

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل  
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU  
DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER  
OPTION : ENVIRONNEMENT MARIN**

**Thème :**

**Evaluation du taux des hydrocarbures aromatiques  
polycycliques chez le mollusque *patella. sp* et les  
moules du littoral Algérois**

Présenté par :

❖ **HAMLI Kenza**

Soutenu le 21/06/2017 devant le Jury :

**M. B. FIRAD, Maitre-Assistant B**

**Président**

**M. M. KADA, Maitre-assistant B**

**Promoteur**

**Mme. F. HOUMA-BACHARI, Professeur**

**Co-promotrice**

**Mme. N. KHELIFA, Maitre de conférences B**

**Examinatrice**

**M. A. BOUGHRIRA, Maitre-assistant B**

**Examineur**

**Promotion : 2015 / 2016**

République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل  
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU  
DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER  
OPTION : ENVIRONNEMENT MARIN**

**Thème :**

**Evaluation du taux des hydrocarbures aromatiques  
polycycliques chez le mollusque *patella. sp* et les  
moules du littoral Algérois**

Présenté par :

❖ **HAMLI Kenza**

Soutenu le 21/06/2017 devant le Jury :

<b>M. B. FIRAD, Maitre-Assistant B</b>	<b>Président</b>
<b>M. M. KADA, Maitre-assistant B</b>	<b>Promoteur</b>
<b>Mme. F. HOUMA-BACHARI, Professeur</b>	<b>Co-promotrice</b>
<b>Mme. N. KHELIFA, Maitre de conférences B</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>M. A. BOUGHRIRA, Maitre-assistant B</b>	<b>Examineur</b>

**Promotion : 2015 / 2016**

## Remerciements

Avant tout, je rends grâce à dieu, pour m'avoir accordé santé et courage jusqu'à l'aboutissement et l'accomplissement de ce modeste travail.

Ce travail a été réalisé dans les laboratoires de chimie de l'ENSSMAL et la division chimie de l'environnement du CRAPC. Il n'aurait pu être effectué sans le soutien et l'aide de plusieurs personnes.

J'adresse mes vifs remerciements à M. KADA pour avoir accepté de m'encadrer et avoir partagé cette aventure avec moi, auquel il a manifesté beaucoup d'intérêt, ainsi pour sa patience, sa confiance, sa disponibilité et ses encouragements.

Je remercie également Mme HOUMA-BACHARI, co-promotrice de ce travail, pour m'avoir accepté de m'encadrer. Je vous remercie pour votre aide, votre confiance et vos encouragements.

Je remercie monsieur FIRAD de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de mon mémoire. Je remercie également madame KHELIFA et monsieur BOUGHRIRA pour avoir accepté de faire partie du jury et examiné le travail. Je reste reconnaissant pour votre compréhension.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à CHIOUKH Soria, GUERROUMI Houda, EDDALIA Nabila, qu'elles trouvent ici toute ma sympathie, pour leur disponibilité et conseils, leur aide si efficace.

Je remercie aussi toute l'équipe des laboratoires de Sidi-Fredj et de l'école, et du CRAPC ; MAATOUK, MEKKI, ABOU MUSTAPHA et BOUDJELLAL. Un grand merci pour votre aide, vos conseils, vos encouragements, votre serviabilité et votre gentillesse.

Je remercie aussi toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude à tous mes enseignants, depuis ma première année fondamentale, jusqu'à la cinquième année universitaire.

## Dédicace

*Je dédie ce modeste travail :*

*À mes chers parents que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments qui ont attendu avec patience l'achèvement de ce travail. Qui m'ont accordé soutien, confiance et qui n'ont jamais privé un seul centime et cela pour que je puisse prendre le savoir qu'il faut, un grand merci pour vous. Que dieu les préserve une longue vie pleine de santé et de joie.*

*À mes aimables frères : HOUCINE, HOUSSEM et ma petite sœur NOUNOU pour leur grand amour, qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.*

*A ma grande mère chérie, exemple de la grande dame.*

*A ma deuxième mère, tata SAIDA « CENDRINE » et ses enfants ZAKI, OUMAIMA, ISSAM, MOUNA, mon cœur MOHAMED*

*A ma nièce DALEL*

*À toute ma famille sans exception.*

*A ma très chère amie LOUIZA, RIMA, ZINA et leurs familles*

*À mes frère KHALED et LOUNIS pour son aide et toute la promotion environnement pour tous les moments qu'on a passé ensemble.*

*Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur.*

***Kenza HAML***

## Liste des figures

### **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

<b>Figure I.1:</b> Habitat des moules au niveau de l'estran.....	28
<b>Figure I.2:</b> Anatomie interne de la moule .....	29
<b>Figure I.3 :</b> Système respiratoire et alimentaire chez la moule .....	31
<b>Figure I.4 :</b> Habitat écologique de <i>Patella sp</i> .....	33
<b>Figure I.5 :</b> Morphologie externe de <i>Patella rustica</i> .....	34
<b>Figure I.6:</b> Morphologie interne de <i>Patella sp</i> .....	34
<b>Figure I.7 :</b> Microscopie électronique de la radula de <i>Patella sp</i> .....	35

### **Chapitre II : Zone d'étude**

<b>Figure II.1:</b> Situation géographique de la région d'Alger.....	39
<b>Figure II.2:</b> localisation de la baie de Bou-Ismaïl.....	39
<b>Figure II.3:</b> carte sédimentaire de la baie de Bou-Ismaïl.....	40
<b>Figure II.4 :</b> Cartes des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bou-Ismaïl.....	41
<b>Figure II.5:</b> localisation de la baie d'Alger.....	43
<b>Figure II.6:</b> carte sédimentaire de la baie d'Alger .....	43
<b>Figure II.7:</b> les rejets des eaux usées dans la baie d'Alger .....	44

### **Chapitre III : Matériel et méthodes**

<b>Figure III.1 :</b> Localisation géographique du port de Bouharoun.....	46
<b>Figure III.2 :</b> Localisation géographique du port de Khemisti.....	47
<b>Figure III.3 :</b> Localisation géographique de la station de Zéralda.....	47
<b>Figure III.4 :</b> Localisation géographique de la station de Bateau cassé .....	48
<b>Figure III.5 :</b> Localisation géographique du port d'Alger.....	49
<b>Figure III.6 :</b> Localisation géographique de la station de Figuier.....	50
<b>Figure III.7:</b> Dispositif de filtration.....	54
<b>Figure III.8:</b> Four à moufle (WiseTherm) .....	54

<b>Figure III.9:</b> L'extraction liquide-liquide.....	55
<b>Figure III.10:</b> Purification et fractionnement par chromatographie sur colonne ouverte. ....	56
<b>Figure III.11 :</b> schéma d'un extracteur Soxhlet.....	58
<b>Figure III.12 :</b> la partie des lipides retenus par chromatographie sur colonne ouverte.....	59
<b>Figure III.13 :</b> Concentration sous-jet d'azote.....	59
<b>Figure III.14:</b> schéma de montage d'un GC-MS .....	60
<b>Figure III.15:</b> La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS).....	61

### **Chapitres IV : Résultats**

<b>Figure IV.1 :</b> Variation des teneurs des matières en suspension dans l'eau de mer.....	66
<b>Figure IV.2 :</b> Variation du taux de la matière organique dans l'eau de mer.....	66
<b>Figure IV.3 :</b> Résultats d'identification des patelles.....	67
<b>Figure IV.4 :</b> Provenance de patelles récoltées.....	67
<b>Figure IV.5 :</b> Résultats de l'identification des moules et leurs provenances.....	68
<b>Figure IV.6 :</b> Hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux dans l'eau.....	69
<b>Figure IV.7 :</b> les analytes présents dans la matrice eau de mer.....	70
<b>Figure IV.8:</b> hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux dans les moules.....	71
<b>Figure IV.9 :</b> les analytes présentés dans la matrice biologiques (moules) .....	72
<b>Figure IV.10:</b> hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux dans les patelles.....	73
<b>Figure IV.11:</b> les analytes présentés dans la matrice biologiques (patelles).....	74
<b>Figure IV.12 :</b> comparaison entre les HAPs totaux des moules et des patelles.....	74
<b>Figure 1:</b> extraction à blanc.....	Annexe A
<b>Figure 2:</b> Élimination des sédiments et des impuretés.....	Annexe A
<b>Figure 3:</b> prétraitement des moules.....	Annexe A
<b>Figure 4:</b> lyophilisation des échantillons.....	Annexe A
<b>Figure 5:</b> Concentration des extraits à l'aide d'un évaporateur rotatif.....	Annexe A

## Liste des tableaux

### **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

<b>Tableau I.1</b> : liste restreinte des HAP considérée pour les études environnementales.....	26
<b>Tableau I.2</b> : Liste des HAP considérés par l'Organisation Mondiale de la Santé.....	26
<b>Tableau I.3</b> : Classification de <i>Mytilus galoprovincialis</i> (Lamarck, 1819) <i>Perna perna</i> (Lennaeus, 1758).....	27
<b>Tableau I.4</b> : Classification de <i>Patella sp.</i> .....	33

### **Chapitre II : Zone d'étude**

<b>Tableau II.1</b> : Les activités polluantes dans la baie de BouIsmaïl.....	43
---	----

### **Chapitre III : Matériel et méthodes**

<b>Tableau III.1</b> : Dates et lieux de prélèvement .....	50
<b>Tableau III.2</b> : Produits liquides utilisés dans l'analyse des hydrocarbures.....	51
<b>Tableau III.3</b> : Produits solides utilisés dans l'analyse des hydrocarbures.....	51
<b>Tableau III.4</b> : les références des différents compartiments de la GC-MS.....	51
<b>Tableau III.5</b> : $\Sigma$ HAP <sub>9</sub> existant dans l'étalon externe et leurs temps de rétention.....	52

### **Chapitres IV : Résultats**

<b>Tableau IV.1</b> : Le récapitulatif les résultats des analyses physico-chimiques.....	65
<b>Tableau IV.2</b> : Résultats de l'indice de condition des patelles et des moules.....	68

### **Chapitre V : Discussion**

<b>Tableau V.1</b> : Comparaison entre les concentrations des HAPs pour différentes années.....	79
<b>Tableau V.2</b> : Comparaison entre les concentrations des HAPs dans les moules pour différentes années.....	82
<b>Tableau V.3</b> : Comparaison entre les concentrations des HAPs dans les patelles pour différentes années.....	83
Tableau 1 : résultats des HAP dans les moules.....	Annex B
Tableau 2 : résultats des HAP dans l'eau de mer.....	Annex B
Tableau 3 : résultats des HAP dans les patelles.....	Annex B

## Liste des acronymes

**CE** : Commission Européenne

**CIRC** : Centre International de Recherche contre le Cancer.

**CRAPC** : Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-Chimique.

**DNAPL** : Dense Non Aqueous Liquid Phase.

**EPA-TSCA**: Environmental Protection Agency-Toxic Substances Control Act (USA)

**g**: gramme.

**GESAMP**: Group of Experts on the Scientific Aspect of Marine Pollution

**GIP Seine Aval** : Groupement D'intérêt Public Seine-Aval

**HAP**: Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

**HPLC**: High Performance Liquid Chromatography

**IAEA ou AIEA**: International Atomic Energy Agency (Agence Internationale de l'Energie Atomique).

**IC**: Indice de condition

**IFREMER** : Institut Français pour la Recherche et l'Exploitation de la mer

**INERIS** : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques.

**K<sub>H</sub>**: La constante de Henry.

**K<sub>ow</sub>** : Le coefficient de partage octanol/eau.

**K<sub>oc</sub>** : Le coefficient de partage octanol/carbone organique.

**L** : litre.

**LEM**: Laboratoire des études maritimes

**MES**: Matière en suspension.

**ml** : millilitre.

**MO** : Matière Organique.

**MOP** : Matière organique particulaire.

**MPO**: Ministère des Pêches et des Océans (Canada)

**NQE** : Norme de qualité environnementale

**OD** : Oxygène dissous

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.

**pH** : Potentiel d'hydrogène.

**RNO** : Réseau National d'Observation de la qualité de l'eau

**RINBIO** : Réseau Intégrateurs biologiques

**S** : Salinité

**T**: Température

**U.N.E.P** : Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

**US-EPA** : Agence de Protection de l'Environnement des Etats Unis

# Sommaire

---

Remerciement.....	I
Dédicace.....	II
Liste des figures .....	III
Liste des tableaux .....	IV
Liste des abréviations .....	V

## Introduction

Introduction.....	15
-------------------	----

## I. Synthèse bibliographique

I.1. La pollution marine	18
I.1.1. Définition de la pollution marine .....	18
I.2. La pollution par les hydrocarbures.....	18
I.3. Les hydrocarbures .....	19
I.3.1. Définitions des hydrocarbures.....	19
I.3.2. Les types d'hydrocarbures.....	19
I.3.2.1. Les hydrocarbures aliphatiques.....	19
I.3.2.2. Les hydrocarbures naphténiques .....	20
I.3.2.3. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) .....	20
I.3.3. Origines des HAP dans l'environnement .....	21
I.3.4. Propriété physico-chimiques des HAP .....	22
I.4. Devenir des hydrocarbures dans le milieu marin .....	23
I.5. Toxicité des HAP .....	24
I.6. Biomonitoring .....	27
I.7. Présentation de la matrice biologique.....	27
I.7.1. Les moules.....	27
I.7.1.1. Habitat et écologie des moules .....	28
I.7.1.2. Morphologie et anatomie .....	28

# Sommaire

---

<b>I.7.1.3.</b> Biologie et physiologie de la moule.....	29
<b>I.7.2.</b> <i>Patella sp</i> .....	32
<b>I.7.2.1.</b> Habitat et écologie des patelles .....	32
<b>I.7.2.2.</b> Morphologie et anatomie.....	33
<b>I.7.2.3.</b> Biologie et physiologie des patelles .....	35
<b>I.7.3.</b> Choix des moules et des patelles comme bio-indicateur des HAPs.....	36

## II. Zone d'étude

<b>II.1.</b> Zone d'étude .....	39
<b>II.1.1.</b> La baie de Bou-Ismaïl .....	39
a. Localisation.....	39
b. Sédimentologie.....	40
c. Climatologie .....	40
d. Le réseau hydrographique .....	40
e. Pollution .....	41
<b>II.1.2.</b> La baie d'Alger .....	42
a. Localisation .....	42
b. Sédimentologie .....	43
c. Réseau hydrographique.....	44
d. Pollution .....	44

## III. Matériel et Méthodes

<b>III.1.</b> Stratégie d'échantillonnage .....	46
<b>III.1.1.</b> Localisation des stations de prélèvement.....	46
<b>III.1.2.</b> Période de prélèvement.....	50
<b>III.2.</b> Matériel .....	51
<b>III.2.1.</b> Produits liquides .....	51
<b>III.2.2.</b> Produits solides .....	51
<b>III.2.3.</b> Conditionnement du matériel du prélèvement et de la verrerie .....	52

# Sommaire

---

<b>III.3.</b> Echantillonnage .....	52
<b>III.3.1.</b> Récolte des patelles et des moules .....	52
<b>III.3.2.</b> Prélèvement de l'eau de mer.....	53
<b>III.3.3.</b> Mesure <i>in situ</i> .....	53
<b>III.4.</b> Taux des matières en suspension .....	53
<b>III.5.</b> Taux de la matière organique dans l'eau de mer .....	54
<b>III.6.</b> Prétraitement des patelles et des moules .....	55
<b>III.7.</b> Analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'eau de mer .....	55
<b>III.7.1.</b> Extraction liquide-liquide .....	55
<b>III.7.2.</b> Concentration de l'échantillon .....	55
<b>III.7.3.</b> Purification.....	56
<b>III.7.4.</b> Purification et fractionnement .....	56
<b>III.8.</b> Analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le biote.....	57
<b>III.8.1.</b> Lyophilisation .....	57
<b>III.8.2.</b> Broyage et homogénéisation .....	57
<b>III.8.3.</b> Extraction solide-liquide .....	57
<b>III.8.4.</b> Concentration des extraits .....	58
<b>III.8.5.</b> Purification et fractionnement.....	58
<b>III.8.6.</b> Concentration sous-jet d'azote .....	59
<b>III.9.</b> Technique d'analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques .....	60
<b>III.9.1.</b> Principe de la GC-MS.....	61
<b>III.9.2.</b> Gamme d'étalonnage.....	61
<b>III.9.3.</b> La détection des HAPs.....	62
<b>III.10.</b> Calculs et expressions des concentrations.....	62
<b>III.10.1.</b> Calcul du poids corrigé des échantillons.....	62

# Sommaire

---

III.10.2. Concentrations dans le biote .....63

III.10.2. Concentrations dans l'eau .....63

## IV. RESULTATS

IV.1. Résultats des analyses physico-chimiques.....65

IV.2. Identification des matrices biologiques .....67

IV.2.1. Identification des patelles .....67

IV.2.2. Identification des moules .....68

IV.2.3. Indice de condition (IC) .....68

IV.3. Résultats d'analyse des Hydrocarbures aromatiques polycycliques .....69

IV.3.1. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'eau de mer .....69

IV.3.2. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques chez les moules.....71

IV.3.3. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques chez les patelles ..... 72

## V. Discussion

Discussion ..... 76

## Conclusion

Conclusion ..... 86

## Références Bibliographique

Bibliographie ..... 89

Sites d'internet ..... 91

Annexe .....103

# INTRODUCTION

# Introduction

---

## Introduction

Le littoral algérien, est un espace privilégié du fait de sa position géostratégique, son patrimoine historique et écologique, mais également sa richesse biologique et économique (**Benali, 2016**).

Cependant et au cours des dernières décennies, cette façade maritime a fait l'objet d'un développement accéléré et considérable, notamment la côte algéroise. Elle s'étend sur une longueur de 271.5 km, et n'échappe guère aux nuisances, auxquelles le littoral algérien fait face notamment, la pollution physique, bactériologique et chimique, à l'instar des hydrocarbures (**Daby, 2006 ; Rao et al., 2007**).

Ces contaminants, de nature chimique, est le résultat de plusieurs facteurs à savoir l'urbanisation, l'agriculture, l'industrialisation, la combustion incomplète des matières organiques et les accidents lors des transports maritimes (**Rachdi, 2013 ; Dahnoun, 2013**).

La contamination généralisée de la géosphère et de la biosphère et leur étendue géographique leur confère désormais un caractère global, incluant les mammifères marins et l'homme (**Bernes, 1998**).

Les hydrocarbures, particulièrement les aromatiques polycycliques, présentent un caractère persistant et très toxique généré par le risque de bioconcentration, d'adsorption sur les matières en suspension et d'accumulation aussi bien dans les sédiments que dans les organismes vivants (**Gourlay, 2004**).

De ce fait, la pollution par les hydrocarbures est l'une des problèmes les plus inquiétants et préoccupants pour la santé et l'activité de l'homme. D'où leur classement en polluant organique persistant et leur inscription comme substance prioritaire sur les listes de la commission Européenne, de l'agence de protection de l'environnement des Etats-Unis et de l'Organisation Mondiale de la Santé (**GIP Seine Aval, 2008**).

Pour mieux lutter contre la pollution, avoir une mer protégée durablement, protéger la santé humaine ainsi que les ressources sensible, une collection de bio-indicateurs susceptible de cumuler les hydrocarbures aromatiques polycycliques est utilisée telle que les moules et les patelles, avec une prise en compte de la contamination de l'environnement à court, moyen ou long terme (**Rao et al., 2007**).

Dans ce contexte, cette étude s'est portée sur l'évaluation des taux des hydrocarbures aromatiques polycycliques (**HAP**) chez deux bioindicateurs, les moules et les patelles. Ce

## Introduction

---

travail a été complété par l'analyse des paramètres généraux du milieu, au niveau de plusieurs points de la baie de Bou-Ismaïl (le port de Bouharoun, le port de Khemisti, et Zeralda), Baie d'Alger (le port d'Alger et le bateau cassé) et baie de Zemmouri (Figuier comme une station de référence).

Ainsi, ce mémoire s'articule autour de cinq chapitres :

- Le premier chapitre est consacré pour une synthèse bibliographique sur la pollution marine, les hydrocarbures et les indicateurs biologiques utilisés ;
- Le deuxième chapitre présente la zone d'étude qui comporte la baie de Bou-Ismaïl, la baie d'Alger et figuier ;
- Le troisième chapitre est consacré à la partie expérimentale qui va illustrer les principaux protocoles et outils utilisés ;
- Le quatrième et le cinquième chapitre, présente les résultats obtenus ainsi que la discussion illustrée par des commentaires ;
- Une conclusion avec des perspectives

Les résultats obtenus peuvent nous donner une idée sur le degré de bioaccumulation des hydrocarbures aromatiques polycycliques par les animaux qui diffèrent d'un type à un autre. C'est pour cela nous voulons chercher quelle est le bioindicateur le plus adapté pour l'étude et l'analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques?

**SYNTHESE**

**BIBLIOGRAPHIQUE**

## I.1. La pollution marine

La pollution marine est devenue une préoccupation environnementale mondiale qui met en danger l'ensemble des écosystèmes marins.

### I.1.1. Définition de la pollution marine

Il existe plusieurs définitions de la pollution marine qui se diffèrent selon l'intérêt. Elle est définie par the Group of Experts on the Scientific Aspect of Marine Pollution (GESAMP) comme l'introduction par l'homme dans le milieu marin, y compris les estuaires, directement ou indirectement des substances ou d'énergie pouvant entraîner des effets délétères tels que des dommages aux ressources biologiques, un danger pour la santé humaine, entraves aux activités maritimes (pêche), diminution de la qualité de l'eau de point de vue son utilisation et réduction de possibilités offertes dans le domaine des loisirs (**Ramade, 2000**).

Alors que l'Organisation Mondiale de la Santé (**OMS**) fournit la définition suivante : « la pollution des milieux aquatiques est définie comme étant, toute modification des propriétés physiques, chimiques ou biologiques ou tout rejets de substances liquides, gazeuses ou solides dans l'eau d'une façon à créer une nuisance ou à rendre cette eau dangereuse ou préjudiciable du point de vue de la santé, de la sécurité et du bien-être publique, soit de ses usages destinés à des fins domestiques, commerciales, agricoles, récréatives et autres, soit de la faune sauvage et aquatique ».

## I.2. La pollution par les hydrocarbures

La pollution des mers par le pétrole est l'une des formes de dégradation les plus visibles et dont on parle le plus. C'est aussi une pollution très particulière, car son action est à la fois physique (engluement), chimique (en raison de l'effet toxique des hydrocarbures ingérés) et fertilisante (les hydrocarbures sont des matières organiques) (**Lacaze, 1996**).

Le pétrole est une huile minérale plus ou moins fluide, visqueuse, combustible, qui est constituée de mélange de nombreuses molécules gazeuses, organiques, liquides, solides, de soufre, et de métaux, de divers hydrocarbures. Ces derniers représentent entre 65 et 95 % de la plupart des pétroles bruts (**Fattal, 2008**).

### I.3. Les hydrocarbures

Lorsqu'on aborde les statistiques relatives aux apports d'hydrocarbures à l'océan, le sujet est parfois complexe, en matière de pollution en mer, les sources ne manquent pas généralement, elles sont fournies par des structures américaines ou par des comités des experts (**Fattal, 2008**) qui s'accordent plus ou moins sur les chiffres mais pas sur sa provenance.

Cette relative disparité tient en partie au fait que les petites pollutions ne sont pas toujours quantifiées. De plus, une partie de déballastage en mer ne rentre pas dans les statistiques, (**Marchand, 2003**).

#### I.3.1. Définitions des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des composés de chaînes moléculaires constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène (C et H). Un atome de carbone peut être relié à quatre atomes d'hydrogènes ou à d'autres atomes de carbone, par des liaisons simples, doubles ou triples.

Dans ces deux derniers cas, les chaînes carbonées peuvent être linéaires, ramifiées ou cycliques. En plus du carbone et de l'hydrogène, il existe d'autres éléments minoritaires qui sont des composants qui contiennent des atomes de soufre, d'azote et d'oxygène (**Fattal, 2008**).

#### I.3.2. Les types d'hydrocarbures

Selon l'architecture de la liaison entre l'atome du carbone et d'hydrogène, on distingue différents types (**Battaz, 2009**) : aliphatiques, naphthéniques et aromatiques.

##### I.3.2.1. Les hydrocarbures aliphatiques

Ce sont des molécules à chaîne ouverte comprenant :

###### a. Les paraffines (les Alcanes)

Constituent une série d'hydrocarbures saturés allant du méthane (CH<sub>4</sub>) à des composés à soixante atomes de carbone (C<sub>60</sub>). Ils peuvent être à chaîne droite (n-alcanes) ou ramifiée (iso-alcanes). Ils représentent environ 30% du poids du pétrole brut (**Krausz et al., 2008**).

###### b. Les oléfines (Alcènes)

À chaîne droite ou ramifiée, ce sont des composés insaturés, généralement absents des pétroles bruts, mais présents dans les produits raffinés. Ils sont relativement instables et s'oxydent facilement. Ils sont également appelés alcènes (**Krausz et al., 2008**).

### c. Les acétyléniques (les Alcynes)

Les alcynes, appelés également acétyléniques, sont des composés qui présentent des liaisons triples carbone-carbone. La structure des alcynes est linéaire, les deux carbones portant la triple liaison sont hybridés (**Boughrira, 2012 ; Battaz, 2009**).

En raison de quelques différences de propriétés chimiques, on distingue les alcynes vrais, qui présentent un hydrogène sur l'un des carbones acétyléniques ( $R-C\equiv C-H$ ) et les alcynes substitués, qui présentent un groupement alkyle sur chacun des carbones ( $R-C\equiv C-R$ ) (**Boughrira, 2012; Ndiaye, 2012**).

#### I.3.2.2. Les hydrocarbures naphthéniques

Cette famille peut représenter en moyenne 40 à 50 % des composés des pétroles bruts (**Fattal, 2008**).

Ce sont des hydrocarbures saturés renfermant des formes monocycliques en C5 (cyclopentane) et en C6 (cyclohexane). Ils sont en générale peu toxique, mais plus rémanents que les aliphatiques et moins que les composés aromatiques. Certains produits (stéranes, hopanes) sont parfois utilisés comme témoins de contamination pétrolière (**Fattal, 2008**).

#### I.3.2.3. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques ont une structure moléculaire qui contient au moins deux cycles aromatiques fusionnés. Chaque anneau à cinq ou six atomes de carbone. (**Luna-Acosta, 2014**).

Ils sont des molécules planes, rigides, non polaires et très hydrophobes, cette hydrophobie augmente avec le nombre de cycles aromatiques, alors que leur solubilité et leur volatilité diminuent (**Gourlay, 2004**).

Les hydrocarbures polyaromatiques de base sont le benzène (un cycle aromatique), le naphthalène (deux cycles), l'anthracène (trois cycles), le pyrène (quatre cycles) (**Fattal, 2008**).

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont des contaminants ubiquitaires dans l'environnement (**Luna-Acosta, 2014**). Donc, Ils sont parmi les polluants organiques les plus fréquents et persistants trouvés dans le milieu marin et dans les zones côtières (**Batista, 2013**).

### I.3.3. Origines des HAP dans l'environnement

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'environnement aquatique peuvent avoir des origines naturelles ou anthropiques. Au voisinage de zones fortement industrialisées et urbanisées, les hydrocarbures aromatiques polycycliques d'origine anthropique semblent prédominer sur ceux d'origine naturelle (**Colombo et al., 1989**).

#### a. Origine pyrolytique

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont formés principalement lors de la combustion incomplète de la matière organique, récente ou fossile (**Geffard, 2001**).

L'activité industrielle contribue largement à la production de ces composés de même que les émissions des véhicules et le chauffage résidentiel. La pyrolyse naturelle intervient également sous forme d'incendies de forêt et d'éruptions volcaniques. (**Luna-Acosta, 2014**).

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques d'origine pyrolytique sont caractérisés par la prédominance des noyaux aromatiques non substitués sur les homologues alkylés. Ce profil est en fait lié à la température de combustion à laquelle se forment les composés. A haute température (1500-2000°C) il ne subsiste que les hydrocarbures aromatiques polycycliques non substitués (cas des rejets des activités industrielles et des automobiles). Par contre, les températures atteintes par les feux de forêts (400-800°C) permettent la formation de certains hydrocarbures aromatiques polycycliques alkylés (**Luna-Acosta, 2014**).

Les hydrocarbures Aromatiques Polycycliques sont issus des processus de combustion incomplète de combustibles basés sur le carbone (charbon, huile, bois et gaz). Ils sont persistants, bioaccumulables et très stables dans l'environnement (**Renato et al., 2012**).

#### b. Origine pétrolière

La formation du pétrole par catagenèse se produit à des températures relativement basses (50-10°C) permettant la conservation des chaînes alkylés. Ainsi, l'enfouissement dans les bassins sédimentaires de la matière organique et sa lente maturation conduisent à la formation de mélanges des hydrocarbures aromatiques polycycliques complexes où prédominent les dérivés alkylés. Cette distribution, caractéristique du pétrole, est utilisée comme indicateur de contamination pétrolière des sédiments et des organismes marins (**Geffard, 2001 ; Luna-Acosta, 2014 ; Renato et al., 2012**).

### c. Origines biosynthétique et diagénétique

Dans cette voie, des structures moléculaires polycycliques comme des quinones ou des stéroïdes, produits par des organismes vivants (des micro-organismes ou des végétaux), servent de précurseurs biologiques des hydrocarbures aromatiques polycycliques formés par diagenèse précoce dans les sédiments (Murielle, 1995 ; Renato *et al.*, 2012).

### I.3.4. Propriété physico-chimiques des HAPs

Le transport et la répartition des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'environnement dépendent notamment de leurs propriétés physico-chimiques, à savoir la solubilité dans l'eau, la pression de vapeur, la constante de Henry, le coefficient de partage octanol/eau et le coefficient de partage de carbone organique (Dahnoun, 2013).

#### a. Propriétés physiques

De manière générale, la plupart des hydrocarbures aromatiques polycycliques sont peu volatils, très peu solubles dans l'eau, peu mobiles dans le sol, car ils sont facilement adsorbés. Ces substances sont stables (hydrolyse négligeable) mais leur biodégradabilité varie fortement selon les conditions du milieu (Dahnoun, 2013).

La tension de vapeur saturante des hydrocarbures aromatiques polycycliques diminue au fur et à mesure que la masse molaire moléculaire augmente tandis que la solubilité dans l'eau varie en fonction de la complexité de la structure moléculaire. En général, les hydrocarbures aromatiques polycycliques ont une faible solubilité, comprise entre 30 mg/l pour les composés légers et  $10^{-4}$  mg/l pour les plus lourds (Zhou, 2004 *in* Dahnoun, 2013).

- La constante de Henry ( $K_H$ ) est un coefficient qui exprime le ratio de la concentration dans l'air et dans l'eau à l'équilibre.
- Le coefficient de partage du carbone organique ( $K_{oc}$ ) indique la propension des HAP à se lier à la matière organique du sol ou du sédiment.
- Le coefficient de partage octanol/eau ( $K_{ow}$ ) permet d'estimer la migration des HAP vers des lipides. Ces propriétés sont fortement corrélées à la masse molaire moléculaire du HAP considéré.

La faible hydro-solubilité des hydrocarbures aromatiques polycycliques et leur masse volumique, supérieure à 1, permet de les classer dans la famille des phases liquides non aqueuses (DNAPL: Dense Non Aqueous Liquid Phase) (INERIS, 2005).

Etant hydrophobes, liposolubles et généralement volatils, les hydrocarbures aromatiques polycycliques ont tendance à s'adsorber sur les matrices solides et notamment les matières organiques (INERIS, 2005).

### b. Propriétés chimiques

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques peuvent être classés en trois groupes basés sur le nombre de cycles aromatiques qu'ils contiennent et leurs masses molaires moléculaires (Koroghli, 2010; Dahnoun, 2013):

- Hydrocarbures aromatiques polycycliques de faibles masses molaires moléculaires (de l'ordre de 152-178 g/mol, soit 2 à 3 cycles) : naphthalène, acénaphthylène, acénaphthène, fluorène, anthracène et phénanthrène. La solubilité et la volatilité sont les plus élevées. (INERIS, 2015).
- Hydrocarbures aromatiques polycycliques de masses molaires moléculaires intermédiaires (de l'ordre de 202 g/mol, 4 cycles) : fluoranthène, pyrène (INERIS, 2015).
- Hydrocarbures aromatiques polycycliques à masses molaires moléculaires élevées (de l'ordre de 228-278 g/mol, soit 4 à 6 cycles) : benzo(a)pyrène, sorption la plus forte (INERIS, 2006).

### I.4. Devenir des hydrocarbures dans le milieu marin

Les hydrocarbures rejetés dans l'environnement finissent par se retrouver plus ou moins rapidement dans les milieux aquatiques, en particulier estuariens et côtiers, où ils peuvent avoir des effets à court et à long terme (Boumaza, 2014). Les processus qui définissent le devenir des hydrocarbures dans les différents compartiments de l'environnement physique ou biologique sont:

#### a. La biodisponibilité

La biodisponibilité désigne « la fraction d'hydrocarbure présent dans le milieu environnemental qui est disponible pour être accumulée par les organismes. L'environnement peut inclure l'eau, les sédiments, les particules en suspension et la nourriture (Rand et al., 1995). Dans le milieu récepteur, des mécanismes physiques, chimiques et biologiques interagissent et transforment les contaminants en formes plus ou moins biodisponibles pour les organismes de l'écosystème (Boumaza, 2014).

Les concentrations totales rejetées ne reflètent donc que partiellement le risque lié à un contaminant, la biodisponibilité étant très étroitement liée aux caractéristiques de l'environnement (**Boumaza, 2014**). L'évaluation de l'impact d'un contaminant sur le milieu nécessite l'estimation des concentrations biodisponibles et des facteurs environnementaux qui les affectent (**Gourlay, 2004**).

### **b. La bioconcentration**

La bioconcentration est un processus par lequel un hydrocarbure se trouve présent dans un organisme vivant à une concentration supérieure à celle de son milieu aquatique environnant (**Ramade, 2000**).

Elle comprend plusieurs étapes: l'absorption de l'hydrocarbure, sa répartition interne au sein de l'organisme, sa modification par le métabolisme et son élimination. L'organisme peut concentrer plusieurs dizaines de milliers de fois la concentration du milieu extérieur.

On définit aussi le facteur de bioconcentration (FBC) qui est le rapport de la concentration d'une substance dans un organisme à la concentration dans l'eau (**Ramade, 2000**).

### **c. La bioaccumulation**

La dernière phase de la circulation d'un hydrocarbure dans la biosphère est constituée par la contamination des êtres vivants et, parfois, par la bioaccumulation dans l'organisme de ces derniers. On désigne par le terme de bioaccumulation l'accroissement direct de concentration d'hydrocarbure lorsqu'il passe de l'eau dans un organisme aquatique.

C'est donc le processus par lequel un organisme vivant absorbe une substance à une vitesse plus grande que celle avec laquelle il l'excrète ou le métabolisme. Elle désigne donc la somme des absorptions d'une substance à partir de l'eau et de l'alimentation (**Ramade, 2000**).

De nombreux êtres vivants, sinon tous, peuvent accumuler dans leur organisme, à des degrés divers, des substances peu ou pas biodégradables. Ces substances vont se concentrer le long des divers maillons de la chaîne trophique.

Les concentrations maximales se trouvent chez les grands prédateurs (Poissons, Mammifères marins, Homme) ou chez les Mollusques filtreurs comme les moules (**Boutiba, 2004**).

## d. La bioamplification

Elle correspond au processus selon lequel la concentration d'un hydrocarbure dans un organisme est supérieure à celle de la proie qu'il consomme (**Goba et Morrison, 2000**).

Chaque chaîne trophique sera le site d'un processus d'accroissement de la concentration des polluants persistants dans la biomasse au fur et à mesure que l'on remonte les divers niveaux de la pyramide écologique.

Les teneurs observées dans les tissus des espèces situées au sommet des chaînes alimentaires seront d'autant plus élevées. Il s'agit dans ce cas de la possibilité pour un toxique d'être cumulé par une chaîne trophique. Si le toxique n'est pas dégradé ou éliminé, il va s'accumuler de plus en plus au niveau de chaque maillon de la chaîne alimentaire (**Boutiba, 2004**).

## I.5. Toxicité des HAP

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques présentent un risque toxicologique important même à faibles concentrations, notamment par leurs propriétés cancérigènes et/ou mutagènes.

Du fait de leur forte hydrophobicité, ces molécules s'adsorbent fortement aux matières particulaires, rendant leur élimination et/ou leur transformation par des réactions chimiques difficiles. De plus, les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont peu biodégradables car faiblement biodisponibles, ce qui les rend persistants dans l'environnement. Ainsi leur sort dans l'environnement est devenu un sujet préoccupant (**Gabet, 2004**).

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques présentent différentes propriétés toxiques suivant leurs propriétés physicochimiques (solubilité, poids moléculaire, ramifications alkylés). Les effets toxiques principaux des hydrocarbures aromatiques polycycliques sont la cancérogénicité, la génotoxicité (altération de l'ADN) et tératogénicité (altération du développement de l'embryon) (**INERIS, 2005**).

Des études ont rapportés que les hydrocarbures aromatiques polycycliques pouvaient également générer dans une moindre mesure des perturbations endocriniennes et donc de la reproduction, ainsi que le système immunitaire et le comportement (**Kim et al., 2014**).

De plus, leur caractère lipophile leur permet d'être facilement transférés dans les différents compartiments de la chaîne alimentaire (Bakker *et al.*, 1999 ; Baumard *et al.*, 1998 ; Muller *et al.*, 2001), et atteindre l'homme suivant des cycles de complexité variée (Grova *et al.*, 2002 ; Smith *et al.*, 2001). Cette forte toxicité a permis de les classer parmi les polluants organiques persistants et leur inscription comme substances prioritaires (Dahnoun, 2013).

**Tableau I.1** : liste restreinte des hydrocarbures aromatiques polycycliques considérée pour les études environnementales (Vignet, 2014).

Toxicité des HAP				
HAP	Toxicité	Cancérogénèse	Mutagenèse	Rapporté dans
Naphtalène	Modérée	Non confirmée		EPA-TSCA
Acénaphthène	Modérée		Constatée	EPA-TSCA
Acénaphtylène	Modérée		Constatée	EPA-TSCA
Fluorène	Faible		Constatée	EPA-TSCA, IARC
Phénanthrène	Modérée		Constatée	EPA-TSCA, IARC
Anthracène	Modérée		Constatée	EPA-TSCA, IARC
Fluoranthène	Modérée	Non confirmée	Constatée *	EPA-TSCA, IARC
Pyrène	Modérée	Non confirmée	Constatée *	EPA-TSCA, IARC
Benzo(e)pyrène		Non confirmée	Constatée *	IARC
Benzo(g,h,i)perylène		Non confirmée	Constatée	IARC
<b>Benzo(a)anthracène</b>	<b>Elevée</b>	<b>Confirmée</b>	<b>Constatée *</b>	<b>EPA-TSCA, IARC</b>
<b>Chrysène</b>		<b>Confirmée</b>	<b>Constatée *</b>	<b>EPA-TSCA, IARC</b>
<b>Benzo(b)fluoranthène</b>		<b>Confirmée</b>	<b>Constatée</b>	<b>IARC</b>
<b>Benzo(k)fluoranthène</b>		<b>Confirmée</b>	<b>Constatée</b>	<b>IARC</b>
<b>Benzo(a)pyrène</b>	<b>Elevée</b>	<b>Confirmée</b>	<b>Constatée *</b>	<b>EPA-TSCA, IARC</b>
<b>Indeno(1,2,3-cd)pyrène</b>		<b>Confirmée</b>	<b>Constatée</b>	<b>EPA-TSCA, IARC</b>
<b>Dibenzo(a,h)anthracène</b>	<b>Elevée</b>	<b>Confirmée</b>	<b>Constatée *</b>	<b>EPA-TSCA, IARC</b>

(\*) Mutagène pour l'homme

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) propose de suivre principalement six hydrocarbures aromatiques polycycliques figurant dans le tableau suivant (Tableau I.2).

**Tableau I.2** : Liste des hydrocarbures aromatiques polycycliques considérés par l'Organisation Mondiale de la Santé (INERIS, 2005).

Nom	Nombre de cycle	Formule chimique
Fluoranthène	4	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>
Benzo(a)pyrène	5	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>
Benzo(b) fluoranthène		C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>
Benzo(k) fluoranthène		C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>
Benzo (ghi)perylène	6	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>
Indeno (1,2,3-cd)pyrène		C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>

## I.6. Biomonitoring

Le terme biomonitoring désigne l'utilisation d'indicateurs biologiques dans le but de quantifier, à partir des paramètres mesurables, l'état de pollution d'un environnement donné (Markert et al., 2003).

Les organismes utilisés dans le cadre d'un programme de biomonitoring sont appelés biomoniteurs et sont définis par Kaiser (2001) comme des organismes à partir desquels peuvent être mesurés certains changements, ou certaines caractéristiques, permettant d'évaluer le degré de contamination d'un environnement et les conséquences sur l'état de santé des autres organismes ou de l'écosystème en entier.

Les biomoniteurs nous renseignent donc sur les aspects quantitatifs de la qualité de l'environnement. Par conséquent, un biomoniteurs est également un bioindicateurs en soi mais l'inverse n'est cependant pas toujours vrai (Markert et al., 2003).

## I.7. Présentation de la matrice biologique

### I.7.1. Les moules

La classification de la moule *Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna* s'établit comme suit (Marteil, 1976 ; Turgeon et al., 1998) :

**Tableau I.3 :** Classification de *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) *Perna perna* (Lennaeus, 1758).

	Termes en français	Termes en français
Règne	<i>Animale</i>	<i>Animale</i>
Embranchement	<i>Mollusques</i>	<i>Mollusques</i>
Classe	<i>Bivalves</i>	<i>Bivalves</i>
Sous classe	<i>Ptériomorphes</i>	<i>Ptériomorphes</i>
Ordre	<i>Mytiloidés</i>	<i>Mytiloidés</i>
Famille	<i>Mytilidés</i>	<i>Mytilidés</i>
Genre	<i>Perna</i>	<i>Mytilus</i>
Nom binomiale	<i>Perna perna</i> (Lennaeus, 1758).	<i>Mytilus galloprovincialis</i> (Lamarck, 1819)

### I.7.1.1. Habitat et écologie des moules

La moule est cet animal grégaire et sessile qui est sexuellement différenciée. Elle vit sur les rochers de l'estran ou la sub-surface (**Kerboub, 2014**).



**Figure I.1:** Habitat des moules (*Perna perna*).

Son corps est protégé par une coquille. Elle s'accroche à d'autres moules et se fixe sur un substrat, de sorte que l'impact des vagues se fait moins ressentir. Elle filtre sa nourriture de l'eau sans avoir besoin de se déplacer. Lorsque le niveau de l'eau descend, la moule retient l'eau en fermant ses valves. Elle est protégée contre le dessèchement, l'air, la lumière et la prédation (**Cahen, 2006**).

### I.7.1.2. Morphologie et anatomie

Les mollusques possèdent un corps mou qui, la plupart du temps, est protégé et renforcé par une coquille. Ils sont caractérisés par une symétrie bilatérale. Leur corps peut être divisé en trois parties principales, un pied musculueux qui sert habituellement aux déplacements, une masse viscérale qui contient la plupart des organes internes, un manteau qui recouvre la masse viscérale et peut sécréter une coquille.

Chez de nombreux mollusques, le manteau se prolonge et forme un compartiment rempli d'eau, appelé cavité palléale, dans lequel baignent les branchies, l'anus et les pores excréteurs (**Boué et Chanton, 1962**). La moule adulte est formée de deux valves lisses, identiques et oblongues.

La coquille laisse échapper un faisceau de filaments bruns et solides, le byssus, communément appelé la barbe. La chair de la moule est le plus souvent de couleur rosée ou orangée (femelle) ou blanchâtre (mâle), la chair des moules est d'une excellente qualité pour la consommation autour des mois de mars, avril, mai, octobre et novembre, en dehors de la saison de frai, habituellement quand la température de l'eau est plus froide qu'en été (Kerboub, 2014) (Figure I.2).

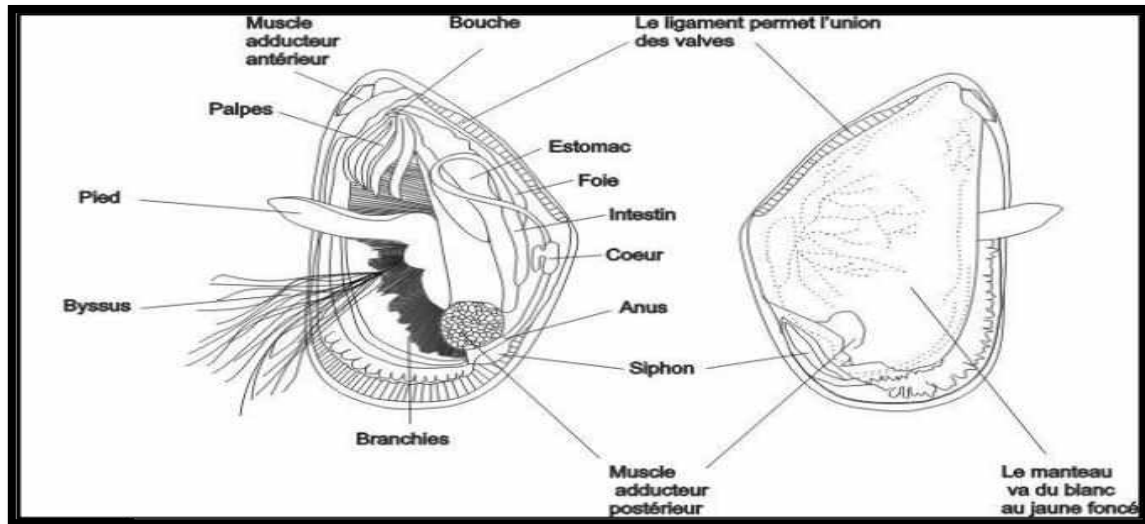


Figure I.2: Anatomie interne de la moule (Marteil, 1976).

### I.7.1.3. Biologie et physiologie de la moule

Les lamellibranches assurent leurs échanges avec le milieu hydrique dans lequel ils vivent en maintenant une circulation permanente à travers leur cavité palléale. L'eau qui traverse l'animal permet d'assurer la prise en charge de la nourriture, les échanges gazeux respiratoires et l'expulsion des déchets ou des éléments indésirables.

Les principales fonctions (nutrition, respiration, excrétion) dépendent donc de l'importance de ce courant qui traverse le Bivalve (His et Catan, 1992).

#### a. Alimentation

La moule est un animal microphage qui se nourrit de petites particules en suspension dans l'eau de mer. La filtration à travers ses branchies permet de récupérer les particules alimentaires qui y sont retenues (Kerboub, 2014).

Parmi les particules retenues le phytoplancton ; principalement les Diatomées, les Péridiniens ou Dinoflagellés, les Bactéries, les virus, les détritiques organiques, les particules inorganiques et les matières organique dissoute (**His et Catan, 1992**).

### **b. Locomotion**

La moule adulte est un animal fixé, espèce sessile, elle résiste aux courants, aux chocs des vagues et à l'arrachement grâce aux solides filaments du byssus qui sont soudés au rocher. Le pied, linguiforme, permet le déplacement et l'enfouissement de l'animal dans le sable donc elles sont fixés temporairement et ne sont susceptibles que de faibles déplacements, car elle est de nature semi-sédentaire.

Le pied peut se replier sous l'action de deux muscles rétracteurs. A sa base se trouve la glande du byssus. Elle synthétise des filaments (byssus) qui fixent la moule à son substrat. Une fois qu'ils sont sécrétés, les filaments se solidifient au contact avec l'eau de mer (**His et Catan, 1992**).

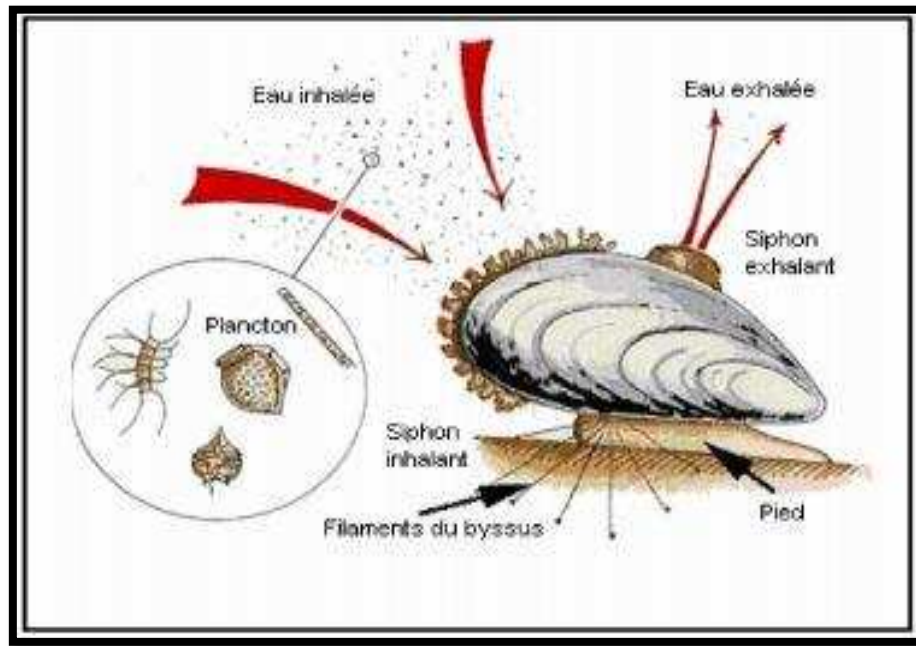
### **c. Mode respiratoire**

Les échanges gazeux avec le milieu hydrique s'effectuent principalement au niveau des branchies et pour une moindre part au niveau du manteau qui est assez fortement vascularisé (**His et Catan, 1992**).

La moule peut filtrer l'eau pendant 18.5 à 24 heures par jours sans interruption avec une vitesse moyenne de 20 litres/h. Cependant, la durée et le temps de filtration varient en fonction des différents paramètres (**Marteil, 1976**).

L'eau chargée en oxygène dissous pénètre dans la cavité palléale via le siphon inhalant (Figure I.3). Elle est filtrée par les filaments des deux paires de branchies lamelleuses avant d'être évacuée par le courant exhalant.

L'oxygène ainsi capté pénètre dans l'hémolymphe pour être distribué dans tout l'organisme lorsque la moule se retrouve à l'air libre, elle ferme sa coquille et passe à une respiration anaérobie (respiration réalisée par certains organismes en l'absence d'oxygène) (**Cahen, 2006**).



**Figure I.3** : Système respiratoire et alimentaire chez la moule (MPO, 2003).

#### d. Reproduction et cycle de vie

La moule est sexuellement différenciée. Pendant la période de reproduction, les ovules sont libérés dans la cavité palléale, où ils sont fécondés par les spermatozoïdes déversés dans l'eau par les mâles et entraînés par la circulation d'eau entrante.

La fécondation est donc externe ; c'est la rencontre des deux gamètes dans l'eau. *Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna* possèdent une période de ponte établie durant toute l'année (Benzaoui, 2010).

Les œufs sont très nombreux (environ 500000), donnent deux stades larvaires successifs : trochophore et véligère. La larve trochophore se transforme en larve véligère en 24h. Celle-ci se fixe sur un substrat, après 2 à 3 semaines (Cahen ; 2006). La maturité sexuelle est atteinte entre 5 et 8 mois pour une taille de 15 à 35 mm (Lubet, 1973).

#### e. Systèmes nerveux

Le bord du manteau est tapissé de cellules nerveuses sensibles à la température, aux substances chimiques et à la lumière. Le système nerveux est réduit à trois paires de ganglions nerveux situés sur le manteau, le pied et les viscères (His et Catan, 1992).

I.7.2. *Patella sp.*

La classification des patelles (Lincoln et al., 1998) est résumée dans le tableau ci-dessous.

**Tableau I.4** : Classification de *Patella sp.*

Règne	<i>Animalia</i>
Embranchement	<i>Mollusca</i>
Classe	<i>Gastropoda</i>
Sous classe	<i>Prosobranchia</i>
Ordre	<i>Archaeogastropoda</i>
Famille	<i>Patellidae</i>
Genre	<i>Patella</i>
Nom binomiale	<i>Patella sp</i> (Linnæus, 1758)

## I.7.2.1. Habitat et écologie des patelles

*Patella sp* est un animal benthique sédentaire, qui habite les rochers éclairés de l'étage médiolittoral où elle forme des populations denses (Rozič et al., 2014). Elle s'est adaptée à cet écosystème par son amélioration d'organisation, sa fixation très solide à la manière d'une ventouse très puissante, grâce à son pied musclé adhérent, pour résister à la fois à la dessiccation et aux chocs des vagues (Nakhlé, 2003 ; Boudouresque, 2005 ; Rozič et al., 2014). Elle peut vivre plus de 10 ans (Nakhlé et al., 2006).

Dans les substrats tendres comme la roche calcaire, elle creuse grâce à une sécrétion acide des cavités appelées cupules dans lesquelles elles s'encastrent pour mieux résister à l'assaut des vagues (George et George, 1980).

Bien qu'elle soit sédentaire, la patelle se déplace à marée haute pour se nourrir (Figure I.4), et regagne son gîte à marée basse tout en épousant parfaitement la forme du rocher afin de réduire les pertes d'eau par évaporation (Nakhlé, 2003 ; Nakhlé et al., 2006).



**Figure I.4:** Habitat écologique de *Patella sp.*

#### **I.7.2.2. Morphologie et anatomie**

La patelle, petit gastéropode en forme de chapeau chinois, a une coquille conique à une seule valve à sommet central ou assez antérieur (Figure I.5), à ouverture ovale ou polygonale, de taille moyenne ou assez grande avec des lignes radiales et concentriques (**Rozič et al., 2014**).

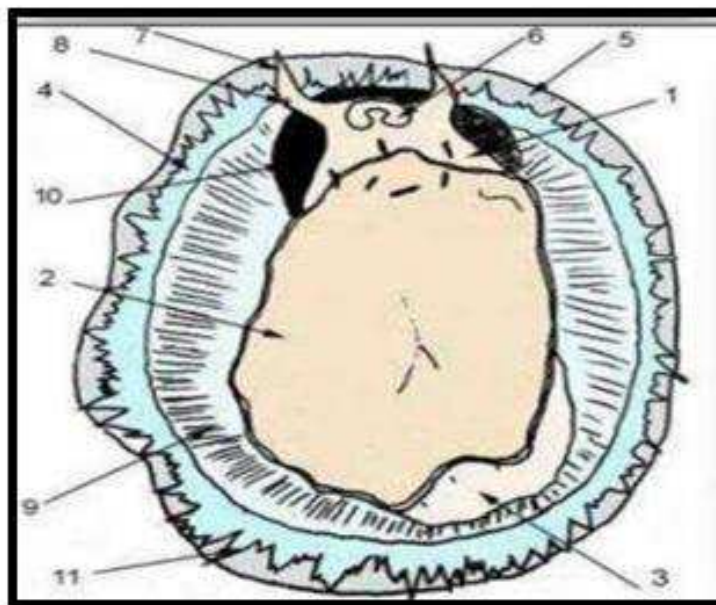
Sa hauteur dépend des conditions hydrodynamiques environnantes ; bombée en mode battu et plus aplatie en mode calme ou en profondeur. Cette coquille est élaborée à partir d'éléments de l'eau de mer et de gaz carbonique issus du métabolisme et transformés en grande partie en calcaire (**Le Roux, 2005**).

L'accroissement de la coquille répond à deux rythmes distinct : saisonnier et selon l'endroit pour mieux s'adapter aux conditions environnantes (**Nakhlé, 2003**).

A l'intérieur de la coquille, à mi-distance entre le sommet et le bord de l'ouverture, on observe l'empreinte musculaire qui est une bande étroite et terne en forme de fer à cheval ouverte vers l'avant (**Harvey, 2009**), c'est la trace de l'insertion du muscle qui relie les parties molles de l'animal à sa coquille (**Le Roux, 2005**). La morphologie externe et interne est illustrée dans la figure I.6.



Figure I.5 : Morphologie externe de *Patella rustica* ([www.doris.ffesmm.fr](http://www.doris.ffesmm.fr)).



- 1. Tête
- 2. Pied
- 3. Masse viscérale
- 4. Manteau
- 5. Coquille
- 6. Lèvre entourant la bouche
- 7. Tentacules
- 8. Œil
- 9. Branchie
- 10. Cavité palléale
- 11. Papille sensible.

Figure I.6: Morphologie interne de *Patella* sp.

### I.7.2.3. Biologie et physiologie des patelles

#### a. Respiration

Dans la sous-classe des prosobranches, les branchies se situent dans la cavité palléale, et ont une forme de cercle continu situé sous le rebord du manteau. Quand les patelles sont baignées par les vagues, elles soulèvent leur coquille pour emprisonner l'eau puis la baisse afin qu'elle adhère parfaitement au rocher. Grâce à cette réserve d'eau, la patelle peut respirer, en y tirant de l'oxygène, et résister à l'émersion (Marshall et Mc Quaid, 1989).

#### b. Nutrition

La patelle est un brouteur herbivore qui consomme des microalgues et les débris divers qu'elle racle sur les rochers environnants avec sa radula (Nakhlé, 2003 ; Rozič et al., 2014), puis retourne à sa place pour les digérer ; c'est le comportement de "homing" (Boudouresque, 2005). La jeune larve se nourrit généralement d'algues microscopiques jusqu'à sa métamorphose et sa fixation (Laborel-Deguen et al., 1999).

La radula est une multitude de petits denticules d'une substance dure (scléroprotéine) imprégnée de minéraux et disposées sur un ruban souple, qui est animée d'un mouvement de va et vient par des muscles du bulbe buccal (Nakhlé, 2003). Elle est caractéristique de tous les mollusques gastéropodes (Davies et al., 2005).

Elle est caractérisée par trois dents latérales, dont un la plus extérieure est tricuspide, et par trois dents marginales (Figure I.7).

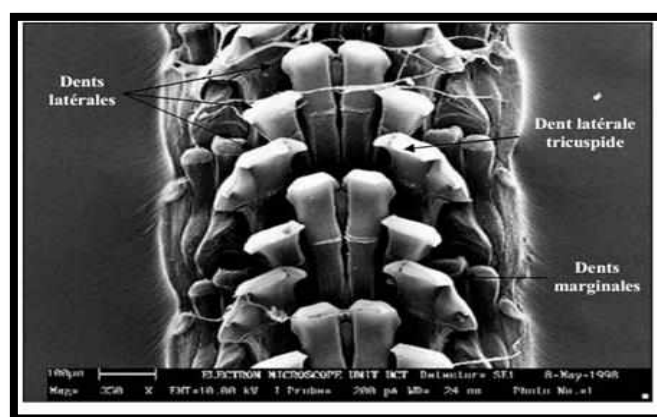


Figure I.7 : Microscopie électronique de la radula de *Patella sp* (Nakhlé, 2003).

## c. Reproduction et cycle de vie

D'après la littérature, les patelles sont des hermaphrodites protandres, c'est -à-dire qu'elles sont d'abord mâles et changent de sexe pour devenir femelles (Nakhlé, 2003). La maturité sexuelle mâle est atteinte quand la coquille atteint 2 à 3 cm (Louisy et Maître-Allain, 2000). Elle deviendra femelle dès sa deuxième année (4 à 6 cm de diamètre), ce qui fait que les femelles peuvent être rares dans la population (San Martin et al., 1996).

Les gamètes mâles et femelles sont émises conjointement et la fécondation a lieu en pleine eau et donnent naissance à des larves véligères qui mènent une vie planctoniques durant quelques jours (Nakhlé, 2003 ; Rozič et al., 2014).

Après la métamorphose, les jeunes patelles de sexe mâle commencent leur vie benthique et changent de sexe dès la deuxième année d'âge (Rozič et al., 2014). La reproduction a lieu en automne ou au début de l'hiver (de septembre à janvier) (Nakhlé, 2003).

## d. Locomotion

Deux types de mouvements sont observables. Le premier est lié à la respiration de l'animal. Le second est constitué par les déplacements proprement dits, limités à quelques mètres de son domicile (Gérard., 2005).

A chaque déménagement, l'animal secrète les matériaux nécessaires à l'ajustement de sa coquille à un emplacement nouveau (Gérard., 2005).

### I.7.3. Choix des moules et des patelles comme bio-indicateur des HAPs

Pendant les deux dernières décennies, l'intérêt porté aux bio-indicateurs pour la surveillance et l'évaluation de la pollution environnementale par les hydrocarbures a fortement augmenté (Stancovic et Stancovic, 2013).

Plusieurs espèces marines, comme les algues, les gastéropodes, les poissons, les mammifères marins (phoque, otarie) et les oiseaux marins peuvent être employé pour le biomonitoring de la pollution marine, en raison de leur capacité de les absorber de l'eau, du sédiment, et de la chaîne alimentaire (Nakhlé, 2003 ; Jakimska et al., 2011; Copat et al., 2013 ; Stancovic et Stancovic, 2013).

L'utilisation des organismes sessiles comme bioindicateurs dans le milieu marin est un outil approprié pour évaluer l'influence des contaminants dans les zones côtières (Batista et al., 2013 ; Rouane-Hacene ; 2013).

Les moules et les patelles présentent des caractéristiques lui conférant l'image d'un bon bio-indicateur en raison de (**Rouane-Hacene ; 2013**):

- leur faculté d'accumuler des contaminants présents dans l'environnement ; en effet, des corrélations entre la concentration des hydrocarbures dans l'eau et dans les moules et les patelles ont été établies ;
- leur large répartition géographique ; elles sont cosmopolites ;
- leur mode de vie sessile et euryhalin ;
- Facile à échantillonner et importants du point de vue économique et écologique, ainsi que la possibilité de travailler sur différentes classes d'âge ;
- Leur consommation par l'homme les présente donc vecteurs de contamination.
- Leur tolérance à différents stress (**Casas, 2007**).

Les moules montre une rapide absorption des hydrocarbures aromatiques polycycliques alors que la dépuración cinétique est lente elle prend des semaines ou des mois (**Batista et al., 2013**).

Les moules, en particulier le genre *Mytilus*, sont généralement utilisés dans des programmes de surveillance tel que le Réseau National d'Observation de la qualité de l'eau (RNO) en France (**Chiffolleau et al., 2003**), pour étudier l'accumulation de polluants dans les tissus et les effets qui découlent de cette accumulation sur les processus biologiques (**Banni et al., 2007; Canesi et al., 2011**).

Les patelles par leur présence et/ou leur abondance, sont significatifs d'une ou de plusieurs propriétés de l'écosystème dont ils font partie (**Guelorget et Perthuisot, 1984**). Ils sont utilisés pour la surveillance des pollutions aquatiques depuis environ 35 ans (**Nakhlé, 2003**).

En Méditerranée, où les bio-indicateurs déjà établis sont moins présents (*Mytilus*, poissons sédentaires...etc.), les patelles sont considérées comme organismes de remplacement (**Campanella et al., 2001**).

**ZONE D'ETUDE**

## II. Zone d'étude

On s'intéresse à la région du littoral Algérois qui est comprise entre Bou-Ismaïl à l'Ouest et Zemmouri à l'Est essentiellement la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl (Figure II.1).



Figure II.1: Situation géographique de la région d'Alger (Google Earth, in Dehane, 2012).

### II.1.1. La baie de Bou-Ismaïl

#### II.1.1.a. Localisation

La baie de Bou-Ismaïl se trouve dans le sous bassin algérien de la Méditerranée occidentale entre  $2^{\circ}54'$ Est  $36^{\circ}48'$  Nord et  $2^{\circ}24'$ Est  $36^{\circ}38'$ . Elle est orientée du Sud-Ouest au Nord-Est avec une ouverture de 40 km et une superficie d'environ  $350 \text{ km}^2$  (Figure II.2). Elle est considérée comme l'une des baies les plus importantes de la cote algérienne (Houma, 2009).

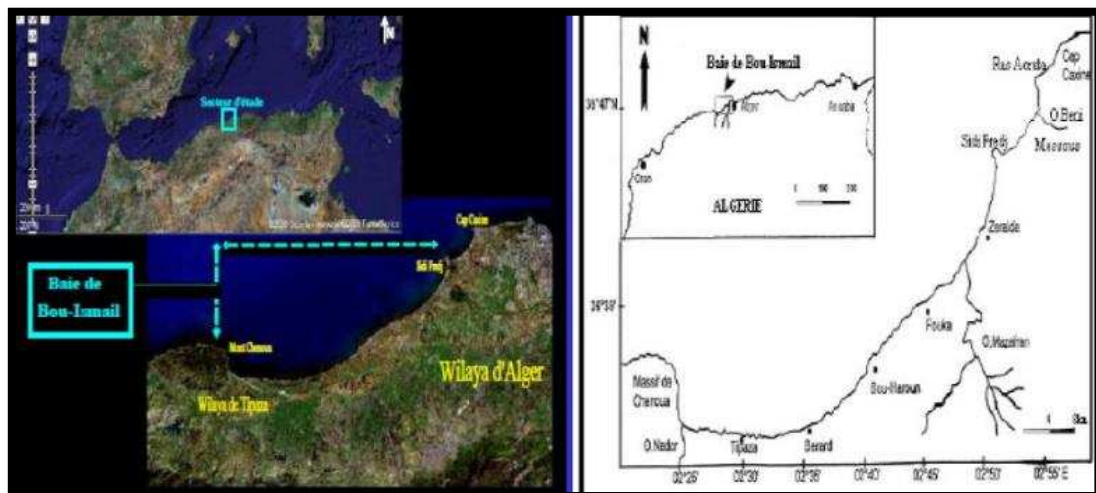
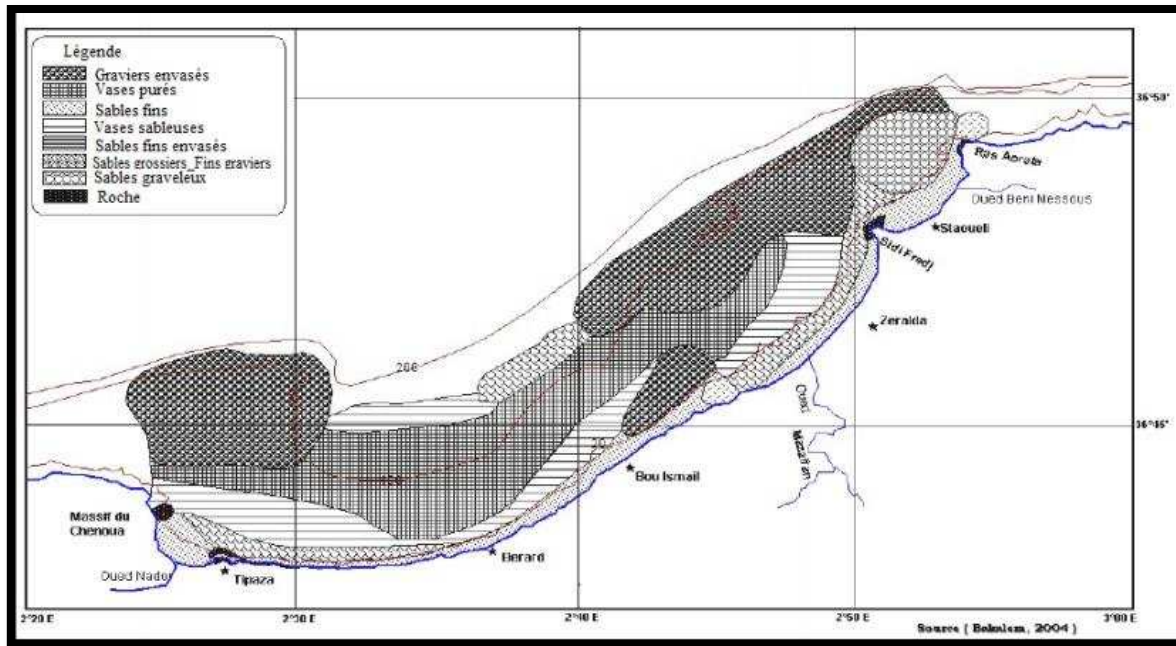


Figure II.2: localisation de la baie de Bou-Ismaïl (Houma, 2009).

### II.1.1.b. Sédimentologie

Les fonds de la baie de Bou Ismail se caractérisent par une grande diversité sur le plan sédimentaire. Neuf faciès sédimentaires ont été identifiés : les sables fins, les sables fins envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fin graviers, les vases pures, le faciès rocheux. Selon (LEM, 1998). La répartition de ces derniers n'est pas homogène avec une dominance des sables envasés (Figure II.3).



**Figure II.3:** Sédimentologie de la baie de Bou-Ismaïl (Bakalem in Grimes, 2004).

### II.1.1.c. Climatologie

La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par un climat subhumide et une périodicité des vents. La période hivernale se caractérise par une baisse de la température à environ 16°C et une précipitation moyenne de 89.49 mm, alors que la période estivale se caractérise par une température moyenne de 29°C avec des précipitations très faibles et un pourcentage d'humidité toujours égal à 60 %. Les vents du secteur Ouest, de 2 m/s en moyenne, dominent de Mai à Octobre (*in* Kassar, 2011).

### II.1.1.d. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est constitué de trois oueds à régimes irréguliers déversant dans la baie de Bou-Ismaïl. Ce réseau alimente le milieu marin en apports terrigènes et également tous les polluants issus des activités humaines, agricoles et industrielles (Benina, 2016).

II.1.1.e. Pollution

La région de Bou-Ismaïl est une zone à vocation touristique et agricole, sa frange côtière est soumise principalement aux rejets domestiques des villes et des complexes touristiques qui déversent directement en mer. Elle subit onze déversements d'eaux usées ménagères et deux déversements d'eaux industrielles rejetées par les deux zones industrielles de Chouaïba et Bou-Ismaïl, ce qui constitue «un véritable danger» pour l'environnement marin (Boufassa, 2015). Ces rejets déversent directement dans le milieu naturel sans aucun traitement au préalable dans la plupart des cas, et qui s'accroissent en période estivale (Figure II.4).

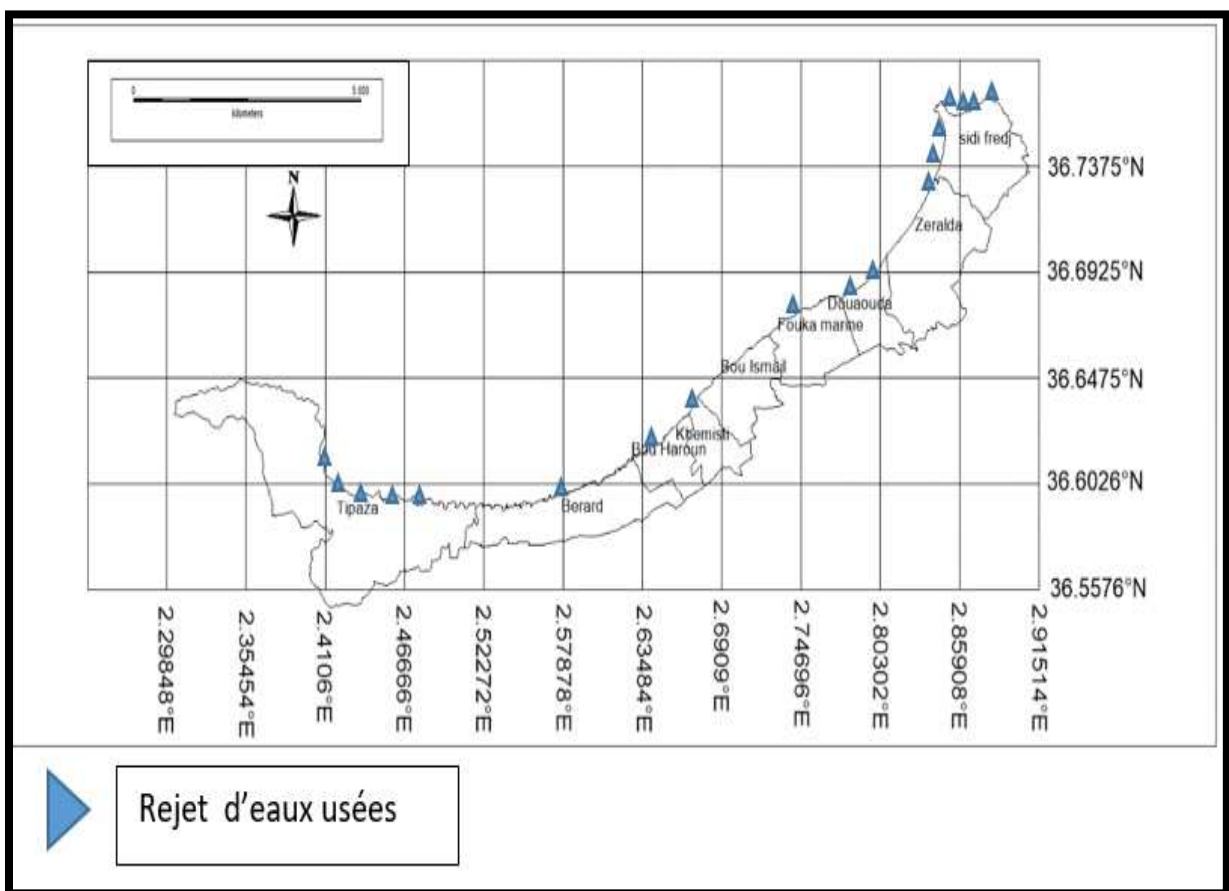


Figure II.4 : Cartes des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bou-Ismaïl (PAC, 2004) (modifié).

**Tableau II.1:** Les activités polluantes dans la baie de Bou-Ismaïl (M.A.T.E, 2006 in Derradji, 2014).

Dénomination de l'unité	Nature de l'activité	Nature de la pollution générée
Sarl Resiteck	Production de peinture bâtiments	Apports importants de métaux lourds, huiles et lubrifiants
SARL Prochimal	Fabrication de produits d'entretiens	Eaux usées chargées d'éléments chimiques ; rejets de savons, agent de lavage et rinçage caractérisé par une teneur élevée en savons saponifiés et en DBO
Plastram	Transformation Plastique	Eaux de nettoyage
PFIZER	Fabrication des produits vétérinaires	Eaux usées chargées d'éléments chimiques
Imprimerie SHELLIA	Utilisation importante d'encre	Déversement des encres avec les eaux domestiques
TONIC Emballage	Fabrication de boîte, gobelets, emballage de différentes dimensions	Rejet d'eaux usées domestiques + Chutes de cartons, papiers
Autres unités :		
KN Mine Matelot CPKD ECOREP Sarl Irsal Céréales d'or	Eurl CCNBH La sahelienne Sarl SOAL BIC Société Algérie Lumière Intrace	Sarl SAFCF Poterie Sarl Fouka Emballage Touhami Sarl Roxal Sarl Castihygiene Céramique Hyppocampe

### II.1.2. La baie d'Alger

#### II.1.2.a. Localisation

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne. Elle s'inscrit en creux dans la plaine de Mitidja de forme semi-circulaire d'une superficie approximative de l'ordre de 180 Km<sup>2</sup>, délimitée par deux caps, la Pointe Pescade (Rais Hamidou) à l'ouest et le cap Matifou (Bordj El- Bahri) à l'est (Figure II.5). Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée avec une longitude Est 03°.14'.50 à 03°.00'.40'' et une latitude nord 36°.49'.35 à 36°.49'.50'' (Houma, 2009).

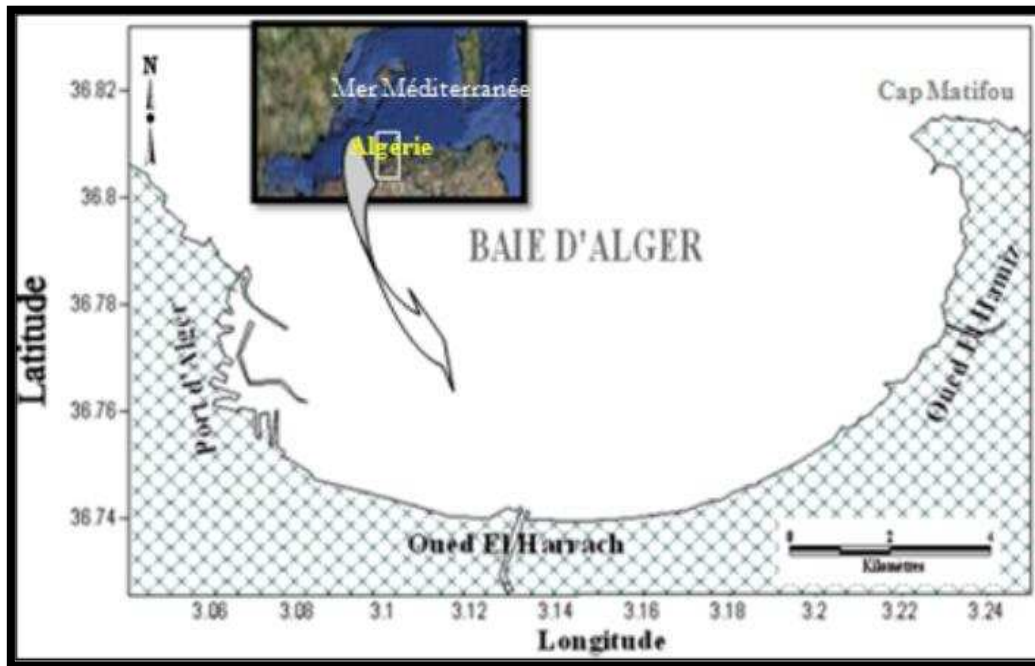


Figure II.5: localisation de la baie d'Alger (Houma, 2009)

II.1.2.b. Sédimentologie

En baie d'Alger, la distribution des sédiments est fonction de la bathymétrie (Figure). Ainsi leur répartition et leur déplacement obéissent à la dynamique sédimentaire et à l'hydrodynamique locale. La distribution générale des faciès, établie par **Maouche (1987)**, montre que la composition globale des dépôts caractérise trois types de faciès : Faciès sableux, Faciès carbonatés et Faciès pélitiques (Figure II.6).

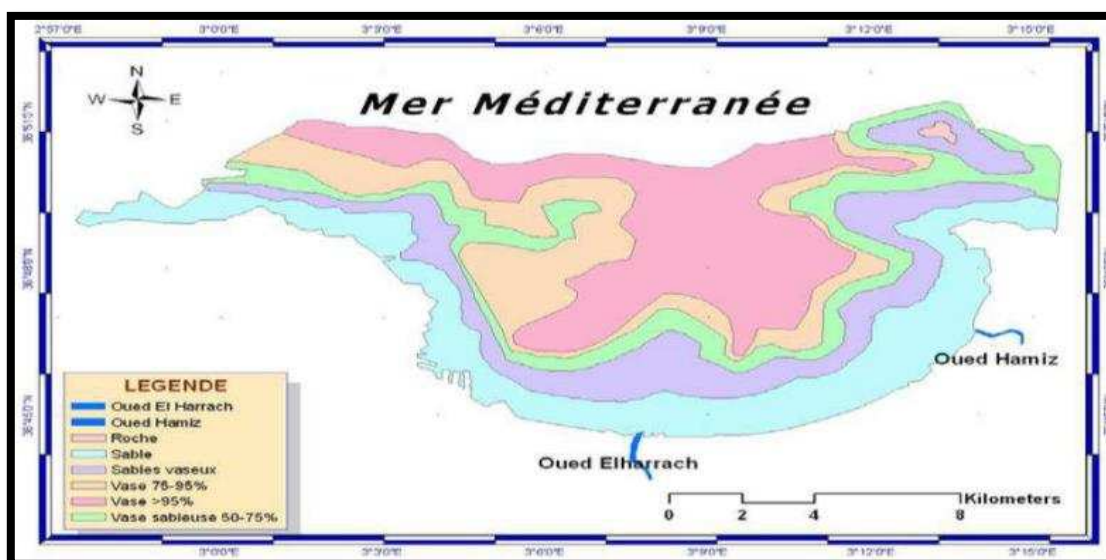


Figure II.6: carte sédimentaire de la baie d'Alger (Maouche, 1987).

### II.1.2.c. Réseau hydrographique

La baie d'Alger est alimentée par Oued El Harrach et Oued El Hamiz. Ces cours d'eau prennent leur source dans l'atlas Blidéen et traversent la plaine de la Mitidja avant de déboucher en mer. Le régime hydrographique de ces oueds se caractérise par un long étiage de 6 mois et des crues observées surtout en hivers et rarement au printemps (*in* **Kassar, 2011**).

### II.1.2.d. Pollution

Tout le long de son pourtour et plus particulièrement dans sa partie Ouest, La baie d'Alger reçoit les rejets urbains, industriels et portuaires de l'agglomération algéroise et des communes environnantes (**Koroghli, 2010**).

Le port d'Alger est l'une des principales sources de pollution, au niveau de la baie. Il reçoit 24 égouts au-delà de l'activité portuaire. Il est à noter aussi l'effet des apports d'oued el Harrach et oued el Hamiz qui affecte la partie centrale et orientale de la baie (**APPL, 2015**).

Les eaux usées urbaines de la ville d'Alger, des villes côtières et des unités industrielles sont drainées vers le port ou la baie d'Alger sans traitement au préalable (Figure II.7) : 70 points de rejet dont 26 directs dans le port d'Alger (**Bachari et al., 2011**).

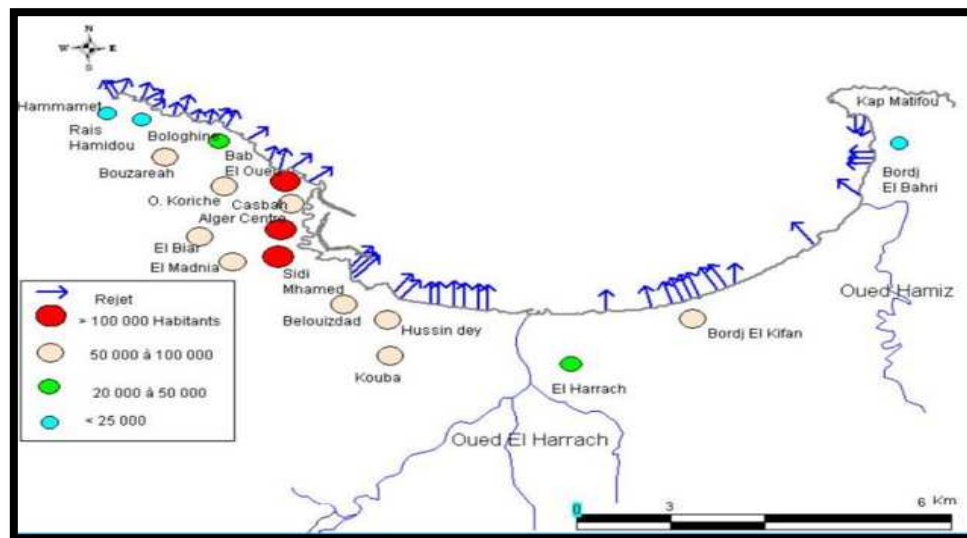


Figure II.7: les rejets des eaux usées dans la baie d'Alger (**Houma, 2009**).

**MATERIEL ET**

**METHODES**

### III.1. Stratégie d'échantillonnage

L'élément fondamental de notre stratégie d'échantillonnage est la considération des interactions entre les peuplements qui cohabitent les stations d'étude et les facteurs anthropiques, en particulier les sources de pollution.

#### III.1.1. Localisation des stations de prélèvement

Six stations ont été choisies selon le degré de pollution et sont réparties sur trois baies : la baie de Bou-Ismaïl, la baie d'Alger et la baie de Zemmouri. Cinq stations sont situées dans des zones qui reçoivent des apports anthropiques importants (Port de Bouharoun, Port de khemisti, Zéralda, Port d'Alger et Bateau cassé). La sixième station, figuier, est située dans une zone considérée comme non polluée.

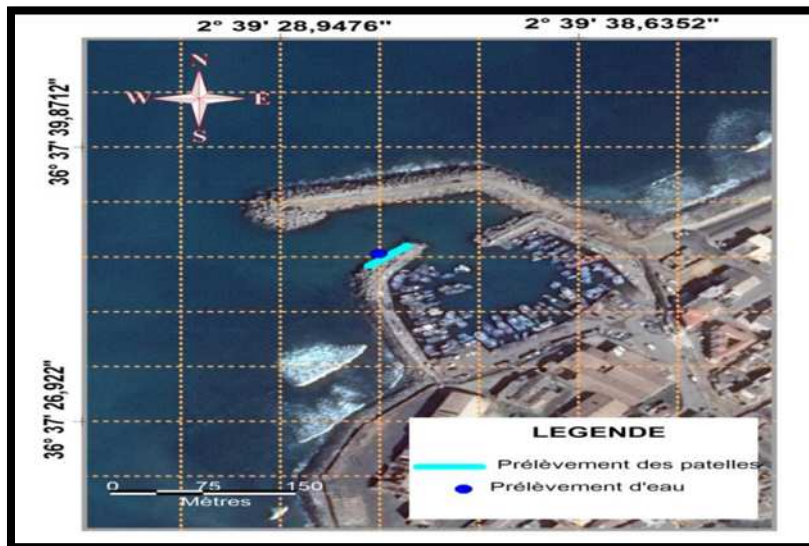
La première station est la digue Sud Est Port du Bouharoun qui se trouve au centre de la baie de Bou-Ismaïl, à environ 40 Km à l'ouest d'Alger et orienté Nord-Est Sud-ouest. Il a une superficie totale de 30.000m<sup>2</sup>.

Les eaux des bassins subissent des rejets des eaux usées, l'effet des peintures d'anti fouling, des hydrocarbures et des macro-déchets flottants (Figure III.1).



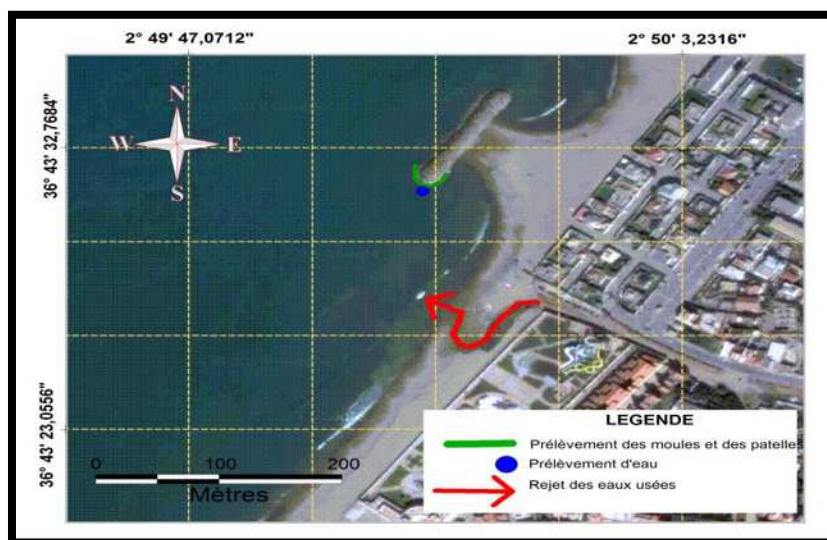
Figure III.1 : Localisation géographique du port de Bouharoun.

Le port de Khemisti se trouve à moins de 30 km à l'ouest d'Alger, orienté Sud-ouest Nord-est. Il souffre d'un problème d'ensablement, en effet, des travaux de dragage ont été constatés le jour de la sortie. Il est caractérisé par un rendement moins important que le port de Bouharoune (Figure III.2).



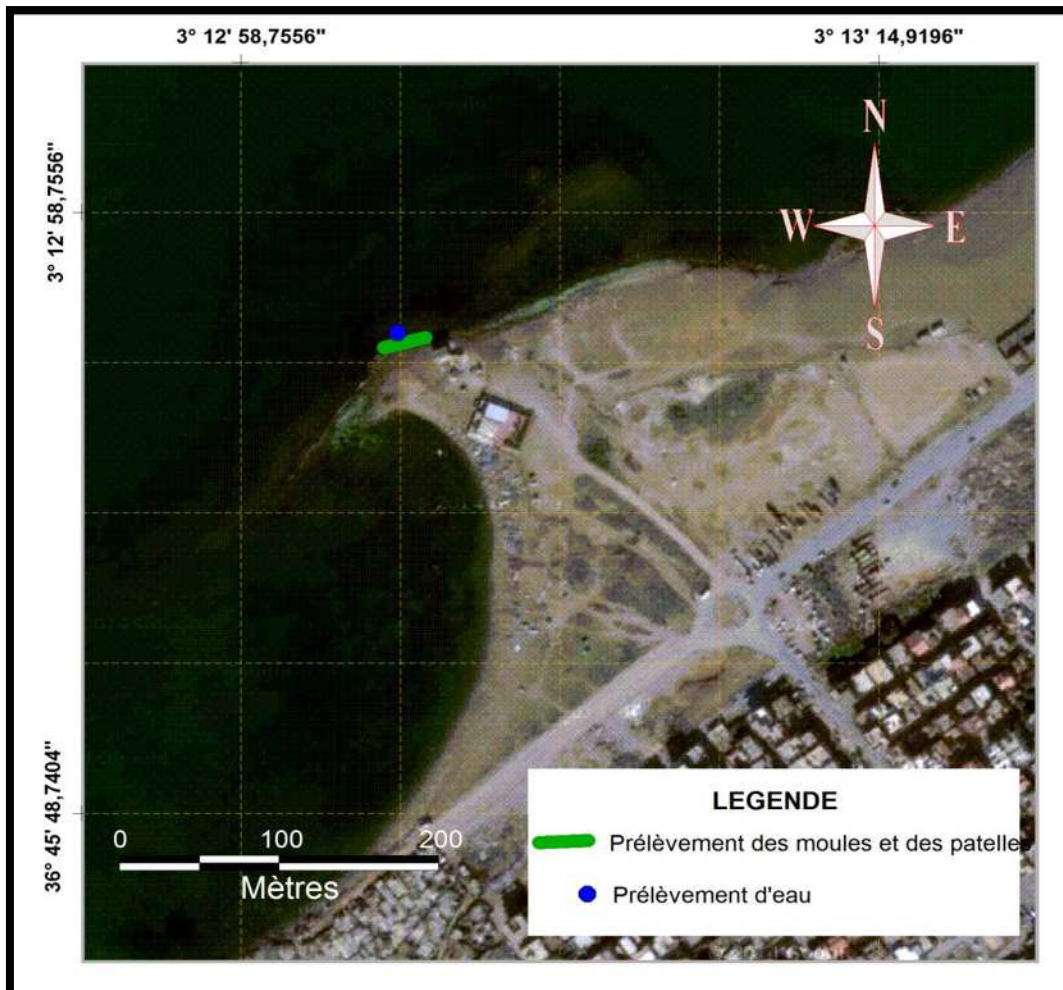
**Figure III.2 :** Localisation géographique du port de Khemisti.

La station de Zéralda est située à environ 24 km d'Alger. Le site de prélèvement se trouve au niveau de la première brise lame à l'ouest du complexe touristique. Un rejet a été observé à l'Est. Ce dernier achemine des eaux usées domestiques issus de la ville de Zéralda (Figure III.3).



**Figure III.3 :** Localisation géographique de la station de Zéralda.

Bordj El Kiffan est situé sur la rive orientale de la baie d'Alger, à environ 15 km à l'est d'Alger. En plus de la ville même de Bordj El Kiffan, elle englobe les zones urbanisées de Ben Mred, de Dergana et de Ben Zerga. Le site de prélèvement se trouve au niveau de la partie rocheuse de la plage de Bateau cassé (Figure III.4).



**Figure III.4** : Localisation géographique de la station de Bateau cassé.

Le Port d'Alger est construit à l'extrême Ouest de la baie d'Alger. L'ensemble portuaire couvre un plan d'eau de 184 ha. Il se situe entre  $03^{\circ} 03' 44''$  et  $03^{\circ} 04' 00''$  de longitude Est et entre  $36^{\circ} 45' 44''$  et  $36^{\circ} 47' 43''$  de latitude Nord.

Notre station de prélèvement est au niveau du vieux port plus exactement « Darse l'amirauté ». Le bassin du Vieux Port, en relation avec la baie par la passe Nord, abrite toutes les activités de pêche et l'activité militaire (Figure III.5).



Figure III.5 : Localisation géographique du port d'Alger.

El karma (ex Figuier) est une commune de la wilaya de Boumerdes, située à 5 km à l'est de la ville de Boumerdes. Des prélèvements ont été effectués à l'Est de la plage de Figuier. Cette zone est à l'abri de toute sorte de pollution, d'où sa prise comme étant une zone de référence (Figure III.6).

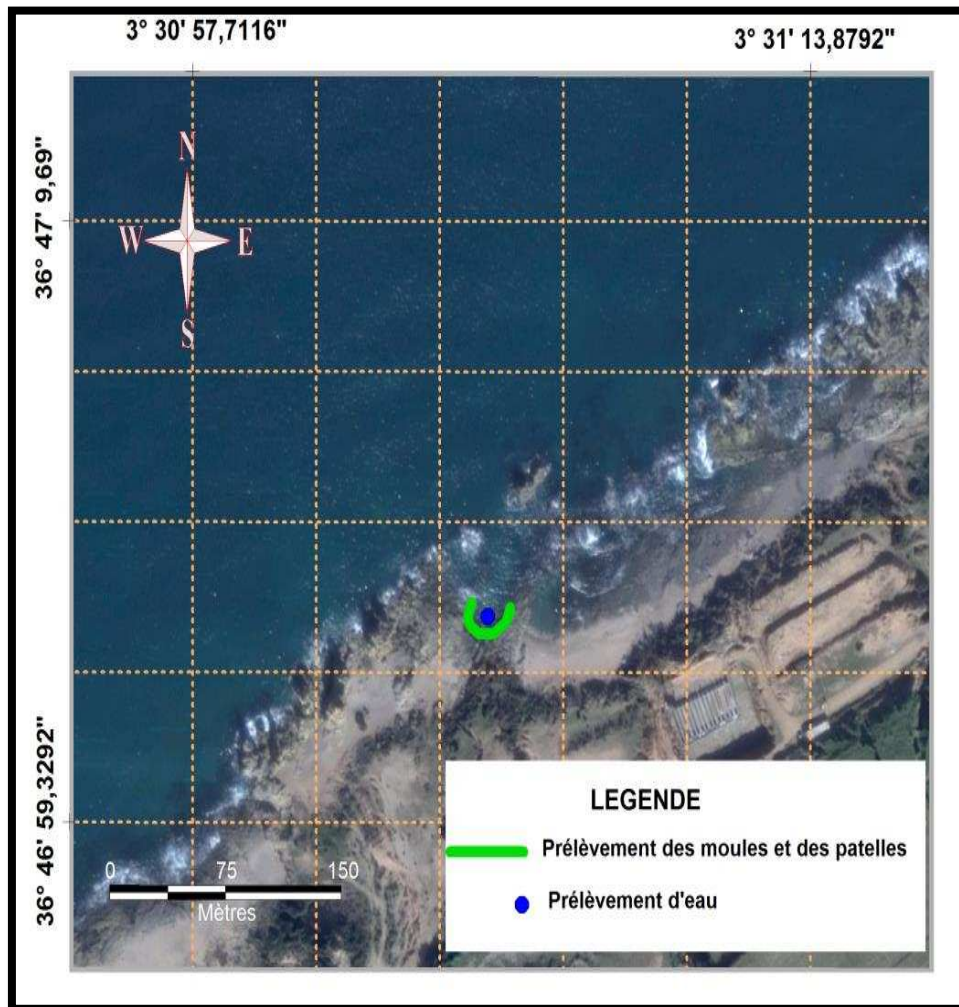


Figure III.6 : Localisation géographique de la station de Figuer.

### III.1.2. Période de prélèvement

Lors de cette étude, trois sorties sur terrain ont été organisées afin de prélever la matrice d'eau de mer et la matrice biologique représentées par les patelles et les moules. Le planning des sorties est résumé dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.1 : Dates et lieux de prélèvement.

Dates	Lieux
• 23. 06. 2016	Port de bouharoun, Port de khemisti, Zeralda.
• 25. 06. 2016	Bateau cassé, Figuer.
• 12. 08. 2016	Port d'Alger.

## III.2. Matériel

## III.2.1. Produits liquides

L'ensemble de produits chimiques liquides utilisés lors de conditionnement et d'extraction des hydrocarbures sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau III.2 :** Produits liquides utilisés dans l'analyse des hydrocarbures.

Produit liquide	Matrice	Marque	Etape d'utilisation
n-Hexane (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	-Eau de mer -Biote	SIGMA-ALORICH	-Extraction -Purification -Fractionnement
Dichlorométhane (Cl <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> )	-Eau de mer -Biote	GPR RECTAPUR	-Purification -Fractionnement
Acétone (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O)	-Biote	LABOSI	-Rinçage de la verrerie -Extraction

## III.2.2. Produits solides

Le tableau III.3 résume les produits chimiques solides utilisés dans le traitement des hydrocarbures en chromatographie sur colonne.

**Tableau III.3 :** Produits solides utilisés dans l'analyse des hydrocarbures.

Produit solide	Matrice	Marque	Etape d'utilisation
Le florasil (MgO : 15,5% ; SiO <sub>2</sub> : 84% ; Na <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> : 0,5%)	-Eau de mer	FLUKA	-Purification
Gel de silice SiO <sub>2</sub>	-Eau de mer -biote	BIOCHEM	-Fractionnement
Alumine ou oxyde d'alumine (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	-Eau de mer -biote	PROLABO	-Purification
Sulfate de sodium anhydre (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	-Eau de mer -biote	FLUKA	-pouvoir déshydratant

Le Florisil, le gel de silice et l'alumine, servant en chromatographie à colonne ouverte, sont conditionnés comme suit :

- Étape d'activation à l'étuve à 120°C pendant 24 heures.
- Etape de désactivation partielle avec addition de 5% d'eau distillée.

### III.2.3. Conditionnement du matériel du prélèvement et de la verrerie

Les produits et la verrerie utilisée pour l'analyse sont préparés avant de commencer le travail. La verrerie utilisée est en verre borosilicaté. Afin d'éviter tout risque et source de contaminations, le matériel doit être lavé et conditionné (UNEP, IAEA, 1997) :

- Lavage à l'eau et à la lessive classique,
- Rinçage à l'eau acidulée à 5%,
- Rinçage à l'eau distillée,
- Rinçage à l'acétone  $C_6H_6O$ ,
- Séchage à l'étuve à 70°C pendant 24h,
- Rinçage au solvant (Hexane).

Par la suite, le matériel est couvert avec du papier aluminium préalablement rincé avec l'hexane et séché au four à moufle à 450°C.

### III.3. Echantillonnage

#### III.3.1. Récolte des patelles et des moules

Le prélèvement des patelles et des moules s'est effectué au niveau de l'étage médiolittoral sur un transect horizontale de 20m, à l'aide d'un couteau en inox ainsi que des gants pour éviter toute contamination.

La taille des patelles ciblées est comprise entre 2 et 4 cm, et la taille des moules est comprise entre 4 et 7 cm. Les patelles détachées soigneusement sont nettoyées avec une brosse afin d'éliminer le sédiment et les impuretés (Figure 2 voir annexe) puis sont rincées à l'eau de mer.

La même méthode a été utilisée pour le prélèvement des moules. Les moules de chaque station ont été arrachées du substrat par section de leurs byssus en prenant soin de ne pas endommager le pied.

Puis, elles sont placées dans du papier d'aluminium et des sachets en plastiques conditionnés étiquetés, avant d'être transportés au laboratoire dans une glacière où la température est de 4°C. Elles ont été conservées au congélateur jusqu'à la dissection.

### III.3.2. Prélèvement de l'eau de mer

Le prélèvement des échantillons d'eau de mer, pour l'étude des hydrocarbures et des différents paramètres physico-chimiques a été effectué selon les recommandations du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE, 1995).

Le dispositif recommandé pour le prélèvement des échantillons d'eau nécessite une bouteille propre et conditionnée de verre fumé, de 2.5 litres de capacité, placée sur un support lesté. On choisit une bouteille à goulot étroit pour qu'elle se remplisse lentement lorsqu'on l'enfonce dans l'eau. Après chaque prélèvement, ajouter 50 ml d'hexane ml agiter pendant 3 minutes afin de conditionner le prélèvement et d'entamer l'étape d'extraction (Marchand, 1983).

### III.3.3. Mesure *in situ*

Les paramètres physico-chimiques : température, salinité, pH et oxygène dissous ont été mesuré *in situ*, à l'aide d'une valise multi-paramètres de marque HANNA (référence HI 9828 multiparameter).

### III.4. Taux des matières en suspension

La méthode consiste à filtrer un volume d'eau de mer, à l'aide d'une membrane d'une porosité de 0,45µm. Le poids des matières particulaires retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle (Latouche et Moyers, 1977 ; Rodier, 2009).

#### Mode opératoire

Un volume de 100 ml d'eau de mer a été filtré sur une membrane Whattman GF/F conditionnée au préalable et de 0,45µm de porosité (figure.III.7). Après séchage de la membrane à l'étuve à 105°C pendant 2 heures, une pesée différentielle est réalisée. La concentration des matières en suspension est calculée selon l'expression suivante :

$$\text{MES (mg/l)} = \frac{P_2 - P_1}{V}$$

Avec :

**P<sub>1</sub>** : Poids initial du filtre (mg).

**P<sub>2</sub>** : Poids du filtre après la filtration (mg).

**V** : Volume d'eau filtrée (L).



**Figure III.7:** Dispositif de filtration.

### III.5. Taux de la matière organique dans l'eau de mer

Après filtration sur membrane, le filtre séché est pesé ( $P_2$ ), puis déposé dans un creuset en porcelaine pour faire objet d'une calcination au four à moufle à 450 °C pendant deux heures (figure.III.8). Le filtre est à nouveau pesé, soit  $P_3$ . Le taux des matières organiques est exprimé comme suit :

$$MO(\%) = \frac{P_2 - P_3}{P_2} * 100$$

**Avec :**

**MO** : matière organique exprimée en pourcentage.

**$P_2$**  : poids du filtre avant calcination.

**$P_3$**  : poids du creuset et du filtre après calcination.



**Figure III.8:** Four à moufle (WiseTherm).

### III.6. Prétraitement des patelles et des moules

Après décongélation, la partie molle de chaque individu est détachée de sa coquille à l'aide d'un scalpel en inox et pesée avant d'être mise dans un pilulier en verre. Les poids de la coquille et de la partie molle, après séchage sont déterminés.

L'indice de condition (IC), qui est un indice biométrique couramment utilisé en conchyliculture pour rendre compte de l'état physiologique du mollusque, a été calculé pour chaque individu comme le rapport entre le poids sec du tissu mou divisé par le poids de la coquille.

### III.7. Analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'eau de mer

#### III.7.1. Extraction liquide-liquide

Le procédé d'extraction est entamé *in situ* (Roussel et Marchand, 1983). Une seconde extraction est réalisée au laboratoire avec 50 ml d'hexane par agitation mécanique dans une ampoule à décanter pendant 20 minutes, avec un dégazage chaque 3 minutes. Après décantation, la phase organique est récupérée dans un ballon à col rodé. Une pincée de sulfate de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) anhydre est ajoutée afin d'absorber d'éventuelles traces d'eau dans l'extrait. (FigureIII.9).



FigureIII.9: L'extraction liquide-liquide.

#### III.7.2. Concentration de l'échantillon

La concentration de l'extrait d'eau de mer est réalisée dans un évaporateur rotatif (BUCHI R110), à 40°C et à 1,3 millibar, afin d'éliminer le solvant à savoir l'hexane. La concentration permet de diminuer le volume du solvant dans l'extrait pour avoir un volume réduit et manipulable de 10 ml.

### III.7.3. Purification

Le solvant organique utilisé piège non seulement les hydrocarbures mais aussi tous les composés organiques polaires tels que les lipides et les acides gras. Afin d'éliminer ces derniers et d'isoler les hydrocarbures, une purification est réalisée par le biais d'une chromatographie d'adsorption sur colonne ouverte.

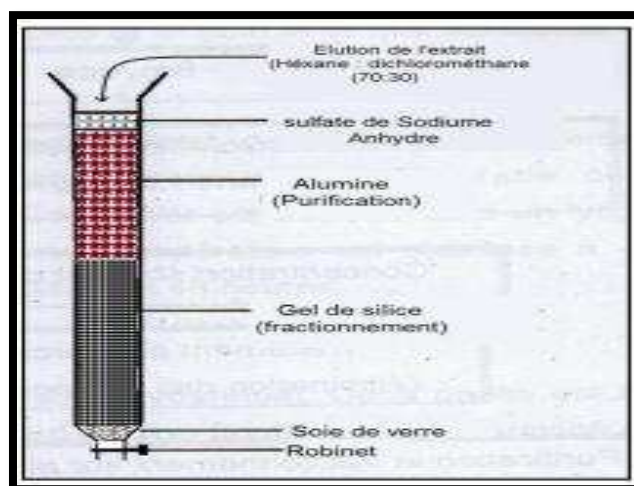
La phase stationnaire se traduit par une colonne en verre de 50 ml de volume avec un diamètre interne de 10 mm contenant la laine de verre à l'extrémité inférieure, 5g de Florisil conditionné et une pincée du sulfate de sodium à l'extrémité supérieure. L'élution est effectuée avec 20 ml d'hexane. L'éluat récupéré a un volume final de 20 ml.

### III.7.4. Purification et fractionnement

Cette méthode utilise la chromatographie sur colonne ouverte moyennement, contenant de l'alumine neutre (pouvoir de purification) et du gel de silice (pouvoir séparateur et/ou rôle de fractionnement) conditionnés. Ces deux composés sont agencés en deux lits successifs de 5g :

- L'alumine, est située dans la partie supérieure de la colonne.
- Le gel de silice au-dessous.

L'extrémité supérieure contient du sulfate de sodium tandis que l'extrémité inférieure de la colonne est occupée par de la laine de verre. Une élution est réalisée avec un mélange de 20 ml d'hexane et de dichlorométhane dans les proportions 70 :30 (fraction aromatique) (FigureIII.10).



**FigureIII.10:** Purification et fractionnement par chromatographie sur colonne ouverte (*in* Boughrira, 2012)

### III.8. Analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le biote (Kim et al ; 2014) modifié

Les principales étapes de traitement pour faire l'analyse des hydrocarbures dans le biote (moule et patelle) sont :

- Lyophilisation (-50à -60°C ,10-1 bar).
- Broyage (broyeur automatique en acier inoxydable)
- Extraction Soxhlet pendant 8 heures (mélange binaire Hexane / acétone ; 50/50)
- Concentration à 10ml (évaporateur rotatif)
- Purification et fractionnement sur colonne
- Fraction aromatique de 10ml
- Concentration sous jet d'azote

#### III.8.1. Lyophilisation

La lyophilisation c'est le passage de l'eau sous forme solide (état de cristaux) directement sous forme gazeuse ; appelée sublimation. Cette étape permet de déshydrater l'échantillon à froid. Les échantillons des patelles et des moules ont été passés au lyophilisateur (CHRIST BETTA 1-8) (Figure voir annexe) à -50°C avec une pression sous cloche de  $10^{-1}$ bar pendant 48 heures.

#### III.8.2. Broyage et homogénéisation

La chair des patelles lyophilisée est broyée à l'aide d'un broyeur automatique en acier inoxydable jusqu'à l'obtention d'une poudre fine. Après broyage, les échantillons sont homogénéisés avec un agitateur vibrant et stockés dans un endroit sec (dessiccateur en présence de gel de silice activé). Cette étape permet de libérer les polluants incrustés dans les particules du biote marin (les patelles et les moules).

#### III.8.3. Extraction solide-liquide

Un dispositif appelé batterie d'extraction ou Soxhlet, est indispensable pour l'extraction des hydrocarbures (Figure III.11). Cette opération permet de récupérer, par lessivage, tous les hydrocarbures contenus dans le biote (patelles et moules) avec un mélange de solvants. Celui-ci se compose d'hexane et d'acétone dans les proportions 50:50. Le volume de solvant consommé est de 150 ml. Des grains "boiling ships" sont introduits avec les solvants pour obtenir une température homogène comprise entre 65 et 72°C dans toute la phase organique.

2g de biote marin broyé sont déposés dans une cartouche en cellulose Wattman (préalablement nettoyée lors d'une extraction à blanc avec de l'hexane pendant 4 heures (figure voir annexe). Chaque série d'extraction est complétée avec un blanc de procédure contenant du  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

L'étape d'extraction reste le point critique dans une analyse quantitative, car quelle que soit la technique d'extraction utilisée, le rendement n'atteint pas 100 % (Dahnoun, 2013).



**Figure III.11** : photo d'un extracteur Soxhlet.

### III.8.4. Concentration des extraits

Cette étape permet d'éliminer le solvant d'extraction, ce qui va concentrer les hydrocarbures aromatiques polycycliques.

Environ 150 ml de l'extrait récupéré est concentré à un volume de 10ml à l'évaporateur rotatif (Température : 40°C, Pression : 1,5 bar) (Figure voir annexe).

### III.8.5. Purification et fractionnement

Cette opération est identique à celle décrite pour l'eau de mer. La phase de purification et fractionnement est réalisée par chromatographie liquide sur colonne ouverte remplie de

deux adsorbants : gel de silice et l'alumine, afin de se débarrasser des composés organiques polaires tels que les lipides, les acides gras ainsi que toute impureté (figure 12), qui peuvent causer des interférences au moment des analyses avec les hydrocarbures. Deux lits successifs de gel de silice et d'alumine permettent d'obtenir une fraction aromatique après élution avec 20 ml d'un mélange hexane/dichlorométhane (70 :30).



**Figure III.12** : purification et fractionnement par chromatographie sur colonne ouverte.

### III.8.6. Concentration sous-jet d'azote

Cette étape permet d'évaporer le solvant d'extraction, ce qui va augmenter la concentration des HAPs. L'extrait est concentré jusqu'à un volume de 2 ml sous jet d'azote (Figure III.13).



**Figure III.13** : Concentration sous-jet d'azote.

### III.9. Technique d'analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques

Parmi les différentes techniques l'analyse, le choix s'est porté sur la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. Cette dernière offre des résultats particulièrement satisfaisants du point de vue quantitatif et qualitatif.

#### III.9.1. Principe de la GC-MS

La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) est une méthode séparative qui permet l'identification et le dosage des différents composés d'un échantillon (Abou Mustapha, 2015).

Dans un premier temps, l'échantillon est injecté dans l'appareil (1 $\mu$ l). En premier lieu une évaporation par chauffage est effectuée. Par la suite les molécules gazeuses sont transportées par un gaz vecteur constituant la phase mobile.

Une séparation est effectuée selon leurs propriétés chimiques et leur affinité avec la phase stationnaire, constituée à partir d'une colonne tapissée d'un film. La sortie des composés organiques est en fonction de leur temps de rétention (Bouchonnet, 2009).

Dans un deuxième temps, les composés séparés arrivent dans le spectromètre de masse pour détection. Ils sont ionisés par un mécanisme d'impact électronique. Les molécules sont fractionnées, ensuite soumises à collision.

Les différents fragments sont analysés en déterminant leur masse propre. Ceci permet l'obtention d'un spectre de masse caractéristique, véritable « empreinte génétique » de la molécule-mère (Abou Mustapha, 2015).

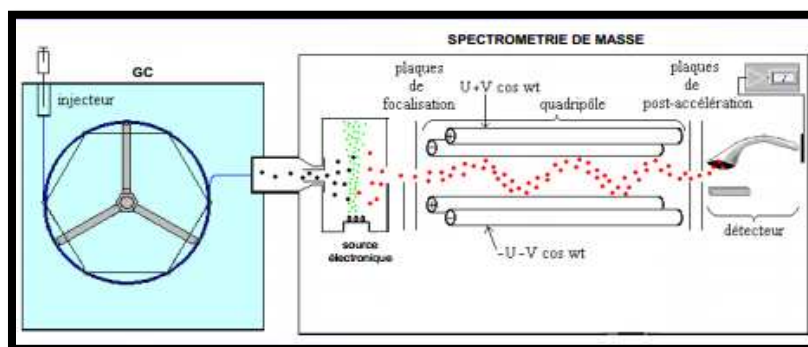


Figure III.14: schéma de montage d'un GC-MS (Dubois, 2006).



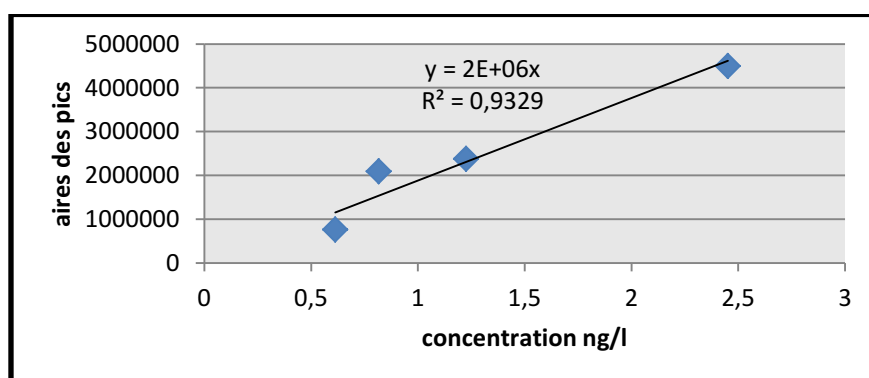
**Figure III.15:** La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) (CRAPC).

**Tableau III.4:** les références des différents compartiments de la GC-MS.

	GC	MS	Echantillonneur
Références	HP Hewlett 6890 series GC system.	HP Hewlett 5973 mass selective detector.	HP 7683 B.

### III.9.2. Gamme d'étalonnage

Pour tracer une gamme d'étalonnage, il est nécessaire de préparer des solutions filles à partir de la solution mère (étalon externe STD0). Les solutions filles STD10 ; STD20 ; STD30 ; STD40 sont diluées dans l'hexane avec un facteur de dilution 1/10 ; 1/20 ; 1/30 ; 1/40 respectivement. La courbe d'étalonnage exprimant l'aire du pic en fonction de la concentration est tracée.



**Figure III.16:** courbe d'étalonnage

### III.9.3. La détection des HAPs

La détection a été réalisée d'abord en mode Scan, qui permet d'avoir le temps de rétention (tableau III 5) et le spectre de masse de chaque composé. Ainsi, on dispose de "l'empreinte digitale" de tous les hydrocarbures. Puis, le mode SIM est utilisé pour diminuer les produits interférents et augmenter la limite de détection.

**Tableau III.5:** Composant de l'étalon externe et leurs temps de rétention.

Analyte	Concentration (ng/μl)	Temps de rétention (min)
Naphtalène	70	8,989
Acénaphthylène	34,05	12,781
Acénaphène	24,52	13,203
Fluorène	38	14,453
Phénanthrène	1,82	17,110
Anthracène	33,34	17,250
Fluoranthène	1,65	22,55
Pyrène	30,35	23,76
Benzo a pyrène	0.01	39,378

### III.10. Calculs et expressions des concentrations

#### III.10.1. Calcul du poids corrigé des échantillons

L'extraction consiste à prendre un poids déterminé d'échantillon lyophilisés, ce dernier n'est pas à 100% juste, du fait qu'il y a l'effet d'humidité. La correction est faite par le calcul du taux d'humidité (AIEA, 2001), comme suit :

$$A (\%) = [(P_I - P_F) / P_I] * 100$$

Avec :

**A** : Taux d'humidité (%)

**P<sub>I</sub>**: poids initiale lyophilisé (g)

**P<sub>F</sub>** : poids finale après séchage à l'étuve pendant 24h, à 105°C (g)

Les poids secs corrigés sont obtenus comme suit :

$$PC = P - [(A/100) * P]$$

Avec :

**Pc** : poids de l'échantillon corrigé(g).

**P** : poids de l'échantillon pesé pour l'extraction.

**A** : Taux d'humidité(%).

### **III.10.2. Concentrations dans le biote**

La concentration finale est calculée comme suit :

$$[C]_f = ([C]_m - [C]_b) \times v/P$$

Avec :

**[C]<sub>f</sub>** : Concentration finale des hydrocarbures dans le biote sec (ng/g sec).

**[C]<sub>m</sub>** : Concentration des hydrocarbures mesuré par GC-MS (ng/l).

**[C]<sub>b</sub>** : Concentration du blanc correspondant (ng/l).

**v** : volume d'extrait (ml).

**P** : poids corrigé du biote analysé (g).

### **III.10.2. Concentrations dans l'eau**

La concentration finale est calculée comme suit :

$$[C]_f = ([C]_m \times v)/V$$

Avec :

**[C]<sub>f</sub>** : Concentration finale des hydrocarbures dans l'eau (nl/l).

**[C]<sub>m</sub>** : Concentration des hydrocarbures mesuré par GC-MS (nl/l).

**v** : volume d'extrait (ml).

**V** : volume de l'échantillon d'eau de mer extrait (l).

# RESULTATS

## IV. RESULTATS

## IV.1. Résultats des analyses physico-chimiques

Afin de déterminer la qualité du milieu côtier dans les stations retenues, une étude des paramètres physico-chimiques, des taux des matières en suspension et du taux de la matière organique, a été effectuée. Le récapitulatif de cette étude est donné dans le tableau suivant (Tableau IV.1) :

**Tableau IV.1** : Le récapitulatif les résultats des analyses physico-chimiques.

Stations	T (°C)	S (PSU)	O.D (mg/l)	pH	MES (mg/l)	M.O (%)
Port de Bouharoune	22.12	36.3	DM	8.04	282,7	91,94
Port de Khemisti	22.33	36.6	DM	8.09	266,95	93.71
Zeralda	21.62	36.4	DM	8.19	263,85	93,29
Port d'Alger	DM	DM	DM	DM	162,5	97,02
Bateau cassé	23.9	36.5	5.22	8.01	257,75	93,47
Figuier	23.2	36.6	15.38	8.3	253,7	93,54

Avec : **minimum**, **maximum**. DM : Donnée manquante.

T, température ; S, salinité ; pH, potentiel d'hydrogène; OD, oxygène dissous ; MES matière en suspension ; MO%, taux de la matière organique.

Les valeurs de la température observées sont comprises entre 21.62°C enregistrée au niveau de Zéralda et 23,9°C enregistrée au bateau cassé. Les fluctuations entre les stations sont mineures.

Les fluctuations de salinité entre les stations sont de l'ordre de 36.3 à 36.6 PSU. La teneur minimale a été enregistrée au niveau du port de Bouharoune, alors que les fortes teneurs ont été retrouvées au niveau de Khemisti et Figuier.

Le pH recensé sur l'ensemble des stations présente des valeurs relativement homogènes, avec un maximum de 8,3 au niveau de Figuier et un minimum de 8,01 au bateau cassé.

Concernant l'oxygène dissous, l'analyse s'est limitée seulement à la station de bateau cassé et de Figuier, avec des teneurs de 5,22 mg/l et 15.38 mg/l, respectivement.

Toutes les stations d'étude ont fait objet d'une mesure des teneurs des matières en suspension. Les résultats obtenus montrent une variation allant d'un maximum de 282,7 mg/l, obtenu au port de Bouharoun, et un minimum de 162,5 mg/l recensé au port d'Alger (Figure IV.1).

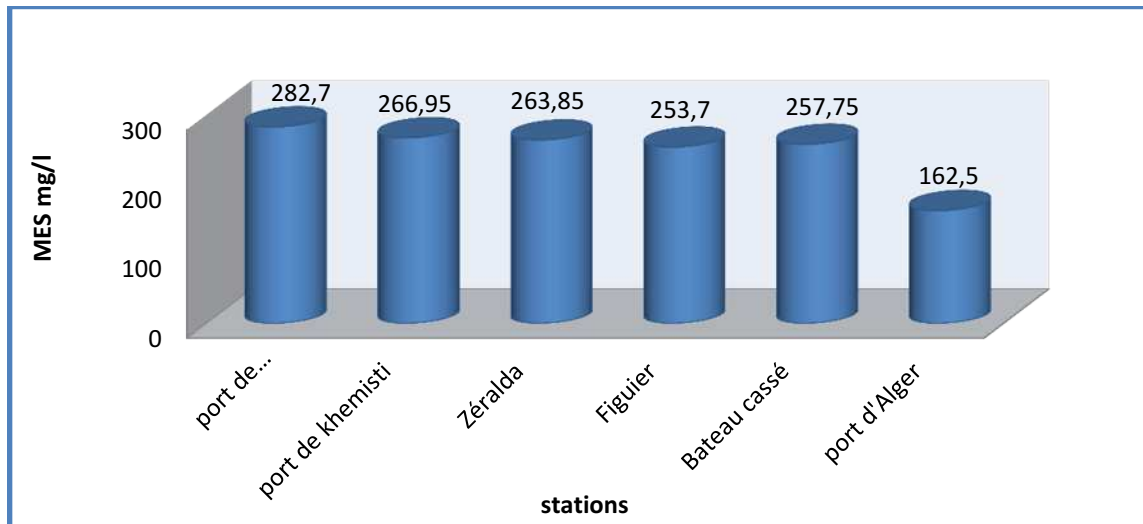


Figure IV.1 : Variation des teneurs des matières en suspension dans l'eau de mer.

Ces matières en suspension contiennent de la matière organique avec des taux élevés dépassant les 91,94 % (Figure IV.2).

Le port d'Alger se distingue par le taux le plus élevé estimé à 97,02 %. Alors que le taux le moins important est constaté au port de Bouharoune, sachant que ce dernier a présenté le maximum des matières en suspension.

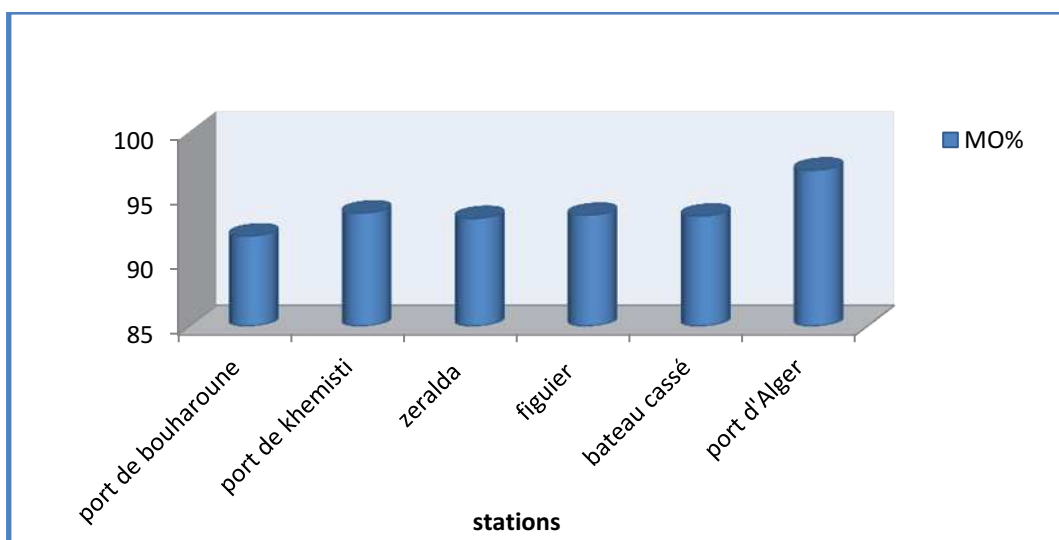


Figure IV.2 : Variation du taux de la matière organique dans l'eau de mer.

IV.2. Identification des matrices biologiques

IV.2.1. Identification des patelles

L'identification des patelles récoltées est faite sur la base des caractères morphologiques (Rupert et al., 2000). L'étude qualitative des patelles récoltées a permis l'identification de 5 espèces appartenant au genre *Patella*. Il s'agit de : *P. lusitanica* 58%, *P. caerulea* 16%, *P. tarentina* et *P. vulgata* avec 12% et *P.safiana* 2%. (Figure IV.3).

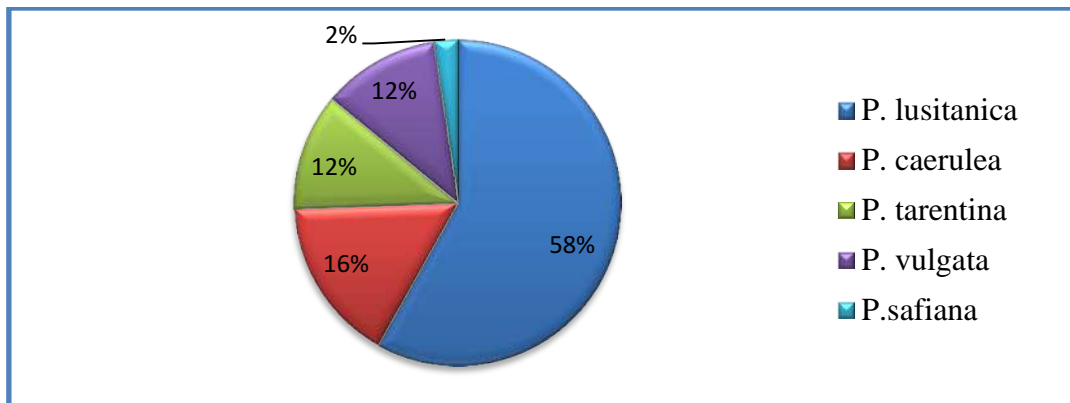


Figure IV.3 : Résultats d'identification des patelles.

La répartition de ces espèces est hétérogène au sein des différentes stations. On remarque que *P.lusitanica* est présente dans tous les sites d'études, alors que *P.caerulea* se trouve qu'à Figuier, Bateau cassé et Zéralda. Alors que *P.vulgata* et *P. tarentina* sont présents au port de Bouharoun et à Zéralda. Par contre *P.safiana* existe seulement au niveau de Zéralda. (figure IV.4).

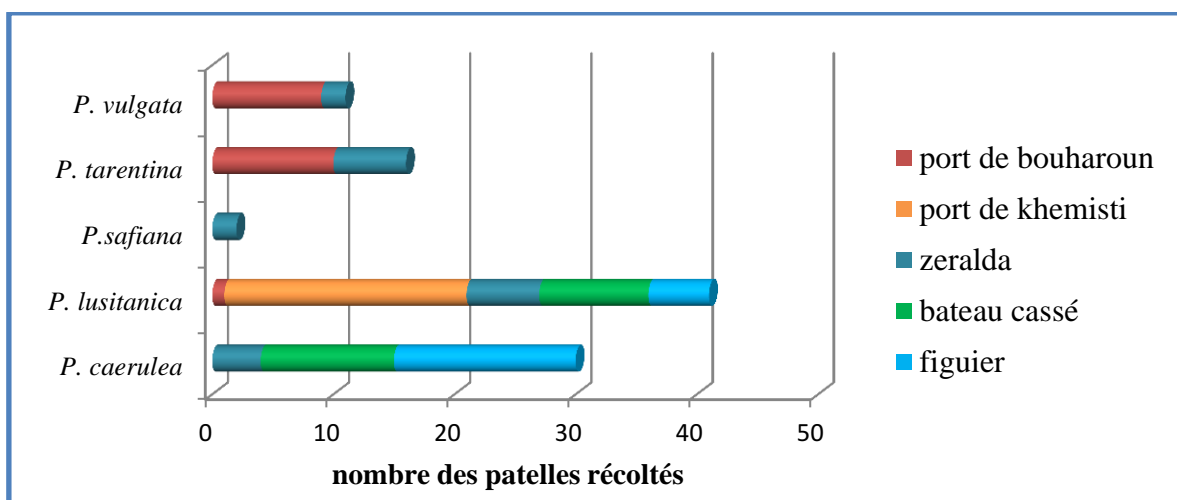


Figure IV.4 : Provenance de patelles récoltées.

IV.2.2. Identification des moules

IL est à noter que les moules ont été présents et récoltés seulement dans quatre stations : port d’Alger, Bateau cassé, Zeralda et Figuier. Les moules étudiés appartiennent à deux genres *Perna* et *Mytilus*, plus exactement aux espèces *Perna perna* et *Mytilus galloprovincialis*.

*Perna perna* prédominant au niveau de trois stations à savoir : Figuier, Bateau cassé et Zeralda. Alors que *Mytilus galloprovincialis* caractérise tous les spécimens échantillonnés du port d’Alger et un nombre très réduit à Zeralda. (Figure IV.5).

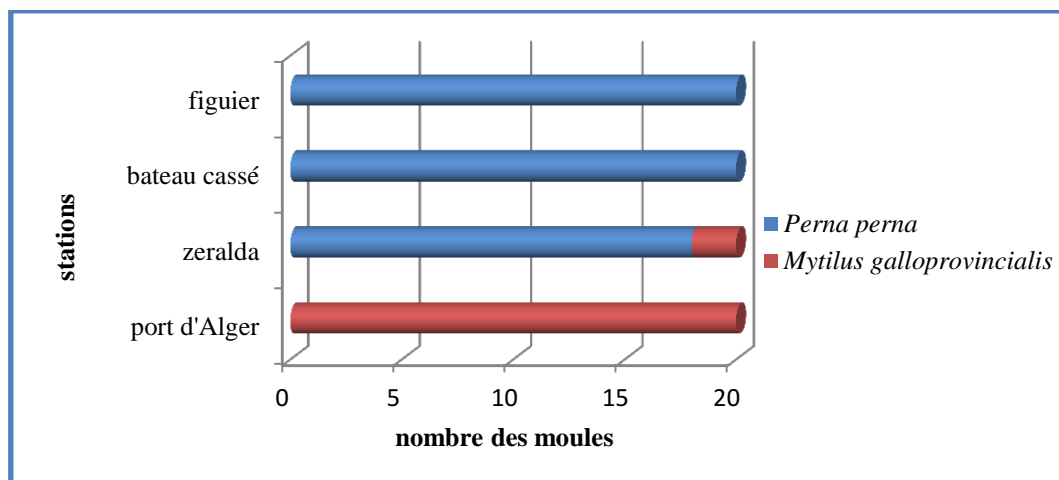


Figure IV.5 : Résultats de l’identification des moules et leurs provenances.

IV.2.3. Indice de condition (IC)

Le suivi des variations de l’indice de condition a permis d’évaluer l’état de santé des patelles et des moules provenant des sites d’étude. Le récapitulatif des résultats obtenus est donné dans le tableau suivant :

Tableau IV.2: Résultats de l'indice de condition des patelles et des moules.

Station	Indice de condition (IC)	
	patelle	Moule
Port de Bouharoune	0.21	-
Port de Khemisti	0.24	-
Zéralda	0.22	0.11
Port d’Alger	-	0.18
Bateau cassé	0.20	0.10
Figuier	0.23	0.087

Les résultats obtenus lors d'estimation de l'indice de condition (IC) pour les patelles, varient entre 0,20 et 0,24.

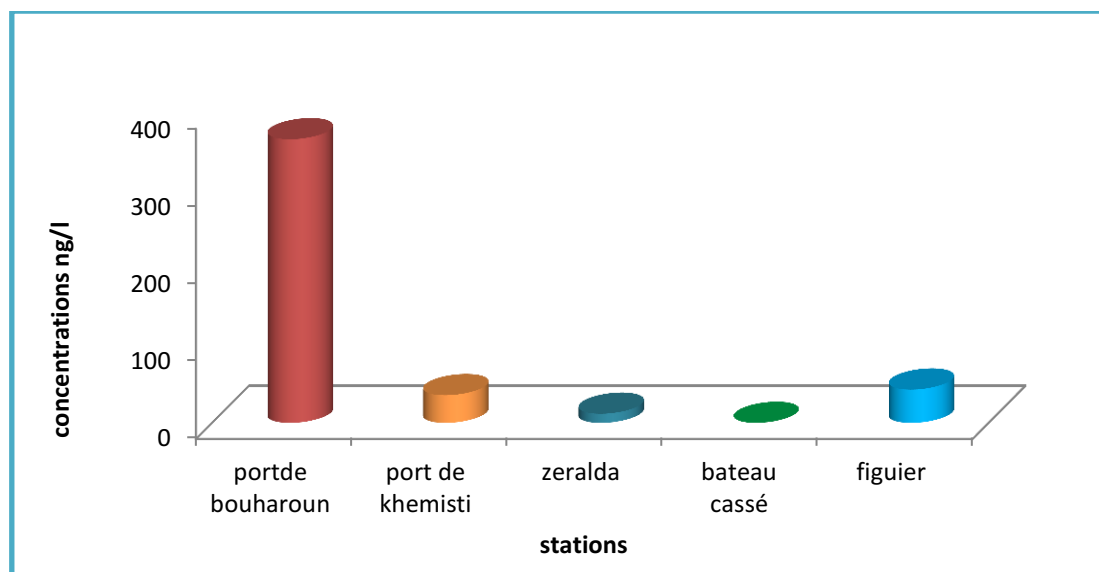
Au niveau des stations d'échantillonnage des moules, l'indice de condition est compris entre 0,087 et 0,18.

### IV.3. Résultats d'analyse des Hydrocarbures aromatiques polycycliques

#### IV.3.1. Dans l'eau de mer

Les analyses des hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux dans l'eau de mer ont été réalisées sur cinq sites d'étude : port de Bouharoune, port de Khemisti, Zeralda, Bateau cassé et Figuier.

Une absence des hydrocarbures aromatiques polycycliques est constatée au niveau du Bateau cassé. Les autres stations ont présentés des teneurs variables en hydrocarbures aromatiques polycycliques. La concentration la plus élevée est observée au port de Bouharoun avec 365.9 ng/l. alors que les teneurs faibles ont été observées à Figuier, port de Khemisti et Zéralda avec 42.98 ng/l, 35.76 ng/l et 11.79 ng/l, respectivement.



**Figure.IV.6 :** Hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux dans l'eau.

Les 09 composés recherchés (analytes), selon leur apparition, sont: le naphtalène, l'acénaphène, l'acénaphthylène, le fluorène, le phénanthrène, l'anthracène, le fluoranthène, le pyrène, le benzo(a)pyrène. Ces derniers ont présenté une répartition hétérogène dans les sites d'étude (figure IV.7).

Parmi les analytes recherchés au port de Bouharoun, le fluorène s’est distingué avec une concentration élevée de 300 nl/l. Alors que l’antracène et le naphthalène sont présents avec des concentrations moins importantes, 36.48 nl/l et 33.36 nl/l, respectivement. Le quatrième élément détecté est le benzo a pyrène, avec une concentration presque nulle (0.12nl/l).

Au port de Khemisti, quatre analytes ont été obtenus : naphthalène, phénanthrène, anthracène et benzo a pyrène, avec des concentrations de 26.52 nl/l, 4.91 nl/l, 4.27 nl/l et 0.05 nl/l, respectivement.

Le même nombre d’analytes est noté au niveau de la station de Figuier, mais avec un ordre et des concentrations différentes qui sont de 29.53 nl/l, 8.88 nl/l, 4.56 nl/l et 0.002 nl/l pour naphthalène, anthracène, phénanthrène et benzo a pyrène, respectivement.

A Zeralda, uniquement deux analytes ont été obtenus à savoir le naphthalène, avec 11.34 nl/l et le benzo a pyrène avec 0.45 nl/l. Aucune détection, des 9 analytes n’a été constatée à la station de Bateau cassé.

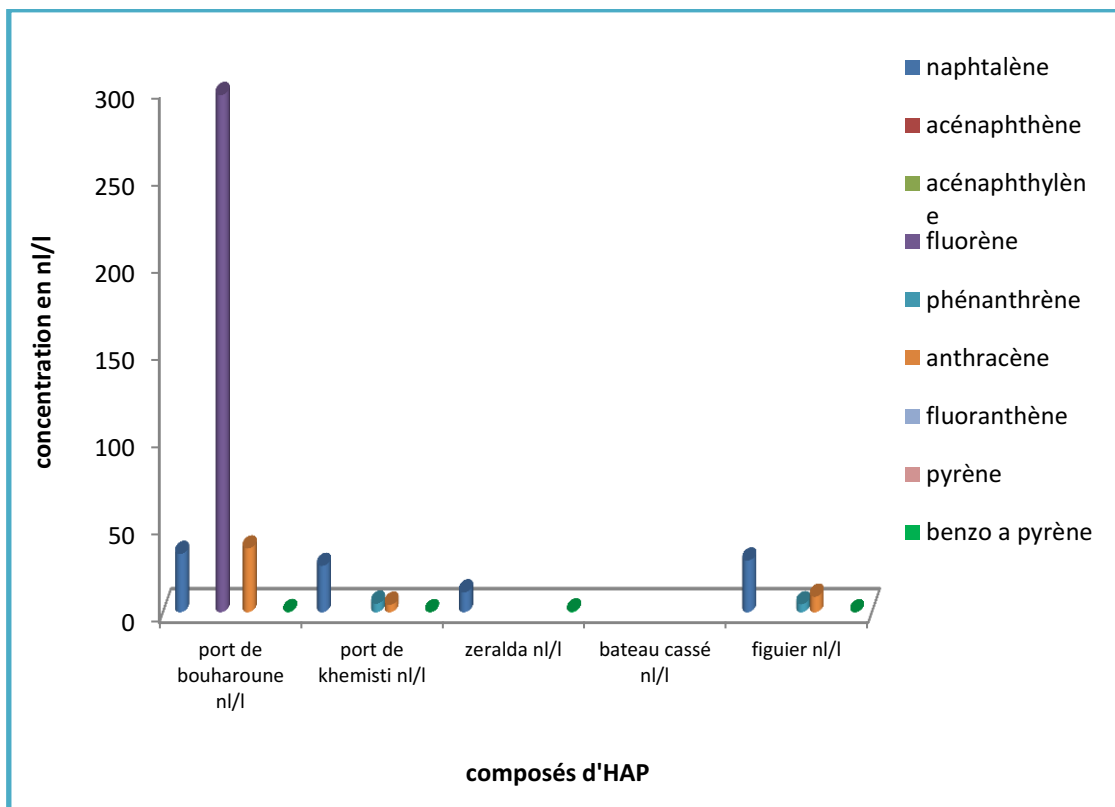
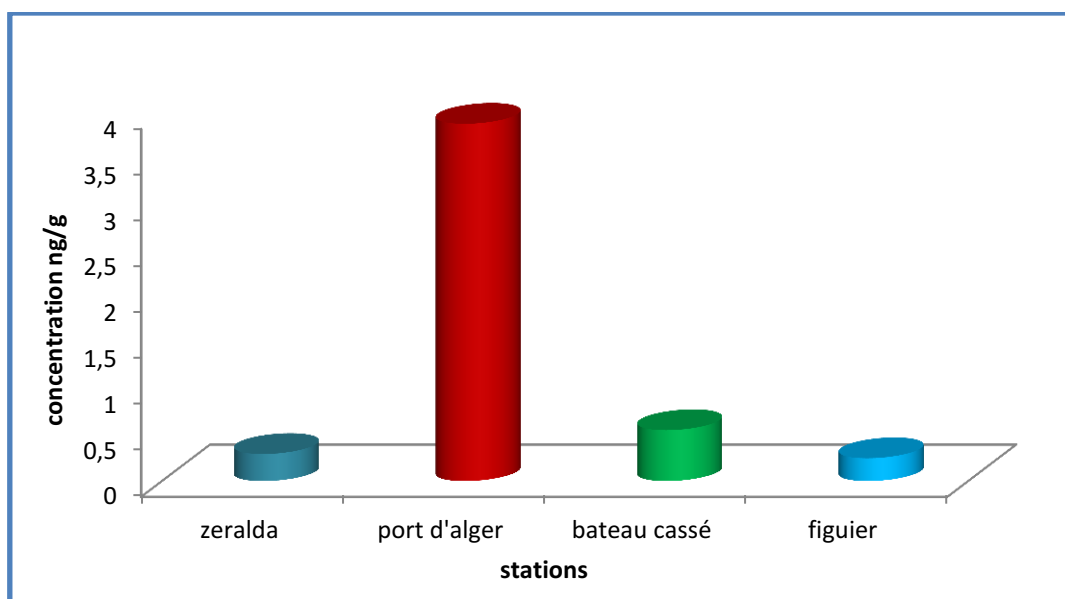


Figure.IV.7 : les analytes présents dans l’eau de mer.

### IV.3.2. Chez les moules

Selon la présence et la disponibilité des moules, seulement quatre stations ont fait objet d'analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques : Zéralda, port d'Alger, Bateau cassé et Figuier.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux accumulés par les moules sont représentés dans la figure IV.8. Ils montrent des fluctuations importantes avec des teneurs variant entre 3.88 et 0.24 ng/g. Les teneurs minimales notées sont : 0.55, 0.29 et 0.24 ng/g, obtenues au niveau des stations : Bateau cassé, Zéralda et Figuier, respectivement. Alors que la forte teneur a été observée au niveau du port d'Alger, avec 3.88 ng/g .



**Figure IV.8:** hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux dans les moules.

Au niveau du port d'Alger, on a obtenu tous les 09 hydrocarbures aromatiques polycycliques avec des teneurs importantes en fluorène 1.77 ng/g et anthracène 1.02 ng/g, et des doses significatives 0.42, 0.31, 0.16, 0.14 ng/g en naphtalène, pyrène, phénanthrène et en acénaphthylène respectivement. Les autres analytes ont des concentrations inférieures à 0.05 ng/g.

Alors qu'on remarque au niveau du Bateau cassé que tous les analytes sont présents sauf l'acénaphthylène et le pyrène. On a noté la présence de naphtalène, fulorène et anthracène avec des concentrations de l'ordre de 0.25, 0.18, 0.12 ng/g. Les autres analytes ont des teneurs très réduites qui ne dépassent pas les 0.0031 ng/g.

A Zéralda, on a obtenu que deux analytes l’anthracène 0.28 ng/g et le naphtalène 0.012 ng/g. Par contre le naphtalène est le seul analyte qui existe à Figuier avec une concentration de 0.24 ng/g

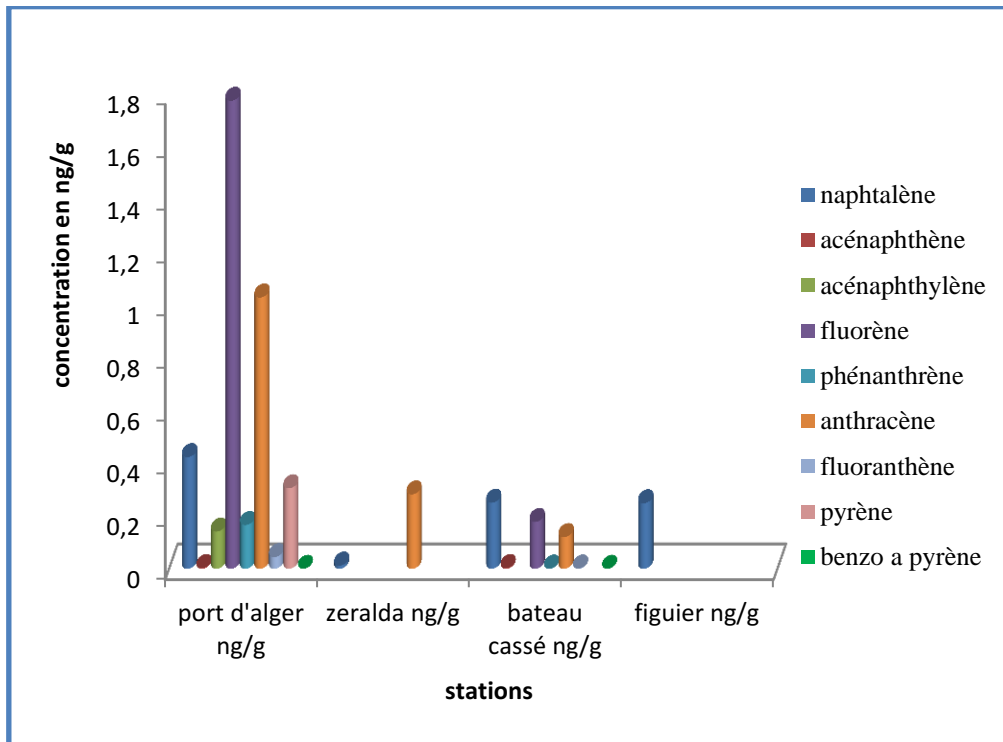


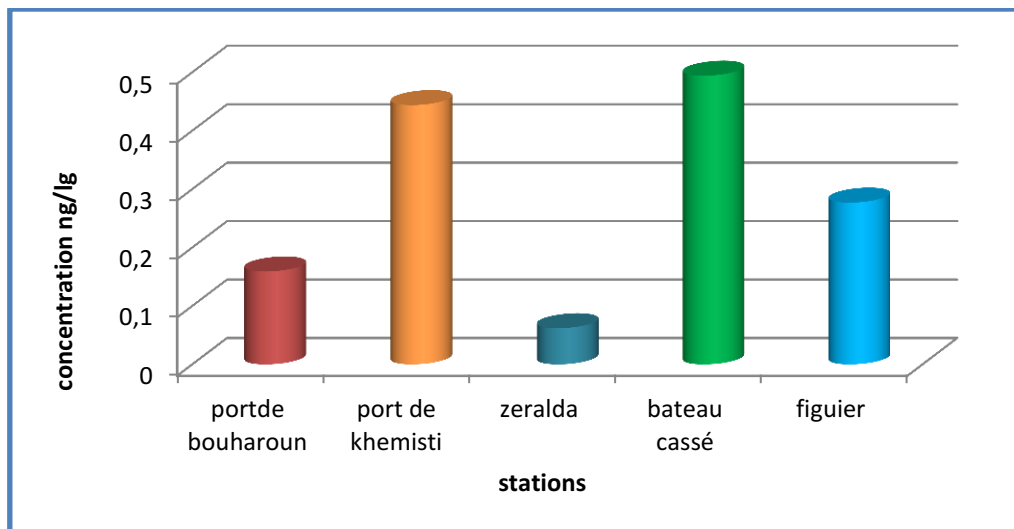
Figure.IV.9 : les analytes présentés dans la matrice biologiques (moules).

### IV.3.3. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les patelles

Les résultats obtenus, dans les 5 sites (Port de Bouharoune, port de khemisti, Zeralda, Bateau cassé, Figuier) pour les 2 premières sorties, sont représentées par les figures IV.10 et IV.11.

Concernant les hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux dans les patelles, la figure met en évidence la présence de ces derniers dans toutes les stations avec une concentration variant entre 0.49 et 0.06 ng/g.

On remarque que les patelles du Bateau cassé et du port de Khemisti accumulent 0.49-0.44 ng/g respectivement. Avec des valeurs minimales enregistrées à Figuier, port de Bouharoun et Zeralda de l’ordre de 0.28ng/g, 0.16ng/g et 0.06 ng/g respectivement. (Figure IV.10).



**Figure IV.10:** hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux dans les patelles.

En ce qui concerne les résultats des analytes obtenus pour les patelles, le Bateau cassé présente une concentration très importante en naphtalène qui dépasse 0.35 ng/g et une autre significative qui représente le phénanthrène 0.091 ng/g. On a noté aussi la présence de l'anthracène, le fluoranthène et le benzo a pyrène avec des valeurs minimales 0.01 ng/g, 0.004 ng/g,  $2 \cdot 10^{-6}$  ng/g respectivement.

Au port de Bouharoun, trois analytes ont été noté à savoir l'anthracène, le naphtalène et l'acénaphthylène avec 0.095 ng/g, 0.064 ng/g et  $2.6 \cdot 10^{-6}$  ng/g.

En comparant avec le port de Bouharoun, le port de Khemisti relève la présence de tous les analytes sauf l'acénaphthylène. On a noté la prédominance du naphtalène, l'anthracène, le fluorène, le phénanthrène et le pyrène avec les concentrations suivantes : 0.21, 0.08, 0.065, 0.039, 0.034 ng/g respectivement. Les autres analytes ont des concentrations très réduites.

A Figuier, on a constaté la présence de quatre analytes avec des concentrations différentes 0.178, 0.086, 0.013 et  $6.6 \cdot 10^{-6}$  ng/g pour l'anthracène, le naphtalène, fluoranthène et le benzo a pyrène respectivement.

A Zeralda, uniquement le naphtalène a été présent avec 0.062 ng/g

On a constaté aussi que les teneurs en hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux trouvées en moules sont beaucoup plus importantes que celles trouvées en patelles (figure IV.12).

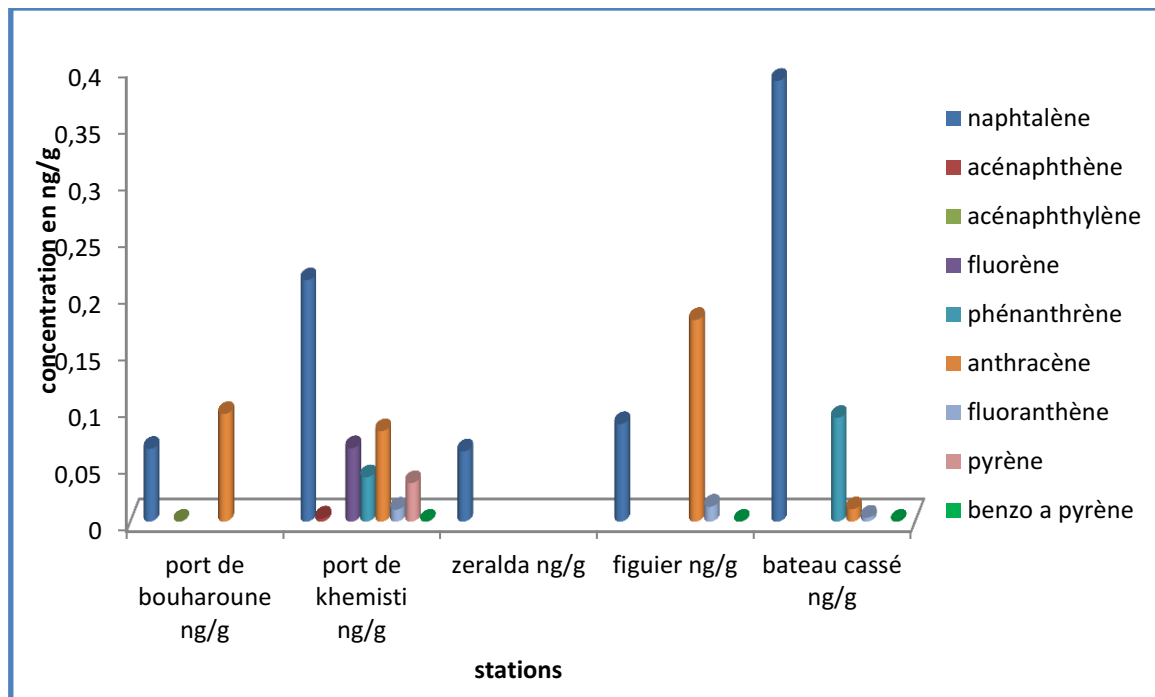


Figure IV.11: les analytes présentés dans la matrice biologiques (patelles).

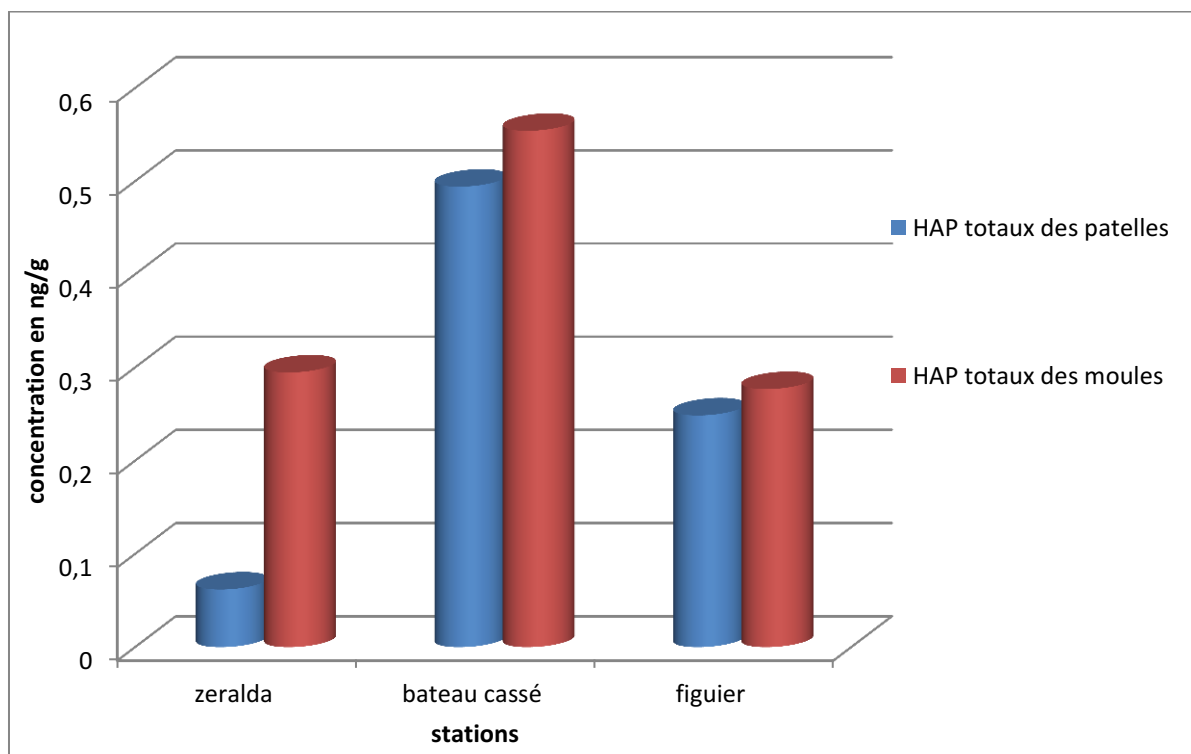


Figure IV.12 : comparaison entre les HAPs totaux des moules et des patelles.

# DISCUSSION

Notre étude qui a pour objectif l'évaluation du taux des hydrocarbures aromatiques polycycliques en utilisant des bioindicateurs susceptibles d'accumuler ces derniers, peut être considérée parmi les premières de ce genre sur l'environnement marin côtier, en Algérie.

En effet, la majorité d'études de pollution organiques de l'environnement aquatique se limitent à l'évaluation du taux des hydrocarbures aromatiques polycycliques soit dans l'eau de mer soit dans le sédiment.

Peu de données sur le taux d'accumulation des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les mollusques, notamment les moules, et les patelles dans l'environnement marin côtier sont disponibles. Tandis que celui-ci apparaît de plus en plus comme une réalité qui doit être prise en compte dans les stratégies de surveillance du milieu marin et de santé.

Dans l'ensemble, les valeurs des températures mesurées reflètent une période saisonnière (été) et elles sont influencées par celles de l'air, et sont en relation avec les conditions météorologiques et hydrodynamiques, Il est à noter aussi la part des apports d'eaux continentales par les oueds (**Rodier et al., 2009 ; Dehane, 2012**).

En ce qui concerne la salinité, elle correspond aux remontées des courants d'origine atlantique ( $36‰ < S‰ < 38‰$ ) qui font partie des 3 types de masse d'eaux en Méditerranée (**Houma, 2009**), ou peut être expliqué par la période de pluviosité qui a précédé les sorties sur terrain donc, les apports en eau douce par les cours d'eau et les oueds ont diminués la salinité (**Foussard et Etcheber, 2011 ; Boughrira, 2012**).

Les fortes salinités peuvent constituer une barrière naturelle pour la biodégradation du pétrole brute (*in* **Boughrira, 2012**).

Le *pH* ne présente pas des variations significatives dans les secteurs marins qui présentent toujours des valeurs autour de 8,2 dénotant l'effet tampon de l'eau de mer (**Grimes et al., 2000**). Cependant les plus faibles valeurs observées au Bateau cassé, port de Bouharoune et port de Khemisti, sont dues aux rejets d'eaux usées et à une acidification du milieu provoquée par le processus de la dégradation de la matière organique (**Bachouche, 2010**).

Ce paramètre chimique permet de caractériser l'acidité ou la basicité du milieu (**Rodier et al., 2009**), la diminution du *pH* est en corrélation avec le taux de la matière organique présente au niveau de ces stations. En effet, la dégradation de la matière organique va enrichir le milieu en proton, donc diminution du *pH* (**Aminot et Kérouel, 2004**).

La multiplicité mais également la variabilité intervenant (photosynthèse, échange air-mer, mélange des masses d'eaux, minéralisation de matière organique) sont sans aucun doute la cause des fluctuations de concentrations en oxygène dissous (**Grimes, 2000**).

Le brassage d'eau du large avec celle de Figulier explique leur bonne oxygénation (**Faurie et al., 2012**). Alors que, la faible teneur en oxygène dissous au bateau cassé peut être expliquée par les apports en eaux polluées, conduisant à la dominance du phénomène de minéralisation de la matière organique (**Harid, 2014**).

Les résultats d'analyses du taux des matières en suspension ont montrés que la teneur minimale de ces derniers au niveau de la station du port d'Alger est due à la période de prélèvement (14/08/2016) où les eaux du bassin l'Amirauté sont très calmes.

Pour le maximum des matières en suspension remarqué au niveau du port de Bouharoune, ceci est dû aussi à la période de prélèvement où elle est marquée par une agitation. Donc, il y a une remise en suspension des particules fines et du sédiment et en plus l'influence des rejets domestiques des eaux usées (**Bachouche, 2010 ; Boughrira, 2012**).

Le taux élevé des matières organiques surtout au niveau du port d'Alger peuvent être d'origine anthropique et provenir des rejets directs d'effluents, domestiques ou industriels, bruts ou traités, (**Gourlay, 2004**) et c'est le cas des autres stations, ou indirect, par la dégradation des débris de poissons issue du nettoyage des petites embarcations du port du pêche qui se situe juste à côté du bassin l'Amirauté (**Tuina, 2015**).

A figulier, le taux de la matière organique est d'origine naturelle. Elle est produite dans l'écosystème aquatique par l'activité algale, bactérienne et de l'ensemble de la chaîne trophique (**Gourlay, 2004**).

L'identification des patelles, récoltées pour cette étude ; a permis de montrer une dominance de *P. lusitanica*. **Grimes et al. (2004)** précisent que cette espèce s'installe surtout dans le médiolittoral inférieur, c'est à ce niveau qu'elle est abondante. Alors que *P. caerulea*, résistant à la pollution, colonise la partie inférieure de la zone intertidale (**Davies, 1969**).

Le taux faible de *P. safiana* est en concordance avec l'observation de **Templado et al. (2004)**, qui rapporte que cette dernière est en voie de disparition dans la Méditerranée occidentale car c'est une espèce qui est également sensible aux problèmes de pollution.

Il est intéressant de signaler l'absence de *Patella ferruginea* dans nos échantillons, malgré que ce gastéropode prosobranch soit signalé comme une espèce endémique en Méditerranée occidentale (**Laborel-Deguen et Laborel, 1990**).

La moule *Perna perna* prédomine les zones caractérisées par une température relativement élevée (**Khaldoun, 2009**). Par contre, *Mytilus galloprovincialis* se trouve souvent dans les eaux éclairées et battues où l'hydrodynamisme est important (**Didierlaurent et Müller, 2014**).

Les résultats de l'indice de condition ont permis de constater que les échantillons des patelles sont caractérisés par une condition biologique satisfaisante. Ce qui signifie que les coquilles sont bien remplis (**Nakhlé, 2003**).

les résultats de l'indice de condition concernant les moules sont comparables aux valeurs observées dans le bassin méditerranéen occidental qui sont comprises dans un intervalle de 0,06 à 0,22 (**Benedicto et al., 2011**). La variation de remplissage, le poids de la chaire, est due à plusieurs paramètres dont l'état de reproduction, de nutrition et les conditions du milieu (**Rouane-Hacene, 2013**).

La disponibilité de nourriture fait augmenter les valeurs de l'indice de condition, alors que, les faibles valeurs impliquent une mobilisation des réserves énergétiques pour le processus de détoxification, donc il y aura une perte de poids (**Rouane-Hacene, 2013**).

Les analyses des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans la matrice eau ont montré qu'ils sont présents avec des concentrations moyennes vu que les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont très peu solubles dans l'eau; car ils sont facilement adsorbés. Ces substances sont stables (hydrolyse négligeable) mais leur biodégradabilité varie fortement selon les conditions du milieu (**Dahnoun, 2013**).

Les concentrations des hydrocarbures aromatiques polycycliques totaux montrent une hétérogénéité entre les stations. Ces variations sont a priori, dues à l'intensité du trafic maritime au voisinage des deux ports (Bouharoune et Khemisti) et au mouillage permanent et prolongé des navires. (**Boughrira, 2012**).

Pour les autres stations (Figuier et Zéralda), les origines principales de cette pollution par les hydrocarbures polyaromatiques sont biogéniques, produits par les organismes (**Vinget, 2014**), pyrolytiques et pétrogéniques, où l'influence des sources anthropiques est importante.

Mais la source principale de l'enrichissement du milieu marin en hydrocarbures polyaromatiques est encore liée à la combustion partielle de la matière organique. Les hydrocarbures polyaromatiques néoformés s'incorporent à l'eau de mer à travers les processus fluviaux et éoliens. (Koroghli, 2010)

La volatilité élevée des hydrocarbures polyaromatiques est la cause principale de la valeur 0 qu'on a obtenus au Bateau cassé et elle ne reflète pas l'état du milieu (Gourlay, 2004 ; Ineri, 2005). Cette valeur est obtenue car l'échantillon est évaporé avant de passer à l'analyse.

Les concentrations des hydrocarbures polyaromatiques de l'eau de mer obtenus dans cette étude sont très faibles comparées à celles des autres études (Tableau V.1.). Ceci pourrait être dû à la différence des stations étudiées et des périodes d'échantillonnages, ou encore les mouvements turbulents qui peuvent apporter du matériel sédimentaire en suspension qui adhère aux particules de pétrole provoquant le coulage de la masse pétrole-sédiment. La sédimentation des polyaromatiques est favorisée par l'élévation de la densité de ces derniers (Koroghli, 2010).

**Tableau V.1.** : Comparaison entre les concentrations des HAPs pour différentes années.

Zone d'étude	Concentration eau (ng/l)	Concentration dans sédiment (ng/g)	références
Baie de Bou-Ismaïl	65-22316	1582-76311	Bougrira (2012)
	660-5090		Boudjellaba, Dahene (2012)
	1580-5640	2600-26010	Iddir (2013)
	278-879		Djebara, Talbi (2014)
	410-930		Rezgui (2015)
	11-365		Présente étude

L'hétérogénéité des analytes et la différence en concentration sont en fonction des conditions du milieu ainsi que la nature des sources d'émission des hydrocarbures polyaromatiques dans l'environnement.

Vue la présence d'un chantier naval au port de Bouharoun où ils font la réparation des bateaux en utilisant des teintures dont le fluorène est utilisé comme un intermédiaire et le taux élevé de la matière en suspension signalé au niveau du port, elle paraît logique cette concentration élevée en fluorène avec les autres analytes, parce que le processus d'adsorption de fluorène, de l'anthracène et le naphthalène sur les matières en suspension est très important (**Ineris, 2005**).

Il faut signaler aussi que le port de Bouharoun est une zone relativement fermée où l'échange d'eau de mer est lent, ainsi il est difficile pour les polluants de diffuser afin d'influer sur l'autoépuration de l'eau salée (**Bachouche, 2010**).

La concentration d'anthracène et du benzo(a)pyrène est inférieure à celle de la norme de qualité environnementale 400 ng/l et 100 ng/l respectivement. (**Annexe 1 normes de qualité environnementale pour les eaux de surface**).

Le port de Khemisti est aussi pollué par les hydrocarbures aromatiques polycycliques mais avec une concentration moins importante que le port de Bouharoun. Ça pourrait être causé par le trafic maritime moins intense et à la conception générale du port de Khemisti, qui est relativement plus ouvert où l'échange avec le large est important.

Donc on a signalé la présence de trois analytes : le naphthalène, le phénanthrène et l'anthracène, qui sont très peu solubles dans l'eau et leur adsorption sur les matières en suspension est importante (**Ineris, 2005 ; Ineris, 2010**). Les concentrations sont faibles comparées à la norme de qualité environnementale.

La station de Zéralda est marquée par la présence d'un rejet permanent qui pourrait être l'une des causes principales de la présence des hydrocarbures aromatiques polycycliques qui sont d'origine pyrolytique, pétrogénique et aussi biogénique.

En comparant avec la norme de qualité environnementale où la concentration maximale admissible du benzo(a)pyrène est de 100 ng/l, la valeur enregistrée à Zéralda est vraiment minimale (**Annexe 1 normes de qualité environnementale pour les eaux de surface**).

Pour la station de Figuier, il y a une hétérogénéité peut être causée par une dégradation biologique. En effet, selon **Halmann (1996)**, les hydrocarbures polyaromatiques sont ingérés par les organismes marins pour subir par la suite des transformations partielles.

Le seston semble jouer un rôle important dans l'augmentation des teneurs en hydrocarbures dans les couches d'eau superficielles.

**Broman et al., (1988)** insistent sur l'importance de ce flux sestonique (apport de matière organique) en période estivale probablement dû à l'activité planctonique. Ce qui expliquerait, en partie, la teneur en hydrocarbures polyaromatiques dans cette station (*in Boughrira, 2012*). Ou bien les feux de forêt où la combustion est incomplète qui génère les hydrocarbures aromatiques polycycliques d'origine pyrolytiques (**Vignet, 2014**).

Parmi les analytes qu'on a trouvé dans cette station, la concentration du naphthalène est la plus remarquable dans Figuiers, parce que environ 89% du naphthalène provient des combustions incomplètes (pyrolyse). (**Ineris, 2015**). Alors que le benzo(a)pyrène est quant à lui faiblement présent dans la phase dissoute en raison de sa faible solubilité dans l'eau.

Les concentrations du phénanthrène et du l'anthracène sont largement supérieures à celle du benzo(a)pyrène et sont un peu similaires en raison de leurs solubilités proches (**Ndiaye, 2012**).

Les analyses des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les moules montrent des teneurs élevés au niveau du port d'Alger et Bateau cassé, et des teneurs faible à Zéralda et Figuiers.

La concentration moyenne en  $\Sigma$ HAP<sub>9</sub>, au port d'Alger peut être jusqu'à 7 fois supérieure à celle du Bateau cassé et 13 à 14 fois supérieur aux autres stations parce que le port d'Alger, en plein essor, reçoit beaucoup de navires qui y effectuent la maintenance de leur moteur.

En effet, la majeure partie de la pollution aux hydrocarbures proviendrait des nombreux dégazages et déballastages illégaux, aussi aux rejets industriels. (**Cassas, 2007 ; Sellali, 1996 ; Bachouche, 2010**).

Comparés à d'autres résultats, les taux obtenu dans cette étude sont minimales mais ils sont comparables avec les résultats du réseau RINBIO en milieu méditerranéen. On peut dire que les sites de la présente étude ne sont pas vraiment contaminés sauf le port d'Alger (**Casas, 2007 ; David, 2010 ; Yoshimine, 2012**).

Sachant que la durée entre la dernière étape de traitement, concentration sous jet d'azote, et l'analyse par chromatographie gazeuse couplé à la spectrométrie de masse est 6 mois. Où les hydrocarbures aromatiques polycycliques peuvent être dégradés ou évaporés (**Gourlay, 2004**).

**Tableau V.2:** Comparaison entre les concentrations des HAPs dans les moules pour différentes années.

Zones d'études et la $\sum$ HAP	Concentration dans les moules ng/g	Références
Milieu méditerranéen $\sum$ HAP <sub>15</sub>	2-18	Réseau RINBIO 2000 in (Casas, 2007)
Milieu méditerranéen $\sum$ HAP <sub>15</sub>	3.7-12.49	(Casas, 2007)
Petites lagunes côtières françaises $\sum$ HAP <sub>5</sub>	>20 ND	(David, 2010)
Brésil $\sum$ HAP <sub>16</sub>	21.8-75.9	(Yoshimine, 2012)
L'ouest de l'Algérie $\sum$ HAP <sub>17</sub>	68.1- 2892.1	(Benali, 2016)
$\sum$ HAP <sub>9</sub>	0.24-3.88	Présente étude

Vue l'origine des différents analytes qu'on a trouvé dans les échantillons de moules, ils sont tous hydrophobes et très présent dans le sédiment et les matières en suspension. Ils peuvent alors être absorbés par l'organisme et deviennent alors biodisponibles (**Vignet, 2014**).

Cette biodisponibilité est marquée par la présence de tous les analytes dans la station du port d'Alger, mais avec une dominance du fluorène et l'anthracène, qui sont utilisés comme des intermédiaires dans la fabrication de teinture et dans divers procédés de fabrication, et peut être rejeté dans l'environnement (**Ineris, 2005 ; www. Eau- sein-normandie. Fr**).

Concernant les autres analytes, la source potentielle de leurs émissions dans l'environnement est multifactorielle car les hydrocarbures polyaromatiques une fois sont biodisponibles dans le milieu naturel, ils sont difficiles à évaluer (**Vignet, 2014**).

Le naphthalène est l'analyte quand trouve dans les deux stations Zéralda et Figuier. Sa présence pourrait être due principalement au chauffage domestique et à la sublimation du naphthalène utilisé comme répulsif des parasites (**Ineris, 2015**).

La physiologie de la moule pourrait intervenir sur les taux d'accumulation des hydrocarbures. Très peu d'études ont été menées sur l'influence de leurs caractéristiques physiologiques dans leur capacité d'accumulation de ces derniers (**Ruiz, 2011**). Par exemple les processus liés à la reproduction perturbent la croissance par une accumulation temporaire de réserves (**Casas, 2007**).

Les analyses des hydrocarbures polyaromatiques totaux chez les patelles montrent des valeurs élevées et similaires au Bateau cassé et au port de Khemisti, qui sont presque 2 à 3

fois plus supérieure que Figuier et le port de Bouharoun, et 7 fois supérieur que Zéralda en terme de concentration en  $\Sigma\text{HAP}_9$ .

Les analyses des tissus des patelles, révèle que *patella sp* accumule effectivement les hydrocarbures aromatiques polycycliques (**Batista, 2013**), par un processus de bioaccumulation qui dépend de l'importance de la contamination du milieu.

Les concentrations en hydrocarbures polyaromatiques obtenus chez les patelles, dans cette étude, sont nettement inférieur à celles obtenues antérieurement dans le monde (**Knutzen, 1982 ; Glegg, 1999 ; Bartolomé, 2011**). Cette différence peut être due à l'effet des facteurs biotiques et abiotiques.

**Tableau V.3:** Comparaison entre les concentrations des HAPs dans les patelles pour différentes années.

Zones d'études et la $\Sigma\text{HAP}$	Concentration dans les patelles ng/g	Références
Norvège $\Sigma\text{HAP}$	22-2153	(Knutzen, 1982)
Plymouth $\Sigma\text{HAP}_2$	0.06-8	(Glegg, 1999)
Côte Cantabrique $\Sigma\text{HAP}_5$	25-7300	(Bartolomé, 2011)
$\Sigma\text{HAP}_9$	0.061-0.49	Présente étude

L'accumulation des hydrocarbures aromatiques polycycliques par les patelles montre la présence des 9 analytes recherchés (**Bartolomé, 2011**).

Le port de Khemisti est plus contaminé par les hydrocarbures que le port de Bouharoun non seulement en  $\Sigma\text{HAP}_9$  mais aussi par la présence des 8 analytes. Cette augmentation peut être due à la présence des peintures antisalissure, qui sont utilisés pour protéger les embarcations, et aux déversements des eaux usées domestiques ainsi que des macro-déchets en plastiques (**Grimes, 2004 ; Bachouche, 2010 ; Ineris, 2015**).

A Figuier, la présence des 4 analytes peut être due au lessivage des terres agricoles qui utilisent des pesticides contenant les hydrocarbures polyaromatiques (**Dixit et al., 2015**) et les feux de forêts (**Ineris, 2015**).

A la fin, la norme qui existe en Algérie pour les mollusques même séparés de leur coquille, vivants, frais, réfrigérés, congelés, séchés, salés ou en saumure est 5 ng/g pour des teneurs

maximales de benzo(a)pyrène (ng /g de poids à l'état frais) (**Journal officiel N°25, 2011**). Dans la présente étude, tous les échantillons (moules et patelles) ne dépassent pas cette valeur.

La métabolisation des HAP permet une diminution des concentrations le long de la chaîne trophique, sauf chez les mollusques, qui sont peu aptes à les dégrader (**www. Eau- seine- normandie. Fr**).

La comparaison entre les deux matrices du biotes indique que les deux espèces fournissent les mêmes modèles spatiaux, qui pourraient être liés aux sources de contamination locales identifiées (**Nakhlé et al., 2006**).

Avec une légère différence qui peut être dû selon l'étude qui a été faite par **Benguedda-Raha (2012)**, au mode de nutrition des patelles qui sont des brouteurs herbivores. Alors que les moules sont des filtreurs (**Bouchard, 2004**), donc tous ce qui est acheminés dans l'eau de mer, soit nourriture ou contaminants, peut passer à l'intérieur de l'organisme.

CONCLUSION

## Conclusion

---

L'enjeu majeur auquel nous avons à faire face aujourd'hui est la protection et la préservation de l'environnement marin face à la pollution en utilisant des organismes, en particulier des mollusques, pour évaluer l'exposition de ces derniers aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (**Dahnoun, 2013**).

Dans ce travail, nous avons étudié la distribution des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques dans l'eau de mer et des échantillons des moules et des patelles récoltées dans les côtes de la région de la baie de Bou-Ismaïl, la baie d'Alger, la baie de Zemmouri.

Les méthodes chromatographiques de haute résolution utilisées sont efficaces pour la séparation des hydrocarbures polyaromatiques, avec différents modes de détection. La chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse permet d'analyser les composés à l'état de traces, surtout ceux qui ne sont pas fluorescents (**Abou Mustapha, 2015**).

Les résultats obtenus montrent que les moules et les patelles sont contaminées par les hydrocarbures, ce qui peut entraîner un problème de santé publique (**Ndiaye, 2012**). De plus, les ports concentrent les teneurs maximales du fait des activités qui y sont développées.

Les moules et les patelles récoltées au niveau du site de figuier, considéré comme zone de références où se trouve la station de conchyliculture peuvent constituer un danger pour la population consommatrice.

La patelle peut être utilisée pour obtenir des informations dans les sites où les moules ne sont pas trouvées. En outre, la contamination par les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans patella reflète effectivement les conditions du milieu auxquelles elles sont soumises. Cette espèce peut être utilisée pour surveiller la contamination par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (**Batista, 2013**).

En perspective à ce travail :

- ✓ Le développement de la conchyliculture en Algérie nécessite d'établir une norme pour tous les HAP afin de minimiser la toxicité.
- ✓ Faire un suivi à long terme de la qualité du milieu marin en utilisant les moules et les patelles comme bioindicateurs.
- ✓ De même que le concept d'une espèce unique pour la surveillance de l'environnement marin a été abandonné, une évaluation précise et globale de l'état santé de l'environnement marin requiert plusieurs techniques, s'adressant à différents espèces.

## Conclusion

---

- ✓ L'enjeu d'un tel système d'évaluation réside dans sa pérennité, la précocité et la sensibilité de l'information qu'il donne.

**REFERENCES**

**BIBLIOGRAPHIQUE**

## Références bibliographiques

---

### Références bibliographique

**ABOU MUSTAPHA, M. (2015).** Chromatographie en phase gazeuse couplé à une spectrométrie de masse GC/MS: rapport d'activité. Document non publié. Bou-Ismaïl : CRAPC.

**AMINOT, A., CHAUSSEPEID, M. (1983).** *Manuel des analyses chimiques en milieu marin.* Paris: CNEXO. 395 p.

**AMINOT, A., KEROUL, R. (2004).** *Hydrologie des écosystèmes : paramètres et analyses.* France: Ifremer. 336 p.

**APPL. (2015).** Agence de promotion et de protection du littoral Algérois : Rapport d'activité. Document non publié. Alger: APPL.

**BACHOUCHE, S. (2010).** *Les ports d'Alger et de Bouharoun : étude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage.* Thèse de magister. Aménagement. Alger : ENSSMAL, 182 p.

**BADO-NILLES, A. (2008).** *Effets de pollution par hydrocarbures sur les capacités de défense d'organismes marins.* Thèse de doctorat. Sciences pour l'environnement et le développement durable. France: Université de la Rochelle, 266 p.

**BAKKER, M.I., VORENHOUT, M., SIJM, D.T.H.M., et al. (1999).** Dry deposition of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in 3 plantago species. *Environmental toxicology and chemistry.* Vol. 18, 2289-2294 p.

**BANNI, M. (2007).** Assessment of heavy metal contamination using real-time PCR analysis of mussel metallothionein in mt10 and mt20 expression. *A validation along the Tunisian coast.* Vol. 2, n°4, 369-383 p.

**BARTOLOME, L., BUSTAMANTEB, M., NAVARRO P. et al. (2011).** The use of limpets as monitor of PAHs pollution in the Cantabrian coast. *Continental Shelf Research.* Vol. 31, 1818- 1826 p.

**BATISTA, D., TELLINI, k., NUDI, A. H., et al. (2013).** Marine sponges as bioindicators of oil and combustion derived PAH in coastal waters. *Marine Environmental Research.* Vol. 92, 234-243 p.

## Références bibliographiques

---

- BATTAZ, S. (2009).** *Etude comparative de la dégradation d'une terre polluée par les hydrocarbures lourds.* Thèse de magister. Pollution chimique et environnement. Skikda: Université 20 Aout 1955, 126 p.
- BAUMARD, P., BUDZINSKI, H., GARRIGUES, P., et al. (1998).** Concentration of PAHs in various marine organisms in relation to those in sediment and trophic level. *Marine pollution bulletin.* Vol. 36, 951-960 p.
- BELANGER, D. (2009).** *Utilization de la faune macrobentique comme bioindicateur de l'environnement marin côtier.* Essai présenté au département de biologie en vue de l'obtention du grade de maître en écologie internationale. Biologie. Canada: Université de sherbrooke, 74 p.
- BENALI, I. (2016).** Spatial distribution and biological effects of trace metals (Cu, Zn, Pb, Cd) and organic micropollutants (PCBs, PAHs) in mussels *Mytilus galloprovincialis* along the Algerian west coast. *Marine pollution bulletin, Elsevier.* Vol. 12, 8247 p.
- BENEDICTO, J (2011).** A large scale survey of trace metal levels in coastal waters of the Western Mediterranean basin using caged mussels (*Mytilus galloprovincialis*). *Nom de la revue.* Vol. 13, 1495-1505 p.
- BENGUEDDA-RAHAL, W (2012).** *Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême ouest algérien.* Thèse de doctorat. Ecologie et Environnement. Telemcen: Université de Telemcen, 117 p.
- BENINA, R. (2016).** *Biologie et exploitation de la Bogue Boops boops, dans la baie de Bou-Ismaïl.* Thèse de doctorat. Science de la mer et du littoral. Oran: Université d'Oran, 191 p.
- BENZAOU, M.Y. (2010).** *Mesure du stress sur la moule M.galloprovincialis de la baie de Kristel (Est Orannais).* Mémoire de magister. Biologie. Oran: université d'Oran, 87 p.
- BERNES, C (1998).** Persistent organic pollutants. Swedish *Environmental Protection Agency.* 152 p.
- BOUCHONNET, S. (2009).** La spectrométrie de masse en couplage avec la chromatographie en phase gazeuse : rapport d'activité. Document non publié. Paris: Tec & doc.

## Références bibliographiques

---

- BOUDOURESQUE, C.F. (2005).** *Excursion au Cap-Croisette (Marseille) : le milieu marin.* 12<sup>e</sup> éd. Marseille: GIS Posidonie publication. 48 p.
- BOUE, H., CHANTON, R. (1962).** *Traite de zoologie : les invertébrés.* Paris: G Doin et Cie. 723 p.
- BOUFASSA, L. (2015).** Plage: la pollution gagne du terrain : Rapport d'activité. Document non publié. Algérie : le journal de courrier.
- BOUGHRIRA, A. (2012).** *Modélisation spatiotemporelle des paramètres de la pollution organique dans la baie de Bousmail.* Thèse de magister. Gestion et surveillance de l'environnement marin et littoral. Alger : ENSSMAL, 147 p.
- BOUMAZA, F.Z. (2014).** *Évaluation de l'état de santé des eaux du golf de d'Annaba à travers un mollusque gastéropode *Patella caerulea* (L., 1758) : paramètres écologique et biochimiques.* Thèse de doctorat. Physio-toxicologie. Annaba : Université Badji Moukhtar, 194 p.
- BOUTIBA, M.I. (2004).** *Quid de l'environnement marin.* Oran: Dar El Gharb. 273 p.
- BOUTIBA, Z., TALEB, Z., ABI-AYAD, et al. (2005).** *Etat de pollution marine de la cote Oranaise.* Oran: Dar El Gharb. 69 p.
- BURNS, K.A., VILLENEUVE, J.P. (1982).** Dissolved and particulate hydrocarbons in water from spring sampling of the Varriver estuary. *Toxicological and Environmental Chemistry.* Vol. 5, 195-203 p.
- CAHEN, D. (2006).** Moule nature : Dossier didactique. Rapport d'activité. Document non publié. France : Muséum des sciences naturelles.
- CAMPANELLA, L. (2001).** Trace metals in seagrass algae and mollusc from an uncontaminated area in the Mediterranean. *Environmental pollution.* N°111, 117-126 p.
- CANESI, L (2011).** The organophosphate chlorpyrifos interferes with the responses to 17beta-Estradiol in the digestive gland of the marine mussel *Mytilus galloprovincialis*. *PLoS one.* Vol. 6, n°5.
- CASAS, S. (2007).** *Modélisation de la bioaccumulation des contaminants organiques (PCB, DDT, et HAP) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen.* Paris:

## Références bibliographiques

---

Ifremer. 241 p.

**CHIFFOLEAU, J-F. (2003).** Dosage de certains métaux traces (Cd,Co,Cu,Fe,Ni,Pb,Zn) dissous dans l'eau de mer par absorption atomique après extraction liquide-liquide : Rapport d'activité. Document non publié. Brest: Ifremer.

**COLOMBO, J., PELLETIER, E., BROCHU, C., et al. (1989).** Diagnostic du littoral ouest Algérois pour une gestion intégrée, the 5th international . *Environ.Sci.Tech.* Vol. 23, 888-894 p.

**COPAT, C.H. (2013).** Heavy metals concentration in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: Consumption advisories. *Food and chemical toxicology.* Vol. 53, 33-37 p.

**CORTE-REAL, H., HAWKINS, S.J., THORPE, J.P. (1996).** Population differentiation and taxonomic status of the exploited limpet *Patella candei* in the Micronesians islands (Azores, Madeira, Canaries). *Marine Biology.* Vol. 125, 141-152 p.

**CULIOLI, J.M. (2005).** L'actualité à la pointe-pointe de Cap Corse. *La patelle géante.* N°02, 02-09 p.

**DABY, D. (2006).** Coastal pollution and potential biomonitors of metals in *Mauritius.* *Water, air and soil pollution.* Vol. 174, 63-91 p.

**DAVIES, M. (2005).** Metal concentration in the radula of the common limpet, *Patella vulgata* from 10 sites in the UK. *Ecotoxicology.* Vol. 14, 465-475 p.

**DAVIES, P.S. (1969).** Effect of environment on metabolic activity and morphology of Mediterranean and British species of *Patella.* *Pubbl. Stn. Zool. Napoli.* Vol. 37, 641-656

**DAHOUN, N. (2013).** *Evaluation du taux de contamination par HAP de la faune aux alentours d'un centre à risque: Port de Ghazaouet.* Thèse de master. Chimie physique et analytique. Tlemcen : Abou Bekr Bel Kaid, 111 p.

**DEHANE, D. (2012).** *Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans la matrice sédimentaire du littoral Algérois: état et analyses rétrospective.* Mémoire de master. Environnement. Alger : ENSSMAL, 67 p.

**DERRADJI, C (2014).** *Evaluation de la pollution dans la Baie de Bou-Ismaïl utilisation de patella sp.* Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 77 p.

## Références bibliographiques

---

- DJEBARA, Y ; TALBI, Y (2014).** *Evaluation de la pollution marine par les hydrocarbures dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl.* Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 84 p.
- DUBOIS, L. (2006).** *Analyse chromatographie en phase gazeuse couplé à une spectrométrie de masse GC/MS d'huiles essentielles.* Master 2 professionnelle. Chimie analytique et instrumentation. Toulouse : Université Paul Sabatier, 36 p.
- FATTAL, P. (2008).** *Pollution des cotes par les hydrocarbures.* France: Presses universitaires de Rennes. 395 p.
- FAURIE, C (2012).** *Ecologie : Approche scientifique et pratique.* 6<sup>e</sup> éd .Paris: Tec et Doc. 491 p.
- FLAVIA, D. H., LANCELLOTTI, C., PRATI, M., et al. (2011).** Biomonitoring of PAHs by using ilex leaves: source diagnostic and toxicity assessment. *Atmospheric Environment.* Vol. 45, 1428-1433 p.
- FOUSSARD, V., ETCHEBER, H. (2011).** Proposition d'une stratégie de surveillance des paramètres physico chimiques pour les estuaires de la Seine, de la Loire et de la Gironde: Rapport d'activité. Document non publié. France : Ifremer.
- GABET, S. (2004).** *Remobilisation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) présents dans les sols contaminés à l'aide d'un tensioactif d'origine biologique.* Thèse de doctorat. Science de l'univers et de l'environnement. France : Université de Limoges, 210 p.
- GAGNAIRE, B. (2005).** *Etude des effets de polluant sur les paramètres hématologiques de l'huître creuse, Crassostrea gigas interactions entre environnement.* Thèse de doctorat. Mécanisme de défense et maladies infectieuses. France: Université de la Rochelle, 412 p.
- GAUJOUS, D. (1995).** *La pollution des milieux aquatiques.* Paris: Tec et doc. 220 p.
- GEFFARD, O. (2001).** *Toxicité potentielle des sédiments marins et estuariens contaminés: évaluation chimique et biologique, biodisponibilité des contaminants sédimentaires.* Thèse de doctorat. Géosciences et Écotoxicologie. France : Université Bordeaux 1, 376 p.
- GEORGE, D., GEORGE, J., (1980).** La vie marine. In: *Encyclopédie illustrée des invertébrés marins.* 173 p.

## Références bibliographiques

---

**GERARD, F.M. (2005).** L'évaluation des compétences par des situations complexes. Mémoire de doctorat. Environnement. Reims: IUFM champagne-ardenne. 263 p.

**GOBAS, F., MORRISON, H.A. (2000).** Bioconcentration and biomagnification in the aquatic environment. In: **BOETHLING, R.S., MACKAY, D.** *Handbook of property estimation methods for chemicals, environmental and health sciences*. USA, Florida: Lewis.Boca.Raton, 189-231 p.

**GOURLAY, C. (2004).** *Biodisponibilité des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les écosystèmes aquatiques: influence de la matière organique naturelle et anthropique*. Thèse de doctorat. Géosciences et ressources naturelles. France: ENGREF, 213 p.

**GRIMES, S. (2010).** *Peuplement benthique des substrats meubles de la cote Algérienne: taxonomie, structure et statut biologique*. Thèse de doctorat. Biodiversité marine. Oran: Université d'Oran, 361 p.

**GRIMES, S., BOUTIBA, Z., BAKALEM, A., et al (2004).** *Biodiversité marine et littorale Algérienne : Ouvrage domicile au laboratoire « Réseau de surveillance environnementale »*. Oran : Université. Es-Sénia. 361 p.

**GRIMES, S., SEMROUD, R., BELKESSA, A., et al (2000).** Etudes de classement des ILES HABIBAS (Ouest algérien) en réserve naturelle. Rapport d'activité. Document non publié. Alger : ISMAL.

**GROUPMENT D'INTERET PUBLIC SEINE-AVAL (2008).** Qualité de l'eau et contaminations : Contamination par les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans l'estuaire de la Seine : Rapport d'activité. Document non publié. France : Groupment d'interet public Seine-Aval.

**GROVA, N., FEIDT, C., CREPINEAU, C. et al. (2002).** Detection of polycyclic aromatic hydrocarbon levels in milk collected near potential contamination sources. *Artic food chemistry*. Vol. 50, 4640-4642 p.

**GUELORGUET, O., PERTHUISOT, J.P. (1984).** Indicateurs biologiques et diagnose écologique dans le domaine paralytique. *Environnement marin*. 67-76 p.

**HAMELINK, J.L., LANDRUM, P.F., BERGMAN, H.L. et al. (1994).** Bioavaibility:

## Références bibliographiques

---

physical, chemical and biological interactions. Paris: *CRC press*. 93-108 p.

**HARID, R. (2014).** *Etude de l'oxygène dissous et des paramètres du carbone dans la baie de Bou-Ismaïl en été 2014*. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 72 p.

**HARIZ, M.R. (2009).** *Elaboration d'une base de données, Atlas TELBAHR d'aide à décision: simulation d'un déversement accidentel d'hydrocarbures dans le Golfe d'Arzew*. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger: ENSSMAL, 94 p.

**HARVEY, B. (2009).** *Archipelagos wildlife library*. The digital library of Greek flora and fauna. [En ligne] consulté le [11/02/2016]. Disponible sur le web <http://wildlife-Archipelago.gr/wordpress/>.

**HIS, E., CANTIN, C. (1992).** *Biologie et physiologie des coquillages*. Rapport d'activité. Document non publié. France : IFREMER.

**Houma, F. (2009).** *Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire*. Thèse de doctorat. Science de l'univers et l'environnement. Paris: Université du Val de Marne Paris XII, 274 p.

**IDDIR, S (2013).** *Evaluation de l'état de la pollution par les hydrocarbures polycycliques dans les eaux et sédiments de la baie de Bou-Ismaïl*. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 65 p.

**INERIS. (2005).** *Hydrocarbures aromatiques polycycliques: guide méthodologique, acquisition des données des modèles analytiques ou numériques de transfert dans les sols et les eaux souterraines: Rapport d'activité*. Document non publié. France: INERIS.

**INERIS. (2005).** *Benzo a pyrène: Rapport d'activité*. Document non publié. France: INERIS.

**INERIS. (2006).** *Benzo a pyrène: Rapport d'activité*. Document non publié. France: INERIS.

**INERIS. (2005).** *Fluorène: Rapport d'activité*. Document non publié. France: INERIS.

**INERIS. (2005).** *Anthracène: Rapport d'activité*. Document non publié. France: INERIS.

**INERIS. (2015).** *Naphtalène: Rapport d'activité*. Document non publié. France: INERIS.

**INERIS. (2015).** *Fluoranthène: Rapport d'activité*. Document non publié. France: INERIS.

**JAKIMSKA, A. (2011).** *Bioaccumulation of metals in tissues of marine animals: metal*

## Références bibliographiques

---

concentrations in animal tissues. *Pol J environ Study*. Vol. 20, n°5, 1127-1146 p.

**KAISER, J. (2001).** Bioindicators and biomarkers of environmental. *Pollution and risk assessment*. Vol. 5, 63-70 p.

**KASSAR, A. (2011).** Suivi de la chlorophylle et du phytoplancton dans les zones côtières algéroises. Thèse de magister. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, 232 p.

**KERBOUB, L. (2014).** *Biochimie des moules de la région Algéroise*. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 60 p.

**KEY, P.B., FULTON, M.H. (2006).** A review of grass shrimp, *Palaemonetes spp*, as a bioindicator of anthropogenic impacts. *Environmental bioindicators*. Vol. 1, 115-128 p.

**KHALDOUN, L. (2009).** *Etude du cycle de reproduction de la moule Perna perna dans le littoral d'El Kala : Suivi biométrique et histologique*. Thèse de magister. Pollution marine. Alger : ENSSMAL, 52 p.

**KIM, C (2014).** Polycyclique aromatic hydrocarbons (PAHs) in starfish body and bottom sediments in Mohang Harbor (Taeon), South Korea. *Environ monit assess*. Vol. 186, 4343-4356 p.

**KOROGHLI, A. (2010).** *Evaluation du port d'Alger*. Thèse de doctorat. Environnement. Alger: USTHB, 150 p.

**KOROGHLI, A. (2005).** *Evaluation de la pollution des eaux de mer des sédiments superficiels et profonds du port d'Alger*. Thèse de magister. Environnement. Alger: USTHB, 150 p.

**KRAUSZ, P., BENHADDOU, R., Granet, R. (2008).** *Mini manuel de chimie organique*. Paris: Dunod. 128 p.

**LABOREL-DEGUEN, F., LABOREL, J. (1990).** Nouvelles données sur la patelle géante *Patella ferruginea* Gmelin en Méditerranée : statut, répartition et étude des populations, écologie, biologie et reproduction. *Haliotis*. Vol. 10, 41-62 p.

**LABOREL-DEGUEN, F., LABOREL, J. (1999).** Nouvelles données sur la patelle géante *Patella ferruginea* Gmelin en Méditerranée : répartition des études des populations. *Haliotis*. Vol. 20, 41-54 p.

## Références bibliographiques

---

- LACAZE, J.C. (1996).** *La pollution des mers*. France : Flammarion. 128 p.
- LATOUCHE, C., MOYERS, J. (1977).** Méthodologie d'études des pollutions dans les sédiments: définition des critères de qualité sédimentologiques. Bordeaux : CNEXO. 64 p.
- LEM. (1998).** Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger : Rapport d'activité. Document non publié. Alger: LEM.
- LINCOLN, R (1998).** *A dictionary of ecology, evolution and systematics*. 2<sup>é</sup> éd. Angleterre: Cambridge University Press. 361 p.
- LOUISY, P., MAITRE-ALLAIN, T. (2000).** *Faune de France, animaux de bord de mer*. France : Artémis. 160 p.
- LUBET, P. (1973).** Exposé synoptique des données biologiques sur la moule *M.gollprovincialis*: Rapport d'activité. Document non publié. Synop.Rome : FAO.
- LUNA-ACOSTA, A., BUDZINSKI, H., LE MENACH, K., et al. (2014).** Persistent organic pollutants in a marine bivalve on the Marennes-Orélan Bay and the Gironde Estuary (French Atlantic coast) - Part 1: bioaccumulation. *Science of the Total Environment*. Vol. 14, 11-48 p.
- MAOUCHE, S. (1987).** Mécanisme hydro-sédimentaire en baie d'Alger: approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique: Rapport d'activité. Document non publié. France : IFREMER.
- MARCHAND, M. (2003).** Les pollutions marines accidentelles au-delà du pétrole brut, les produits chimiques et autres déversement en mer. *Revue anaales des mines, responsabilité et environnement*.70-92 p.
- MARCHAND, M. (1983).** *Estimation des hydrocarbures dans l'eau et les organismes marins par spectrofluorimétrie UV*. In C.N.E.X.O. Manuel des analyses chimiques en milieu marin, 329-336 p.
- MARKERT, B.A., BREURE, A.M., ZECHMEISTER, H.G. (2003).** Définition, strategies ans principes for bioindication/biomonitoring of the environment. *Bioindicators and biomonitors, principles, concepts and applications*. 3-39 p.
- MARSHALL, D.J., MC.QUAIDE, C. D. (1989).** The influence of respiratory responses on the tolerance to sand inundation of the limpet *Patella granularis* (L.Prosobranchia) and

## Références bibliographiques

---

Siphonariacapensis Q et G(Pulmonata). *Journal of experimental marine biomogy and ecology*. Vol. 128, n°3, 191-201 p.

**MARTEIL, L. (1976).** La conchyliculture Francaise: biotechnologie de l'huitre et de la moule. *Pêche maritimes*. Vol. 40, n°2, 149-346 p.

**MPO (Ministère des Pêches et des Océans) (2003).** Profil de la moule bleue (*Mytilus edulis*). Rapport d'activité. Document non publié. Canada: Ministère des Pêches et des Océans.

**MULLER, J.F., HAWKER, D.W., McLACHLAN, M.S. et al. (2001).** PAHs, PCDD/Fs, PCBs and HCB in leaves from Brisbane, Australia. *Chemosphere*. Vol. 43, 507-515 p.

**MURIELLE, B. (1995).** *La biodégradation des hydrocarbures aromatiques polycyclique: métabolisme de substrats non conventionnels*. Thèse de doctorat. Science de l'univers et de l'environnement. France: ENSIA, 120 p.

**NAKHLÉ, K.F. (2003).** *Le mercure, le cadmium et le plomb dans les eaux littorales libanaises: apport et suivi au moyen de bioindicateurs quantitatifs (éponges, bivalves et gastéropodes)*. Thèse de Doctorat: Paris, France: Université Denis Diderot, 246 p.

**NAKHLE, K.F. (2005).** *Le mercure, le cadmium et le plmb dans les eaux littorales Libanaises: apport et suivi au moyen de bioindicateurs quantitatifs (éponges, bivalves et gastéropodes)*. Thèse de doctorat. Intéractions toxiques dans les écosystèmes. Paris: Universite Denis Diderot Paris 7, 225 p.

**NAKHLE, K.F. (2006).** *Brachidontes variabilis and Patella sp as quantitative biological indicateurs for Cadmium, lead and mercury in the Lebanese coastal waters*. *Environmental Pollution*. N°142, 73-82 p.

**NDIAYE, M., DIOP, A., GAGO-MARTINEZ, A; et al (2012).** Contamination des moules (*Mytilus galloprovincialis*) des côtes de la région de Dakar par les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs). *International. Journal Biological and Chemical Science*. Vol. 6. N° 4, 1895-1904 p.

**NEAL, k.J., SKEWES, M. (2004).** *Patella ulyssiponesis*. Chine arapédes. Marine life information network.[En ligne] consulté le [15/05/2016]. Disponible sur le web

## Références bibliographiques

---

<http://www.marlin.ac.uk>

**OLESEN, T.M.E., WEEKS, J.M. (1994).** Accumulation of cd by the marin sponge *Halichondria panaceapallas*: effects upon filtration rate and its relevance for biomonitoring. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. Vol. 52, p. 722-728.

**PACA. (2004).** Protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djinet au Mont Chenoua: bilan et diagnostic: Rapport d'activité. Document non publié. Algérie: PACA.

**PEREZ, T., SARTORETTO, S., SOLTAND, D. (2005).** Etude bibliographique sur les bioindicateurs de l'état du milieu marin: système d'évaluation de la qualité des milieux littoraux, volet biologique: Rapport d'activité. Document non publié. France : Agence de l'eau.

**RACHDI, Kh.S., (2013).** *Investigation des taux des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) au milieu marin sur les littorales avoisinant une activité à risque.* Mémoire du master. Chimie physique et analytique. Tlemcen : Université Abou Bekr Belkaid, 73 p.

**RAMADE, F. (2000).** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. France: Ediscience International, 690 p.

**RAND, G.M. (1995).** Fundamentals of aquatic toxicology: Effects. *Environmental fate and risk assessment*. 3-67 p.

**RAO, J.V., KAVITHA, P., SRIKANTH, K. et al. (2007).** Environmental contamination using accumulation of metals sponges, *Sigmadocia fibulata*, inhabiting the coastal waters of Gulf of Mannar, India. *Toxicological and environmental chemistry*. Vol. 89, 487-498 p.

**RENATO, V., RENATO, S., ARTHUR L. et al (2012).** Regional assessment of PAHs contamination in SE Brazil using brown mussels (*Perna perna* Linnaeus 1758). *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 64, 2581- 2587 p.

**REZGUI, H (2015).** *Etat de la pollution par les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les eaux de la baie de Bou-Ismaïl.* Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 79 p.

**RODIER, J (2005).** *L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eau résiduaires et eaux de mer.* 8<sup>e</sup> éd. Paris: Dunod. 1384 p.

## Références bibliographiques

---

- RODIER, J (2009).** *L'Analyse de l'eau*. 9<sup>é</sup> éd. Paris: Dunod. 1203 p.
- ROUANE-HACENE, O. (2013).** *Biodiversité de la qualité des eaux cotières du littoral occidental Algérien par le suivi des incidences biologiques de la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux lourds (Zn,Cu,Pb,et Cd) chez la moule M.galloprovincialis et l'oursin P.lividus*. Thèse de doctorat. Biologie. Oran: université d'Oran, 295 p.
- ROZIC, P.Z (2014).** Using stable nitrogen isotope in *Patella sp* to trace sewage-derived material in coastal ecosystems. *Ecological Indicators*. Vol. 36, 224-230 p.
- RUIZ, Y., SUAREZ, P., ALONSO. A., et al. (2011).** Environmental quality of mussel farms in the Vigo estuary: pollution by PAHs, origin and effects on reproduction. *Environmental Pollution*. Vol. 159, 250-265 p.
- RUPERT, R., et al. (2000).** Faune et flore de la méditerranée : rapport d'activité. Document non publié. Barcelona: OMEGA, S, A.
- SAN MARTIN, G.A., CALTAGIRONE, A., LABOREL-DEGUEN, F., et al. (1996).** *Patella ferruginea*: etude de la reproduction et du cycle larvaire: Rapport d'activité. Document non publié. France: .APEM et parc naturel régional de Corse.
- SMITH, K.E.C., THOMAS, G.O., JONAS, K.C. (2001).** Seasonal and species differences in the air-pasture transfer of PAHs. *Environ.Sci.Technol*. Vol. 35, 2156-2165 p.
- SUN, R. X., LIN, Q., CHANG-LIANG, K., et al. (2016).** Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediment and marine organisms from the Daya Bay, south China. *Marine Pollution Bulletin*. 8 p.
- TEMPLADO, J., CALVO, M., GARCIA, A., et al. (2004).** Guiade invertebrados y pecesmarinosprotegidos par la legislacionnacional y internacional.Organismo Auto-nomo : Rapport d'actevité. Document non publié. Madrid : Parques nacionales, ministerio de medio Ambiente.
- TUINA, A ; MAMECHE, A (2015).** *Etat de la pollution par les hydrocarbures du sédiment superficiel dans le port d'Alger*. Mémoire d'ingénieur. . Environnement. Alger : ENSSMAL, 83 p.

## Références bibliographiques

---

**TURGEON D.D., QUINN J.F., BOGAN A.E., Et al. (1998).** *Noms communs et scientifiques des invertébrés aquatiques des Etats-Unis et du Canada : Mollusque*. 2<sup>e</sup> éd. Etats-Unis : Le maryland. 526 p.

**VIGNET, C (2014).** *Altération de la physiologie des poissons exposés à des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)*. Thèse de doctorat. Physiologie, biologie des organismes, populations, interactions. France : l'université de la rochelle école doctorale gay lussac, 374p.

**YOSHIMINE, R. V., CARREIRA, R. S., SCOFIELD, A.L., et al. (2012).** Regional assement of PAHs in SE Brazil using brown mussels (*Perna perna* linnaeus 1785). *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 64, 2581-2587 p.

### Sites d'internet

**www. Eau- seine-normandie. Fr/fileadmine/ mediatheque/ expert/ études et synthèse/ étude 2008/ guide-toxique.08/02/2017.**

**www.doris.ffessm.fr.**

# ANNEXES

# Annexe

## Annexe A



Figure 1: extraction à blanc.



Figure 2: Élimination des sédiments et des impuretés.



Figure 3: prétraitement des moules.



Figure 4: lyophilisation des échantillons.



Figure 5: Concentration des extraits à l'aide d'un évaporateur rotatif.

## Annexe

Tableau1 : résultats des analytes dans les moules.

St Moules analytes	Bateau cassé			
	Port d'Alger ng/g	Zeralda ng/g	ng/g	Figuier ng/g
naphtalène	0,423782799	0,012170514	0,250825989	0,248637491
acénaphthène	0,003040712		0,003046915	
acénaphthylène	0,141208722			
fluorène	1,773744897		0,177756435	
phénanthrène	0,166220069		0,000902795	
anthracène	1,02909454	0,282510284	0,120285653	
fluoranthène	0,044379135		0,001341152	
pyrène	0,305686514			
benzo a pyrène	5,10407E-05		3,31719E-06	
somme HAP	3,887208429	0,294680798	0,554162257	0,248637491

Tableau2 : résultats des analytes dans l'eau de mer.

st eau analytes	port de		Bateau		
	Bouharoune nl/l	khemisti nl/l	Zeralda nl/l	cassé nl/l	Figuier nl/l
naphtalène	33,36068828	26,52336004	11,33794708		29,5304766
acénaphthène					
acénaphthylène					
fluorène	295,9413346				
phénanthrène		4,908569078			4,558815445
anthracène	36,47702075	4,272078141			8,883419955
fluoranthène					
pyrène					
benzo a pyrène	0,121531395	0,052320843	0,450567696		0,002257692
somme HAP	365,900575	35,7563281	11,78851478	0	42,97496969

Tableau 3 : résultats des analytes dans les patelles

st patelle analytes	port de		Zeralda	Bateau cassé	
	Bouharoune ng/g	Khemisti ng/g	ng/g	Figuier ng/g	ng/g
naphtalène	0,064117423	0,212593092	0,061924044	0,085999011	0,388372126
acénaphthène		0,002891837			
acénaphthylène	2,96069E-05				
fluorène		0,064775025			
phénanthrène		0,039208649			0,091397373
anthracène	0,094922134	0,079715883		0,177655536	0,010874359
fluoranthène		0,010596259		0,013226425	0,00356389
pyrène		0,03405034			
benzo a pyrène		1,63895E-05		6,6386E-06	2,63063E-06
somme HAP	0,159069164	0,443847473	0,061924044	0,276887611	0,494210379

Paramètres biométriques des moules

## Annexe

Zeralda		Longueur (cm)		Largeur (cm)		Hauteur (cm)	
individus	R 1	R 2	R 1	R 2	R 1	R 2	
Figuier	Longueur (cm)		Largeur (cm)		Hauteur (cm)		
individus	R 1	R 2	R 1	R 2	R 1	R 2	
1	4.1	6.8	2.4	2.5	1.6	1.9	1
2	5.2	5.2	2.5	2.2	1.4	1.6	2
3	5.5	5.2	2.4	2.3	1.8	1.7	3
4	6	5.9	2.2	2.3	1.8	1.8	4
5	6.7	4.5	2.5	1.9	1.9	1.2	5
6	5.2	4.4	2.5	1.9	1.7	1.4	6
7	5	5.5	2.0	2.3	1.7	1.7	7
8	5.6	5.4	2.3	2.4	1.5	1.8	8
9	6.1	5.4	2.4	2.1	1.5	1.6	9
10	5.7	6.1	2.4	2.5	1.7	1.9	10
individus	R 1	R 2	R 1	R 2	R 1	R 2	
1	4.7	5.2	2.4	2.5	1.6	1.7	
2	5.15	4.9	2.6	2.3	1.7	1.45	
3	4.2	4.6	1.95	2.6	1.35	1.75	
4	4.9	3.6	2.4	1.8	1.5	1.3	
5	4.9	5.4	2.35	2.8	1.6	1.7	
6	4.5	4	2.1	2.1	1.5	1.6	
7	5.2	5.2	2.6	2.5	1.8	1.6	
8	4.8	4.2	2.5	2.1	1.5	1.3	
9	5.15	3.6	2.5	1.8	1.7	1.6	
10	4	3.9	2	2	1.4	1.3	

Port d'Alger		Longueur (cm)		Largeur (cm)		Hauteur (cm)	
individus	R 1	R 2	R 1	R 2	R 1	R 2	
1	5.9	5.9	3.2	3	1.9	1.8	
2	5.7	5.8	3.3	3	2	1.8	
3	7.1	5.8	3.5	2.8	2.3	1.5	
4	6	6.8	3.1	3.1	2.2	2.4	
5	6.2	5.7	3.3	2.9	2.2	2	
6	6.9	6.1	3.2	3.1	2.6	1.6	
7	6.3	5.9	2.8	3.2	1.9	1.8	
8	5.1	6.9	3	3.2	1.6	2.1	
9	5.5	6.2	3.1	3	1.7	1.9	
10	6.2	5.8	3.3	3	2	1.9	

Identification des moules

Station	<i>Perna perna</i>		<i>Mytilus galloprovincialis</i>	
Zeralda	10	08		02
Bateau cassé	10	10		
Figuier	10	10		
Port d'Alger			10	10

### Paramètres biométriques des patelles

Port de Bouharoun	Longueur (cm)				Largeur (cm)				Hauteur (cm)			
individus	R <sub>1/1</sub>	R <sub>1/2</sub>	R <sub>2/1</sub>	R <sub>2/2</sub>	R <sub>1/1</sub>	R <sub>1/1</sub>	R <sub>2/1</sub>	R <sub>2/2</sub>	R <sub>1/1</sub>	R <sub>1/2</sub>	R <sub>2/1</sub>	R <sub>2/2</sub>
1	2.4	3.2	3	2.4	1.8	2.9	2.7	2.2	0.6	0.8	0.8	0.8

## Annexe

2	2.4	2.5	2.6	2.2	1.9	1.8	2.2	1.8	0.6	0.6	0.7	0.8	
3	2.4	2.8	2.5	2.5	1.8	2.2	2.1	2	0.6	0.9	1	0.9	
4	2.4	2.2	2.5	2.4	1.7	1.6	2.1	2	0.6	0.7	1	0.8	
5	2.2	2.2	2.5	2.9	1.7	1.7	2	2.4	0.7	0.7	0.7	0.8	
6	2.5	2.2	2.5	2.3	1.9	1.8	2.1	1.7	0.8	0.6	0.9	0.6	
7	2.4	2.3	2.4	2.4	1.7	1.6	2.1	1.8	0.6	0.5	0.6	0.6	
8	2.4	2.4	2.2	2.2	1.8	1.9	1.7	1.8	0.6	0.6	0.6	0.6	
9	2.3	2.5	2.2	2.3	1.7	1.7	1.9	1.9	0.7	0.6	0.7	0.6	
10	2.2	2.2	2.2	2.3	1.6	1.7	1.8	1.9	0.5	0.6	0.5	0.6	
Port de Khemisti	Longueur (cm)		Largeur (cm)		Hauteur (cm)		Zeralda	Longueur (cm)		Largeur (cm)		Hauteur (cm)	
individus	R 1	R 2	R 1	R 2	R 1	R 2	individus	R 1	R 2	R 1	R 2	R 1	R 2
1	2.5	2.45	1.95	2.2	0.9	0.7	1	3.3	3.8	2.4	2.8	0.8	0.6
2	3.9	2.9	2.8	2.45	1.95	1.1	2	3.4	3.4	2.3	2.4	0.7	0.5
3	3.25	2.7	2.6	2.1	0.8	0.8	3	2.5	2.5	1.9	1.9	0.6	0.7
4	2.65	2.45	2.15	1.8	0.85	0.75	4	2.5	3.3	2	2.2	0.6	0.6
5	3.3	2.5	3	2	1.35	0.8	5	3.2	3.2	2.4	2.2	0.5	0.6
6	2.7	2.4	2.15	1.8	0.85	0.8	6	2.7	2.9	2.2	2	0.6	0.5
7	2.9	2.5	2.3	1.8	1	0.45	7	2.8	2.4	1.9	1.8	0.6	0.7
8	2.75	2.45	2.2	1.85	0.95	0.8	8	2.6	2.3	1.9	1.8	0.8	0.7
9	2.7	2.5	2.15	1.95	0.8	0.85	9	2.8	2.1	2.1	1.5	0.6	0.6
10	2.5	2.3	2.05	1.6	0.5	0.4	10	2.3	2.2	1.7	1.8	0.7	0.9
Figuier	Longueur (cm)		Largeur (cm)		Hauteur (cm)		Bateau cassé	Longueur (cm)		Largeur (cm)		Hauteur (cm)	
individus	R 1	R 2	R 1	R 2	R 1	R 2	individus	R 1	R 2	R 1	R 2	R 1	R 2
1	2.6	3	1.9	2.4	0.8	0.9	1	2.6	2.2	2.2	1.7	0.8	0.7
2	3.2	2.6	2.9	2.0	1.3	0.9	2	2.3	2.3	1.9	1.9	0.8	0.6
3	2.6	2.8	2.2	2.2	0.9	0.8	3	2.3	2.4	1.9	1.8	0.7	0.5
4	2.7	2.9	2.0	2.3	0.8	0.9	4	2.2	2.2	1.9	1.8	0.6	0.7
5	2.1	2.9	2.0	2.4	0.8	1.1	5	2.3	2.4	1.9	1.8	0.5	0.6
6	2.3	2.5	2.0	2.2	0.8	1.0	6	2.4	2.2	1.9	1.7	0.6	0.6
7	2.2	2.3	1.9	2.0	1.1	0.8	7	2.2	2.1	1.8	1.5	0.6	0.6
8	2.2	2.2	1.8	1.8	0.6	0.6	8	2.3	2.0	1.9	1.6	0.5	0.6
9	2.6	2.4	1.9	1.7	1.1	0.6	9	2.1	2.0	1.6	1.5	0.5	0.5
10	2.2	2.6	1.8	2.0	0.9	0.8	10	2.2	2.0	1.7	1.5	0.6	0.5

### Identification des patelles

Station	<i>P. caerulea</i>		<i>P. lusitanica</i>		<i>P. safiana</i>		<i>P. tarentina</i>		<i>P. vulgata</i>					
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>				
Port de Bouharoune				10	01	07			10	01				
Port khmisti			10		10									
Zeralda		04	02		04		02		06			02		
Figuier	10				05									
Bateau cassé	04		07		06		03							

# Evaluation du taux des hydrocarbures aromatiques polycycliques chez le mollusque *patella. sp* et les moules du littoral Algérois

## Résumé

La présente étude évalue le potentiel des bioindicateurs patella et les moules d'accumuler les Hydrocarbures aromatiques polycycliques. Pour cela, la concentration de 09 hydrocarbures aromatiques polycycliques a été déterminée dans des organismes provenant des sites présentant des différences de contamination, la baie de Bou smail et la baie d'Alger, y compris la baie de Zemmouri, qu'elle est moins impacté. La concentration des Hydrocarbures aromatiques polycycliques a été déterminée dans les mollusques recueillies à partir du l'étage médiolittoral. L'eau de mer a également été échantillonnée à partir des mêmes sites pour faire une comparaison. Les deux espèces ont fourni des informations similaires sur la concentration totale d'HAP liée au niveau de contamination du site. Les différences dans la typologie des Hydrocarbures aromatiques polycycliques entre les espèces peuvent découler de la variation interspécifique de l'ingestion et au mode de nutrition.

La patelle peut être utilisée comme une approche alternative pour enquêter sur la présence et les sources d'Hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les zones côtières.

Mots clés : hydrocarbures aromatiques polycycliques, patelle, moules, bioindicateur, l'eau de mer, littoral algérois.

تقيم هذه الدراسة إمكانية المؤشرات البيولوجية (الصحنية وبلح البحر) في تكديس الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات. لهذا، تم تحديد تركيز 09 من الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات في الكائنات من مواقع تظهر اختلافات في التلوث، خليج بو إسماعيل وخليج الجزائر، أما خليج زموري فهو الأقل تأثراً. تم تحديد تركيز المواد الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات في المحار التي تم جمعها من طابق المد. وأخذت عينات مياه البحر أيضاً من نفس المواقع للمقارنة. قدمت كلا النوعين معلومات مماثلة عن التركيز الكلي للهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات تتعلق بمستوى التلوث من الموقع. قد يكون الاختلاف في نوع الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات ناتج عن اختلاف الابتلاع أو اختلاف نوعية الغذاء في حد ذاته.

الصحنية يمكن استخدامها كنهج بديل للتحقيق في وجود أو/ ومصادر الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات في المناطق الساحلية.

كلمات البحث: الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات، الصحنية بلح البحر ومؤشرات بيولوجية، مياه البحر، الساحل الجزائري.

This study assesses the potential of patella bioindicators and molds to accumulate polycyclic aromatic hydrocarbons. For this purpose, the concentration of 09 polycyclic

aromatic hydrocarbons was determined in organisms from sites with differences in contamination, Bou smail Bay and Alger Bay, Zemmouri Bay, and less impacted. The concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons was determined in the molluscs collected from the medioltoral stage. Seawater was also sampled from the same sites to make a comparison. Both species provided similar information on the total PAH concentration related to the level of contamination at the site. Differences in the typology of polycyclic aromatic hydrocarbons between species may derive from interspecies variation in ingestion and mode of nutrition.

The limpet can be used as an alternative approach to investigate the presence and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in coastal areas.

Key words: polycyclic aromatic hydrocarbons, limpets, mussels, bioindicators, seawater, coastal Algiers.