodiversité (faune et flore) des quatre stations enregistrent une similitude entre les deux stations de chaque site, bien qu'elles montrent une variabilité si on compare entre les deux stations de Collo avec celles de Skikda ; la côte Algérienne se caractérise par différents habitats littoraux, entre autre les côtes rocheuses et d'écosystèmes remarquables à intérêt écologique notamment : les herbiers à *Posidonia oceanica* ; les forêts de Cystoseires ; les forêt à *Dictyopteris membranacea* ; les corniches à *Corallina elongata* ; les trottoirs à vermetes ; les fonds coralligènes ; les fonds d'éboulis ; les fonds à maërl ; les moulières naturelles ; les fonds à *Corallium rubrum* ; les habitats insulaires ; les habitats du phoque moine *Monachus monachus* (Grimes, 2012).

L'analyse des différents indices fait ressortir des valeurs plus élevées au niveau des deux stations de Collo, qui paraissent plus riches en terme de biodiversité, comparativement à celles de Skikda, laissant suggérer que la structure de ces peuplements (faune et flore) est une réponse aux changement des paramètres naturels en combinaison avec les effets de la pression anthropique (confirmée au niveau de cette zone d'étude), cela va dans le même sens que les études qui confirment que la répartition et la diversité de la macrofaune benthique sont déterminées par un ensemble de facteurs physiques ainsi que par la valeur nutritionnelle des sédiments (Rossi *et al.*, 2001) ; au niveau des plages rocheuses, les macroalgues constituent un habitat de la macrofaune (nourriture, refuge des prédateurs), ainsi, leurs réponses (abondance et diversité) aux mêmes conditions de stress du milieu semblent être plus ou moins équivalentes ; en effet, les macroalgues en fonction de leur tolérance au stress manifestent des réponses positives (augmentation de l'abondance) ou même négatives

(l'inverse), ce qui influence les macroinvertébrées qu'elles hébergent, qui à leur tour répondent de la même stratégie (Vinagre *et al.*, 2015) ; bien que, d'après la littérature il est difficile d'isoler ainsi que de distinguer l'influence des paramètres naturels (tels que la température et la salinité) de ceux liés aux activités humaines (tels que la présence de contaminants).

En outre, Dauvin *et al* (2013) soulignent une variabilité de la richesse spécifique des différents groupes zoologiques (d'un site à l'autre et d'un secteur à l'autre le long de la côte Algérienne), qu'il l'a attribuée à l'effort d'échantillonnage en plus de la localisation du site considéré, en outre, ils confirment qu'elle diminue suivant un gradient allant du secteur Ouest vers le secteur Est ; toutefois, un facteur de stress peut déclencher une cascade de réponses qui commence par des changements de l'abondance (nouvelle colonisation, augmentation ou déclin de la population) et l'adaptation qui à leurs tours conduisent à des changements de la répartition géographique qui varie de l'expansion à l'extinction (Mora & Zapata, 2013).

#### **4-5- Effets de la pollution sur la croissance :**

Plusieurs paramètres morphométriques de taille et poids ont été largement employés dans l'étude de la biométrie et la structure des populations de Nereididae, notamment la longueur des mâchoires, la longueur totale ainsi que le nombre totale des sétigères des individus complets, en plus du poids sec et poids frais des individus, cependant, ces paramètres présentent certains problèmes, comme la difficulté de la dissection (mâchoires fixés à l'intérieur du proboscis), en plus des coupures fréquentes des individus, pour cela, d'autres paramètres de taille partielle ont été proposés par plusieurs travaux (Gillet, 1990 ; Pagliosa & da Cunha Lana, 2000 ; Fidalgo e costa, 2003 ; Çinar & Altun, 2007 ; Mouneyrac *et al.*, 2010 ; Gillet *et al.*, 2011 ; Fossi-Tankoua *et al.*, 2012 ; Hamdy *et al.*, 2014), dont le plus utilisé est la longueur L<sub>3</sub> montrant la meilleure corrélation avec le poids frais, quant à ce dernier, il permet d'autres mesures ultérieures sur le même individu (Durou *et al.*, 2008).

L'évolution de la longueur L<sub>3</sub> chez les individus sexués de *P. cultrifera* provenant des quatre stations montre un aspect similaire marquant une augmentation progressive à partir du mois de Septembre, arrivant aux valeurs maximales au cours du mois de Mai, suivie par une diminution au cours du mois de Juin, toutefois, on enregistre également des diminutions des

valeurs durant certains mois, dont les plus significatives ont été relevées aux mois de Décembre et Mai à Ben Zouit, et au mois de Décembre à Tamanart, l'Îlot et Bikini.

De même, pour les individus sexués de *P. macropus* en provenance des deux stations de Collo, on souligne des fluctuations des valeurs entre légères augmentations et diminutions, d'abord durant les premiers mois d'étude jusqu'au mois de Janvier, à partir duquel, on assiste à une nette augmentation de la longueur  $L_3$  pour arriver aux plus grandes valeurs en mois de Juin, toutefois, en enregistrant des diminutions au cours du mois de Décembre (Ben Zouit), et d'Avril et Mai (Tamanart) ; les pics ont été suivis par des chutes durant le mois de Juillet.

La variation du poids frais chez les individus sexués de *P. cultrifera* des quatre populations montre une allure similaire d'abord entre les différentes stations, et également en comparaison avec l'évolution de la longueur  $L_3$ , elle est marquée par une augmentation progressive à partir du mois de Septembre, arrivant aux valeurs maximales au mois de Mai, suivie par une diminution durant le mois de Juin (à l'exception de Ben Zouit), des diminutions ont été également signalées durant certains mois en fonction de la station considérée.

Pour les individus sexués de *P. macropus* échantillonnés des deux stations de Collo, l'évolution du poids frais révèle la même variation que celle de la longueur  $L_3$ , avec un accroissement à partir du mois d'Octobre arrivant aux valeurs maximales au mois de Juin, suivie par une chute du poids frais pendant le mois suivant, de même, des baisses des valeurs ont été également remarquées au cours des mois de Décembre et Mai à Ben Zouit.

L'évolution de ces deux paramètres de taille et poids chez les individus asexués des mêmes populations de *P. cultrifera* et *P. macropus* montre globalement une grande variabilité d'évolution en fonction de l'espèce et la station considérées, montrant des valeurs toujours inférieurs à ceux des individus sexués, et ce, vu que la taille est positivement proportionnelle avec le poids considéré comme un paramètre représentatif de l'âge (Desrosiers *et al.*, 1994), cela va dans le même sens que la littérature qui confirme que chez une population de *P. cultrifera*, deux groupes d'individus sont rencontrés, l'un comporte de petits individus indifférenciés, l'autre de grands individus différenciés (Rouabah & Scaps, 2003 ; Rouabah *et al.*, 2008 ; Rouhi *et al.*, 2008).

D'après la littérature sur la croissance chez les Annélides, la segmentation apparaît durant le développement et la prolifération des segments semble être plus élevée chez les

jeunes individus que chez les adultes, une telle caractéristique est expliquée par l'activité élevée du système endocrinien cérébral chez les jeunes (Durchon & Porchet, 1971 ; Porchet, 1972) favorisant la croissance des métamères et la régénération de ceux perdus par autotomie (Golding 1967), toutefois avec la maturité des animaux, la baisse de cette activité favorise plutôt l'élargissement de ces métamères avec un gain du poids.

D'une part, l'augmentation des valeurs de la longueur  $L_3$  et celles du poids frais durant la période d'étude indique la croissance du corps des jeunes individus au fur et à mesure qu'ils avancent dans les processus de la croissance et la maturité. Çinar & Altun (2007) ont confirmé que chez le Nereididae *Pseudonereis anomala*, la longueur du corps augmente par l'addition de nouveaux métamères dans la région postérieure, tandis que, la largeur des métamères antérieurs augmente proportionnellement avec l'augmentation du poids.

D'autre part, la diminution des valeurs de ces deux paramètres durant certains mois pourra être expliquée par le fait que chez une population de Nereididae, plusieurs cohortes d'individus d'âges différents sont présents (Gillet, 1990 ; Desrosiers *et al.*, 1994 ; García-Arberas & Rallo, 2002 ; Daas *et al.*, 2011 a), et donc par conséquence de tailles différentes (Mouneyrac *et al.*, 2010), les fluctuations de la biométrie des individus sont alors directement liées au stade de maturité sexuelle, lui-même en relation avec l'âge des individus présents, ainsi, ces diminutions correspondent probablement au recrutement de jeunes individus ; à cet égard, García-Arberas & Rallo (2002) indiquent un recrutement continu chez *Hediste diversicolor* pendant toute l'année, en outre, Gillet (1990) a mis en évidence une discontinuité (arrêt) de la croissance qui se manifeste avant les périodes de recrutement justifiée par l'utilisation d'énergie pour la production des gamètes ; par ailleurs, elles résultent également de l'absence d'individus assez grands (ceci pourrait être causé par une multitude de causes qui seront expliquées ultérieurement) ; quant aux chutes brusques des valeurs de la taille et poids chez *P. macropus* sont sans doute en relation avec les modifications caractérisant l'épitoquie.

En observant nos données, on peut noter d'une part, qu'elles sont comparables avec celles de la littérature, d'abord concernant la longueur  $L_3$ , elle est plus importante chez *P. cultrifera* que chez *P. macropus*, ainsi que *P. gualpensis* (Díaz-Jaramillo *et al.*, 2015), *N. diversicolor* (Gillet, 1990 ; Fidalgo e Costa, 2003) et *Altita succinea* (Gillet *et al.*, 2011) ; de même pour le poids frais, on souligne la même remarque si on compare entre les deux espèces *Perinereis* ; concernant les valeurs de ce paramètre chez *P. cultrifera*, elles sont proches de ceux des travaux antérieures sur les populations Algériennes (Rouabah & Scaps,

2003 ; Rouabah *et al.*, 2008 ; Guemmouda *et al.*, 2014 ; Guemmouda, 2015 ; Meghlaoui, 2015 ; Snani, 2016), et celle du Maroc (Rouhi *et al.*, 2008), bien qu'elles soient nettement inférieures à celles caractérisant les populations de la côte nord Bretonne (Scaps *et al.*, 1992), et celle de la manche Française (Snani, 2016).

D'autre part, nos résultats relatifs à la longueurs  $L_3$  et au poids frais chez *P. cultrifera* indiquent des valeurs significativement à très hautement significativement inférieures chez les individus récoltés de l'Îlot et Bikini ; ainsi, il est clair que la croissance chez ces deux populations est plus lente comparativement à celles récoltés de Ben Zouit et Tamanart, dont les causes peuvent être de natures multiples, notamment plusieurs facteurs écologiques du milieu, comme le niveau de la matière organique (Hamdy *et al.*, 2014), le régime alimentaire et la disponibilité de la nourriture (Nesto *et al.*, 2012), en plus des facteurs anthropiques toujours confirmés pour avoir comme effets la réduction et le ralentissement de la croissance favorisant la tolérance et la reproduction au lieu du développement et la croissance (Durou *et al.*, 2008) ; à cet égard, nos résultats sont en accord avec ceux des études sur l'évaluation de l'état physiologique des individus des côtes Est Algériennes vivant sous différents degrés de pressions anthropiques (Daas *et al.*, 2011 b ; Guemmouda *et al.*, 2014 ; Guemmouda, 2015 ; Meghlaoui, 2015 ; Snani, 2016), au même titre qu'avec la littérature qui confirme que les paramètres biométriques chez les individus en provenance du site contaminé n'ont jamais atteint des valeurs supérieures à ceux du site référence, en mettant en évidence que les populations vivant dans des milieux perturbés ont montré un stade de croissance pondérale réduit (Durou *et al.*, 2007 b ; Mouneyrac *et al.*, 2010 ; Gillet *et al.*, 2008) ; cela pourrait être attribué à l'effet de la résistance aux contaminants comme le montrent Pook *et al* (2009) ; cependant, il est également à noter que les caractéristiques biométriques de *P. cultrifera* et d'autres espèces de Nereididae diffèrent fortement selon la localisation géographique (Rouabah & Scaps, 2003 ; Çinar & Altun, 2007 ; Rouhi *et al.*, 2008).

D'autres études sur d'autres espèces marines ont montré les mêmes observations, celles sur *Donax trunculus* ont montré que les individus d'El-battah présentent une meilleure croissance que ceux de Sidi Salem (Sifi, 2009 ; Soltani *et al.*, 2014), celles sur la moule *Perna perna* montre que les tailles maximales relevées au niveau de H'naya et Aouinate (El-kala) sont supérieures à celles des moules récoltées au niveau de Cap de Garde (Annaba) (Benchikh, 2009).

Les relations Poids-taille des différentes populations des deux espèces sont de type exponentiel montrant une croissance allométrique ( $b < 3$ ) et fait ressortir qu'elle se fait en deux phases, la première consiste à la prolifération des segments, alors que, la deuxième correspond à leur élargissement (Mouneyrac *et al.*, 2010), Desrosiers *et al.* (1994) citent ce type de croissance chez *P. cultifera*, et attribuent l'appellation de croissance métamérique et celle pondérale à ces deux phases ; selon Omena & Amaral (2001), la partie antérieure s'allonge proportionnellement avec le poids, et elle est également plus importante que la partie postérieure en terme de poids total de l'individu.

Nos résultats vont dans le même sens que d'autres études sur d'autres espèces de Nereididae, entre autre, *N. diversicolor*, *N. virens*, *Laeonereis acuta*, *Alitta succinea* et *Pseudonereis anomala* (Desrosiers *et al.*, 1994 ; Omena & Amaral, 2001 ; Çinar & Altun, 2007 ; Durou *et al.*, 2008 ; Gillet *et al.*, 2011 ; Hamdy *et al.*, 2014), bien que, certaines confirment cette allométrie de croissance tout en suggérant également l'autre type dit isométrique.

#### **4-6- Effets de la pollution sur la reproduction :**

Les individus sexuellement différenciés des populations de *P. cultrifera* provenant des deux stations de Collo, ainsi que celles de Skikda ont été observés presque à chaque mois d'échantillonnage (à l'exception des deux mois de Juillet et Août), présentant des pourcentages très élevés voir maximaux (100 %) à partir du mois de Février jusqu'à Juin à Ben Zouit et l'Îlot, et à partir du mois de Mars jusqu'à Juin, au niveau de Tamanart et Bikini ; pour les individus sexuellement indifférenciés qui ont été eux aussi totalement absents pendant les deux mois de Juillet et Août en plus de certains mois (selon la station), l'inverse a été signalé avec les pourcentages les plus élevés enregistrés à partir du mois de Septembre jusqu'à Janvier à Ben Zouit et l'Îlot, et jusqu'à Février pour les deux autres stations qui restent.

Concernant *P. macropus* provenant des deux stations de Collo, les individus sexuellement différenciés ont été observés le long de la période d'étude, à l'exception des deux mois d'Août et Septembre, avec des pourcentages très élevés à partir du mois de Mars jusqu'à Juin à Ben Zouit, cependant, à Tamanart cela a été souligné durant les mois de Juillet, Avril, Mai et Juin (100 %) ; les individus sexuellement indifférenciés à Ben Zouit ont été présents durant toute la période d'étude, quant à ceux provenant de Tamanart ont été absents

durant les mois où la proportion des différenciés était maximale, dans ce sens on remarque que leurs pourcentages les plus faibles, ont été enregistrés à partir du mois Mars jusqu'au Juillet à Ben Zouit, et durant les mois de Mars et Mai à Tamanart.

Ces résultats indiquent que la variation des pourcentages de ces deux groupes d'individus des deux espèces est inversement proportionnelle, où les indifférenciés sont les plus dominants au cours de certains mois d'échantillonnage, durant lesquels les populations sont formées en majorité par des individus sexuellement immatures, après, leurs proportions diminuent durant les mois suivants accompagnées par une élévation de celles des différenciés qui augmentent au fur et à mesure qu'ils avancent dans la croissance, et donc corrélativement dans les processus de recrutement et de maturation sexuelle, arrivant aux valeurs les plus élevées en se rapprochant de la période de reproduction.

En outre, l'absence des individus asexués et/ou sexués des deux espèces durant certains mois, est liée à plusieurs causes, entre autre, la mort des individus suite à une forte prédation, compétition, ou bien au phénomène de rencontre agoniste, ou encore probablement les récoltes parfois non rentables affectés par les conditions météorologiques non favorables (le vent, la houle et les marées hautes), en plus de l'action destructive des récoltes agressives et non contrôlée des pêcheurs amateurs ; en revanche, Scaps *et al* (1992) ont mis en évidence le phénomène de migration, où la zone d'occupation par cette espèce est différente selon le groupe d'individus considéré, les juvéniles sont principalement localisés en haut de la zone à *Fucus serratus*, après, ils migrent au cours de la phase de croissance et de différenciation sexuelle vers le bas ; il est à noter que la réduction de l'effectif voir même la disparition des individus ont été déjà signalées par la littérature (Gillet, 1990 ; Desrosiers *et al.*, 1994 ; Garcia-Arberas & Rallo, 2002 ; Rouhi *et al.*, 2008), ces derniers auteurs ont confirmé l'absence des individus sexués de *P. cultrifera* au cours des deux mois qui suivent la période de reproduction, en suggérant que c'est forcément le résultat de la mort des géniteurs, attribuée à la stratégie monothélique caractérisant la reproduction des Nereididae (Scaps *et al.*, 1992 ; Fidalgo e Costa, 2003 ; Daas *et al.*, 2011 a) ; selon la littérature chez ces espèces et après reproduction, une mort génétiquement programmée survient (Olive *et al.*, 1998) immédiatement après la ponte, ou dans certains cas (chez certaines espèces), après une courte période au cours de laquelle les mâles (ou les femelles) incubent les œufs fécondés ainsi que les larves (Hébert-Chatelain *et al.*, 2008) ; bien que d'après d'autres auteurs, la mort des

adultes après reproduction est un évènement inévitable vu les modifications drastiques nécessaires qui font que ces individus ne survivent pas (Fischer *et al.*, 1996).

Nos résultats sont en accord avec des travaux sur *P. cultrifera* présente en Algérie (Rouabah & Scaps, 2003 ; Rouabah *et al.*, 2008) qui affirment que l'augmentation de la proportion des individus des deux sexes (mâles et femelles) correspond à la période la plus intense de la reproduction, ainsi que la différenciation sexuelle des individus de la deuxième génération ; tandis que, sa diminution est en raison de la mort des individus matures après reproduction ; si elle est accompagnée par l'augmentation de la proportion des individus immatures, elle reflète l'apparition d'une nouvelle génération d'individus indifférenciés.

Le sexe ratio évalué pour les quatre populations de *P. cultrifera*, ainsi qu'aux deux populations de *P. macropus* indique des fluctuations du nombre des mâles par rapport à celui des femelles, il a été en général en faveur des femelles pour la plupart des mois de l'étude, bien que pour certains mois, il a été en faveur des mâles, ou même en équilibre.

Plusieurs travaux sur *P. cultrifera*, ainsi que sur d'autres espèces de Nereididae démontrent qu'il existe un déséquilibre entre les deux sexes mais en faveur des femelles (Fidalgo e Costa, 2003 ; Durou *et al.*, 2007 b ; Durou *et al.*, 2008 ; Younsi, 2014 ; Guemmouda, 2015 ; Snani, 2016) ; cependant, cela est probablement dû au fait qu'il est très difficile d'identifier les plaques spermatiques comparativement aux ovocytes (Rouabah & Scaps, 2003 ; Rouabah *et al.*, 2008), par ailleurs, Prevedelli & Simonini (2003) ont rapporté un sexe ratio en équilibre chez *P. cultrifera*, Osman *et al* (2010) ont souligné la prédominance des mâles chez *P. nuntia brevicirris*, au même titre que Hanafiah *et al* (2006) chez deux espèces du genre *Hediste*.

L'étude biométrique de la croissance ovocytaire des quatre populations de *P. cultrifera* et celle des deux populations de *P. macropus*, nous a permis de constater en premier lieu qu'elle est asynchrone, pour ce type de croissance l'observation des ovocytes présents libres dans le coelome chez le même individu révèle des diamètres différents, cette différence est nettement très grande au cours de leur développement ; une telle caractéristique a été déjà confirmé par Snani *et al* (2015), et Zribi *et al* (2007) chez *P. cultrifera* et *P. macropus* respectivement, ainsi que, par Arias *et al* (2013) chez *P. linea*, et même chez *Nereis diversicolor* (Fidalgo e Costa, 2003), alors que, chez d'autres espèces voisines tel que *P. rullieri* (Prevedelli & Simonini, 2003), *Nereis falsa* (Daas *et al.*, 2010 ; Daas *et al.*, 2011 a),

*Platynereis dumerilii* (Fischer & Dorresteijn, 2004) et *Nereis virens* (Hoeger *et al.*, 1999), la croissance ovocytaire est de type synchrone.

En deuxième lieu, les ovocytes ont présenté dans le temps des fluctuations remarquables de diamètre ; pour *P. cultrifera*, on assiste à une élévation progressive qui devient plus importante à partir du mois de Janvier pour les deux stations de Collo, et à partir du mois de Mars pour celles de Skikda, marquant les plus grandes valeurs en Mai à l'exception de Ben Zouit, et ce, suite à la diminution enregistrée au cours de ce mois, ce qui fait que le diamètre maximal pour cette population a été enregistré en Juin, durant ce dernier, les diamètres diminuent chez les autres populations, concernant la population de Tamanart et celle de l'Îlot, des diminutions du diamètre ont été observées également pendant les mois de Décembre et Janvier, ainsi que durant le mois de Janvier respectivement ; pour *P. macropus*, on constate une même allure de variation montrant une évolution progressive du diamètre ovocytaire malgré les diminutions enregistrées en mois de Décembre et Avril à Ben Zouit et en mois de Décembre et Juin à Tamanart, cependant, les plus grandes valeurs ont été enregistrées en mois de Juillet.

D'après les données sur *P. cultrifera* des côtes Algériennes, notamment celles des travaux de Rouabah et ses collaborateurs qui ont déterminé le cycle ovogénétique de cette espèce, la maturité des ovocytes a lieu après 16 mois chez une population échantillonnée à partir de Saint Cloud (Annaba) (Rouabah & Scaps, 2003) et après 9 à 12 mois chez deux autres populations en provenance de Pointe Pescade et Figuier (Alger) (Rouabah *et al.*, 2008) ; de même concernant *P. macropus*, Zribi *et al* (2007) ont détaillé le cycle ovogénétique d'une population récoltée du golfe de Gabes (Tunisie) qui se déroule en 12 mois, en classant les ovocytes en fonction de leur taille en trois catégories, dont les plus petits ovocytes en cours de la prévitellogenèse, ceux présentant une taille nettement importante en vitellogenèse, et en fin ceux avec le diamètre maximal correspondant au stade final de maturité, cela va dans le même sens des travaux sur les Nereididae qui mettent en évidence que la croissance ovocytaire s'étale sur plusieurs mois (Olive *et al.*, 1998 ; Osman *et al.*, 2010) ; en outre, selon Hoeger *et al* (1999), l'ovogenèse chez *Nereis virens* se déroule en trois phases en presque une année et demi, une première phase de croissance lente, une intermédiaire durant laquelle les ovocytes augmentent de taille d'environ six fois, et une dernière durant laquelle ils atteindront leur stade final de développement ; il est à noter que le développement des ovocytes est sous

le contrôle de plusieurs facteurs environnementaux, notamment la température et la photopériode (Olive *et al.*, 1998).

En observant nos résultats, l'augmentation progressive des valeurs du diamètre ovocytaire relativement proches chez les quatre populations de *P. cultrifera* correspond à une croissance lente jusqu'au mois de Janvier (à Collo) et Mars (à Skikda), à partir desquels, on assiste à une croissance rapide, pour arriver au maximum au cours du mois d'Avril et celui de Mai, qui correspond à la maturation des ovocytes ; la même tendance d'évolution a été constaté chez *P. macropus* ; toutefois, les ovocytes matures ont été observés au cours du mois de juillet.

Quant aux diminutions enregistrées chez les deux espèces, cela revient probablement au fait que durant certains mois, on a constaté des faibles effectifs de femelles de grandes tailles, ce qui concorde nos résultats relatifs à la morphométrie, notamment ceux du poids frais qui montrent une baisse ; par ailleurs, malgré leurs grandes tailles, certaines femelles portent plutôt de petits ovocytes au lieu de ceux assez grands, en plus, selon Rouabah et Scaps (2003) chez une population de *P. cultrifera*, deux groupes de femelles au cours d'ovogenèse sont présents, l'un portant un grand diamètre ovocytaire et l'autre un petit diamètre, cela a été confirmé chez les différentes populations du littoral Est Algérien (Rouabah *et al.*, 2008 ; Younsi, 2014 ; Snani *et al.*, 2015 ; Snani, 2016), au même titre que chez *N. diversicolor* (Abrantes *et al.*, 1999).

D'après nos résultats, on constate d'une part que, le diamètre moyen chez *P. cultrifera* est plus élevé que celui chez *P. macropus*, de même, le diamètre ovocytaire chez ces deux espèces est plus élevé que celui chez *N. falsa* (Daas *et al.*, 2011 a ; Younsi, 2014) ; cependant, il est comparable avec celui rapporté par la littérature sur ces deux espèces (Roubah & Scaps, 2003 ; Zribi *et al.*, 2007 ; Rouabah *et al.*, 2008 ; Rouhi *et al.*, 2008 ; Younsi, 2014 ; Snani *et al.*, 2015 ; Snani, 2016), ce qui est en accord avec Osman *et al* (2010) qui indiquent que les Nereididae présentent une grande variation du diamètre ovocytaire.

D'autre part, les écarts statistiquement significatifs du diamètre ovocytaire enregistrés chez *P. cultrifera* entre les deux populations de Collo et celles de Skikda sont en relation avec le stockage des réserves énergétiques (au cours du processus de l'ovogenèse), qui semble inférieur chez ces deux dernières populations, cependant, les différences moins significatives enregistrées au cours du mois de Mai s'expliquent par un effort de la reproduction plus élevé

chez les femelles de Skikda, qui est connu pour être très important (79 %) chez cette espèce (Cassai & Prevedelli, 1998 ; Prevedelli & Simonini, 2003) ; une telle remarque a été signalée par Durou *et al* (2007 a) qui ont confirmé que malgré leur petite taille, les femelles du site contaminé étaient capables d'atteindre le même niveau de maturité sexuelle ; en outre, d'après Snani (2016), l'examen histologique d'ovocytes issus de femelles matures provenant du site pollué révèle un diamètre légèrement plus faible (par rapport à ceux du site référence), cependant, les signes de la vitéllogénèse ont été de faible intensité marqués par des globules vitellins moins concentrés et moins uniformément répartis au niveau du cytoplasme, ainsi qu'une membrane vitelline fine et un noyau en plus d'un nucléole moins volumineux témoignant une activité plus ralentie ; en plus, il est généralement admis que la fécondité chez les femelles en provenance des sites de référence est largement plus élevée que celle chez les femelles échantillonnées à partir des sites pollués, et ce, vu que le nombre d'ovocytes dépend fortement du volume corporel, qui est à son tour moins important chez ces dernières (Durou *et al.*, 2007 a ; Durou *et al.*, 2008 ; Mouneyrac *et al.*, 2010) ; en outre d'après Prevedelli & Simonini (2003), les espèces ayant une petite taille se caractérisent par la production d'un petit nombre de grands ovocytes, en raison de leur petit espace insuffisant de produire un grand nombre d'ovocytes, ainsi que leur faible production d'énergie ; ce qui nous laisse donc suggérer que la réallocation des ressources énergétiques au profit de la croissance d'un nombre plus faible d'ovocytes chez ces femelles a contribué à atteindre un diamètre ovocytaire similaire à celui de Collo.

En ce qui concerne *P. cultrifera*, les plus grandes valeurs du diamètre ovocytaire enregistrés durant les mois d'Avril et Mai à Collo (malgré la diminution enregistré en Mai à Ben Zouit), ainsi que pendant Mai à Skikda, nous laisse suggérer que la période de reproduction de cette espèce se concentre pendant ces mois ; dans ce contexte, Rouabah & Scaps (2003) ont indiqué que la reproduction se déroule en une seule période de l'année (fin avril, début Mai), cependant, Rouabah *et al* (2008) ont suggéré que la reproduction a lieu durant toute l'année, mais elle est plus intense à partir de Mars à Mai ; en outre, d'après Díaz-Jaramillo *et al* (2015) la réallocation d'énergie (suite à un état de stress) entraîne des réponses individuelles telles que le changement de la période de reproduction ou l'influence du succès de celle-ci.

*P. cultrifera* est une espèce sémelpare, la reproduction conduit à la mort des individus après libération des gamètes, cependant on constate qu'en mois de Juin, il existe quand même

un groupe de femelles portant un diamètre important, une telle remarque a été constatée par Golding & Yuwono (1994) chez *N. diversicolor* qui suggèrent qu'il existe des individus qui ne parviennent pas à se reproduire, chez lesquelles la ponte a été bloquée et la vie prolongée, cela a été expliquée par la présence d'une deuxième ponte, cependant, la disparition des adultes au cours des deux mois suivants nous laisse suggérer une prolongation de la période de reproduction jusqu'au mois de Juin ; d'après la littérature, la reproduction chez cette espèce se déroule entre Mai et Juin et peut se prolonger jusqu'à Juillet (Rouhi *et al.*, 2008).

Pour *P. macropus*, la période de reproduction qui s'étale de Janvier à Juin déterminée par Zribi *et al* (2007) est contradictoire avec nos résultats, qui nous indiquent qu'elle a eu lieu plutôt en mois de Juillet, durant lequel le diamètre ovocytaire est maximal, et les modifications morphologiques caractéristiques de l'épitoque se manifestent chez les individus des deux sexes qui disparaissent au cours des deux mois suivants ; il est à noter que cette métamorphose a été observée uniquement chez cette espèce contrairement à *P. cultrifera* qui présente une reproduction sous la forme atoque au niveau des quatre stations, en revanche, la période de reproduction de *P. macropus* est juste après celle de *P. cultrifera*, ce qui correspond d'après Younsi (2014) à une stratégie par laquelle le chevauchement des périodes de reproduction des espèces qui cohabitent ensemble et donc une éventuelle hybridation sont évités, au même titre que les phénomènes de compétition entre les larves.

#### **4-7- Identification des cellules immunitaires dans le liquide cœlomique :**

Malgré que le système immunitaire des invertébrés ne semble pas aussi complexe que celui des vertébrés, ils ont développé une immunité naturelle, efficace, et complexe (Fournier *et al.*, 2004 ; Tahseen *et al.*, 2009), ce système repose sur trois éléments fondamentaux, qui sont la barrière physico-chimique, celle cellulaire et celle humorale (Canesi & Procházková, 2014) ; la partie cellulaire joue un rôle central dans la défense immunitaire contre le contact permanent aux agents étrangers pathogènes de grande taille, tout en accomplissant tous les autres mécanismes immunitaires (Cuvillier-Hot *et al.*, 2014) ; plusieurs études ont été consacrées à la caractérisation de ce type cellulaire chez les invertébrés ; plus récemment, elles ont pour but l'évaluation des effets immuno-toxicologiques en réponse à l'exposition aux polluants.

La caractérisation (morphologique et biométrique) des cœlomocytes chez *P. cultrifera* récoltée de Ben Zouit, Tamanart, et l'Îlot, en faisant appel aux différentes techniques de

colorations, nous a permis d'une part, de confirmer que c'est la coloration au May Grunwald-Giemsa qui a donné les meilleurs résultats ; d'autre part, d'identifier les cellules de type I, type II, et type III ; les deux premiers se caractérisent par un rapport N/C faible, un noyau au centre ou à la périphérie de la cellule, et notamment un cytoplasme contenant des granulations en nombre variables, le troisième type se distingue par une taille nettement petite, un rapport N/C élevé, et notamment un noyau occupant presque tout le cytoplasme, ce qui le rend très réduit ; en revanche, leur pourcentage est variable, marquant la dominance du premier type, suivie par le deuxième puis le troisième à Ben Zouit et à l'Îlot, alors qu'à Tamanart la proportion des cellules du troisième type était plus élevée que celles du deuxième type.

Nos résultats sont en accord avec ceux de Snani (2016) qui indique trois types de cellules nommées cœlomocytes de type I, II, et III chez *P. cultrifera* et granulocytes de type I, II, et III chez *N. diversicolor*, cette appellation de granulocytes (G1, G2, G3) a été inspirée du travail de Cuvillier-Hot *et al* (2014) ; cela va dans le même sens que la littérature qui indique qu'au même titre que les Mollusques et les Arthropodes, les Annélides présentent trois types majeurs de cellules contenues dans le liquide cœlomique (Hartenstein, 2006) ; en outre, divers terminologies ont été attribués à ces cellules, en fonction des auteurs et du taxon considéré, pour les autres embranchements d'invertébrés ayant un système circulatoire ouvert, les cœlomocytes sont appelées hémocytes, eux aussi anciennement répertoriés sous plusieurs nominations selon les espèces, et ce, en relation avec la variation des différents critères de classification retenus (Cima *et al.*, 2000).

À cet égard, Šima (1993) cite que chez divers familles de Polychètes, les amœbocytes ont différentes appellations, dont la plus courante est celle de granulocytes que Dhainaut & Porchet-Henneré (1988) ont les subdivisées en granulocytes de type I (contenant des granules cytoplasmiques et des microfilaments), granulocytes de type II (le cytoplasme dépourvu de microfilaments), et granulocytes de type III (petites cellules avec peu de granules), auparavant nommées par Romieu (1923) leucocytes hyalins fusiformes, leucocytes hyalins, et petits lymphocytes respectivement ; des granulocytes de type VI et V ont été identifiées chez quelques familles de Polychètes.

Les données sur les cœlomocytes chez les Nereididae, sont très anciennes, et plus restreintes comparativement à celles chez les Arthropodes ou les Mollusques, qui combinent entre plusieurs paramètres de classification cytomorphologiques, biochimiques et fonctionnels, en faisant appels à plusieurs méthodes de coloration, et aux techniques de

microscopie optique, électronique, et à fluorescence ; plusieurs études révèlent au moins trois types d'hémocytes (Cima *et al.*, 2000 ; Zhang *et al.*, 2006 ; Matozza & Marin, 2010 ; Gupta *et al.*, 2013), dont la description de leurs caractéristiques nous semble cohérente avec nos résultats, et plus appropriés pour décrire nos types de cellules ; ainsi, en se basant sur ces données, le premier type de cœlomocytes est équivalent aux granulocytes, le deuxième aux semigranulocytes et le troisième aux hyalinocytes ; il est à noter que les granulations des hyalinocytes n'apparaissent pas sous microscope optique, quant à celles des deux autres types de cellules peuvent être subdivisées à leur tour en trois sous populations, les basophiles, les acidophiles et les neutrophiles (Cima *et al.*, 2000 ; Matozza & Marin, 2010).

En revanche, la taille de ces trois types de cellules est comprise dans l'intervalle indiqué par Šima (1993) ; cependant, elle est beaucoup plus élevée que celle chez *N. diversicolor* (Cuvillier-Hot *et al.*, 2014), tandis qu'elle est comparable à celle des hémocytes caractérisées chez *Carcinus aestuarii* (Matozza & Marin, 2010) ; bien que chez cette espèce, les granulocytes présentent une taille plus petite, et similaire à celle des semigranulocytes, ces mêmes remarques ont été constatées comparativement à un autre Crustacé *Paratelphusa masoniana* (Gupta *et al.*, 2013) ; alors que pour les données relatives aux proportions des trois populations, on constate que celles relevées par ces deux auteurs indiquent une grande variation, où les semigranulocytes présentent le plus haut pourcentage (54 %), et l'inverse pour les haylinocytes (16 %) (Gupta *et al.*, 2013), ou encore, on trouve la dominance des haylinocytes (44 %) contre des proches proportions et plus faibles (27-28 %) des deux populations qui restent (Matozza & Marin, 2010) ; selon la littérature citée par Johansson *et al* (2000), le nombre d'hémocytes varie en réponse de plusieurs facteurs, entre autre, l'infection et le stress environnemental ; de même, selon Fournier *et al* (2004), les actions toxiques sur le système immunitaire peuvent se manifester sous forme d'immunodépression, immunostimulation, hypersensibilité et auto-immunité (les deux dernières réponses ont été caractérisées uniquement chez l'humain, et certains modèles biologiques de laboratoire, ce qui n'est pas le cas pour les autres espèces de la faune).

Chez les invertébrés, les organismes étrangers qui traversent la première barrière de défense rencontrent des cellules sanguines réactives (hémocytes ou cœlomocytes) et une variété de molécules cytotoxiques spécifiques et non spécifiques ; d'une part, les repenses cellulaires incluent la réparation des blessures, la coagulation, l'agglutination, l'opsonisation, l'inflammation, la phagocytose, l'encapsulation et la production d'intermédiaires réactifs

d'oxygène (ROI) et d'azote (RNI) cytotoxiques, ainsi que leurs enzymes associées ; d'autre part, celles humorales comprennent des facteurs antimicrobiens (lysozymes, protéases, agglutinines, peptides antimicrobiens), des composés lytiques et les métabolites de l'activation de la cascade de la prophénoloxydase (Fournier et al., 2004).

En ce qui concerne les mécanismes immunitaires attribués à ces trois types de cellules, Johansson *et al* (2000) classifient les hémocytes chez les Crustacés en cellules hyalines principalement impliquées dans la phagocytose, en semigranulocytes actives dans l'encapsulation, et en granulocytes participant au stockage et à la libération de produits impliqués dans la reconnaissance du « non soi », et à la cytotoxicité ; les mêmes mécanismes de défense sont observés chez le Annélides, bien que la phagocytose est assurée par les G2, si elle est dépassée l'encapsulation alors intervient, où les G3 sont impliquées dans la première étape de la reconnaissance du « non soi », plus tard, les G2 viennent se fixer et éliminer l'agent étranger, quant à la cytotoxicité, elle est assurée par les G3 (Dhainaut & Scaps, 2001 ; Cuvillier-Hot *et al.*, 2014) ; cela va dans le même sens que la littérature qui indique que la communication ainsi que la coopération entre cellules sont nécessaires pour accomplir les réponses immunitaires (Johansson *et al.*, 2000), il est également à noter que chez les Mollusques Bivalves, les cellules immunitaires sont responsables aussi de la réparation des coquilles, la digestion et le transport des nutriments, ainsi que l'excrétion (Cima *et al.*, 2000).

Cependant, concernant les réponses immuno-toxicologiques, Canesi & Procházková (2014) indiquent que l'exposition des bivalves aux nanoparticules affecte un grand nombre de paramètres fonctionnels, entre autre le nombre de cellules circulantes, la fonction lysosomale (déstabilisation de la membrane lysosomale et libération des lysozymes), diminution de l'activité phagocytaire, stimulation de la production des oxy-radicaux ; en outre, selon Dhainaut & Scaps (2001), c'est plutôt l'immunité humorale qui est stimulée par les xénobiotiques, parmi lesquels, les PCB qui ont augmenté l'activité des lysozymes chez trois espèces de vers de terre (*Eisenia fetida*, *Eisenia hortensis* et *lumbricus terrestris*) et renforcé d'autres activités moléculaires (hémolyse antibactérienne, action des protéases), cependant chez *L. terrestris*, l'activité des lysozymes a été inhibé par le cuivre.

#### **4-8-Effet de la pollution sur les biomarqueurs de stress :**

Une fois à l'intérieur de l'organisme, les substances toxiques vont subir des réactions biochimiques par lesquelles ils induisent des effets toxiques, en plus des processus

biochimiques qui les modifient en formes facilement éliminées du corps, et ainsi augmentent ou réduisent leur toxicité ; en outre, dans les systèmes biologiques, les ROS sont produites continuellement par divers mécanismes physiologiques en faibles quantités (Valavanidis *et al.*, 2006) ; cependant, cette production peut devenir excessive ou résulter de composés toxiques exogènes (Roméo & Giambérini, 2013), mettant ainsi en palace un état de stress oxydant ; à cet effet, les organismes sont capables de limiter les effets toxiques en activant les mécanismes de détoxification, les systèmes antioxydants, et ceux de réparation et d'élimination des molécules endommagées.

Dans ce contexte, les glutathion S-transférases principalement retrouvées dans le cytoplasme et les mitochondries des cellules eucaryotes et procaryotes (Sheehan *et al.*, 2001) assurent plusieurs fonctions, en faisant partie des enzymes de la phase II du processus de biotransformation des polluants organiques, ils combinent le glutathion réduit avec des composés électrophiles par formation d'un pont Thio-éther, elles jouent également un rôle additionnel dans la détoxification en servant de molécule transporteuse qui augmente la biodisponibilité des toxiques lipophiles vers les enzymes de la phase I (Romeo & Giambérini, 2013), en plus, elles présentent une activité peroxydase et ainsi une action protectrice contre les dommages oxydants (Silva *et al.*, 2011) ; en milieu aquatique, ils étaient largement étudiés comme biomarqueurs d'exposition à une large gamme de contaminants, notamment ceux organiques (Moreira *et al.*, 2006 ; Romeo & Giambérini, 2013).

Nos résultats font ressortir d'une part, que concernant les plus grandes valeurs de l'activité enzymatique de la GST, elles ont été enregistrées durant l'Été chez les femelles de *P. cultrifera* échantillonnées à partir de Ben Zouit et l'Îlot ; cependant, concernant les individus provenant de Tamanart et Bikini, elles ont été constatées durant le Printemps, ceci contre les plus faibles niveaux enregistrés pendant l'Hiver ; d'autre part les niveaux de cette enzyme ont été toujours très hautement supérieurs chez *P. cultrifera* provenant des deux stations de Skikda comparativement à celles de Collo.

Selon la littérature, il existe une relation proportionnelle entre les niveaux de l'activité enzymatique de la GST et ceux de la concentration en polluants présents 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) ; ainsi, les niveaux plus importants enregistrés chez les femelles en provenance de Skikda témoignent une activité de détoxification plus élevée, ainsi qu'une

réponse antioxydante plus importante chez ces deux populations , comme il a été confirmé chez *P. gualpensis* (Díaz-Jaramillo *et al.*, 2013) .

Nos résultats sont en accord avec ceux des travaux antérieurs sur les populations Algériennes de *P. 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) ; ainsi qu'avec la littérature sur les Nereididae employant la réponse biochimique de la GST aux polluants comme biomarqueur témoignant un état de stress, en relation avec le niveau de la pression anthropique du milieu, notamment sur *N. diversicolor* (Aït Alla *et al.*, 2006 ; Durou *et al.*, 2007 b) et *P. gualpensis* (Díaz-Jaramillo *et al.*, 2010 ; Díaz-Jaramillo *et al.*, 2011 ; Díaz-Jaramillo *et al.*, 2013) ; au même titre que d'autres organismes aquatiques, entre autre les Mollusques *Patella caerulea* (Boumaza, 2014), *Donax trunculus* (Sifi *et al.*, 2007 ; Amira *et al.*, 2011 ; Soltani *et al.*, 2012 ; Bensouda & Soltani-Mazouni, 2014), et *Ruditapes decussatus* (Chalghmi *et al.*, 2016), ainsi que l'Arthropode *Palaemon adspersus* (Benradia *et al.*, 2016).

Par ailleurs, nos résultats sont comparables avec ceux de la littérature sur les populations Algériennes de *P. cultrifera* bien qu'elles montrent différentes variations de l'activité de cette enzyme, Guemmouda (2015) a signalé un maximum en Juin au niveau du site référence, et en Avril au niveau des deux sites pollués, alors que, Meghlaoui (2015) et Snani (2016) ont indiqué les plus grands niveaux en mois d'Avril pour tous les sites y compris celui considéré comme référence ; d'après Roméo & Giambérini (2013), les plus grands niveaux des activités antioxydantes sont enregistrées durant le Printemps contre les plus faibles pendant l'Hiver ; en outre, de nombreux auteurs rapportent que l'activité enzymatique des organismes marins peut être extrêmement sensible aux variations saisonnières du milieu (Lagadic *et al.*, 1997) ; par ailleurs, Díaz-Jaramillo *et al* (2010) confirment une variabilité des réponses antioxydantes chez les espèces de la famille des Nereididae, en relation avec le degré et le type de contamination ; cela a été renforcé par Banni *et al* (2009) qui ont signalé chez *N. diversicolor* un maximum de l'activité de la GST chez les vers exposés à 0,4 µM du Cd et du Benzo [a] Pyrène et à 0,2 µM de leur mélange mais aucune signification n'a été observée concernant l'exposition à 1 µM de leur mélange comparativement aux témoins ; d'après ces auteurs, les organismes aquatiques sont inévitablement exposés à une grande variété de

polluants et de leurs mélanges, dont les interactions peuvent générer des effets additifs, synergétiques ou encore antagonistes.

Les ROS jouent un rôle complexe qui peut être physiologique ou toxique, et ce, en fonction de leurs concentrations (Haleng *et al.*, 2007). Un déficit des systèmes de protection antioxydante se révèle par des dommages directs des macromolécules biologiques, en plus de ceux secondaires dues au caractère cytotoxique et mutagène des métabolites libérés au cours de l'attaque contre ces molécules (Roméo & Giambérini, 2013).

Dans ce contexte, la peroxydation lipidique a lieu suite à l'attaque des acides gras polyinsaturés en leur arrachant un hydrogène, menant à une fragilisation des membranes cellulaires (Bus & Gibson, 1979); un des produits de cette dégradation est la Malondialdéhyde MDA, couramment employé afin d'évaluer la peroxydation lipidique des membranes, et ainsi comme biomarqueur de dommages liées aux stress oxydatif (Freitas *et al.*, 2012 ; Romeo & Giambriini, 2012).

Concernent *P. cultrifera*, les concentrations en MDA révèlent d'une part, la même tendance de variation au niveau des quatre stations, où elles diminuent en Hiver puis augmentent continuellement pendant les deux saisons suivantes ; d'autre part, l'accumulation du MDA étaient très légèrement supérieurs chez les deux populations de Skikda en comparaison avec celles de Collo.

Cela est en accord avec les données de la littérature qui indiquent une variation saisonnière des teneurs en produits de la peroxydation lipidique. Diaz-Jaramillo *et al* (2011) montrent chez *P. gualpensis* des niveaux élevés du MDA durant la période froide, alors que chez *P. rullieri*, ils ont été enregistrés pendant la période chaude, suggérant ainsi un effet variable des facteurs naturels du milieu, liés directement ou indirectement avec sa qualité (Nesto *et al.*, 2012) ; d'après Freitas *et al* (2012), le niveau de la peroxydation lipidique est influencé par certaines conditions écologiques et leurs interactions au sein du milieu, notamment la disponibilité de la nourriture, l'intensité de la respiration, et le statu reproducteur des individus.

En outre, plusieurs études sur *N. diversicolor* ont rapporté une étroite relation entre l'augmentation du taux du MDA et la concentration en polluants ; cependant, Bouraoui *et al* (2009) ont signalé chez *N. diversicolor* traitée par 1 µM du Cu, du Benzo [a] Pyrène et de leur

mélange, les plus haut niveaux du MDA après 48 h d'exposition au Cu et après 24 h à leur mélange, bien qu'aucune signification n'a été observée concernant l'exposition au B [a] P comparativement aux témoins, ces auteurs indiquent en plus une induction de l'activité de la Catalase en corrélation avec le niveau de la peroxydation lipidique après 36 h et 12 h seulement d'exposition au Cu, et à leur mélange respectivement ; par ailleurs concernant les Mollusques, les taux élevés en MDA chez les individus en provenance des sites pollués ont été également indiqués chez *Donax trunculus* (Amira, 2007 ; Soltani *et al.*, 2012), et *Ruditapes decussatus* (Chalghmi *et al.*, 2016).

En revanche, d'autres études ont mis en évidence des niveaux faibles en MDA accompagnés d'une induction des différents mécanismes de défense à savoir la CAT, le SOD, afin de surmonter les dommages du stress oxydatif (Geracitano *et al.*, 2004 ; Ait Alla *et al.*, 2006 ; Durou *et al.*, 2007 ; Bouraoui *et al.*, 2015) ; ce qui va en pair avec Cossu *et al.* (2000) qui suggèrent que les organismes ayant un faible système antioxydant sont plus sensibles à la peroxydation lipidique ; Tayaa (2007) montre des taux inférieurs chez *Donax trunculus* provenant du site pollué, tout en suggérant un meilleur système de détoxification et ainsi de protection contre la peroxydation lipidique ; ainsi, les niveaux en MDA affichés chez les individus des deux stations de Skikda, ne reflètent pas une déficience du système de défense antioxydant, étant donné que ces différences paraissent non significatives concernant le niveau du stress des deux populations de Skikda, au contraire, elles indiquent l'efficacité du processus de défense en corrélation avec les niveaux de l'activité enzymatique de la GST supérieurs chez les femelles des deux stations de Skikda, ce qui reflète plutôt la capacité de tolérance chez ces individus.



*CONCLUSION*

## CONCLUSION :

Cette étude a pour but d'évaluer l'état de santé du littoral Est Algérien, au niveau des côtes de Skikda et celles de Collo, et ce, par évaluation de l'impact d'une éventuelle pollution sur la physiologie de deux espèces clés des communautés benthiques, *Perinereis cultrifera* et *Perinereis macropus* (Annélides, Polychètes). Ces espèces considérées comme bioindicatrices de la pollution ont été échantillonnées au niveau de deux sites (deux stations pour chacun), Skikda affecté par la pollution, et Collo considéré comme site référence (comparativement sain), durant une période qui s'étale de Septembre 2013 à Juin 2016. Quatre 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, malgré les différences des valeurs montrant divers degrés de signification entre les quatre stations, et ce, durant certaines saisons, contrairement à l'oxygène dissous, dont la variation de ces concentrations fait ressortir une variabilité très significative à hautement significative entre les quatre stations.

- L'analyse des paramètres physico-chimiques du sédiment des trois stations, qui révèle leur composition granulométrique hétérogène de nature sableuse, représentée par les fractions suivantes : sable grossier à Ben Zouit, sable moyen à grossier à Bikini, et sable fin à moyen à Tamanart ; le pH du sédiment est légèrement alcalin pour toutes les stations, cependant, il a été très hautement inférieur au niveau de Bikini (Skikda) comparativement à Ben Zouit et Tamanart (Collo).

- L'analyse minéralogique des différents composants (eau, sédiment, organismes) qui indique un aspect relativement homogène pour chaque compartiment, bien qu'on constate l'absence/présence de certains éléments en fonction de la station considérée ; ainsi, concernant l'eau de mer on a pu détecter 12 et 13 éléments chimiques au niveau des deux stations de Collo et celles de Skikda respectivement, parmi lesquels 07 éléments métalliques majeurs et 02 ETM, concernant le sédiment on compte 26 éléments à Ben Zouit et 25 à Tamanart et Bikini, dont 08 sont qualifiés d'éléments métalliques majeurs et 16 d'ETM, cependant pour les tissus, on a détecté 21, 22 et 24 éléments chez *P. cultrifera* en provenance de Ben Zouit, Tamanart et Bikini respectivement, et 24 éléments chez *P. macropus* (Ben Zouit) parmi lesquels ceux essentiels en plus de ceux non essentiels.

→ L'analyse quantitative de la composition en ces éléments chimiques a fait ressortir :

- Une variabilité des teneurs selon la fraction et la station considérées, concernant l'eau de mer, on constate des teneurs très élevées en éléments majeurs caractéristiques de l'eau de mer notamment le **Cl** et **Na**, toutefois pour le sédiment, c'était plutôt le **Si**, **Al**, **Cl**, **K**, **Ca** et **Fe** qui présentent les concentrations les plus élevées, tandis que les tissus des deux espèces ont été très riches en **Cl**, **Na**, **K** et **Ca**.

- Des niveaux en éléments détectés notamment ceux métalliques (majeurs et ETM) généralement inférieurs à ceux relevés par la littérature sur la région de Skikda, et d'autres sites (contaminés ou non).

- Concernant la nature et l'intensité d'une éventuelle pollution, le E.F affirme un enrichissement significatif d'origine anthropique en **Cr** à Tamanart et en **As** à Tamanart et Bikini, bien que l'indice de géoaccumulation indique que les trois stations ne présentent pas une pollution métallique.

- Un niveau différent de la bioaccumulation du **Na**, **Mg**, **K**, **Ca**, **Cu**, **Zn**, **As**, **Sr**, **Y**, et **Zr** en fonction de l'espèce et la station considérées, ce qui nous semble un processus naturel concernant les éléments essentiels, et ceux caractéristiques de ces espèces, cependant concernant les autres qui restent, elle est en relation avec plusieurs facteurs déterminant le niveau d'accumulation.

→ L'analyse du biotope permettant l'identification de la faune des macroinvertébrés, ainsi que la flore associées aux deux espèces du genre *Perinereis* nous a permis d'identifier 35 et 34 espèces de macroinvertébrés appartenant à 8 Embranchements (Annelida, Arthropoda, Mollusca, Sipincula, Echinodermata, Nemerta, Cnidaria, Platyhelminthes) au niveau de Collo (Ben Zouit et Tamanart respectivement) ; de même 20 et 22 espèces de macroinvertébrés appartenant à 6 Embranchements (absence des deux derniers) au niveau de Skikda (l'Îlot et Bikini respectivement) ; en plus de plusieurs espèces végétales appartenant à 03 Embranchements (Rhodophyta, Chlorophyta et Chromista), et ainsi, l'identification de 29 et 23 espèces d'algues au niveau de Collo (Ben Zuit et Tamanart respectivement), contre 14 et 16 espèces au niveau de Skikda (l'Îlot et Bikini respectivement).

→ Et par conséquence en ce qui concerne la faune, ces inventaires nous ont permis d'identifier les différentes espèces d'Annélides Polychètes occupant le même biotope que *P. cultrifera* et *P. macropus* qui appartiennent à 9 familles : les Nereididae (*P. oliveira*, *Nereis*

*falsa*, et *Platynereis dumerellii*), les Phyllodocidae (*Eullalia sp*), les Polynoidae (*Lipidonotus clava*), les Syllidae, les Trebellidae, les Cerratulidae, les Sabellidae, les Eunicidae (*Lysidice sp*) et les Lumbrinereidae (*Lumbrinereis sp*) ; seules *P. cultrifera*, *Lipidonotus clava*, et *Lumbrinereis sp* ont été signalées régulièrement au niveau des quatre stations. Concernant la flore, on a pu identifier également plusieurs espèces de Rhodophycées, notamment, les Corallinaceae (*Corallina officinalis* et *Corallina sp*, en plus de *Lithophyllum byssoides*) espèces représentatives du biotope des deux espèces *P. cultrifera* et *P. macropus* respectivement.

→ En revanche, l'analyse des indices écologiques de Shannon-Weaver (H') et d'équitabilité de Piélou (J') qui reflète les niveaux de la biodiversité, qui semble moins riche au niveau des deux stations de Skikda affectées par la pollution, et ce en relation avec la richesse spécifique et l'abondance numérique des différentes espèces plus élevées au niveau des deux stations de Collo.

○ Une approche biologique consacrée à l'évaluation :

→ Des paramètres biométriques à savoir la longueur  $L_3$  et le poids frais chez les deux espèces *P. cultrifera* et *P. macropus* montrant une évolution similaire ; marquée par une augmentation progressive des valeurs atteignant des valeurs maximales durant la période de reproduction, ce qui est en relation avec le processus de la croissance. Bien que pour *P. macropus*, les modifications anatomiques de l'épitoquie ont affecté les valeurs relatives à ces deux paramètres ; il est à noter que *P. macropus* présente une taille ( $L_3$  et poids frais) inférieure à celle de *P. cultrifera*, et la croissance chez ces deux espèces est de type allométrique.

→ Des effets de la pollution sur la croissance qui est plus lente chez les individus de *P. cultrifera* en provenance des deux stations de Skikda comparativement à ceux échantillonnés à partir des deux stations de Collo.

→ Des paramètres liés à la maturité sexuelle et la reproduction, qui indiquent :

▪ un sexe ratio en faveur des femelles, et à moindre degrés en faveur des mâles ou même en équilibre, et ce, en fonction de l'espèce, la station et le mois considérés.

▪ Une évolution de la croissance ovocytaire similaire entre les deux espèces, ainsi qu'aux autres espèces de Nereididae, montrant une évolution progressive du diamètre ovocytaire, qui devient plus prononcée enregistrant des valeurs de plus en plus maximales en

se rapprochant de la période de reproduction ; il est à noter que la croissance ovocytaire est de type asynchrone pour les deux espèces et le diamètre des ovocytes chez *P. cultrifera* est plus élevé que celui de *P. macropus*, et seule cette dernière espèce se reproduit sous la forme épitoque.

▪ En revanche, le diamètre ovocytaire chez les femelles de *P. cultrifera* échantillonnées à partir des deux stations de Skikda est relativement inférieur à celui des femelles récoltées des deux stations de Collo, ce qui est susceptible d'être en relation avec les niveaux des réserves énergétiques affectées par la pression anthropique ; cependant, nos résultats ont montré que malgré leur petite taille, les femelles en provenance de Skikda sont capables de se reproduire éventuellement pendant les mois de Mai à Juin, tandis que, celles de Collo se reproduisent durant le mois d'Avril jusqu'à Juin ; en ce qui concerne *Perinereis macropus*, la période de reproduction a été déterminée au cours du mois de Juillet.

○ Une approche immunologique où :

→ L'étude des cellules immunitaires du liquide cœlomique chez *P. cultrifera* nous a permis d'identifier trois types de cœlomocytes qui sont les granulocytes, le semigranulocytes, et les hyalinocytes, présentant différentes caractéristiques morphologiques et biométriques en concordance avec la littérature sur ce type de cellules chez les Nereididae, et notamment avec celles sur les Crustacées, ainsi qu'une variabilité des proportions de ces trois populations.

○ Une approche écotoxicologique où :

→ L'évaluation de l'activité enzymatique de la Glutathion S-transférase (GST) au niveau du corps entier des femelles a marqué une induction très hautement significative de cette enzyme chez les individus en provenance des deux stations de 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 ; en outre, l'analyse des concentrations du Malondialdéhyde (MDA) révèle une accumulation légèrement plus élevée chez les individus en provenance des deux stations de Skikda ; bien que ces différences étaient statistiquement non significatives, ceci se traduit par l'efficacité des activités antioxydantes chez ces deux populations.

À l'avenir, il serait intéressant d'étendre les sites d'étude de l'Est allant au centre jusqu'à l'Ouest du notre littoral, et de mener des recherches supplémentaires et approfondies sur :

→ Une approche multi marqueurs, à savoir l'évaluation d'autres biomarqueurs de défense et ceux de dommages, au même titre qu'aux indices biotiques, afin de mieux cerner les réponses biologiques, physiologiques et écologiques à la contamination chimique.

→ L'impact de la pollution sur l'expression génique des biomarqueurs.

→ Le suivi du cycle reproducteur chez les deux sexes afin de mieux préciser la période de reproduction et le nombre de ponte.

→ L'ultrastructure des ovocytes, ainsi que l'aspect endocrinologique (dosage hormonal) en fonction de la saison de reproduction.

→ L'évaluation des réponses et atteintes immunologiques induites par une exposition chimique, entre autre la phagocytose, et la stabilité lysosomale.

→ L'analyse moléculaire phylogénétique des espèces de Nereididae, afin d'étudier les divergences génétiques entre les différentes populations Algériennes.

## RÉSUMÉ :

De par la diversité des milieux marins qu'ils ont colonisé, la variété de leur régime alimentaire et leur forte biomasse, les Nereididae jouent un rôle majeur dans le fonctionnement des communautés benthiques ; en revanche, certaines espèces, de par leur intense activité galéicole, ou d'alimentation jouent un rôle déterminant dans le recyclage, le remodelage et la bioturbation des sédiments, ainsi que dans l'enfouissement de la matière organique ; ainsi, *Perinereis cultrifera* et *Perinereis macropus* sont considérées comme espèces clés dans ces communautés benthiques.

Cette étude a pour but d'évaluer l'état de santé du littoral Est Algérien, au niveau des côtes de Skikda et celles de Collo, et ce, par l'évaluation de l'impact d'une éventuelle pollution sur la physiologie de deux espèces clés des communautés benthiques, *Perinereis cultrifera* et *Perinereis macropus* (Annélides, Polychètes), ces espèces considérées comme bioindicatrices de la pollution ont été échantillonnées au niveau de deux sites (deux stations pour chacun), Skikda affecté par la pollution, et Collo considéré comme site référence (comparativement sain), durant une période qui s'étale de Septembre 2013 à Juin 2016. Quatre approches ont été entretenues dans ce travail :

L'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer indique généralement une évolution similaire pour la température, la salinité et le pH, tandis que, l'oxygène dissout montre une variabilité remarquable entre les quatre stations. En outre, l'analyse de ceux du sédiment nous révèle d'une part, la nature sableuse du sédiment dominée par le sable grossier à Ben Zouit, sable moyen à grossier à Bikini, et sable fin à moyen à Tamanart ; d'autre part, le pH est légèrement alcalin pour les trois stations.

L'analyse qualitative des éléments chimiques au niveau de l'eau de mer, le sédiment, et les organismes indique une composition homogène et comparable avec celles des eaux de mer, de la croute terrestre et d'autres espèces de Nereididae respectivement, par la détection d'un nombre variable d'éléments de nature variée et présentant différents niveaux de toxicité et disponibilité en fonction du compartiment considéré.

Celle quantitative a fait ressortir des concentrations en éléments détectés notamment ceux métalliques (majeurs et ETM) généralement inférieurs à ceux relevés par la littérature sur la région de Skikda, et d'autres sites (contaminés ou non) ; en outre, les données relatives

au E.F confirment un enrichissement significatif d'origine anthropique en **Cr** à Tamanart et en **As** à Tamanart et Bikini, cependant, les données de l'Igeo n'indiquent pas une pollution métallique, et ce pour les trois stations, en ce qui concerne le BSAF, nos résultats révèlent différents niveaux de bioaccumulation du **Na, Mg, K, Ca, Cu, Zn, As, Sr, Y, et Zr** en fonction de l'espèce et la station considérées, en relation avec la composition biochimique de ces deux espèces, ainsi qu'aux rôles physiologiques indispensables des éléments essentiels, bien que pour certains éléments, c'est plutôt les interactions entre plusieurs facteurs extrinsèques et intrinsèques qui déterminent ces niveaux d'accumulation.

L'analyse du biotope nous a permis l'identification de plusieurs espèces de la faune et la flore caractéristiques de chaque station. Les espèces animales sont réparties en 08 Embranchements (Annelida, Arthropoda, Mollusca, Sipincula, Echinodermata, Nemerta, Cnidaria, Platyhelminthes) au niveau des deux stations de Collo, contre 06 au niveau de celles de Skikda (absence des deux derniers), en plus de celles végétales appartenant à 03 Embranchements (Rhodophyta, Chlorophyta et Chromista) pour les quatre stations ; en outre, les différentes espèces d'Annélides Polychètes occupant le même biotope que *P. cultrifera* et *P. macropus* appartiennent à 09 familles et sont : les Nereididae (*P. oliveira*, *Nereis falsa* et *Platynereis dumerellii*), les Phyllodocidae (*Eullalia sp*), les Polynoidae (*Lipidonotus clava*), les Syllidae, les Trebellidae, les Cerratulidae, les Sabellidae, les Eunicidae (*Lysidice sp*) et les Lumbrinereidae (*Lumbrinereis sp*), seules *P. cultrifera*, *Lipidonotus clava* et *Lumbrinereis sp* ont été présentes au niveau des quatre stations ; concernant la flore, on a pu également identifier trois espèces de Corallinaceae (*Corallina officinalis* et *Corallina sp*, en plus de *Lithophyllum byssoïdes*) représentatives du biotope des deux espèces *P. cultrifera* et *P. macropus* respectivement.

Par ailleurs, l'analyse des indices écologiques met en évidence une biodiversité moins riche correspondant à une richesse spécifique et une abondance numérique des différentes espèces moins élevées au niveau des deux stations de Skikda affectées par la pollution.

La longueur  $L_3$  et le poids frais chez les deux espèces met en évidence l'évolution du processus de la croissance de type allométrique, ainsi que les modifications caractéristiques de l'épitoquie chez *P. macropus* qui présente une taille ( $L_3$  et poids frais) inférieure à celle de *P. cultrifera*. En outre, ces données biométriques confirment l'effet de la pollution sur la

croissance nettement plus lente chez les individus de *P. cultrifera* en provenance des deux stations de Skikda.

Le sexe ratio est en faveur des femelles, et à moindre degré en faveur des mâles ou même en équilibre ; en outre, l'étude biométrique chez les deux espèces de la croissance ovocytaire met en évidence une évolution similaire avec les autres espèces de Nereididae enregistrant les valeurs maximales au cours de la période de reproduction, le développement des ovocytes montre un aspect asynchrone, le diamètre des ovocytes chez *P. cultrifera* est plus élevé que celui de *P. macropus*, et seule cette dernière espèce se reproduit sous la forme épitoque durant le mois de Juillet, alors que, *P. cultrifera* se reproduit sous la forme atoque pendant les mois d'Avril à Juin (Collo), et durant les mois de Mai à Juin (Skikda).

En revanche, l'effet de la pression anthropique au niveau des deux stations de Skikda est souligné sur le diamètre ovocytaire chez les femelles de *P. cultrifera* relativement inférieur à celui des femelles récoltées des deux stations de Collo, susceptible d'être en relation avec des niveaux inférieurs d'accumulation des réserves énergétiques chez les femelles de Skikda.

L'étude morphologique et biométrique des cellules immunitaires du liquide cœlomique chez *P. cultrifera*, nous a permis d'identifier trois types de cœlomocytes qui sont les granulocytes, le semigranulocytes, et les hyalinocytes, présentant une variabilité des proportions de ces trois populations.

L'évaluation des deux biomarqueurs révèle une induction remarquable de l'activité enzymatique de la Glutathion S-transférase (GST), ainsi qu'une très légère accumulation du Malondialdéhyde (MDA) au niveau du corps entier chez les femelles en provenance des deux stations de Skikda, en relation avec le processus de détoxification et l'efficacité des activités antioxydantes chez ces deux populations, ce qui témoigne un état de stress et la présence des polluants de nature multiple dans ce milieu.

**Mots clés :** *Perinereis cultrifera*, *Perinereis macropus*, littoral Est Algérien, stress environnemental, pollution, éléments chimiques, biodiversité, biologie, reproduction, cœlomocytes, Glutathion-S-transférase, Malondialdéhyde.

## ملخص:

بالنظر إلى تنوع البيئات البحرية التي تتواجد فيها، نظامها الغذائي المتعدد و كثافتها العالية، تلعب les Nereididae دورا كبيرا في المجتمعات القاعية؛ كما أن بعض هذه الأنواع بفضل نشاطها في بناء الجحور، و طرق حصولها على الغذاء، تلعب دورا مهما في إعادة تدوير، تهوية وغور المادة العضوية، و لهذا فإن كل من *Perinereis macropus* و *Perinereis cultrifera* تعتبران من الأنواع المفتاحية لهذه المجتمعات القاعية.

إن الهدف من هذه الدراسة هو تقييم الحالة الصحية للساحل الشرقي الجزائري، على مستوى كل من ساحل سكيكدة والقل، و ذلك من خلال تقييم التأثير المحتمل للتلوث على فيزيولوجيا اثنان من الأنواع المفتاحية للمجتمعات القاعية *Perinereis macropus* و *Perinereis cultrifera* (الحلقيات، عديدة الأشواك)، حيث تم أخذ عينات من هذين النوعين اللذان يعتبران كمؤشرين بيولوجيين للتلوث و ذلك من موقعين اثنين (محطتين لكل منهما)، هما سكيكدة المتأثر بالتلوث و القل الذي اعتبرناه موقعا مرجعا (صحي نسبيا)، خلال الفترة التي امتدت من سبتمبر 2013 إلى جوان 2016. و قد شمل هذا العمل أربع مناهج هي كالتالي:

تحليل المعايير الفيزيائية-الكيميائية لمياه البحر الذي أشار عموما إلى تغيرات متماثلة فيما يخص درجة الحرارة، الملوحة ودرجة الحموضة، في حين أن الأوكسجين المذاب أظهر تباينا ملحوظا بين المحطات الأربع. بالإضافة إلى ذلك، فإن تحليل المعايير الفيزيائية-الكيميائية الخاصة بالرواسب كشف لنا من ناحية الطبيعة الرملية لهذه الرواسب، التي يطغى عليها الرمل الخشن على مستوى بن زويت، الرمل المتوسط إلى الخشن على مستوى بيكيني، والرمل الناعم إلى المتوسط على مستوى تامانارت؛ و من ناحية أخرى، كشف لنا الطبيعة القلوية فيما يخص درجة حموضة الرواسب و ذلك بالنسبة إلى المحطات الثلاث.

التحليل النوعي للعناصر الكيميائية لمياه البحر والرواسب والكائنات الحية أشار إلى تكوين متجانس وقابل للمقارنة مع تكوين مياه البحر، قشرة الأرض وغيرها من أنواع les Nereididae الأخرى على التوالي، عن طريق الكشف عن أعداد متفاوتة من العناصر، التي أظهرت طبيعة متنوعة و مستويات مختلفة من السمية والتوافر حسب العنصر المعني بالتحليل.

في حين كشف التحليل الكمي للعناصر المكتشفة، خاصة العناصر المعدنية (ذات التراكيز العالية و الضئيلة) عن تراكيز أقل عموما من تلك المذكورة في المراجع حول منطقة سكيكدة، ومواقع أخرى (ملوثة أو لا)؛ بالإضافة إلى ذلك، فإن البيانات المتعلقة بالعامل (E.F) أكدت اثرها معنويا مصدره نشاطات الإنسان فيما يخص الكروم على مستوى تامانارت و الزرنيخ على مستوى كل من تامانارت وبيكيني، ومع ذلك، فإن البيانات المتعلقة بالمؤشر (Igeo) لم تشر إلى تلوث معدني وذلك على مستوى المحطات الثلاث؛ بالنسبة للعامل (BSAF) فإن نتائجنا أظهرت مستويات مختلفة من التراكم الحيوي لكل من الصوديوم، المغنيزيوم، البوتاسيوم، الكالسيوم، النحاس، الزنك، الزرنيخ، السترونشيوم، اليتريوم و الزركونيوم، و ذلك حسب النوع والمحنة المأخوذ في عين الاعتبار، حيث أنها تعود إلى التركيب الكيميائي الحيوي لهذين النوعين، فضلا عن الأدوار الفيزيولوجية

الضرورية للعناصر الأساسية، مع أنه فيما يخص بعض العناصر فإن الذي يحدد هذه المستويات من التراكم هو بالأحرى التفاعلات بين العديد من العوامل الخارجية والداخلية.

تحليل البيئة البيولوجية قد سمح لنا بالتعرف على العديد من أنواع الحيوانات والنباتات المميزة لكل محطة؛ حيث تتوزع الحيوانات على 08 شعب (الديدان الحلقية، مفصليات الأرجل، الرخويات، المثعبيات، شوحيات الجلد، الديدان الخرطومية، اللاسعات و الديدان المسطحة) في كل من محطتي القل، مقابل 06 شعب في محطتي سكيكدة (غياب الشعبتين الأخيرتين)، هذا بالإضافة إلى الأنواع النباتية التي تنتمي إلى 03 شعب (الطحالب الحمراء، الطحالب الخضراء و الأسناخ الصبغية) على مستوى المحطات الأربع؛ وعلاوة على ذلك فإن الأنواع المختلفة من الحفليات المتعددة الأشواك التي تتواجد في نفس البيئة البيولوجية لـ *P. cultrefera* و *P. macropus* تنتمي إلى 09 عائلات وتشمل: *Nereididae* (*P. oliveira*، *Nereis falsa* و *Lipidonotus*) les Polynoida، (*Eullalia sp*) les Phyllodocidae، (*Platynereis dumerellii*) les Eunicidae، les Sabellidae، les Cerratulidae، les Trebellidae، les Syllidae، (*clava* *P. cultrifera*) و (*Lysidice sp*) و (*Lumbrinereis sp*) *Lumbrinereidae*، ويجدر بالذكر أن الأنواع التالية فقط: *P. cultrifera*، *Lipidonotus clava* و *Lumbrinereis sp* تمت ملاحظتها في كل من المحطات الأربعة؛ بالنسبة إلى الأنواع النباتية فقد تمكنا أيضا من تحديد ثلاثة أنواع من الطحالب الحمراء (*Corallina officinalis*، *Corallina sp* بالإضافة إلى *Lithophyllum byssoides*) التي تمثل البيئة البيولوجية لكل من *P. macropus* و *P. cultrifera* على التوالي.

وبالإضافة إلى ذلك، فإن تحليل المؤشرات الإيكولوجية أظهر تنوعا بيولوجيا أقل غنا، يتوافق مع الثروة المحددة والوفرة العددية للأنواع المختلفة، المنخفضتين على مستوى كل من محطتي سكيكدة المتأثرتين بالتلوث. الطول  $L_3$  والوزن عند كلا النوعين بينا تطور عملية النمو على أنها *allométrique*، كما أنه تمت ملاحظة التغيرات المورفولوجية المميزة للـ *épitoque* لدى *P. macropus* فقط، هذه الأخيرة أظهرت حجما (الطول  $L_3$  والوزن) أقل من حجم *P. cultrifera*. علاوة على ذلك، فقد أكدت هذه المعطيات البيومترية تأثير التلوث على نمو أفراد *P. cultrefera* الذي يتضح جليا أنه أبطأ بكثير عند هذه الأخيرة التي تم جمعها من محطتي سكيكدة.

المعطيات المتعلقة بنسبة الجنس أشارت أنه لصالح الإناث، وبدرجة أقل لصالح الذكور أو أيضا في حالة توازن؛ بالإضافة إلى ذلك، دلت الدراسة البيومترية لنمو الخلايا البيضية عند كلا النوعين على تطور متماثل مع الأنواع الأخرى من *Nereididae*، حيث تم تسجيل القيم القصوى خلال فترة التكاثر؛ تطور الخلايا البيضية كشف عن مظهر غير متزامن (*asynchrone*)، قطر هذه الخلايا الملاحظ عند *P. cultrefera* كان أعلى من القطر المسجل عند *P. macropus*، و فقط هذه الأخيرة تتكاثر على شكل *épitoque* خلال شهر جويلية، في حين أن *P. cultrefera* تتكاثر على شكل *atoque* خلال أشهر أبريل إلى جوان (القل)، وخلال شهري ماي إلى جوان (سكيكدة).

من ناحية أخرى، تم التأكيد على تأثير ضغط النشاطات البشرية على مستوى كلتا محطتي سكيكدة على قطر الخلايا البيضاء لدى إناث *P. cultrefera*، حيث سجلت عند هذه الأخيرة قيما أقل نسبيا من الإناث التي تم جمعها من محطتي القل، حيث أنه من المرجح أن يكون ذلك راجعا إلى مستويات منخفضة لتراكم احتياطي الطاقة لدى إناث سكيكدة.

سمحت الدراسة المورفولوجية والبيومترية للخلايا المناعية لسائل التجويف لدى *P. cultrefera* بتحديد ثلاثة أنواع من الخلايا هي les hyalinocytes و les semigranulocytes, les granulocytes حيث أظهرت هذه المجموعات الثلاثة تباينا فيما يخص نسبها.

و كشف تقييم كل من المؤشرين الحيويين عن تحريض ملحوظ للنشاط الإنزيمي لـ Glutathion S-transférase، فضلا عن تراكم طفيف جدا لـ Malondialdéhyde على مستوى كل الجسم لدى الإناث التي تم جمعها من محطتي سكيكدة، وهو ما يعد مرتبطا بكل من بعملية إزالة السموم وفعالية الأنشطة المضادة للأكسدة عند هاتين المجموعتين من الأفراد، كما يدل على حالة من التوتر ووجود ملوثات ذات طبيعة متعددة في هذا الوسط.

**الكلمات المفتاحية :** الساحل الشرقي الجزائري، الاضطراب البيئي، التلوث، العناصر الكيميائية، التنوع الحيوي، علم الأحياء، التكاثر، cœlomocytes ,Glutathion S-transférase ,Malondialdéhyde.

## **Abstract :**

Do to the diversity of marine environments they colonize, the great diversity of trophic guilds they exhibit and their high biomass, Nereididae play an important role in the functioning of benthic communities; besides, some species, by their burrowing activity or feeding one play an important role in recycling, remodeling and reworking of sediments, as well as in the burial of organic matter; so, *Perinereis cultrifera* and *Perinereis macropus* are considered as key species in these benthic communities.

The purpose of this study is to evaluate the health state of the Algerian East coast, at Skikda and Collo coasts, by assessing the impact of a possible pollution on the physiology of two key species of benthic communities, *Perinereis cultrifera* and *Perinereis macropus* (Annelids, Polychaetes), these species considered as bioindicators of pollution were sampled from two sites (two stations for each), Skikda affected by pollution, and Collo considered as reference one (comparatively healthy), during a period carried out from September 2013 to June 2016. Four approaches were maintained in this work:

The analysis of the physicochemical parameters of seawater generally indicates a similar evolution of temperature, salinity and pH, whereas, dissolved oxygen shows a remarkable variability between the four stations ; in addition, the physicochemical parameters of the sediment reveals on one hand, the sandy nature of the sediment dominated by coarse sand in Ben Zouit, medium to coarse sand in Bikini, and fine to medium sand in Tamanart ; on the other hand, the slightly alkaline pH for the three stations.

The qualitative analysis for chemical elements in seawater, sediment and tissues indicates a homogeneous and comparable composition with those of seawater, Earth's crust and other Nereididae species respectively, by the detection of a different number of elements having different nature, levels of toxicity and availability, depending on the considered compartment.

The quantitative one has revealed concentrations of detected elements, in particular metallic ones (majors and ETM) generally lower than those found in the literature on Skikda region, and other sites (contaminated or not) ; moreover, data on the E.F confirm a significant anthropogenic enrichment for **As** in Tamanart, **Cr** and **As** in Tamanart and Bikini, however, those on the Igeo do not indicate a metal pollution for all the three stations, for the BSAF, our

results reveal different bioaccumulation levels for **Na, Mg, K, Ca, Cu, Zn, As, Sr, Y, and Zr** depending on the considered species and station, in relation to the biochemical composition of these two species, as well as the physiological vital roles of essential elements, although for some elements it is rather the interactions between several extrinsic and intrinsic factors that determine these levels of accumulation.

The biotope analysis has allowed us to identify several species of fauna and flora characterizing each station. The animal species are divided into 08 phyla (Annelida, Arthropoda, Mollusca, Sipincula, Echinodermata, Nemerta, Cnidaria and Platyhelminthes), at the two stations of Collo, against 06 at those of Skikda (absence of the two last ones), in addition to those of the flora belonging to 03 phyla (Rhodophyta, Chlorophyta et Chromista), at the four stations ; also, the different species of Annelids Polychaetes occupying the same biotope as *Perinereis cultrifera* and *Perinereis macropus* belong to 09 families that are : Nereididae (*P. olivei ra*, *Nereis falsa* and *Platynereis dumerellii*), Phyllodocidae (*Eullalia sp*), Polynoidae (*Lipidonotus clava*), Syllidae, Trebellidae, Cerratulidae, Sabellidae and Eunicidae (*Lysidice sp*) and Lumbrinereidae (*Lumbrinereis sp*), only *P. cultrifera*, *Lipidonotus clava* and *Lumbrinereis sp* were present at the four stations ; concerning the flora, three species of Corallinaceae were also be identified (*Corallina officinalis* and *Corallina sp*, in addition to *Lithophyllum byssoides*) representative of the biotope of the two species *P. cultrifera* and *P. macropus* respectively.

Otherwise, the ecological indices analysis has shown a less rich biodiversity corresponding to a specific richness and a numerical abundance of the different species, lower at the two stations of Skikda affected by pollution.

The L<sub>3</sub> length and fresh weight in both species highlights the allometric evolution of the growth process, as well as, changes characteristics of epitoky in *P. macropus*, which has a smaller size (L<sub>3</sub> and fresh weight) than *P. cultrifera*. Furthermore, these biometric data confirm the effect of pollution on growth that is clearly much slower in *P. cultrifera* individuals from the two stations of Skikda.

The sex ratio is in favor of females, and to a lesser degree in favor of males or even in equilibrium ; besides, the biometric study in both species of oocyte's growth has shown a similar evolution with other Nereididae species recording maximum values during the

breeding season, the oocytes' development has revealed an asynchronous aspect, the diameter of oocytes in *P. cultrifera* is higher than that of *P. macropus*, and only this last species breeds with epitoky during the month of July, while *P. cultrifera* breeds with atoky during the months from April to June (Collo), and from May to June ( Skikda).

Furthermore, the effect of the anthropogenic pressure on the two stations of Skikda was underlined on the oocytes diameter in females of *P. cultrifera* relatively lower than that marked in those sampled from the two stations of Collo, likely to be related to lower levels of energy reserves accumulation in Skikda females.

The morphometric study of the immune cells of the coelomic fluid in *P. cultrifera* allowed us to identify three types of coelomocytes that are: granulocytes, semigranulocytes and hyalinocytes, presenting a variable proportions of these three populations.

The assess of the two biomarkers reveals a remarkable induction of the enzymatic activity of Glutathione S-transferase (GST), as well as a very slight accumulation of Malondialdehyde (MDA) in the whole body of females from the two stations of Skikda, related to the detoxification process and the effectiveness of the antioxidant activities in these two populations, indicating a state of stress and the presence of pollutants with multiple nature in this environment.

**Key words:** *Perinereis cultrifera*, *Perinereis macropus*, Algerian East coast, environmental stress, pollution, chemical elements, biodiversity, biology, reproduction, coelomocytes, Glutathione S-transferase, Malondialdehyde.



# *RÉSUMÉS*

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

**Abboudi, A., Tabyaoui, H., Hamichi, F., Benaabidate, L., Lahrach, A., 2014.** Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou, MAROC. *European Scientific Journal*, **10 (23)**: 84-94.

**Abdennour, C., Smith, B.D., Boulakoud, M.S., Samraoui, B., Rainbow, P.S., 2000.** Trace metals in marine, brackish and freshwater prawns (Crustacea, Decapoda) from northeast Algeria. *Hydrobiologia*, **432**: 217-227.

**Abrantes, A., 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**: 267-284.

**Adam, O., Badot, P.M., Degiorgi, F., Crini, G., 2009.** Mixture toxicity assessment of wood preservative pesticides in the freshwater amphipod *Gammarus pulex* (L). *Ecotoxicol. Environ. Saf*, **72**: 441-449.

**Aït-Aïssa, S., Palluel, O., Porcher, J.M., 2003.** Biomarqueurs précoces d'écotoxicité. INERIS, 49 p. Rapport final BCRD n° 00-102.

**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). *Comp. Biochem. Physiol*, **143 C**: 23-29.

**Alger, D.B., 1992.** The effect of temperature on the solubility of gases in liquids. *J. Chem. Educ*, **69 (1)**: 62.

**Ali, M.M., Soltan, M.E., 1996.** The impact of three industrial effluents on submerged aquatic plants in the River Nile, Egypt. *Hydrobiology*, **340**: 77-83.

**Allam, H., Aouar, A., Benguedda, W., Bettioui, R., 2016.** Use of Sediment and Algae for Biomonitoring the Coast of Honaïne (Far West Algerian). *Open Journal of Ecology*, **6**: 159-166.

**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, J.C., Amiard-Triquet C., 2015.** Quality Standard Setting and Environmental Monitoring. Chapter 3. In: Aquatic Ecotoxicology: Advancing Tools for Dealing with Emerging Risks. London: *Academic Press*, 51-76.

**Amira, A., 2007.** Evaluation du stress environnemental chez *Donax trunculus* : Mesure de biomarqueurs (GSH et MDA) et corrélation avec le métabolisme lipido-glucidique durant la

période de reproduction au niveau du Golfe d'Annaba. Thèse de Magister en Biologie et physiologie animale, option : Reproduction et développement. Université d'Annaba, 77 p.

**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.

**Andries, J.C., 2001.** Endocrine and environmental control of reproduction in Polychaeta. *Can. J. Zool.*, **79**: 254-270.

**Arias, A., Darke, P., 1995.** Distribution and production of the polychaete *Nereis diversicolor* in a shallow coastal lagoon in the Bay of Cádiz. *Cah. Biol. Mar.*, **36**: 201-210.

**Arias, A., Richter A., Anadón N., Glasby C. J., 2013.** Revealing Polychaetes invasion patterns: Identification, reproduction and potential risks of the Korean ragworm, *Perinereis lineata* (Treadwell), in the Western Mediterranean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **131**: 117-128.

**Attrill, M.J & Depledge, M.H., 1997.** Community and population indicators of ecosystem health: Targeting links between levels of biological organisation. *Aquatic Toxicology*, **38** : 183-197.

**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 (IJSR)*, **4 (7)**: 2257-2363.

**Ayari, R., Afli, A., 2003.** Bionomie benthique de petit golfe de Tunis. *Bulletin Institut National des Sciences et Technologie de la mer, Salammbô*, **30** : 79-90.

**Bakalem, A., Ruellet, T., Dauvin, J.C. 2009.** Benthic indices and ecological quality of shallow Algeria fine sand community. *Ecological Indicators*, **9**: 395-408.

**Bakken, T., Glasby, C.J., Wilson, R.S., 2009.** A review of paragnath morphology in Nereididae (Polychaeta), *Zoosymposia*, **2**: 305-316.

**Banni, M., Bouraoui, Z., Clerandau, C., Narbonne, J.F., Boussetta, H., 2009.** Mixture toxicity assesment of cadmium and benzo[a]pyrene in the sea worm *Hediste diversicolor*. *Chemosphere*, **77 (7)**: 902-906.

**Banta, G.T., Holmer, M., Jensen, M.H., Kristensen, E. 1999.** Effects of two polychaete worms, *Nereis diversicolor* and *Arenicola marina*, on aerobic and anaerobic decomposition in a sandy marine sediment. *Aquatic Microbial Ecology*, **19**: 189-204.

**Barron, M.G., 2002.** Bioaccumulation and Bioconcentration. Chapter 32. In: Handbook of Ecotoxicology. Hoffman, D., Rattner, D., Burton, G.A., Cairns, J. (2<sup>nd</sup> Ed). London: Lewis Publishers, 856-877.

**Bartels-Hardege, H.D., Zeeck,E., 1990.** Reproductive behaviour of *Nereis diversicolor* (Annelida: Polychaeta). *Marine Biology*, **106 (3)**: 409-412.

**Beart, J.L., 1986.** Vitelline et organisation de la vitellogenèse protéique chez *Perinereis cultrifera* (Annélide Polychète). Thèse de Doctorat en Science Naturelle. Université des Sciences et Techniques de Lille, 199 p.

**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. *Environ. Rev*, **4**: 276-299.

**Beloulou, L., 1987.** Hydrogeological study and evaluation of water resources of the Collo Basin, Skikda, Algeria. Thesis of Master of Sciences with a Major in Hydrology. University of Arizona, 128 p.

**Bely, A.E., 2006.** Distribution of segment regeneration ability in the Annelida. *Integrative and Comparative Biology*, **46 (4)**: 508-518.

**Bely, A.E., 2014.** Early events in annelid regeneration: A cellular perspective. *Integrative and Comparative Biology*, **54 (4)**: 688-699.

**Benchikh, N., 2009.** Etude de la croissance et du cycle de reproduction de la moule *Perna perna* dans le golfe d'Annaba et le littoral d'El- Kala. Thèse de Magistère en Sciences de la Mer, option: Synécologie fonctionnelle des communautés et parasitisme en milieu aquatique, Université d'Annaba, 79 p.

**Beniash, E., Ivanina, A., Lieb, N.S., Kurochkin, I., Sokolova, I.M., 2010.** Elevated level of carbon dioxide affects metabolism and shell formation in oysters *Crassostrea virginica*. *Marine Ecology Progress Series*, **419**: 95-108.

**Benradia, H., Berghiche, H., Soltani, N., 2016.** Measure of environmental stress biomarkers in the shrimp *Palaemon adspersus* from the Mellah lagoon (Algeria) : Spatial and temporal variations. *Fresenius Environmental Bulletin*, **25 (7)**: 2563-2566.

**Bensahla, T.L., Mezdjri, L., Bensahla, T.A., Mami, A., Kerfouf, A., 2014.** Physico-chemical quality and metallic pollution levels in wastewater discharges from Mostaganem (Algerian West Coasts). *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 116-125.

**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 (12)**: 1902-1914.

**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. *Arch. Environ. Contam. Toxicol*, **45**: 468-478.

**Bordjiba, O., Bekhouche, F., Hassaine, A., Djenidi, R., 2009.** Impact de la pollution par les hydrocarbures sur la qualité des eaux usées dans la région de Skikda (Nord-Est Algérien). *European Journal of Scientific Research*, **26 (1)**: 87-97.

**Borja, A., Bremner, J., Muxika, I., Rodriguez, J.G., 2015.** Biological responses at supraindividual levels. Chapter 14. In: *Aquatic ecotoxicology*. Elsevier, 333-354.

**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, 194 p.

**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., Beghdoud, L.M., Hamma., W. 2017.** The Algerian coastline between degradation and protection of the heritage: the case of the coastal town of Ain El Turck. *Urbanism. Arhitectură. Construcții*, **8 (3)**: 249-262.

**Boutefnouchet, N., Bouzerna, N., Chettibi, H., 2005.** Assessment of the petrochemical industry pollution on the Skikda Bay, Algeria. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **2 (3)**: 463-468.

**Bradford, M.M., 1976.** A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem*, **72**: 248-254.

**Breitzke, M., 2006.** Physical Properties of Marine Sediments. In: *Marine Geochemistry*. Schulz, H.D., Zabel, M. (2<sup>nd</sup>Ed). Germany: Springer, 28-69.

**Bryan, G.W., Gibbs, P.E., 1979.** ZINC - A major inorganic component of Nereid polychaete jaws. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **59**: 969-973.

**Bryan, G.W., Gibbs, P.E., 1980.** Metals in Nereid Polychaetes: the contribution of metals in the jaws to the total body burden. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **60**: 641-654.

**Buchanan, J.B., 1984.** Sediment analysis. In: Methods for the study of marine benthos. Holmes, N.A., McIntyre, A.D. (2<sup>nd</sup>Ed). Oxford: Blackwell Scientific Publications, 41-65.

**Burton, G.A., Denton, D.L., Ho, K.T., Ireland, S., 2002.** Sediment toxicology testing, issues and methods. Chapter 5. In: Handbook of Ecotoxicology. Hoffman, D., Rattner, D., Burton, G.A., Cairns, J. (2<sup>nd</sup>Ed). London : Lewis Publishers, 111-150.

**Campbell, P.G.C., Couillard, Y., 2004.** Prise en charge et détoxification Des Métaux chez les organismes aquatiques. Chapitre 1. In: Écotoxicologie moléculaire : principes fondamentaux et perspectives de développement. Pelletier É., Campbell P.G.C., Denizeau F. Canada: Presse de l'Université de Québec, 10-61.

**Canesi, L., Procházková, P., 2014.** The invertebrate immune system as a model for investigating the environmental impact of nanoparticles. Chapter 7. In: Nanoparticles and the Immune System. *Safety and Effects*, 91-112.

**Cassai, C., Prevedelli, D., 1998.** Reproductive effort, fecundity and energy allocation in two species of the genus *Perinereis* (Polychaeta: Nereididae). *Invertebrate Reproduction and Development*, **34** (2-3): 125-131.

**Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, Charles., Venail, P., Narwani, A., Mace, G.M., Tilman, D., Wardle, D.A., Kinzig, A.P., Daily, G.C., Loreau, M., Grace, J.B., 2012.** Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, **486**: 59-67.

**Cardinaletti, G., Mosconi, G., Salvatori, R., Lanari, D., Tomassoni, D., Carnevali, O., Polzonetti-Magni, A.M., 2008.** Effect of dietary supplements of mussel and polychaetes on spawning performance of captive sole, *Solea solea* (Linnaeus, 1758). *Anim. Reprod. Sci.*, **113** (1-4): 167-76.

**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.

**Chalghmi, H., Zrafi, I., Gourves, P.Y., Bourdineauda, J.P., Saidane-Mosbahib, D., 2016.** Combined effects of metal contamination and abiotic parameters on biomarker

responses in clam *Ruditapes decussatus* gills: an integrated approach in biomonitoring of Tunis lagoon. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 1-13.

**Chen, Z., Mayer, L.M., 1999.** Sedimentary metal bioavailability by the digestive constraints of marine deposit feeders: gut retention time and dissolved amino acids. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **176**: 139-151.

**Chester, R., 1990.** Marine Geochemistry. London: Unwin Hyman Ltd, 698 p.

**Cima, F., 2010.** Microscopy methods for morpho-functional characterisation of marine invertebrate haemocytes. In: Microscopy: Science, Technology, Applications and Education, Vol 2, Microscopy Book Series N. 4, Formatex Research Center, Badajoz, 1100-1107.

**Cima, F., Matozzo V., Marin, M.G., Ballarin, L., 2000.** Haemocytes of the clam *Tapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850): morphofunctional characterization. *Fish & Shellfish Immunology*, **10**: 677-693.

**Çinar, M.E., Altun, C., 2007.** A Preliminary Study on the Population Characteristics of the Lessepsian Species *Pseudonereis anomala* (Polychaeta: Nereididae) in Skenderun Bay (Levantine Sea, Eastern Mediterranean). *Turk. J. Zool.*, **31**: 403-410.

**Claparède, R.E., 1870.** Les annélides chétopodes du Golfe de Naples. Supplément, Société de physique et d'histoire naturelle de Genève, Genève et Bale, 236 p.

**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., Kesner-Reyes, K., Kitsos, M., Koukouras, A., Lampadariou, N., Laxamana, E., de la Cuadra, C.M., Lotze, H.K., Martin, D., Mouillot, D., Oro, D., Raicevich, S., Rius-Barile, J., Saiz-Salinas, J., San Vicente, C., Somot, S., Templado, J., Turon, X., Vafidis, D., Villanueva, R., Voultsiadou, E., 2010.** The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, patterns, and threats. *PLoS ONE*, **5 (8)** e11842: 1-334.

**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.

**Cuvillier-Hot, V., Boidin-Wichlacz, C., Tasiemski, A., 2014.** Polychaetes as annelid models to study ecoimmunology of marine organisms. *Journal of Marine Science and Technology*, **22 (1)**: 9-14.

**Daas, T., Younsi, M., Daas-Maamcha, O., Scaps, P., 2010.** Ovogenesis of *Nereis falsa* Quatrefages, 1866 (Annelida, Polycheta) from El-Kala area (Algeria). *Bull. Soc. zool. Fr.*, **135 (1-2)**: 129-139.

**Daas, T., Younsi, M., Daas-Maamcha, O., Gillet, P., Scaps, P., 2011 a.** Reproduction, population dynamics and production of *Nereis falsa* (Nereididae: Polychaeta) on the rocky coast of El Kala National Park, Algeria. *Helgol Mar Res*, **65** (2): 165-173.

**Daas, T., Hamdi, L., Daas-maamcha, O., Scaps, P., 2011 b.** Biomarqueurs de pollution chez l'Annélide Polychète *Perinereis cultrifera* de la côte Est Algérienne. *Bull. Soc. zool. Fr*, **136** (1-4): 117-130.

**Dakhama, A., Dhainaut, A., 1985.** Dégénérescence cellulaire intestinale chez l'Annélide Polychète *Perinereis cultrifera* au cours de l'épitoquie et après ablation du cerveau. *Reprod. Nutr.Dévelop*, **25** (3): 555-566.

**Darper, H.H., Hadly, M., 1990.** Malondialdehyde determination as index of lipid peroxidation. *Methods in Enzymology*, **186**: 31- 421.

**Dauvin, J.C., Grimes, S., Bakalem, A., 2013.** Marine biodiversity on the Algerian Continental Shelf (Mediterranean Sea), *Journal of Natural History*, 1-22.

**De Lafontaine, Y., Gagnéa, 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). *Aquat. Toxicol.* **50**: 51-71.

**Dean, H.K., 2008.** The use of Polychaetes (Annelida) as indicator species of marine pollution: a review. *Rev. Biol. Trop*, **56** (4): 11-38.

**Delaire-Hesdin, A., 1989.** Production d'anticorps monoclonaux dirigés contre des neurosecretions du cerveau de *Nereis virens*: purification des neuropeptides reconnus et identification des cellules concernées. Thèse de Doctorat en Sciences de la vie et la santé. Université des Sciences et Techniques de Lille, 92 p.

**Depledge, M.H., 1994.** The rational basis for the use of biomarkers as ecotoxicological tools. In: *Nondestructive Biomarkers in Vertebrates*. Fossi, M.C., Leonzio, C., Boca Raton: Lewis Publishers, 271-295.

**Desrosiers, G., Caron, A., Olivier, M., Miron, G., 1994.** Cycle de développement d'une population intertidale de *Nereis virens* (Polychaeta Nereidae) de l'estuaire maritime du Saint-Laurent. *Oceanologica Acta*, **17** (6): 683-695.

**Desrosiers, G., Vincent, B., Retière, C., Boucher, L., 1988.** Comparaisons de critères utilisables pour l'étude de la structure des populations du polychète *Nereis virens* (Sars). *J. Can. Zool*, **66** (6): 1454-1459.

**Dhainaut, A., Porchet-Henneré, E., 1988.** Haemocytes and coelomocytes. In : *The ultrastructure of the Polychaeta*. New York: Fisher Verlag Edition, 215-230.



**Dhainaut, A., Scaps, P., 2001.** Immune defense and biological responses induced by toxics in Annelida. *Can. J. Zool.*, **79**: 233-253.

**Diaz-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.

**Diaz-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.

**Diaz-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., 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.

**Doney, S.C., Ruckelshaus, M., Duffy, J.E., Barry, J.P., Chan, F., English, C.A., Galindo, H.M., Grebmeier, J.M., Hollowed, A.B., Knowlton, N., Polovina, J., Rabalais, N.N., Sydeman, W.J., Talley, L.D., 2012.** Climate change impacts on marine ecosystems. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, **4**: 11-37.

**Douhri, H., Sayah, F., 2009.** The use of enzymatic biomarkers in two marine invertebrates *Nereis diversicolor* and *Patella vulgata* for the biomonitoring of Tangier's bay (Morocco). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **72**: 394-399.

**Duffy, J.E., 2009.** Why biodiversity is important to the functioning of real-world ecosystems. *Front Ecol Environ*, **7** (8): 437-444.

**Duquesne, S., Küster, E., 2010.** Biochemical, metabolic, and behavioural responses and recovery of *Daphnia magna* after exposure to an organophosphate. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **73**: 353-359.

**Durchon, M., Porchet, M., 1971.** Premières donnes quantitatives sur l'activité endocrine du cerveau des Nereidiens au cours de leur cycle sexuel. *Gen. Comp. Endocrinol.*, **16**: 555-565.

**Durou, C., Smith, B.D., Roméod, M., Rainbow, P.S., Mouneyrac, C., Mouloud, M., Gnassia-Barellid, M., Gillet, P., Deutche, B., Amiard-Triquet, C., 2007 a.** From biomarkers to population responses in *Nereis diversicolor*: Assessment of stress in estuarine ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **66**: 402-411.

**Durou, C., Poirier, L., Amiard, J.C., Budzinski, H., Gnassia-Barelli, M., Lemenach, K., 2007 b.** Biomonitoring in a clean and multi-contaminated estuary based on biomarkers and chemical analyses in the endobenthic worm *Nereis diversicolor*. *Environ. Pollut*, **148**: 445-58.

**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.

**Durrieu de Madron, X., Guieu, C., Sempere, R., Conan, P., Cossa, D., D'Ortenzio, F., Estournel, C., Gazeau, F., Rabouillem, C., Stemmann, L., Bonnet, S., Diaz, F., Koubbi, P., Radakovitch, O., Babin, M., Baklouti, M., Bancon-Montigny, C., Belviso, S., Bensoussan, N., Bonsangm, B., Bouloubassi, I., Brunet, C., Cadiou, J.F., Carlotti, F., Chami, M., Charmasson, S., Charriere, B., Dachs, J., Doxaran, D., Dutaym, J.C., Elbaz-Poulichet, F., Eleaume, M., Eyrolles, F., Fernandez, C., Fowler, S., Francour, P., Gaertner, J.C., Galzin, R., Gasparini, S., Ghiglione, J.F., Gonzalez, J.L., Goyet, C., Guidi, L., Guizien, K., Heimburger, L.E., Jacquet, S.H.M., Jeffrey, W.H., Joux, F., Le Hir, P., Leblanc, K., Lefevre, D., Lejeusne, C., Leme, R., Loye-Pilot, M.D., Mallet, M., Mejanelle, L., Melin, F., Mellon, C., Merigot, B., Merle, P.L., Migon, C., Miller, W.L., Mortier, L., Mostajir, B., Mousseau, L., Moutin, T., Para, J., Perez, T., Petrenko, A., Poggiale, J.C., Prieur, L., Pujo-Pay, M., Pulido-Villena., Raimbault, P., Rees, A.P., Ridame, C., Rontani, J.F., Ruiz-Pino, D., Sicrem, M.A., Taillandier, V., Tamburini, C., Tanaka, T., Taupier-Letage, I., Tedetti, M., Testor, P., Thebault, H., Thouvenin, B., Touratier, F., Tronczynski, J., Ulses, C., Van Wambeke, F., Vantrepotte, V., Vaz, S., Verney, R., 2011.** Marine ecosystems' responses to climatic and anthropogenic forcings in the Mediterranean. *Progress in Oceanography*, **91**: 97-166.

**Eckelbarger, K.J., 2005.** Oogenesis and oocytes. *Hydrobiologia*, **535/536**: 179-198.

**Effendi, H., Mursalina, M.K., Lestaria, D.F., 2016.** Ecological risk assessment of heavy metal pollution in surface sediment of Mahakam Delta, East Kalimantan. *Procedia Environmental Sciences*, **33**: 574-582.

**Ehlers, L.J., Luthy, R.G., 2003.** Contaminant bioavailability in soil and sediment. *Environ. Sci. Technol.*, **37**: 295-302.

**Fadhullah, W., Syakir, M.I., 2016.** Polychaetes as ecosystem engineers: Agents of Sustainable Technologies. In: Renewable energy and sustainable technologies for building and environmental applications. Springer, Cham. 137-150.

**Fauchald, K., 1977.** The polychaete worms: definitions and keys to the orders, families and genera. Natural history Museum of Los Angeles County in conjunction with the Allan Hancock Foundation University of southern California. Science series, 187 p.

**Fauvel, P., 1913.** Quatrième note préliminaire sur les Polychètes provenant des compagnes de l'Hirondelle et de la Princesse-Alice ou déposées dans le musée océanographique de Monaco. *Bulletin océanographique de Monaco*, **253-273**: 1-80.

**Fauvel, P., 1923.** Polychètes errantes. In : Faune de France 4. Paris. 488 p.

**Fauvel, P., 1936.** Contribution à la faune des Annélides Polychètes du Maroc. *Mémoires de la société des sciences naturelles du Maroc*, **43**: 1-143.

**Fauvel, P., 1953.** The fauna of India including Pakistan, Ceylon, Burma and Malaya. The Indian Press. LTD, 525 p.

**Fidalgo e Costa, P., 1999.** Reproduction and growth in captivity of the polychaete *Nereis diversicolor* O.F. Müller, 1776, using two different kinds of sediment: Preliminary assays. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr*, **15 (1-4)**: 351-355.

**Fidalgo e Costa, P., 2003.** The oogenic cycle of *Nereis diversicolor* (O.F. Müller, 1776) (Annelida: Polychaeta) in shallow water environments in southwestern Portugal. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, **19**: 17-29.

**Fischer, A, Dorresteijn, A.W.C., Hoeger, U., 1996.** Metabolism of oocyte construction and the generation of histospecificity in the cleaving egg. Lessons from Nereid annelids. *Int. J. Dev. Biol*, **40**: 421-431.

**Fischer, A., Dorresteijn, A., 2004.** The Polychaete *Platynereis dumerilii* (Annelida): a laboratory animal with spiralian cleavage, lifelong segment proliferation and a mixed benthic/pelagic life cycle, *BioEssays*, **26**: 314-325.

**Fish, J.D., Fish, S., 2011.** A student's guide to the seashore. (3<sup>rd</sup> Ed). New York: Cambridge University Press, 573 p.

**Fong, P.P., 1991.** The effects of salinity, temperature, and photoperiod on epitokal metamorphosis in *Neanthes succinea* (Frey et Leuckart) from San Francisco Bay. *Exp. Mar. Biol. Ecol*, **149**: 177-190.

**Fontaine, P.H., 2006.** Beautés richesses des fonds marins du Saint-Laurent. Québec Canada: Éditions MultiMondes, 261 p.

**Förstner, U., Wittmann, G.T.W., 1981.** Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer Study Edition, New York, 486 p.

**Fossi-Tankoua, O., Buffeta, P.E., Amiard, J.C., Amiard-Triquet, C., Meleder, V., Gillet, P., Mouneyrac, C., Bertheta, B., 2012.** Intersite variations of a battery of biomarkers at different levels of biological organization in the estuarine endobenthic worm *Nereis diversicolor* (Polychaeta, Nereididae). *Aquatic Toxicology*, **114-115**: 96-103.

**Fournier, M., Lalancette, A., Ménard, L., Christin-piché, M.S., De Guise., Brousseau, P., 2004.** Biomarqueurs immunologiques appliqués à l'écotoxicologie. Chapitre 9. In: Écotoxicologie moléculaire: principes fondamentaux et perspectives de développement. Pelletier É., Campbell P.G.C., Denizeau F. Canada: Presse de l'Université de Québec, 402-443.

**Frangipane, G., Volpi Ghirardini, A., Collavini, F., Zaggia, L., Pesce, A., Tagliapietra, D., 2005.** Heavy metals in *Hediste diversicolor* (Polychaeta : Nereididae) and salt marsh sediments from the lagoon of Venice (Italy). *Chemistry and Ecology*, **21 (6)** : 441-454.

**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.

**García-Alonso, J., Müller, C.T., Hardege, J.D., 2008.** Influence of food regimes and seasonality on fatty acid composition in the ragworm. *Aquatic Biology*, **4**: 7-13.

**García-Arbera, L., Rallo, A., 2002.** Life cycle, demography and secondary production of the Polychaete *Hediste diversicolor* in a non-polluted estuary in the Bay of Biscay. *Marine Ecology*, **23 (3)**: 237-251.

**Geracitano, L. Monserrat, J.M., Bianchini, A., 2004.** 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**: 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.

**Gewurtz, S.B., Lazar, R., Haffner, G.D., 2000.** Comparison of polycyclic aromatic hydrocarbon and polychlorinated biphenyl dynamics in benthic invertebrates of Lake Erie, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **19 (12)**: 2943-2950.

**Giangrande, A., Licciano, M., Musco, L., 2005.** Review. Polychaetes as environmental indicators revisited. *Mar. Pollut. Bull*, **50**: 1153-1162.

**Gibbs, P.E., Bryan, G.W., 1980.** Copper the major metal component of glycerid polychaete jaws. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **60**: 205-214.

**Gillet, P., 1990.** Biomasse, production et dynamique des populations de *Nereis diversicolor* (Annélide Polychète) de l'estuaire de la Loire (France). *Oceanologica Acta*, **13** (3): 361-372.

**Gillet, P., Mouloud, M., Durou, C., Deutsch, B., 2008.** Response of *Nereis diversicolor* population (Polychaeta, Nereididae) to the pollution impact - Authie and Seine estuaries (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **76**: 201-210.

**Gillet, P., Surugiu, V., Vasile, R., Metais1, I., Mouloud, M., Simo, P., 2011.** Preliminary data on population dynamics and genetics of *Alitta succinea* (Polychaeta: Nereididae) from the Romanian coast of the Black Sea., *Italian Journal of Zoology*, **78** (S1): 229-241.

**Glasby, C.J., Wei, N.W.V, Gibbs, K.S., 2013.** Cryptic species of Nereididae (Annelida: Polychaeta) on Australian coral reefs. *Invertebrate Systematics*, **27**: 245-264.

**Golding, D.W., 1967.** Endocrinology, regeneration and maturation in *Nereis*. *Biol. Bull. Mar. Biol. Lab. Woods Hole*, **133**: 567-577.

**Golding, D.W., Yuwono E., 1994.** Latent capacities for gametogenic cycling in the semelparous invertebrate *Nereis*. *Proc. Nat. Acad. Sci. Physiology USA*, **91**: 11777-11781.

**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.

**Grall, J., Chauvaud, L., 2002.** Marine eutrophication and benthos: the need for new approaches and concepts. *Global Change Biology*, **8**: 813-830.

**Gray, J.S., 2002.** Biomagnification in marine systems: the perspective of an ecologist. *Marine Pollution Bulletin*, **45**: 46-52.

**Grimes, S., 2004.** Biodiversité marine et littorale Algérienne. Université d'Es Senia-Oran, 362 p.

**Grimes, S., 2010.** Peuplements benthiques des substrats meubles de la cote algérienne : Taxonomie, structure et statut écologique. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Environnement, option : Biologie et Pollution Marines. Université d'Oran, 362 p.

**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, 72 p. Bilan et diagnostic phase 1 rapport n°1.

**Grimes., 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.

**Grimmel, J., Dorresteijn, A.W. C., Fröbius, A.C., 2016.** Formation of body appendages during caudal regeneration in *Platynereis dumerilii*: adaptation of conserved molecular toolsets. *EvoDevo*, **7 (10)**: 1-14.

**Grube, E., 1840.** Actinien, Echinodermen und Wu'rmer des Adriatischen und Mittelmeers. J. H. Bon, Ko'nigsberg, 92 p.

**Guddah, D., 2014.** Evaluation de la pollution industrielle et urbaine dans la région Est Algérienne (Skikda). Thèse de Doctorat en Sciences de la Mer, option : Ecosystèmes côtiers et ressources vivantes. Université d'Annaba, 137 p.

**Guddah, D., Djebbar, A.B., 2014.** Pollution by heavy metals of the superficial marine sediment of Skikda city (Northeastern Algeria). *Annals of Biological Research*, **5 (1)**: 40-45.

**Guddah, D., Bouglouf, M., Djebbar, A.B., 2014.** Preliminary assessment of the impact of the planning of Stora's fishing port (Skikda-Northeastern Algeria) on the marine environment. *Annals of Biological Research*, **5 (12)**: 46-50.

**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*. *Scholars Research Library, Annals of Biological Research*, **5 (2)**: 31-40.

**Gupta, R.K., Sharma, J.A., Vohra, A. 2013.** Identification of different types of hemocytes in freshwater crab *Paratelphusa masoniana* (Henderson). *International Journal of Fisheries and Aquaculture Sciences*, **3**: 7-12.

**Gürlük, S., 2009.** Economic growth, industrial pollution and human development in the Mediterranean Region. *Ecological Economics*, **68**: 2327-2335.

**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.

**Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J.O., Charlier, C., Chapelle, J.P., 2007.** Le stress oxidant. *Rev Med Liege*, **62 (10)**: 628-638.

**Hamdy, R., Dorgham, M.M., El-Rashidy, H.H., Atta, M.M., 2014.** Biometry and reproductive biology of *Pseudonereis anomala* Gravier 1901 (Polychaeta: Nereididae) on the Alexandria coast, Egypt. *Oceanologia*, **56** (1): 41-58.

**Hanafiah, Z., Masanori, S., Hidetochi, S., Hiroaki, T., 2006.** Reproductive swarming of Nereidid Polychaetes in the estuary of Omuta-Gawa reiver in Kyuchu JAPAN, with special reference to simultaneous swarming of the two *Hediste* species. *Zoological Science*, **23**: 205-217.

**Hardege, E.Z.J., Bartels-Hardege, H., 1990.** Sex pheromones and reproductive isolation in two Nereid species, *Nereis succinea* and *Platynereis dumerilii*. *Marine Ecology Progress Series*, **67**: 183-188.

**Hardege, J.D., Bartels-Hardege, H.D., Zeeck, E., Grimm, F.T., 1990.** Induction of swarming of *Nereis succinea*. *Marine Biology*, **104**: 291-295.

**Hardege, J.D., Müller, C., Beckmann, M. 1997.** A waterborne female sex pheromone in the ragworm *Nereis succinea* (Annelida, Polychaeta). *Polychaete Res*, **17**: 18-21.

**Harley, C.D.G., Randall Hughes, A., Hultgren, K.M., Miner, B.G., Sorte, C. J.B., Thornber, C.S., Rodriguez, L.F., Tomanek, L., Williams, S.L., 2006.** The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters*, **9**: 228-241.

**Hartenstein, V., 2006.** Blood Cells and Blood Cell Development in the Animal Kingdom. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol*, **22**: 677-712.

**Hébert-Chatelain, 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.

**Heilskov, A.C., Holmer, M. 2001.** Effects of benthic fauna on organic matter mineralization in fish-farm sediments: importance of size and abundance. *ICES Journal of Marine Science*, **58**: 427-434.

**Hoeger, U., Rebscher, N., Geier, G., 1999.** Metabolite supply in oocytes of *Nereis virens*: role of nucleosides. *Hydrobiologia*, **402**: 163-174.

**Hutchings, P., 1998.** Biodiversity and functioning of Polychaetes in benthic sediments. *Biodiversity and Conservation*, **7**: 1133-1145.

**Imajima, M., 2003.** Polychaetous Annelids from Sagami Bay and Sagami Sea Collected by the Emperor Showa of Japan and Deposited at the Showa Memorial Institute National Science Museum, Tbkyo (II). 221 p.

**Imajima, M, Gamô, S., 1970.** Polychaetous annelids from the intrtidal zone of manazourou, Kanagawa Prefecture. *Science Reports of the Yokohama National University*, **16**: 1-18.

**Ireland, D. S., Ho, K. T., 2005.** Toxicity tests for sediment quality assessments Citation Information. Chapter 1. In: *Ecotoxicological Testing of Marine and Freshwater Ecosystems Emerging Techniques, Trends and Strategies*. Munawar, M., Munawar, I.F. London: Taylor & Francis Group, 1-42.

**Johansson, M.W., Keyser, P., Sritunyalucksana, K., Soderhall, K., 2000.** Crustacean haemocytes and haematopoiesis. *Aquaculture*, 45-52.

**Joppa, L.N., O'Connor, B., Visconti, P., Smith, C., Geldmann, J., Hoffmann, M., Watson, J.E.M. Butchart, S.H.M. Virah-Sawmy, M., Halpern, B.S., Ahmed, S. E., Balmford, A., Sutherland, W.J. Harfoot, M., Hilton-Taylor, C., Foden, W., Di Minin, E., Pagad, S., Genovesi, P., Hutton, J., Burgess, N.D., 2016.** Filling in biodiversity threat gaps. *Science Translational Medicine*, **352 (6284)**: 416-418.

**Jumars, P.A., Dorgan, K.M., Lindsay, S.M., 2015.** Diet of worms emended : An update of Polychaete feeding guilds Appendix A family-by-family updates. Supplemental Material. *Annu. Rev. Mar. Sci.* **7**: 497-520.

**Kehal, M., Mennour, A., Reinert, L., Fuzellier, H., 2004.** Heavy metals in water of the Skikda Bay. *Environmental Technology*, **25**: 1059-1065.

**Kennish, M.J., 2002.** Environmental threats and environmental future of estuaries. *Environ. Conserv*, **29 (1)**: 78-107.

**Kinberg, J.G.H., 1865.** Annulata nova. Öfversigt af Kongl. *Vetenskaps-akademiens forhandlingar*, **22 (2)**: 167-179.

**Krachai, N., Hadjel, M., 2016.** Etude de la qualité des sédiments marins pollués de la côte Ouest de l'Algérie. *Communication Science & technology*, **16**: 44-53.

**Kristensen, E., Delefosse, M., Quintana, C.O., Flindtand, M.R., Valdemarsen, T., 2014.** Influence of benthic macrofauna community shifts on ecosystem functioning in shallow estuaries. *Frontiers in Marine Science*, **1**: 1-14.

**Lagadic, L., Caquet, T., Amirad, J.C., Ramade, F., 1997.** Biomarqueurs en écotoxicologie. In: *Biomarqueurs en écotoxicologie: Aspects fondamentaux*. Masson (Eds). Paris: 1-9.

**Laib, E., Leghouchi, E., 2012.** Cd, Cr, Cu, Pb, and Zn concentrations in *Ulva lactuca*, *Codium fragile*, *Jania rubens*, and *Dictyota dichotoma* from Rabta Bay, Jijel (Algeria). *Environ Monit Assess*, **184**: 1711-1718.

**Lamont, P.A., Gage, J.D., 2000.** Morphological responses of microbenthic Polychaetes to low oxygen on the Oman continental slope, NW Arabian Sea. *Deep-Sea Research*, **47 (1-2)**: 9-24.

**Lane, A.C., Mukherjee, J., Chan, V.B.S., Thiyagarajan, V., 2013.** Decreased pH does not alter metamorphosis but compromises juvenile calcification of the tube worm *Hydroides elegans*. *Mar Biol*, **160**:1983-1993.

**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 implications for their functional. *Phil. Trans. R. Soc*, **364 (B)**: 3363-3376.

**Leblanc, G.A., 1995.** Trophic-level differences in the bioconcentration of chemicals: Implications in assessing environmental biomagnification. *Environ. Sci. Technol*, **29** : 154-160.

**Lejeusne, C., Chevaldonne, P., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C.F., Pérez, T., 2009.** Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea, *Trends in Ecology and Evolution*, **25 (4)**: 250-260.

**Lewis, C., Watson, G.J., 2012.** Expanding the ecotoxicological toolbox: The inclusion of Polychaete reproductive endpoints. *Marine Environmental Research*, **75**: 10-22.

**Li, W., Chen, S., Wang, Xu., Li, Huiting., Wang, Shujun., He, X., Bao, B., Wu, W., 2016.** The recovery effects of *Perinereis aibuhitensis* Grube added to enteral immune-enhancing nutrition in severely burned mice. *RSC Adv*, **6**: 92705-92715.

**Lin, C., He, M., Liu, S., Li, Y., 2012.** Contents, Enrichment, Toxicity and Baselines of trace elements in the estuarine and coastal sediments of the Daliao River System, China. *Geochemical Journal*, **46**: 371-380.

**Liquete, C., Piroddi, C., Macías, D., Druon, J.N., Zulian G., 2016.** Ecosystem services sustainability in the Mediterranean Sea: assessment of status and trends using multiple modelling approaches. *Scientific Reports*, **6 (34162)**: 1-14.

**Liu, Q.T., Diamond, M.L., Gingrich, S.E., Ondov, J.M., Maciejczyk, Polina., Stern, G.A., 2003.** Accumulation of metals, trace elements and semi-volatile organic compounds on exterior window surfaces in Baltimore. *Environmental Pollution*, **122**: 51-61.

**Livingstone, D.R., 1993.** Biotechnology and pollution monitoring: use of molecular biomarker in the aquatic environment. *J. Chem. Technol. Biotechnol*, **57**: 195-211.

**Lotze, H.K., Coll, M., Magera, A.M., Ward-Paige, C., Airoidi, L., 2011.** Recovery of marine animal populations and ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, **26 (11)**: 595-605.

**Luoma, S.N., G.W. Bryan. 1982.** A statistical study of environmental factors controlling concentrations of heavy metals in the burrowing bivalve *Scrobicularia plana* and the polychaete *Nereis diversicolor*. *Estuar. Coastal. Shelf Sci*, **15**: 95-108.

**Maatallah, R., Mezedjeri, L., Djebar, A.B., 2013.** Quantitative evaluation of total hydrocarbons in coastal waters of Skikda (North East Algeria). *European Journal of Scientific Research*, **114 (2)**: 284-294.

**Madani, L.N., Grimes, S., Douga, A., Oubraham-Arezki, S., 2011.** Diversité des peuplements de polychètes de la baie d'alger, In : Biodiversité des cotes Algériennes, 81-87. Numéro spécial du bulletin du Centre National de Développement des Ressources Biologiques.

**Maltagliati, F., Camili, L., Lardicci, C., Castelli, A., 2001.** Evidence for morphological and genetic divergence in *Perinereis cultrifera* (Polychaeta: Nereididae) from two habitat types at Elba Island. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, **81**: 411-414.

**Maret, W., 2016.** The Metals in the Biological Periodic System of the Elements: concepts and conjectures. *International Journal of Molecular Sciences*, **17 (66)**: 1-8.

**Markert, B., 1994.** The Biological System of the Elements (BSE) for terrestrial plants (glycophytes). *The Science of the Total Environment*, **155**: 221-228.

**Markert, B., Fränzle, S., Wünschmann, S., 2015 a.** The Biological System of Elements (BSE). Chapter 2. In: Chemical Evolution. Switzerland: Springer International Publishing, 63-104.

**Markert, B., Fränzle, S., Wünschmann, S., 2015 b.** Analysing the Biological Roles of Chemical Species Chapter 3. In: Chemical Evolution. Switzerland: Springer International Publishing, 105-156.

**Matozzo, V., Marin, M.G., 2010.** First cytochemical study of haemocytes from the crab *Carcinus aestuarii* (Crustacea, Decapoda). *European Journal of Histochemistry*, **54 (e9)**: 44-49.

**Meghlaoui, Z., 2015.** Stress environnemental et biodiversité des Polychètes dans le littoral Est algérien : Analyse phylogénétique. Thèse de Doctorat en Biologie et physiologie animale, option : Physiotoxicologie. Université d'Annaba, 193 p.

**Meghlaoui, Z., Guemouda, M., Snani, M., Daas, T., Maamcha, O., Scaps, P., 2015 a.** Effect of oil pollution on polychaete annelids in the Algerian East coast. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, **3 (3)**: 339-343.



**Meghlaoui, Z., Daas, T., Snani, M., Daas-Maamcha, O., Scaps, P., 2015 b.** Annual variations of the presence of Nereididae (Annelida: Polychaeta) from intertidal rocky shores along the east coast of Algeria. *Check List*, **11 (6) 1808**: 1-9.

**Mézédjri, L., Tahar, A., Djebar, A.B., 2008.** Statistical approach on the impact of the activity of the industrial zone of Skikda on the quality of the waters of Saf-Saf Wadi (Skikda Algerian East Coasts). *European Journal of Scientific Research*, **20 (2)**: 343-347.

**Millero, F., Pierrot, D., 2002.** Speciation of Metals in Natural Waters. Chapter 8. In: Chemistry of Marine Water and Sediments. Gianguzza, A., Pelizzetti, E., Sammartano, S. London: Springer, 193-2017.

**Millero, F.J., 2013.** Chemical oceanography. (4<sup>th</sup>Ed). London: Taylor & Francis Group, 547 p.

**Moissan, J., 2006.** Guide d'identification des principaux macroinvertébrés d'eau douce de Québec. Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs, 82 p.

**Mora, C., Zapata, F.A., 2013.** Anthropogenic footprints on biodiversity. Chapter 17. In: The Balance of Nature and Human Impact. Rohde, K. Australia: University of New England, 239- 258.

**Moreira, S.M., Limaa, I., Ribeiro, R., Guilhermino, L., 2006.** Effects of estuarine sediment contamination on feeding and on key physiological functions of the Polychaete *Hediste diversicolor*: Laboratory and in situ assays. *Aquatic Toxicology*, **78**: 186-201.

**Mouneyrac, C., Perrein-Ettajani, H., Amiard-Triquet, C., 2010.** Influence of anthropogenic stress on fitness and behaviour of a key-species of estuarine ecosystems, the ragworm *Nereis diversicolor*. *Environmental Pollution*, **158 (1)**: 1-8.

**Müller, G., 1969.** Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geol. J*, **2**: 108-118.

**Nacef, L., Bachari, N.E.I., Bouda, A., Boubnia, R., 2017.** Variability and decadal evolution of temperature and salinity in the Mediterranean Sea surface. *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, **1 (1)**: 24-33.

**Navratil, T., Minarik, L., 2005.** Trace elements and contaminants. Earth System : History and Natural Variability. *EOLSS*, **4**: 1-9.

**Nesto, N., Simonini, R., Prevedelli, D., Da Ros, L., 2012.** Effects of diet and density on growth, survival and gametogenesis of *Hediste diversicolor* (O.F. Müller, 1776) (Nereididae, Polychaeta). *Aquaculture*, **362-363**: 1-9.

**Newman, B.K., Watling, R.J., 2007.** Definition of baseline metal concentrations for assessing metal enrichment of sediment from the south-eastern Cape coastline of South Africa. *Water SA*, **33** (5): 675-692.

**Olive, P.J.W., 1999.** Polychaete aquaculture and Polychaete science: a mutual synergism. *Hydrobiologia*, **402**: 175-183.

**Olive, P.J.W., Lewis, C., Beardall, V., 2000.** Fitness components of seasonal reproduction: an analysis using *Nereis virens* as a life history model. *Oceanologica Acta*, **23** (4, 1): 377-389.

**Olive, P.J.W., Fletcher, J., Rees, S., Desrosiers, G., 1997.** Interactions of environmental temperature with photoperiod in determining age at maturity in a semelparous Polychaete *Nereis (neanthes) virens* sars. *J. Therm. Biol.*, **22**(6): 489-497.

**Olive, P.J.W., Rees, S.W., Djunaedi, A., 1998.** Influence of photoperiod and temperature on oocyte growth in the semelparous polychaete *Nereis (Neanthes) virens*. *Marine Ecology Progress Series*, **172**: 169-183.

**Omena, E.P., Amaral, A.C.Z., 2001.** Morphometric study of the nereidid *Laeonereis acuta* (Annelida: Polychaeta). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **81**: 423-426.

**Osman, I.H., Gabr, H.R., Saito, H., El-Etreby, S.G.H., 2010.** Reproductive biology of the highly commercial polychaetes in the Suez Canal. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **90** (2) : 281-290.

**Ouali, N., 2006.** Evaluation des pollutions industrielle et urbaine dans la région d'Annaba : impact sur l'écosystème marin côtier. Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences de la Mer, option : Ecosystèmes côtiers et ressources vivantes. Université d'Annaba, 140 p.

**Pagliosa, P R., da Cunha Lana, P., 2000.** Population dynamics and secondary production of *Nereis oligohalina* (Nereididae: Polychaeta) from a subtropical marsh in southeast Brazil, *Bulletin of Marine Science*, **67**(1): 259-268.

**Palmer, P.G., Swang, S., Houlihan, A., Brock, I., 2014.** Nutritional status of a Nereidid Polychaete cultured in sand filters of mariculture wastewater. *Aquaculture Nutrition*, 1-17.

**Papageorgiou, N., Arvanitidis, C., Eleftheriou, A., 2006.** Multicausal environmental severity: a flexible frame work for microtidal sandy beaches and the role of Polychaetes as an indicator taxon. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **70**: 643-653.

**Perez, T., Sartoretto, S., Soltan, D., Capo, S., Fourt, M., Dutrieux, E., Vacelet, J., Harmelin, J.G., Rebouillon, P., 2000.** Etude bibliographique sur les bioindicateurs de l'état

du milieu marin. Système d'évaluation de la Qualité des Milieux littoraux Volet biologique, 642 p. Rapport Agences de l'Eau, 4 fascicules.

**Philips, D.J.H., Rainbow, P.S., 1994.** Biomonitoring of trace aquatic contaminants. (2<sup>nd</sup>Ed) London: Chapman and Hall, 292 p.

**Pinel-Alloul, B., Perceval, O., Giguère, A., Couillard, Y., Campbell, P.G.C., Hare, L., 2004.** La métallothionéine: Un biomarqueur d'exposition au cadmium pour les invertébrés d'eau douce. Chapitre: 2. In: Écotoxicologie moléculaire : principes fondamentaux et perspectives de développement. Pelletier, É., Campbell, P.G.C., Denizeau F. Canada: Presse de l'Université de Québec, 64-108.

**Pocklington, P., Wells, P.G., 1992.** Polychaetes : key taxa for marine environmental quality monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, **24**: 593-598.

**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., 1972.** Variations de l'activité endocrine des cerveaux en fonction de l'espèce, du sexe et du cycle vital chez quelques Nereidiens (Annelides Polychètes). *Gen. Comp. Endocrinol.*, **18**: 276-283.

**Porchet, M., 1974.** Activité endocrine cérébrale chez les Nereidae - Données quantitatives, influence sur la teneur en glucides des ovocytes et du liquide coelomique, mécanisme régulateur de la sécrétion hormonale. Thèse de Doctorat ès en Sciences Naturelles. Université des Sciences et Techniques de Lille, 122 p.

**Prevedelli, D., Simonini, R., 2003.** Life cycles in brackish habitats: adaptive strategies of some Polychaetes from the Venice lagoon. *Oceanologica Acta*, **26**: 77-84.

**Qiu, J.W., Qian, P.Y., 1997.** Combined effects of salinity, temperature and food on early development of the Polychaete *Hydroides elegans*. *Mar Ecol Prog Ser*, **152**: 79-88.

**Rainbow, P.S. 2006.** Biomonitoring of trace metals in estuarine and marine environments. *Australasian Journal of Ecotoxicology*, **12**: 107-122.

**Ramade F., 2008.** Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et la biodiversité. Paris: Dunod, 737 p.

**Read, G., Fauchald, K., 2016.** World Polychaeta database. Accessed through: Costello, M.J., Bouchet, P., Boxshall, G., Arvantidis, C., Appeltans, W., 2016. European Register of Marine Species.

**Reish, D.J., Gerlinder, T.V., 1997.** A review of the toxicological studies with Polychaetous Annelids. *Bull. Mar.Sci*, **60**: 584-607.

**Rettob, M., Putnarubun, C., Erbabley, N., Rahantoknam, S., 2015.** Nutritional Contents of Lawar *Perinereis cf. cultrifera* (Grube 1840) from Wearlilir Waters Southeast Maluku District Indonesia. *International Journal of Science and Research*, 2319-7064.

**Rhee, J.S., Won, E.J., Kim, R.O., Choi, B.S., Choi, I.K., Park, G.S., Shin, K.H., Lee, Y.M., Lee, J.S., 2012.** The Polychaete, *Perinereis nuntia* ESTs and its use to uncover potential biomarker genes for molecular ecotoxicological studies. *Environmental Research*, **112**: 48-57.

**Rodier, J., Bazin, C., Broutin, J.P., Chambon, P., Champsaur, H., Rodier, L., 1996.** L'Analyse de l'Eau. (8<sup>ème</sup>Ed). Paris : Dunod, 1384 p.

**Roméo., Giambérini., 2013.** History of Biomarkers, In: Ecological Biomarkers, Indicators of Ecotoxicological Effects. Amiard-Triquet, C., Amiard, J.C., Rainbow, P.S. London: Taylor & Francis Group, 15-43.

**Romieu, M. 1923.** Recherches histophysiologiques sur le sang et le corps cardiaque des Annélides polychètes: contribution à l'histologie comparée du sang. *Arch. Morphol. Gen. Exp*, **17**: 1-336.

**Rossi, F., Como, S., Corti, S., Lardicci C. 2001.** Seasonal variation of a deposit-feeder assemblage and sedimentary organic matter in a brackish basin mudflat (Western Mediterranean, Italy). *Euarine, Coastal and Shelf Science*, **53**: 181-191.

**Rouabah, A., 2003.** Comparaison au plan biochimique et génétique de populations de l'annélide polychète *Perinereis cultrifera* du littoral français et algérien : précision des liens de parenté. Thèse de Doctorat en Biologie Moléculaire. Université de Constantine, 121 p.

**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., Rouabah, L., 2007.** Biodiversité et complexe d'espèces *Perinereis cultrifera*: un exemple de spéciation. *Sciences & technologie*, **25 (c)**: 79-87.

**Rouabah, L., Rouabah, A., Ferroudj, S., Scaps, P., 2008.** Comparison of the life cycles of two populations of the Polychaete *Perinereis cf. cultrifera* from the Bay of Algiers (Mediterranean Sea). *Scientia Marina*, **72 (4)**: 769-778.

**Rouabah, A., Rouabah, L., Tahar, A., Scaps, P., 2009.** Variations in Paragnath Number of the Different Morphs of the Polychaete *Perinereis cf. Cultrifera* in Relation to Geographical Location and Type of Reproduction. *American Journal of Scientific Research*, **1 (2)**: 12 -22.

**Rouhi, A., Sif, J., Ferssiwi, A., Chema, A., 2007.** Bioaccumulation de quelques éléments métalliques par deux espèces d'Annélides Polychètes du littoral de Jorf Lasfar (région d'El Jadida, Maroc). *Bulletin de l'institut scientifique, Rabat, section science de la vie*, **29**: 81-87.

**Rouhi, A., Sif, J., Gillet, P., Deutsch, B., 2008.** Reproduction and population dynamics of *Perinereis cultrifera* (Polychaeta: Nereididae) of the Atlantic coast, El Jadida, Morocco. *Cah. Biol. Mar.*, **49**: 150-160.

**Rubio, B., Nombela, M.A. Vilas, F., 2000.** Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): an assessment of metal pollution. *Marine Pollution Bulletin*, **40** (11): 968-980.

**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.

**Salzet, M., Tasiemski, A., Cooper, E., 2006.** Innate Immunity in Lophotrochozoans: The Annelids. *Current Pharmaceutical Design*, **12**: 3043-3050.

**Scaps, P., Retière, CH., Desrosiers, G., Miron, G., 1992.** Dynamique d'une population de *Perinereis cultrifera* (Grübe) de la côte nord Bretagne. *Cah. Biol. Mar.*, **33**: 477-494.

**Scaps, P., Rouabah, A., Leprêtre, A., 2000.** Morphological and biochemical evidence that *Perinereis cultrifera* (Polychaeta: Nereididae) is a complex of species. *J. Mar. Biol. Ass.*, **735-736**.

**Scaps, P., Descamps, M., Demuynck, S., 2002.** Biochemical and physiological responses induced by toxics in Annelida: utilisation as biomarkers. *Comp. Biochem. Physiol.*, **9** : 165-173.

**Schulz, H.D., Zabel, M., 2006.** Marine Geochemistry. (2<sup>nd</sup>Ed). Germany: Springer, 574 p.

**Shannon, C.E., Weaver, W., 1963.** The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, 117 p.

**Sheehan, D., Meade, G., Foley, V. M., Dowd, C. A., 2001.** Structure, function and evolution of glutathione transferases: implications for classification of non-mammalian members of an ancient enzyme superfamily. *The Biochemical journal*, **360**: 1-16.

**Sies, H., 1991.** Physiological society symposium: Impaired endothelial and smooth muscle cell function in oxidative stress. Oxidative stress: Oxidants and antioxidants. *Experimental Physiology*, **82**: 291-295.

**Sif, J., Rouhi, A., Gillet, P., Moncef, M., 2012.** Diversité et écologie des Annélides Polychètes du littoral atlantique de la région d'El Jadida (Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, **34 (2)**: 95-106.

**Sifi, K., 2009.** Biosurveillance de la qualité des eaux du golfe d'Annaba : croissance, composition biochimique et dosage de biomarqueurs de stress environnemental chez *Donax trunculus* (Mollusque, Bivalve). Thèse de Doctorat en Biologie et physiologie animale, option : Ecotoxicologie. Université d'Annaba, 195 p.

**Sifi, K., Chouahda, S., Soltani, N., 2007.** Biosurveillance de l'environnement par mesure de biomarqueurs chez *Donax trunculus* (L., 1758) dans le golfe d'Annaba (Algérie). *Mésogé*, **63**: 11-18.

**Sigg, L., Behra, P., Stumm, W., 2014.** Chapitre 1: La composition chimique des eaux naturelles Chimie des milieux aquatiques. (5<sup>ème</sup>Ed). Dunod, 1-17.

**Šima, P., 1993.** Annelid coelomocytes and hemocytes: roles in cellular immune reactions, 115- 165, In: Immunology of Annelids. Větvicka, V., Cooper, E.L., Bilej, M., Roch, P., USA: CRC Press, .

**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.

**Simpson, S.L., Batley, G.E., Chariton, A.A., Stauber, J.L., King, C.K., Chapman, J.C., Hyne, R.V., 2005.** Handbook for Sediment Quality Assessment. Bangor: CSIRO, 117 p.

**Skirris, N., 2014.** Past, present and future patterns of the thermohaline circulation and characteristic water masses of the Mediterranean Sea. Section I, Chapter 3. In: The Mediterranean Sea: Its history and present challenges. Goffredo, S., Zvy, D., London: Springer, 29-48.

**Snani, M., 2016.** Etude comparative de la reproduction d'un bioindicateur de pollution, *Perinereis cultrifera* (Annelide, Polychète) du littoral nord-est algérien et des côtes de la manche française « aspects morpho-anatomiques, génétiques, immunologiques et activités enzymatiques». Thèse de Doctorat en Biologie Animale Environnementale, option : Reproduction & Développement. Université d'Annaba, 218 p.

**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.

**Soltani, N., Amira, A., Sifi, K., 2014.** Impact de la pollution sur *Donax trunculus* dans la baie d'Annaba (Algérie) : croissance et mesure de biomarqueurs durant deux années.

Proceeding of International Congress on Estuaries and Coastal Protected Areas. Izmir, Turkey, 232-241.

**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.

**Soon, T.K., Denil, D. J., Ransangan, J., 2016.** Temporal and spatial variability of heavy metals in Marudu Bay, Malaysia. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, **45 (3)**: 353-367.

**Steckbauer, A., Duarte, C.M., Carstensen, J., Vaquer-Sunyer, R., Conley, D.J., 2011.** Ecosystem impacts of hypoxia: thresholds of hypoxia and pathways to recovery. *Environmental Research Letters*, **6**: 1-12.

**Strong, J.A., Andonegi, E., Bizzel, K.C., Danovaro, R., Elliott, M., Franco, A., Garcés, 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.

**Tahseen, Q., 2009.** Coelomocytes: Biology and Possible Immune Functions in Invertebrates with Special Remarks on Nematodes. *International Journal of Zoology*, 1-13.

**Tanhua, T., Hainbucher, D., Schroeder, K., Cardin, V., Álvarez, M., Civitarese, G., 2013.** The Mediterranean Sea system: a review and an introduction to the special issue. *Ocean Sci*, **9**: 789-803.

**Tayaa, H., 2007.** Caractérisation morphométrique et variation de deux biomarqueurs du stress environnemental (LDH, MDA) dans deux sites du golfe d'Annaba chez *Donax trunculus* : corrélation avec le métabolisme lipido- glucidique. Thèse de Magister en Biologie et physiologie animale, option : Ecologie animale. Université d'Annaba, 58 p.

**Templeton, D.M., Ariese, F., Cornelis, R., Danielsson, L.G., Muntau, H., Leeuwen, H.P., Lobinski, R., 2000.** Guidelines for terms related to chemical speciation and fractionation of elements. Definitions, structural aspects, and methodological approaches. *Pure Appl. Chem*, **72 (8)**: 1453-1470.

**Tosuji, H., Sato, M., 2006.** Salinity favorable for early development and gamete compatibility in two sympatric estuarine species of the genus *Hediste* (Polychaeta: Nereididae) in the Ariake Sea, Japan. *Marine Biology*, **148**: 529-539.

**Ushakova, O.O., Sarantchova, O.L., 2004.** The influence of salinity on fertilization and larval development of *Nereis virens* (Polychaeta, Nereidae) from the White Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **301**: 129-139.

**Valavanidis, A., Vlahogianni, T., Dassenakis, M., Scoullou, M., 2006.** Molecular biomarkers of oxidative stress in aquatic organisms in relation to toxic environmental pollutants. *Ecotoxicol. Environ. Saf*, **64**: 178-89.

**Van der Oost, R., Porte-Visa, C., Van den Brink, N.W., 2003.** Biomarkers in environmental assessment. Chapter 3. In: *Ecotoxicological Testing of Marine and Freshwater Ecosystems Emerging Techniques, Trends, and Strategies*. Munawar, M., Munawar, I.F. London: Taylor & Francis Group, 87-152.

**Vaquero-Sunyer, R., Duarte, C.M., 2008.** Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *PNAS*, **105 (40)**: 15452-15457.

**Vetvicka, V., Sima, P., 2009.** Origins and functions of Annelid immune cells: the concise survey. *Invertebrate Survival Journal*, **6**: 138-143.

**Volpi-Ghirardini, A., Cavallini, L., Delaney, E., Tagliapietra, D., Ghetti, P. F., Bettiol, C., Argese, E., 1999.** *H. diversicolor*, *N. succinea* and *P. cultrifera* (Polychaeta: Nereididae) as bioaccumulators of cadmium and zinc from sediments: Preliminary results in the Venetian lagoon (Italy). *Toxicological & Environmental Chemistry*, **71**: 457-474.

**Walker, C.H., Hopkin, S.P., Sibly, R.M & Peakall, D.B., 2001.** Principles of Ecotoxicology. (2<sup>nd</sup> Ed). London: Taylor & Francis group, 326 p.

**Wang, W.X., Rainbow, P.S., 2008.** Comparative approaches to understand metal bioaccumulation in aquatic animals. *Comparative Biochemistry and Physiology*, **148 (C)**: 315-323.

**Waring, J., Maher, W., 2005.** Arsenic bioaccumulation and species in marine Polychaeta. *Applied Organometallic Chemistry*, **19**: 917-929.

**Wedepohl, K.H., 1995.** The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **59 (7)**: 1217-1232.

**Wells, G.P., Ledingham, I.C., 1940.** Physiological effects of a hypotonic environment: The action of hypotonic salines on isolated rhythmic preparations from polychaete worms (*Arenicola marina*, *Nereis diversicolor*, *Perinereis cultrifera*). *Department of zoology, university college, London*, 337-352.

**Wilson, J.G., 1999.** Population dynamic and energy budget for a population of *Donax variabilis* (say) on an exposed South California beach. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol*, **239**: 61-83.

**Won, E.J., Kim, R.O., Rhee, J.S., Park, G.S., Lee, J., Shin, K.H., Lee, Y.M., Lee, J.S., 2011.** Response of glutathione S-transferase (GST) genes to cadmium exposure in the marine pollution indicator worm, *Perinereis nuntia*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, **154 (C)**: 82-92.

**Wood, J.M., 1976.** Les métaux toxiques dans l'environnement. *La Recherche*, **70**: 711-719.

**Wright, J., Colling, A., 1995.** Temperature in the oceans. Chapter 2. In: *Seawater: its Composition, Properties and Behaviour*. (2<sup>nd</sup>Ed). UK: Elsevier Science LTD, 14-28.

**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. *Preprint*, 1-13.

**Yokoyama, H., 1988.** Effects of temperature on the feeding activity and growth rate of the spionid polychaete *Paraprionospio* sp. (form A). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol*, **123**: 41-60.

**Yongming, H., Peixuana, D., Junjib, C., Posmentier, E.S., 2006.** Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment*, **355**: 176-186.

**Yoshida, M., Moali, M., Houas, O., Lakhdari, M., 2007.** Concentration de l'élément potentiellement toxique dans les sédiments dans la Baie d'Alger. *Compte Rendu des Ateliers et Séminaire conjoints Algérie Japon sur les normes de qualité et les efforts de protection de l'environnement*. Alger, 96-106.

**Younsi, M., 2014.** Étude biologique de deux espèces de polychètes Nereididae du littoral Est Algérien et analyse comparative : biogéographique, morphométrique et biochimique. Thèse de Doctorat en Biologie, option : Biologie Animale. Université d'Annaba, 172 p.

**Younsi, M., Daas, T., Daas, O., Scaps P., 2010.** Polychaetes of commercial interest from the Mediterranean East Coast of Algeria. *Medit. Mar. Sci*, **11 (1)**: 185-188.

**Zaâbi S., Gillet P., Chambers S., Afli A., Bouma 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.

**Zhang, Z.F., Shao, M., Ho Kang, K., 2006.** Classification of haematopoietic cells and haemocytes in Chinese prawn *Fenneropenaeus chinensis*. *Fish Shellfish Immunol*, **21(2)**: 159-69.

**Zubillaga, G.F., Salinas, J.I.S., 1997.** Ciclo de vida de *Nereis diversicolor* O.F. Müller (Annelida, Polychaeta) en dos estuarios de norte de España con diferente carga de contaminación. *Publicaciones Especiales. Instituto Espanol de Oceanografi.*, **23** : 207-215.

**Zribi, S, Quilichini, Y., Tekayaa, S., Marchand, B., 2014.** Fine structure of the spermatozoon of *Perinereis macropus* (Claparède, 1870) (polychaeta, Nereidae). *Micron*, **66**: 80-86.

**Zribi, S., Tekaya, S., 2009.** Ultrastructure of early oocytes in the polychaete *Perinereis macropus* coelome (Annelida: Polychaeta). *Cahiers de Biologie Marine*, **50**: 27-31.

**Zribi, S., Zghal, F., Tekaya, S., 2007.** Ovogenèse de *Perinereis macropus* Claparède 1870 (Annélide, Polychète) dans le golfe de Gabès (Tunisie). *C. R. Biologies*, **330**: 199-204.

**REFERENCES WEBOGRAPHIQUES :**

<http://www.algaebase.org/search/species/>

<http://www.marbef.org/data/aphia.php?p=search>