

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Réf : ...../UAMOB/F.SNV.ST/DEP.BIO/20

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

**Domaine :** SNV    **Filière :** Ecologie et environnement  
**Spécialité :** Biodiversité et environnement

**Présenté par :**

LABDAOUI Khadidja et BELABBAS Nihad

**Thème**

**Evaluation de la pollution marine par les HAP dans la baie de Bousmail par l'utilisation de la moule *Mytilus galloprovincialis***

**Soutenu le :** 26 /09/ 2020

**Devant le jury composé de :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>		
Mme. MAIZI Naila	MCA	Univ. de Bouira	Promotrice
Mme. MECELLEM Dalila	MCA	Univ. de Bouira	Présidente
Mme. IDIR Thiziri	MAA	Univ. de Bouira	Examinatrice

**Année Universitaire : 2019/2020**

## *Remerciements*

*Avant tout, nous remercions le bon Dieu, le tout puissant de nos avoir accordé la santé et le courage pour accomplir ce travail.*

*Nous avons l'honneur et le plaisir de présenter notre profonde gratitude et nos chaleureux remerciements à notre promotrice*

*Mme. MAIZI.Naila pour sa compréhension, sa grande contribution, sa disponibilité, et pour tout le temps et l'attention qu'elle a bien voulu consacrer au bon déroulement de notre travail.*

*Nos plus vifs et spéciales remerciements à Mr. KEBDANI .M pour son aide, sa compréhension, sa gentillesse, et pour tout ses précieux conseils et orientations nous sommes très reconnaissantes.*

*Nous exprimons nos sincères remerciements à Mr .BADAOUIS pour son aide, ses encouragements, aussi son soutien scientifique et moral.*

*Une pensée particulièrement à tous les enseignants qui ont assuré notre formation tout au long de notre cursus universitaire.*

*Nos remerciements sont également exprimés aux membres de jury*

*Mme. Mecellem. D d'avoir accepté de présider notre jury et*

*Mme. IDIR.T pour avoir accepté d'être examinatrice de notre travail.*

*Enfin nous tenons à remercier également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.*

*Khadidja et Nihad*

## *Dédicace*

*J'ai le plaisir de dédier ce modeste travail qui ne serai pas réalisé  
sans l'aide d'Allah le tout puissant*

*A celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est  
sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère*

*A mon père, école de mon enfance, qu'a été mon ombre durant  
toutes mes années d'étude, et qui a veillé tout au long de ma vie à  
m'encourager.*

*A mes frères et sœurs, mes neveux mes nièces.*

*A ma chère binôme Nihad*

*A celui qui est tout le temps proche de moi, celui qui prend mon  
main et touche mon cœur*

*A tous ceux qui me sont chère*

*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

*A tous mes amis.*

*Khadija*

## *Dédicace*

*Je remercie tout d'abord et avant tout ALLAH le tout premier puissant de m'avoir donnée le courage et la patience pour accomplir cet humble travail*

*À mes chers parents Mohammed et Fatiha, pour leur amour inestimable, leur Confiance, leur soutien, leurs sacrifices et toutes les valeurs qu'ils ont sues. M'inculquer. Rien au monde ne pourrait compenser tout ce que vous avez fait Pour moi. Vos prières, vos encouragements et votre soutien m'ont toujours, leur été, d'un grand secours. C'est à vous que je dois cette réussite et je suis fière de vous L'offrir. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés et le Fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse Dieu vous accorder santé, bonheur et longue vie.*

*À mon cher mari Oussama, pour ses sacrifices, son soutien moral et matériel, sa gentillesse sans égal, son profond attachement M'ont permis de réussir mes études. Sans son aide, ses conseils et ses encouragements ce travail n'aurait vu le jour.*

*À mes frères Moumen et Hakim, Je vous prie de trouver dans ce travail l'expression de mon estime et mon profond respect. Je vous Souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu vous protège et vous Garde.*

*A ma chère binôme Khadidja*

*À mes cousins et cousines : Samah, Rahma, Ihssen, Ahlem, Chaimaa, Ferial et Ranim*

*A mes oncles et tantes*

*À ma chère belle-mère Nacira et mon beau-père Abdallah, vous m'avez accueilli à bras ouverts dans votre famille*

*A mes belles sœurs : Soumia, Khadidja, Yousra, et Habiba*

*Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux De bonheur et de santé à toute ma famille et ma belle famille proche et lointaine*

*A mes chères copines : Imane et Soumia, Roumaissa*

*Nihad*

# Table des matières

Liste des abréviations	
Liste des Figures	
Liste des tableaux	
<b>Introduction</b> .....	1
<b>Partie I : Synthèse bibliographique</b>	
<b>I. La pollution marine par les hydrocarbures aromatiques polycycliques</b>	
<b>I.1. La pollution marine</b> .....	3
<b>I.2. Généralités sur les hydrocarbures</b> .....	3
<b>I.2.1. Les alcanes</b> .....	3
<b>I.2.2. Les hydrocarbures aromatiques</b> .....	3
<b>I.2.3. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques</b> .....	4
<b>I.3. Les sources des HAP dans le milieu marin</b> .....	4
<b>I.3.1. Les sources naturelles</b> .....	6
<b>I.3.2. Les Sources anthropiques</b> .....	6
<b>I.4. Evaluation de la toxicité des HAP sur l'homme, la faune et la flore aquatique</b> .....	9
<b>I.4.1. Les sources d'exposition aux HAP</b> .....	9
<b>I.4.2. La toxicité des HAP chez l'homme</b> .....	9
<b>I.4.3. La toxicité des HAP chez la faune et la flore marine</b> .....	10
<b>I.5. Réglementations</b> .....	9
<b>I.5.1. L'émergence de la protection du milieu marin en droit Algérien</b> .....	11
<b>I.5.2. La protection de la mer méditerranée en droit Algérien : Prolongement d'une Exigence du droit international de l'environnement</b> .....	11
<b>I.5.2.1. La position de l'Algérie à l'égard des conventions à caractère régional</b> .....	11
<b>I.5.2.2. La position de l'Algérie à l'égard des conventions à caractère international</b> .....	12

## **II. La surveillance environnementale du milieu marin**

<b>II.1. La surveillance environnementale</b> .....	13
<b>II.1.1. Les principales méthodes de surveillance</b> .....	13
<b>II.1.2. Les réseaux de surveillance de la qualité de l'environnement marin</b> .....	13
<b>II.2. La bio indication</b> .....	14
<b>II.3. Le bio indicateur</b> .....	14
<b>II.4. Généralités sur les bivalves</b> .....	14
<b>II.4.1. Définition des bivalves mollusques</b> .....	12
<b>II.4.2. Morphologie et anatomie des bivalves</b> .....	15
<b>II.4.3. Biologie des bivalves</b> .....	15
<b>II.4.4. Ecologie des bivalves</b> .....	15
<b>II.4.5. Mode de vie</b> .....	16
<b>II.4.6. Régime alimentaire</b> .....	16
<b>II.4.7. Cycle de développement</b> .....	16
<b>II.4.8. Classification des bivalves</b> .....	17
<b>II.5. Le processus de bioaccumulation des polluants dans le milieu marin</b> .....	17

## **Parie II : Matériels et méthodes**

<b>I. Généralités sur la zone d'étude</b> .....	19
<b>I.1. Localisation géographique</b> .....	19
<b>I.2. Les conditions météorologiques dans la baie de Bousmail</b> .....	20
<b>I.3. Les reliefs</b> .....	21
<b>I.4. Le réseau hydrographique/apports terrigènes</b> .....	21
<b>I.5. La sédimentologie</b> .....	21
<b>I.6. Géomorphologie de la baie</b> .....	22
<b>I.7. La pollution de la côte de Bousmail</b> .....	23
<b>I.8. Justification du choix de la zone d'étude</b> .....	24
<b>II. Justification du choix de l'espèce</b> .....	25
<b>II.1. Biologie et écologie de l'espèce : <i>Mytilus galloprovincialis</i></b> .....	25

II.1.1.La systématique .....	25
II.1.2. La description .....	26
II.1.3. L'anatomie externe et interne .....	26
II.1.4. Le système respiratoire .....	27
II.1.5. Le système digestif .....	28
II.1.6.Le système nerveux .....	28
II.1.7. La reproduction .....	28
II.1.8. La Répartition et l'habitat .....	29
II.1.9. La Mortalité et la prédation .....	29
<b>II.2. Stratégie d'échantillonnage.....</b>	<b>29</b>
<b>II.3. Mesure des paramètres biométriques.....</b>	<b>29</b>
<b>II.4.Dosage des HAP.....</b>	<b>32</b>
II.4.1. Lyophilisation .....	32
II.4.2.L'extraction solide-liquide .....	33
II.4.3.Evaporation .....	34
II.4.4.La purification .....	35
II.4.5.Evaporation finale de l'extrait purifié (Concentration).....	35
II.4.6. Méthode analytique des HAP .....	36
<b>Partie III : Discussion générale</b>	
<b>Discussion des résultats.....</b>	<b>38</b>
<b>Perspectives.....</b>	<b>43</b>
<b>Références bibliographiques</b>	
<b>Annexes</b>	

## **Abréviations**

**µg/pers/j** : Microgramme/personne /Jour

**AFSSA** : Agence française de sécurité sanitaire des aliments

**B(a)P**: Benzo(a)pyrène

**BCF** : Facteur de Bioconcentration

**Cd** : cadmium

**CIRC**: Centre internationale de recherche contre le cancer

**DDT** : Dichlorodiphényltrichloroéthane

**DW** : poids sec

**EPA** : Agence Protection Environnemental

**FSA**: Food Standards Agency

**CEAEQ** : Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec

**GESAMP** : groupe mixte d'experts chargés d'étudier les aspects scientifiques de la pollution des mers

**HAP** : hydrocarbures aromatiques polycycliques

**HC** : Concentration en Hydrocarbure

**Hg** :

**IARC**: Centre international de recherche sur le cancer

**INERIS** : Institut national de l'environnement industriel et des risques

**ITOPF**: International Tanker Owners Pollution Federation

**LOAEL**: Lowest observable adverse effect level (DMENO: Dose minimale avec effet nocif)

**mg/kg p.c** : Milligramme/Kilogramme poids corporel

**mg/kg p.c./j** : Milligramme/Kilogramme poids corporel/Jour

**m/z**: masse/numéro atomique

**MIFAFF**: Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisherie

**MPO** : Ministères des pêches et océans

**NOAEL**: No observed adverse effect level (DSENO: Dose sans effet nocif observé)

**OMI** : Organisation maritime internationale

**OMS** : Organisation mondiale de santé

**PAM** : Plan d'Action pour la Méditerranée

**Pb** : plomb

**PCB** : polychlorobiphényle

**PF** : Poids frais

**PNUE** ou **UNEP** : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

**UE**: Union européenne

**WW** : poids frais

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

**EEA** : Agence de l'Environnement Européenne

## Liste des figures

<b>Figure 01</b> : La Structure des 16 HAP de la liste EPA ( <b>Frederic, 2004</b> ).....	5
<b>Figure 02</b> : schéma récapitulatif des sources naturelles et anthropiques des HAP dans le milieu marin ( <b>Dahnoun, 2013</b> ).....	8
<b>Figure 03</b> : Le processus d'accumulation des contaminants au niveau de la chaine trophique marine ( <b>Meinesz, 2011</b> ) .....	18
<b>Figure 04</b> : Localisation géographique de la zone d'étude ( <b>Google earth, 2020</b> ).....	19
<b>Figure 05</b> : Carte sédimentologique de la baie de Bou ismail ( <b>Akli, 2016</b> ).....	22
<b>Figure 06</b> : source de pollution dans la zone d'étude de Bouismail.....	23
<b>Figure 07</b> : rejet de groupe tonic emballage ( <b>Nait mohand, 2016</b> ).....	24
<b>Figure 08</b> : <i>Mytilus galloprovincialis</i> ( <b>Paiva, 2014</b> ).....	25
<b>Figure 09</b> : Anatomie externe et interne de la moule <i>Mytilus galloprovincialis</i> ( <b>Khelil, 2007</b> ).....	27
<b>Figure 10</b> : Le mode alimentaire de la moule « <i>Mytilus galloprovincialis</i> » ( <b>MPO, 2003</b> ) .....	28
<b>Figure 11</b> : Mesure des différents paramètres linéaires de la moule <i>mytilus galloprovincialis</i> ( <b>Moussaoui et Belakhal, 2016</b> ).....	30
<b>Figure 12</b> : Balance de précision ( <b>Benzaoui, 2010</b> ) .....	31
<b>Figure 13</b> : plan des techniques à suivre pour l'extraction des hydrocarbures.....	32
<b>Figure 14</b> : Schéma d'un extracteur de Soxhlet ( <b>Dahnoun, 2013</b> ) .....	33
<b>Figure 15</b> : évaporateur rotatif.....	34
<b>Figure 16</b> : Les étapes de la purification sur colonne ouverte .....	35
<b>Figure 17</b> : schéma de principe d'HPLC.....	37
<b>Figure18</b> : Taux en d'hydrocarbures et de CO <sub>2</sub> pour PMA et PMB après biodégradation en fonction du temps ( <b>Boutefnouchet et al, 2006</b> ) .....	38
<b>Figure 19</b> : Taux en d'hydrocarbures et de CO <sub>2</sub> pour PMC et PMD après biodégradation en fonction du temps ( <b>Boutefnouchet et al, 2006</b> ) .....	39
<b>Figure 20</b> : Evolution de la teneur des HAPs pour chaque site, en 2007 et 2008 ( <b>Ndiaye et al, 2012</b> ) .....	40

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : Récapitulatif des HAP émis par les différentes sources naturelles (Bourcereau) .....	6
<b>Tableau 02</b> : Récapitulatif des HAP émis par les différentes sources anthropiques (Bourcereau) .....	7
<b>Tableau 03</b> : Caractéristiques des principaux pics d'absorption des HAP (Dahnoun, 2013) .....	36
<b>Tableau 04</b> : Gradient de méthanol pour l'élution des HAP par HPLC .....	37
<b>Tableau 05</b> : Teneur des HAPs dans les moules recueillies en 2007 (Ndiaye et al, 2012) .....	41
<b>Tableau 06</b> : Teneur des HAPs dans les moules recueillies en 2008 (Ndiaye et al, 2012) .....	41
<b>Tableau 07</b> : Teneurs moyennes en métaux traces et en benzo(a)pyrène dans la chair de la palourde des côtes tunisiennes (Chouba et al, 2010) .....	42

### Introduction

L'environnement marin est devenu aujourd'hui menacé par le développement des activités humaines. Ce dernier subit depuis plusieurs années des agressions majeures. En effet, les mers et les océans ont été toujours considérés par l'homme comme une solution pour débarrasser de tout ce qui est nocif et toxique et représentaient ainsi, le réceptacle final et un réservoir important pour tous les déchets anthropiques (**Chalghmi, 2015**).

La mer méditerranée est soumise à une très forte pression humaine, Elle reçoit d'une manière chronique une charge polluante très importante provenant des eaux usées des grandes unités urbaines et industrielles et peuvent menacés la faune et la flore du littoral. Le littoral algérien est comme la majorité des zones côtières méditerranéennes, connaît de sérieux problèmes environnementaux (**Nait Mohand, 2016**).

Les hydrocarbures pétroliers sont parmi les déchets les plus toxiques, déversés en mer. Ils auront comme conséquence une pollution importante et précoce à l'échelle globale. La méditerranée est considérée comme une des surfaces marines les plus affectées par la contamination pétrolière. Le phénomène de la pollution par les hydrocarbures a une importance de plus en plus grande sur les plans : environnemental, sanitaire, et économique. Cette pollution peut avoir un impact soit direct ou indirect, sur la santé humaine et l'équilibre des écosystèmes aussi bien marins que continentaux. Les HAP dangereux pour la santé car cancérogènes, sont des hydrocarbures aromatiques constitués de plusieurs cycles benzénique accolés selon diverses formes. La majorité des HAP proviennent des processus de pyrolyse et en particulier de la combustion incomplète de la matière organique ou de composés carbonés (**Dahnoun, 2013**).

L'évaluation de la pollution marine par les hydrocarbures aromatiques polycycliques nécessite des analyses quantitatives et qualitatives très coûteuses, mais qui sont nécessaires pour l'évaluation de cette pollution. Ces analyses permettent, de connaître le niveau de pollution, de mesurer les concentrations des polluants présents et par mesure indirecte (analyses statistiques) d'en mesurer les effets sur les êtres vivants.

Aujourd'hui, les milieux aquatiques drainent et recueillent la majorité de contamination chimique. Cependant, bien qu'il existe une altération de la biodiversité dans certains de ces milieux, on constate que les organismes qui subsistent se sont adaptés à ces stress constants. Certaines espèces sont même capables de survivre et de se reproduire dans des milieux considérablement dégradés. L'adaptation des êtres vivants à ces milieux se traduit, entre autres, par la mise en place et le développement de systèmes de défense (**Khati Hadj Moussa, 2009**)

L'objectif principal de notre travail est d'évaluer le niveau de la pollution par les HAP dans la baie de Bousmail la wilaya de Tipaza, en utilisant un organisme marin ayant un potentiel utilisable en biosurveillance de l'environnement, il s'agit de la moule *Mytilus galloprovincialis*.

Notre étude est fondée sur trois grandes parties :

- **La première partie :** aborde une synthèse bibliographique sur les hydrocarbures aromatiques polycycliques, leurs origines, et leur devenir dans l'environnement ainsi que des généralités sur les mollusques bivalves.
- **La deuxième partie :** est consacrée à une présentation de la zone d'étude, des caractéristiques générales de notre matériel biologique la moule (*Mytilus galloprovincialis*), le protocole expérimental et les différentes techniques d'analyse.
- **La troisième partie :** présente une discussion de l'ensemble de résultats des travaux réalisés dans cet axe de recherche et nous concluons ce travail par des perspectives.

## I. La pollution marine par les hydrocarbures aromatiques polycycliques

### I.1. La pollution marine :

Le terme de pollution marine fait l'objet d'une définition, reconnue par l'ensemble de la communauté scientifique internationale (GESAMP), comme étant "l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans le milieu marin (y compris les estuaires) occasionnant des effets néfastes tels que des nuisances envers les ressources biologiques, des risques pour la santé de l'homme, des entraves aux activités maritimes (y compris la pêche), une altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et une dégradation des valeurs d'agrément" (**Boumaza, 2014**).

### I.2. Généralités sur les hydrocarbures :

D'origine organique, les hydrocarbures se forment à partir de débris d'algues, de résidus de la faune marine et de plancton. Alors le vieillissement, la température et la pression (qui s'exerce sur les fonds marins) transforment cette substance organique en hydrocarbures. Les hydrocarbures (pétrole brut et gaz naturels) sont des molécules composées uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène. Selon l'architecture de la liaison entre l'atome du carbone et d'hydrogène, on distingue trois séries:

- Les alcanes
- Les hydrocarbures aromatiques
- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (**Battaz, 2009**).

#### I.2.1. Les alcanes : ils sont divisés en trois classes :

- **Les alcanes linéaires** : ils constituent la classe la plus abondante des hydrocarbures, la longueur de chaîne est variée entre 7 à 40 atomes de carbone, la formule des alcanes est :  $C_nH_{2n+2}$
- **Les alcanes ramifiés** : ce sont des composés on les trouve dans le pétrole brut, sont moins nombreux, les plus abondants dans cette classe sont les iso-alcanes, les autres composés ramifiés tels que le groupement méthyle, et les polyramifiés tels que les isoprénoides
- **Les cycloalcanes** : cette classe est composée de 5 à 6 atomes saturés, et représentent entre 30 à 50 % des hydrocarbures d'un pétrole brut. (**Battaz, 2009**).

#### I.2.2. Les hydrocarbures aromatiques :

Les hydrocarbures aromatiques sont moins abondants que les alcanes, et ne représentent que 10 à 30 % des hydrocarbures totaux d'un brut pétrolier. De formule générale  $C_nH_{2n-6}$ , ils sont caractérisés par la présence d'au moins d'un cycle à six atomes de carbone, présentant un système particulier de liaison, qui confère à la molécule une grande stabilité, ainsi que certaines propriétés chimiques spécifiques très recherchées, dans les industries des parfums, des colorants et pharmaceutiques (**Rouidi, 2014**).

**I.2.3. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques :**

Les HAP constituent une classe de composés organiques particulière et probablement la plus étudiée en raison de leur caractère cancérigène et mutagène. Ce sont des molécules relativement stables constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène organisés en cycles aromatiques accolés entre eux. Compte tenu de leur stabilité dans l'environnement et de leur toxicité, 16 d'entre eux ont été déclarés comme polluants prioritaires par l'USEPA (Agence de Protection de l'Environnement des Etats-Unis) et par l'EEA (Agence de l'Environnement Européenne) (**Alexandre, 2006**).

Les propriétés physiques des HAP (**Annexe 01**) varient selon leur masse moléculaire et leur structure moléculaire. A l'exception du naphthalène, leur solubilité dans l'eau est très élevée. Parallèlement, leur coefficient de partage octanol/eau ( $K_{ow}$ ) est relativement faible, témoignant d'un important potentiel d'adsorption sur les matières organiques particulaires ou dans l'atmosphère, l'eau, les sols et les aliments.

L'une des raisons ayant conduit au classement des HAP dans la liste des polluants prioritaires de l'US-EPA et de l'EEA, est le caractère toxique de certains d'entre eux. Ce sont des molécules biologiquement actives qui, une fois accumulées dans les tissus organiques, se prêtent à des réactions de transformation sous l'action d'enzymes conduisant à la formation de dihydrodiols et/ou d'époxydes (**Alexandre, 2006**).

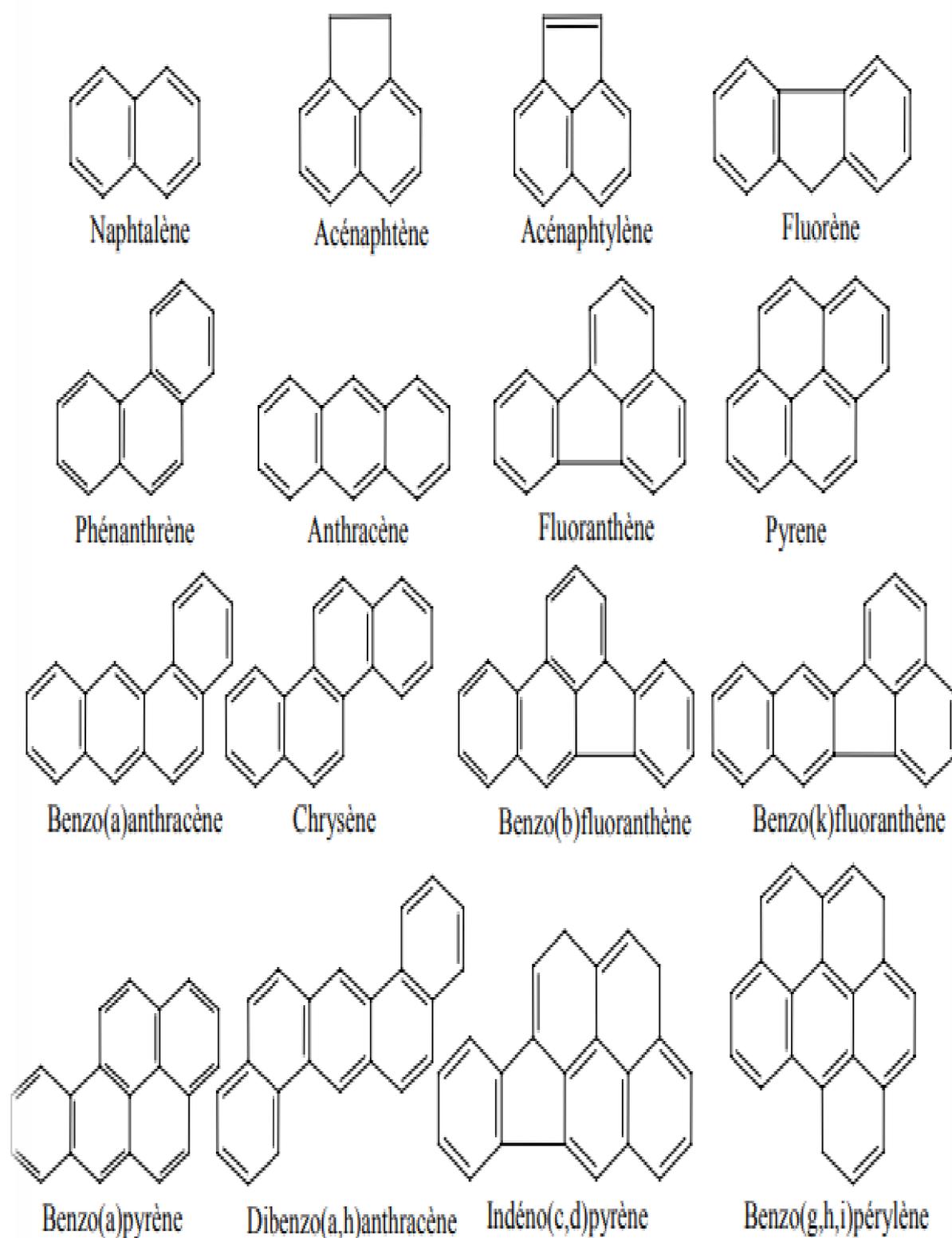


Figure 01 : La Structure des 16 HAP de la liste EPA (Frederic, 2004)

### I.3. Les sources des HAP dans le milieu marin

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques représentent la plus importante source de pollution des eaux océaniques. Cette pollution peut être accidentelle ou volontaire. Ainsi les sources des hydrocarbures dans le milieu marin peuvent être naturelles ou anthropiques :

#### I.3.1. Les sources naturelles

Les HAP sont présent à l'état naturel dans les combustibles fossiles tels que pétrole, gaz, charbon. Ils sont émis lors des incendies naturels, notamment les incendies de forêt. Des HAP peuvent également être émis lors des éruptions volcaniques. Certains peuvent être synthétisés de façon naturelle par les végétaux, les bactéries et les algues (**Bourcereau, 2010**).

**Tableau 01** : Récapitulatif des HAP émis par les différentes sources naturelles (**Bourcereau, 2010**)

Sources	HAP concernés
Combustibles fossiles	Acénaphthène, Anthracène (12g/kg de charbon), Benzo(a)pyrène, Benzo(k)fluoranthène, Chrysène, Dibenzo(a,h)anthracène, Fluorène, Indéno(1,2,3-c,d)pyrène
Incendies	Acénaphthène, Benzo(a)pyrène, Indéno (1,2,3-c,d)pyrène
Eruptions Volcaniques	Acénaphthène, Benzo(a)pyrène, Indéno(1,2,3-c,d)pyrène
Synthèse naturelle	Benzo(a)pyrène (plantes, bactéries et algues), Indéno (1,2,3-c,d)pyrène (feuilles d'arbres 26 à 234µg/kg, feuilles de tabac 18 à 38 µg/kg ( <b>HSDB, 2000</b> ) , terreau 5µg/kg et fumier de cheval 50 µg/kg ( <b>Verschueren, 1996b</b> ))

## I.3.2. Les sources anthropiques

La pollution anthropique par les hydrocarbures résulte de plusieurs activités liées à l'extraction du pétrole, à son transport et en aval à l'utilisation de produits finis (carburants, lubrifiants,...etc.), (Chalghmi, 2015).

**Tableau 02** : Récapitulatif des HAP émis par les différentes sources anthropiques (Bourcereau, 2010)

Sources	HAP concernés
Combustions incomplètes	Acénaphthène, Anthracène (échappements d'automobiles (0,02 à 6,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS, 1998), Benzo(a)pyrène, Benzo(b)fluoranthène, Benzo(k)fluoranthène, Chrysène, Dibenzo(a,h)anthracène (quantité libérée dans l'atmosphère 8,3 $\mu\text{g}/\text{km}$ et de 0,33 $\mu\text{g}/\text{km}$ parcouru pour des automobiles munies et non munies d'un pot d'échappement catalytique (HSDB, 2001a), Fluorène, Naphtalène, Phénanthrène, Pyrène
Raffinage du pétrole	Acénaphthène, Anthracène, Benzo(a)pyrène, Benzo(b)fluoranthène, Benzo(k)fluoranthène, Fluorène (2,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en France (OMS, 1998), Indéno[1,2,3-c,d]pyrène
Incinérateurs	Anthracène, Chrysène, Fluoranthène, Indéno[1,2,3-c,d]pyrène
Revêtements routiers	Anthracène, Benzo(a)pyrène, Benzo(b)fluoranthène (10g/kg d'asphalte), Dibenzo(a,h)anthracène, Fluorène, Indéno[1,2,3-c,d]pyrène (8g/kg de goudron), Pyrène
Charbon	Acénaphthène, Anthracène, Benzo(a)pyrène, Benzo(b)fluoranthène, Benzo(k)fluoranthène, Naphtalène
Huiles	Benzo(a)pyrène, Benzo(k)fluoranthène, Dibenzo(a,h)anthracène, Fluorène, Phénanthrène, Pyrène

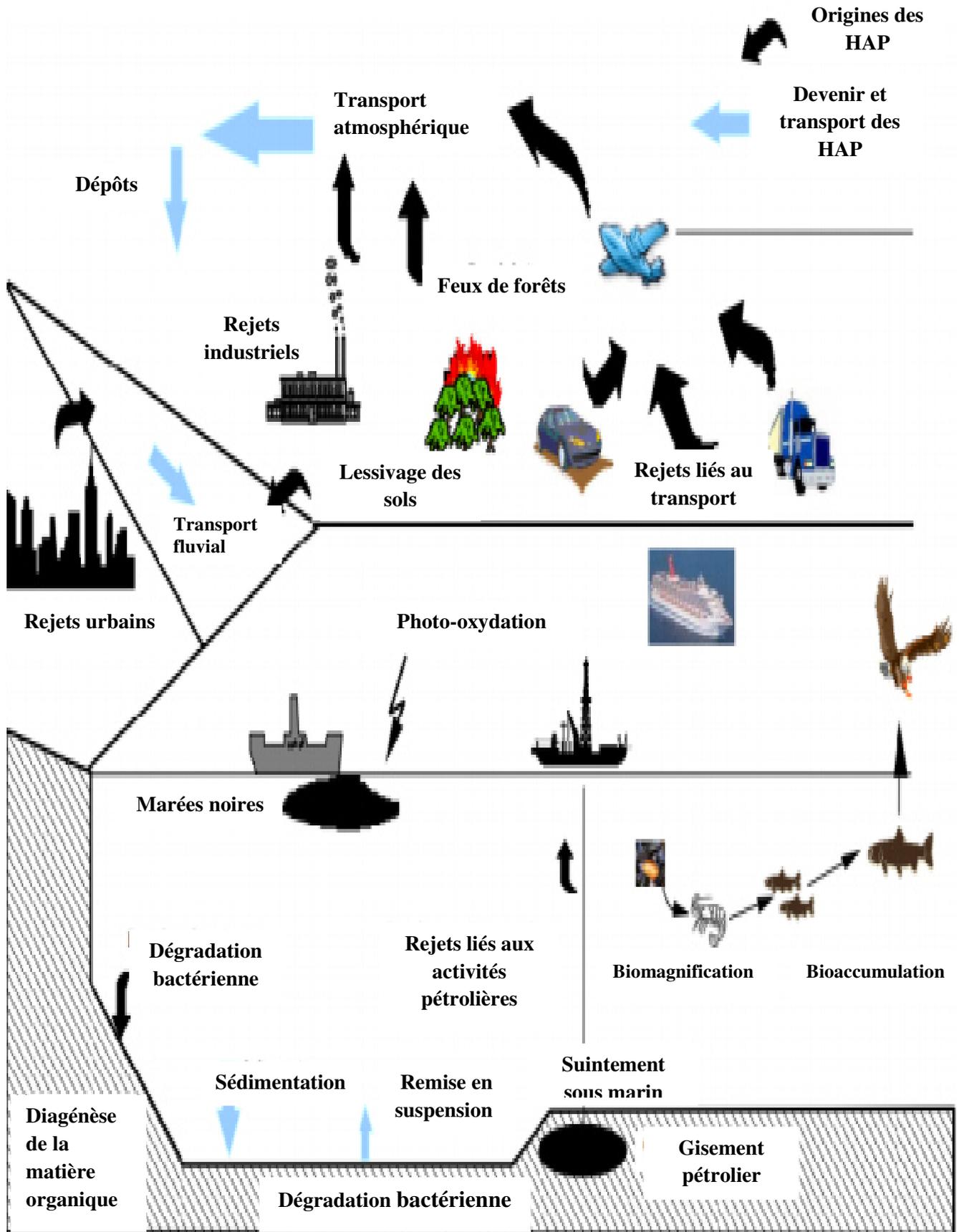


Figure 02 : Schéma récapitulatif des sources naturelles et anthropiques des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le milieu marin (Dahnoun, 2013)

## **I.4. Evaluation de la toxicité des HAP sur l'homme, la faune et la flore aquatique**

### **I.4.1. Les sources d'exposition aux HAP**

Les HAP qui vont contaminer l'environnement sont d'origine naturelle ou anthropique ; les rejets d'hydrocarbures pétroliers dans les eaux sont une source de pollution importante pour l'environnement. En raison de leur pouvoir d'adsorption sur les matières particulaires, ils se retrouvent dans les sédiments où ils constituent un réservoir de contamination des **organismes marins** ou d'eau douce.

- **Chez l'homme**, la principale voie d'exposition aux HAP est l'ingestion alimentaire de produits contaminés par dépôt atmosphérique (végétaux), par accumulation dans certaines espèces animales comme les mollusques ou par des HAP formés au cours de la préparation des aliments, suivie de l'inhalation de l'air ambiant (intérieur ou extérieur) (SCF, 2002).

Dans ce contexte plusieurs autorités nationales et internationales ont met un plan concerne les valeurs limites en hydrocarbures dans les effluents liquides, les poissons et les fruits de mer, pour protéger, la santé humaine, la faune, la flore, donc l'environnement en générale (annexe 02 et 03).

### **I.4.2. La toxicité des HAP chez l'homme**

#### **- Le métabolisme**

Les HAP sont métabolisés en une grande variété de composés (formes hydroxylées, époxydes, quinones, ...) par l'action des enzymes à cytochrome P450 et celle de l'époxyde hydrolase. Ces composés peuvent être ensuite détoxifiés avant d'être excrétés par la bile, les fèces et l'urine sous forme de métabolites conjugués avec le glutathion ou l'acide glucuronique. Les métabolites impliqués dans les processus de cancérogenèse, en particulier dans la formation d'adduits à l'ADN sont les époxydes-diols, les plus actifs, mais également les dérivés des formes quinoniques. Les études de métabolisme des HAP, en particulier du B(a)P, réalisées chez l'animal comme sur des cellules humaines en culture semblent montrer que le mécanisme de métabolisation des HAP observé chez l'animal est également pertinent chez l'homme (SCF, 2002).

#### **- La Toxicité orale aiguë**

Très peu d'études ont été réalisées pour évaluer la toxicité orale aiguë des HAP. Elle apparaît peu élevée ; ainsi pour le naphthalène, les doses létales 50 rapportées chez la souris et le rat sont respectivement de l'ordre de 350 et 2500 mg/kg p.c (Afssa, 2003).

#### **- La Génotoxicité et cancérogenèse**

Un certain nombre d'HAP, pris individuellement ou en mélange complexe, se sont montré cancérogènes chez l'animal de laboratoire, génotoxiques et mutagènes dans des essais in vitro et in vivo. Dès 1983, le Centre International de Recherche sur le Cancer

(CIRC/IARC) avait évalué le potentiel cancérigène de 33 HAP et en avait classé 12 en groupe 2A ou 2B et 8 en groupe 3 (IARC, 1983) (annexe 04).

Les principaux effets cancérigènes du B(a)P ont été observés au niveau du foie et du pré-estomac (forestomach) à la dose de 10 mg/kg p.c./j. Mais il a également été observé l'apparition de sarcomes des tissus mous au niveau de l'œsophage, de la peau et des glandes mammaires ainsi que des tumeurs du canal auditif, de la cavité buccale, de l'intestin grêle et des reins. Cette dose, la plus faible associée à une augmentation significative du nombre de tumeurs dans ce protocole a été considérée comme la **LOAEL** de l'étude. Il est à noter qu'à cette dose de 10 mg/kg p.c./j l'incidence de certaines tumeurs est déjà supérieure à 50 % des individus (TD50 : Tumorigene Dose 50) (Afssa, 2003).

#### - Epidémiologiques

Plusieurs études épidémiologiques ont montré une augmentation de l'incidence de tumeurs pulmonaires et cutanées chez les travailleurs exposés à des mélanges complexes (cokeries, raffineries, fonderies) contenant principalement des HAP. Cependant, il existe très peu d'études publiées mettant en évidence l'association d'une exposition par voie orale aux HAP, notamment par exposition alimentaire, avec une augmentation de l'incidence de cancer (SCF, 2002).

#### - Autres effets

Les études chez l'animal ont montré que certains HAP (administrés à des doses très supérieures à celles induisant un effet cancérigène) pouvaient avoir des effets sur le développement fœtal dans certaines conditions expérimentales et entraîner des troubles de la fertilité sans qu'il ait été possible d'établir une dose sans effet néfaste (NOAEL).

Des effets sur le système immunitaire par des mécanismes d'immunosuppression ou d'immunopotentialisation sont suspectés mais la plupart des études disponibles sur l'animal portent sur quelques HAP administrés par voie parentérale. Chez les travailleurs exposés à des mélanges de HAP, on observe une altération de l'état immunitaire (Afssa, 2003).

### I.4.3. La toxicité des HAP chez la faune et la flore marine

Les produits pétroliers rejetés dans le milieu marin ont des répercussions énormes sur la faune et la flore marines. En milieu marin tous les niveaux trophiques sont vulnérables à la contamination par les hydrocarbures commençant par les planctons jusqu'aux mammifères marins. En effet toute altération affectant le plancton se répercutera sur les niveaux trophiques plus élevés (Tukivène, 1995).

Les mollusques et les crustacés de mer (huître, moule, crevette, crabe) sont les plus susceptibles d'accumuler les hydrocarbures à cause de leur mode de vie. Ils ont une aptitude naturelle à bioaccumuler des contaminants même si la concentration est faible dans le milieu pollué ou si la source est éliminée (Chalghmi, 2015).

Le colmatage de la surface par les nappes des hydrocarbures peut entraîner l'absence d'échanges gazeux à l'interface. Le pétrole peut également se «dissoudre » sous forme de gouttelettes dans la masse d'eau, voire sédimenter sous la forme de fractions vieilles et ainsi atteindre les organismes pélagiques et benthiques. La contamination est généralement mécanique (alourdissement du corps, trouble des mouvements, trouble de respiration) ce qui causent dans la majorité des cas une mortalité immédiate. Certaines espèces éprouvent des changements de comportements ou des problèmes de santé à court terme, d'autres espèces éprouvent des effets toxiques instantanés et aigus parfois mortels (**OMI/PNUE, 2002**).

La génotoxicité, la cancérogénicité, l'effet sur la reproduction et le développement (**Rice et al, 2000**) et l'immunotoxicité de certains hydrocarbures tels que les HAP ont été principalement mis en évidence à des degrés divers selon les HAP. Les mécanismes de toxicité des hydrocarbures sont en général liés à leur métabolisation. (**Reynaud et Deschaux, 2006**).

Une contamination par les HAP peut aussi affecter le système immunitaire des organismes. Des échantillons prélevés in situ et in vivo ont montré une diminution du nombre d'hémocytes circulants (**Fournier et al, 2002**) pouvant provenir de la lyse cellulaire, d'une diminution du recrutement ou du départ des cellules du système circulatoire vers les tissus (**Pipe et Coles, 1995**).

## **I.5. Réglementation :**

### **I.5.1. L'émergence de la protection du milieu marin en droit algérien :**

Avec la promulgation de la loi relative à la protection de l'environnement, l'année 1983 a marqué, en Algérie, l'émergence de la protection de la mer méditerranée, à la fois comme prolongement d'une exigence du droit international de l'environnement, et comme réponse à un besoin social effectivement ressenti, consistant à réagir devant les agressions multiples subies par la mer.

### **I.5.2. La protection de la mer méditerranée en droit Algérien : prolongement d'une exigence du droit internationale de l'environnement :**

Le droit international de l'environnement intervient de plus en plus pour réglementer l'usage des espaces maritimes en cherchant à y assurer salubrité. Afin de mettre en application un tel principe, l'Algérie a ratifié un certain nombre de conventions régionales et internationales élaborées pour prévenir et réprimer la pollution des eaux de la mer jugée, par la communauté internationale, comme contraire à la salubrité publique.

#### **I.5.2.1. La position de l'Algérie à l'égard des conventions à caractère régional :**

Inquiets de voir se dégrader la mer qui constitue leur lien naturel et leur bien commun, les pays riverains de la méditerranée, réunis à Barcelone en janvier 1975 sous l'égide du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), décidèrent de lancer un plan d'action pour la méditerranée (PAM) ayant pour objectif général la mobilisation des efforts

communs des états côtiers de la méditerranée en vue de protéger la mer contre la pollution. Il y a lieu de souligner qu'il s'agit là du seul mécanisme de coopération régional auquel participent les pays riverains de la méditerranée. La partie juridique de ce mécanisme est composée de la convention de Barcelone pour la protection de la mer méditerranée, signée en février 1976 et de ses quatre protocoles :

-Le protocole relatif à la prévention de la pollution de la mer méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et les aéronefs.

-Le protocole relatif à la coopération en matière de lutte contre la pollution de la mer par les hydrocarbures et autres substances nuisibles en cas de situation critique, tous deux adoptés à Barcelone le 16 février 1976.

-Le protocole d'Athènes relatif à la protection de la mer méditerranée contre la pollution d'origine tellurique, adopté le 16 mai 1980.

-Le protocole de Genève du 3 avril 1982 relatif aux aires spécialement protégées de la méditerranée.

#### **I.5.2.2. La position de l'Algérie à l'égard des conventions à caractère international :**

Parmi les conventions internationales relatives à la protection de la mer, ratifiées par l'Algérie, il convient de citer :

-Celle concernant la prévention de la pollution des eaux de la mer par les hydrocarbures (Décret n° 63-344 du 11 septembre 1963 portant adhésion à la convention de Londres sur la prévention de la pollution des eaux de la mer par les hydrocarbures).

-Celle portant création d'un fonds international d'indemnisation pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures (Ordonnance n°74-55 du 13 mai 1974 portant ratification de la convention portant création d'un fonds international d'indemnisation pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures).

-Enfin celle relative à la prévention de la pollution par les navires (Convention internationale de Londres du 24 novembre 1975 pour la prévention de la pollution par les navires telle que modifiée par son protocole du 17 février 1978, ratifiée par l'Algérie en 1988) (**kahloula, 1995**).

## II. La surveillance environnementale du milieu marin

### II.1. La surveillance environnementale :

« **La surveillance de l'environnement** » est l'évaluation de la qualité de l'environnement par la mesure d'un ensemble de paramètres choisis de façon régulière. Au cours des dernières décennies, les programmes de surveillance environnementale étaient concentrés sur la mesure des variables physiques et chimiques et ciblaient occasionnellement les variables biologiques. Cette approche reste toujours adoptée par beaucoup de nations jusqu'à aujourd'hui (**Taleb, 2007**).

La surveillance environnementale a deux objectifs principaux :

- La préservation de la santé humaine et qui représente un objectif à court terme.
- La préservation de l'environnement qui permet le maintien de la biodiversité de l'environnement et donc des ressources potentielles pour l'homme (ex : les aliments, les médicaments,...).

Cette surveillance s'effectue à deux niveaux :

- Au niveau des écosystèmes pour vérifier leur qualité et notamment leur biodiversité.
- Au niveau de divers milieux (eaux, sédiments, flore et faune) pour apprécier la présence et la quantification des principaux polluants.

Le choix des polluants à retenir dans ces études devra tenir compte notamment de leur abondance, de leur toxicité et de leur toxicité dans l'environnement marin (**Pellerin et al, 2005**).

#### II.1.1. Les principales méthodes de surveillance :

La surveillance de la qualité de l'environnement peut se faire à l'aide principalement de quatre méthodologies :

- Par une détermination de la composition floristique et faunistique du milieu (les indices de qualité),
- Par la détection et la quantification des polluants dans les organismes (des organismes bio accumulateurs),
- Par la détection et la quantification des polluants dans les milieux physique (eaux et sédiments),
- Par le suivi de la modification de certains paramètres biologiques (les bio marqueurs) (**Amiard et al, 1998**).

#### II.1.2. Les réseaux de surveillance de la qualité de l'environnement marin :

L'observation de la qualité du milieu marin, l'évaluation des niveaux de contamination chimique, et de leurs variations spatiales et temporelles nécessitent l'existence d'outils analytiques performants et fiables et la mise en œuvre de programmes de surveillance, tel que les réseaux français de surveillance : Le Réseau National d'Observation de la Qualité

du Milieu Marin (RNO), le Réseau microbiologique (REMI) et le Réseau Phytoplancton Toxique (REPHY) (Pellerin *et al.*, 2005 ; Marchand, 2002).

En Algérie, il existe plusieurs programmes de surveillance de l'environnement marin, tel que le réseau de surveillance environnemental (RSE) au niveau du littoral oranais, créé en 2002 et qui a pour objectif de contrôler la pollution des côtes oranaises, en évaluant les niveaux et les tendances de la contamination chimique du littoral, il intègre également des mesures d'effets biologiques des contaminants, ainsi le contrôle de la qualité microbiologique des eaux côtières oranaises (Boutiba *et al.*, 2008).

La surveillance des contaminants chimiques est effectuées dans les mollusques bivalves (moules), dans les poissons (merlu, sardine,...etc.) ainsi que dans l'eau et les sédiments marins.

Les contaminants chimiques régulièrement mesurés sont les métaux (Pb, Cu, Zn, Cd,...), les organochlorés (insecticides résidus du DDT et lindane, PCB) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

## **II.2. La bio indication :**

La bio indication désigne l'évaluation de la qualité des milieux à l'aide de bio indicateurs c'est à-dire d'organismes vivants connus par leurs capacités à refléter l'état des écosystèmes et à identifier les problèmes et les risques encourus par ceux-ci (David, 2009).

## **II.3. Le bio indicateur :**

Un bio indicateur peut être un individu, une partie d'individu, ou même une communauté d'individus renfermant de l'information sur la qualité du milieu. Étant donné la non-spécificité des réactions de la plupart des organismes en présence d'un stress environnemental, la tâche d'un bio indicateur est d'avantage de mettre en évidence les effets physiologiques affectant les organismes sous l'influence des conditions environnementales stressantes que de mesurer directement les concentrations des différents polluants impliqués.

Dans ce contexte un bio indicateur peut être défini comme une espèce qui, par son absence, sa présence, son abondance ou sa distribution, nous donne des informations de nature qualitative sur l'état d'un environnement ou d'une partie de celui-ci (David, 2009).

## **II.4. Généralités sur les bivalves :**

### **II.4.1. Définition des bivalves mollusques :**

Les mollusques sont des invertébrés aquatiques, en grand majorité marins, bien caractérisée par la présence constante de deux valves mobiles autour d'une charnière, qui protègent leurs corps en totalité ou en partie. Ces animaux vivent enfouis dans le sédiment (palourdes, coques) ou en pleine eau (moules, huîtres). Elles sont représentées par environ 7000 espèces adaptées aux milieux aquatiques. Ces bivalves se rencontrent dans les eaux

saumâtres et sont beaucoup plus nombreux et plus diversifiés dans les milieux marins. Ils jouent un rôle non négligeable dans les chaînes alimentaires (**Drif, 2012**).

#### II.4.2. Morphologie et anatomie des bivalves:

Les bivalves ou lamellibranches ou pélécy-podes est une classe de mollusques aquatiques à symétrie bilatérale. Le corps est comprimé latéralement. Il est protégé par une coquille bivalve (ex: moule). Les deux valves sont unies par un ligament abducteur (conchylien) et de deux muscles adducteurs souvent inégaux. Elles sont articulées dorsalement, dans le plan sagittal par une charnière où les dents d'une valve pénètrent dans les fossettes de l'autre valve (**Beaumont et Truchot, 2004**).

La partie principale du corps est appelée masse viscérale et représentée par une cavité entourée par une couche de tissu:

- Le manteau délimitant une cavité palléale renfermant.
- Un système nerveux élémentaire.
- Un système circulatoire.
- Des organes reproducteurs et excréteurs.

Son extrémité antérieure possède une tête atrophiée munie d'une bouche et d'un pied musculieux servant à la locomotion et à l'adhérence. À l'extrémité postérieure baignent, selon les espèces une ou deux branchies lamelleuses couvertes de cils vibratiles filtrant les particules en suspension dans l'eau, grâce à deux tubes: le siphon inhalant et le siphon exhalant qui respectivement aspire et rejette l'eau (**Beaumont et Truchot, 2004**).

#### II.4.3. Biologie des bivalves:

Les bivalves sont des animaux fouisseurs qui se réfugient rapidement dans le sable grâce au pied qui s'allonge et se rétracte alternativement et très rapidement. Ils ne laissent sortir que l'extrémité de leur siphon, qui assure la nutrition. Ce sont des consommateurs de microphages, et qui se nourrissent de phytoplancton et de particules de matières organiques en suspension (**Wade, 1964**). Ces mollusques colonisent les zones de déferlement des vagues, là où l'hydrodynamisme favorise la présence des particules en suspension empêchant ainsi la sédimentation rapide de la matière organique. L'eau de mer entrant par le siphon inhalant est filtrée par les branchies. Les particules sont ainsi transportées vers la bouche par les ciliés vibratiles et triées par des palpes labiaux avant d'être ingérées. La respiration est donc branchiale (**Doumenc, 1993**).

#### II.4.4. Ecologie des bivalves:

L'habitat des bivalves est nécessairement en accord avec deux exigences fondamentales:

- Leur respiration qui est exclusivement branchiale, ce qui en fait d'eux des animaux rigoureusement aquatiques.
- Leur mode d'alimentation les oblige à vivre dans des eaux dont ils peuvent extraire les particules alimentaires (**Drif, 2012**).

#### **II.4.5. Mode de vie :**

Les monomyaires sont souvent fixés aux roches par leurs valves gauches, plus grandes et plus bombées que la droite (huîtres). Ils se regroupent en essaims à l'aide de leur byssus. Certains bivalves peuvent nager, les uns (pecten) par claquement brusque des valves, chassant ainsi l'eau vers l'arrière et avançant par réaction. Les autres par contraction du manteau et expulsion brusque de l'eau, à la manière des seiches ou des méduses. Il faut dire que l'influence du milieu sur la morphologie des bivalves est considérable (**Drif, 2012**).

#### **II.4.6. Régime alimentaire :**

Les bivalves peuvent exercer une certaine sélection de leur nourriture. Périodiquement les palpes rejettent de petites quantités de nourriture. Les pseudo-fèces sont expulsées à partir de la cavité du manteau, parfois suite aux battements vigoureux des deux valves. Il semblerait que c'est la nutrition optimale pour les bivalves. Cependant, le phytoplancton forme sans aucun doute un des constituants majeurs de ce régime. D'autres sources d'alimentations peuvent être absorbées telles que, des particules fines de matières organiques inertes (détritiques) associées aux bactéries et aussi à la matière organique dissoute (**Drif, 2012**).

#### **II.4.7. Cycle de développement :**

La reproduction est une fonction majeure chez les bivalves qui peuvent consacrer une grande part de leur énergie juste avant la ponte. Les tissus reproducteurs représentent ainsi 60 % de la masse de chair (**Duchemin, 2007**).

La reproduction des bivalves se fait dans l'eau de mer. Les sexes sont séparés, les gamètes sont libérés et fécondés dans le milieu aquatique. Les femelles sécrètent une substance appelée fertilisine qui déclenche l'éjaculation chez les mâles. L'œuf se développe dans l'eau. Il deviendra une larve capable de nager grâce à une couronne de cils appelée le velum. Cet organe lui sert également à se nourrir de bactéries, d'algues et d'animaux microscopiques. Après environ un mois de vie planctonique, le jeune bivalve s'installe au fond à proximité des adultes. Il faut dire que le cycle de vie des moules est assez complexe. Il comporte quatre stades de développement:

- Stade 1: Les glonchidies,
- Stade 2: Parasitaires,
- Stade 3: Juvénile,
- Stade 4: Adulte.

#### II.4.8. Classification des bivalves:

Les bivalves sont des mollusques, les plus intéressants au point de vue alimentaire. Les bivalves se trouvent sur les côtes de la Manche, de l'océan. On les trouve sur les marchés de grandes villes, mais le nombre des espèces vendues ou consommées est assez limité. Contrairement sur le littoral de la Méditerranée, tous les mollusques du côté atlantiques sont d'une taille suffisante et sont recueillis comme consommables.

La classification des bivalves est basée sur de nombreux critères parmi lesquels, la forme de la coquille de la charnière et la structure des branchies (Bellon, 1962).

#### II.5. Le processus de bioaccumulation des polluants dans le milieu marin

##### - Accumulation des hydrocarbures chez les bivalves

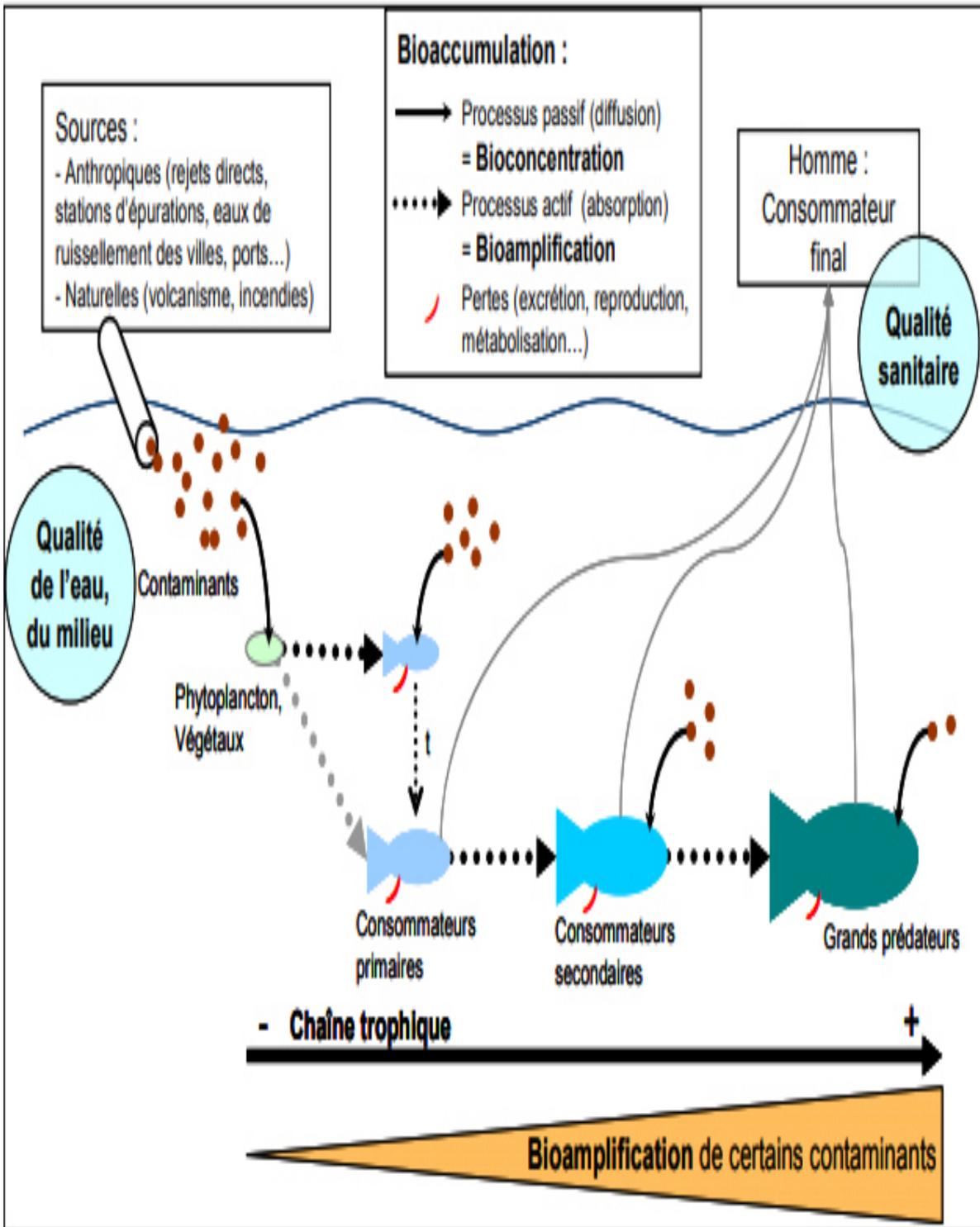
Du fait de leur caractère hydrophobe ; les hydrocarbures ingérés par un organisme vont être retenus dans les réserves lipidiques tissulaires (Lacaze, 1980) ou biotransformés puis excrétés. La bioaccumulation de ces composés organiques concerne principalement les organismes invertébrés lesquels ne possèdent que de faibles capacités de métabolisation (Varanasi et al, 1985), Les bivalves diffèrent par leur taux d'accumulation en hydrocarbures, qui résulte probablement de différences dans les taux de filtration et les teneurs en lipides (Bourgeat, 2002).

L'accumulation des substances chimiques dans les organismes dépend de plusieurs mécanismes :

➤ **Bioconcentration** : la voie de pénétration la plus rapide étant une pénétration par simple absorption des polluants se trouvant dans l'eau de mer à travers la surface de contact et de respiration (branchies, siphons respiratoires) (Fisher, 1995). Une bioconcentration de ces polluants au niveau tissulaire est ainsi possible. Le facteur de bioconcentration (BCF) peut être défini comme le rapport de la concentration d'un polluant dans un organisme à sa concentration dans l'eau : dans le cas des hydrocarbures (HC) par exemple, on aura  $BCF = [HC] \text{ organisme} / [HC] \text{ eau}$ .

➤ **Bioaccumulation** : c'est le processus par lequel un organisme vivant absorbe une substance à une vitesse plus grande que celle avec laquelle il l'excrète ou la métabolise. Les micropolluants s'accumulent dans les organismes aquatiques à travers différents mécanismes : via l'absorption directe de l'eau par les branchies ou la peau (bioconcentration), via l'absorption des particules en suspension (ingestion) et via la consommation d'aliments contaminés (bioamplification) (Meknachi, 2010).

➤ **Bioamplification** : si la concentration du contaminant connaît un accroissement au fur et à mesure qu'il circule vers les maillons supérieurs d'un réseau trophique on parle de bioamplification qui peut être considérée comme un cas particulier de la bioaccumulation (Fisher, 1995).



**Figure 03 :** Le processus d'accumulation des contaminants au niveau de la chaîne trophique marine (Meinesz, 2011)

## I. Généralités sur la zone d'étude

### I.1. Localisation géographique

La baie de Bouismail est située à l'ouest de la wilaya d'Alger environ 50 km, dans la wilaya de Tipaza, elle est limitée :

- Au nord par la mer Méditerranéenne.
- Au sud par les communes suivantes : Koléa, Chaiba, Attatba, Sidi Rachede, Hadjout et Nador.
- A l'est par Zéralda (wilaya d'Alger).
- A l'ouest par la commune de Chérrhell.

Dans ce vaste domaine maritime, se trouve incluse la baie d'el Djamilia, elle s'étend sur une superficie 350 km<sup>2</sup>, elle est limitée : à l'Est par Ras Arcata et à l'Ouest par la presqu'île de Sidi Fredj est caractérisée par une côte basse sableuse et de nombreuses formations dunaires (Chikr et Badache, 2016).



Figure 04 : Localisation géographique de la zone d'étude (Google earth, 2020)

## I.2. Les conditions météorologiques dans la baie de Bousmail

### I.2.1. Le climat

Le facteur climatique influe directement sur les ressources hydriques, la couverture végétale, la population...etc. du fait de sa proximité de la mer méditerranée, la baie de Bouismail est caractérisée par un climat sub-humide, un hiver humide et un été chaud et sec (**Ouahil, 2017**).

### I.2.2. Le vent

Le vent est une des forces physiques qui régissent les courants et les houles. La baie de Bouismail est caractérisée par une périodicité des vents qui se traduisent par une prédominance :

-Des vents d'ouest en hiver et printemps induisant des houles de grandes amplitudes d'une vitesse moyenne de 2m/s.

-Des vents de l'est en été et début d'automne avec des faibles amplitudes, avec une vitesse moyenne supérieur de 2m/s et peuvent être très violents de 15 à 20 m/s durant 3 jours consécutifs (**Chikr et Badache, 2016**).

### I.2.3. Température et précipitation

La température de l'eau est un facteur prépondérant dans la vie des organismes marins, elle contribue de façon importante à la distribution, géographique des espèces marines. Elle détermine les périodes de migrations et de reproduction. Il existe deux périodes durant l'année :

-Période chaude (avril-octobre), elle se caractérise par des faibles précipitations et une moyenne thermique de 24°C.

-Période froide (novembre-mars), elle se caractérise par des précipitations ayant une moyenne saisonnière de 89,49mm et une moyenne thermique de 15°C (**Chikr et Badache, 2016**).

### I.2.4. Pluviométrie

La zone d'étude fait partie du bassin méditerranéen connu par deux saisons bien distinctes :

-Une saison pluvieuse durant le mois d'octobre jusqu'au mois d'avril.

-Une saison sèche de mai à septembre avec des pluies très rares dues aux orages notamment au mois d'août (**Ouahil, 2017**).

### I.3. Les reliefs

La Baie est dotée de trois grands ensembles topographiques on a :

-Au nord une zone de collines qui s'étendent de douaouda à Tipaza environ 70% de surface totale de la Baie.

-Une petite plaine au milieu entre Tipaza et Chenoua qu'on peut considérer comme une vallée.

-La zone montagneuse (massif de chenoua) à l'ouest de la baie, dont la crête la plus élevée est de 904 m.

En général la Baie de Bouismail est une zone de colline (**Nait Mohand, 2016**).

### I.4. Le réseau hydrographique/apports terrigènes

La baie de Bouismail est le réceptacle d'oueds à régime irrégulier, avec un apport des particules dissoutes ou particulaires très importantes d'origine terrigènes, trois oueds déversent dans cette baie :

- **L'oued de Beni-Messous** : est situé entre el Djamila et Club des pins à 18 Km à l'ouest d'Alger. Son débit est faible par rapport au débit des oueds précédemment cités et estimé à 7.7 millions m<sup>3</sup> /an (0.245 m<sup>3</sup> /s).
- **L'oued Mazafran** : possède un bassin versant de 1850 km<sup>2</sup>, c'est le plus important des oueds qui débouchent dans la baie. Son débit solide est estimé entre 1400 et 1800 t/km<sup>2</sup>, tandis que le débit liquide à 43.8 millions m<sup>3</sup> /an. Le débit solide à l'embouchure de l'oued est d'environ trois millions t/an. Ces apports dépendent étroitement du régime hydrologique de l'oued : marqué par un long étage de Juin à début Décembre avec des débits représentant 17,38% du débit liquide annuel. Entre décembre et avril, ces débits sont 82,61%, débouchant au niveau d'une plage sablonneuse entre douaouda et zéralda avec un débit de 7.566 m<sup>3</sup> /s (**Akli, 2016**).
- **L'oued Nador** : Présente un bassin versant d'une superficie de 200 à 300 Km<sup>2</sup>. Son débit liquide est de 28 millions m<sup>3</sup> /an (0,89 m<sup>3</sup> /s). Il regroupe trois oueds qui jouent un rôle important dans les apports en eaux usées et sédimentation (**Akli, 2016**).

### I.5. La sédimentologie

-Vers l'embouchure de oued Mazafran et jusqu'à une profondeur de 25m, les sables grossiers caractérisent la baie. Au-delà de ce dépôt fluvio marin et jusqu'à une profondeur de 10 à 15m, les sables moyens réapparaissent qu'au niveau de Khemisti sur une zone étroite continue jusqu'à Tipaza (**Ouahil, 2017**).

-Une bande de sable fin apparaît au large de Sidi-Fredj et Palm Beach à moins de 2 m de profondeur et tapisse le fond de 15m à 25m tout le long de la baie (Figure 05) (**Ouahil, 2017**).

-Parallèlement à ces faciès, les sables fins vaseux longent la côte entre 25 à 40m de profondeur. Au large de Sidi-Fredj (2 à 3Km), un dépôt de sable moyen et gravier (Ouahil, 2017).

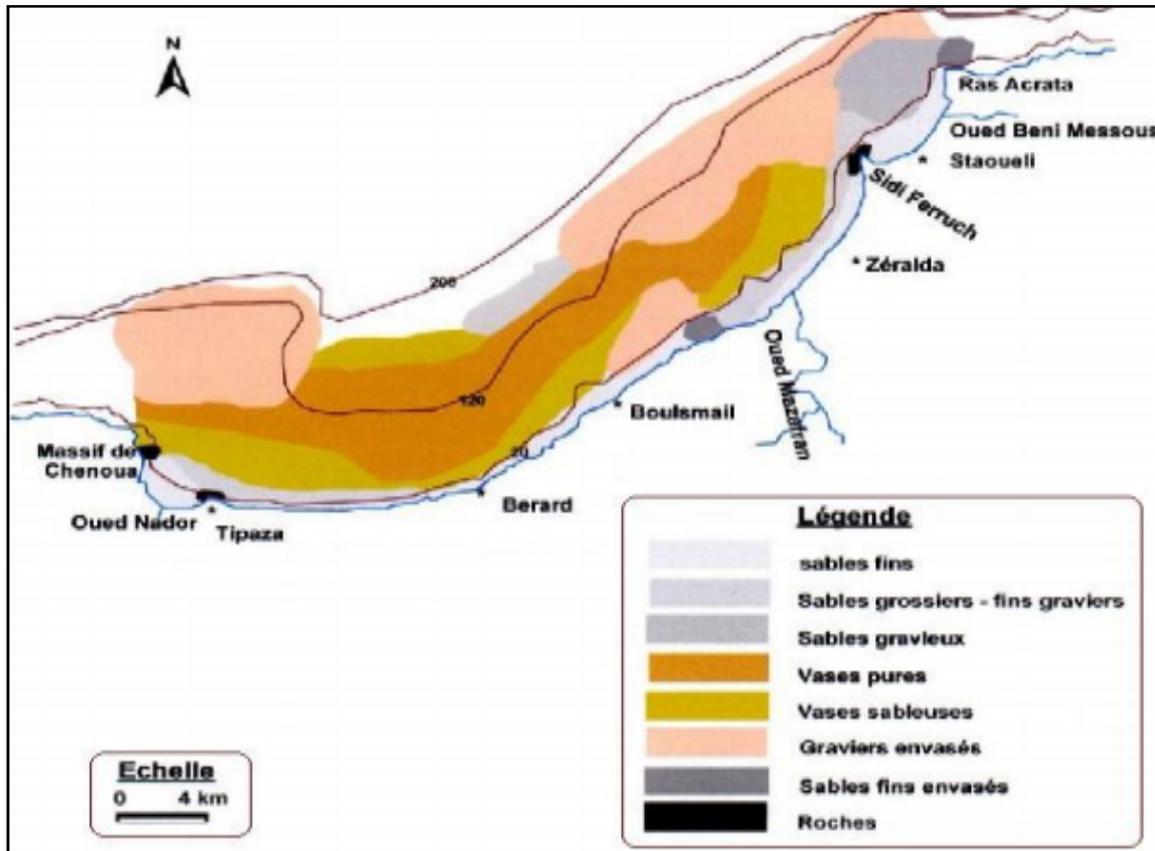


Figure 05 : Carte sédimentologique de la baie de Bou ismail (Akli, 2016)

### I.6. Géomorphologie de la baie

La baie de Bouismail est caractérisée par une morphologie côtière diversifiée composée des côtes rocheuses, de falaises, de plages et de dunes. Les falaises : la falaise la plus importante dans la baie de Bouismail est celle de mont chenoua qui est située à l'ouest de la commune du chef lieu de Tipaza.

- Les côtes rocheuses : il s'agit de formes rocheuses quelques localisées entre Tipaza (les différentes anses) et Bou Haroun (rocher plat).

-Les plages : la baie de Bouismail comprend 16 plages dont la plus développée est celle de colonel Abbas (située dans la commune de douaouda) qui s'étale sur une longueur de 3.000 m. La granulométrie de ces plages est constituée de sable fin, moyen et des galets.

-Les dunes : c'est des formations qu'on retrouve immédiatement sur la continuité des plages puisqu'elles sont à l'origine de leur formation (Ouahil, 2017).

### I.7. La pollution de la côte de Bouismail

La baie de Bouismail est l'une des plus importantes côtes en Algérie. C'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 leurs déchets dans le milieu marin sans traitement préalable dans la plus part des cas. En plus de ça, les rejets d'eaux usées véhiculés par les oueds qui traversent les centres urbains et qui déversent dans la mer, drainant les eaux de ruissèlement des terres agricoles, des effluents urbains et industriels.

S'ajoutant à cela une pollution importante due aux activités de pêche (Eddalia, 2015).



**Figure 06 :** source de pollution dans la zone d'étude de Bouismail

### I.8. Justification du choix de la zone d'étude

La ville de Bouismail demeure l'un des exemples les plus illustratifs de la pollution du pays. En effet, le front de mer de Bouismail est doté d'une plate-forme de rejets industriels. Cette zone comprend plusieurs unités polluantes comme celle de la fabrication du papier et de l'emballage (groupe tonic emballage). Ces différentes unités évacuent leurs eaux usées en mer sans aucun traitement préalable. Or, ces eaux industrielles rejetées dans le milieu récepteur (mer) entraînent sa pollution, voir son eutrophisation (Nait mohand, 2016).



**Figure 07 :** rejet de groupe tonic emballage (Nait mohand, 2016)

La baie de Bouismail compte 11 rejets industriels et urbains en milieu marin. En raison de la complexité et de la diversité de ces rejets surtout industrielles, il est difficile de faire un choix judicieux des points de prélèvements. Toutefois, la reconnaissance du réseau de déversement des eaux usées va nous permettre d'opter les points de prélèvements. Pour mieux cerner les problèmes et les nuisances engendrés par les industrielles de Bouismail et pour une bonne préservation du milieu récepteur, nous avons procédé à un contrôle du milieu qui reçoit continuellement ces rejets, tout en essayant d'estimer le degré de pollution de ces eaux, par l'analyse de différents paramètres indicateurs de la qualité ceci dans les trois matrices composante de l'écosystème marin (aquatique en général) qui sont respectivement : l'eau, le sédiment et le biote (Nait mohand, 2016).

## II. Justification du choix de l'espèce

Les moules sont largement utilisés à l'échelle mondiale comme des espèces sentinelles dans les programmes de surveillance environnementale, pour notre étude nous avons choisi la moule : *Mytilus galloprovincialis* comme espèce sentinelle en raison de :

- Leur mode de vie sédentaire.
- Leur large distribution et leur espérance de vie relativement grande (30 ans) et de leur pouvoir accumulateur des polluants présents dans l'environnement.

### II.1. Biologie et écologie de l'espèce : *Mytilus galloprovincialis*

#### II.1.1. La systématique

Règne	Animal
Sous règne	Métazoaire
Embranchement	Mollusque
Classe	Bivalve
Sous-classe	Ptériomorphe
Ordre	Mytiloidés
Famille	Mytilidés
Genre	Mytilus
Espèce	<i>Mytilus galloprovincialis</i> (Lamarck, 1819)



Figure 08 : *Mytilus galloprovincialis* (Paiva, 2014)

### II.1.2. La description

Le mot moule *Mytilus* dérive du grec *myo* (mus en latin) comme le mot muscle. Consommé depuis l'antiquité comme l'évoque son nom *Mytilus galloprovincialis* qui indique qu'il s'agit de la moule qui vient de la province romaine de Provence (**Benali, 2007**).

La moule noire *Mytilus galloprovincialis* de la famille des Mytilidés (Pélécytopodes) est principalement défini par la forme de la coquille extrémité antérieure de la coquille arrondie; bord dorsal et bord ligamentaire ne formant pas un angle saillant, bord ventral souvent concave chez les individus âgés (**Grasse et al., 1961**). C'est une classe de mollusques (corps mou, visqueux, non segmenté) à symétrie bilatérale, sans bosse viscérale dorsale. Le tégument forme de chaque côté un pli ou manteau enveloppant le corps sur lequel est moulée une coquille bivalve. La tête est indistincte (Acéphales). Le pied est comprimé latéralement, en forme de hache (pélécytopodes). Les branchies sont très développées et lamellaire. Deux muscles adducteurs puissants traversent le corps et ferment la coquille.

### II.1.3. L'anatomie externe et interne

#### - La Coquille

Les moules contiennent deux valves lisses ou coquilles extérieures protectrices, ces coquilles sont de couleur noire bleuâtre et sont maintenues ensemble par une petite charnière droite (**Barhoumi, 2014**), permettant la sauvegarde de la masse viscérale (**Moussaoui et Belakhal, 2016**).

#### - Le pied et le byssus

Le pied est inséré en avant de la bosse viscérale, il est comprimé latéralement et prend l'aspect d'un sac « soc de charrue ». Ces mouvements sont assurés par des muscles protracteurs et rétracteurs, pairs, antérieurs et postérieurs, qui s'insèrent symétriquement sur la face interne des valves de la coquille en avant des muscles adducteurs (**Beamout et Cassier, 1998**). A sa base se trouve la glande du byssus qui synthétise des filaments (byssus) responsable de la fixation de la moule à son substrat. Une fois qu'ils sont sécrétés, les filaments se solidifient au contact de l'eau de mer (**Moussaoui et Belakhal, 2016**).

#### - Les branchies

Sont une caractéristique majeure des lamellibranches. Elles consistent de grands organes en feuillets opérant deux séries de phénomènes, la respiration et la filtration de la nourriture à partir de l'eau. Deux paires de branchies sont localisées sur chaque côté du corps (**Moussaoui et Belakhal, 2016**).

#### - Le muscle

La fermeture générale des valves est assurée par deux muscles adducteurs (antérieur et postérieur). Ces muscles sont antagonistes du ligament, qui grâce à son élasticité assure l'ouverture de la coquille (**Moussaoui et Belakhal, 2016**).

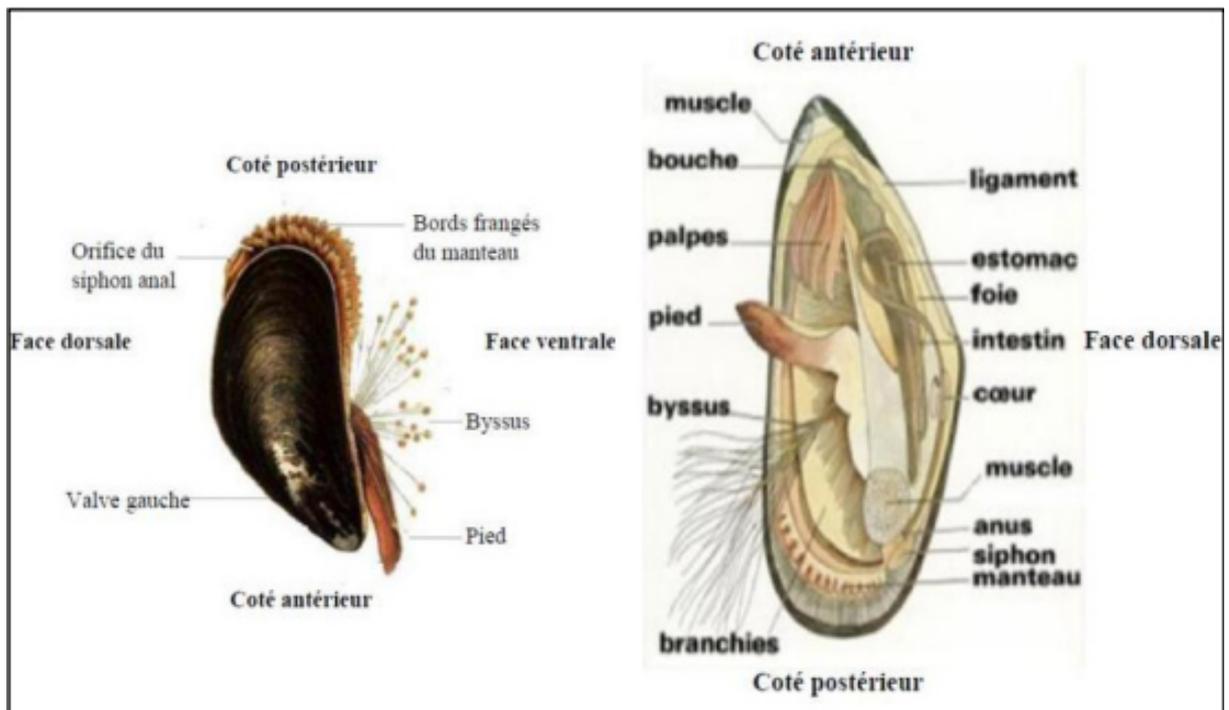
#### - La glande digestive

Cet organe est encore appelé hépatopancréas car il joue chez cet invertébré un rôle analogue au foie des Vertébrés, elle assure la digestion et l'absorption des aliments captés par les branchies (Pagliassotti et al, 1994).

#### - Le manteau

Il enveloppe tous les organes auxquels il est rattaché au niveau du muscle adducteur, de la masse viscérale et des branchies. Il est composé de deux lobes palléaux, il a plusieurs fonctions (Gagnaire, 2005).

- Sa fonction première est la sécrétion de la coquille.
- Il assure également des fonctions sensorielles tactiles (terminaisons nerveuses) et visuelles (ocelles et osphradies).
- Il intervient également dans la nutrition, en participant, au premier tri des particules extérieures.
- Il participe au stockage de matériaux de réserve (lipides, glycogène), à la fonction respiratoire, à la dissémination des gamètes et à la défense par la formation de mucus.
- Il représente l'une des premières barrières à l'agression par des facteurs externes.



**Figure 09:** Anatomie externe et interne de la moule *Mytilus galloprovincialis* (Khelil, 2007)

#### II.1.4. Le système respiratoire

Les échanges d'oxygène se font par l'intermédiaire des branchies, L'eau chargée en oxygène dissout pénètre dans la cavité palléale via le siphon inhalant. 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, 2005).

### II.1.5. Le système digestif

La moule *Mytilus galloprovincialis* est un consommateur microphage omnivore. La moule filtre jusqu'à 10 litres d'eau par jours (Ikhlef, Allah, 2007). Donc la moule est un organisme filtreur. Elle ne possède plus de radula. Elle se nourrit de fines particules en suspension dans l'eau (phytoplancton, bactéries....etc.). Celles-ci sont retenues grâce au mucus qui tapisse les branchies. Sous l'eau, la moule s'ouvre légèrement et un courant d'eau pénètre via le siphon inhalant dans la cavité palléale. Le siphon exhalant propulse ensuite l'eau hors de la cavité palléale (fig 06). Le courant d'eau est entretenu par les nombreux cils vibratiles des branchies. Ceux-ci assurent également un courant permanent de mucus amenant la nourriture vers les palpes labiaux et ensuite vers la bouche. Seules les plus fines particules sont ingérées et digérées par le système digestif. Les plus grosses particules sont rejetées (Cahen, 2005).

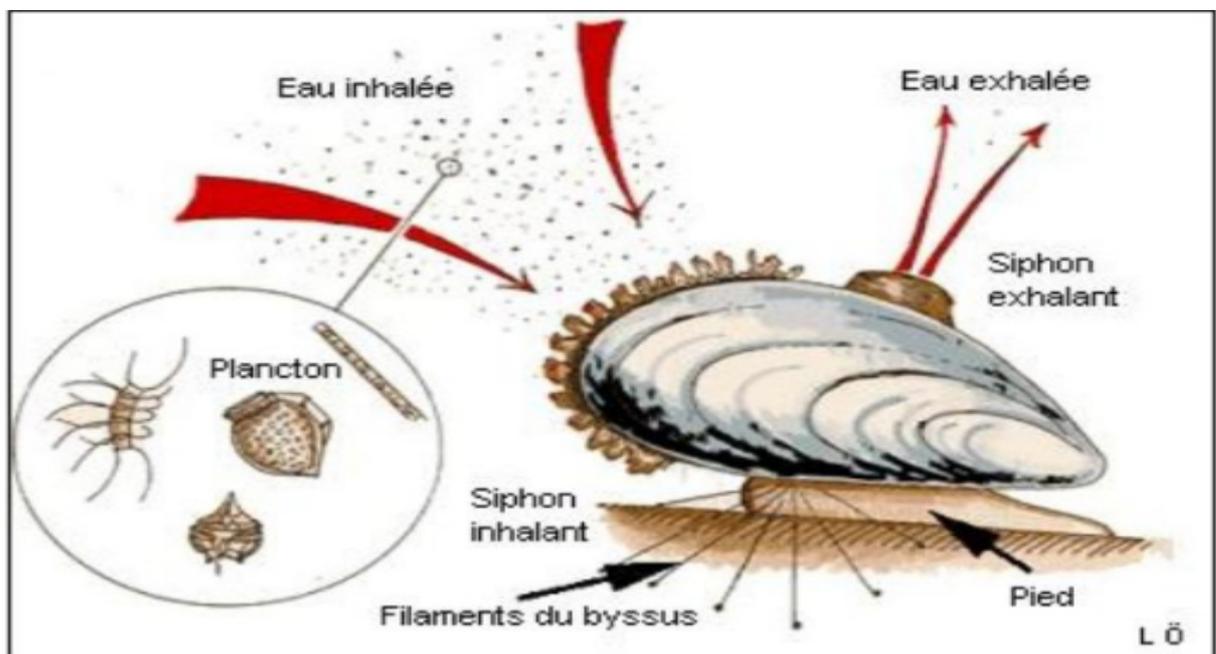


Figure 10 : Le mode alimentaire de la moule « *Mytilus galloprovincialis* » (MPO, 2003)

### II.1.6. Le système 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 la tête, le pied et les viscères (Cahen, 2005).

### II.1.7. La reproduction

La reproduction de *Mytilus galloprovincialis* est continue durant toute l'année avec une période de repos sexuel très réduite. Elle est externe et se fait dans l'eau de mer. Le courant d'eau joue un rôle important dans la reproduction ; On sait que les deux sexes sont séparés chez la moule (gonochorisme) au moment de la maturité sexuelle ; quand les moules sont « grasses », les spermatozoïdes sont libérés et transportés par les courants d'eau dans la cavité palléale des femelles. Ils y rencontrent les ovules qu'ils fécondent (Songy et Avezard, 1963). Les tissus reproducteurs représentent un taux important de la masse de

chaire (**Duchemin, 2007**). La gonade est composée de plusieurs conduits, ciliés et ramifiés et un nombre de sacs appelés follicules (**Lucas, 1965**). Chez le mâle, la gonade est de couleur jaunâtre, tandis que chez la femelle, elle est de couleur orangé. Les gonades se différencient par cinq stades de développement successif: repos sexuel, reprise d'activité génétique, gamétogénèse, maturation génitale et émission de gamètes. Leur développement se fait en fin de l'automne lorsque la température diminue (**Beaumout et Truchot, 2004**).

### **II.1.8. La Répartition et l'habitat**

*Mytilus galloprovincialis* est originaire de la méditerranée, la mer noire et l'adriatique, est un animal benthique grégaire, colonisant l'étage médiolittoral. Elle a fait l'objet de plusieurs introductions dans le monde: Afrique du sud, Est et Ouest de l'Amérique du Nord, Nord Est de l'Asie. Elle vit à faible profondeur, depuis le niveau le plus élevé de la zone intertidal jusqu'à environ 10 m en dessous. La moule vie en colonies, se développe sur les roches solidement attachée grâce à des filaments très résistant (le byssus) (**Dilmi et Lellouche, 2018**).

### **II.1.9. La Mortalité et la prédation**

Selon Kitching *et al.* (1959), différents facteurs influencent la mortalité et la dispersion des populations de moules on peut citer comme exemple: la température, le dessèchement, les tempêtes et mouvements des vagues, la salinité, les compétitions intra- et interspécifiques et la prédation qui reste la plus importante cause de mortalité (**Tekouk et Hama, 2018**).

## **II.2. Stratégie d'échantillonnage**

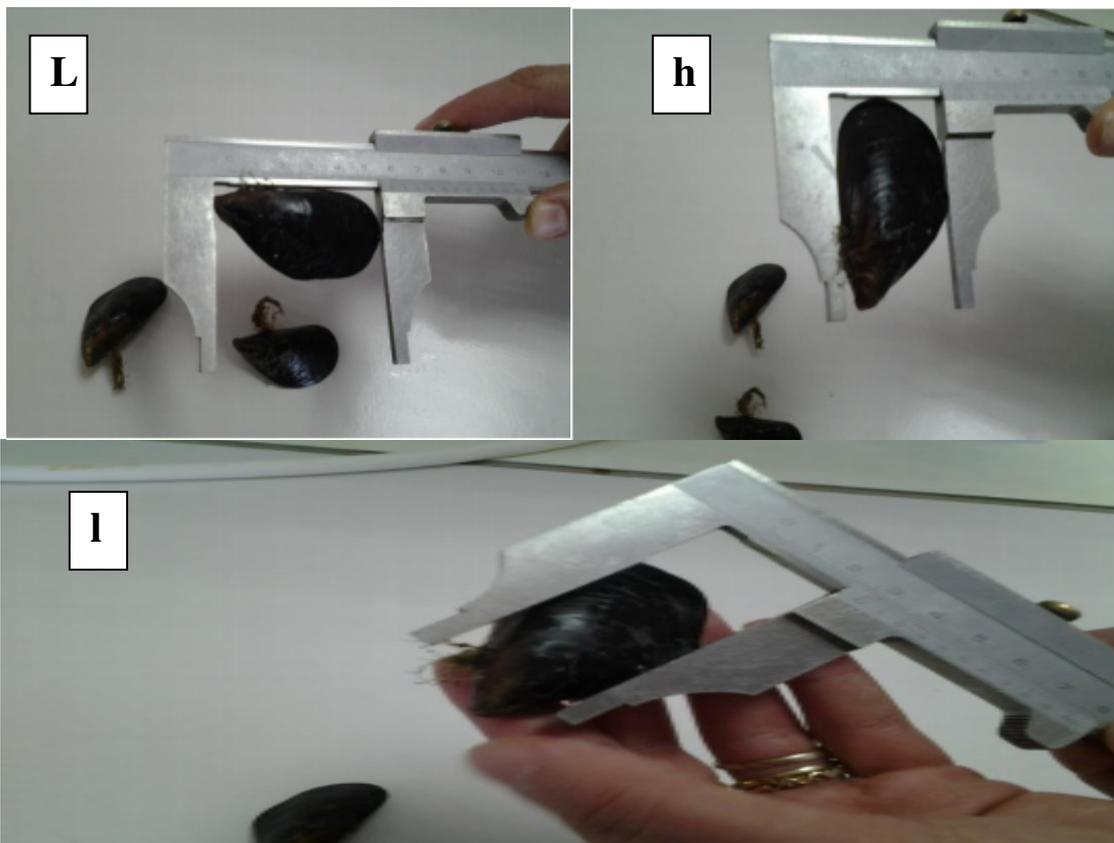
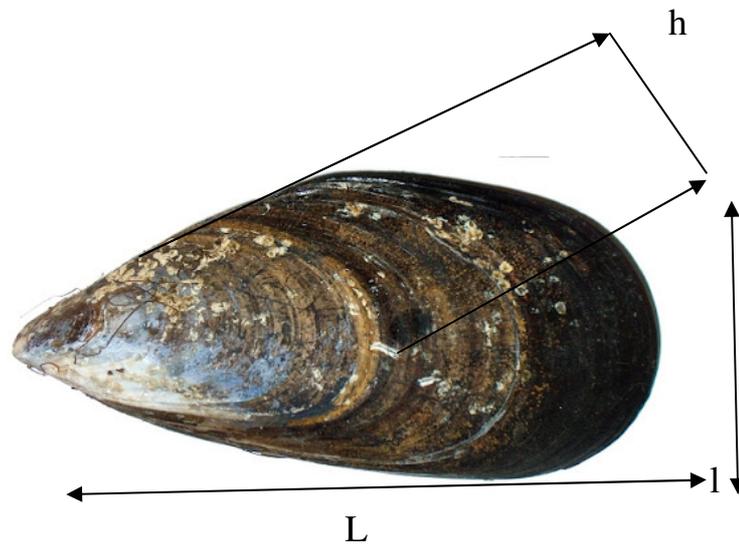
- La collecte des bivalves se fait à la main et de manière aléatoire comme le stipule sans tenir compte du sexe (Serafim ,2001).
- Le prélèvement des moules se fait à des profondeurs basses (environ 2 mètres), à partir des côtes rocheuses de la zone d'étude : la baie de Bou-Ismaïl.
- Les échantillons de moule prélevés doivent être répartis dans une boîte en plastique remplie de leur eau d'origine, conduits au laboratoire afin de procéder à l'analyse biométrique (conservés dans un bac isotherme) (**Khati hadj Moussa, 2009**).

## **II.3. Mesure des paramètres biométriques**

Les moules doivent être triées, nettoyées et débarrassées de leurs épibiontes, avant de prendre les différentes mesures de la coquille réalisées à l'aide d'un pied à coulisse de précision 1/20 mm, cette opération est réalisée rapidement afin d'éviter tout stress, phénomène biologique pouvant être à l'origine d'une baisse de poids de la masse molle totale et par la suite de l'indice de condition comme le montrent Beninger *et al.* (1984) (**Khati Hadj Moussa, 2009**).

Les paramètres linéaires (en mm) retenus sont les suivants :

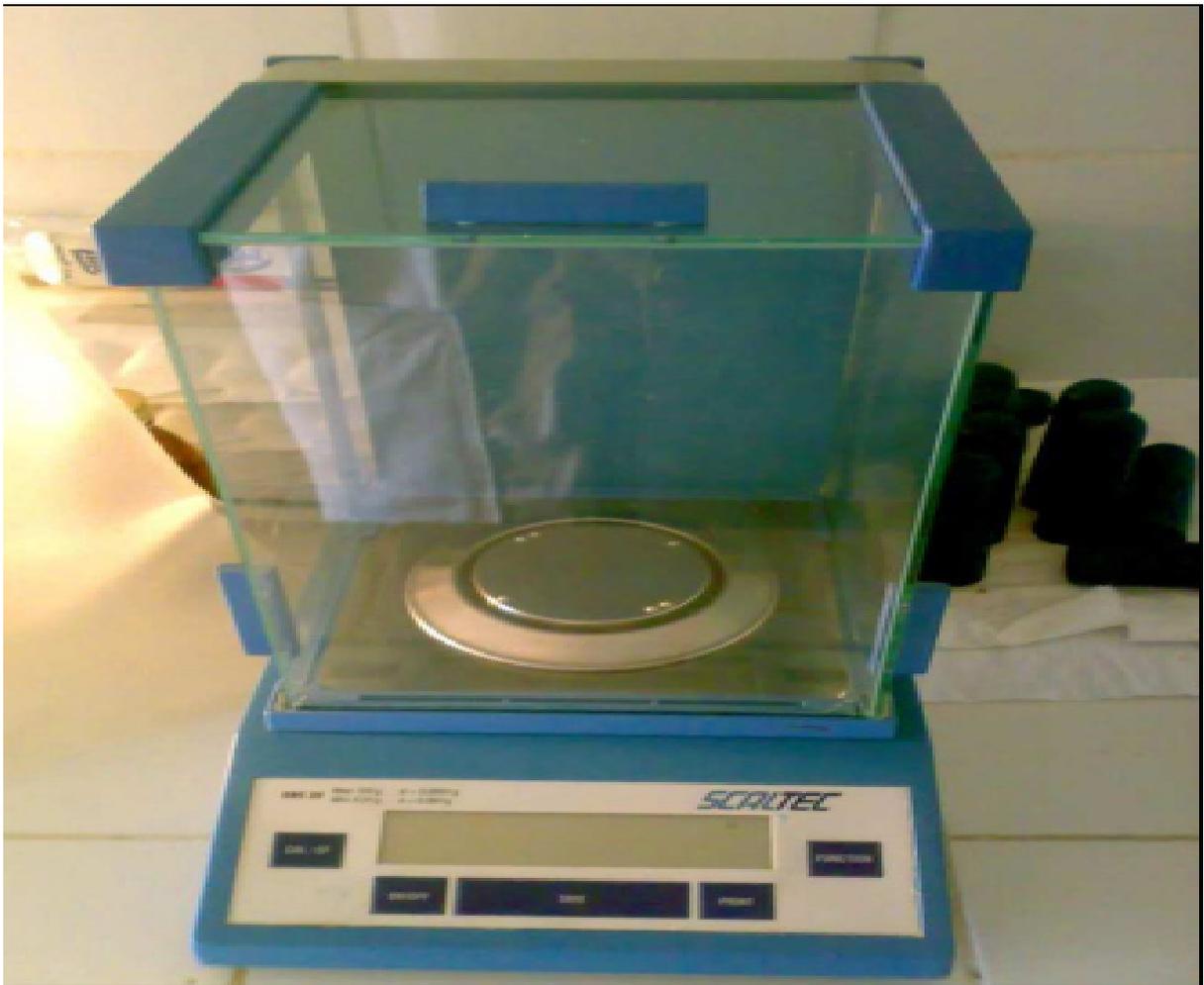
- La longueur totale (L)
- La hauteur (h)
- L'épaisseur (l)



**Figure 11** : Mesure des différents paramètres linéaires de la moule *mytilus galloprovincialis* (Moussaoui et Belakhal, 2016)

En utilisant une balance de précision, une pesée de chaque individu a été réalisée afin de déterminer les paramètres pondéraux suivants:

- Poids total de la coquille (PT) : poids total de l'animal (coquille, masse molle et liquide intra valvaire).
- Poids frais total (PF) : poids de la masse molle humide totale en gramme de l'animal vivant.
- Poids sec de la chaire (PS) : poids sec de la chaire entière de la coquille, obtenu après séchage à l'étuve à 80°C pendant 24 heures au minimum (**Khati Hadj Moussa, 2009**).

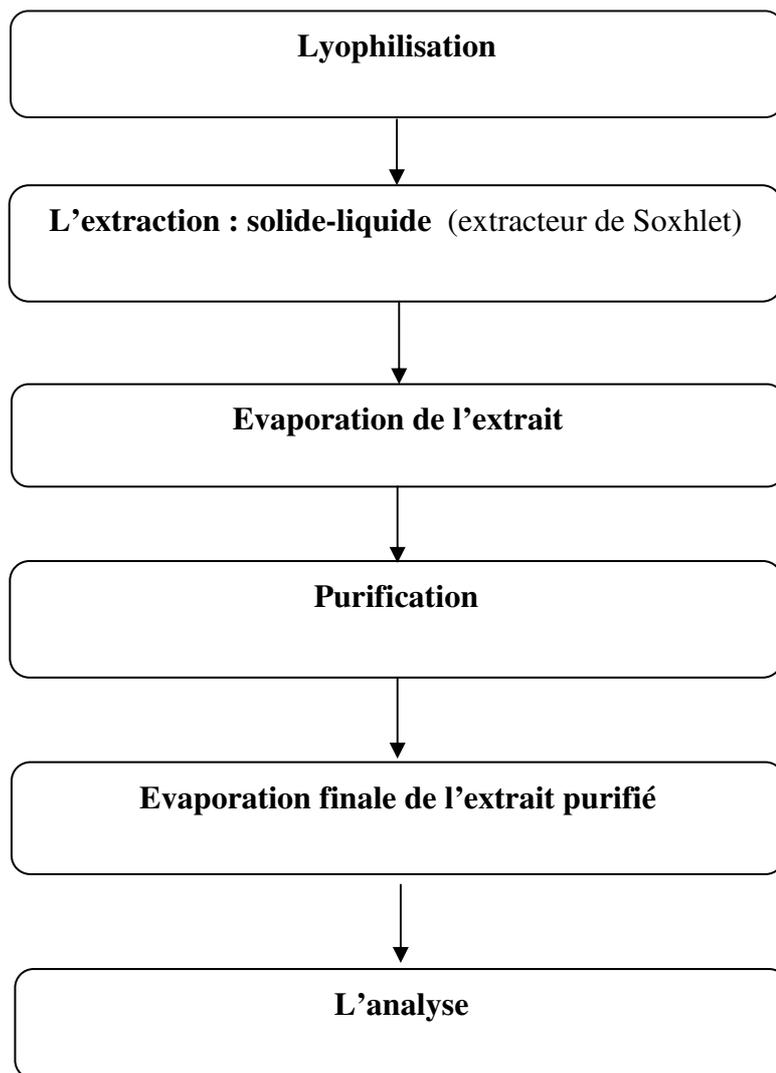


**Figure 12** : Balance de précision (**Benzaoui, 2010**)

## II.4. Le Dosage des HAP

Afin de minimiser l'exposition des échantillons à la lumière, ou la photosensibilité de certain HAP, toute la verrerie utilisée pour l'extraction et la conservation des échantillons et les extraits de HAP doit être ambré, et recouvert avec du papier aluminium.

L'extraction des HAP (extraction : solide-liquide), et la détermination de leurs concentrations dans les tissus biologiques de (*Mytilus galloprovincialis*) s'effectuent selon le plan suivant :



**Figure 13 :** plan des techniques à suivre pour l'extraction des hydrocarbures

### II.4.1. Lyophilisation :

Cette technique permet d'éliminer principalement la majeure partie de l'eau contenue dans l'échantillon dans des conditions : basse température et basse pression. Elle est composée de trois étapes : la congélation, la dessiccation primaire, la dessiccation secondaire.

#### II.4.2. L'extraction solide-liquide :

La méthode de référence est l'extraction à plaque chauffante de type « Soxhlet » : Ce dernier permet d'effectuer à chaud l'extraction de la substance chimique (les hydrocarbures) présente dans un solide (la moule : *Mytilus galloprovincialis*) pour la faire passer dans un solvant liquide (technique lente 8h) et pour ce faire, nous devons suivre les étapes suivantes :

- Peser presque 10mg de la poudre de chaire de l'échantillon dans un bécher de 150ml, puis ajouter 10mg de sulfate de magnésium  $MgSO_4$ .
- Mélanger bien jusqu'à l'obtention d'un produit sec et laisser reposer environ 15 min à la température ambiante (il ne faut pas dépasser  $40^{\circ}C$ ).
- Transférer l'échantillon traité dans une cartouche de l'extracteur de Soxhlet.
- On ajoute 600ml du solvant (Dichlorométhane) dans le ballon de 1000ml à fond plat ensuite effectuer le montage de l'extracteur.
- Chauffer jusqu'à l'obtention du rythme de 2 à 5 cycles par heure (pendant 8 heures).
- Laisser refroidir puis rincer bien la cartouche et le siphon avec du dichlorométhane, ensuite récupérer le tout dans le ballon.

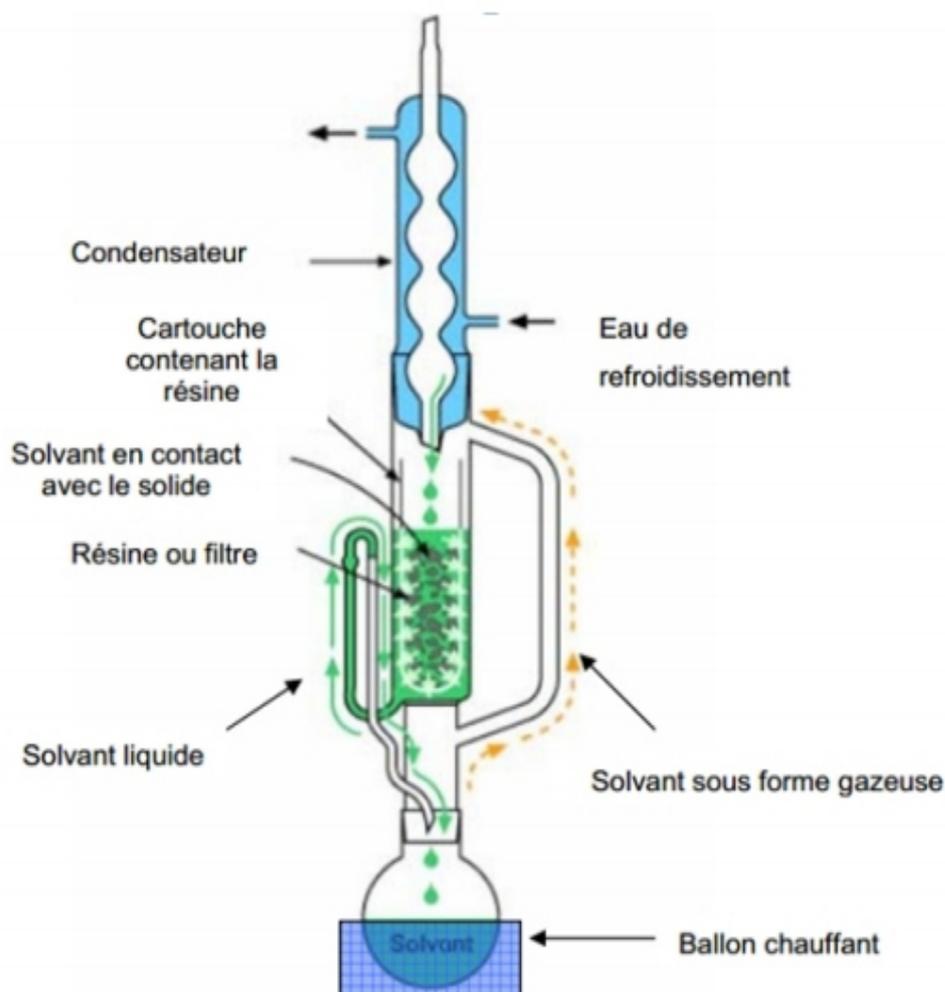
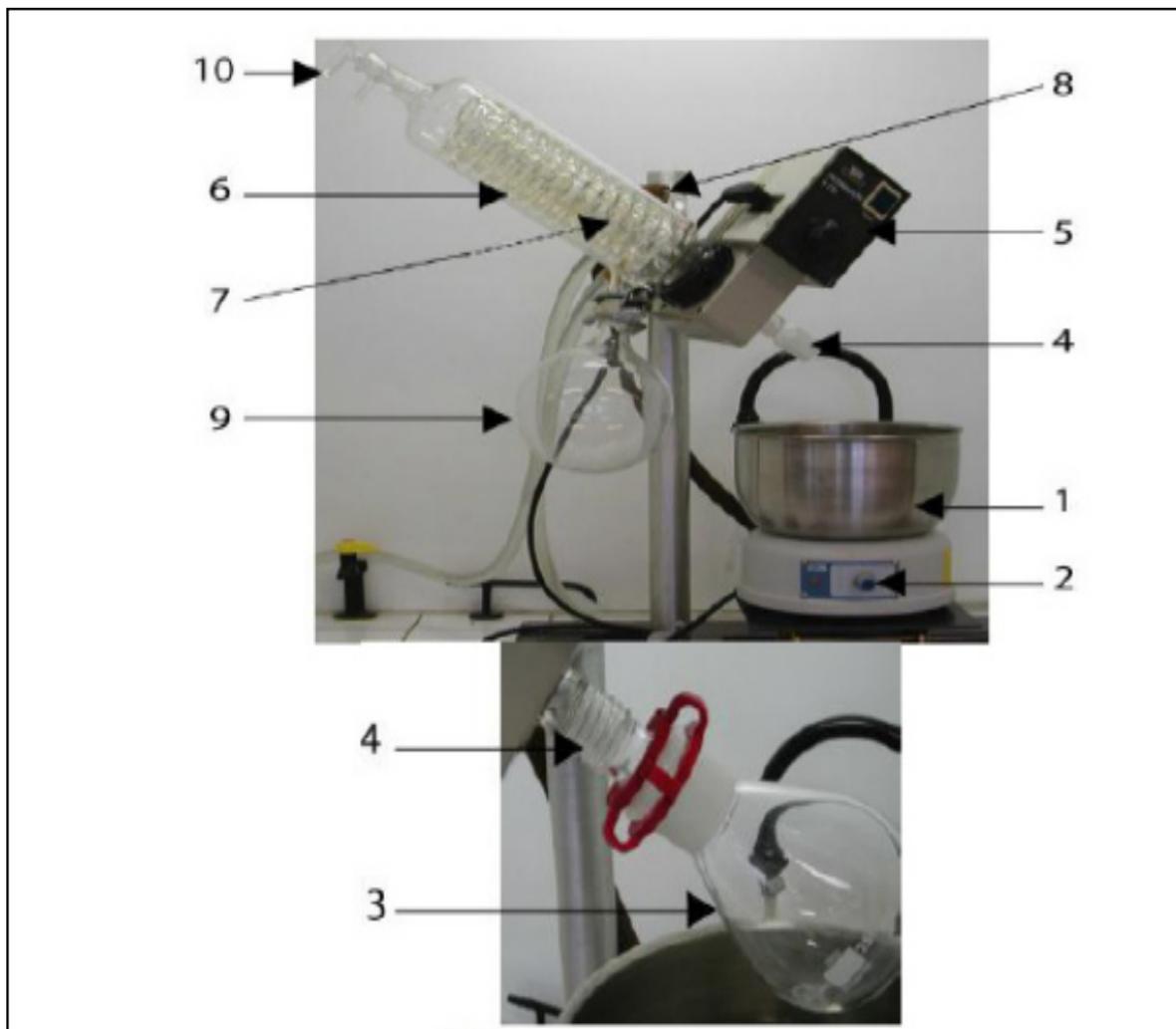


Figure 14 : Schéma d'un extracteur de Soxhlet (Dahnoun, 2013)

**II.4.3. Evaporation :**

- Evaporer l'extrait obtenu par l'utilisation d'un évaporateur rotatif, à une température de bain marie ne dépassant pas 40°C jusqu'à l'obtention de 2 ml.
- Ajouter 20ml de n-hexane et refaire une deuxième fois l'évaporation telle que le volume de l'extrait  $V=2\text{ml}$ .

**Figure 15 :** Evaporateur rotatif

1. Bain-marie d'eau distillée
2. Thermostat
3. Ballon contenant le solvant à extraire
4. Conduit de vapeur
5. Bouton pour le réglage de la vitesse de rotation du ballon
6. Réfrigérant
7. Entrée et sortie d'eau du réfrigérant
8. Connexion à la trompe à eau : notice trompe à eau
9. Ballon récepteur du solvant extrait
10. Robinet de mise sous vide

#### II.4.4. La purification :

Cette étape a été réalisée pour éliminer tout les composés extraits qui ne sont pas des hydrocarbures, et la purification des HAP est réalisée sur une colonne ouverte (burette de 50ml et un diamètre interne de 1cm).

##### - Préparation de la colonne :

- Fixer fermement et verticalement la colonne.
- Placer un petit morceau de laine de verre au fond de la colonne (afin de retenir les deux adsorbants : gel de silice et alumine).
- Ajouter presque 6g d'un mélange de gel de silice + l'alumine.
- Verser l'équivalent de sulfate de sodium Anhydre  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dans la colonne environ 1cm.
- Verser un volume  $V=20\text{ml}$  d'hexane puis ouvrir le robinet jusqu'à l'obtention d'un volume  $V=0,5\text{ml}$  d'hexane à la surface de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .
- Ajouter le volume  $V=0,2\text{ml}$  de l'extrait.
- Faire l'élution avec le mélange hexane-dichlorométhane (70/30%), puis ouvrir le robinet et laisser la colonne s'écouler complètement, récupérer la fraction dans des tubes à essais, et conserver cette dernière.

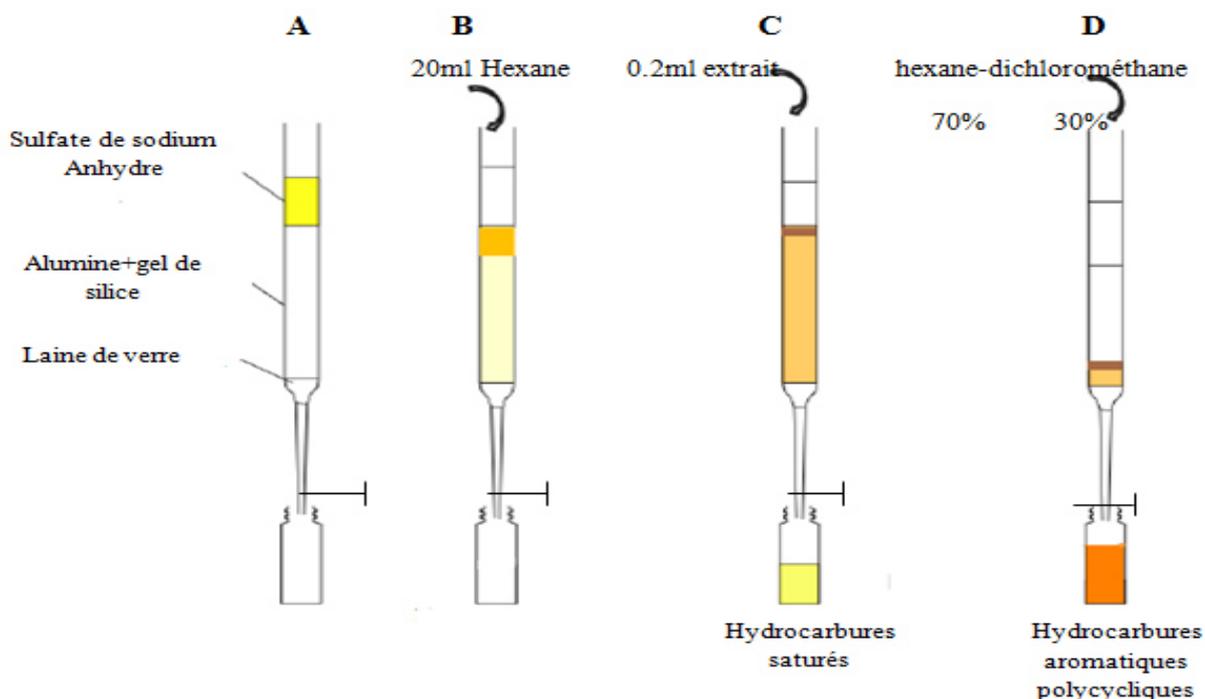


Figure 16 : Les étapes de la purification sur colonne ouverte

#### II.4.5. Evaporation finale de l'extrait purifié (Concentration)

- Faire une deuxième évaporation de l'extrait purifié par l'évaporateur rotatif jusqu'à l'obtention d'un volume presque 2ml.

- Recueillir l'extrait récupéré dans un flacon en verre ambré pour faire l'analyse.

#### II.4.6. Méthode analytique des HAP

Après la récupération des divers extraits (contenants des HAP) issus de l'extraction appliquée. Nous allons procéder à une identification et une quantification des 16 HAP qui sont déjà classés par l'US EPA (Agence de protection de l'environnement des États-Unis) comme polluants prioritaires de l'environnement.

Selon les appareils disponibles, l'analyse des 16 HAP est basée sur la séparation des HAP en phase liquide (chromatographie haute performance liquide couplée à un détecteur d'ultra violet visible (HPLC-UV)).

**Tableau 03** : Caractéristiques des principaux pics d'absorption des HAP (Dahnoun, 2013)

HAP	Nombre de cycles (aromatiques et non aromatiques)	Longueur d'onde (nm)
Naphtalène	2	220
Acénaphthylène	3(2+1)	229
Acénaphtène	3(2+1)	227
Fluorène	3(2+1)	205
Phénanthrène	3	251
Anthracène	3	251
Fluoranthène	4(3+1)	236
Pyrène	4	241
Benzo(a)anthracène	4	286
Chrysène	4	268
Benzo(b) fluoranthène	5(4+1)	256
Benzo(k) fluoranthène	5(4+1)	238
Benzo(a)pyrène	5	297
Dibenzo(ah)anthracène	5	297
Benzo(ghi)pérylène	6	210
Indéno(1,2,3,cd)pyrène	6(5+1)	251

### - Le protocole

Les solutions mises en contact avec la chaire de la moule ont été dosé par chromatographie liquide en condition gradient grâce à une HPLC.

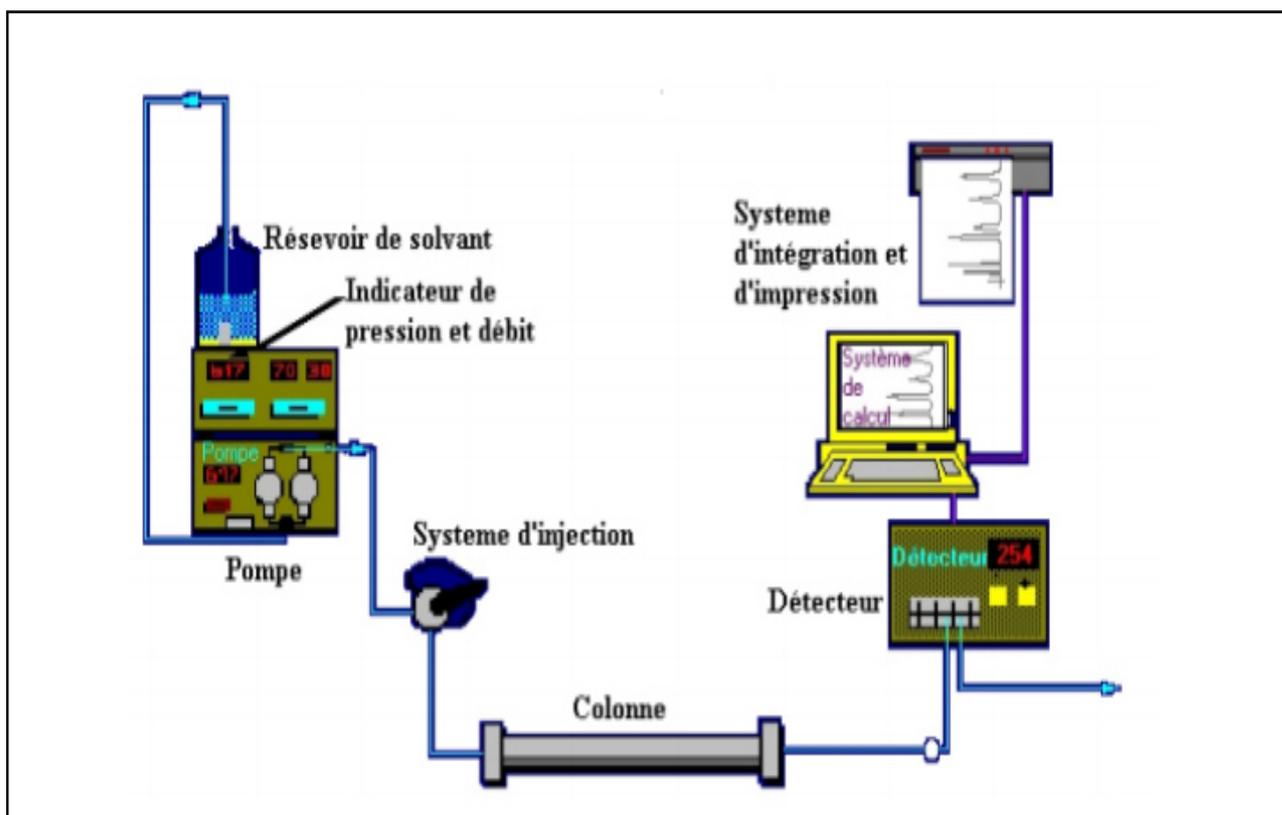
Les HAP ont été séparés par chromatographie en phase inverse, utilisant un système HPLC équipé avec une colonne en phase inverse C-18, d'une boucle d'injection de 20  $\mu$ l et un détecteur UV.

La phase mobile était un mélange acétonitrile/méthanol, le débit était de 1ml/min, à un temps de 31 min. Le gradient utilisé pour séparer les HAP est présenté dans le tableau 04 :

**Tableau 04 :** Gradient de méthanol pour l'élution des HAP par HPLC

Temps min	0	2	15	30	31
Méthanol%	60	60	0	0	0

Après la dilution des extraits avec le dichlorométhane, on injecte l'étalon pur et l'extrait préparé. Après l'injection de l'extrait, l'HPLC a marqué une courbe appelé le : chromatogramme, à partir du chromatogramme obtenu, les HAP sont identifiés automatiquement à l'aide des temps de rétention des pics correspondants aux solutions d'étalonnage.



**Figure 17 :** schéma de principe d'HPLC

### Discussion générale

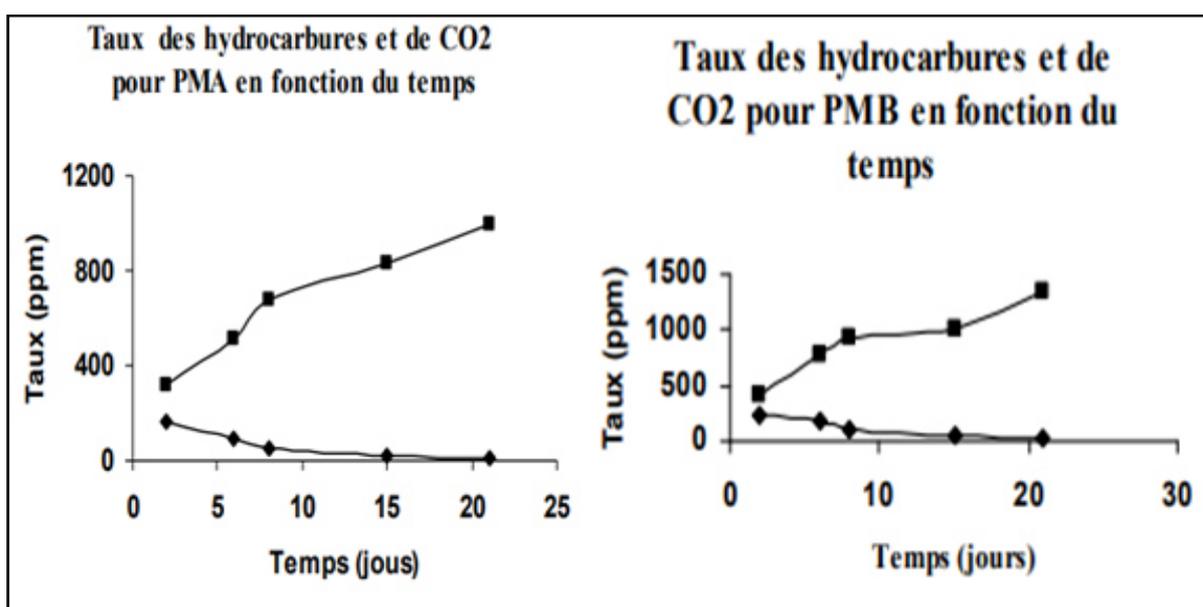
La préservation de la qualité du milieu marin littoral nécessite non seulement une connaissance qualitative des apports polluants vers l'environnement marin, mais également une connaissance des niveaux de présence des contaminants chimiques toxiques identifiés dans cet environnement et leur effet sur les organismes qui y vivent.

L'écotoxicologie marine est maintenant en mesure de proposer un premier élément de réponse à l'évaluation de l'effet des polluants par le développement d'indicateurs biologiques ou bioindicateurs.

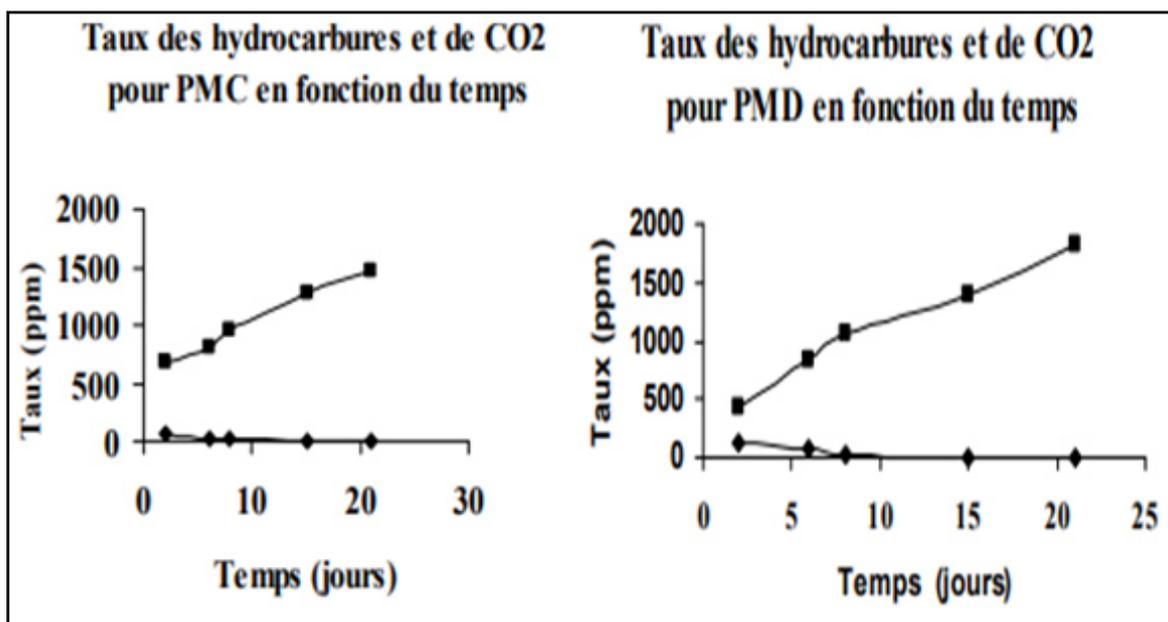
C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude, avec pour objectif principal l'évaluation du niveau de la pollution par les HAP dans la baie de Bouismaïl la wilaya de Tipaza à travers la moule *Mytilus galloprovincialis*.

Malheureusement, cette année a été marquée par une crise sans précédent et des mesures exceptionnelles du confinement et de distanciation en raison de la propagation inquiétante du coronavirus ou du Covid-19, nous ont empêché de réaliser la partie expérimentale au laboratoire. Suite à cela, on a jugé intéressant de consacrer cette partie à la discussion des différents résultats obtenus traitant le même axe de recherche.

**Boutefnouchet et al., (2006)** ont démontré dans le cadre de la lutte contre la pollution de la mer par les hydrocarbures provenant des rejets de la grande raffinerie de Skikda au nord-est de l'Algérie, et en utilisant des microorganismes (bactéries) efficaces dans le traitement des effluents et des nappes d'hydrocarbures en cas d'accidents pétroliers en eau de mer (biodégradation) que ces derniers sont capables d'assimiler les produits pétroliers, et d'éliminer les dégâts causés par les nappes pétrolières ou les déchets du complexe.



**Figure18 :** Taux en d'hydrocarbures et de CO<sub>2</sub> pour PMA et PMB après biodégradation en fonction du temps (**Boutefnouchet et al, 2006**)



**Figure 19** : Taux en d'hydrocarbures et de CO<sub>2</sub> pour PMC et PMD après biodégradation en fonction du temps (Boutefnouchet et al, 2006)

-Avec : ◆ : le taux en hydrocarbures et □ : le taux en CO<sub>2</sub>

**PMA** : populations microbiennes (Bactéries de type : A)

**PMB** : populations microbiennes (Bactéries de type : B)

**PMC** : populations microbiennes (Bactéries de type : C)

**PMD** : populations microbiennes (Bactéries de type : D)

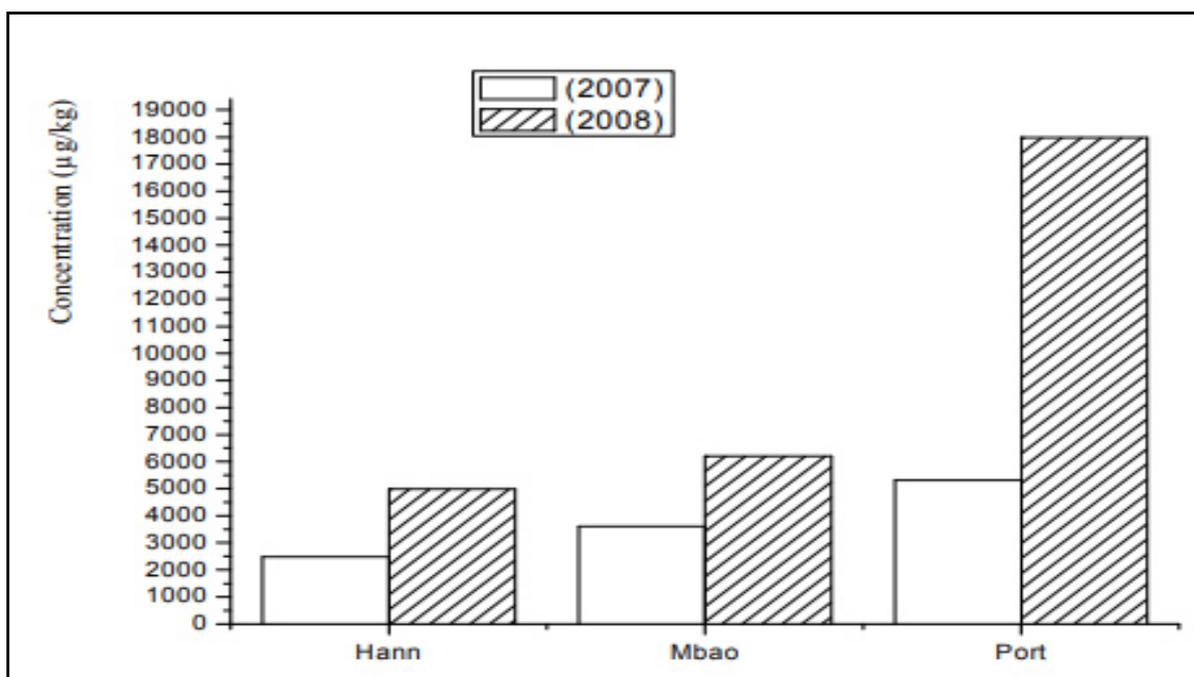
Les espèces d'huîtres comme de moules sont considérées comme d'efficaces bioaccumulateurs d'éléments traces et de différents micropolluants, avec une capacité limitée de régulation pour limiter l'accumulation de contaminants dans leur tissu (De Kock et Kramer, 1994). Ceci justifie leur utilisation dans les réseaux internationaux de biosurveillance.

En général, la croissance est caractérisée par une augmentation de la taille et du poids en fonction du temps et des variables environnementales. Cependant, chez les mollusques bivalves, et en particulier chez les moules, les processus liés à la reproduction perturbent ce schéma par une accumulation temporaire de réserves importantes qui sont ensuite converties en gamètes puis expulsées lors de la ponte, occasionnant une perte brutale de poids (Lubet et al., 1981).

Par ailleurs, **Khati Hadj Moussa (2009)** a signalé des fluctuations du poids moyen des moules (*Perna Perna*) au printemps et à l'automne. Certains auteurs, Idhalla et al. (1997) ; Dridi et al. (2006) traduisent ces changements par des périodes de restructuration de la gonade suivies de ponte, ces résultats coïncident avec la diminution de l'indice de condition qui devrait être élevé en cette saison (printemps), ces différences peuvent être

expliquées par un détournement du métabolisme au profit des événements sexuels (Bouhaima, 2000).

Les moules, espèces sessiles, peuvent renseigner sur l'état de contamination du milieu en accumulant les polluants, Ceci a été confirmé par **Ndiaye et al. (2012)** en utilisant des moules (*Mytilus galloprovincialis*) pour détecter la contamination des côtes de la région de Dakar par les HAP et les résultats obtenus ont montré que les teneurs en hydrocarbures évoluent de façon croissante en fonction du temps.



**Figure 20 :** Evolution de la teneur des HAPs pour chaque site, en 2007 et 2008 (**Ndiaye et al, 2012**)

Au port de Dakar, les concentrations passent de **5308,67** en 2007 à **17973,37** µg/kg de poids sec, en 2008. L'évolution des hydrocarbures suit la même tendance dans les différents sites. Ainsi, le Port concentre la plus forte teneur, selon les auteurs cette contamination proviendrait des dépôts de stockages des hydrocarbures mais également des opérations de transbordement du pétrole.

**Tableau 05** : Teneur des HAPs dans les moules recueillies en 2007 (Ndiaye et al, 2012)

Concentration ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids sec)			
Composés	Hann	Mbao	Port
Nap	406,54	77,34	112,49
Ac	726,37	1559,34	1761,07
Ace	801,63	918,07	1311,10
Flu	ND	ND	332,11
Phe	296,87	204,22	586,55
Ant	ND	ND	158,83
Fla	161,54	542,29	437,51
Pyr	81,69	71,26	336,99
BaA	ND	ND	ND
Chr	ND	234,79	272,03
BbF	ND	ND	ND
BkF	ND	ND	ND
Bap	ND	ND	ND
Iphy	ND	ND	ND
DahA	ND	ND	ND
Bghip	ND	ND	ND
<b>Totale</b>	2474,64	3607,29	5308,67

**Tableau 06** : Teneur des HAPs dans les moules recueillies en 2008 (Ndiaye et al, 2012)

Concentration ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids sec)			
Composés	Hann	Mbao	Port
Nap	813,49	751,14	1194,78
Ac	1724,70	1731,34	2534,64
Ace	1010,02	1305,55	1512,53
Flu	ND	298,75	535,72
Phe	387,41	340,63	673,15
Ant	ND	ND	338,56
Fla	201,32	1140,06	1151,95
Pyr	200,84	118,12	618,25
BaA	329,52	265,41	625,84
Chr	314,97	250,80	578,51
BbF	ND	ND	512,37
BkF	ND	ND	679,55
Bap	ND	ND	1106,62
Iphy	ND	ND	1492,02
DahA	ND	ND	3322,80
Bghip	ND	ND	1096,08
<b>Totale</b>	4982,27	6201,79	17973,37

Par ailleurs, **Chalghmi (2015)** a mis en évidence lors de son étude sur la pollution marine par les hydrocarbures en employant une approche combinant les analyses chimiques et biologiques, la forte contamination de la lagune de Tunis par les métaux traces et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs). L'analyse chimique des sédiments a montré une contamination plus élevée par les HAPs totaux au niveau des sédiments superficiels de la lagune de Tunis par rapport aux sédiments du site de référence, due à la présence de différentes sources de pollution telles que les effluents domestiques, les rejets industriels, les activités portuaires et le trafic maritime. L'adsorption des hydrocarbures au niveau des sédiments les rend plus stables et moins accessibles à la biodégradation par les micro-organismes. Cependant, il a été rapporté que les HAPs dissous sont plus biodisponibles que les HAP adsorbés sur les particules sédimentaires (**Neff, 1985**).

Ainsi, la variation saisonnière des niveaux de bioaccumulation de ces contaminant par la *Palourde Ruditapes* s'avère être fortement associée aux changements des paramètres physico-chimiques du milieu (une baisse de la salinité de l'eau de mer qui cause une augmentation de la solubilité des HAPs en les rendant ainsi plus biodisponibles pour les organismes marins (**Tremblay et al, 2005**)) et aux processus physiologiques de l'animal.

En effet, la bioaccumulation dans les bivalves dépend de la disponibilité des polluants dans le milieu qui est lui-même tributaire des rejets anthropiques et industriels déversés. Ceci s'accorde avec les résultats de **Chouba et al., (2010)**, qui soulignent la présence des concentrations en benzo(a) pyrène considérées comme indicateur de pollution par les HAP dans la chair de *ruditapes decussatus* du littoral tunisien et qui varient en fonction des zones.

**Tableau 07 :** Teneurs moyennes en métaux traces et en benzo(a)pyrène dans la chair de la palourde des côtes tunisiennes (**Chouba et al, 2010**)

Zones	Cd µg.g <sup>-1</sup> PF	Pb µg.g <sup>-1</sup> PF	Hg µg.g <sup>-1</sup> PF	BaP µg.kg <sup>-1</sup> PF
B	0,042	0,557	0,019	2,212
T	0,064	0,620	0,049	2,103
S	0,310	0,276	0,052	1,911
G	0,249	0,177	0,020	-
M	0,247	0,502	0,041	2,932
<b>Normes</b>	1	1,5	0,5	10

Ainsi, les moules deviennent un bon indicateur de la qualité des eaux mais également un danger pour la population, grande consommatrice de cette espèce. Ces études qui constituent un état de lieu doivent être poursuivies afin de fournir des données scientifiques de base aux décideurs politiques pour la recherche de solutions durables à la pollution de notre environnement.

### Perspectives

Notre travail laisse de nombreuses perspectives d'expérimentations pour une continuité de cette étude à savoir :

- Il serait intéressant d'étudier l'effet des HAP sur les différents biomarqueurs chez les bivalves.
- Etudier l'effet de la toxicité des HAP sur la reproduction des bivalves.
- Elargir l'étude sur d'autres organismes bio accumulateurs du milieu marin

Nous avons jugé utile de suggérer quelques mesures pour pallier à ce grave problème de pollution côtière en l'occurrence :

- Réduire le taux de pollution par l'estimation et le recensement de toutes les sources de pollution soit naturelles ou anthropiques.
- Nous adressons aux autorités algériennes d'appliquer le principe pollueur payeur face aux industries et aux complexes qui déversent leurs rejets dans la mer comme le cas de la baie de Bousmail.
- Mettre un plan pour assurer la biosurveillance des côtes algériennes au long de toute l'année.
- Appliquer les méthodes les plus efficaces dans le traitement, et l'élimination des rejets anthropiques qui contiennent une charge polluante très importante en hydrocarbures.
- Faire une étude d'impacts avant d'installer les complexes touristiques, les industries et les installations des activités pétrolières au près du littoral.
- Sensibiliser au maximum le public aux problèmes environnementaux et aux impacts sur la biodiversité et sur la santé humaine encourue par cette pollution.

### Références bibliographiques

#### A

**AFSSA, 2003.** AVIS de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à une demande d'avis sur l'évaluation des risques présentés par le Benzo(a)pyrène (B(a)P) et par d'autres hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Saisine n° 2000-SA-0005. Maisons-Alfort, le **29 juillet**, 59p

**AKLI, S, 2016.** Contribution à l'étude de la contamination de la Saupa *Salpa salpa* (Linnaeus, 1758) et de la Posidonie *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 au niveau de la baie de Bou Ismail. Mémoire de master en biologies des populations et des organismes. Université boumerdes, 53p

**ALEXANDRE, A, 2006.** Hydrocarbure aromatiques polycycliques et leurs dérivés nitrés et oxygénés dans l'air ambiant : caractérisation physico-chimique et origine. Thèse de doctorat en chimie analytique et environnement. Université de Bordeaux, 409p

**AMIARD, J.C. GEFFARD, A. AMIARD-TRIQUET C, 1998.** La métallothionéine chez la moule *Mytilus edulis* comme biomarqueur de pollution métallique : variabilité entre sites, saisons et organes. Journal de Recherche Océanographique, vol.23, p 25-30

**IKHLEF ALLAH, B. A, 2007.** Biosurveillance active de la pollution marine le long du littoral ouest algérien par l'évaluation de la stabilité de la membrane lysosomale chez la moule *Mytilus galloprovincialis* (Lmck, 1819). Mémoire de magister en biologie et pollution marine. Université Es-SENIA Oran, 83p

#### B

**BARHOUMI, B, 2014.** Biosurveillance de la pollution de la lagune de Bizerte (Tunisie) par l'analyse comparative des niveaux de contamination et de l'écotoxicité des sédiments et du biote[en ligne] Thèse de doctorat en Ecologie environnement. Université de Bordeaux. Français, 350p. Format PDF. Disponible sur :<<https://tel.archives.ouvertes.fr/tel-01133942>> (Consulté le 3/04/2020)

**BATTAZ, S, 2009.** Etude comparative de la dégradation d'une terre polluée par des hydrocarbures lourds. Mémoire de magister en pollution chimique et environnement. Université 20 aout 1955 Skikda, 126p

**BAUMARD, P. BUDZINSKI, H. GARRIGUES, P. NARBONNE, J.F. BURGEOT, T.MICHEL, X. BELLOCQ, J, 1999.** Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) burden of mussels (*Mytilus* sp.) in different marine environments in relation with sediment PAH contamination and bioavailability. Mar. Environ. Res, vol. 47, p 415-439

**BEAUMONT, A. TRUCHOT, j. P.** Biologie et physiologie animal. Dunod. 2<sup>ème</sup> édition. Paris, vol.493, p84-86

**BEAUMONT, A. CASSIER, P, 2004.** Biologie Animale, Des Protozoaires aux Métazoaires épithélienneuriens, Tome 1, 3<sup>ème</sup> édition. Paris, Dunod, 1998, 470p. (In MOUSSAOUI et BELAKHAL, 2016)

- BELLON, H, 1962.** Les mollusques marins testacés du Maroc. II-Lamellibranches et Scaphopodes. Travaux de l'institut scientifique Cherifien Série zoologique n°28. Rabat, 184p.
- BENALI, I, 2007.** Utilisation de l'activité acétylcholinestérase chez *Mytilus galloprovincialis* (Lmk, 1819) transplantée en baie d'Oran : biomarqueurs d'exposition à la contamination marine côtière. Mémoire de magister en biologie et pollution marine. Université d'Oran Es-SENIA, 111p
- BENZAOU, M. Y, 2010.** Mesure du stress sur la moule *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) de la baie de Kristel (Est oranais). Mémoire de magister en biologie et pollution marines. Université d'Oran Es-Sénia.101p
- BOUMAZA, F. Z, 2014.** Évaluation de l'état de santé des eaux du golfe d'Annaba à travers un Mollusque Gastéropode *Patella caerulea* (L., 1758) : paramètres écologiques et biochimiques. Thèse de doctorat en physio-toxicologie. Université badji mokhtar – Annaba, 195p
- BOURCEREAU, L, 2010.** Accumulation des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans les sédiments de la rivière Doubs. Rapport final. Université de Franche-Comté, 57p
- BOURGAT, M.P, 2002.** PCB et HAP résidus dans les denrées alimentaires d'origine animale : Etude bibliographique. Thèse vétérinaire. Université Claude-Bernard-lyon.I, 155p
- BOUTEFNOUCHET, N. BOUZERNA, N. CHETTIBI, H. 2006.** Biodégradation des hydrocarbures en eau de mer : cas du naphta B. Scientific study et research vol.2. p 269-282

### C

- CAHEN, D, 2005.** Moules natures, Muséum des Sciences naturelles. Revue Vautier 29 – 1000. Bruxelles, 31p
- CHALGHMI, H, 2015.** Étude de la pollution marine par les hydrocarbures et caractérisation de leurs effets biochimiques et moléculaires sur la palourde *ruditapes* sp. [en ligne] Thèse de doctorat en géochimie et écotoxicologie. L'université de bordeaux, 257p. Format PDF.
- CEAEQ, 2016.** Détermination des hydrocarbures aromatiques polycycliques : dosage par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse. Guide méthode d'analyse.21p
- CHIKR, F. BADACHE. A, 2016.** Contribution à l'étude qualitative et quantitative du peuplement phytoplanctonique de la région centre Algérienne. Mémoire de master en biodiversité et développement durable. Université de Blida1, 71p
- CHOUBA, L. MZOUGH, N. TISSAOUI, C. SOULI, Z. AND M'RABET. R, 2010.** Evaluation des teneurs en cadmium, plomb, mercure et en benzo(a)pyrène dans la chair de *ruditapes decussatus* du littoral tunisien. Rapp. Comm. int. Mer Médit, vol.39, P 234

### D

**DAHNOUN, N, 2013.** Evaluation du taux de contamination par HAP de la faune aux alentours d'un centre à risque : port de Ghazaouet. Mémoire de master en chimie physique et analytique. Université Abou Bekr BELKAID Tlemcen, 111p

**DAVID, B, 2009.** Utilisation de la faune macrobenthique comme bioindicateur de la qualité de l'environnement marin côtier. Thèse pour l'obtention de grade Maître en écologie internationale. Université de Sherbrooke, Québec, Canada, 58p

**DE KOCK, W.C. AND KRAMER, K.J.M. 1994.** Active Biomonitoring (ABM) by translocation of bivalve molluscs. In: Kramer KJM (ed) Biomonitoring of coastal waters and estuaries. CRC, Boca Raton.

**DILMI, L. LELLOUCHE, B. MECIAD, S, 2018.** L'étude de deux biomarqueurs chez les bivalves mollusques (*Donax trunculus* et *Mytilus galloprovincialis*) du golfe d'Annaba. Mémoire de master en Biologie Moléculaire et Cellulaire. Université 8 Mai 1945 Guelma, 111p

**DOUMENC, D, 1993.** Gill cell culture of the butterfly clam *Ruditapes decussates*. *Journal of marine Biotechnology*, vol. 1, p8-79

**DRIF, F, 2012.** Distribution des métaux traces chez les bivalves (Mollusques) dans le golfe d'Annaba (Nord-est Algérien). Thèse de doctorat en biologie animale. Université badji mokhtar, Annaba, 154p

**DUCHEMIN, M, 2007.** Validations des outils immunotoxicologiques pour l'étude des effets biologiques des contaminants du milieu marin. [en ligne] Thèse de doctorat en océanologie biologique. Université de Bretagne occidentale-Brest, 293p. Format PDF. Disponible sur :< <https://tel.archives.ouvertes.fr/tel.00256657>> (consulté le 2/04/2020)

### E

**EDDALIA, N, 2015.** Dosage des hydrocarbures aromatique polycycliques (HAP) chez la magnoliophyte marine indicatrice de pollution *posidonia oceanica* (L) *Delile* présente sur le littoral algérois. Mémoire de master en biodiversité et développement durable. Université de Blida 1, 91p

### F

**FISHER, S.W, 1995.** Mecanisms of bioaccumulation in aquatic systems. *Environmental Contamination and Toxicology*; vol 142, p 87-117

**FOURNIER, M. PELLERIN, J. LEBEUF, M. BROUSSEAU, P. MORIN, Y. CYR, D, 2002.** Effects of exposure of *Mya arenaria* and *Mactromeris polynyma* to contaminated marine sediments on phagocytic activity of hemocytes. *Aquatic Toxicology*, vol.59, p83-92

**FREDERIC, J, 2004.** Etude de la mobilité des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) contenus dans un sol industriel pollué. Thèse de doctorat en sciences et techniques du déchet. L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 209p

### G

**GAGNAIRE, B, 2005.** Etude des effets de polluants sur les paramètres hématologiques de l'huître creuse, *Crassostrea gigas*-interaction entre environnement, mécanismes de défense et maladies infectieuses. Thèse de doctorat en Océanologie Biologique et Environnement Marin. Université de la Rochelle, 377p

**GOFAS, S (Lamarck 1819).** WORMS (world register of marine species) [en ligne] (21/12/2004,16 /01/2015) Disponible sur: [www.marinespecies.org](http://www.marinespecies.org)(consulté le 02/04/2020)

**GRASSE, P.P. POISSON, R.A et TUZET, O. (1961).**Zoologie. Invertébrés I, précis de sciences biologiques. Masson et Cie Editeurs, 919p (in Benali, 2007)

### I

**IARC, 1983.** Centre international de recherche sur le cancer. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Polynuclear aromatic compounds, Vol. 32, Part 1, Chemical, environmental and experimental data, Lyon, France, 477 p

**IKHLEF ALLAH, B. A, 2007.** Biosurveillance active de la pollution marine le long du littoral ouest algérien par l'évaluation de la stabilité de la membrane lysosomale chez la moule *Mytilus galloprovincialis* (Lmck, 1819). Mémoire de magister en biologie et pollution marine. Université Es-SENIA Oran, 83p

**INERIS.** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. [Http:// www.Ineris.Fr](http://www.Ineris.fr) site consulté le : 31 octobre 2006

**ITOPF, 2013.** Effets de la pollution par les hydrocarbures sur les pêches et la mariculture. Guide d'information technique, n°11. Canterbury, Royaume-Uni, 12p

### J

**Journal officiel de la république algérienne.** Décrets. 23 avril 2006, 7p

### K

**KAHLOULA, M, 1995.** La protection juridique du milieu marin en droit algérien et la nécessité d'une coopération intermaghrébine. In: Revue Juridique de l'environnement, n°1. 23p

**KHATI HADJ MOUSSA, W, 2009.** Etude de la qualité des eaux du golfe d'Annaba par l'utilisation d'un mollusque sentinelle, la moule (*Perna perna* L) : essai in vivo et in situ. Application à la biosurveillance de l'environnement marin. Thèse de doctorat en sciences de la mer. Université badji Mokhtar Annaba, 155p

**KHELIL, F.Z, 2007.** Evaluation de la contamination de l'eau de mer et d'un mollusque la moule, *Mytilus galloprovincialis* (Lmck, 1819) Pêché du port d'Oran. Mémoire de Magister en Sciences de l'Environnement. Université d'Oran, 182p

### L

**LACAZE, J-C, 1980.** La pollution pétrolière en milieu marin. Masson, Paris, 118p

**LAURENCE, A, 2012.** Analyse des hydrocarbures dans des sédiments superficiels de zones côtières Méditerranéennes (Golfe de Fos, Rade de Marseille et Massif des Calanques). Thèse de Doctorat en chimie analytique. Université d'Aix-Marseille, 175p

Laurence BOURCEREAU

**LUCAS, A, 1965.** Recherche sur la sexualité des Mollusques Bivalves. Université de Rennes, Facultés des Sciences Rennes (France), 90p

### M

**MATALLAH-Boutiba. A. AMIARD J.C.BOUTIBA, Z, 2008.** Inventaire des espèces fongiques des eaux Marines du littoral occidental algérien. Larhyss Journal, vol.7, p93-102

**MEINESZ, C, 2011.** Contamination chimique des chaînes trophiques marines. Recommandations pour un futur réseau de surveillance sur la façade méditerranéenne. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse, Marseille, 45p

**MEKNACHI, A, 2010.** Utilisation du poisson *Tilapia oreochromis niloticus* et la moule *mytilus galloprovincialis* comme bioindicateurs du niveau de pollution par les métaux traces : modélisation de la bioaccumulation. Mémoire de magister en génie de l'environnement. Université de Saad Dahlab-Blida, 218p

**MENZIE, C.A. Potocki B.B. and Santodonato J, 1992.** Exposure to carcinogenic PAHs in the environment. Environ. Sci. Technol. n°26, vol.7. p 1278-1284

**MOUSSAOUI, S. BELAKHAL, K, 2016.** Etude du pouvoir antimicrobien des substances bioactives de la moule (*Mytilus galloprovincialis*). Mémoire de master en Nutrition et santé. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, 59p

**MPO, 2003.** Profil de la moule bleue (*Mytilus edulis*). Région du Golfe. Moncton, Nouveau-Brunswick, Canada, 59p

### N

**NACIRI, M, 1998.** Dynamique d'une population de moules, *Mytilus galloprovincialis* (Lmk), vivant sur la côte atlantique marocaine. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, n°21, p43-50

**NAIT MOHAND, Hanane, 2016.** Contribution à l'évaluation de la qualité du milieu dans la baie d'Alger et la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire de master en Management de la Qualité Totale et Sécurité des Aliments. Université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou, 87p

**NDIAYE, M et al.2012.** Contamination des moules (*Mytilus galloprovincialis*) des côtes de la région de Dakar par les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs). Int. J. Biol. Chem. Sci, Vol.6, P 1895-1904

**Neff, J.M, 1985.** Polycyclic aromatic hydrocarbons. In: Rand G.M., Petrocelli S.R. (eds), Fundamentals of aquatic toxicology: Methods and applications. Hemisphere Publishing Corporation, New York, USA, P 416-454

### O

**OMI/PNUE, 2002.** Système Régional d'Information; Partie D, Guides Opérationnels et Documents Techniques, Fascicule 1: Guide pour la lutte contre la pollution marine accidentelle en Méditerranée, Guide du REMPEC (première version publié en juillet 1985).

**OUAHIL, A, 2017.** Etat de la pollution par matières particulaires et dissoutes dans le système fluvio-marin d'Oued Mazafran- embouchure (baie de Bousmail). Mémoire de master en Alimentation en eau potable. Ecole nationale supérieure d'hydraulique -ARBAOUI Abdellah, 71p

### P

**PAGLIASSOTTI, M. J. DAVIS, S. N. & CHERRINGTON, A. D. (1994).**The role of the liver in maintaining glucose homeostasis: Austin R.G. Landes Company. (In MOUSSAOUI et BELAKHAL, 2016)

**PAIVA, F.** Ship transport of marine invasive species and its stress resistance [en ligne]. (23/06/2014) Disponible sur: < <https://www.researchgate.net> > (consulté le 04/04/2020)

**PELLERIN, J. AMIARD, J-C. AISSA, P. SIDOUMOU, Z-M. LEMAY, G, 2005.** SEME : Surveillance de l'Environnement Marin et Estuarien, support de cours virtuels.

**PIPE, R.K. COLES, J. A, 1995.** Environmental contaminants influencing immune function in marine bivalve molluscs. Fish & Shellfish Immunology, vol. 5, p581-595

### R

**REYNAUD, S. DESCHAUX, P, 2006.** The effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on the immune system of fish: a review. Aquatic Toxicology, 2006, vol. 77, p229-238.

**RICE, C.A. MYERS, M.WILLIS, M.L. FRENCH, B.L. CASILLAS, E, 2000.** From sediment bioassay to fish biomarker connecting the dots using simple trophic relationships. Marine Environmental Research, vol. 50, p527-533

### S

**SCF- Scientific Committee on Food, 2002.** Opinion of the Scientific Committee on Food on the risks to human health of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in food.SCF/CS/CNTM/PAH/29 Final. B-1049 Bruxelles / Brussels – Belgium, 4 December, 84p

**SONGY, P. AVEZARD, J, 1963.** Documents pour l'étude des invertébrés (non arthropodes, cours des sciences naturelles. classique hachette, 84p

### T

**TALEB, M.Z, 2007.** Biosurveillance de la pollution au niveau de la cote occidentale Algérienne par l'utilisation d'une approche multimarqueurs chez la moule *Mytilus galloprovincialis*. Thèse de doctorat en pollution marine. Université d'Oran, Es-Sénia, 160p.

**TEKOUK, KH. A, 2018.** Etude de la qualité du milieu marin a travers deux bio indicateurs la moule « *Mytilus galloprovincialis* » et l'oursin « *Paracentrotus lividus* » au niveau de deux sites du

## Références bibliographiques

---

littoral de Mostaganem. mémoire de master en hydrobiologie marine et continentale. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, 121p

**TREMBLAY, L. KOHL, S.D. RICE, J.A. et GAGNE, J.P. 2005.** Effects of temperature, salinity, and dissolved humic substances on the sorption of polycyclic aromatic hydrocarbons to estuarine particles. *Marine Chemistry*, vol. 96, P 21-34.

**TUVIKÈNE, A, 1995.** Responses of fish to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Annales Zoologici Fennici*; vol. 32, p 295-307

### V

**VARANASI, U. RELCHERT, W.L.STEIN, J.E.BROWN, D.W.SANBORN, H.R, 1985.** Bioavailability and biotransformation of aromatic hydrocarbons in benthic organisms exposed to desiment from an urban estuary. *Environmental Science and Technology*, vol. 19, p.836-841

### W

**Wade, B.A, 1964.** Notes on the ecology of *Donax denticulatus* (Linné). *PROC. Gulf. Carib. Fish. Inst*, vol.17, p.36-41

**Annexe 01 : Propriétés physico-chimiques des 16 HAP prioritaires (INERIS, 2005)**

Nom	Masse molaire M (g/mol)	Constante de Henry KH (Pa.m <sup>3</sup> /mol)	Solubilité dans l'eau S à 25°C (mg/l)	Coefficient de partage octanol eau log K <sub>ow</sub>	Demi-vie (j=jour, a=an)
Naphtalène	128,2	48,9	32	3,30	16-48j
Acénaphthylène	152,2		3,93	4,07	/
Acénaphthène	154,2	14,7	3,42	3,98	/
Fluorène	166,2	9,2	1,90	4,18	32-60j
Phénanthrène	178,2	2,9 (à 20°C)	1	4,45	16-200j
Anthracène	178,2	5,04	0,07	4,45	50j – 1,3a
Fluoranthène	202,3	1,5 (à 25°C)	0,27	4,90	140j – 1,2a
Pyrène	202,3	1,1.10 <sup>-3</sup> (à 25°C)	0,16	4,88	210j – 5,2a
Benzo(a)anthracène	228,3	/	0,0057	6,61	102j – 1,9a
Chrysène	228,3	0,1 (à 25°C)	0,002	6,16	1 – 2,7a
Benzo(b) fluoranthène	252,3	0,05 (à 25°C)	0,0010	6,57	360j – 1,7a
Benzo(k) fluoranthène	252,3	0,069 (à 25°C)	0,0008	6,8	2,5 – 5,9a
Benzo(a)pyrène	252,3	4,0.10 <sup>-12</sup>	0,0038	6,06	57j – 1,5a
Dibenzo(ah)anthracène	278,3	4,8.10 <sup>-3</sup> (à 25°C)	0,0005	6,84	361j – 2,6a
Benzo(ghi)pérylène	276,3	2,7 10 <sup>-2</sup> (à 20°C)	0,002	6,50	0,25a – 1,8a
Indéno(1,2,3,cd)pyrène	276,3	2,9.10 <sup>-2</sup>	0,0008	6,58	1,6 – 2a

**Annexe 02** : les valeurs limites des teneurs en hydrocarbures dans les rejets d'effluents liquides industriels dans la loi algérienne (**Journal officiel, 2006**)

<b>Les hydrocarbures et les hydrocarbures aromatiques polycycliques</b>	<b>Unité</b>	<b>Valeurs limites</b>	<b>Tolérance aux valeurs limites anciennes installations</b>
les rejets d'effluents liquides industriels (hydrocarbures totaux)	mg/l	10	15
Industrie de l'énergie (hydrocarbures)	g/t	5	10
Cokéfaction (hydrocarbures aromatiques polycycliques)	mg/l	0,08	0,1
Industrie mécanique (hydrocarbures)	mg/l	15	20

**Annexe 0 3** : Exemple des valeurs limites d'HAP utilisées par différentes autorités pour gérer la sécurité des poissons et des fruits de mer à la suite de versement d'hydrocarbures (ITOPF, 2013)

<b>Organisations</b>	<b>Indicateur</b>	<b>Directives</b>	<b>Cible</b>
France-AFSSA ( EPIKA 1999)	16 HAP analysé par le réseau national d'observation(RNO)	$\Sigma < 500 \mu\text{g/kg DW}$ Interdiction de vente $>1000 \mu\text{g/kg DW}$	Coquillages
UK FSA (2002)	Benzo[a]anthracène Benzo[a]pyrène Dibenz[a,h]anthracène	$\Sigma < 15 \mu\text{g/kg WW}$	Tous les poissons et fruits de mer
Union européenne (2005)	Benzo[a]pyrène (Bap)	$< 2 \mu\text{g/kg WW}$ $< 5 \mu\text{g/kg WW}$ $< 10 \mu\text{g/kg WW}$	Poissons Crustacés et céphalopodes Coquillages
Corée du sud (MIFAFF) HEBEI SPIRIT (2007)	Equivalent du benzo[a]pyrène (BapE)	$< 3,35 \mu\text{g/kg WW}$	Tous les poissons et fruits de mer
US EPA (NEW CARISSA 1999)	BapE	Apte à la consommation $< 10 \mu\text{g/kg WW}$ Inapte à la consommation $< 45 \mu\text{g/kg WW}$	Coquillages Coquillages
US EPA (KURE 1997)	BapE	Apte à la consommation $< 5 \mu\text{g/kg WW}$ Inapte à la consommation $< 35 \mu\text{g/kg WW}$	Coquillages Coquillages
US EPA JULIE N (1996)	BapE	Apte à la consommation $< 16 \mu\text{g/kg WW}$ Inapte à la consommation $< 50 \mu\text{g/kg WW}$	Homard Homard

**Annexe 04 : Cancérogénicité des HAP (BATTAZ, 2009)**

<b>Nom</b>	<b>Classement UE</b>	<b>Classement CIRC/IARC</b>	<b>Classement US EPA</b>
Naphtalène	Nc	2B	C
Acénaphthylène	nc	/	D
Acénaphthène	nc	/	/
Fluorène	nc	3	D
Phénanthrène	nc	3	D
Anthracène	nc	3	D
Fluoranthène	nc	3	D
Pyrène	nc	3	D
Benzo(a)anthracène	2	2A	B2
Chrysène	2	3	B2
Benzo(b)fluoranthène	2	2B	B2
Benzo(k)fluoranthène	Nc	2B	B2
Benzo(a)pyrène	2	2A	B2
Dibenzo(ah)anthracène	nc	2B	B2
Benzo(ghi)pérylène	2	2A	B2
Indéno(1,2,3,cd)pyrène	nc	3	D

**nc** : non cancérigène

**2** : substances devant être assimilés à des substances mutagènes pour l'homme

**2A** : probablement cancérigène pour l'homme

**2B** : peut être cancérigène pour l'homme

**3** : ne peut être classé cancérigène.

**B2** : cancérigène probable pour l'homme

**C** : cancérigène possible pour l'homme

**D** : inclassable

**Annexe 05 : Etalons de dosage des HAP (CEAEQ, 2016)**

<b>Etalons de dosage</b>	<b>Ions de quantification (m/z)</b>		<b>Temps de rétention approx. (min.)</b>
Naphtalène	128,1	127,1	4,12
Acénaphthylène	152,1	151,1	5,46
Acénaphène	154,1	153,1	5,55
Fluorène	166,1	165,1	5,91
Phénanthrène	178,1	176,1	6,75
Anthracène	178,1	176,1	6,77
Fluoranthène	202,1	200,1	7,69
Pyrène	202,1	200,1	7,92
Benzo(a)anthracène	228,1	226,1	8,94
Chrysène	228,1	226,1	9,04
Benzo(b) fluoranthène	252,1	250,1	10,35
Benzo(k) fluoranthène	252,1	250,1	10,39
Benzo(a)pyrène	252,1	250,1	11,06
Dibenzo(ah)anthracène	278,1	276,1	13,19
Benzo(ghi)pérylène	288,1	284,1	14,04
Indéno(1,2,3,cd)pyrène	276,1	274,1	13,24

## Résumé

La préservation de la qualité du milieu marin littoral nécessite non seulement une connaissance qualitative des apports polluants vers l'environnement marin, mais également une connaissance des niveaux de présence des contaminants chimiques toxiques identifiés dans cet environnement et leur effet sur les organismes qui y vivent.

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont générés pendant la combustion incomplète de matière organique (fonctionnement des moteurs à essence ou des moteurs diesel, incinération des déchets agricoles, la combustion du bois, du charbon...etc.).

L'objectif visé dans cette étude est la recherche des HAP dans les tissus de la moule *Mytilus galloprovincialis* prise en tant que modèle ayant un potentiel utilisable en biosurveillance de l'environnement, présente dans la Baie de Bousmail.

Plusieurs travaux ont été réalisés traitant la contamination de l'écosystème côtier par les HAP, ces derniers ont démontré l'effet de cette pollution sur les différents organismes qui y vivent, entre autres notre espèce sentinelle *Mytilus galloprovincialis* connue par la bioaccumulation de ce genre de polluants, ce qui présente un danger pour la population, grande consommatrice de cette espèce.

**Mot clés :** Pollution marine, bivalves, bioaccumulation, HAP, Baie de Bousmail.

## Abstract

Preserving the quality of the coastal marine environment requires not only qualitative knowledge of pollutant inputs to the marine environment, but also knowledge of the presence of levels of toxic chemical contaminants identified in this environment and their effect on the organisms that live there.

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) are generated during the incomplete combustion of organic matter (operation of gasoline engines or diesel engines, incineration of agricultural waste, combustion of wood, coal, etc.).

The objective of this study is the search for PAHs in the tissues of the mussel *Mytilus galloprovincialis* taken as a model with a potential that can be used in environmental biomonitoring, present in the Bay of Bousmail.

Several works have been carried out dealing with the contamination of the coastal ecosystem by PAHs; these latter have demonstrated the effect of this pollution on the various organisms that live there, among others our sentinel species *Mytilus galloprovincialis*, which presents a danger for the population, large consumer of this species.

**Keywords:** Marine pollution, bivalves, bioaccumulation, PAHs, Bay of Bousmail.

يتطلب الحفاظ على البيئة البحرية الساحلية معرفة نوعية ملوثات البيئة البحرية، و أيضاً معرفة مستويات وجود الملوثات الكيميائية السامة التي تم تحديدها في هذه البيئة و تأثيرها على الكائنات الحية التي تعيش هناك.

الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات تتشكل من خلال الاحتراق الغير التام للمواد العضوية ( محركات البنزين أو محركات الديزل، احتراق النفايات الزراعية، احتراق الخشب، الفحم.....الخ).

الهدف من هذه الدراسة هو البحث عن الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات في الأنسجة البيولوجية لبليح البحر *Mytilus galloprovincialis* التي يتم أخذها كنموذج يمكن استخدامه في المراقبة الحيوية البيئية.

العديد من الدراسات و البحوث أجريت في هذا السياق من اجل معالجة التلوث البيئي للساحل بواسطة الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات، و قد أظهرت هذه الأخيرة تأثير هذا التلوث على مختلف الكائنات الحية التي تعيش هناك، بما في ذلك النوع المدروس والتي تشكل خطرا كبيرا على الفئة الكبيرة المستهلكة لهذا

النوع.

**الكلمات المفتاحية:** التلوث البحري، ثنائية الصدفية، التراكم الحيوي، الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات، خليج بوسماعيل