

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine: Sciences Biologiques

Spécialité/Option: Microbiologie appliquée

Département: Ecologie et Génie de l'Environnement

Thème

Contribution à l'étude de la bioaccumulation des quelques éléments traces métalliques par la moule *Perna perna* au niveau du littoral d'Annaba (Nord-Est Algérie)

Présenté par :

- DJAHEL Hanane
- KHEMAISSIA Sarra

Devant le jury :

Dr. BOUCHLEGHEM H
Dr. BARRA M
Dr. GUETTAF M

Président
Examineur
Encadreur

Université de Guelma
Université de Guelma
Université de Guelma

Juillet 2019

Remerciements

Avant tout, nous remercions ALLAH le tout Miséricordieux, L'unique, Le Puissant, Maître des cieux et de la terre pour nous avoir guidées, protégées, aidées et pour nous permettre de mener à bien réaliser ce travail.

Nos profonds remerciements s'adressent à notre promoteur, Dr. GUETTAF Mohamed, pour l'aide qu'il nous a apporté, pour sa patience, sa confiance, son encouragement, et son œil critique qui nous a été très précieux pour structurer ce travail et pour améliorer la qualité des différentes sections de notre mémoire, nous le remercions vivement.

Nous remercions l'ensemble des membres du jury pour avoir accepté de juger ce travail, notamment : Dr. BOUCLAGHEM (Président), Dr. ATTOUSSI (Examineur), Nous vous remercions d'avoir enrichi cette étude par vos expertises et vos expériences respectives.

Nous tenons à présenter nos profondes gratitude et notre respect à l'ensemble du personnels des laboratoires de SNV et de Biochimie de notre Université précisément Dr. CHLAGHMA Mohamed amine et madame Houria, Nadjat et Asma d'avoir rendu agréable nos conditions de travail et mis à nos disposition toute la documentation requise tout au notre stage.

Dédicaces

Au nom de Dieu le clément miséricordieux

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail

à mes très chers parents

Sources inépuisables d'amour, d'affection et de sacrifices. En témoignage de ma reconnaissance pour leur inéluctable patience, leur sacrifice et leur soutien au cours de mes longues études. Toutes les dédicaces du monde ne sauraient exprimer mon profond amour et ma vive gratitude. Que Dieu leur donne santé et longue vie et les garde pour moi.

Mes chers sœurs Sabrina et Nawel, Mes frères

*Qui par leur soutien et leur amour, m'ont appris à épanouir et à sourire afin d'être ce que je suis aujourd'hui. Je leur témoigne toutes mes sincères reconnaissances et je profite de l'occasion pour leurs dire : « **je vous aime très fort** ».*

Mes nièces et neveux : Housseem, Racim, Batoul, Saoussen, Dina, Mohamed, May, Anes, Hacem, Meriem, Raid, Abed-el Salem et Sadjid .

*À toute la famille **Djahel et Mammam** de près et de loin.*

Mes chères amies avec lesquelles j'ai partagé des moments inoubliables (Sara, Chaima, Nada, Wissem).

A ma chère binôme Sara et toute sa famille.

A tous ceux qui me sont chers je dédie ce modeste travail.

Hanane

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents

*auxquels je ne pourrais rendre assez « longue vie »,
pour leur patience, leur amour, leur soutien et leur encouragement.*

Que dieu les garde pour moi.

A mon mari Hamdi (Doudi)

Que je l'adore qui m'a aidé et m'encouragé, que dieu le protège pour moi.

A mes frères (Badri, Yacine...) et mes sœurs (Lamia, Sawssen, Houda, Salwa),

A ma belle-famille,

Que je les souhaite une vie pleine de bonheur, de santé et de réussite.

A Toutes mes chères amies, pour les bons moments qu'on a passés ensemble en particulier

(Hanane, Sihem et Rima)

Mes nièces et neveux (Taim, Mouhaymen, Rawad, Roudayna, Arwa, Chaima)

*À toute la famille Khemaissia de près et de loin et pour tous ceux qui me connaissent et qui
m'ont aidé.*

Sans oublier ma binôme Hanane

Sara

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Diverses sources de pollution du golf d'Annaba.	28
2	Les résultats de l'étude biométrique des moules de la baie de Chetaibi.	55
3	Les résultats de l'étude biométrique des moules de la baie d'El-Hanaya.	56
4	Equations caractéristiques des régressions reliant la longueur et le poids de <i>Perna perna</i> dans les deux baies.	59
5	Valeurs guides et normes (en mg/kg de p.s) des teneurs en métaux lourds dans la chair des mollusques bivalves.	82

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Situation géographique de littoral d'Annaba (Google Maps 2019, Modifié).	26
2	Morphologie externe de la moule <i>Perna perna</i> (photo originale).	29
3	Morphologie interne de la moule <i>Perna perna</i> (photo originale).	29
4	La baie de Chetaibi (photo originale).	31
5	La baie d'El-Hanaya (photo originale).	31
6	Les moules reçues au laboratoire dans une glacière (photo originale).	32
7	Localisation géographique des sites de prélèvements de Chetaibi (Google Maps modifiée).	34
8	Informations générales d'échantillonnage (Chetaibi).	35
9	Localisation géographique des sites de prélèvements d'El-Hanaya (Google Maps modifiée).	36
10	Informations générales d'échantillonnage (El-Hanaya).	37
11	Les moules (<i>Perna perna</i>) avant le nettoyage (photo originale).	38
12	Schéma représentatif de différents compartiments de la moule.	39
13	Schéma représentatif des paramètres linéaires des moules.	40
14	La détermination de la longueur de la moule (photo originale).	40
15	L'extraction de la chair (photo originale).	41
16	Séchage de la chair des moules dans l'étuve à 80°C (photo originale).	43

17	Broyage de la matière sèche (photo originale).	44
18	Minéralisation de la matière sèche sous la hotte (photo originale).	45
19	Agitation sous la hotte (photo originale).	45
20	Chauffage des échantillons sous la hotte (photo originale).	46
21	Rajout des mêmes volumes des acides (photo originale).	46
22	Filtration (photo originale).	47
23	Protocole suivi pour le dosage des métaux lourds dans les moules.	48
24	Spectrophotométrie d’Absorption Atomique AAnalyst 400(Perkin Elmer) (photo originale).	50
25	Lampe cathode creuse (photo original).	51
26	Nébuliseur (photo originale).	52
27	Flamme (photo originale).	52
28	Préparation des étalons (photo originale).	53
29	Relation taille-poids de la moule <i>Perna perna</i> récoltée au niveau de la baie de Chetaibi pendant le mois d’avril.	57
30	Relation taille-poids de la moule <i>Perna perna</i> récoltée au niveau de la baie d’El-Hanaya pendant le mois de mai.	58
31	Variations de l’indice de condition chez <i>Perna perna</i> récoltée au premier site (Chetaibi).	59
32	Variations de l’indice de condition chez <i>Perna perna</i> récoltée au deuxième site (Chetaibi).	60

33	Variations de l'indice de condition chez <i>Perna perna</i> récoltée au troisième site (Chetaibi).	61
34	Variations de la moyenne de l'indice de condition chez <i>Perna perna</i> récoltée au niveau de la baie de Chetaibi.	61
35	Variations de l'indice de condition chez <i>Perna perna</i> récoltée au premier site (El-Hanaya).	62
36	Variations de l'indice de condition chez <i>Perna perna</i> récoltée au deuxième site (El-Hanaya).	63
37	Variations de l'indice de condition chez <i>Perna perna</i> récoltée au troisième site (El-Hanaya).	64
38	Variations de l'indice de condition chez <i>Perna perna</i> récoltée au quatrième site (El-Hanaya).	64
39	Variations de la moyenne l'indice de condition chez <i>Perna perna</i> récoltée au niveau de la baie d'El-Hanaya.	65
40	Variations de la moyenne l'indice de condition chez <i>Perna perna</i> récoltée aq qu niveau de littoral d'Annaba.	66
41	Variations du pourcentage d'humidité chez <i>Perna perna</i> récoltée au premier site (Chetaibi).	66
42	Variations du pourcentage d'humidité de <i>Perna perna</i> récoltée au deuxième site (Chetaibi).	67
43	Variations du pourcentage d'humidité chez <i>Perna perna</i> récoltée au troisième site (Chetaibi).	68
44	Variations de la moyenne du pourcentage d'humidité chez <i>Perna perna</i> récoltée au niveau de la baie de Chetaibi.	68
45	Variations du pourcentage d'humidité chez <i>Perna perna</i> récoltée au premier site (El-Hanaya).	69

46	Variations du pourcentage d'humidité chez <i>Perna perna</i> récoltée au deuxième site (El-Hanaya).	70
47	Variations du pourcentage d'humidité chez <i>Perna perna</i> récoltée au troisième site (El-Hanaya).	71
48	Variations du pourcentage d'humidité chez <i>Perna perna</i> récoltée au quatrième site (El-Hanaya).	72
49	Variations de la moyenne du pourcentage d'humidité chez <i>Perna perna</i> récoltée au niveau de la baie d'El-Hanaya.	72
50	Variations de la moyenne du pourcentage d'humidité chez <i>Perna perna</i> récoltée au niveau de littoral d'Annaba.	73
51	Variation des teneurs des ETM dosés au niveau du premier site (Chetaibi).	74
52	Variation des teneurs des ETM dosés au niveau du deuxième site (Chetaibi).	75
53	Variation des teneurs des ETM dosés au niveau du troisième site (Chetaibi).	76
54	Variation des teneurs des ETM dosés au niveau du premier site (El-Hanaya).	77
55	Variation des teneurs des ETM dosés au niveau du deuxième site (El-Hanaya).	77
56	Variation des teneurs des ETM dosés au niveau du troisième site (El-Hanaya).	78
57	Variation des teneurs des ETM dosés au niveau du quatrième site (El-Hanaya).	79

Liste des abréviations

As : Arsenic

Cd : Cadmium

CH₃Hg : Méthyl mercure

Co : Cobalt

COD : Carbone organique dissous (COD)

Cr : Chrome

Cr (III) : Chrome trivalent

Cr (VI) : Chrome hexavalent

Cr₂O₃ : Oxyde chromique

Cu : Cuivre

ETM : Eléments traces métalliques

FBA : Facteur de bioamplification

FBC : Facteur de bioconcentration

Fe : Fer

Fe³⁺ : Fer ferrique

Hg : Mercure

Mn : Manganèse

Mo : Molybdène

MTs : Métallothionéines

Ni : Nickel

Pb : Plomb

PH : Potentiel hydrogène

Se : Sélénium

Sn : Etain

Ti : Titane

V : Vanadium

Lt : Longueur totale

La : Largeur (La)

Pt : Poids total frais

Pcoq : Poids de la coquille

Pf : Poids frais de la chair

Ps : Poids sec de la chair

HNO₃ : Acide nitrique

HCl : Acide chlorhydrique

SAA : Spectromètre d'Absorption Atomique

ABS : Absorbance

R² : Coefficient de corrélation

IC : Indice de condition

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

IFREMER : Institut français de recherche pour l'exploitation de la me

Résumé

Cette modeste étude consiste à suivre la contamination métallique côtière du littoral d'Annaba (Nord-Est Algérie), nous avons basé sur l'échantillonnage et la recherche d'une contamination métallique par le Cadmium, le Chrome, le Cuivre, le Fer, le Nickel et le Zinc respectivement dans les moules.

Dans ce contexte, nous avons contribué à l'estimation des teneurs et de la bioaccumulation de ces métaux chez la moule africaine *Perna perna* ainsi qu'à une étude sur la croissance et l'indice de condition de ces bivalves. C'est pourquoi, nous avons échantillonné de plusieurs sites localisés dans deux secteurs différents de littoral Chetaibi et El-Hanaya, ces derniers sont choisis en fonction de leur localisation, par rapport à différentes sources de pollution et à l'hydrodynamisme qui y règne, les deux séries de prélèvement sont effectuées en mars et avril 2019.

L'évaluation de l'intensité de la relation entre la longueur totale et le poids total de ces moules révèle l'existence d'une allométrie minorante entre ces deux paramètres ($b < 3$), témoignant de l'augmentation de la taille des individus plus rapide que celle du poids.

L'évaluation de l'indice de condition chez ces moules fait apparaître les valeurs moyennes présentées par les moules de site d'El-Hanaya (38.26 %) qui sont plus élevées que celles des moules de site de Chetaibi (29.76%). Donc, les valeurs sensiblement élevées de cet indice dans ces deux sites d'étude peuvent être expliquées par l'emménagement d'une grande part de la matière grasse qui sera utilisée par l'animal pendant la période de la reproduction

En effet, la teneur des ETM accumulée au niveau de la chair traduit clairement la présence des quantités remarquables dans le milieu marin qui abrite ses espèces, le Fer et le Zinc qui sont les éléments les plus dominants dans les trois sites de la baie de Chetaibi (avec une moyenne de 107.54 mg/kg pour le Fer et 93.93 mg/kg pour le Zinc), alors que dans la plage d'El-Hanaya c'est le Fer qui domine en premier lieu (203.6 mg/kg). En deuxième lieu, c'est le Zinc (85.26 mg/kg) qui marque son abondance suivie par le Nickel (8.68 mg/kg) mais beaucoup plus dans la baie de Chetaibi (8.94 mg/kg).

Les teneurs du Fer et du Zinc sont en dessous des normes, alors que le Cadmium (3.84 mg/kg à El-Hanaya et 3.16 mg/kg à Chetaibi), le Chrome (14 mg/kg à El-Hanya et 5.15 mg/Kg à Chetaibi), le Cuivre (9.38 mg/kg à El-Hanaya et 8.38 mg/kg à Chetaibi) et le Nickel (8.68 mg/kg à El-Hanaya et 8.94 mg/Kg à Chetaibi) ont enregistré un taux plus élevé par rapport aux normes ; ce qu'indiquant la gravité de la situation au niveau du milieu à partir duquel nos échantillons sont prélevés.

Mots clés : Bioaccumulation, Métaux lourds, *Perna perna*, littoral d'Annaba, indice de condition, Croissance relative.

ملخص

تتألف هذه الدراسة المتواضعة من متابعة التلوث الساحلي المعدني لساحل عنابة (شمال شرق الجزائر)؛ ركزنا على أخذ العينات والبحث عن التلوث المعدني من قبل الكاديوم، الكروم، النحاس، الحديد، النيكل والزنك على التوالي في القوالب. وفي هذا السياق، أسهمنا في تقدير مستويات هذه المعادن وتراكمها الأحيائي داخل القالب الأفريقي (*Perna Perna*)، وفي دراسة النمو ومؤشر حالة ثنائيات الصدفة. ولهذا السبب قمنا بأخذ عينات من مواقع مختلفة تقع في قطاعين مختلفين على طول الساحل شطايبي والحنايا، وقد تم اختيارها على أساس موقعها، بالنسبة لمختلف مصادر التلوث والهيدرودينية التكافؤية. سلسلتا العينات أجريت في مارس وأفريل 2019. تقييم كثافة العلاقة بين الطول الإجمالي والوزن الإجمالي لهذه القوالب تكشف عن وجود قياس تنامي أدنى بين هذه العوامل المتغيرة (ب > 3)، مما يشير إلى زيادة أسرع في طول قامة الأفراد من الوزن. ويبين قياس مؤشر حالة هذه القوالب أن متوسط القيم التي تقدمها قوالب موقع الحنايا (38.26 %) أعلى من تلك الموجودة في موقع شطايبي (29.76 في المائة). إذن، يمكن تفسير القيم العالية لهذا المؤشر في هذين الموقعين بتخزين نسبة كبيرة من الدهون التي ستستخدمها الحيوانات في وقت لاحق خلال فترة الإنجاب. ويعكس مستوى ETM المتراكم على مستوى اللحم بوضوح وجود كميات ملحوظة في البيئة البحرية التي تأوي هذه الأنواع. الحديد والزنك هما العنصران الأكثر هيمنة في المواقع الثلاثة لخليج شطايبي (بمتوسط قدره 107.54 ملغ/كغ للحديد و93.93 ملغ/كغ للزنك). ويهيمن الحديد في الموقع الأول لشاطئ الحنايا (203.6 ملغ/كغ)، في حين يهيمن الزنك في الموقع الثاني (85.26 ملغ/كغ)، يليه النيكل (8.68 ملغ/كغ) وهو أعلى إلى حد ما في خليج شطايبي (8.94 ملغ/كغ). مستويات الحديد والزنك أقل من المعايير، في حين أن الكاديوم (3.84 ملغم/كغم في الحنايا و3.16 ملغ/كغم في الشطايبي)، والكروم (14 ملغ/كغم في الحنايا و5.15 ملغ/كغم في شطايبي)، والنحاس (9.38 ملغ/كغم في الحنايا و8.38 ملغ/كغم في الشطايبي) و8.38 ملغ/كغم في الشطايبي) والنيكل (8.68 ملغ/كغم في الحنايا و8.94 ملغ/كغم في شطايبي) سجلوا معدلاً أعلى من المعايير. وهذا يدل على خطورة الحالة في البيئة التي سحبت منها عيناتنا.

الكلمات الرئيسية: التراكم البيولوجي، المعادن الثقيلة، (*Perna Perna*)، ساحل عنابة، مؤشر الحالة، النمو النسبي.

Abstract

This modest study consists of following the metallic coastal contamination of the seashore of Annaba (Northeast of Algeria); it is based on the sampling of and research on a metallic contamination by Cadmium, Chrome, Copper, Iron, Nickel and Zinc respectively in molds.

In this context, we have contributed to the estimation of the levels of these metals and their bioaccumulation within the African mold *Perna perna*, and to a study on the growth of these bivalves and their index of condition. That is why we have sampled various sites located in two different sectors along the seashores of Chetaibi and El- Hanaya, these were chosen on the basis of their location, in relation to the different sources of pollution and to the prevalent hydrodynamism. The two series of sampling were conducted on March and April 2019.

The measurement of the strength of association between the total height and the total weight of these molds reveals the existence of a minorant allometry between these two parameters ($b < 3$), indicating a faster increase in the size of bodies than that in weight.

The measurement of the index of condition of these molds shows the average values presented by the molds of the site of El-Hanaya (38.26 %) which are higher than those of the site of Chetaibi (29.76%). Thus, the substantially high values of this index in these two sites of study can be explained by the storage of a large proportion of fat that would be later used by the animals during the period of procreation.

The level of MTE accumulated at the level of flesh clearly reflects the presence of remarkable quantities in the marine environment that hosts these species. Iron and Zinc are the most dominant elements at the three sites of Chetaibi bay (with an average of 107.54 mg/kg for Iron and 93.93 mg/kg for Zinc). Iron dominates in the first site of El-Hanaya beach (203.6 mg/kg), while Zinc dominates in the second (85.26 mg/kg), followed by Nickel (8.68 mg/kg) which is rather higher in Chetaibi bay (8.94 mg/kg).

The levels of Iron and Zinc are below standards, while Cadmium (3.84 mg/kg in El-Hanaya and 3.16 mg/kg in Chetaibi), Chrome (14 mg/kg in El-Hanya and 5.15 mg/Kg in Chetaibi), Copper (9.38 mg/kg in El-Hanaya and 8.38 mg/kg in Chetaibi) and Nickel (8.68 mg/kg in El-Hanaya and 8.94 mg/Kg in Chetaibi) recorded a rate higher than standards. This indicates the gravity of the situation in the environment from where our samples have been withdrawn.

Key words: Bioaccumulation, heavy metals, *Perna perna*, Annaba seashore, index of condition, relative growth.

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
I. Liste des tableaux	
II. Liste des figures	
III. Liste des abréviations	
Introduction	1
partie I: Synthèse bibliographique	
Chapitre I : Connaissance actuelle sur les ETM	
I.Généralité	3
1.Définition	3
2.Propriétés.....	4
3.Types	4
3.1.Métaux lourds essentiels	5
3.2.Métaux non essentiels	5
4.Sources dans l'écosystème aquatique.....	5
4.1.Sources naturelles.....	5
4.2.Sources anthropiques.....	6
5.Spéciation et biodisponibilité des ETM dans le milieu aquatique	6
5.1.Spéciation	6
5.2.Biodisponibilité	7
6.Devenir des ETM dans le milieu aquatique	7
6.1.Bioaccumulation.....	7
6.2.Assimilation	8
6.3.Bioconcentration (bioaccumulation par individus)	8
6.4.Bioamplification (bioaccumulation entre individus).....	8
7.Effets des métaux lourds	9
7.1.Effets sur la santé	9
7.2.Effets sur l'environnement aquatique.....	9
II.Eléments traces métalliques étudiés	10
1.Cadmium	10

1.1. Propriétés biologiques	10
1.2.Sources	10
1.2.1.Sources naturelles.....	10
1.2.2.Sources anthropiques.....	10
1.3.Toxicité.....	11
1.3.1.Chez l'homme	11
1.3.2.Dans l'environnement	11
2.Chrome	12
2.1.Propriétés biologiques	12
2.2.Sources	12
2.2.1.Sources naturelles.....	12
2.2.2.Sources anthropiques.....	13
2.3.Toxicité.....	13
2.3.1.Chez l'homme	13
2.3.2.Dans l'environnement	13
3.Cuivre	14
3.1.Propriétés biologiques	14
3.2.Sources	14
3.2.1.Sources Naturelles.....	14
3.2.2.Sources anthropiques.....	14
3.3.Toxicité.....	15
3.3.1.Chez l'homme	15
3.3.2.Dans l'environnement	15
4.Fer.....	16
4.1.Propriété biologiques.....	16
4.2.Sources	16
4.2.1.Sources naturelles.....	16
4.2.2.Sources anthropiques.....	16
4.3.Toxicité.....	17
4.3.1.Chez l'homme	17
4.3.2.Dans l'environnement	17
5.Nickel	17
.5.1Propriétés biologiques	18

5.2.Sources	18
5.2.1.Sources naturelles.....	18
5.2.2.Sources anthropiques.....	18
5.3.Toxicité.....	18
5.3.1.Chez l’homme	18
5.3.2.Dans l’environnement	19
6.Zinc.....	19
6.1.Propriétés biologiques	19
6.2.Sources	19
6.2.1.Sources naturelles.....	19
6.2.2.Sources anthropiques.....	20
6.3.Toxicité.....	20
6.3.1.Chez l’homme	20
6.3.2.Dans l’environnement	20

Chapitre II : Surveillance de la qualité de l’environnement marin

I.Processus physiologique de bioaccumulation des ETM chez la moule.....	22
1.Mécanismes de pénétration de stockage et d’excrétion des métaux lourds chez les moules.....	22
1.1.Mécanismes de pénétration	23
1.2.Mécanismes de stockage	23
1.3.Mécanismes d’excrétion.....	23
1.4.Mécanismes de détoxification	24
2.Exemples de la bioaccumulation des quelques métaux lourds chez les moules	24
2.1.Bioaccumulation de Cadmium	24
2.2.Bioaccumulation du Cuivre et du Zinc.....	25
II.Facteurs influençant sur la bioaccumulation chez les moules	25
1.Facteurs biotiques.....	25
2.Facteurs abiotiques.....	25

Partie II :Etude expérimentale

Chapitre III : Matériel et méthode

I.Descriptions de la zone d’étude	26
1.Climat régional.....	26
1.1.Températures	26
1.2.Vents.....	26

2.Sources de contamination.....	27
2.1.Usines	27
2.2.Zones industrielles.....	27
2.3.Rejets urbains	27
II.Matériel biologique.....	28
1.Présentation de l'espèce étudiée.....	28
2.Position systématique	30
III.Techniques d'échantillonnage et d'analyses	31
1.Echantillonnage	31
1.1.Nature et effectif des échantillons	32
2.Déroulement des conditions d'échantillonnage	33
2.1.Dans la région de Chetaibi	33
2.1.2.Couverture sédimentaire.....	33
2.2.Dans la région de El-Hanaya.....	36
2.2.1.Couverture sédimentaire.....	36
3.Traitement des échantillons.....	38
3.1.Préparation du matériel	38
3.2.Préparation des échantillons avant le dosage	38
3.2.2.Mesure des paramètres biologiques	39
a.Etude Biométrique.....	39
b.Relation taille-poids	41
c.Indice de condition	43
3.2.3.Minéralisation des échantillons	44
3.2.4.Mise en solution	46
4.Dosage des ETM	49
4.1.Spectrométrie d'Absorption Atomique	49
4.2.Appareillage	50
4.2.1.Source lumineuse	50
4.3.Chambre d'absorption.....	51
4.4.Détecteur	52
4.5.Monochromateur	53
5.Préparation des courbes d'étalonnage	53

Partie III : Résultats et discussions

Chapitre IV : Résultats

1.Mesure des paramètres biologiques	55
1.1.Etude Biométrique.....	55
1.2.Relation taille-poids	57
1.3.Indice de condition	59
1.4.Pourcentage d'humidité.....	66
2.Résultats de dosage des ETM.....	73

Chapitre V : Discussions

Conclusion.....	83
-----------------	----

Références bibliographiques

Annexe

Résumés

Introduction

La côte d'Annaba est l'une des côtes les plus riches en Algérie, avec une superficie maritime de 8.089 km², elle abrite une biodiversité halieutique de haute valeur nutritive, poisson bleu, blanc, crustacé et mollusque. A titre indicatif, la production halieutique enregistrée durant l'année 2010 selon les travaux de LASSOUED (2012) s'élève à plus de 8 672.13 tonnes (toutes espèces confondues). Les consommateurs de cette ville s'intéressent de plus en plus aux poissons et aux autres produits animaux, les moules en particulier, provenant de l'aquaculture et des pêches de capture du fait de leur valeur nutritionnelle et des bienfaits qu'ils ont pour la santé. Le poisson offre un ensemble complet de nutriments, à la composition unique, comprenant des acides gras oméga-3 à longue chaîne EPA (acide eicosapentaénoïque) et DHA (acide docosahexaénoïque).

La valeur énergétique des moules est d'environ 100 kcal pour 100 g (décortiquées), dont presque 20 g de protéines. Comme la plupart des fruits de mer, les **moules** sont une source non négligeable de : Phosphore, Fer, Zinc, Cuivre, Manganèse, Sélénium, Calcium. Vitamines : B12, B1, B2, B3. Néanmoins, la consommation des bivalves contaminés, expose le consommateur à un risque de toxi-infection : Fièvre typhoïde, Salmonellose, Shigellose, Campylobactériose, Choléra, Gastro-entérite virale et Hépatite A. [1]

En ce sens, l'objectif principal de cette étude était de déterminer la validité de la consommation de ces espèces marines après avoir évalué les teneurs de polluants métalliques, accumulés dans leurs cellules, et leur conformité aux normes internationales et nationales.

Le deuxième objectif est de décrire l'état du milieu marin, à travers cette espèce bioindicatrice, en tant qu'un des écosystèmes qui abrite une biodiversité plus riche et plus diversifiée. Dans cette optique, et afin de déterminer la dispersion de divers polluants marins en provenance de la ville d'Annaba, l'un des plus grands pôles industrialisés de l'Est Algérien, deux zones d'étude ont été choisies dans deux sites différents et opposés : la baie Ouest de Chetaibi et la plage d'El-Hanaya.

Ce travail s'articule sur trois parties : la première partie est une synthèse bibliographique concernant la présentation des différents métaux lourds et leurs propriétés physicochimiques et comment les accumuler au sein de ces espèces choisies pour l'étude.

Introduction

La deuxième partie s'intitule matériel et méthode inclut l'aspect expérimental de ce travail, le mode opératoire et les outils de laboratoire qui ont été utilisés pour la réalisation de ce projet.

La dernière partie présente les résultats obtenus sous forme de tableaux et de graphiques et qui se termine par une discussion et conclusion.

Introduction

La côte d'Annaba est l'une des côtes les plus riches en Algérie, avec une superficie maritime de 8.089 km², elle abrite une biodiversité halieutique de haute valeur nutritive, poisson bleu, blanc, crustacé et mollusque. A titre indicatif, la production halieutique enregistrée durant l'année 2010 selon les travaux de LASSOUED (2012) s'élève à plus de 8 672.13 tonnes (toutes espèces confondues). Les consommateurs de cette ville s'intéressent de plus en plus aux poissons et aux autres produits animaux, les moules en particulier, provenant de l'aquaculture et des pêches de capture du fait de leur valeur nutritionnelle et des bienfaits qu'ils ont pour la santé. Le poisson offre un ensemble complet de nutriments, à la composition unique, comprenant des acides gras oméga-3 à longue chaîne EPA (acide eicosapentaénoïque) et DHA (acide docosahexaénoïque).

La valeur énergétique des **moules** est d'environ 100 kcal pour 100 g (décortiquées), dont presque 20 g de protéines. Comme la plupart des fruits de mer, les **moules** sont une source non négligeable de : Phosphore, Fer, Zinc, Cuivre, Manganèse, Sélénium, Calcium. Vitamines : B12, B1, B2, B3. Néanmoins, la consommation des bivalves contaminés, expose le consommateur à un risque de toxi-infection : Fièvre typhoïde, Salmonellose, Shigellose, Campylobactériose, Choléra, Gastro-entérite virale et Hépatite A. [1]

En ce sens, l'objectif principal de cette étude était de déterminer la validité de la consommation de ces espèces marines après avoir évalué les teneurs de polluants métalliques, accumulés dans leurs cellules, et leur conformité aux normes internationales.

Le deuxième objectif est de décrire l'état du milieu marin, à travers cette espèce bioindicatrice, en tant qu'un des écosystèmes qui abrite une biodiversité plus riche et plus diversifiée. Dans cette optique, et afin de déterminer la dispersion de divers polluants marins en provenance de la ville d'Annaba, l'un des plus grands pôles industrialisés de l'Est Algérien, deux zones d'étude ont été choisies dans deux sites différents et opposés : la baie Ouest de Chetaibi et la plage d'El-Hanaya.

Ce travail s'articule sur trois parties : la première partie est une synthèse bibliographique concernant la présentation des différents métaux lourds et leurs propriétés physicochimiques et comment les accumuler au sein de ces espèces choisies pour l'étude.

Introduction

La deuxième partie s'intitule matériel et méthode inclut l'aspect expérimental de ce travail, le mode opératoire et les outils de laboratoire qui ont été utilisés pour la réalisation de ce projet.

La dernière partie présente les résultats obtenus sous forme de tableaux et de graphiques et qui se termine par une discussion et conclusion.

PARTIE I : SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Connaissance actuelle sur les ETM

I. Généralité

A la différence de la plupart des contaminants organiques, les métaux lourds sont des constituants naturels dans les roches et dans les gisements minéraux. [2]

Les métaux lourds sont des métaux de haut poids moléculaire. Ils présentent une rémanence environnementale importante du fait de leurs aptitudes à se fixer en grande quantité dans les sols, les sédiments, et les êtres vivants, ils constituent un enjeu de santé publique car ils sont reconnus comme ayant de forts effets sur la santé humaine. [3]

La notion « d'Éléments Traces Métalliques » (ou ETM) est mal définie, néanmoins, celle-ci se substitue peu à peu à celle de « métaux lourds ». Par ce terme générique « d'éléments traces métalliques » [4] certains éléments ne sont pas des métaux (comme l'Arsenic) et d'autres ne sont pas « Lourds » (comme le Zinc), il désigne en fait un ensemble des métaux ou métalloïdes dont la toxicité est forte. [5] Pour ces différentes raisons, la plupart des scientifiques préfèrent à l'appellation métaux lourds, l'appellation « Éléments en traces Métalliques » (ETM) ou par extension « éléments traces ». [6]

1. Définition

Les définitions des métaux lourds sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe ainsi que de l'objectif de l'étude à réaliser.

D'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être également définis comme : [7]

- Tout élément métallique naturel dont la masse volumique dépasse 5g/cm³. [8]
- Tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium (Z = 11). [9]
- Tout métal peut être toxique pour les systèmes biologiques. [10]

Dans la science environnementale, les métaux lourds associés aux notions de pollution et de toxicité sont généralement : l'Arsenic (As), le Chrome (Cr), le Cadmium (Cd), le Cuivre (Cu), le Mercure (Hg), le Manganèse (Mn), le Nickel (Ni), le Plomb (Pb), l'Etain (Sn), le Zinc (Zn). [11]

En toxicologie, ils peuvent être définis comme des métaux à caractère cumulatif (souvent dans les tissus graisseux) ayant essentiellement des effets très néfastes sur les organismes vivants.

En nutrition et en agronomie, ils peuvent même être assimilés à des oligo-éléments indispensables à certains organismes, en particulier par leur action catalytique au niveau du métabolisme. [12]

2. Propriétés

Les métaux lourds forment naturellement notre intermédiaire peuvent interagir avec tous les groupements fonctionnels, ils sont présents, en faible quantité, dans les eaux de mer et de surface, ainsi les organismes vivants. [13]

Ayant un éclat métallique, bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, [14] peuvent former des liaisons métalliques et perdre des électrons pour former des cations et forment des précipités non solubles avec les sulfures. [15]

La plupart de ces contaminants sont en effet caractérisés non seulement par une forte écotoxicité, mais également, par une capacité de bioaccumulation dans les tissus des organismes, de biomagnification tout au long de la chaîne alimentaire et une persistance à long terme dans l'environnement ce qui signifie qu'ils ne se dégraderont jamais, ni dans l'environnement, ni lors de la transformation de produits alimentaires, ni dans le corps. La particularité de la pollution par les métaux lourds est son irréversibilité. [16]

Ils ne présentent pas tous les mêmes risques en raison de leurs effets sur les organismes, leurs propriétés chimiques, physico-chimiques et biologiques. Leur toxicité est très variable et leur impact sur l'environnement est très différent. [17]

3. Types

Les métaux traces sont divisés en éléments essentiels et non essentiels. Beaucoup d'entre eux sont essentiels au système biologique, et en absence de ces derniers, l'organisme est incapable de se développer. Toutefois, ils sont considérés comme toxiques à une certaine dose. Alors, cette toxicité dépend du degré de leurs concentrations. [18]

3.1. Métaux lourds essentiels

Ce sont des éléments indispensables, à l'état de trace, pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques. [19] Par exemple le Zinc (Zn), à la concentration du milli-molaire, est un oligo-élément qui intervient dans nombreuses réactions enzymatiques (déshydrogénases, protéinase, peptidase) et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et les lipides. [13]

Certains peuvent devenir toxiques à fortes concentrations. C'est le cas du Fer (Fe), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Cobalt (Co), Manganèse (Mn), Chrome (Cr), Molybdène (Mo), Sélénium (Se), Nickel (Ni), Vanadium (V), Titane (Ti), Arsenic (As). [6]

L'augmentation de la concentration de ces éléments dans l'environnement peut aboutir à des phénomènes de toxicité. [20].

3.2. Métaux non essentiels

Les éléments non essentiels n'ont, à l'inverse des précédents, aucun rôle biologique actuellement connu. C'est le cas du Mercure (Hg), de l'Argent (Ag), du cadmium (Cd) et du Plomb (Pb). Ils sont considérés comme néfastes dès qu'ils sont présents dans le milieu et entraînent des effets biologiques délétères à de très faibles concentrations. [21] Ils peuvent être fixés par certaines protéines comme la métallathioéine, entraînant ainsi des perturbations dans le métabolisme cellulaire. [22]

4. Sources dans l'écosystème aquatique

Les métaux lourds qui entrent dans l'environnement aquatique proviennent de source naturelle et de source anthropique. Leurs entrées peuvent être le résultat soit des déversements effectués directement dans l'écosystème marin, soit d'un cheminement indirect comme dans le cas de la décharge sèche et humide et du ruissellement agricole : [23]

4.1. Sources naturelles

Dans les écosystèmes non perturbés, la source principale pour la majorité des métaux lourds est le fond pédogéochimique. [24] Les métaux sont souvent retrouvés en mélange avec d'autres métaux ainsi qu'avec des composés non métalliques. L'altération naturelle de la roche mère, l'érosion de sols riches en métaux suite à une exploitation forestière

intensive ou à un feu de forêt, les volcans et les fentes sous-marines sont les principales sources naturelles des métaux dans l'eau. [25]

4.2. Sources anthropiques

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes. [26] Parmi les activités qui contribuent à l'apport des concentrations dans l'environnement on a :

- Activités pétrochimiques.
- Sources atmosphériques, par exemple combustion de carburants fossiles, incinération des déchets et émissions industrielles. [6]
- Transport (véhicules et moteurs routiers et non routiers, embarcations).
- Produits (interrupteurs électriques, amalgames dentaires, éclairages fluorescents).
- Déchets urbains (eaux usées, boues d'épuration, ordures ménagères), agricoles. [27]
- Effluents d'extractions minières.
- Effluents industriels. [28]

5. Spéciation et biodisponibilité des ETM dans le milieu aquatique

La spéciation et la biodisponibilité des métaux sont deux notions intéressantes à connaître pour la compréhension du processus de bioaccumulation. [29.6]

5.1. Spéciation

La spéciation chimique d'un élément se définit comme la distribution d'un élément parmi l'ensemble des espèces chimiques. [30] Elle est un facteur important pour appréhender la biodisponibilité des métaux. [25]

Le comportement d'un métal dans un écosystème aquatique dépend des conditions physico-chimiques du milieu et il peut exister sous différentes formes, réparties entre la phase dissoute et la phase particulaire [31], au sein de la fraction dissoute, le métal est présent sous différentes formes chimiques : [32]

- L'ion métallique « Libre », associé à des molécules d'hydratation, noté M^{z+} ,
- Liés à des complexes inorganiques $M-X$ où $X : Cl^-, HCO_3^-, \dots$
- Liés à des complexes organiques de type ligands monomères $M-L$ (acides aminés) ou de type ligands polymères (acides humiques). [25]

5.2. Biodisponibilité

La biodisponibilité se définit comme la possibilité qu'un contaminant soit assimilé et/ou adsorbé sur un organisme vivant [33] pouvant entraîner sur celui-ci un effet positif ou négatif. [34] Il est souvent considéré que la forme de l'ion libre est la forme métallique la plus biodisponible pour les organismes. [32]

Elle met en jeu trois étapes principales : l'advection ou la diffusion depuis la solution vers la surface de la membrane, l'adsorption ou la complexation sur les sites de transport et le transport à travers la membrane pour une assimilation dans l'organisme. [35]

Elle s'agit d'un des paramètres essentiels de la toxicité car un changement de la biodisponibilité d'un polluant équivaut à un changement de toxicité. [33] Par exemple, le Mercure métallique, s'il est ingéré, éliminé par l'organisme, il deviendra peu toxique. En revanche, le méthyl mercure CH_3Hg qui se forme dans le sang, par inhalation de la vapeur de Mercure, est extrêmement toxique. [34]

6. Devenir des ETM dans le milieu aquatique

Beaucoup d'organismes marins accumulent des contaminants à de très fortes concentrations dans leurs tissus. Ces processus d'accumulation dépendent des taux d'assimilation, d'excrétion et de stockage de chaque élément [36]

6.1. Bioaccumulation

La bioaccumulation est le processus par lequel un organisme vivant absorbe une substance à une vitesse plus grande que celle qu'il l'excrète ou la métabolise. Elle désigne donc la somme des absorptions d'un élément par voie directe et alimentaire par les espèces animales aquatiques ou terrestres. [37]

Ces substances non biodégradables vont se concentrer le long des divers maillons de la chaîne trophique, [36] les concentrations maximales se trouvent chez les grands prédateurs (poissons, mammifères marins, l'homme) ou chez les mollusques filtreurs comme les moules. [38]

Le processus d'accumulation se déroule en trois temps : l'assimilation, la bioaccumulation par l'individu, ou bioconcentration et la bioaccumulation entre individus, ou bioamplification. [39]

6.2. Assimilation

Il existe deux voies principales d'exposition aux polluants : la voie externe (par contact) qui provoque un phénomène d'adsorption, et la voie interne par assimilation ou absorption. Toute absorption n'est pas nécessairement dangereuse. D'une part, tout dépend des concentrations du polluant. D'autre part il ne faut s'intéresser qu'à la fraction soluble du métal ; la fraction insoluble étant éliminée par différentes voies : solide (fèces), liquide (urine), cutanée (sueur). [20]

La partie soluble biodisponible (assimilable), se rencontre dans certains organes (organotropisme), cette réceptivité est due soit à une fonction particulière (foie ; principal siège de la métabolisation, reins ; siège de l'excrétion) soit à la composition physico-chimique de l'organe, favorisant le stockage du contaminant (Calcium/Plomb dans les os) ou permettant les accumulations. [6]

L'assimilation diffère selon les métaux, le Cadmium se concentre presque exclusivement dans le tube digestif, le foie et les reins. Le Plomb se diffuse dans la peau, les muscles, la colonne vertébrale. [40]

6.3. Bioconcentration (bioaccumulation par individus)

La bioconcentration est un cas particulier de bioaccumulation. Elle est définie comme le processus par lequel une substance (ou un élément) est présente dans un organisme vivant à une concentration supérieure à celle de son milieu environnant. [38] C'est donc l'accroissement direct de la concentration d'un contaminant lorsqu'il passe de l'eau à un organisme aquatique. [41] Le facteur de bioconcentration (FBC) est défini par le rapport de la concentration d'une substance à l'intérieur d'un organisme à sa concentration dans l'eau, compte tenu seulement de l'absorption provenant du milieu ambiant. [29]

6.4. Bioamplification (bioaccumulation entre individus)

C'est le processus par lequel le prédateur concentre une substance (ou un élément) à un niveau supérieur à celui où il se trouve dans la proie. [29]

C'est le cas du Plomb et surtout du Mercure sous la forme méthylée. Le Mercure s'accumule à chaque étape et se retrouve concentré en bout de chaîne alimentaire, [20] notamment, dans les gros poissons piscivores. On appelle ce phénomène la « bioamplification » ou la « biomagnification ». [39]

Le facteur de bioamplification (FBA) peut être défini comme une constante issue du rapport de la concentration d'une substance dans le prédateur sur la concentration dans la proie. [37]

7. Effets des métaux lourds

Dans notre étude, les métaux considérés ont des effets très différents sur l'homme et l'environnement :

7.1. Effets sur la santé

L'homme peut se trouver à tous les échelons du cycle de répartition des métaux lourds dans l'environnement qu'il va les ingérer par différentes voies et devenir lui-même un réservoir des métaux lourds qui peut, par la suite, engendrer des conséquences sur sa santé. [11] Ils s'accumulent dans l'organisme et provoquent des effets toxiques à court et/ou à long terme. [40] Ils peuvent affecter les systèmes nerveux, respiratoires, ou autres. [10]

Ils peuvent aussi causer la gastroentérite, la pneumonie et l'insuffisance rénale et hépatique en cas d'exposition de longue durée à un certain nombre de métaux, [6] le Platine et les dérivés inorganiques du Mercure sont responsables aussi des dommages, principalement au niveau des tubules proximaux des reins. [42] L'exposition à des métaux pourrait également causer le cancer. [6]

7.2. Effets sur l'environnement aquatique

La contamination de l'environnement aquatique par des métaux peut avoir des effets toxiques aigus ou chroniques sur la vie aquatique. [43] Ils diminuent leur productivité et leur biodiversité et ont une action toxique sur les organismes aquatiques. [35] Ces effets nocifs se produisent à des concentrations supérieures à celles que l'on trouve généralement dans l'environnement. [44] A de faible concentration, beaucoup de métaux lourds, dont le Cd, Pb, et le Cr inhibent la photosynthèse et la croissance du phytoplancton. [29]

Les effets observés à des niveaux trophiques supérieurs se manifestent notamment par un retard du développement des embryons, des malformations et une moins bonne croissance des adultes chez les poissons, les mollusques et les crustacés. [6]

II. Eléments traces métalliques étudiés

1. Cadmium

Le Cadmium est un élément non essentiel qui présente une toxicité élevée. [45] C'est un sous-produit de l'extraction du Zinc et accessoirement du Plomb. C'est un élément métallique blanc argenté à reflets bleus pâles, malléable et ductile, [46] résiste à la corrosion atmosphérique, ce qui est en fait un revêtement de protection pour les métaux ferreux. Lors de l'ébullition du Cadmium, il se dégage des vapeurs jaunes toxiques. [47]

1.1. Propriétés biologiques

Contrairement à nombreux métaux, le Cadmium n'a aucun rôle métabolique connu et ne semble pas biologiquement essentiel ou bénéfique au métabolisme des êtres vivants. [29] Sa demi-vie biologique très longue (16 à 33 ans), elle se traduit par l'accumulation dans les organes. [22]

1.2. Sources

Le Cadmium rejeté dans l'environnement provient de sources naturelles et anthropiques. Les émissions mondiales sont environ 8000 t/an, dont seulement 5 à 10 % sont venues de sources naturelles. [23]

1.2.1. Sources naturelles

Les sources naturelles sont assurées essentiellement par les agents atmosphériques et l'érosion terrestre qui libèrent et transportent le Cadmium ainsi que d'autres oligo-éléments dans le milieu marin. [37] Il est présent naturellement dans la croûte terrestre à une concentration moyenne de 0.2 mg.kg⁻¹, les plus faibles teneurs en Cadmium sont trouvées dans les sols issus des roches éruptives (moins de 0.1 mg/kg sol sec). [48]

1.2.2. Sources anthropiques

Cependant, les activités industrielles telles que le raffinage des métaux non ferreux, la combustion du charbon et des produits pétroliers, les incinérateurs d'ordures ménagères et la métallurgie de l'acier constituent les principales sources de rejet atmosphérique. Dans l'eau, le Cadmium provient de l'érosion naturelle, du lessivage des sols (engrais phosphatés) ainsi que des décharges industrielles et du traitement des effluents industriels et des mines. [49]

1.3. Toxicité

Le Cadmium est considéré comme le métal le plus apte à s'accumuler dans les chaînes alimentaires. C'est un poison cumulatif très toxique. [22] Il provoque des effets nocifs chez l'homme et l'environnement

1.3.1. Chez l'homme

Les aliments (légumes, viande, lait) et le tabac constitueraient la principale source d'absorption du Cd pour l'homme. Le plus grand danger reste cependant l'ingestion directe. Le Cd est stocké dans le foie, les os, mais le rein est l'organe le plus sensible au Cd. [50] Les symptômes de toxicité du Cadmium à la suite d'une exposition aiguë incluent une gastro-entérite avec crampes épigastriques, des vomissements, des diarrhées et des myalgies. [51]

Une exposition chronique au Cadmium peut entraîner des effets systémiques tels que : les atteintes rénales, atteintes pulmonaires, atteintes squelettiques et des effets cancérogènes. [52]

1.3.2. Dans l'environnement

En effet, l'exposition des plantes à de fortes doses de Cadmium entraîne une inhibition de la croissance et une chlorose des feuilles, liées à un dysfonctionnement de l'équilibre hydrique (perturbation de l'ouverture des stomates et interférences avec le transport d'éléments essentiels), de la machinerie photosynthétique et des enzymes du métabolisme. [48]

Chez les animaux, l'administration de fortes doses de Cadmium (essentiellement par voie parentérale) peut provoquer des effets toxiques au niveau de nombreux organes : les reins, le foie, les testicules, les ovaires, le système nerveux, le pancréas, l'appareil cardiovasculaire et le placenta. On observe aussi des sarcomes aux points d'injection et des effets tératogènes. [51]

Cependant, il ne présente pas de toxicité aiguë pour les organismes marins à des concentrations susceptibles d'être rencontrées dans le milieu. Au niveau sublétales, des concentrations de 0,05 à 1,2 µg/L peuvent provoquer des effets physiologiques (anomalies dans le développement embryonnaire et larvaire chez mollusques bivalves) et des inhibitions de croissance. [29]

Chez les poissons, le Cadmium est retrouvé en très grandes quantités dans le foie. La teneur musculaire est bien moindre. Les données de toxicité du Cadmium sur les poissons eux-mêmes sont rares. [6]

Les bactéries y sont moins sensibles. Le Cadmium se concentre comme le Mercure dans la chaîne trophique. [22]

2. Chrome

Le Chrome est un métal de transition considéré comme le septième élément le plus abondant sur terre. [21] Il a un aspect blanc vif et brillant, quelques fois légèrement jaunâtre. Il est très dur, mais n'est ni malléable, ni ductile, il est inaltérable à l'air. [43]

2.1. Propriétés biologiques

Seuls les Chromes trivalents et hexavalent semblent jouer un rôle dans les milieux biologiques et seul le Chrome trivalent apparaît comme un oligo-élément indispensable. [28] C'est un élément essentiel du métabolisme humain : il améliore la croissance, favorise un bon métabolisme du glucose, des lipides et des protéines. [23]

2.2. Sources

Les sources de Chrome dans la nature sont soit d'origine naturel soit d'origine anthropique :

2.2.1. Sources naturelles

Le Chrome est naturellement présent dans l'environnement ($\approx 0,02\%$ de la croûte terrestre). [53] Il se retrouve dans les trois compartiments, l'eau, l'air et le sol mais aussi par extension dans les organismes vivants. Le Chrome peut être présent en forte quantité de manière naturelle suite à l'altération des massifs riches en ETM. [54]

Le Chrome trivalent [Cr (III)] est l'état le plus répandu dans la nature : on le trouve dans des minerais, tels que la chromite qui contient de l'oxyde chromique (Cr_2O_3). Par contre, le Chrome hexavalent [Cr (VI)] se trouve rarement et d'une façon naturelle dans l'environnement, excepté dans la crocoïte (PbCrO_4). [53]

2.2.2. Sources anthropiques

La pollution par le Chrome résulte des activités métallurgiques, de la fabrication et de l'utilisation de pigments et des matériaux réfractaires à base de ce métal, de la galvanoplastie, mais aussi du lessivage des terres agricoles recevant des fertilisants renfermant du Chrome dans leurs impuretés. La pollution des eaux par cet élément s'effectue soit par transfert atmosphérique via les précipitations, soit de rejets d'effluents liquides par des activités industrielles ou artisanales. [23]

2.3. Toxicité

La toxicité du Chrome a presque exclusivement été attribuée à la forme hexavalente. Le Cr trivalent, en revanche, est un oligoélément peu toxique. [53]

2.3.1. Chez l'homme

Bien que le Chrome en très faible quantité, soit essentiel pour la vie humaine, l'exposition répétée et régulière aux composés chromés peut entraîner des effets néfastes sur la santé. [55]

Pour l'homme, inhalé le Cr (III) peut provoquer des cancers des voies respiratoires, trouble du métabolisme du glucose, atteintes rénales. Le Cr (VI) provoque des hémorragies gastro-intestinales, il est responsable des ulcères cutanés et d'ulcères de la muqueuse nasale, de dermites, etc. [50]

2.3.2. Dans l'environnement

La forme hexavalente du Chrome est la plus problématique ; le Chrome (VI) est très toxique mais aussi très soluble dans l'eau sous cette forme. Cette solubilité lui confère une grande mobilité dans les écosystèmes. [57]

Le Chrome n'est pas connu pour s'accumuler dans le corps des poissons, mais des concentrations élevées de cet élément, dues aux rejets industriels dans les eaux de surfaces qui peuvent endommager les ouïes des poissons nageant dans des eaux proches du point de rejet. Chez les animaux, le Chrome peut provoquer des problèmes respiratoires, une capacité plus faible à lutter contre les maladies, des défauts à la naissance et une infertilité ou la formation de tumeurs. [55]

3. Cuivre

Le Cuivre est un métal de la première série de transition. [15] De couleur rouge ou orangée, il est ductile et malléable et possède une très grande conductivité électrique et présente une certaine résistance à la corrosion, il présente aussi des propriétés antisalissure. [22] C'est aussi un oligo-élément essentiel entrant dans la constitution de diverses enzymes. [37]

3.1. Propriétés biologiques

Il est indispensable à nombreux processus vitaux. L'organisme a besoin de Cuivre pour se développer et fonctionner et des apports alimentaires suffisants permettront, en général, de couvrir ce besoin et d'éviter l'apparition de troubles. [57] De plus, il est un cofacteur spécifique de nombreuses enzymes et métalloprotéines de structure Il a une importance capitale dans l'entretien des processus biologiques. Chez les mollusques, le sang renferme un pigment respiratoire à base de Cuivre, l'hémocyanine. [58]

3.2. Sources

Les sources de Cuivre peuvent être d'origine naturel et d'origine anthropique :

3.2.1. Sources Naturelles

Le Cuivre est un métal largement répandu dans la nature, sa concentration moyenne dans la croûte terrestre serait comprise entre 45 et 70 mg/kg. On peut le trouver dans la nature soit sous forme libre dans la cuprite (88,8 %) soit sous forme d'oxyde de sulfure. Il est particulièrement abondant dans les roches mafiques et intermédiaires. [50] Le transport par le vent des poussières de sol, les éruptions volcaniques, les décompositions végétales, les feux de forêts et les aérosols marins constituent les principales sources naturelles d'exposition. [59]

3.2.2. Sources anthropiques

Les principales sources anthropiques du Cuivre sont :

- Les déchets agricoles (55%),
- Les déchets urbains (28%),
- Les retombées atmosphériques (16%). [60]

Dans les eaux, le Cuivre provient pour la majeure partie de l'érosion des sols par les cours d'eau : 68 %, de la contamination par le sulfate de Cuivre : 13 % et des rejets d'eaux usées qui contiennent encore du Cuivre, même après le traitement. [61]

3.3. Toxicité

Le Cuivre est dans de petites quantités indispensables pour tous les organismes, mais, avec l'augmentation de sa concentration il devient toxique. [60]

3.3.1. Chez l'homme

Le Cuivre est relativement peu toxique, considéré comme un oligo-élément à faible dose. [15] Une exposition continue aux poussières de Cuivre produirait chez l'homme une irritation des muqueuses nasales ; la partie supérieure de l'appareil respiratoire humain étant particulièrement vulnérable aux particules cuprifères. [62]

Chez l'homme, des symptômes de toxicité aiguë se manifestent par des diarrhées, nausées, vomissements, irritations intestinales. 1 gramme de CuSO_4 constitue une dose mortelle, pour plus de 44 mg/l d'eau de boisson, cela indique l'existence d'une gastroentérite. La toxicité chronique du Cuivre n'a pas été démontrée chez l'homme, mais une partie de la population y est sensible : maladie de Wilson. [50]

3.3.2. Dans l'environnement

Le Cuivre est un métal nuisible pour l'environnement, il est plus toxique sous forme ionique que lorsqu'il précipite sous forme de carbonate (dans les eaux dures). [6]

Même si le Cuivre est vital pour l'être humain lorsqu'il est présent en trace dans l'organisme, il est généralement nocif pour la plupart des animaux et des plantes s'il est présent en grande quantité. [62]

Toxique sur les animaux et les micro-organismes à des doses inférieures au 1 mg/l, diminue l'activité photosynthétique (végétaux marins), provoque une altération des branchies et retarde la ponte chez les poissons. [37]

La toxicité vis-à-vis des organismes marins dépend de la forme chimique de Cuivre et son état d'oxydation. Les caractéristiques physicochimiques du milieu (pH, dureté, teneurs en autres inorganiques) agissent sur le degré de la dissociation entre les formes métalliques et ioniques. [61]

4. Fer

Le Fer est un élément métallique blanc argenté. Il est mou, malléable et ductile, facilement magnétisable aux températures ordinaires, mais difficilement lorsqu'il est chauffé. [63] Il est classé au quatrième rang des éléments de la croûte terrestre par ordre d'abondance, proche de l'Aluminium par ses propriétés [59]

4.1. Propriété biologiques

C'est un oligo-élément indispensable à tous les êtres vivants qui interviennent dans les constitutions des molécules d'hémoglobine, des hématies et des myoglobines des muscles. Il joue un rôle important dans les processus d'oxydoréduction cellulaire, comme constituant des systèmes électro actifs dans les pigments respiratoires des vertébrés. [64]

4.2. Sources

Les sources de Fer sont soit naturelles ou anthropiques :

4.2.1. Sources naturelles

C'est le plus abondant des métaux, le principal minerai de Fer est l'hématite. Des petites quantités de Fer sont présentes sous forme combinées dans les eaux naturelles, les plantes et le sang. [6]

La contamination des eaux résulte un dépôt des particules atmosphériques provenant de différentes sources et le lessivage produit par les eaux de pluie lorsqu'elles traversent les sols ou les roches contenant du Fer est également responsable de la contamination des eaux. [65]

4.2.2. Sources anthropiques

Outre les phénomènes naturels, l'activité humaine, même si elle ne crée pas directement ce métal, elle participe à leur diffusion dans l'environnement, grâce aux effluents d'extractions minières, d'effluents industriels, domestiques et ruissellement orageux urbain, ainsi de lessivage provenant de décharges d'ordures ménagères et de résidus solides, et d'apports provenant des zones rurales et atmosphériques. [66]

4.3. Toxicité

Il ne présente pas de toxicité directe pour les êtres vivants. [64] Sa toxicité dépend de sa forme chimique et de sa concentration :

4.3.1. Chez l'homme

La carence ou l'excès en Fer peut être potentiellement toxique pour les cellules. Un faible niveau de Fer chez l'homme cause l'anémie, l'un des problèmes de santé publique les plus répandus qui peut être imputable à des causes d'ordre nutritionnel, notamment la carence en Fer, à des troubles inflammatoires ou infectieux et à des pertes de sang. [59]

Le taux élevé de Fer dans l'organisme provoque des risques accrus de maladies cardiovasculaires et de cancers. L'excès de Fer dans l'organisme s'appelle hémochromatose. Cette affection provoque affaiblissement et troubles divers au niveau du cœur, des poumons, du foie, des glandes endocrines, de la peau, des muqueuses... jusqu'à être très impliquée dans plusieurs maladies neurodégénératives, dont l'Alzheimer ou pour les personnes prédisposées, l'hémochromatose (une maladie héréditaire) qui, si elle n'est pas traitée à temps se termine par un cancer du foie... [67]

4.3.2. Dans l'environnement

Sa toxicité pour la vie aquatique est en fonction de son état chimique, le Fer ferreux (Fe^{2+}) étant beaucoup plus toxique que le Fer ferrique (Fe^{3+}), et de la présence de précipité d'hydroxyde de fer qui tend à se déposer sur les branchies des poissons et à entraîner leur colmatage. [29] Le Fer à une concentration de 0.52 mg/L cause la mort des œufs de poissons.

Sa présence à de trop fortes concentrations dans l'eau, si elle ne présente pas de problèmes de toxicité entraîne divers inconvénients : goût et odeur désagréable. [67]

5. Nickel

Le Nickel est de couleur blanc-argenté brillant, avec une structure cristalline cubique à face centrée, malléable, ferromagnétique. Son abondance dans la croûte terrestre est seulement de 84 mg/Kg, c'est le 24ème élément le plus abondant. [69]

5.1. Propriétés biologiques

Le Nickel est un oligoélément essentiel, il est le cofacteur de quelques enzymes et intervient dans la formation de la structure membranaire. En outre, le Nickel est un métal fortement allergisant, responsable de nombreuses dermatoses. [70]

5.2. Sources

Les sources de Nickel sont à la fois naturelles et anthropiques :

5.2.1. Sources naturelles

Le Nickel est peu répandu dans la croûte terrestre (0,009 %), il est présent essentiellement sous forme de minerais sulfures (65%) associés au Fer et au Cuivre (pentlandite, pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite...) mais aussi oxydes (35%) tels que la garniérite ou les latérites nickélifères. Le transport par le vent des poussières, les incendies de forêt, le volcanisme et les poussières de météorites constituent les principales sources naturelles d'émission de Nickel dans l'environnement. [71]

5.2.2. Sources anthropiques

La source anthropique de Nickel la plus importante provient de la combustion de mazout et de résidus de pétrole pour le chauffage et la production d'énergie. La production minière, la métallurgie et l'industrie de galvanisation constituent également des sources de pollution relativement importantes. [72]

Les sources anthropiques de Ni pour les milieux aquatiques comprennent la déposition de particules atmosphériques ainsi que les effluents liquides issus de l'exploitation minière, de fonderies, d'usines de transformation des métaux ainsi que de la combustion de carburants et de l'incinération de déchets. [25]

5.3. Toxicité

La toxicité de Nickel chez l'homme et l'environnement se présente au-dessous :

5.3.1. Chez l'homme

A faible concentration, le Nickel est nécessaire aux fonctions physiologiques de certains organismes. [71] C'est un métal connu pour être carcinogène, est fortement répandu dans les industries modernes, les différentes utilisations de ce métal peuvent entraîner certains risques de cancer des poumons dans le cas d'inhalation. De plus, il fait partie des chimiques les plus allergènes, ce problème n'est pas lié à une exposition naturelle au Nickel mais à son utilisation dans l'industrie. [73]

5.3.2. Dans l'environnement

Tous les métaux traces, qu'ils soient essentiels ou non, sont potentiellement toxiques. [25] le Nickel présente une écotoxicité aiguë et chronique moyenne pour certaines biocénoses aquatiques (crustacés et invertébrés benthiques, mollusques). [71]

Par exemple chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), le Ni agit principalement sur le système respiratoire. Une exposition aiguë au Ni affecte la respiration de truites au repos uniquement par des mécanismes branchiaux tandis qu'une exposition chronique affecte la physiologie de l'exercice. [25]

6. Zinc

Le Zinc est métal blanc de dureté faible à moyenne à température ambiante, qui devient malléable vers 100 - 150°C et fragile, cassant, pulvérisable au-delà de 200°C. Exposé à l'air humide, il se couvre d'une couche de carbonate. [73]

6.1. Propriétés biologiques

Le Zinc est l'un des oligo-éléments les plus abondants chez l'homme (besoins 15 mg/Jour). Il intervient au niveau de la croissance, du développement osseux et cérébral, de la reproduction, du développement fœtal, du goût et de l'odorat, des fonctions immunitaires et de la cicatrisation des blessures. [29] Il participe également à la biosynthèse de certaines hormones et de certaines cytokines, notamment celle de l'insuline. Il pénètre dans le noyau de la cellule et joue un rôle déterminant dans la transcription de l'ADN par les facteurs de transcription à doigts de Zinc. [74]

6.2. Sources

Le Zinc est une substance très commune présente naturellement dans l'air, l'eau et le sol : [67]

6.2.1. Sources naturelles

Le Zinc présent dans l'écorce terrestre, souvent associé au Plomb et au Cadmium dans les minerais et naturellement dans l'atmosphère à partir du transport par le vent de particules du sol, des éruptions volcaniques, des feux de forêts et d'émissions d'aérosols marins. Le Zinc principalement sous forme de sulfure (blende) est assez uniformément distribué dans les roches magmatiques (40 à 120 mg/kg). Sa concentration est un peu plus élevée dans les sédiments argileux (80 à 120 mg/kg) et les schistes alors, qu'elle est plus faible dans les roches mêmes sableuses. [75]

6.2.2. Sources anthropiques

Les apports anthropiques de Zinc dans l'environnement résultent des sources minières industrielles (traitement minéral, raffinages, galvanisation du Fer, gouttières de toitures, piles électriques, pigments, matières plastiques, caoutchouc), des épandages agricoles (alimentation animale, rizières) et des activités urbaines (trafic routier, incinération ordures). Dans les zones portuaires, le Zinc est introduit à partir de la dissolution des anodes destinées à la protection des coques de bateaux contre la corrosion, contenu dans certaines peintures antisalissure. [76]

6.3. Toxicité

Le Zinc peut engendrer une toxicité sur l'homme, sa santé et son environnement :

6.3.1. Chez l'homme

Le Zinc, sous sa forme métallique et à dose pondérable, présente une faible toxicité aiguë par voie orale. En faible revanche, trop de Zinc provoque des problèmes de santé importants : crampes d'estomac, nausées et vomissements, irritation de la peau, anémie, dysfonctionnement générale de l'organisme, notamment du pancréas (qui sécrète un suc indispensable à la digestion), perturbation du métabolisme des protéines, source d'artériosclérose et de désordres respiratoires (en milieu professionnel, la contamination au Zinc peut mener à un état comparable une grippe chronique nommée la fièvre du fondeur)... [67]

6.3.2. Dans l'environnement

Le Zinc à de fortes concentrations, il devient toxique pour les végétaux et les animaux et constitue un contaminant majeur pour le milieu terrestre et aquatique. [64] Le mode d'action du Zinc est toxique pour les organismes marins à partir de quelques mg/l. [77] L'absorption du Zinc par les animaux aquatiques à partir de l'eau plutôt qu'à travers la chaîne trophique. Sa toxicité pour les organismes aquatiques n'en fait pas un contaminant prioritaire, bien qu'il agisse, sur la reproduction des huîtres et la croissance des larves. [78] L'excès de Zinc provoque une altération des branchies de poissons retarde la ponte des poissons. [73]. En agriculture, le Zinc se concentre dans les sols, perturbe la croissance des végétaux par détérioration de l'appareil chlorophyllien. [77]

Chapitre II : Surveillance de la qualité de l'environnement marin

La contamination des écosystèmes aquatiques par les éléments traces métalliques (ETM) demeure un sérieux problème d'environnement de plus en plus inquiétant. Dans certains écosystèmes aquatiques, ces produits chimiques peuvent être à l'origine de la disparition de certaines espèces animales et/ou végétales et, par voie de conséquence, entraîner le dysfonctionnement de la chaîne trophique (faible biodiversité). [79]

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

- Par une détermination de la composition floristique et faunistique du milieu (ce seront les indices de qualité).
- Par la détection et la quantification des polluants dans les organismes (les organismes bioaccumulateurs).
- Par la détection et la quantification des polluants dans les milieux physiques (eaux et sédiments).
- Par le suivi de la modification de certains paramètres biologiques (les biomarqueurs). [77]

Dans notre étude, nous avons utilisé un organisme bioaccumulateur, les espèces choisies pour réaliser ce type de surveillance doivent satisfaire à un certain nombre de critères :

- La sédentarité pour représenter la région où ils se développent.
- Une durée de vie compatible avec les variations temporelles que l'on souhaite mesurer.
- Une large répartition géographique, une abondance, présence tout le long de l'année et une grande taille pour offrir suffisamment de tissus pour les analyses.
- Un pouvoir d'accumulation vis-à-vis de la substance considérée.
- Une facilité de prélèvement. [64]

Plusieurs espèces utilisées dans la surveillance du milieu marin ont échoué de satisfaire les conditions citées ci-dessus. A ce jour, les mollusques bivalves restent les bioindicateurs quantitatifs cosmopolites les plus utilisés.

Pour bien interpréter les niveaux de contamination à une échelle régionale, il faut utiliser une même espèce. Or, ceci devient de plus en plus difficile. En Algérie par exemple c'est surtout *Perna perna* et *Mytilus galloprovincialis*. [80]

I. Processus physiologique de bioaccumulation des ETM chez la moule

Rappels sur les processus de bioaccumulation chez les organismes aquatiques, et plus particulièrement les bivalves, les barrières biologiques à traverser, sont l'épithélium branchial, la paroi du tube digestif, et la coquille (qui est souvent rapportée comme un site de bioaccumulation). [81]

Les moules sont largement considérées comme de bons indicateurs de la contamination du milieu marin dans lequel elles vivent, puisqu'elles possèdent la propriété d'accumuler les contaminants présents dans ce milieu jusqu'à atteindre un équilibre avec lui. Ce phénomène de bioaccumulation est à l'origine d'un facteur de concentration entre le milieu et l'organisme pouvant être très élevé, par exemple, une concentration en Cadmium dissous de 150 ng/l peut impliquer une teneur dans les moules de 10 ng/kg par rapport au poids sec. Le facteur d'accumulation est donc ici d'environ 13000. [14]

Les contaminants de la phase dissoute sont plus facilement absorbés par les surfaces directement en contact avec le milieu extérieur, tandis que les métaux/métalloïdes associés à la phase particulaire seront plutôt ingérés et internalisés après solubilisation dans le tube digestif, ou transférés par endocytose pour subir ensuite une digestion lysosomale. Une fois cette première barrière passée, les mécanismes de transfert des métaux/métalloïdes vers le milieu intracellulaire font appel à la diffusion (passive ou facilitée), au transport actif et à l'endocytose (phagocytose et pinocytose). La diffusion, qu'elle soit simple ou facilitée par la liaison avec un ligand, se fait dans le sens du gradient de concentration. Le transport actif est contraire au gradient de concentration, il nécessite donc de l'énergie. [81]

1. Mécanismes de pénétration de stockage et d'excrétion des métaux lourds chez les moules

La bioaccumulation des métaux est la résultante de trois phénomènes : l'accessibilité et le transfert de ces éléments vers les organismes aquatiques, au niveau des barrières biologiques qui séparent les individus de leur milieu environnant, la distribution et séquestration tissulaire et intracellulaire, les processus d'élimination/excrétion. [82]

1.1. Mécanismes de pénétration

Chez l'organisme marin, la pénétration de ces éléments toxiques se fait selon trois voies : [37]

- **La voie transtégumentaire** : Mode de contamination directe à partir du milieu extérieur.

- **La voie respiratoire (branchiale)** : C'est le mode prépondérant de contamination.

- **La voie trophique** : Dépend du régime alimentaire. [77]

Toutes ces voies sont possibles pour un même métal et leur importance relative est en fonction de la forme chimique sous laquelle le métal est dans le milieu. [18]

1.2. Mécanismes de stockage

Pendant tout processus physiologique d'échange avec le milieu environnant, les molécules exogènes pénètrent à travers les barrières biologiques séparant l'environnement interne de l'organisme du milieu externe. [29]

Les métaux traces sont séquestrés de plusieurs façons, tel que le piégeage dans les granules insolubles pouvant ou pas s'associer à des lysosomes ; phagocytose de vésicules formées lors de l'absorption du métal (agrégats protéïniques riches en cations divalents), considèrent que les granules sont des sites d'accumulation et de stockage des déchets métalliques. [66]

1.3. Mécanismes d'excrétion

Parallèlement aux étapes de pénétration et de répartition des contaminants au sein de l'organisme, de nombreux mécanismes physiologiques et biochimiques contribuent à les éliminer. Tous les organismes aquatiques piègent des métaux en quantités importantes mais pour beaucoup d'espèces, l'excrétion des métaux accumulés n'est pas négligeable. Les quatre processus principaux sont : [26]

- **L'excrétion** : Par exocytose des métaux présents dans les lysosomes via la voie urinaire.

- **L'égection** : Par les fèces. [66] Chez les mollusques, on observe l'exocytose de granules provenant des lysosomes de digestion intracellulaire résiduels ou nouvellement formés. Ils sont rejetés par la glande digestive et éliminés par le tractus digestif. [83]

- **L'expulsion** : Par voie transtégumentaire, par synthèse du byssus ou de la coquille ou encore par les gamètes lors de la ponte.

• **La défécation** : C'est la perte via la surface perméable [75] ; qui permet de supprimer les métaux contenus dans le tractus digestif. [84] Chez les moules, le Fer, le Zinc et l'Arseenic peuvent également être excrétés à travers le byssus. [85]

1.4. Mécanismes de détoxification

Les cellules des organismes peuvent donc développer des mécanismes de défense en synthétisant des ligands et en excréant le métal. [75] Ces ligands sont les métallathionéines, qui font partie du groupe des métalloprotéines, c'est-à-dire des protéines qui possèdent des ions métalliques dans leur structure propre ou qui peuvent les fixer sur certains de leurs sites actifs. [86] Ils sont des protéines de faible poids moléculaire très riches en groupement thiol (-SH), prennent en charge les métaux dans le cytosol. Ce système est le système majoritaire de détoxification des métaux chez les poissons, La synthèse de ces protéines est induite par une augmentation de l'exposition aux métaux. [84]

Les deux rôles les plus communément attribués aux MTs sont principalement, le contrôle de l'homéostasie intracellulaire des ions métalliques essentiels (Cu^{2+} et Zn^{2+}) et la détoxification de la cellule par rapport à un stress provoqué par les ions métalliques toxiques. Chez les moules et les huîtres, les MTs et les concentrations en métaux sont généralement bien corrélées. [87]

2. Exemples de la bioaccumulation des quelques métaux lourds chez les moules

2.1. Bioaccumulation de Cadmium

Il montre que seulement 1% de la quantité de Cd dans la chair de moules a pour origine la voie particulière. La principale entrée se fait donc par l'eau à travers les surfaces externes. En parallèle, il montre que l'absorption de Cd en solution est en corrélation linéaire avec la quantité de nourriture ingérée. Après un passage transmembranaire médiatisé, le Cadmium se retrouve associé aux protéines circulantes et aux hématocytes. [77]

Les bivalves accumulent le Cadmium principalement dans l'hépatopancréas et dans le rein sous forme de dépôts dans les lysosomes. La voie majeure d'excrétion se fait via le rein, mécanisme d'immobilisation qui implique principalement la forme métallothionéine et leur association dans les lysosomes. [29]

2.2. Bioaccumulation du Cuivre et du Zinc

L'accumulation du Cuivre et du Zinc est régulée par de nombreuses espèces aquatiques telles que les Annélides, les Mollusques, les Crustacés, les Poissons et les Mammifères, leur pénétration dans l'organisme grâce à des protéines de transport membranaire se fait sous forme ionique (Cu^{2+} et Zn^{2+}). Ce sont des polluants qui s'accumulent dans l'hépatopancréas, les gonades et les branchies. [88]

Les bivalves accumulent ces deux métaux principalement dans l'hépatopancréas, les gonades et les branchies. Le Zinc peut s'accumuler dans les organismes aquatiques mais les valeurs de facteur de bioconcentration décroissent en montant dans la chaîne trophique. Cela peut s'expliquer par une régulation plus importante dans les organismes « supérieurs ». En conséquence, il semble que le potentiel de biomagnification soit faible. [77]

II. Facteurs influençant sur la bioaccumulation chez les moules

1. Facteurs biotiques

- La taille et le poids des individus ou paramètres allométriques.
- La part du phytoplancton dans la nourriture.
- Le temps de résidence des matières ingérées dans le système digestif.
- Le sexe et les cycles de reproduction.
- Les taux de ventilation (oxygénation de l'organisme). [87]

2. Facteurs abiotiques

- Les variations saisonnières de plusieurs paramètres du milieu en particulier la température.
- Le carbone organique dissous (COD) et particulaire (COP).
- Les quantités de seston (particules en suspension organiques et inorganiques).
- La part de la phase dissoute et particulaire dans la nourriture.
- Le type des sédiments. [80]

**PARTIE II : ETUDE
EXPERIMENTALE**

Chapitre III : Matériel et méthode

I. Descriptions de la zone d'étude

Annaba, 3ème ville côtière d'Algérie subit les mêmes problèmes environnementaux que connaît le reste du littoral algérien. Elle est exposée aux risques des différents types de pollution d'origine anthropique. [89] Il faut dire que peu d'études ont été menées dans la région indiquant l'état des organismes aquatiques à propos de pollution métallique. [18]



Carte N°1 : Situation géographique de littoral d'Annaba (Google Maps 2019, Modifié).

1. Climat régional

La région d'Annaba est soumise au climat méditerranéen ; c'est-à-dire caractérisé par une saison pluvieuse allant d'octobre à mai et par un été sec et ensoleillé. [88]

1.1. Températures

Pour la ville d'Annaba les températures sont douces en hiver (7°C en janvier) et chaudes en été (30°C en août) avec une température moyenne annuelle de 17°C. [90]

1.2. Vents

Annaba est battue par les vents Nord à Nord-Ouest de la fin de l'automne jusqu'à la fin du printemps et par un vent d'Est en été. [91] Les vents les plus fréquents soufflent suivant une direction Nord-ouest d'une moyenne de 42 %. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au cours des mois de janvier, avril, juin et juillet. Les vents moyens fréquents sont ceux du Sud-est et Sud-ouest. [92]

2. Sources de contamination

La ville est considérée comme étant la plus polluée sur le territoire national et dans le Nord-Africain ; Son golf est contaminé par de grandes quantités des polluants d'origine urbaine, agricole, portuaire et aussi par les activités industrielles. [27]

2.1. Usines

Le complexe d'engrais (FERTIAL), les unités laitières (ORELAIT) et les unités métallurgiques (PROMETAL, SIDER), le complexe sidérurgique d'El-Hadjar sont les principales sources de la pollution industrielle dans le golf d'Annaba. Elles rejettent des volumes importants d'eaux usées dans le golf, estimés à 225 million de m³. [93]

2.2. Zones industrielles

Elle compte quatre zones industrielles et neuf zones d'activités commerciales dont la zone Pont Bouchet (El-Hadjar) d'une superficie de 117 ha, zone Meboudja (Sidi Amar) d'une superficie de 63 ha, la zone du M.I.N (El Bouni) d'une superficie de 51 ha et la zone de Berrahal d'une superficie de 122 ha. [92]

2.3. Rejets urbains

Le golf reçoit des apports par les baies de divers Oueds. Parmi les plus importants, Oued Mafragh, qui draine des éléments très riches en composés agricoles, et les Oueds Seybouse et Boudjemaa qui véhiculent des déchets d'origines agricoles, industrielles et domestiques. [94]

La zone Est du golf n'est pas totalement épargnée de ces influences anthropiques, mais semble plutôt sous la dépendance des relations d'échanges avec l'estuaire du Mafrag. [91]

Tableau N°1 : Diverses sources de pollution du golf d'Annaba. [93]

Unité industrielle	Lieu d'implantation	Nature des effluents Liquides et contenus en métaux lourds	Milieu récepteur
EN-FERPHOS	Port	- eaux usées domestiques	Mer
SONELGAZ	Port	- Eaux de refroidissement	Mer
ENCG	Port	- Eaux usées domestiques - Eaux usées industrielles	Mer
ONAB N= 1	Port	- Eaux usées domestiques	Mer
FEROVIAL	Lallelick (El Bouni)	- Eaux usées domestiques - Eaux de refroidissement	Oued Seybouse
HYDRO- CANAL	ZI pont Bouchet	- Eaux usées industrielles	Oued Seybouse
SARL ROCOMAC	ZI Meboudja	- Eaux usées industrielles (ponçage)	Oued Meboudja
PROSIDER (CHAIBA)	Sidi Amar	- Eaux usées industrielles	Oued Meboudja
SNLB	Annaba	- Eaux usées domestiques	Oued Boudjima
CONSERVERIE DE TOMATE	Annaba	- Eaux usées industrielles - Eaux usées domestiques	Oued Boudjima

II. Matériel biologique

Dans notre étude nous avons choisi la moule *Perna perna* comme espèce bioindicatrice de la contamination métallique du littoral.

1. Présentation de l'espèce étudiée

La moule africaine *Perna perna* est un mollusque bivalve de forme allongée qui possède une charnière munie d'une ou deux dents, fréquemment, une dans la valve gauche et deux dans la valve droite. [1]



Figure N°2 : Morphologie externe de la moule *Perna perna* (photo originale).

Elle est identifiée par sa couleur brune (Par conséquent, elle est nommée la moule brune, sa meilleure caractéristique d'identification est la position de l'empreinte musculaire antérieure qui est nettement séparée des autres empreintes musculaires postérieures. La coquille de *Perna perna* est mince autour des bords et s'épaissit postérieurement. [95]



Figure N°3 : Morphologie interne de la moule *Perna perna* (photo originale).

Elle se reproduit par la fertilisation externe en déchargeant les spermatozoïdes et les œufs dans la colonne d'eau. Après des larves d'un véligère sont formées, quinze heures après la fertilisation, des dents de la charnière sont bien développées et augmentent en nombre. La période critique pour le développement étant pendant et après la métamorphose qui est marquée par la sécrétion du byssus (filament pour la fixation au substrat). La survie des larves dépend principalement de l'arrangement sur un substrat dur habituellement une roche. [96]

Les moules sont des organismes filtreurs qui ingèrent sans distinction toutes particules présentes dans le milieu, elles absorbent le phytoplancton ne retenant que les protozoaires, les microbes et les diatomées, elles filtrent jusqu'à 4 litres d'eau /heure. En méditerranée, la taille maximale des moules est de 90 mm, avec une taille moyenne de 50 à 60 mm. [7]

Elles sont largement rencontrées dans les eaux saumâtres des lagunes côtières. Ce sont des espèces caractérisées par une forte tolérance vis-à-vis des conditions du milieu, ainsi, elles supportent des températures de 13°C en hiver et entre [27 - 28°C] en été et des salinités comprises entre [7 et 40 %]. [1]

2. Position systématique

Embranchement : *Mollusque*,

Classe : *Bivalve ou Lamelibranche*,

Ordre : *Filibranche*,

Famille : *Mytilidae*,

Genre : *Perna*,

Espèce : *perna*. [95]

III. Techniques d'échantillonnage et d'analyses

1. Echantillonnage

Pour évaluer le degré de contamination métallique du littoral d'Annaba, plusieurs prélèvements que nous avons réalisé entre deux secteurs côtiers différents : Chetaibi et El-Hanaya, la période d'échantillonnage a eu lieu la fin du mois d'avril jusqu'à le début du mois de mai de l'année 2019. L'analyse des métaux a eu lieu dans une espèce de moule (*Perna perna*). Les métaux recherchés dans cette matrice sont : Zn, Fe, Cu, Cd, Ni et Cr.

Nous avons échantillonné à partir de trois sites différents pour Chetaibi et quatre sites pour El-Hanaya. Le choix du site de prélèvement des échantillons a reposé, sur la facilité d'accès, la disponibilité d'espèce de moule choisie.



Figure N°4 : La baie de Chetaibi (photo originale).



Figure N°5 : La baie d'El-Hanaya (photo originale).

Ces sites présentent des caractéristiques biotiques et environnementales assez similaires (façade maritime rocheuse), une accessibilité facile et des conditions climatiques et hydrologiques comparables (vent dominant Nord-Ouest, visibilité moyenne à bonne, hydrodynamisme faible à modéré). L'impact anthropique (pêche artisanale et amateur, plongée et fréquentation touristique) est présent dans l'ensemble des sites prospectés. [97]

1.1. Nature et effectif des échantillons

Dans le cadre de ce travail, les moules que nous avons achetées sont échantillonnées à partir des zones susceptibles d'être polluées par les métaux lourds.

Les moules de Chetaibi sont décrochées du substrat rocheux sur lesquels elles sont fixées avec des couteaux en inox et celle de El-Hanaya, la collecte des moules est effectuée de 2 à 10 mètre de profondeur.

Les moules prélevées sont matures (adultes) et de taille marchande. Les échantillons récoltés sont conservés dans des sachets numérotés et étiquetés, puis transportés immédiatement au laboratoire dans une glacière.

Pour cette étude environ 135 pièces pour Chetaibi et 180 pièces pour El-Hanaya sont amenées au laboratoire.



Figure N°6 : Les moules reçues au laboratoire dans une glacière (photo originale).

L'espèce de moules retenue répond aux critères évoqués précédemment (chapitre II) pour l'analyse de niveau de contamination métallique du littoral d'Annaba par :

- Sa particularité de concentrer les contaminants notamment les métaux lourds.
- Sa facilité à pêcher puisqu'elle est visible à marée basse sur les roches.

En effet, ces organismes présentent des caractéristiques qui font de bons bioindicateurs très largement, [26] utilisés comme modèle dans des études expérimentales d'exposition aux contaminants environnementaux en laboratoire. [98]

2. Déroulement des conditions d'échantillonnage

Dans le littoral d'Annaba, deux régions sont choisies de façon raisonnée. Les régions sont disposées une de l'Est et l'autre de l'Ouest de littoral. Le positionnement, la profondeur, la nature des échantillons et l'ensemble des conditions de déroulements d'échantillonnage sont indiquées dans une fiche de renseignement.

2.1. Dans la région de Chetaibi

La baie de Chetaibi située entre (N37.0434°, E7.2333). Dans le prolongement des monts de l'Edough est construit sur le flanc d'une montagne qui se jette dans le golf de Tekkouche, à 62 kilomètres à l'ouest d'Annaba. "Réputée pour ses plages "aux sables d'Or" et ses calanques où foisonne une vie aquatique particulièrement riche et variée, Chetaibi est sans aucun doute, la plus belle station balnéaire située sur le littoral occidental d'Annaba.

2.1.1. Couverture sédimentaire

Du cap Toukouch au cap de Garde, le littoral est généralement accidenté jusqu'à - 30 m, sauf au niveau des plages où le fond est de nature sableuse (baie de Toukouch, Aïn Barbar, Pain de Sucre, Voiles Noires et Sidi Bagraât). Au-delà, le substrat est meuble (généralement sableux ou sablo-vaseux) jusqu'à - 100 m dans la baie de Toukouch. Sur la même ligne bathymétrique, mais en se dirigeant vers le cap de Garde s'installe une large ceinture de coralligènes mélangés à du gravier entre le cap Axine et Aïn Barbar. Ce substrat corallien laisse place jusqu'au Pain de Sucre à du sable. [99]



Carte N°7 : Localisation géographique des sites de prélèvements de Chetaibi
(Google Maps modifiée).

Fiche d'échantillonnage

Référence station	Chetaibi	
Coordonnées	Site 1 : N37.07232°, E7.39112°	
	Site 2 : N37.06507°, E7.38095°	
	Site 3 : N37.040863°, E7.406934°	
Etat de temps	Ensoleillé	
	Précipitations : 0 mm	Température : 19°
	Vent : 19 km/h	Humidité : 65 %
Etat de la mer	Calme	
Référence de l'échantillon	Nature : Moule	Espèce : <i>Perna perna</i>
	Date de prélèvement : 17/04/2019	
	Heure de prélèvement :	
	Site 1 : 9 : 09	
	Site 2 : 10 : 45	
	Site 3 : 13 : 30	
Profondeur	Site 1 : 2.5 m	
	Site 2 : 4 m	
	Site 3 : 3 m	

Figure N°8 : Informations générales d'échantillonnage (Chetaibi).

2.2. Dans la région de El-Hanaya

La plage « El-Hanaya » se trouve à environ 30 km à l'Est d'Annaba entre le village de Berrihane et de Kantra El-Hamra et à 18 km à l'Est de l'oued El Mafragh (agriculture et urbanisation). [1] El-Hanaya n'étant pas qu'une appellation mais aussi un attribut puisqu'elle veut dire pente abrupte. C'est pourquoi, la plage a été épargnée de la pollution et de son emplacement éloigné des routes et des décharges sauvages lui permis de jouer surtout d'un quasi de normalité. [27]

2.2.1. Couverture sédimentaire

Du point de vue sédimentologie, le fond marin de golf d'Annaba débute généralement par du sable grossier, qui se mélange à du sable fin et du vase dans la cuvette et au large de la baie-Est. Un peu plus loin vers la plage El-Hanaya, la côte est caractérisée par un substratum consolidé avec certaines zones à affleurements sous-marins. [97] Une chaîne d'herbiers de posidonies, installée sur des substrats rocheux qui se continuent par des vases terrigènes molles mélangées à du sable ou des débris coquilliers. [1]



Carte N°9 : Localisation géographique des sites de prélèvements d'El-Hanaya (Google Maps modifiée).

Fiche d'échantillonnage

Référence station	El-Hanaya	
Coordonnées	Site 1 : N36.156°, E8.1530°	
	Site 2 : N36.536.59°, E8.48.70°	
	Site 3 : N36.5435°, E8.712°	
	Site 4 : N36.5426.76°, E8.0717.22°	
Etat de temps	Nuageux	
	Précipitation : 20 mm	Température : 31°
	Vent : 22 km/h	Humidité : 73 %
	Peu Courant	
Etat de la mer	Peu Courant	
Référence de l'échantillon	Nature : Moule	Espèce : <i>Perna perna</i>
	Date de prélèvement : 08/05/2019	
Profondeur	Heure de prélèvement :	
	Site 1 : 9 : 30	
	Site 2 : 11 : 05	
	Site 3 : 12 : 45	
	Site 4 : 14 : 35	
Profondeur	Site 1 : 3 m	
	Site 2 : 10 m	
	Site 3 : 3.5 m	
	Site 4 : 6 m	

Figure N°10 : Informations générales d'échantillonnage (El-Hanaya).

3. Traitement des échantillons

3.1. Préparation du matériel

La maintenance de la verrerie est une partie intégrante de l'analyse, considérant qu'une absence de soin à ce niveau peut avoir des répercussions sur le résultat final (erreurs dues à une fiole endommagée, mal calibrée, contamination, etc.). [100] Les pots de prélèvements, flacons de conservation des extraits, ainsi que toute la verrerie est destinée aux analyses des ETM sont traités au préalable à l'acide nitrique dans lequel ils sont trempés pendant au moins 24 à 48 h. Ils sont ensuite rincés à l'eau bi distillée ou l'eau distillée. [7]

3.2. Préparation des échantillons avant le dosage

Le protocole de prétraitement des moules avant l'analyse des métaux est utilisé en routine au laboratoire, Ce dernier est constitué de deux étapes avant l'analyse : préparation puis minéralisation selon la méthode Hoening. [14]

3.2.1. Préparation

Une fois au laboratoire, les échantillons de moules sont décongelés, égouttés et nettoyés en enlevant les algues et les débris qui adhèrent à la coquille et tout en essayant de manipuler le moins possible les échantillons pour éviter une éventuelle contamination.



Figure N°11 : Les moules (*Perna perna*) avant le nettoyage (photo originale).

Après le nettoyage, des mesures biologiques sont réalisées sur les moules.

3.2.2. Mesure des paramètres biologiques

Une moule peut être divisée en trois parties distinctes : La coquille, l'eau inter valvaire (contenue à l'intérieur des valves) et la chair. Les poids de ces compartiments se répartissent approximativement ainsi : [101]

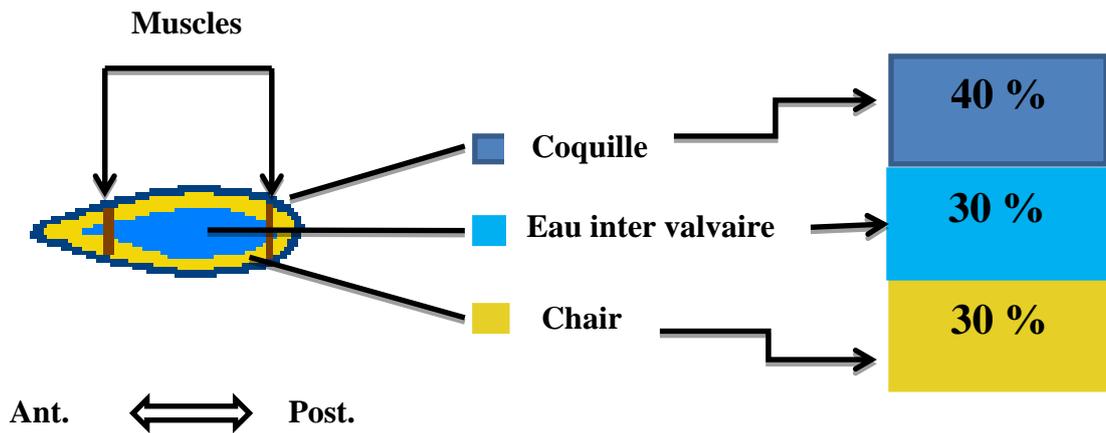


Figure N°12 : Schéma représentatif de différents compartiments de la moule.

Les paramètres biologiques des moules ; ce sont les différentes mesures réalisées sur elles, 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. [85]

a. Etude Biométrique

Dans notre cas, tous les échantillons des moules ont fait l'objet d'une étude biométrique à savoir mesurer : Les paramètres linéaires (longueur, largeur) et pondéraux (le poids total frais, le poids de la chair, le poids de la coquille et le poids sec de la chair), puis elles sont conservées immédiatement dans le frigo.

• Paramètres linéaires

Les différentes mesures de la coquille sont effectuées à l'aide d'un pied à coulisse électronique, les paramètres linéaires :

✓ La longueur totale (Lt) : Correspondante à la plus grande distance ; en séparant le bord antérieur du bord postérieur de la coquille.

✓ La largeur (La) : Qui va de charnière dorsale au bord ventral. [96]

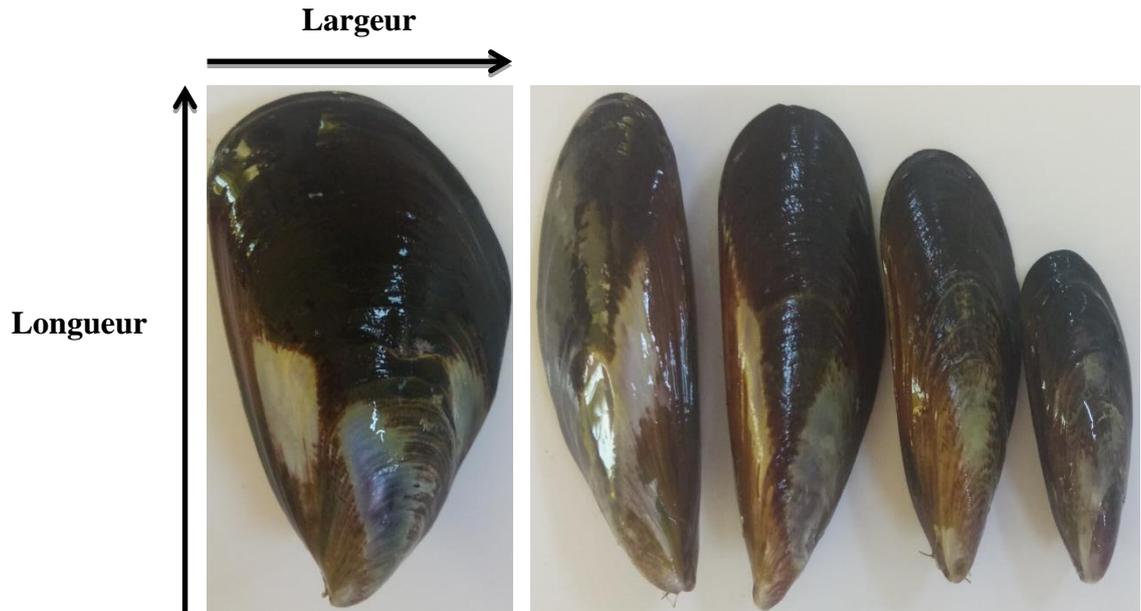


Figure N°13 : Schéma représentatif des paramètres linéaires des moules.

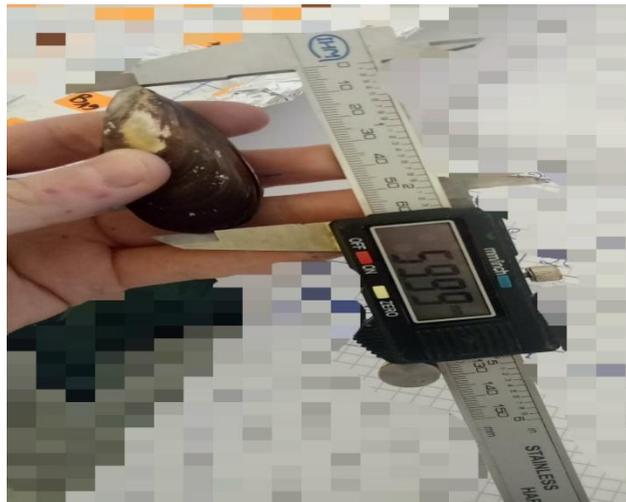


Figure N°14 : La détermination de la longueur de la moule (photo originale).

• Paramètres pondéraux

Les individus sont pesés à l'aide d'une balance électronique afin de déterminer les paramètres pondéraux suivants :

- ✓ Poids total frais (**Pt**) : C'est le poids total de l'animal entier.
- ✓ Poids de la coquille (**Pcoq**) : C'est le poids de la coquille vide égouttée.

- ✓ Poids frais de la chair (**Pf**) : Il reprit le poids de la masse viscérale fraîche égouttée. [95]
- ✓ Poids sec de la chair (**Ps**) : Il est obtenu après le séchage de la masse molle à l'étuve pendant 72 heures à 80°C.



Figure N°15 : L'extraction de la chair (photo originale).

b. Relation taille-poids

La relation tailles-poids et l'indice de condition seront ici étudiés avec précision pour atteindre divers objectifs, par exemple :

- ✓ Comparer des populations mono-spécifiques vivantes dans des conditions de milieux différents.
 - ✓ Déterminer indirectement la période et la durée de la maturation sexuelle.
- [102]

Cette méthode qui consiste à mettre en évidence la relation existante entre la taille et le poids par la loi d'allométrie simple qui s'exprime par l'équation suivante :

$$Y = a X^b$$

Y : Dimension de l'organe ou proportion du corps étudié.

X : Longueur de l'organe de référence.

a : Indice à l'origine.

b : Coefficient d'allométrie.

Cette équation peut également être exprimée sous sa forme logarithmique après transformation : [95]

$$\text{Log Y} = \text{Log a} + \text{b log X}$$

Le coefficient allométrique est exprimé par l'exposant "b" de l'équation linéaire de la régression. Pour déterminer le type d'allométrie, la pente est comparée à une valeur théorique égale à 3, à l'aide du test *t* de Student [85] (voire l'annexe), quand :

- $b < 3$: L'allométrie est minorante, le poids croît moins vite que le cube de la longueur,

- $b = 3$: La croissance est dite isométrique, le poids croît proportionnellement au cube de la longueur,

- $b > 3$: L'allométrie est majorante, le poids croît plus vite que le cube de la longueur.

[96]

L'hypothèse principale (H0) : propose qu'il n'y ait pas de différence significative entre la pente (b) et la valeur 3.

L'hypothèse alternative (H1) : suppose qu'il y a une différence significative entre la pente (b) et la valeur 3.

- Si $t_{obs} \leq t_{0.05, n}$, l'hypothèse principale est acceptée,
- Si $t_{obs} > t_{0.05, n}$, l'hypothèse principale est rejetée.

$$t_{obs} = \frac{|b^2 - b_0^2| \cdot \sqrt{n-2}}{2b \cdot b_0 \sqrt{1-R^2}}$$

n = Nombre de couples donnés.

r = Coefficient de corrélation.

b = Coefficient d'allométrie (pente) avec la valeur de α qui représente le seuil de confiance au risque d'erreur de 5 %. La valeur de *t* observée est comparée à celle de *t* théorique tirée de la table de Student. [103]

La croissance d'un paramètre est alors proportionnellement inférieure ou supérieure à la croissance du paramètre de référence.

Les valeurs a et b sont déterminées par l'équation de la régression linéaire, le calcul du coefficient de détermination R^2 donne le degré d'ajustement à cette régression. Dans la littérature, on décrit que :

- ✓ Si $b > 3$ les animaux sont en période de maturité sexuelle, inversement
- ✓ si $b < 3$ ils sont en période de ponte. [85]

c. Indice de condition

L'étude des différents paramètres biométrique et physiologique caractérise d'un espèce bio-indicatrice la moule *Perna perna*, nous permettons d'évaluer l'effet de la pollution et la qualité de l'environnement marin que subit ces organismes vivants, parmi les indices biologiques nous citons l'indice de Condition ;[104] qui constitue de bon indicateur de l'état physiologique et de la croissance, notamment chez la moule, elle permet d'évaluer la présence ou non de déviations par rapport à une croissance normale, c'est la manifestation des altérations biochimiques et physiologiques exprimées au niveau de l'organisme. [105]

Plusieurs indices de condition, calculés sur la base de la masse sèche et/ou de la masse fraîche des tissus mous et de la coquille de l'animal. [106]

Dans cette étude, nous avons choisi de suivre l'évolution de l'indice de condition en chair qui est recommandé par l'Association Française pour la Standardisation, calculé de la façon suivante : [104]

$$IC = \frac{\text{Poids de la chair fraîche}}{\text{Poids total}} \times 100$$

Dans notre cas et pour l'analyse, les échantillons décongelés et égouttés sur papier filtre, la chair est séparée de la coquille à l'aide d'un couteau en inox, puis séchés dans une étuve portée à 80°C pendant au moins 72 h jusqu'à l'obtention d'un poids constant.



Figure N°16 : Séchage de la chair des moules dans l'étuve à 80°C (photo originale).

Après trois jours, les échantillons sont retirés de l'étuve, puis le poids sec (**Ps**) est noté, la masse perdue représente l'humidité, ce qui reste est la matière sèche.

Le calcul du pourcentage d'humidité est comme le suivant : [14]

$$\% \text{ d'humidité} = \frac{P_f - P_s}{P_f} \times 100$$

Pour chaque site, nous avons choisi des sous échantillons suffisamment homogènes pour être représentatifs de l'échantillon reçu au laboratoire et ensuite broyés dans un mortier sec à surface lisse préalablement nettoyée jusqu'à ce que la chair soit homogène afin d'obtenir une poudre, qu'elle est conservée dans des flacons en verre à +4°C (préalablement lavés et séchés étiquetés jusqu'à leurs analyses).



Figure N°17 : Broyage de la matière sèche
(photo originale).

3.2.3. Minéralisation des échantillons

La minéralisation est une étape importante pour la détermination d'éléments traces, elle permet de détruire la matière organique et obtenir des solutions contenant la teneur totale des éléments présents dans les échantillons.

Elle est effectuée selon la méthode décrite par Heoning, ce dernier prend 0,5 g de poids sec (Ps) d'échantillon provenant de l'homogénéat de toute la partie molle et le met dans un tube auquel nous avons ajouté 1 ml d'acide nitrique (HNO_3) et 3 ml d'acide chlorhydrique (HCl), puis nous avons fait l'agitation des tubes dans un vortex. Cette étape est réalisée sous la hotte.



Figure N°18 : Minéralisation de la matière sèche sous la hotte (photo originale).



Figure N°19 : Agitation sous la hotte (photo originale).

En laissant les échantillons pendant une nuit et nous avons chauffé jusqu'à ébullition dans un bain de sable, ce dernier est porté à température de 75°C puis récupérer le minéralisat.



Figure N°20 : Chauffage des échantillons sous la hotte (photo originale).

3.2.4. Mise en solution

Après avoir récupéré le minéralisât nous avons rajouté les mêmes volumes des acides.

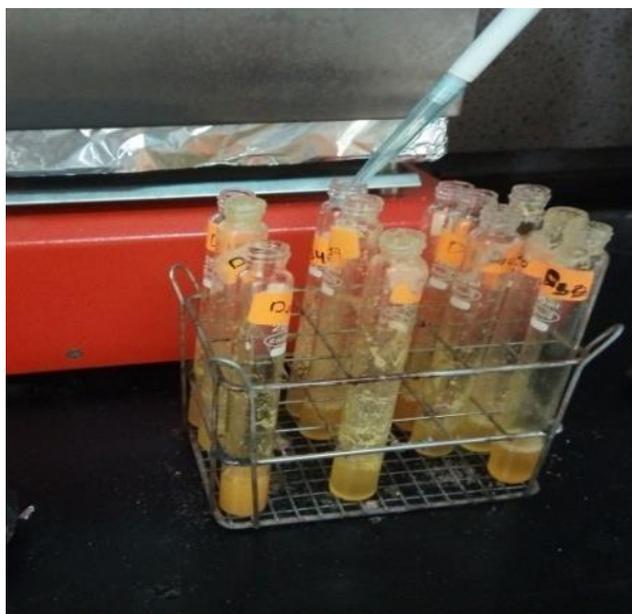


Figure N°21 : Rajout des mêmes volumes des acides (photo originale).

Puis nous avons filtré avec un papier filtre de porosité 0.45milliports.



Figure N°22 : Filtration (photo originale).

Le filtrat obtenu est ensuite ajusté à 50 ml. Une dilution adaptée doit être ensuite réalisée avant l'analyse par la SAA.

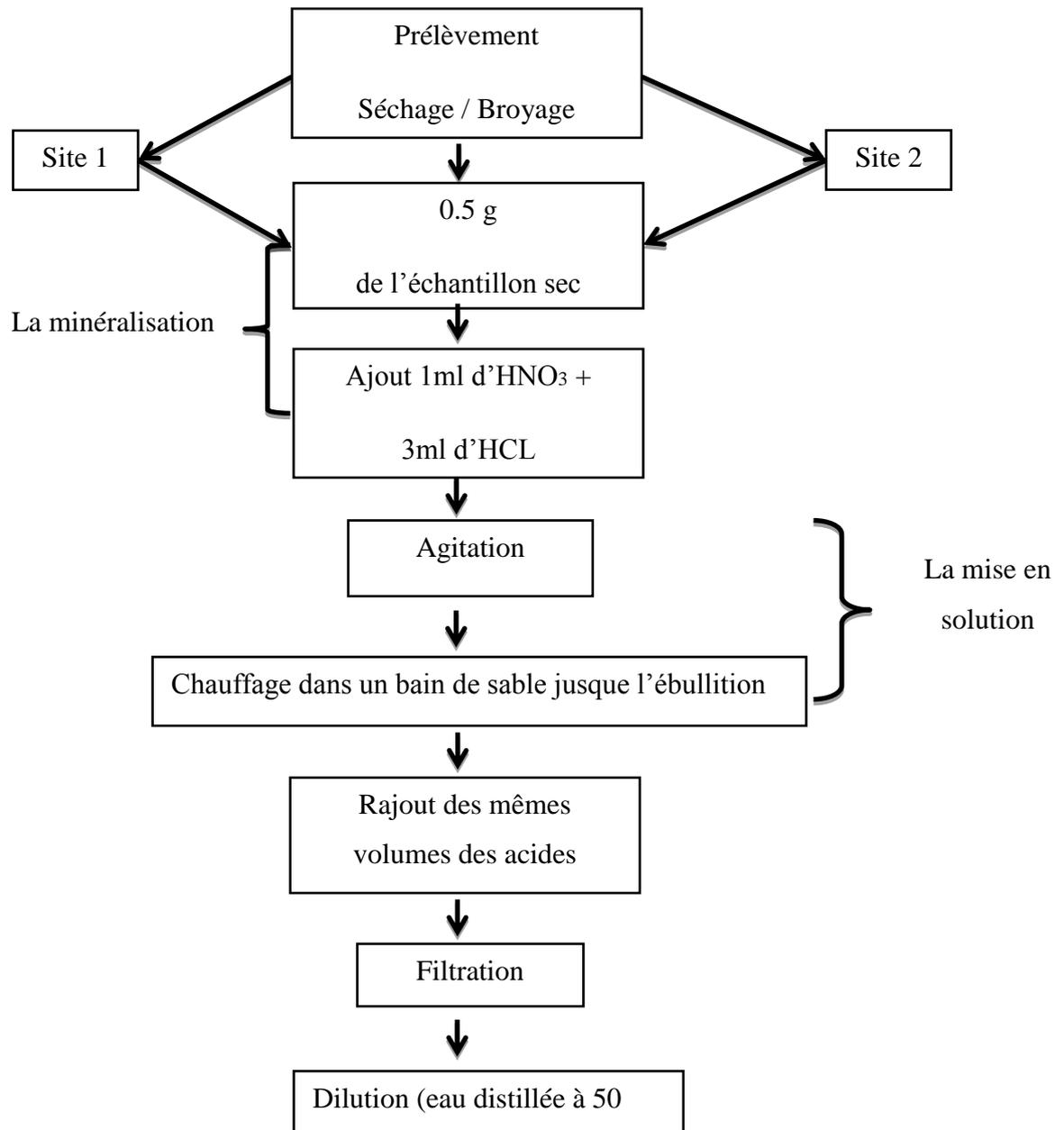


Figure N°23 : Protocol suivi pour le dosage des métaux lourds dans les moules.

4. Dosage des ETM

Tous les échantillons minéralisés et filtrés sont transférés dans des flacons en verre puis transportés jusqu'au Laboratoire de Chimie industriel de l'Université de Guelma où le dosage des métaux étudiés (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni et Zn) est effectué par le Spectromètre d'Absorption Atomique (SAA).

4.1. Spectrométrie d'Absorption Atomique

La Spectrophotométrie d'Absorption Atomique est une méthode d'analyse quantitative s'adressant essentiellement aux métaux, elle est proposée par WALSH en 1955, [39] basée sur la propriété des atomes de l'élément à doser, qui peuvent absorber des radiations de longueurs d'ondes déterminées. [107]

L'élément à doser doit être en solution diluée, la lampe à utiliser doit émettre des photons dont l'énergie correspond à l'excitation d'un atome (lampe à cathode creuse mono-élément), la chaleur nécessaire pour faire passer l'échantillon à l'état gazeux et placer l'élément à doser dans un état « fondamental » est généré par une flamme ou un four de graphite. [14] Les atomes excités par la source absorbent son énergie, la disparition du signal est répercutée via des systèmes optiques puis détectée et amplifiée. Nous avons mesuré une absorbance, l'intensité de l'absorption atomique qui est proportionnelle au nombre d'éléments atomisés et excités, répond à la loi de Beer-Lambert. [108]

Le spectromètre doit être préalablement étalonné : l'absorption est convertie par l'appareil en absorbance (ABS) qui est proportionnelle à la concentration de l'élément à doser. Nous avons tracé une droite d'étalonnage ABS obtenue pour la solution étudiée, ce qui permet d'en déterminer la concentration. [109]



Figure N°24 : Spectrophotométrie d’Absorption Atomique AAAnalyst 400(Perkin Elmer) (photo originale).

4.2. Appareillage

Les instruments de base pour la Spectrométrie d’Absorption Atomique comportent quatre parties principales :

4.2.1. Source lumineuse

C’est un organe essentiel car la mesure dépend en grande partie de ces caractéristiques. En effet, l’intensité émise doit être aussi grande que possible car ce n’est qu’une fois le flux de photons est suffisamment important que la probabilité de rencontre avec un atome est suffisamment grande pour espérer une mesure quantitative. Il existe en spectrométrie deux types de sources :

- Lampe à cathode creuse (la plus répandue).
- Lampe EDL. [110]
- **Lampe cathode creuse**

Ce dispositif permet de faire émettre les raies par l’élément dosé. Les lampes à cathode creuse sont des enceintes remplies par un gaz rare (Néon, Argon) à faible pression contenant un cylindre creux en élément à doser. Ce cylindre constitue la cathode et l’anode étant un fil de tungstène. [111]

Une émission d'électrons hautement énergétiques à la cathode qui provoque une ionisation d'un gaz de remplissage (Argon ou Néon), les cations formés bombardent ensuite la cathode ce qui provoquera éjection d'un atome de métal excité, le retour à l'état fondamental de ce dernier s'accompagnera d'une émission d'énergie sous forme d'une radiation spécifique. [59]



Figure N°25 : Lampe cathode creuse (photo original).

4.3. Chambre d'absorption

Les cellules d'absorption les plus utilisées en spectrométrie sont la flamme et le four graphite qui sont capables, à partir d'éléments présents en solution, de fournir des atomes libres en proportion suffisante pour utiliser la technique d'absorption. [110]

➤ **Nébuliseur-brûleur**

Les échantillons sont dissouts en milieu aqueux et introduits dans l'atomiseur par un nébuliseur, celui-ci aspire l'échantillon liquide à travers un capillaire par un flux de gaz à haute pression qui s'écoule autour de l'extrémité du tube. La vitesse très élevée du gaz provoque la rupture du liquide en fines gouttelettes de dimension variées, qui sont alors entraînées dans l'atomiseur. [59]

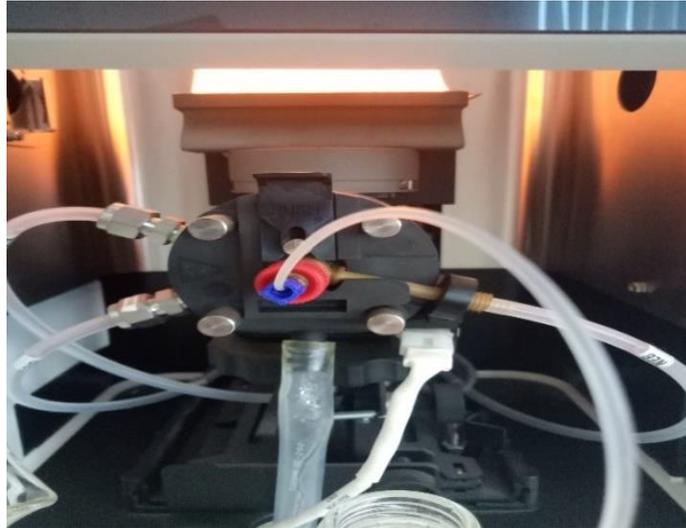


Figure N°26 : Nébuliseur (photo originale).

Dans la Flamme se produit l'évaporation du solvant, la fusion puis l'évaporation des composés métalliques et enfin une dissociation moléculaire libérant les atomes qui peuvent alors absorber. La forme laminaire de la flamme permet d'allonger le chemin optique à travers l'atomiseur, la plus couramment utilisée est la flamme Air -Acétylène (2500K). [6]



Figure N°27 : Flamme (photo originale).

4.4. Détecteur

Le détecteur de rayonnement transforme l'énergie lumineuse en un signal utilisable (en général électrique), Il est couplé à un dispositif de traitement du signal, complété par un système permettant l'affichage du résultat sur un écran, un oscillographe ou un enregistreur. [111] Il existe trois types de détecteurs :

- Les détecteurs thermiques.
- Les détecteurs pyroélectriques.
- Le photomultiplicateur [59]

4.5. Monochromateur

Le faisceau incident (source émise) est un spectre de raies qui contient : les raies de l'élément à doser et les raies du gaz de remplissage, les raies d'éventuelles impuretés ainsi que les raies de l'atomiseur (flamme) par conséquent, c'est une lumière poly chromatique. [110] Il sert à éliminer toutes les radiations qui ne correspondent pas à la longueur d'onde choisie. [6]

5. Préparation des courbes d'étalonnage

La S.A.A est une méthode expérimentale qui exige l'étalonnage de l'appareil, avec des solutions standards de concentration connue. [107]. Pour notre cas, nous avons utilisé la méthode qui consiste à mesurer la concentration d'un élément dans un échantillon, et cela par comparaison directe avec des teneurs connues du même élément. Pour chacun des métaux, nous avons préparé 3 à 4 solutions étalons à concentrations différentes et les passer dans l'analyseur avant les échantillons afin d'établir la courbe d'étalonnage.



Figure N°28 : Préparation d'étalons (photo originale).

✓ Courbe d'étalonnage du Cadmium

A partir d'une solution standard à 1% HNO₃ et de concentration 1000 mg/l nous avons préparé une gamme d'étalon de concentration respectivement : 0.1, 0.4, 1, 1.6 mg/L.

Coefficient de corrélation (R^2) : 0.99.

✓ **Courbe d'étalonnage du Chrome**

A partir d'une solution standard à 1% HNO₃ et de concentration 1000 mg/l nous avons préparé une gamme d'étalon de concentration respective : 0.1, 0.4, 1, 1.6 mg/L.

Coefficient de corrélation (R^2) : 0.98.

✓ **Courbe d'étalonnage du Cuivre**

A partir d'une solution standard à 1% HNO₃ et de concentration 1000 mg/l nous avons préparé une gamme d'étalon de concentration respective : 0.1 ,0.4, 1 ,1.6 mg/L.

Coefficient de corrélation (R^2) : 0.99.

✓ **Courbe d'étalonnage du Fer**

A partir d'une solution standard à 1% HNO₃ et de concentration 1000 mg/l nous avons préparé une gamme d'étalon de concentration respective : 0.1 ,0.4, 1 ,1.6 mg/L.

Coefficient de corrélation (R^2) : 0.99.

✓ **Courbe d'étalonnage du Nickel**

A partir d'une solution standard à 1% HNO₃ et de concentration 1000 mg/l nous avons préparé une gamme d'étalon de concentration respective : 0.1 ,0.4, 1 ,1.6 mg/L.

Coefficient de corrélation (R^2) : 0.98.

✓ **Courbe d'étalonnage du Zinc**

A partir d'une solution standard à 1% HNO₃ et de concentration 1000 mg/l nous avons préparé une gamme d'étalon de concentration respective : 0.4, 0.8, 1.6 mg/l.

Coefficient de corrélation (R^2) : 0.98.

PARTIE III : RESULTATS
ET DISCUSSIONS

Chapitre IV : Résultats

1. Mesure des paramètres biologiques

1.1. Etude Biométrique

Les résultats de l'étude biométrique réalisés sur les moules de deux baies : Chetaibi et El-Hanaya concernent les paramètres linéaires (longueur, largeur) et pondéraux (le poids total frais, le poids de la chair, le poids de la coquille et le poids sec de la chair), sont exprimés, par la moyenne plus au moins l'écart type, grâce aux fonctions statistiques d'Excel pour chaque site. Les résultats sont notés aux tableaux au-dessous :

• Pour la baie de Chetaibi

Tableau N°2 : Les résultats de l'étude biométrique des moules de la baie de Chetaibi.

Site	Nombre d'individus	Variable	Moyenne	Ecart-type
Site 1	45	Longueur (mm)	62,62	8.44
		Largeur (mm)	28,18	3.88
		Poids total (g)	12,55	3.44
		Poids de la chair (g)	3,42	0.98
		Poids de la coquille (g)	9,13	2.73
		Poids sec (g)	0,53	0.15
Site 2	45	Longueur (mm)	58,10	8,08
		Largeur (mm)	26,67	3,14
		Poids total (g)	10,35	3,48
		Poids de la chair (g)	3,13	1,09
		Poids de la coquille (g)	7,22	2,80
		Poids sec (g)	0,49	0,16
Site 3	45	Longueur (mm)	62,02	7,24
		Largeur (mm)	28,58	3,38
		Poids total (g)	12,14	3,45
		Poids de la chair (g)	3,72	1,06
		Poids de la coquille (g)	8,45	2,50
		Poids sec (g)	0,56	0,16

➤ **Pour la baie de El-Hanaya****Tableau N°3** : Les résultats de l'étude biométrique des moules de la baie d'El-Hanaya.

Site	Nombre d'individus	Variable	Moyenne	Ecart-type
Site 1	45	Longueur (mm)	64,92	7,36
		Largeur (mm)	30,07	4,04
		Poids total (g)	19,47	4,87
		Poids de la chair (g)	6,93	1,78
		Poids de la coquille (g)	12,54	3,52
		Poids sec (g)	1,23	0,32
Site 2	45	Longueur (mm)	62,33	7,40
		Largeur (mm)	30,74	5,26
		Poids total (g)	16,99	5,02
		Poids de la chair (g)	6,22	1,82
		Poids de la coquille (g)	10,77	3,32
		Poids sec (g)	1,13	0,33
Site 3	45	Longueur (mm)	63,89	6,50
		Largeur (mm)	29,99	4,10
		Poids total (g)	17,51	4,60
		Poids de la chair(g)	6,61	1,76
		Poids de la coquille (g)	10,90	3,11
		Poids sec (g)	1,17	0,37
Site 4	45	Longueur (mm)	58,54	7,06
		Largeur (mm)	27,88	4,13
		Poids total (g)	13,35	4,05
		Poids de la chair (g)	5,53	1,64
		Poids de la coquille (g)	7,82	2,79
		Poids sec (g)	0,97	0,28

1.2. Relation taille-poids

Les résultats de l'équation de régression qui relie les paramètres linéaires et pondéraux deux à deux : ils relient la longueur (L) et le poids total (Pt) sont exprimés dans les graphes suivants pour les deux baies :

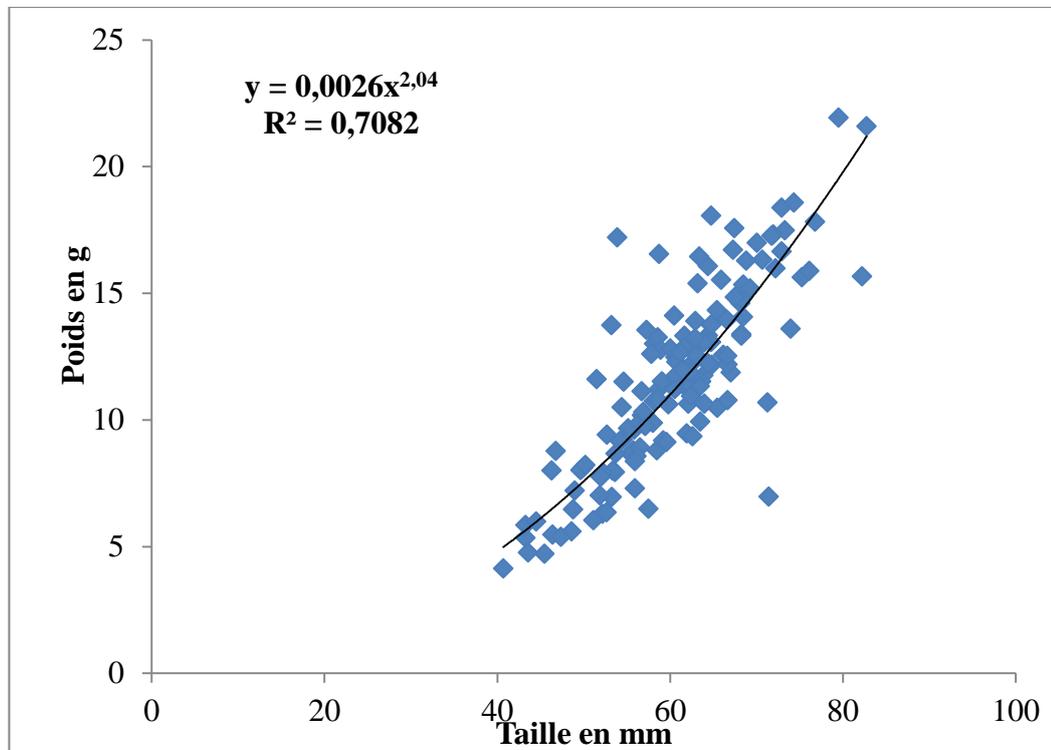


Figure N°29 : Relation taille-poids de la moule *Perna perna* récoltée au niveau de la baie de Chetaibi pendant le mois d'avril.

En ce qui concerne la baie de Chetaibi, nous avons un nombre de couple égal à 135 c'est à dire $n = 135$, tobs calculé à partir de la formule citée précédemment (chapitre matériel et méthode) = 8.42, lorsque l'effectif n est supérieur à 30 t théorique tiré de la table de student = 1.96 et donc :

$t_{obs} > t_{0.05, n}$, l'hypothèse principale est rejetée → il existe une différence significative entre la pente (b) et la valeur 3. Nous sommes dans le cas d'une allométrie minorante (négative) c'est à dire le coefficient d'allométrie $b < 3$ et que le poids de la moule *Perna perna* au niveau de la baie de Chetaibi croit moins vite que la longueur.

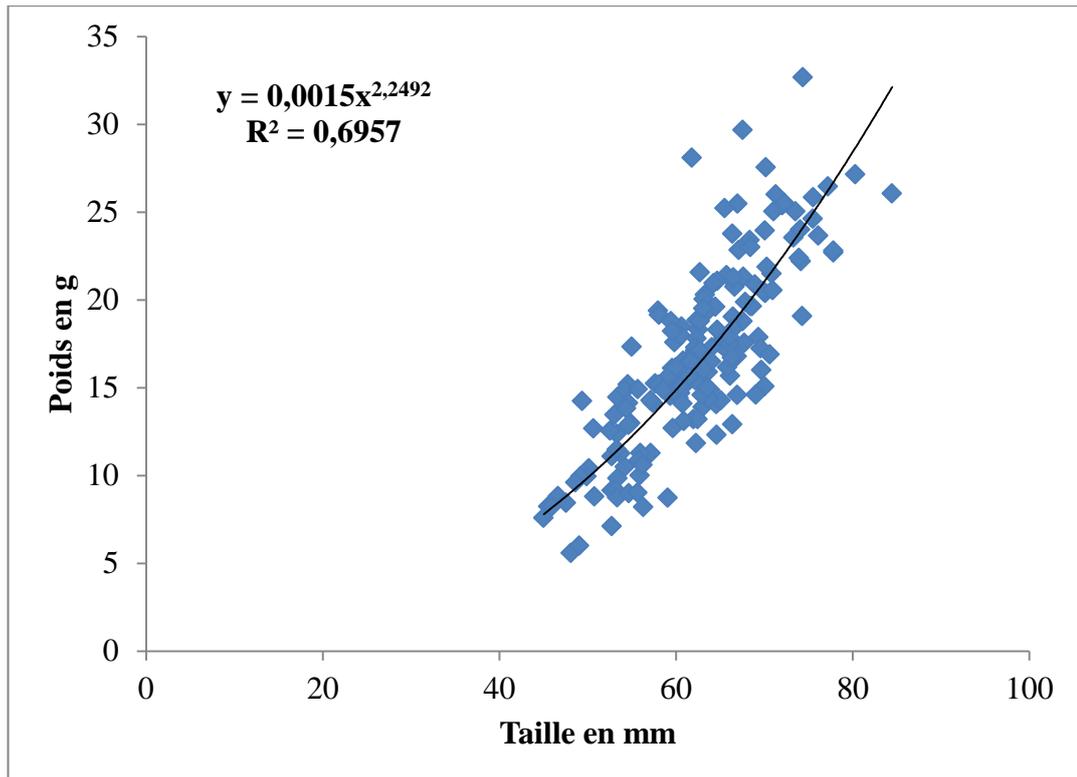


Figure N°30 : Relation taille-poids de la moule *Perna perna* récoltée au niveau de la baie d'El-Hanaya pendant le mois de mai.

En ce qui concerne la baie d'El-Hanaya, nous avons un nombre de couple égal à 180 c'est à dire $n = 180$, tobs calculé à partir de la formule citée précédemment (chapitre Matériel et méthode) = 7.09, lorsque l'effectif n est supérieur à 30 t théorique tiré de la table de student = 1.96 et donc :

tobs > t 0.05, n, l'hypothèse principale est rejetée → il existe une différence significative entre la pente (b) et la valeur 3. Nous sommes dans le cas d'une allométrie minorante (négative) c'est à dire le coefficient d'allométrie $b < 3$ et que le poids de la moule *Perna perna* au niveau de la baie d'El-Hanaya croit moins vite que la longueur.

Tableau 4 : Equations caractéristiques des régressions reliant la longueur et le poids de *Perna perna* dans les deux baies.

Baie	N	X	Y	Equation biométrique	R ²	Relation biométrique
Chetaibi	135	Longueur (mm)	Poids (g)	$y=0.0026x^{2.04}$	0.7082	Allométrie négative
El-Hanaya	180	Longueur (mm)	Poids (g)	$y=0.0015x^{2.2492}$	0.6957	Allométrie négative

1.3. Indice de condition

Les valeurs de l'indice de condition des moules provenant des deux régions montrent des fluctuations dissimilaires :

➤ Chetaibi

Les valeurs calculées de la baie de Chetaibi montrent des variations hétérogènes dans l'ensemble des sites :

• Site 1

Le graphe suivant présente les variations de l'indice de condition au niveau du premier site :

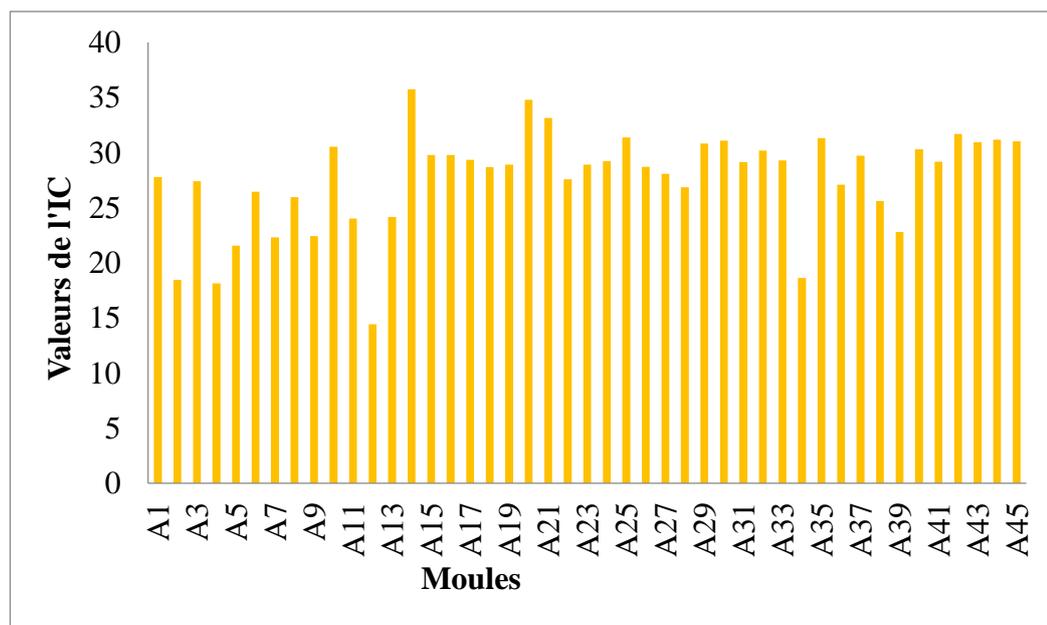


Figure N°31 : Variations de l'indice de condition chez *Perna perna* récoltée au premier site (Chetaibi).

Dans le premier site, nous avons observé que les valeurs sont situées dans un intervalle compris entre [14.42 et 35.73 %]. La valeur maximale est trouvée chez la moule A14 qui atteint (35.73 %), par contre la valeur minimale chez la moule A12 (14.42 %). L'indice de condition se varie autour d'une valeur moyenne qui aboutit (27.64 %).

• Site 2

Le graphe suivant présente les variations de l'indice de condition au niveau du deuxième site :

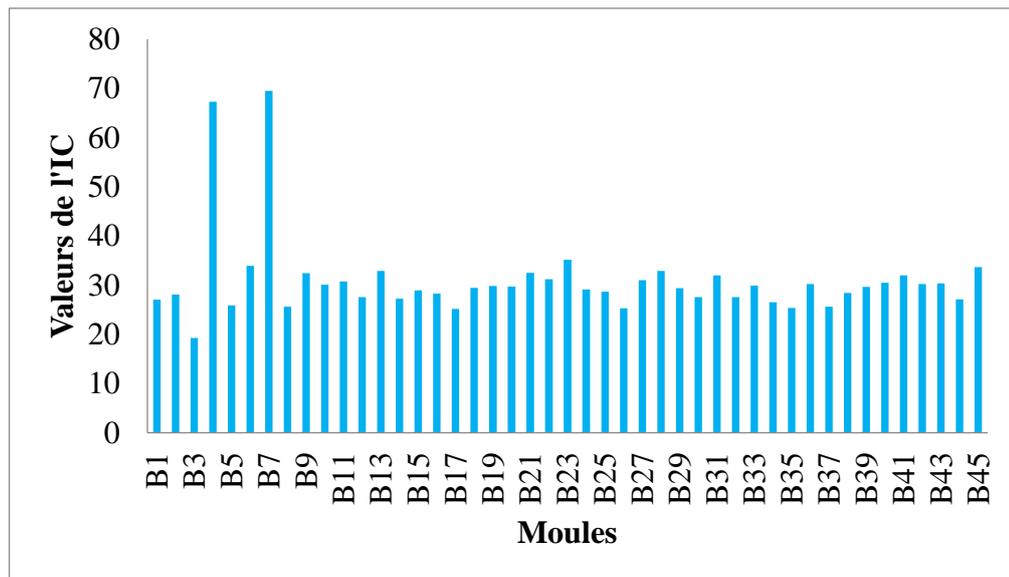


Figure N°32 : Variations de l'indice de condition chez *Perna perna* récoltée au deuxième site (Chetaibi).

Au niveau du deuxième site, les valeurs observées sont situées dans un intervalle compris entre [19.27 et 69.51 %]. Les valeurs les plus élevées sont trouvées chez les deux moules B4 et B7 qui atteignent un pourcentage de (67.29 à 69.51 %). Par contre, la valeur minimale chez la moule B3 peut aller jusqu'à (19.27 %). L'indice de condition se varie autour d'une valeur moyenne qui aboutit (30.90 %).

• Site 3

Le graphe suivant présente les variations de l'indice de condition au niveau du troisième site :

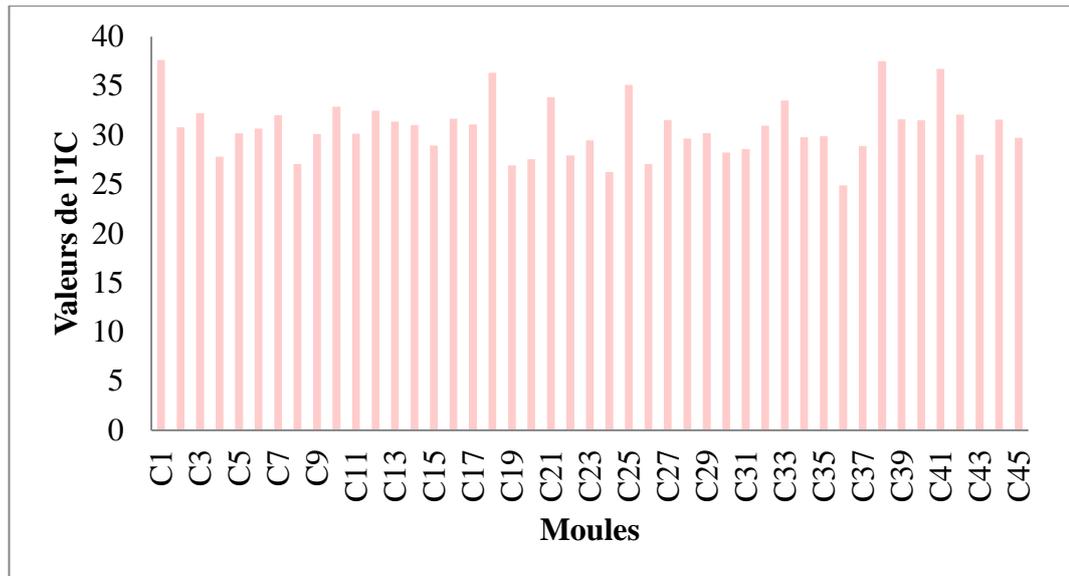


Figure N°33 : Variations de l'indice de condition chez *Perna perna* récoltée au troisième site (Chetaibi).

Le troisième site de la baie présente des valeurs un peu proches, Les valeurs maximales sont notées chez les deux moules C1 et C38 qui s'élèvent jusqu'au (37.64 – 37.5 %). En parallèle, la valeur minimale chez la moule C36 accède vers (24.88 %), les valeurs sont situées dans un intervalle compris entre [24.88 et 37.64 %]. L'indice de condition se varie autour d'une valeur moyenne de 30.74 %.

Le graphe suivant présente les variations de la moyenne de l'indice de condition chez *Perna perna* récoltée au niveau de la baie de Chetaibi :



Figure N°34 : Variations de la moyenne de l'indice de condition chez *Perna perna* récoltée au niveau de la baie de Chetaibi.

L'indice calculé au niveau de la baie montre des variations proches dans l'ensemble des sites, les valeurs observées sont situées dans un intervalle compris entre [27.65 et 30.91 %], nous avons observé que la valeur la plus faible est enregistrée au niveau du premier site avec un pourcentage de (27.65 %). Ainsi, elle est similaire au niveau du deuxième et troisième site (30.91 et 30.74 %). L'indice de condition au niveau de la baie se varie autour d'une valeur moyenne qui aboutit (29.76 %).

➤ El-Hanaya

Les valeurs de l'IC de la baie d'El-Hanaya montrent des variations proches dans l'ensemble des quatre sites :

• Site 1

Le graphe suivant présente les variations de l'indice de condition au niveau du premier site :

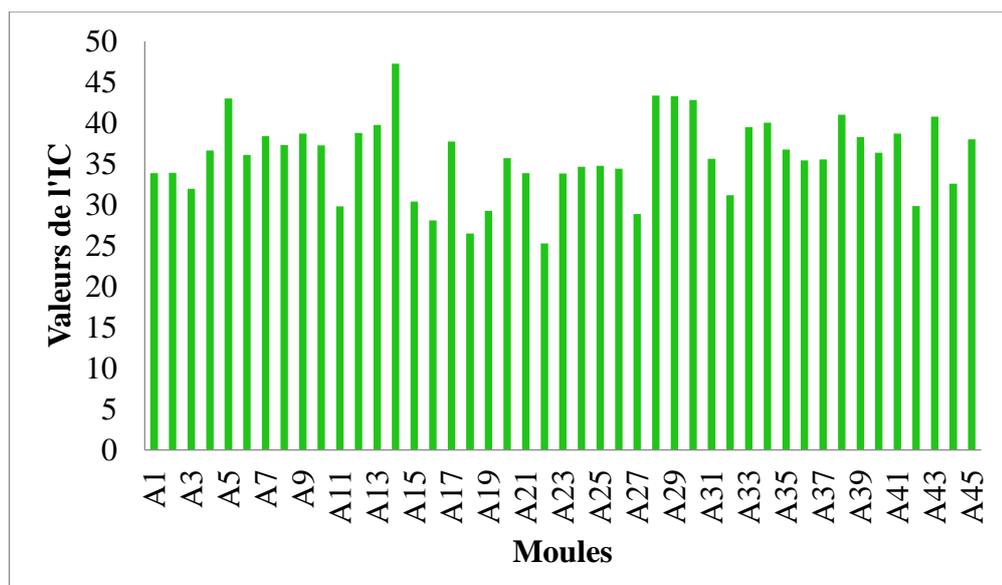


Figure N°35 : Variations de l'indice de condition chez *Perna perna* récoltée au premier site (El-Hanaya).

Le premier site de la baie présente des variations dissimilaires, les valeurs sont situées dans un intervalle compris entre [25.26 et 47.27 %], la valeur maximale est notée chez la moule A14 (47.27 %). Or, la valeur minimale chez la moule A22 atteint (25.26 %). L'indice de condition se varie autour d'une valeur moyenne qui aboutit (35.87 %).

• Site 2

Le graphe suivant présente les variations de l'indice de condition au niveau du deuxième site :

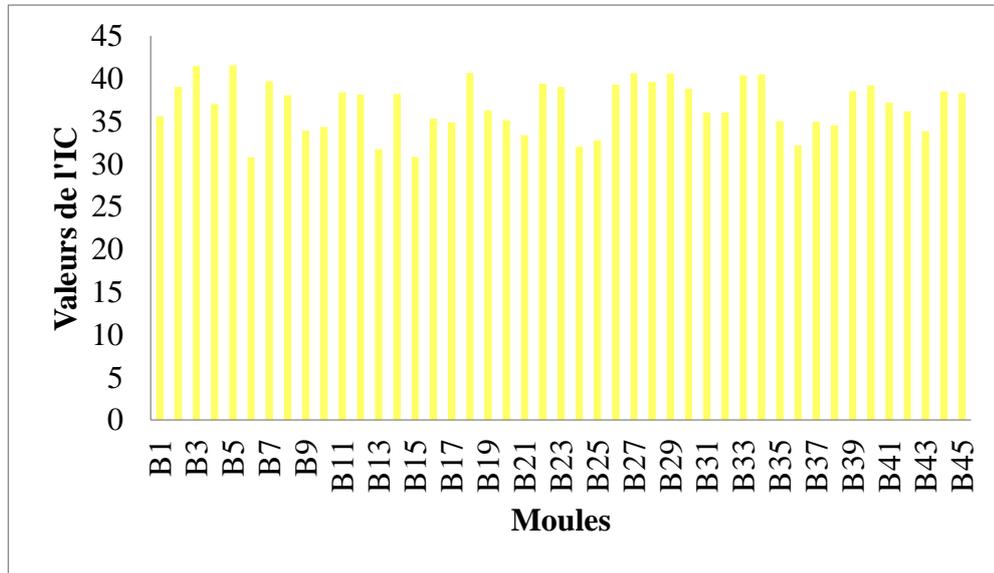


Figure N°36 : Variations de l'indice de condition chez *Perna perna* récoltée au deuxième site (El-Hanaya).

Au niveau du deuxième site de la baie, les variations sont proches. Les valeurs sont situées dans un intervalle compris entre [30.79 et 41.57 %], les valeurs les plus élevées sont observées chez les moules B3 et B5 qui peuvent arriver jusqu'au (41.5 – 41.57 %). En revanche, la valeur minimale chez la moule B6 atteint (30.79 %). L'indice de condition se varie autour d'une valeur moyenne de (36.84 %).

• Site 3

Le graphe suivant présente les variations de l'indice de condition au niveau du troisième site :

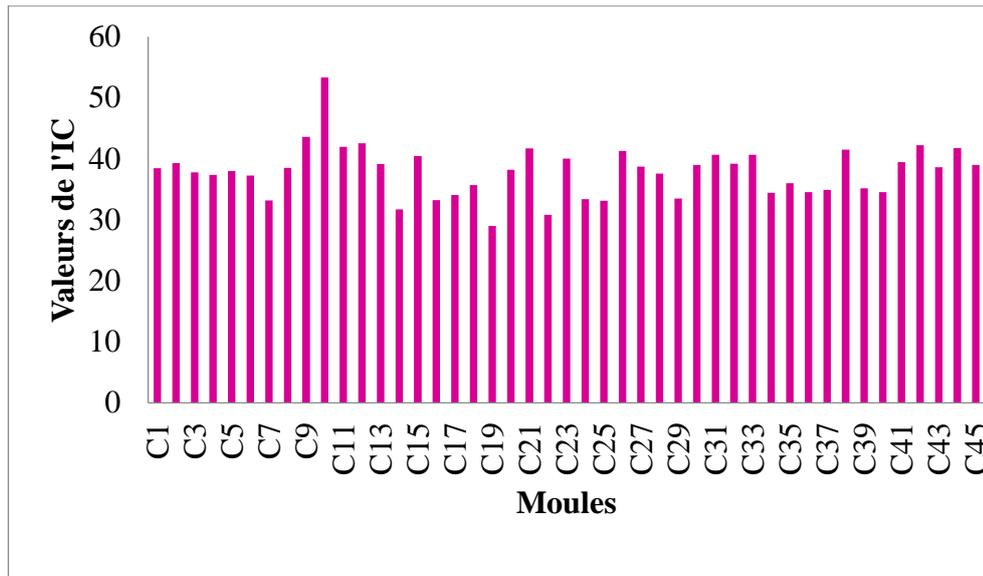


Figure N°37 : Variations de l'indice de condition chez *Perna perna* récoltée au troisième site (El-Hanaya).

Au niveau du troisième site de la baie, les variations sont hétérogènes. Les valeurs sont situées dans un intervalle compris entre [53.29 et 28.98 %], la valeur la plus élevée est observée chez la moule C10 (53.29 %). En parallèle, la valeur minimale chez la moule C19 atteint (28.98 %). L'indice de condition se varie autour d'une valeur moyenne de (37.87 %).

• Site 4

Le graphe suivant présente les variations de l'indice de condition au niveau du quatrième site :

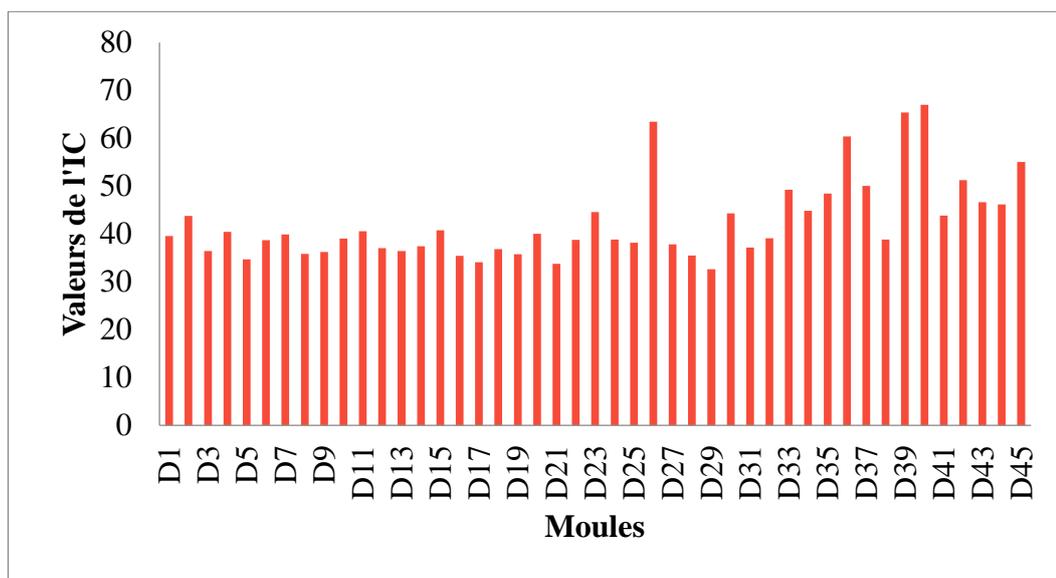


Figure N°38 : Variations de l'indice de condition chez *Perna perna* récoltée au quatrième site (El-Hanaya).

Au niveau du quatrième site de la baie, les variations sont dissimilaires, les valeurs sont situées dans un intervalle compris entre [32.64 et 67 %], la valeur la plus élevée est observée chez la moule D40 (67 %). A l'opposé, la valeur minimale chez la moule D29 atteint (32.64 %). L'indice de condition se varie autour d'une valeur moyenne de (42.45 %).

Le graphe qui présente les variations moyennes de l'indice de condition enregistrées au niveau de la baie d'El-Hanaya est au-dessous :

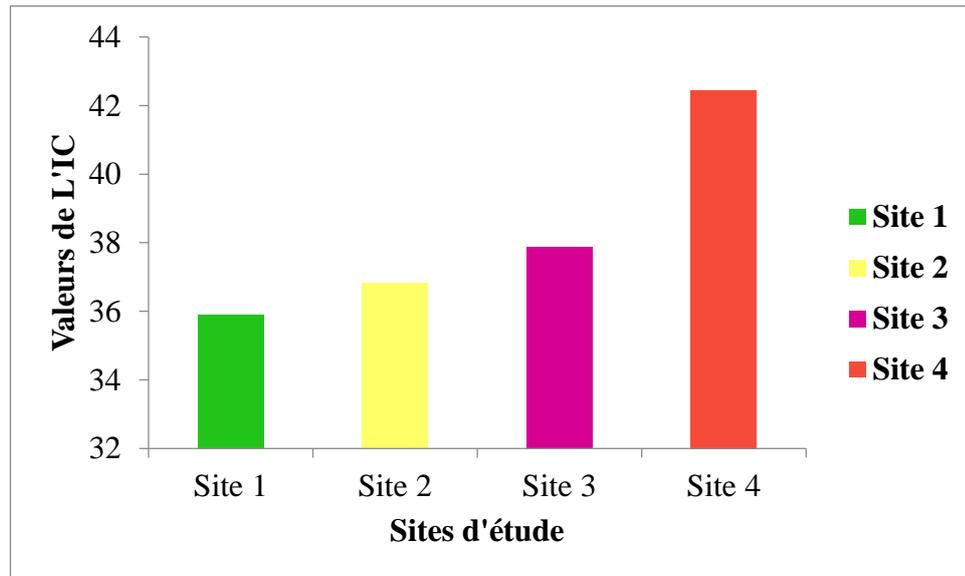


Figure N°39 : Variations de la moyenne l'indice de condition chez *Perna perna* récoltée au niveau de la baie d'El-Hanaya.

Les valeurs calculées dans la baie montrent des variations proches dans l'ensemble des sites, les valeurs observées sont situées dans un intervalle compris entre [35.86 et 42.45 %], nous avons observé que la valeur la plus faible est enregistrée au niveau du premier site avec un pourcentage de (35.86 %) suivi par le deuxième site avec une valeur de (36.84 %) et le troisième site (37.87 %). Par contre, la valeur la plus élevée est notée au niveau du quatrième site (42.45 %). L'indice de condition au niveau de la baie se varie autour d'une valeur moyenne de (38.26 %).

En ce qui concerne le littoral les variations enregistrées permettent de tracer le graphe suivant :

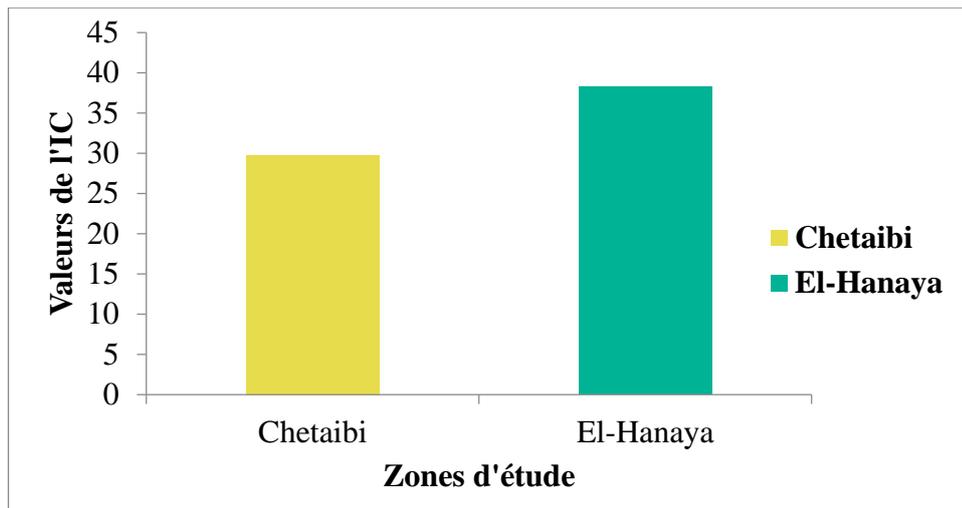


Figure N°40 : Variations de la moyenne l'indice de condition chez *Perna perna* récoltée au niveau de littoral d'Annaba.

Les pourcentages de l'IC calculés dans les deux régions de littoral d'Annaba (Chetaibi et El-Hanaya) montrent des fluctuations dissimilaires. El-Hanaya possède la valeur la plus élevée avec un pourcentage de (38.26 %). Alors que, la région de Chetaibi présente une valeur plus faible en comparaison avec l'autre région (29.76 %).

1.4. Pourcentage d'humidité

➤ Chetaibi

Les variations du pourcentage d'humidité concernant l'ensemble des sites de la baie de Chetaibi sont présentées par les graphes au-dessous :

• Site 1

Le graphe suivant présente les variations du pourcentage d'humidité au niveau du premier site :

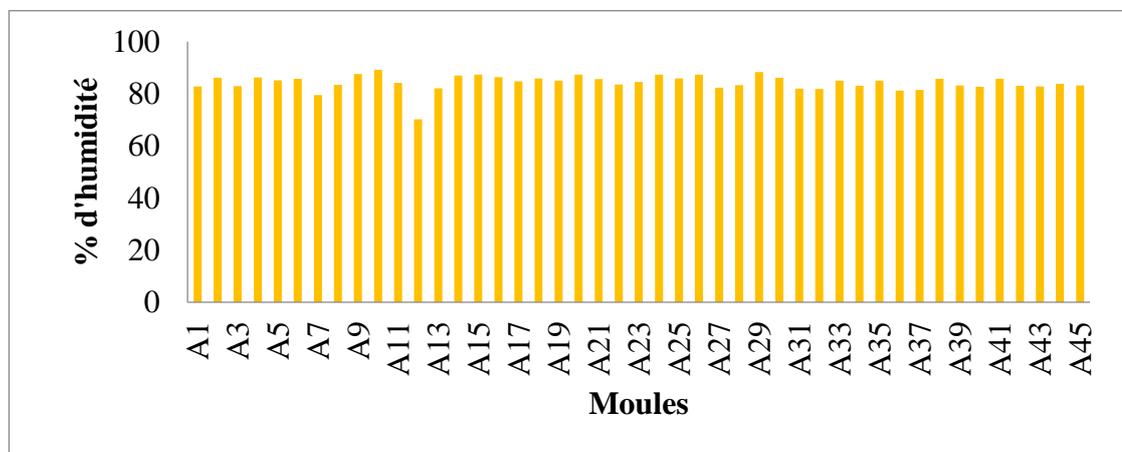


Figure N°41 : Variations du pourcentage d'humidité chez *Perna perna* récoltée au premier site (Chetaibi).

Le premier site de la baie présente des variations un peu proches, les valeurs sont situées dans un intervalle compris entre [70.20 et 88.30 %], la valeur maximale est notée chez la moule A29 (88.30 %). Cependant, la valeur minimale chez la moule A12 atteint (70.20 %). Le pourcentage d'humidité se varie autour d'une valeur moyenne de (84.31 %).

• Site 2

Le graphe suivant présente les variations de pourcentage d'humidité au niveau du deuxième site :

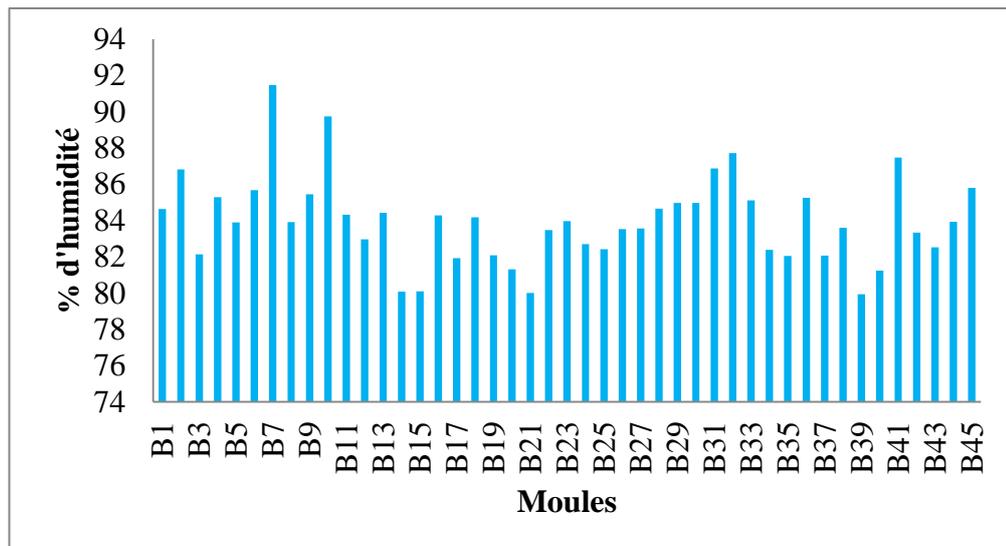


Figure N°42 : Variations du pourcentage d'humidité de *Perna perna* récoltée au deuxième site (Chetaibi).

Les valeurs du pourcentage d'humidité des moules récoltées au niveau du deuxième site montrent des variations dissimilaires. Nous avons noté que le pourcentage le plus élevé est marqué chez la moule B7 avec une valeur de (91.47 %). Parallèlement, la moule B39 aboutit une valeur minimale de (79.92 %). Elles sont situées dans un intervalle compris entre [79.92 et 91.47 %]. Le pourcentage d'humidité se varie autour d'une valeur moyenne de (83.95 %).

• Site 3

Le graphe suivant présente les variations du pourcentage d'humidité du troisième site :

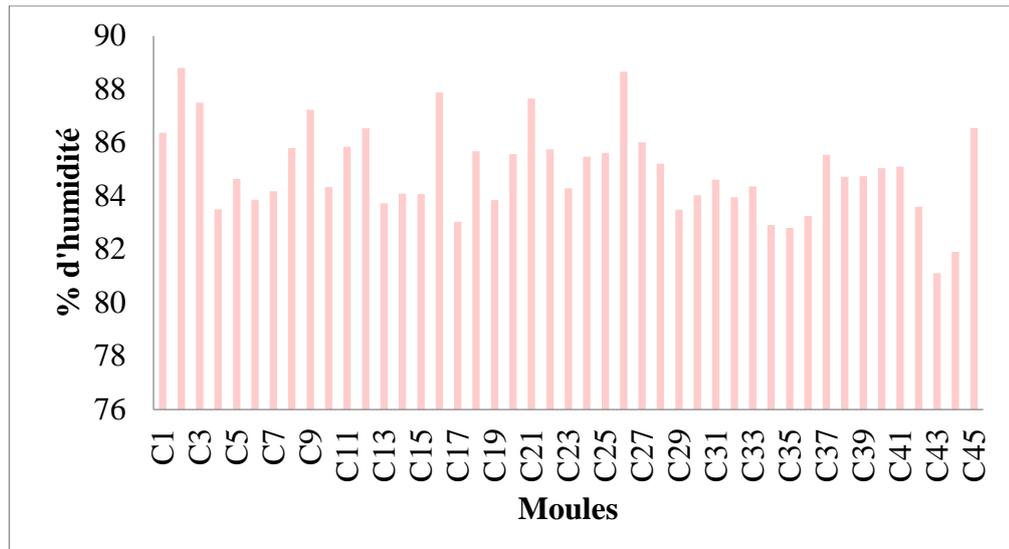


Figure N°43 : Variations du pourcentage d'humidité chez *Perna perna* récoltée au troisième site (Chetaibi).

Les valeurs du pourcentage d'humidité des moules récoltées au niveau du troisième site de la baie montrent des valeurs proches. Nous avons remarqué que le pourcentage le plus élevé chez la moule C2 atteint une valeur de (88.79 %). Par contre, il atteint une valeur basse de (81.11 %) chez la moule B39. Les valeurs sont situées dans un intervalle compris entre [81.11 et 88.79 %]. Le pourcentage d'humidité se varie autour d'une valeur moyenne de (83.14 %).

Le graphe suivant présente les variations du pourcentage d'humidité de *Perna perna* récoltée au niveau de la baie de Chetaibi :

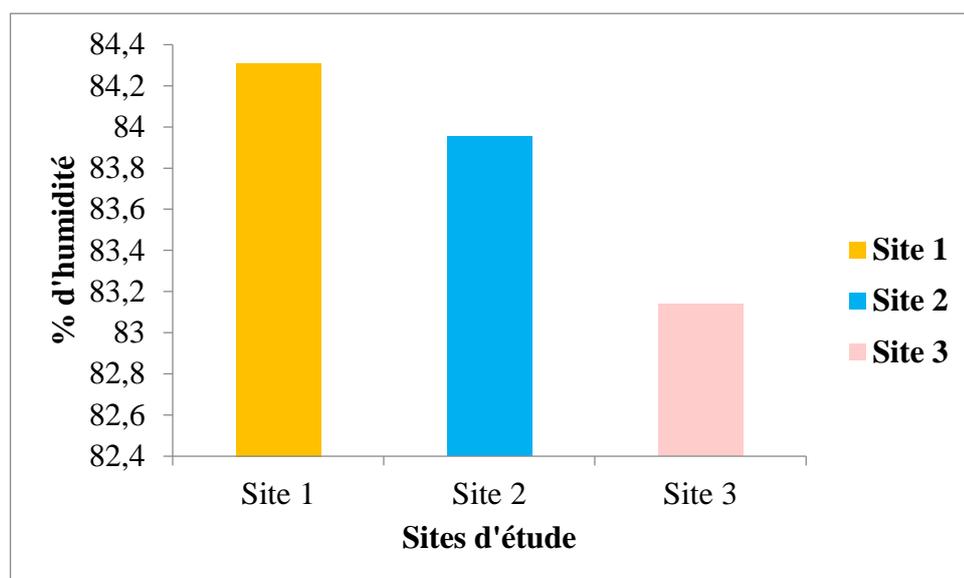


Figure N°44 : Variations de la moyenne du pourcentage d'humidité chez *Perna perna* récoltée au niveau de la baie de Chetaibi.

Les variations du pourcentage d'humidité des moules de la baie sont similaires dans l'ensemble des sites, les valeurs sont situées dans un intervalle compris entre [83.14 et 84.31 %], le premier site aboutit une valeur de (84.31 %) suivi par le deuxième site qui atteint un pourcentage de (83.95 %) et le dernier site marque une valeur de (83.14 %). Le pourcentage d'humidité se varie au tour d'une moyenne de (83.80 %).

➤ **El-Hanaya**

Concernant, les variations du pourcentage d'humidité de l'ensemble des sites de la baie d'El-Hanaya sont présentées dans les graphes au-dessous :

• Site 1

Le graphe suivant présente les variations du pourcentage d'humidité au niveau du premier site :

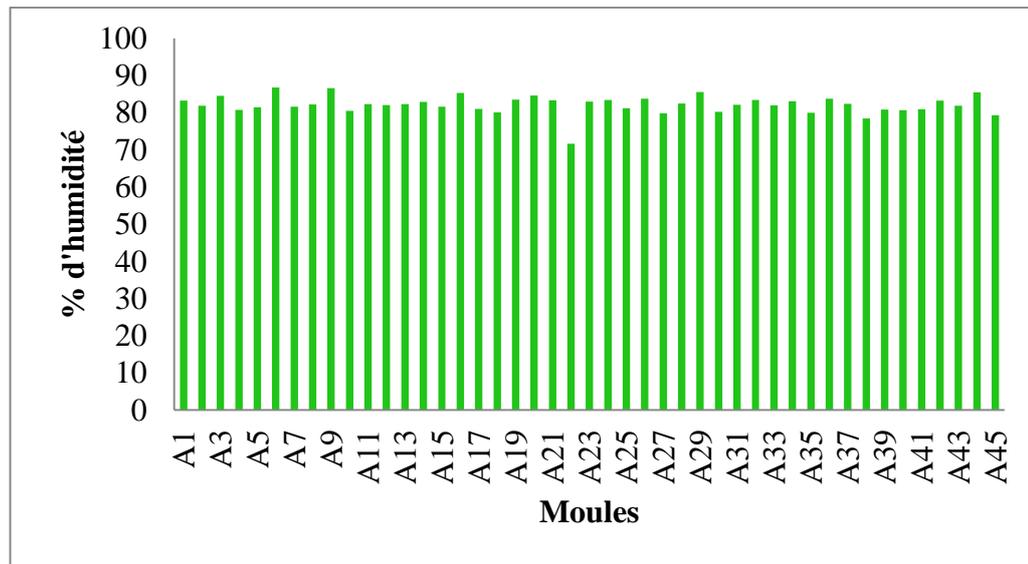


Figure N°45 : Variations du pourcentage d'humidité chez *Perna perna* récoltée au premier site (El-Hanaya).

Le pourcentage d'humidité des moules récoltées au niveau du premier site d'El-Hanaya montre des valeurs un peu proches qui compris entre [71.67 - 86.74 %]. Nous avons remarqué que le pourcentage chez la moule A22 atteint une valeur de (71.67 %). Alors qu'il atteint une valeur de (86.74 %) chez la moule A6. Le pourcentage d'humidité se varie autour d'une valeur moyenne de (82.16 %).

• Site 2

Le graphe suivant présente les variations du pourcentage d'humidité au niveau du deuxième site :

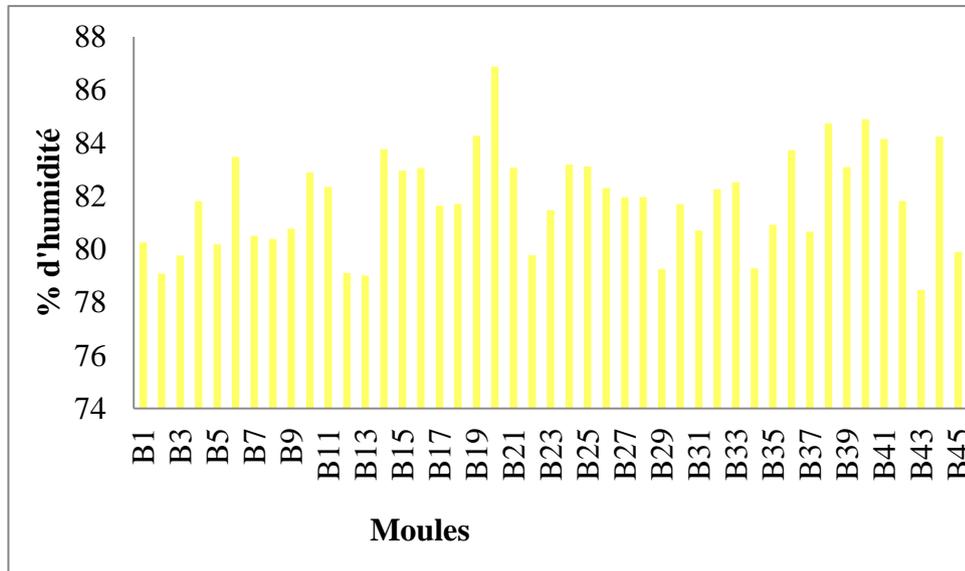


Figure N°46 : Variations du pourcentage d'humidité chez *Perna perna* récoltée au deuxième site (El-Hanaya).

Dans le deuxième site d'El-Hanaya, le pourcentage d'humidité des moules récoltées montre des valeurs un peu proches dans un intervalle qui compris entre [78.46 - 86.88 %]. Nous avons noté que le pourcentage chez la moule B43 atteint une valeur de (78.46 %). Alors qu'il atteint une valeur de (86.88 %) chez la moule B20. Le pourcentage d'humidité se varie autour d'une valeur moyenne de (81.84 %).

• Site 3

Le graphe suivant présente les variations du pourcentage d'humidité au niveau du troisième site :

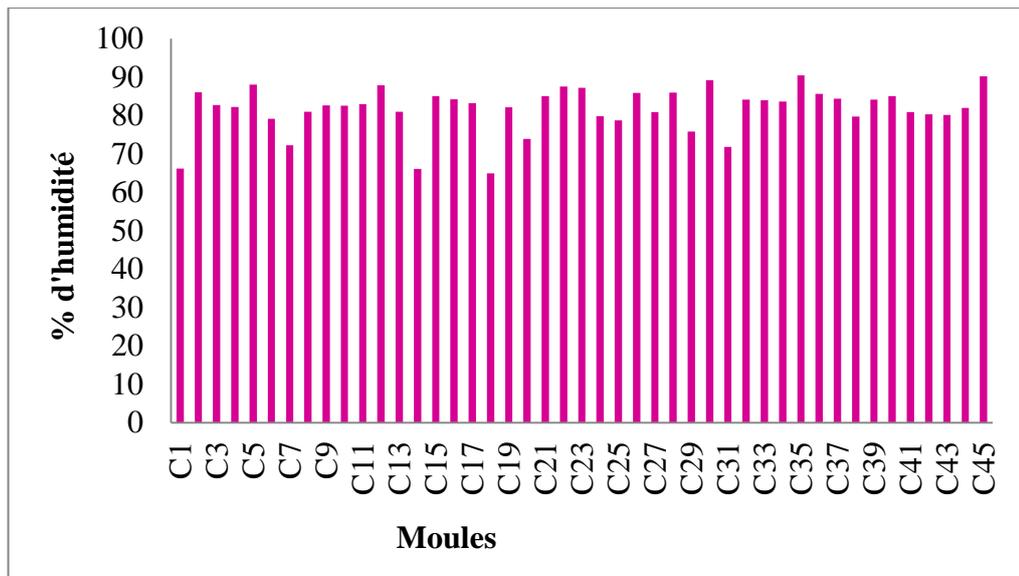


Figure N°47 : Variations du pourcentage d'humidité chez *Perna perna* récoltée au troisième site (El-Hanaya).

Les valeurs du pourcentage d'humidité des moules récoltées au niveau du troisième site d'El-Hanaya présentent des valeurs dissimilaires. Nous avons noté que le pourcentage le plus élevé chez la moule C45 aboutit une valeur de (90.18 %). Quoique, il atteint une valeur basse de (64.90 %) chez la moule B20. Le pourcentage d'humidité se varie autour d'une valeur moyenne de (81.70 %).

• Site 4

Le graphe suivant présente les variations du pourcentage d'humidité au niveau du quatrième site :

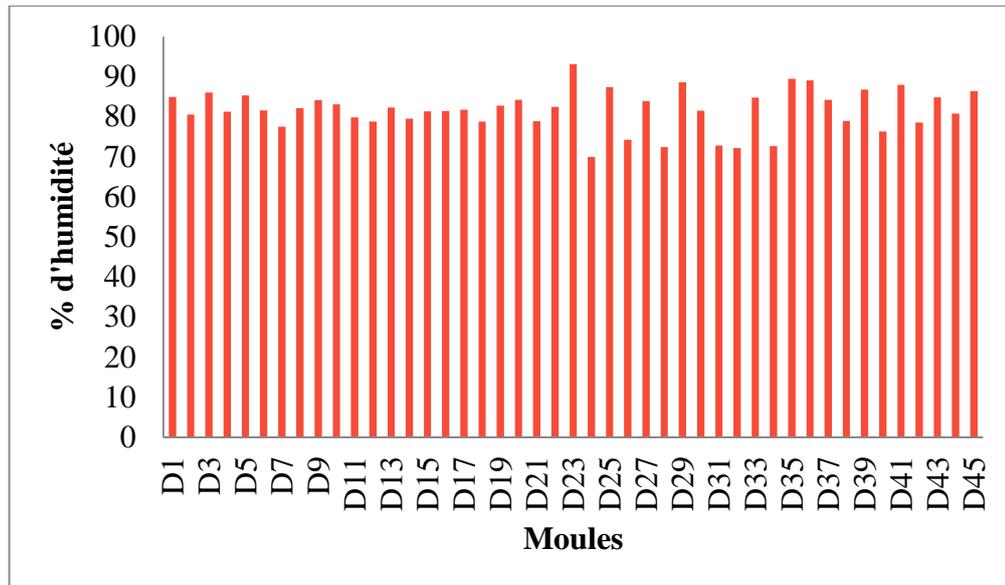


Figure N°48 : Variations du pourcentage d'humidité chez *Perna perna* récoltée au quatrième site (El-Hanaya).

Au niveau du quatrième site, nous avons remarqué des valeurs de pourcentage d'humidité dissimilaires dont le pourcentage le plus élevé chez la moule D23 atteint une valeur de (93.13 %). En revanche, il marque une valeur baisse de (69.94 %) chez la moule D24. Le pourcentage d'humidité se varie autour d'une valeur moyenne de (81.69 %).

Le graphe suivant présente les variations du pourcentage d'humidité du *Perna perna* récoltée au niveau de la baie d'El-Hanaya :

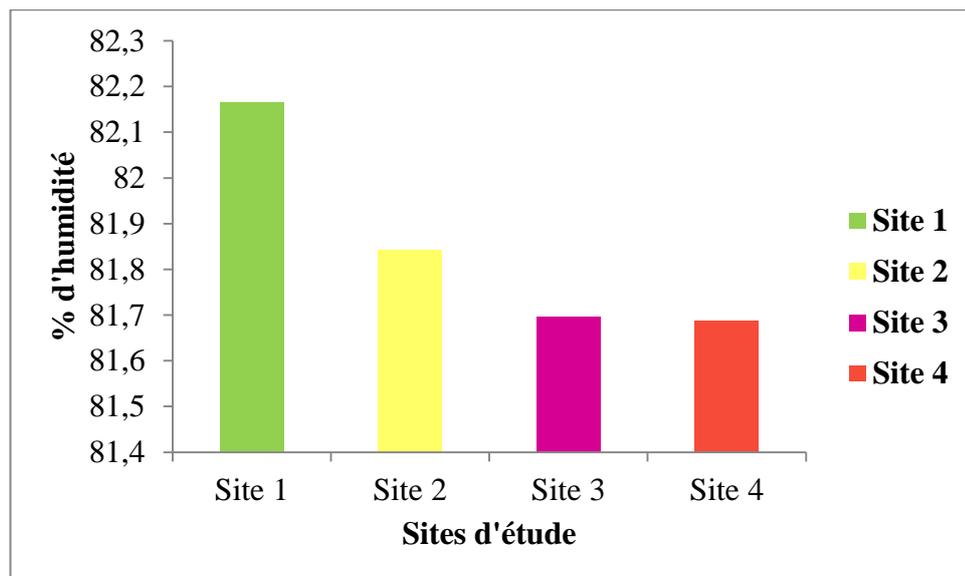


Figure N°49 : Variations de la moyenne du pourcentage d'humidité chez *Perna perna* récoltée au niveau de la baie d'El-Hanaya.

Les valeurs du pourcentage d'humidité des moules récoltées au niveau de la baie d'El-Hanaya montrent des valeurs similaires compris entre [81.69 % - 82.16 %]. Nous avons noté que la moyenne du pourcentage dans le premier site atteint une valeur de (82.16 %). Alors qu'il atteint une valeur de (81.69 %) dans le quatrième site.

En ce qui concerne le littoral, les variations enregistrées permettent de tracer le graphe suivant :

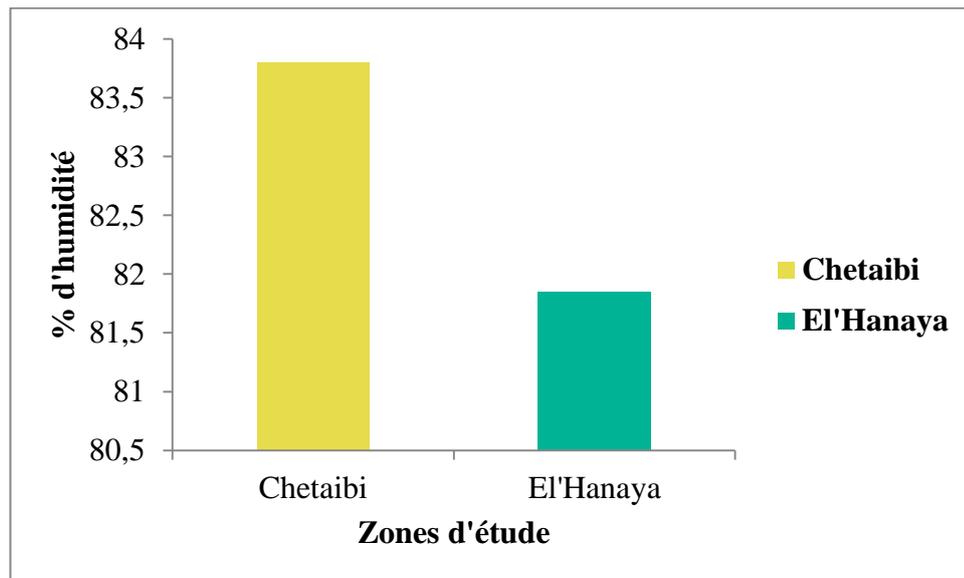


Figure N°50: Variations de la moyenne du pourcentage d'humidité chez *Perna perna* récoltée au niveau de littoral d'Annaba.

Les valeurs du pourcentage d'humidité des moules récoltées au niveau des deux baies (El-Hanaya et Chetaibi) montrent des valeurs similaires comprises entre [81.85 - 83.80 %]. La moyenne du pourcentage d'humidité, dans la baie de Chetaibi, aboutit une valeur de (83.80 %), quoiqu'elle parvienne, dans la baie d'El-Hanaya, à une valeur de (81.85 %).

2. Résultats de dosage des ETM

Les résultats obtenus après le dosage des ETM dans la chair de moule *Perna perna* des deux régions sont exprimés en mg/kg :

➤ Chetaibi

Dans la baie de Chetaibi, tous les polluants métalliques recherchés : Cadmium (Cd), Cuivre (Cu), Chrome (Cr), Fer (Fe), Nickel (Ni) et zinc (Zn), dans les échantillons étudiés des moules ont des concentrations hétérogènes. Dans notre cas, nous avons tracé les graphes de chaque site en fonction de la moyenne de concentration trouvée dans les sous-échantillons (les trois moules)

• Site 1

Dans le premier site, les résultats des concentrations des différents métaux lourds permettent de faire le constat suivant :

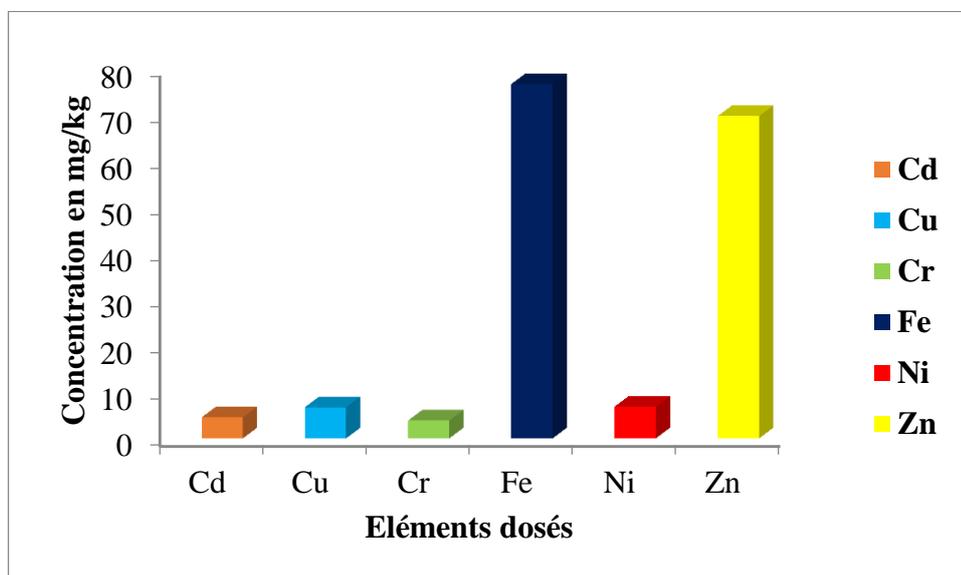


Figure N°51 : Variation des teneurs des ETM dosés au niveau du premier site (Chetaibi).

D'abord, nous avons remarqué que les concentrations les plus élevées des éléments dosés sont présentes dans le Fer qui peut atteindre jusqu'à (76.67 mg/kg) et le Zinc qui peut aller jusqu'à (69.73 mg/kg). Par contre, les concentrations moyennes sont présentes dans le Cuivre et le Nickel qui ont des teneurs similaires (6.73 - 6.86 mg/kg).

En sus, les concentrations minimales sont présentes dans le Chrome avec une valeur de (3.86 mg/kg) et le Cadmium avec une valeur de (4.53 mg/kg).

• Site 2 :

Au niveau du deuxième site, les teneurs des éléments dosés dans la chair des moules permettent de faire le graphe suivant :

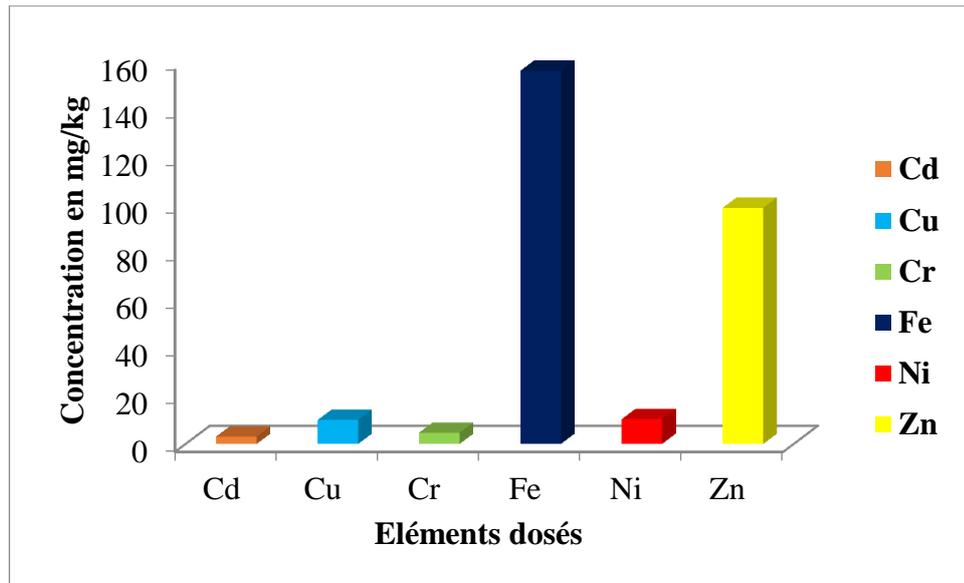


Figure N°52 : Variation des teneurs des ETM dosés au niveau du deuxième site (Chetaibi).

Les teneurs les plus élevées des éléments dosés sont présentes dans le Fer qui peut atteindre jusqu'à (156,26 mg/kg) et le Zinc qui peut aller jusqu'à (98.9 mg/kg), les concentrations moyennes sont présentes dans le Cuivre et le Nickel qui ont des teneurs similaires (10 – 10.36 mg/kg). En revanche, les concentrations minimales sont présentes dans le Chrome avec une valeur de (4.7 mg/kg) et le Cadmium avec une valeur de (3.1 mg/kg).

• Site 3

Dans le troisième site, les résultats des concentrations des différents métaux lourds permettent de faire le constat suivant :

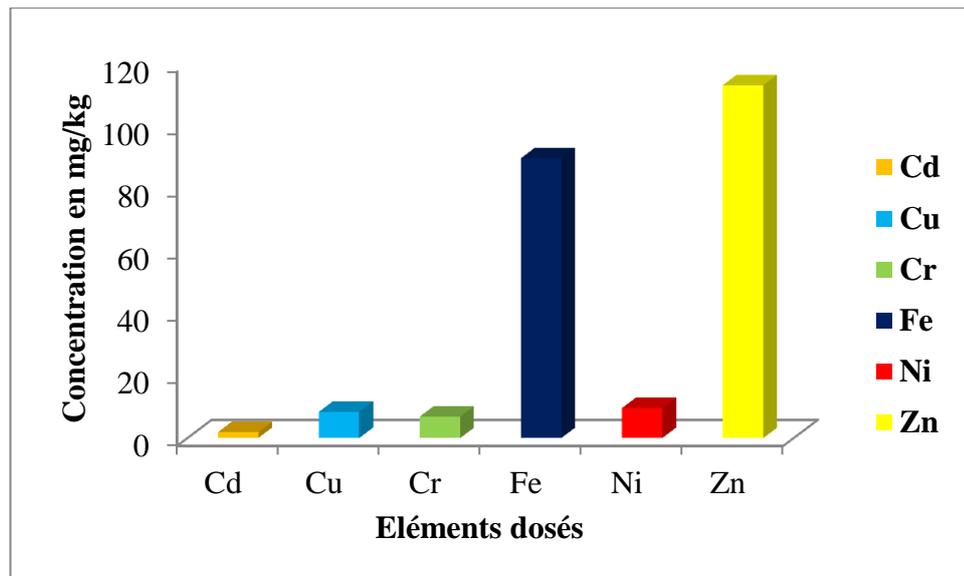


Figure N°53 : Variation des teneurs des ETM dosés au niveau du troisième site (Chetaibi).

Les concentrations les plus élevées des éléments dosés sont présentes dans le Zinc qui peut arriver jusqu'à (113.16 mg/kg) et le Fer qui peut aller jusqu'à (89.7 mg/kg), les concentrations moyennes sont présentes dans le Nickel, le Cuivre et le Chrome qui ont des teneurs proches (9.6 – 8.4- 6.9 mg/kg). Cependant, la concentration minimale est présente dans le Cadmium (1.86 mg/kg).

➤ **El-Hanaya**

Dans la baie d'El-Hanaya, tous les polluants métalliques recherchés : Cadmium (Cd), Cuivre (Cu), Chrome (Cr), Fer (Fe), Nickel (Ni) et zinc (Zn), dans les échantillons étudiés des moules ont des concentrations hétérogènes. Dans notre cas, nous avons tracé les graphes de chaque site en fonction de la moyenne de concentration trouvée dans les sous-échantillons (les trois moules).

• **Site 1**

Dans le premier site, les résultats des concentrations des différents métaux lourds permettent de faire le graphe suivant :

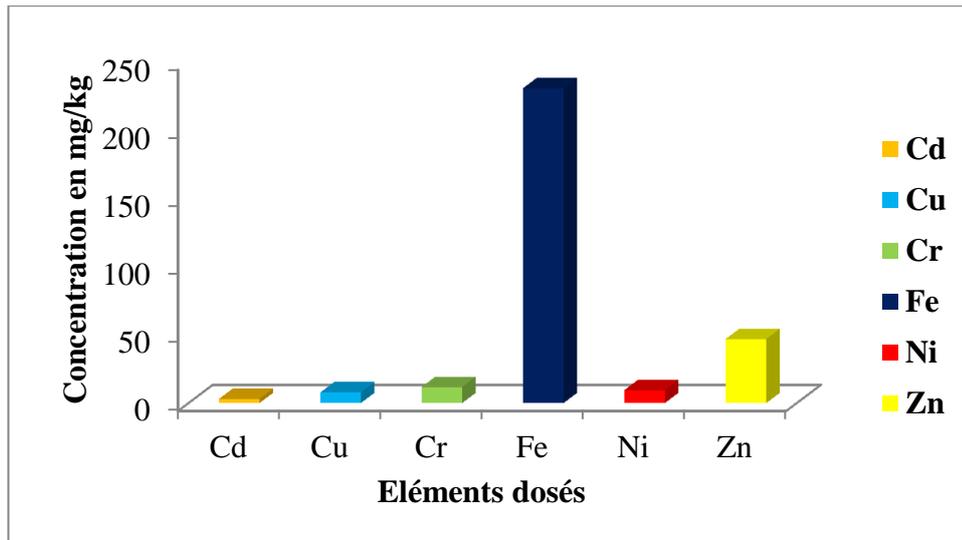


Figure N°54 : Variation des teneurs des ETM dosés au niveau du premier site (El-Hanaya).

Nous avons remarqué une variation des valeurs de concentration des éléments dosés, la teneur la plus élevée parmi ces éléments est présentée par le Fer qui atteint une valeur de (230.63 mg/kg), et une concentration moyenne présentée par le Zinc avec une valeur de (46.97 mg/kg). Les résultats montrent aussi des teneurs faibles de Chrome, Nickel, Cuivre et de Cadmium avec des valeurs comprises entre (3.06 -11.76 mg/kg).

• Site 2

Dans le deuxième site, les résultats des concentrations des différents métaux lourds permettent de faire le constat suivant :

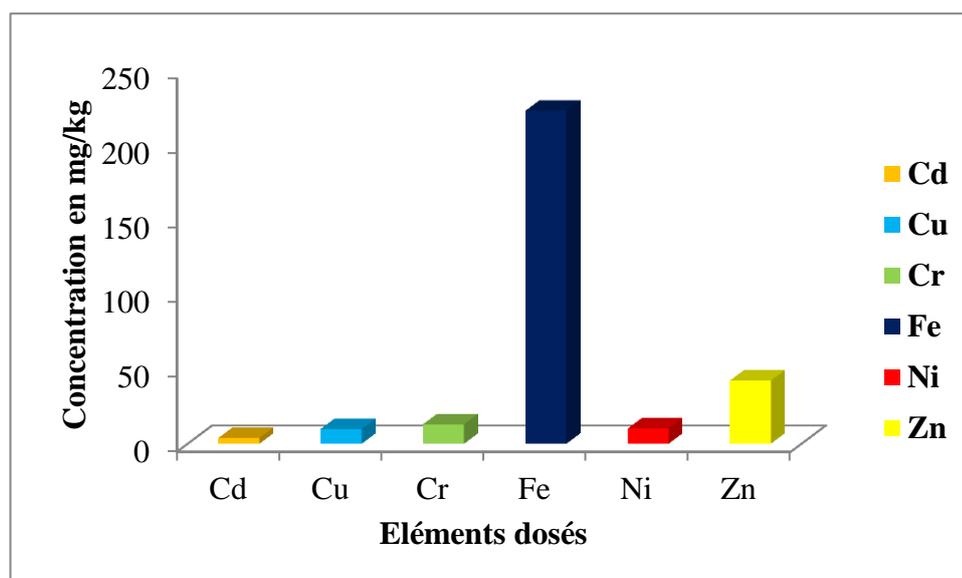


Figure N°55 : Variation des teneurs des ETM dosés au niveau du deuxième site (El-Hanaya).

Les résultats de dosage de ces éléments montrent des concentrations hétérogènes, la teneur la plus élevée présentée par le Fer avec une valeur de (223.2 mg/kg), la concentration moyenne est de Zinc atteint (42.3 mg/kg). Quoique, les faibles concentrations présentées par le Cuivre, le Nickel et le Chrome avec des concentrations comprises entre (10 - 13.17 mg/kg). Nous avons observé que la très faible concentration est de Cadmium parvient à (3.9 mg/kg).

• Site 3

Au niveau du troisième site, les résultats des concentrations des différents éléments dosés permettent de faire le constat suivant :

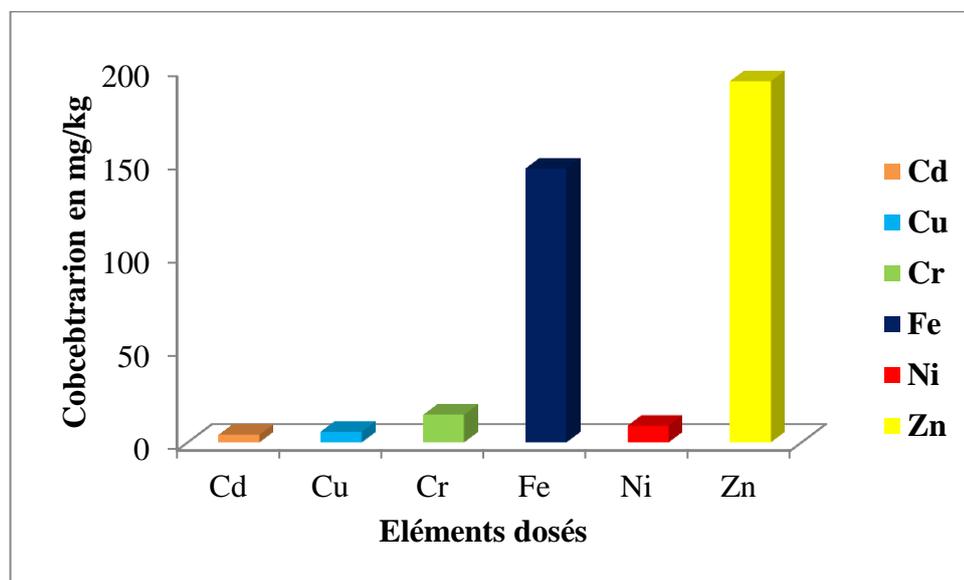


Figure N°56 : Variation des teneurs des ETM dosés au niveau du troisième site (El-Hanaya).

Les teneurs les plus élevées des éléments dosés sont présentes dans le Zinc et le Fer avec des valeurs de (193.17 -146.53 mg/kg), les résultats montrent que le Chrome présente une concentration moyenne qui accède à (14.8 mg/kg). A l'opposé, les très faibles concentrations parmi ces éléments sont de Cuivre et de Cadmium qui atteignent des valeurs de (5.8 mg/kg) pour le Cuivre et (4.03 mg/kg) pour le Cd.

• Site 4

Dans le dernier site de la baie, les résultats des concentrations des différents métaux lourds permettent de faire le constat suivant :

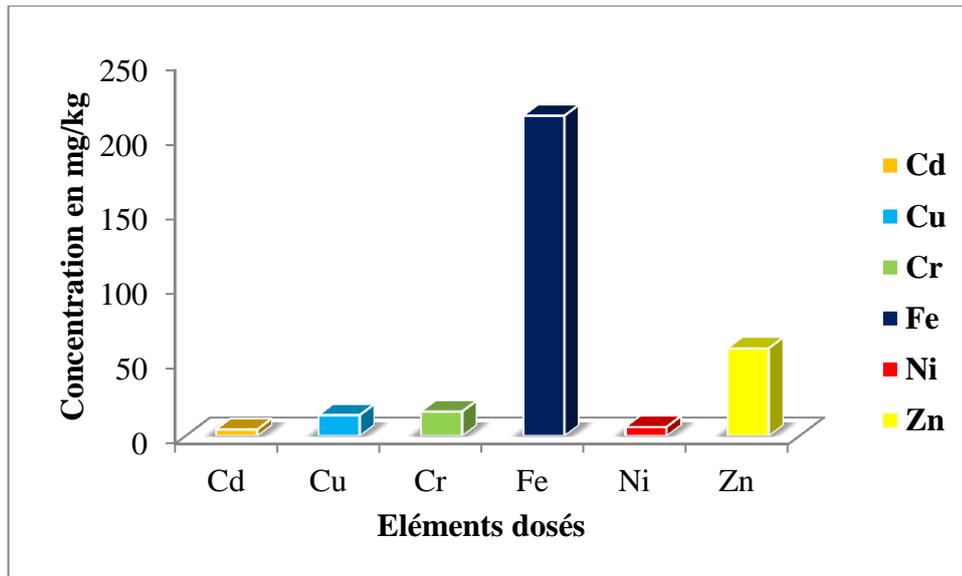


Figure N°57 : Variation des teneurs des ETM dosés au niveau du quatrième site (El-Hanaya).

Nous avons noté une variation des valeurs de concentration des éléments dosés, la teneur la plus élevée parmi ces éléments est présentée par le Fer qui atteint à une valeur de (214.03 mg/kg), et une concentration moyenne présentée par le Zinc avec une valeur de (58.6 mg/kg). Les résultats montrent aussi des teneurs faibles de Cuivre et de Chrome avec des valeurs comprises entre (13.93 - 16.3 mg/kg). Alors que, le Nickel et le Cadmium présentent les très faibles concentrations avec une valeur de (6 mg/kg) pour le Nickel et une valeur de (4.37 mg/kg) pour le Cadmium.

Chapitre V : Discussions

Nos résultats montrent que les tailles maximales de la moule *Perna perna* enregistrées dans le cadre de la présente étude dans les deux sites que ce soit Chetaibi ou El-Hanaya sont plus proches avec celles qui sont obtenues par KERDOUCI, A [1] chez la même espèce et dans la même côte (avec une longueur maximale observée de 84.46 mm pour El-Hanaya et 82.76 mm pour Chetaibi), mais bien supérieures à celles des moules de la même espèce récoltée par ABADA-BOUDJEMA, [116] dans la baie d'Alger (taille inférieure à 66 mm). Selon ZAOUALI, [113] cette espèce atteint 100 mm dans les moulières artificielles saumâtres en Tunisie, alors qu'elle ne dépasse pas 35 mm en mer.

Le calcul du coefficient d'allométrie b de la relation longueur totale et le poids total chez la moule *Perna perna* provenant des deux sites révèle l'existence d'une allométrie minorante entre ces deux paramètres ($b < 3$) témoignant de l'augmentation de la taille des individus plus rapide que celle du poids. Ces valeurs sont bien en accord avec celles qui sont obtenues par BENCHIKH, N [96] pour la même espèce au niveau de trois sites différents le Cap de Garde, El-Hanaya et Aouinate. Selon ROMEO et al, [114] ceci serait en relation avec les fluctuations mensuelles de l'état physiologique de l'animal. En outre, les valeurs de poids frais sont plus importantes chez cette espèce ce qui peut être due à la quantité d'aliment adsorbé, qui est plus importante dont la durée d'immersion est plus longue puisqu'elle vit dans une zone inférieure du littoral.

L'évaluation de l'indice de condition chez l'espèce *Perna perna* fait apparaître que les valeurs moyennes présentées par les moules du site d'El-Hanaya (38.26%) sont plus élevées que celles des moules du site de Chetaibi (29.76%). L'évolution des différents paramètres d'un animal permet le calcul de l'indice de condition qui reflète l'état physiologique des individus d'une population. [115] Donc, ces valeurs sensiblement élevées de l'indice de condition dans ces deux sites d'étude peuvent être expliquées par l'emmagasinement d'une grande part de la matière grasse qui sera utilisée par l'animal pendant la période de la reproduction. Les variations de l'indice de condition peuvent également apporter d'appréciables renseignements et permettent de suivre les fluctuations de réserves énergétiques. Des résultats similaires ont été observés par BENCHEIKH, N [96] dans la même période du mois d'avril 28.707 % et 28.582 % respectivement pour le Cap de Garde et El-Hanaya.

Les résultats de l'évaluation de l'indice de condition des moules *Perna perna* montrent que cet indice est bien meilleur en période estivale, ces valeurs s'expliquent non seulement par l'apparition probable de blooms phytoplanctoniques et de ce fait par l'abondance de la nourriture mais aussi par l'atteinte probable de la température physiologique optimale qui permettrait ainsi une meilleure métabolisation des produits de la digestion. Selon ROMEO et *al*, [114] l'indice de condition serait associé à la température de l'eau et correspondrait au taux de remplissage de la coquille par les tissus mous et informerait, de ce fait, sur l'état nutritionnel et physiologique de l'animal. En revanche, nos valeurs de l'indice de condition discordent complètement avec celles qui sont obtenues par KERDOUCI, [1] ou elle a constaté qu'elles sont élevées au printemps puis affichent une baisse progressive en été pour atteindre un minimum en septembre au Cap de Garde (2,50) et en octobre à El-Hanaya (2,55), ces valeurs marquent une légère hausse en octobre au Cap et en novembre à El-Hanaya puis rechutent à nouveau en novembre au Cap (2,08) et en décembre à El-Hanaya (2,42).

En effet, la teneur des ETM accumulée au niveau de la chair de la moule *Perna perna* dans les deux sites d'étude reflète clairement la présence en quantités remarquables dans le milieu marin qui abrite ses espèces. Le Fer et le Zinc sont les éléments les plus dominants dans les trois sites de la baie de Chetaibi alors que dans la plage d'El-Hanaya c'est le Fer qui domine en premier lieu. En deuxième lieu c'est le Zinc qui marque son abondance suivie par le Cuivre et le Nickel mais beaucoup plus dans la baie de Chetaibi. Les teneurs enregistrées dans les deux régions sont plus élevées comparativement avec celles qui sont obtenues par BELAABED, B [7] dans le golf d'Annaba où les valeurs moyennes obtenues au cours de ces études ont donné ce qui suit 13.1 - 35.90 mg/kg de poids sec de Zinc, le Cadmium de 0.001 - 0.51 mg/kg de poids sec, le Cuivre de 0.61 - 2.67 mg/kg de poids sec, le Nickel de 0.34 - 0.89 mg/kg de poids sec, le Chrome de 0.71 - 1.85 mg/kg de poids sec, et le Fer de 37.2 - 93.2 mg/kg de poids sec. Alors que nos résultats étaient beaucoup plus élevés, nous avons enregistré les valeurs suivantes pour le Fer jusqu'à 230.63 mg/kg de poids sec, le Zinc 46.97 mg/kg de poids sec, pour le reste des éléments, les valeurs s'échelonnent entre 3.06 et 11.76 mg/kg de poids sec.

Par contre les travaux de TISSOUKAI et *al*, [14] dans le golf de Béjaïa ont montré que la concentration moyenne enregistrée pour le Cadmium, dans les moules est de 2.01 mg/kg. La valeur maximale est enregistrée au niveau de S5 est de 11.25 mg/l. Ces valeurs concordent bien avec les nôtres et confirment la fiabilité de nos résultats.

Pour le reste des éléments, la différence reste grande, indiquant la gravité de la situation au niveau du milieu à partir duquel nos échantillons ont été prélevés.

Afin de déterminer la qualité des moules commercialisées dans la ville d'Annaba, surtout, nos résultats ont été comparés aux normes nationales et internationales présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau N°5 : Valeurs guides et normes (en mg/kg de p.s) des teneurs en métaux lourds dans la chair des mollusques bivalves. [49]

Références des métaux lourds	Fe	Zn	Cu	Mn	Ni	Cr	Pb	Cd	Hg
Normes Algériennes, 2004	-	-	-	-	-	-	5	5	2.5
Normes OMS, 2004	-	-	-	-	-	-	10	5	2.5
Normes CEE (Européenne)	-	-	-	-	-	-	7.5	5	5
Valeurs guides Françaises IFREMER	250	0	6.5	1	6	1.8	1.5	0.5	0.1

Selon les valeurs indiquées dans le tableau, exceptionnellement, on peut dire que les teneurs du Fer et du Zinc sont en dessous de la norme Française (IFREMER), les autres éléments ont enregistré un taux plus élevé pour les critères énumérés dans le tableau. Ce qui nécessite de bien y penser et de mener des études ultérieures pour s'assurer que c'est vrai.

CONCLUSION

Conclusion

Concernant les différentes mesures biométriques qui ont été prises : longueur, largeur, épaisseur, poids total, les valeurs enregistrées étaient bien proches de celles qui sont obtenues dans des études antérieures. Pour la relation taille-poids, l'allométrie était de type minorante c'est à dire le poids de cette espèce croit plus moins que sa taille, tout dépend des conditions hydrologiques, physicochimiques du milieu marin, de l'abondance phytoplanctonique. Ces résultats sont en accord avec certains travaux et différents avec d'autres, ce qui confirme également la fiabilité et l'exactitude de nos résultats.

À travers cette étude modeste et après calcul de l'indice de condition (IC), on a découvert que la moule *Perna perna* était dans sa meilleure condition physiologique dans les deux régions, notamment elle était en dehors de la période de reproduction. Ce qui leur permet d'accumuler autant que possible les différents éléments métalliques. Ceci est confirmé par les résultats enregistrés qui ont dépassé toutes les attentes possibles.

Dans la partie concernant la bioaccumulation des métaux lourds, l'étude a révélé que ces espèces de moules peuvent accumuler une quantité plus importante de polluants métalliques. La raison pour laquelle ces espèces ont été qualifiées d'espèces sentinelles. Les teneurs obtenues dans les deux régions de l'étude que ce soit Chetaibi ou El-Hanaya étaient assez élevées comparativement avec d'autres résultats obtenus par des auteurs dans le golf d'Annaba même ou ailleurs. Ce que nous avons obtenu, sans aucun doute, de graves conséquences qu'il s'agisse de la consommation de ces organismes contaminés et de leurs impacts sur la santé humaine ou sur l'état de l'écosystème marin, qui paraît vraiment être exposé, en permanence à de fortes agressions anthropiques.

Perspectives

En perspectives, il serait intéressant :

- De développer et élargir la conchyliculture par tout dans le littoral Algérien pour une amélioration quantitative et qualitative.
- Prélevez des échantillons du marché et analysez-les périodiquement en laboratoire afin d'assurer la qualité du produit.
- La bio surveillance continue de l'écosystème marin en raison de la richesse de sa biodiversité, aussi pour que nous puissions le protéger contre toutes sortes d'agressions anthropiques.

Conclusion

- Les hautes autorités du pays doivent impliquer l'Université et les Chercheurs dans les divers thèmes liés à la préservation de l'environnement et la biodiversité.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1]. KERDOUSSI, Asma. Moule *Perna perna* peuplant le golfe d'Annaba : croissance, reproduction et qualité bactériologique [en ligne]. Mémoire de magistère : Sciences de la mer. Annaba : Université Badji-Mokhtar, 2010, 202 p. Disponible sur : <http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2014/05/memoire-magister.pdf> (Consulté le 10/07/2019).
- [2]. MATIAS, Miguel, SALVARREDY, Aranguren. Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers Approches géochimique, minéralogique et hydro chimique [en ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de la terre et environnement. Toulouse : Université de Toulouse Délivrée par l'Université 2 Toulouse III – Paul Sabatier, le 29 avril 2008, 490 p. Disponible Sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00277431/file/These.pdf> (Consulté le 01/04/2019).
- [3]. ADRIEN, Marcel, ROBERT, Beck. Contribution à l'étude de la contamination par les polluants organiques persistants et les métaux lourds des animaux de la chaîne alimentaire du bassin versant de la Loire : cas particulier des poissons [en ligne]. Thèse de doctorat : Médecine - Pharmacie. Lyon : Université Claude-Bernard-Lyon I, le 24 octobre 2011, 146 p. Disponible sur : www2.vetagro-sup.fr/bib/fondoc/th_sout/dl.php?file=2011lyon047.pdf (Consulté le 01/04/2019).
- [4]. GOUZY1, Aurelien, DUCOS1, Geraldine. La connaissance des éléments traces métalliques : un défi pour la gestion de l'environnement. INERIS / DECI / EDEN Parc Technologique ALATA 60550 Verneuil-en-Halatte [en ligne]. Deuxième semestre 2008, Air Pur N° 75, 5 p. Disponible sur : http://rsde.ineris.fr/fiches_technico_ecol.php (Consulté le 01/04/2019).
- [5]. PUJOL, Luca. Mise au point d'un dispositif électro-analytique intégrant une étape de minéralisation et une étape de détection pour le dosage des métaux lourds [en ligne]. Thèse de doctorat : Génie des procédés et de l'environnement. Toulouse : Université de Toulouse, le jeudi 17 mars 2016, 178p. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01892459/document> (Consulté le 01/04/2019).

Références bibliographiques

[6]. NAKIB, Lydia. Mise au point d'une technique d'extraction des éléments traces métalliques dans les produits de la mer et leurs dosages par spectrophotométrie d'absorption atomique [en ligne]. Mémoire de magister : Médecine vétérinaire. Constantine : Université Mentouri, 2009, 118 p. Disponible sur :

<https://bu.umc.edu.dz/theses/veterinaire/NAK5642.pdf>. (Consulté le 01/04/2019).

[7]. BELABED, Bourhanouddine. La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba « Sources de contamination des écosystèmes aquatiques »[en ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de la mer. Annaba : Université Badji Mokhtar, 2010, 199 p. Disponible sur : <http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2014/07/BELABED-BOURHANE-EDDINE.pdf> (Consulté le 01/04/2019).

[8]. DJENOUNE, Kenza. Impacts des activités industrielles sur la pollution organiques et inorganiques sur la cote marine de Bejaia via la Soummam [en ligne]. Mémoire de master : Chimie. Bejaia : Université d'Abderrahmane MIRA, le 30/06/2015, 104 p. Disponible sur : www.univ-bejaia.dz/.../Impacte%20des%20activités%20industrielles%20sur%20la%20 (Consulté le 01/04/2019).

[9]. OUEDRAOGO, Adam. Évaluation de la teneur en métaux lourds, dans les tissus du Tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) et du poisson chat Africain (*clarias sp.*) d'eau douce de Burkina Faso [en ligne]. Mémoire d'Ingénieria de conception : Vulgarisation Agricole. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB), 2016, 73 p. Disponible sur : <http://www.beep.ird.fr/collect/upb162/index/assoc/IDR-2016-OUE-TEN/IDR-2016-OUE-TEN.pdf> (Consulté le 01/04/2019).

[10]. SEDIRA, Nora. Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes [en ligne]. Mémoire de magister : Chimie physique et analytique. Souk-Ahras : Université Mohamed Chérif Massaadia, 2013, 119p. Disponible sur : <http://www.univ-soukahras.dz/eprints/2013-966-0a053.pdf> (Consulté le 01/04/2019).

[11]. STEPHANIE, A et *al.* Méthodes spectrométrique d'analyse et de caractérisation, les métaux lourds. Axe « Génie des procédés » [en ligne]. 1997, 85 p. Disponible sur <https://www.emse.fr/spip/IMG/pdf/metlourd.pdf> (Consulté le 01/04/2019).

Références bibliographiques

[12]. BOULKRAH, H. Etude comparative de l'absorption des ions plomb sur différents absorbants [en ligne]. Mémoire de magister : Chimie. Skikda : Université de 20 aout 1955, 2008, 140 p. Disponible sur :

http://vrpg.univskikda.dz/recherchePG/theses_memoires/fac_sciences/Chimie/Opt_Pollu_Chim_Environnement/memoire_magistere_boulkrah.pdf (Consulté le 01/04/2019).

[13]. BENARIBA, Rokia, MOKHTARI, Roukia, BOUGHERARA, Nadia. La toxicité du Cadmium et ses risques sur la santé humaine [en ligne]. Mémoire de master : Toxicologie et sante. Constantine : Université des Frères Mentouri, le : 05 /06/2016, 90 p. Disponible sur : fac.umc.edu.dz/snv/faculte/biblio/mmf/2016/25.pdf. (Consulté le 02/04/2019).

[14]. TISSOUKAI, Hanane. OUATMANI, Meriem. Dosage de quelques métaux lourds dans les régions de haute vulnérabilité du golfe de Bejaia [en ligne]. Mémoire de master : Environnement et santé publique. Bejaia : Université d'Abderrahmane MIRA, 2013, 87p. Disponible sur :

<http://www.univbejaia.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/10258/Dosage%20de%20quelques%20m%C3%A9taux%20lourds%20dans%20les%20r%C3%A9gions%20de%20haute%20vuln%C3%A9rabilit%C3%A9%20du%20golfe%20de%20B%C3%A9jaia.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consulté le 02/04/2019).

[15]. LACOUÉ-LABARTHE, Thomas. Incorporation des métaux dans les œufs de la seiche commune *Sepia officinalis* et effets potentiels sur les fonctions digestives et immunitaires [en ligne]. Thèse de doctorat : Océanologie biologique et environnement marin. Université de La Rochelle, le 18 décembre 2007, 175p. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00339245/document>(Consulté le 02/04/2019).

[16]. BAGHDADI MAZINI, Dina. Pollution de l'environnement marin et santé humaine : Mesure, évaluation et Impact des contaminants chimiques et biologiques dans les produits de la pêche au niveau du littoral marocain [en ligne]. Thèse de doctorat : Biosciences de l'environnement et santé. Université ABDELMALEK ESSAADI, le 29 Décembre 2012, 184 p. disponible sur : <https://docplayer.fr/43983672-Universite-abdelmalek-essaadi-faculte-des-sciences-et-techniques-tanger-these-de-doctorat.html>. (Consulté le 02/04/2019).

Références bibliographiques

[17]. ARRIS, Sihem. Etude expérimentale de l'élimination des polluants Organiques et inorganiques par adsorption sur des sous-produits de céréales [en ligne]. Thèse de doctorat : Génie des procédés. Constantine : Université de FRERE MENTOURI, 2008, 170 p. Disponible sur : <https://bu.umc.edu.dz/theses/ch-ind/CHE5270.pdf>. (Consulté le 02/04/2019).

[18]. DRIF, Fahima. Distribution des métaux traces chez les bivalves (Mollusques) dans le golfe d'Annaba (Nord-est Algérien) [en ligne]. Thèse de doctorat : Biologie animale. Annaba : Université de Badji Mokhtar, 2012, 128 p. Disponible sur : <http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2014/03/these.doctorat.pdf> (Consulté le 06.02.2019).

[19]. MIR, Soumia. Etude de contamination du Plomb et du Zinc dans les céréales cultivées (blé dur) dans la région de Sebdou (Tlemcen) [en ligne]. Mémoire de master : Pathologie des écosystèmes. Tlemcen : Université de Tlemcen, le 28/09/2016, 55 p. Disponible sur : http://bibfac.univ-tlemcen.dz/snvstu/opac_css/doc_num.php?explnum_id=1835 (Consulté le 06/04/2019).

[20]. DEVALLOIS, Valérie. Transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonne sédimentaire des hydro systèmes continentaux [en ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de l'environnement. Marseille : Université de Provence, 2009, 277p. Disponible sur : <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/43/091/43091708.pdf>. (Consulté le 06.04.2019).

[21]. SAHLI, Leila. Etude du comportement de quelques espèces floristiques et faunistiques des écosystèmes aquatiques vis-à-vis des éléments traces métalliques par des bio-essais [en ligne]. Thèse de doctorat : Pollution et écotoxicologie. Constantine : Université de Mentouri, 262 p. Disponible sur : <https://bu.umc.edu.dz/theses/biologie/SAH6278.pdf> (Consulté le 06.04.2019).

Références bibliographiques

[22]. BELAHCENE, ER-Rym, IDIR, Dihia. Contribution à l'étude de l'accumulation de certains métaux lourds chez les individus adultes appartenant à l'espèce *Engraulis encrasicolus*. (Anchois commun) (Linné, 1758), dans le golfe de Bejaïa [en ligne]. Mémoire de Master : Bio-Ressources animales et biologie intégrative. Bejaïa : Université Abderrahmane MIRA, le 17 Juin 2017, 65 p. Disponible sur : <http://www.univ-bejaia.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/5185/Contribution%20A%20L%E2%80%99Etude%20De%20l%E2%80%99Accumulation%20De%20Certains%20M%C3%A9taux%20Lourds%20Chez%20Les%20Individus%20Adultes%20Ap.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consulté le 06/04/2019).

[23]. BAGA, Marwa. Etude de la pollution maritime par les métaux lourds (Cd, Cr) dans la côte de Jijel [en ligne]. Mémoire de master : Pollution des écosystèmes et écotoxicologie. Constantine : Université de Constantine 1, le 25/06/2014, 77 p. Disponible sur : <http://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/biblio/mm/2014/74-2014.pdf> (Consulté le 12/04/2019).

[24]. BENHADDYA, Mohammed Lamine. Gestion et traitement de la pollution au niveau de la zone industrielle Hassi Messaoud. Thèse de doctorat : Génie de l'environnement [en ligne]. Oran : Université des Sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, le 22/09/2014, 208 p. Disponible sur : http://www.univ-usto.dz/theses_en_ligne/doc_num.php?explnum_id=2618 (Consulté le 12/04/2019).

[25]. LAPOINTE, Dominique. Accumulation, répartition subcellulaire et effets du Nickel et du Thallium dissous ou d'origine alimentaire chez le tête-de-boule (*Pimephales promelas*) [en ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de l'eau. Université du Québec, 2009, 172 p. Disponible sur : <http://espace.inrs.ca/1811/1/T000521.pdf>. (Consulté le 12/04/2019).

[26]. AIT ZIANE, Kahina, BOUYAHIA, Nassima. Cycle biogéochimique de quelques métaux lourds dans les eaux côtières du golfe de Bejaïa [en ligne]. Mémoire de master : Environnement et santé publique. Université d'Abderrahmane Mira. Bejaïa. 2013. 62 p. Disponible sur : <http://www.univ-bejaia.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/5465/Cycle%20biog%C3%A9ochimique%20de%20quelques%20m%C3%A9taux%20lourds%20dans%20les%20eaux%20c%C3%B4ti%C3%A8res%20du%20golfe%20de%20Bejaia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (Consulté le 16/04/2019).

Références bibliographiques

[27]. DILMI, Loubna, LELLOUCHE, Bouthaina, MECIAD, Souhaila. L'étude de deux biomarqueurs chez les bivalves mollusques (*Donax trunculus* et *Mytilus galloprovincialis*) du golfe d'Annaba. Mémoire de master : Biologie moléculaire et cellulaire. Guelma : Université 8 Mai 1945 Guelma, 2018, 100 p.

[28]. KAYALTO, Barnabs. Contribution à l'évaluation de la contamination par les métaux lourds, de trois espèces de poissons, des Sédiments et des eaux du lac Tchad [en ligne]. Mémoire (DEA) : Sciences Alimentaires/Nutrition. Cameroun : Université de N'Gaoundéré, 2008, 98 p. Disponible sur : <https://hal-auf.archives-ouvertes.fr/hal-00825482/document> (Consulté le 16/04/2019).

[29]. CASAS, Stellio. Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu Méditerranée [en ligne]. Thèse de doctorat : Océanographie biologique et environnement marin. Université du Sud Toulon Var, 2005, 301 p. Disponible sur : <https://wwz.ifremer.fr/pollution/content/download/31827/437394/file/CASAS-THESE.pdf> (Consulté le 03/05/2019).

[30]. STRADY, Emilie. Mécanismes biogéochimiques de la contamination des huîtres *Crassostrea gigas* en Cadmium en baie de Marennes Oléron [en ligne]. Thèse de doctorat : Géochimie et écotoxicologie. Bordeaux : Université Bordeaux 1, le 28 septembre 2010, 223 p.

Disponible sur :

https://www.researchgate.net/profile/Emilie_Strady/publication/274891796_Mecanismes_biogeochemiques_de_la_contamination_des_huitres_Crassostrea_gigas_en_Cadmium_en_baie_de_Marennes_Oleron/links/552bb75e0cf2e089a3aa5ff4/Mecanismes_biogeochemiques-de-la-contamination-des-huitres-Crassostrea-gigas-en-Cadmium-en-baie-de-Marennes-Oleron.pdf (Consulté le 03/05/2019).

[31]. BOUHADIBA, Sultana. Étude de l'éco-biologie et la contamination métallique du *Mugil cephalus* (Linnée, 1758) pêché dans le littoral occidental Algérien [en ligne]. Thèse de doctorat : Science de l'environnement. Oran : Université d'Oran 1, le 01/07/2018, 277 p. Disponible sur : <https://theses.univ-oran1.dz/document/TH4893.pdf> (Consulté le 03/05/2019).

Références bibliographiques

[32]. URIEN, Nastassia. Modélisation de la bioaccumulation des métaux par voie dissoute chez le genre *Gammarus* : influence des facteurs environnementaux et de l'histoire de vie des organismes [en ligne]. Thèse de doctorat : Écotoxicologie des milieux aquatiques. Lyon : Université Lyon 1 Claude Bernard, le 24 novembre 2015, 238 p. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01273362/file/th2015uriennastassia.pdf> (Consulté le 06/05/2019).

[33]. BELHOUCINE, Fatma. Etude de la biologie de la croissance et de la reproduction d'un poisson téléostéen le merlu (*Merluccius merluccius* L., 1758) et son utilisation comme indicateur de la pollution par les métaux lourds (Zinc, Plomb et Cadmium) dans la baie d'Oran (Algérie) [en ligne]. Thèse de doctorat : Science de l'environnement. Oran : Université d'Oran, le 12/2012, 325 p. Disponible sur : <https://theses.univ-oran1.dz/document/13201340t.pdf> (Consulté le 6/05/2019).

[34]. IHADDADENE, Radia. Les métaux traces dissous dans le bassin de la Seine [en ligne]. Mémoire de master : Hydrologie-hydrogéologie, Paris : Université Pierre et Marie Curie, 2009, 52 p. Disponible sur :

<http://m2hh.metis.upmc.fr/wp-content/uploads/arch/memoires2009/ihaddadene/memoireHH0809.pdf> (Consulté le 15/05/2019).

[35]. ZAIMECHE, Saida. Contribution à l'étude de l'action d'agents polluants sur les végétaux bioindicateurs [en ligne]. Thèse de doctorat : Pollution des écosystèmes. Constantine : Université des FRERES MENTOURI, 2014, 171 p. Disponible sur : <https://bu.umc.edu.dz/theses/biologie/ZAI6847.pdf> (Consulté le 15/05/2019).

[36]. BENJAMIN, Oursel. Transferts et dynamique des contaminants métalliques en zone côtière. Impact d'une grande agglomération méditerranéenne [en ligne]. Thèse de doctorat : Chimie de l'environnement. Université de Toulon, le 10 décembre 2013, 217 p. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01132521/document> (Consulté le 16/05/2019).

[37]. SAHBAOUI, Fatiha. Contribution à l'étude de la contamination par quelques métaux lourds chez le poisson *Sardina pilchardus* au niveau de littoral de Ghazaouet (Wilaya de Tlemcen) [en ligne]. Mémoire de master : Pathologie des écosystèmes. Tlemcen : Université ABOUBEKR BELKAID, 2015, 42 p. Disponible sur : <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/8368/1/SAHBAOUI-Fatiha.pdf> (Consulté le 18/05/2019).

Références bibliographiques

- [38]. BODIN, Nathalie. Contamination des crustacés décapodes par les composés organohalogénés : Etude détaillée de la bioaccumulation des PCB chez l'araignée de mer *Maja Brachydactyle* [en ligne]. Thèse de doctorat : Océanologie biologique. Bretagne : Université de Bretagne occidentale, 2005, 309 p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00012026v1/document> (Consulté le 18/05/2019).
- [39]. DRICI, Belgacem, LOUDADJI, Abbas. Contribution au suivi de la contamination métallique des zones côtière de la commune de Bejaia [en ligne]. Mémoire de master : Environnement et santé publique. Bejaia : Université Abderrahmane MIRA, 2017, 53 p <http://www.univ-bejaia.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/5023/Contribution%20au%20suivi%20de%20la%20contamination%20m%C3%A9tallique%20des%20zones%20c%C3%B4ti%C3%A8re%20de%20la%20commune%20de%20Bejaia.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consulté le 26/05/2019).
- [40]. BENMANSOUR, Nasr-eddine. Contribution à l'étude de l'anchois (*Engraulis encrasicolis*, L .1758) de l'extrême Ouest Algérien (Ghazaouet et Beni-Saf). Recherche de quelques métaux lourds [en ligne]. Mémoire de magister : Ecologie et biologie des populations. Tlemcen : Université ABOUBEKR BELKAID, 2009, 155 p. Disponible sur : <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/6707/1/BENMANSOUR-Nasr-Eddine.pdf> (Consulté le 27/05/2019).
- [41]. LAFENDI, Manel. Recherche de quelques métaux lourds chez la Crevette et le Calamar importés et commercialisés à Tlemcen : étude comparative [en ligne]. Mémoire de master : Environnement et santé public Tlemcen : Pathologies des écosystèmes. Université de Tlemcen, Juin 2017, 32 p. Disponible sur : <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/12394/1/LAFENDI.pdf> (Consulté le 01/06/2019).
- [42]. DIETRICH KLINGHARDT, M. Les métaux lourds et leurs effets sur la santé [en ligne]. Le 14 mai (1998), Ecole Polytechnique de Zurich, 20 p. Disponible sur : <http://www.sevaonline.com/Conf-ama.pdf> (Consulté le 01/06/2019).
- [43]. NEDJAR, Romaïssa. Dosage des métaux lourds Cd, Cr, Pb dans les rejets liquides de trois industries de la wilaya de Constantine [en ligne]. Mémoire de master : Environnement et santé publique. Constantine : Université des Frères Mentouri, 2016, 46 p. Disponible sur : <http://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/biblio/mmf/2016/83.pdf> (Consulté le 11/06/2019).

Références bibliographiques

- [44]. LOEZ, C, R, SALIBIAN, A, TOPALIAN, M, L. Associations phytoplanctoniques indicatrices de la pollution par le zinc. *Revue des sciences de l'eau* [en ligne]. 1998, 315-332. Disponible sur : <https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/1998-v11-n3-rseau3292/705309ar.pdf> (Consulté le 25/06/2019).
- [45]. BASHAR, Hussein Qasim. Détermination, spéciation et biodisponibilité des éléments traces métalliques dans les sols contaminés et technosols [en ligne]. Thèse de doctorat : Chimie analytique. Université d'Orléans, le 17 Novembre 2015, 279 p. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01371906/document> (Consulté le 11/06/2019).
- [46]. VERGE, Grégoire. Evaluation et gestion du risque lié à l'ingestion de produits de la mer contaminés par le Cadmium [en ligne]. Thèse de doctorat : Vétérinaire. Toulouse : Université Paul Sabatier, 2006, 98 p. Disponible sur : http://oatao.univ-toulouse.fr/1574/1/verge_1574.pdf. (Consulté le 11/06/2019).
- [47]. DIDIER, Doillon. Déterminants moléculaires de la tolérance au zinc des microorganismes eucaryotes [en ligne]. Thèse de doctorat : Biologie forestière. Université Henri Poincaré de Nancy-Université, le 10 décembre 2010, 223 p. Disponible sur : docnum.univ-lorraine.fr/public/SCD_T_2010_0131_DOILLON.pdf (Consulté le 11/06/2019).
- [48]. KRIKA, Abderrezak. Etude de la distribution des métaux lourds dans les ripisylves de l'oued Rhumel [en ligne]. Thèse de doctorat : Pollution et écotoxicologie. Constantine : Université de Constantine 1, 2013, 184 p. Disponible sur : <https://bu.umc.edu.dz/theses/biologie/KRI6560.pdf> (Consulté le 27/06/2019).
- [49]. BENDJAMA, Amel. Niveaux de contamination par les métaux lourds du complexe lacustre « Tonga, Oubeira, El-Mellah » du parc national d'El-Kala. [en ligne]. Mémoire de magister : Sciences de la mer. Annaba : Université Badji Mokhtar, 2007, 180 p. Disponible sur : <biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2014/07/Amel-BENDJAMA.pdf> (Consulté le 27/06/2019).
- [50]. DHAOU-EL-DJABINE, Kadem. Évaluation et comportement des métaux lourds (Cd – Cr – Cu – Ni – Pb – Zn et Mn) dans les sols à vocation agricole et à végétation naturelle soumis à une pollution atmosphérique. (El-Hadjar – Annaba – Est Algérien) Influence de la végétation sur la dynamique de ces métaux [en ligne]. Thèse de doctorat : Ecologie. Constantine : Université de Mentouri, le 02/07/2005, 76 p. Disponible sur : <https://bu.umc.edu.dz/theses/biologie/KAD4278.pdf> (Consulté le 05/06/2019).

Références bibliographiques

[51]. BOUMEHRES, Ali. Etude comparative des techniques d'extraction des éléments traces métalliques dans le foie, le rein et le lait et leur détermination par spectrophotométrie d'absorption atomique (flamme et four graphite) [en ligne]. Mémoire de magister : Médecine vétérinaire. Constantine : Université Mentouri, 2009, 89 p. Disponible sur : <https://bu.umc.edu.dz/theses/veterinaire/BOU5631.pdf> (Consulté le 18/06/2019).

[52]. CECILE, Durand et *al.* Évaluation de l'exposition à des sols pollués au Plomb, au Cadmium et à l'Arsenic en Aveyron (Étude Cassiopée Cadmium et Arsenic dans les sols : impact observé sur une population exposée). Rapport de Santé environnement [en ligne]. Octobre 2008, 186 p, Disponible sur : http://opac.invs.sante.fr/doc_num.php?explnum_id=7426 (Consulté le 18/06/2019).

[53]. ANNE, Cotte, AUDE, Duret. Le Chrome trivalent : intérêts et limites des suppléments [en ligne]. Thèse de doctorat : Sciences pharmaceutiques. Grenoble : Université Joseph Fourier, le 02 Septembre 2010, 147 p. Disponible sur : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00593117/document> (Consulté le 03/07/2019).

[54]. CHEBALLAH, Karima. Récupération du Chrome hexavalent par de nouveaux procédés chimiques [en ligne]. Thèse de doctorat : Chimie des matériaux et de l'environnement. Tizi-Ouzou : Université Mouloud Mammeri, le 19/10/2017, 135 p. Disponible sur : <https://dl.ummtto.dz/bitstream/handle/ummtto/1789/Th%C3%A8se.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (Consulté 03/07/2019).

[55]. MARZOUK TRIFI, Ikhlass. Étude de l'élimination du Chrome VI par adsorption sur l'alumine activée par dialyse ionique croisée [en ligne]. Thèse de doctorat : Chimie. Tunis : Université de Tunis El Manar, le 22/12/2012, 170 p. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00807936/document>. (Consulté le 03/07/2019).

[56]. NOUREDDINE, Nora. Contribution à la réduction du Cr (VI) par voie biologique. Effet de l'azote et du carbone [en ligne]. Thèse de doctorat : Science. Oran : Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2016, 109 p. Disponible sur : http://www.univ-usto.dz/theses_en_ligne/doc_num.php?explnum_id=2695 (Consulté le 03/07/2019).

Références bibliographiques

[57]. LUCIE, Burdin. Oligothérapie et personne âgée : intérêt du chrome, du sélénium, du zinc et du cuivre? [en ligne]. Thèse de doctorat : Pharmacie. Toulouse : Université Toulouse iii Paul Sabatier, le 18/04/2014, 142 p. Disponible sur : <http://thesesante.upstlse.fr/392/1/2014TOU32022.pdf>. (Consulté le 12/06/2019).

[58]. DAKKICHE, Bilal. Elimination du Cuivre présent dans les eaux usées industrielles par coagulation floculation en utilisant le sulfate d'aluminium –comparaison avec le chlorure ferrique [en ligne]. Mémoire de master : Hydraulique urbaine. Biskra : Université Mohamed KHIDER, 2018, 64 p. Disponible sur :

http://dspace.univbiskra.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/12481/Elimination_d_u_cuivre_pr%C3%A9sent_dans_les_eaux_us%C3%A9es_industrielles....pdf?sequence=1&isAllowed=y (Consulté le 12/06/2019).

[59]. BENDADA, Khair-Eddine, BOULAKRADECHE, Mohamed Walid. Optimisation des conditions de dosage par spectroscopie d'absorption atomique (SAAF et SAAET) : Application à la détermination de la pollution et de la bioaccumulation des métaux lourds [en ligne]. Mémoire de master : Chimie. Alger : Université de Science et de la technologie Houari Boumediene (U.S.T.H.B), le 19/06/2011, 73 p. Disponible sur : <http://fchimie.usthb.dz/IMG/pdf/memoire11.pdf> (Consulté le 12/06/2019).

[60]. PETRA, Hlavackova. Evaluation du comportement du Cuivre et du Zinc dans une matrice de type sol à l'aide de différentes méthodologies [en ligne]. Thèse de doctorat : Science et techniques du déchet. Lyon : Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, le 10 octobre 2005, 202 p. Disponible sur : <http://theses.insa-lyon.fr/publication/2005ISAL0066/these.pdf> (Consulté le 12/06/2019).

[61]. GUENDOUDI, Yassine. Etude de la qualité de l'eau de mer de la région littorale de Mostaganem à travers deux bioindicateurs *Mytilus galloprovincialis* (Lmk) et *Paracentrotus lividus* (Lmk) [en ligne]. Thèse de magister : Sciences de la mer. Mostaganem : Université de ABDELHAMID IBN BADIS, 2014, 115 p. Disponible sur : <http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/1163/CD25.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consulté le 03/04/2019).

Références bibliographiques

[62]. VRANKEN, Isabelle. Pollution et contamination des sols aux métaux lourds dues à l'industrie métallurgique à Lubumbashi : Empreinte écologique, impact paysager, pistes de gestion [en ligne]. Mémoire de master : Sciences et gestion de l'environnement. Bruxelles : Université libre de Bruxelles, 2008, 118 p. Disponible sur : http://www.maliyetu.org/documents/bibliotheque_publication/Pollution_contamination_de_s_sols_aux_métaux_lourds.pdf (Consulté le 12/06/2019).

[63]. BENHAMED, Imène. Contribution à l'évaluation de la pollution métallique chez un crustacé du littoral de Tlemcen [en ligne]. Mémoire de master : Science des aliments. Tlemcen : Université de Tlemcen, le 29/06/2016, 82 p. Disponible sur : http://bibfac.univ-tlemcen.dz/snvstu/opac_css/doc_num.php?explnum_id=1833 (Consulté le 12/06/2019).

[64]. BENGUEDDA-RAHAL, Wacila. Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême Ouest Algérien [en ligne]. Thèse de doctorat : Ecologie et environnement. Tlemcen : Université de Tlemcen, 2011, 149 p. Disponible sur : <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/3481/1/wassila.pdf> (Consulté le 12/06/2019).

[65]. HAMANI, Lynda, SIDI, Hanane. Récupération et séparation d'ions métalliques par la méthode de membranes liquides émulsionnée [en ligne]. Mémoire de master : Génie des procédés. Bejaia : Université Abderrahmane MIRA, 2015, 86 p. Disponible sur : <http://www.univ-bejaia.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/7588/R%20cup%20ration%20et%20s%20paration%20d%27ions%20m%20talliques%20par%20la%20m%20tho%20de%20de%20membranes%20liquides%20c%20a%20mulsionn%20es..pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consulté le 7/07/2019).

[66]. BOUKHELF, Karima. Données biométriques, indices physiologiques et dosage des métaux lourds chez l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) dans la région de Mostaganem (Algérie) [en ligne]. Mémoire de master : Biologie et pollution marines. Oran : Université d'Oran, 2012, 183 p. Disponible Sur : <https://theses.univ-oran1.dz/document/TH3722.pdf>. Consulté le 12/06/2019 (Consulté le 13/06/2019).

Références bibliographiques

[67]. ALOUACHE, Linda, ATMAOUI, Fahima. Le suivi de la zone côtière de Tichy à travers le dosage de quelques métaux lourds [en ligne]. Mémoire de master : Toxicologie industrielle et environnementale. Bejaia : Université Abderrahmane MIRA, le 23 Juin 2018, 69 p. Disponible sur :

<http://www.univbejaia.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/11043/Le%20suivi%20de%20la%20zone%20c%C3%B4ti%C3%A8re%20de%20Tichy%20%C3%A0%20travers%20le%20dosage%20de%20quelques%20m%C3%A9taux%20lourds.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consulté le 07/06/2019).

[68]. MAOUCHE, Roza, KADI, Cherifa. Complexes de Cu(II), Ni(II) et Co(II) avec des bases de Schiff dérivées d'acides aminés: synthèse, caractérisation et propriétés biologiques [en ligne]. Mémoire de master : Chimie des matériaux. Bejaia : Université Abderrahmane MIRA, le 22/06/2015, 67 p. Disponible sur :

www.univ-bejaia.dz/dspace/handle/123456789/9123?show=full.(Consulté le 07/07/2019).

[69]. BOULKROUNE, Asma. Complexes de bases de Schiff avec Mn(II), Co(II), Ni(II) et Cu(II) : Synthèse, caractérisation et activité antibactérienne [en ligne]. Mémoire de master : Chimie. Bejaia : Université de Abderrahmane MIRA, 2012, 52 p. Disponible sur : <http://www.univ-bejaia.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/9177/Complexes%20de%20bases%20de%20Schiff%20avec%20Mn%28II%29%2C%20Co%28II%29%2C.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consulté 07/07/2019).

[70]. Anonyme. Contrat de rivière AZERGUES (Volet A) Opération AIII1-BV2 – Etude des origines de la pollution métallique. Rapport d'étude (février 2011) [en ligne]. 56 p. Disponible sur :

http://docoai.eaurmc.fr/cindocoai/download/3460/3/Rapport%20%C3%A9tude%20origines%20pollution%20m%C3%A9tallique.pdf_10069Ko. (Consulté le 08/07/2019).

[71]. LAURENT, L'Huillier. Biodisponibilité du Nickel dans les sols ferrallitiques ferriques de Nouvelle-Calédonie. Effets toxiques de Ni sur le développement et la physiologie du Maïs [en ligne]. Thèse de doctorat : Physiologie. Montpellier : Université de Montpellier II, Le 20 décembre 1994, 263 p. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01512558/document> (Consulté le 08/07/2019).

Références bibliographiques

[72]. MAGALI, Taulan. Conséquences moléculaires des expositions aigue et chronique à l'uranium sur la transcriptase murin [en ligne]. Thèse de doctorat : Génétique. Montpellier : Université de Montpellier I, le 18 juin 2004, 190 p. Disponible sur : https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/Formation_recherche/Theses/Thesessoutenues/DRPH/Documents/2004-these-Taulan.pdf (Consulté le 08/07/2019).

[73]. BENHABIB, Naïma. Contribution à l'évaluation de la pollution métallique sur le littoral de Ghazaouet cas de la saurel (*Tracleurus trachurus*) (linné, 1758) [en ligne]. Mémoire de master : Sciences des aliments. Tlemcen : Université ABOUBAKR BELKAID, le 25/06/2013, 74 p. Disponible sur : <dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/7169/1/BENHABIB-n.pdf> (Consulté le 07/06/2019).

[74]. MAUD, Achard-Joris. Etudes biochimiques et génétiques de la réponse adaptative de mollusques face aux contaminations métalliques et au stress oxydant [en ligne]. Thèse de doctorat : Écotoxicologie. Bordeaux : Université Bordeaux 1, le 7 octobre 2005, 226 p. Disponible sur : ori-oai.u-bordeaux1.fr/pdf/2005/ACHARD-JORIS_MAUD_2005.pdf (Consulté le 03/04/2019).

[75]. BELKHEDIM, Leila. Etude de la reproduction et de la contamination métallique chez l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lmck, 1816) de la Méditerranée sud occidentale (Algérie) [en ligne]. Thèse de doctorat : Science de l'environnement. Oran : Université d'Oran 1, le 5/02/2015, 210p. Disponible sur : <https://theses.univ-oran1.dz/document/13201584t.pdf> (Consulté le 12/06/2018).

[76]. DERMECHE, Saliha. Indices physiologiques, métaux lourds et bio essais chez l'oursin commun *Paracentrotus lividus* (Lmck, 1816) de la côte oranaise (Algérie Ouest) [en ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de l'environnement. Oran : Université d'Oran, 2010, 161 p. Disponible sur : <https://theses.univ-oran1.dz/document/13201004t.pdf> (Consulté le 06/06/2019).

[77]. Omar Rouane-Hacene. Biosurveillance de la qualité des eaux côtières du littoral accidentel algérien, par le suivi des indices biologiques, de la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux lourds (Zn, Cu, Pb et Cd) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* et l'oursin *Paracentrotus lividus* [en ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de l'Environnement. Oran : Université d'Oran, le 29/04/ 2013, 295 p. Disponible sur : <https://theses.univ-oran1.dz/document/13201344t.pdf>. (Consulté le 06/06/2019).

Références bibliographiques

[78]. BENSAID, Djamel et SAIT Bilal. Évaluation de la bioaccumulation de quelques métaux lourds dans le Merlu, (*Merluccius merluccius* L, 1758) du golfe de Bejaïa [en ligne]. Mémoire de master : Sciences naturelles de l'environnement. Bejaïa : Université de Abderrahmane MIRA, le 11/06/15, 85 p. Disponible sur : <http://www.univ-bejaia.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/6939/%C3%89valuation%20de%20la%20bioaccumulation%20de%20quelques%20m%C3%A9taux%20lourds%20dans%20le%20Merlu%2C%20%28Merluccius%20merluccius%20L%2C%201758%29%20du%20golfe%20de%20B%C3%A9ja%C3%AFa.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consulté le 08/07/2019).

[79]. BORSALI, Sofia. Evaluation de la contamination métallique dans trois organes (foie, gonades et muscle) du Rouget de roche *Mullus surmuletus* (L.1758) par quatre métaux lourds (Zn, Cu, Cd, Pb) pêché dans la baie d'Oran [en ligne]. Thèse de doctorat : Science de l'environnement. Oran : Université d'Oran, 2014, 202 p. Disponible sur : <https://theses.univ-oran1.dz/document/13201587t.pdf> (Consulté le 18/06/2019).

[80]. FARES NAKHLE, Khaled. Le Mercure, le Cadmium et le Plomb dans les eaux littorales libanaises: apports et suivi au moyen de bioindicateurs quantitatifs (éponges, Bivalves et gastéropodes) [en ligne]. Thèse de doctorat : Interactions toxiques dans les écosystèmes. Paris : Université paris 7, le 5 décembre 2003, 255 p. Disponible sur : <https://wwz.ifremer.fr/pollution/content/download/31834/437471/file/these-naklhe.pdf> (Consulté le 12/06/2019).

[81]. ELODIE, Fournier. Bioaccumulation du sélénium et effets biologiques induits chez le bivalve filtreur *Corbicula fluminea*. Prise en compte de l'activité ventilatoire, de la spéciation du sélénium et de la voie de contamination [en ligne]. Thèse de doctorat : Ecotoxicologie. Bordeaux : Université Bordeaux 1, le 10 octobre 2005, 276 p. Disponible sur : https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/Formation_recherche/Theses/Theses-soutenues/DEI/Documents/2005-these-fournier.pdf (Consulté le 11/07/2019).

[82]. MARIE, Véronique. Etude de la réponse des métallothionéines chez les bivalves, *Corbicula fluminea*, *Dreissena polymorpha* et *Crassostrea gigas*, après exposition au Cadmium et au Zinc - Approches in situ et expérimentales – [en ligne]. Thèse de doctorat : Ecotoxicologie. Université bordeaux 1, le 22 juin 2005, 461 p. Disponible sur : http://ori-oai.u-bordeaux1.fr/pdf/2005/MARIE_VERONIQUE_2005.pdf (Consulté le 07/07/2019).

Références bibliographiques

- [83]. VINOT, Ingrid. Impact des rejets de Cuivre et de Zinc en milieu aquatique : circulation, spéciation, biodisponibilité, bioaccumulation, transfert et toxicité [en ligne]. Thèse de doctorat : Ecotoxicologie. Université de Metz, 2004, 394 p. Disponible sur : <http://docnum.univ-lorraine.fr/public/UPV-M/Theses/2004/Vinot.Ingrid.SMZ0432.pdf> (Consulté 6/07/2018).
- [84]. BOUCETTA, Sabine. biosurveillance des eaux du littoral est Algérien à travers un mollusque gastéropode : *Phorcus (=Osilinus) turbinatus* (Born, 1780) [en ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de la mer. Annaba : Université Badji Mokhtar, 2016, 209 p. Disponible sur : <http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2019/06/These-Boucetta-Sabrine.pdf>. (Consulté 07/07/2019).
- [85]. KHATI, Hadj Moussa Wyllie. 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 bio surveillance de l'environnement marin [en ligne]. Thèse de doctorat : Science de la mer. Annaba : Université Badji Mokhtar, Mai 2009, 155 p. Disponible sur : <http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2014/05/These-Khati-Hadj-moussa-W.pdf> (Consulté le 06/07/2019).
- [86]. RACHEL, Picard. Etude des indicateurs de stress et de vitalité chez les mollusques bivalves comme outils diagnostiques en conchyliculture [en ligne]. Mémoire maître Ès sciences : Océanographie. Université du Québec, 2009, 112 p. Disponible sur : http://semaphore.uqar.ca/108/1/Rachel_Picard_janvier2009.pdf (Consulté le 07/07/2019).
- [87]. FABIEN M, LAUREIER J G. Cycle du Mercure en estuaire, baie de Seine et pays de Caux : spéciation chimique et biodisponibilité [en ligne]. Thèse de doctorat : Océanographie chimique. Paris : Université paris 7 – Denis Diderot, 2001, 177 p. Disponible sur : <https://archimer.ifremer.fr/doc/2001/these-1842.pdf> (Consulté le 08/07/2019).
- [88]. BOUGHERIRA, Nabil. Mécanismes de transfert des polluants métalliques dans la vallée de la Meboudja (W. d'Annaba) [en ligne]. Thèse de doctorat : Hydrogéologie. Annaba : Université Badji Mokhtar, 2015, 193 p. Disponible sur : biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2015/11/These-Bougherira-Nabil-.pdf (Consulté le 16/06/2019).

Références bibliographiques

[89]. HIDOUCI, Sabrina. Impact des rejets urbains et industriels sur la qualité environnementale du littoral d'Annaba [en ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de la mer. Annaba : Université Badji Mokhtar, 2015, 124 p. Disponible sur : biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2016/09/These-Hidouci-Sabrina.pdf (Consulté le 12/06/2019).

[90]. HALASSI, Ismahan. Ecologie de l'Erismature à tête blanche *Oxyura leucocephala* dans les zones humides du littoral Est de l'Algérie [en ligne]. Thèse de doctorat : Biologie Animale. Sétif : Université Ferhat Abbas 1, le 25/03/2018, 176p. Disponible sur : (Consulté le 26/03/2019). Disponible sur :

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjixITNbnjAhXiRhUIHZw3CQ0QFjAAegQIAxAB&url=http%3A%2F%2Fwww.univ-setif.dz%2FTdoctorat%2F&usg=AOvVaw2vjYAUB7a-aRKule4Cz37H>

(Consulté 25/06/2019).

[91]. LEJDDDEL, Nedjemeddine. Distribution des matières nutritives minérales et organiques dans les panaches littoraux (golfe d'Annaba) de l'estuaire de Mafrag [en ligne]. Mémoire de magister : Environnement littoral. Annaba : Université Badji Mokhtar, 2009, 53 p. Disponible sur : biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2014/07/LEJDDDEL-Nedjemeddine.pdf (Consulté le 13/06/2019).

[92]. ABBACI, Samira. Les inégalités écologiques en milieu urbain et leur impact sur l'attractivité des quartiers Cas d'étude [en ligne]. Mémoire de magister : Architecture. Annaba : Université Badji Mokhtar, 2012, 191 p. Disponible sur : <http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2014/05/m%C3%A9moire-magister-abbaci.pdf> (Consulté le 13/06/2019).

[93]. BOUMAZA, Fatima Zohra. 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 [en ligne]. Thèse de doctorat : Biologie animale environnementale. Annaba : Université Badji Mokhtar, le 02 Février 2014, 194 p. Disponible sur : <http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2014/07/These-Boumaza.pdf> (Consulté le 08/04/2019).

Références bibliographiques

[94]. BOULKROUNE, Heddy. L'Expression de deux architectures à travers deux parcours urbains : villes de Constantine et Annaba [en ligne]. Thèse de doctorat : Urbanisme. Constantine : Université de Mentouri, 2009, 319 p. Disponible sur : <https://bu.umc.edu.dz/theses/architecture/BOU4505.pdf> (Consulté le 23/03/2019).

[95]. KHALDOUN, Latifa. Etude du cycle de reproduction de la moule *Perna perna* dans le littoral d'El Kala : Suivi biométrique et histologique [en ligne]. Mémoire de magistère : Sciences de la mer. Annaba : Université Badji Mokhtar, 2009, 84 p. Disponible sur : <http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2014/05/Memoire-de-magister.pdf>. (Consulté le 04/04/2019).

[96]. BENCHIKH, Nadira. Etude de la croissance et du cycle de reproduction de la moule *Perna perna* dans le golfe d'Annaba et le littoral d'El Kala [en ligne]. Mémoire de magistère : Sciences de la mer. Annaba : Université Badji-Mokhtar, 2009, 112 p. Disponible sur : <http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2014/05/Memoire5.pdf> (Consulté le 05/06/2019).

[97]. DERBAL, Farid. L'ichtyofaune des côtes de l'Est Algérien: Écologie de quatre téléostéens (*Diplodus cervinus cervinus*, *D. Puntazzo*, *Sciaena umbra*, *Epinephelus costae*) et contribution à la biologie du sar tambour *Diplodus cervinus cervinus* (Lowe, 1838) [en ligne]. Thèse de doctorat : Biologie et écologie des populations. Annaba : Université d'Annaba Badji Mokhtar, 2007, 213 p. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/293488180_L'ichtyofaune_des_cotes_de_l'Est_algerien_Ecologie_de_quatre_teleosteens_Diplodus_cervinus_cervinus_D_puntazzo_Sciaena_umbra_Epinephelus_costae_et_contribution_a_la_biologie_du_sar_tambour_D_cervinus _ (Consulté le 02/04/2019).

[98]. AARAB, Nadia. Les biomarqueurs chez les poissons et les bivalves : de l'exposition à l'effet et du laboratoire au terrain [en ligne]. Thèse de doctorat : Ecotoxicologie des milieux aquatiques. Bordeaux : Université Bordeaux 1, le 19 mai 2004, 276 p. Disponible sur : grenet.drimm.u-bordeaux1.fr/pdf/2004/AARAB_NADIA_2004.pdf (Consulté le 02/04/2019).

[99]. DHWA. (2019). Direction de l'Hydraulique de la Wilaya d'Annaba. Communication personnelle.

Références bibliographiques

[100]. HADDOUD, Mohamed. Contribution à l'étude des éléments chimiques en traces dans les eaux souterraines profondes de la wilaya de Biskra- Cas du Cuivre et du Zinc [en ligne]. Mémoire de magister : Hydraulique. Biskra : Université Mohamed Khi der, 121 p. Disponible sur :

https://pdfs.semanticscholar.org/5351/deb8888232c776ed9b91af7849bdf0dbe732.pdf?_ga=2.183105766.1795730216.1562940175-1716846232.1562940175 (Consulté le 03/04/2019).

[101]. MAZURIE, Joseph. Mise au point d'un protocole standard utilisant la cuisson au four à micro-ondes pour la mesure d'un indice de condition de moules. Ifremer [en ligne]. Septembre 03, 14 p. Disponible sur : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00014/12479/9325.pdf> (Consulté le 10/07/2019).

[102]. PIERRE, PRNON. Relations tailles-poids facteurs de condition, et indice de maturité sexuelle. Rappels bibliographiques, Interprétations, remarques et applications. Océanographe biologiste de l'O.R.S.T.O.M.t en service à l'I.S.R.A., Centre de Recherches océanographiques de Dakar-Thiaroye, BP2241, Dakar, Sénégal [en ligne]. 1977, 29 p. Disponible sur : http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/doc34-07/02665.pdf (Consulté le 11/04/2019).

[103]. ARNERI E., COLELLA S ET GIANNETTI G, 2001. Age determination and growth of turbot ans brill in the Adriatic Sea : reversal of the seasonal pattern of otolith zone formation. Journal Applied Ichthyology [en ligne]. 17,256-261. Disponible sur : <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/14390426> (Consulté le 12/04/2019).

[104]. TEKOUK, Keira et HAMA Asmaa. Etude de la qualité du milieu marin à travers deux bio indicateurs la moule «*Mytilus galloprovincialis*» et l'oursin «*Paracentrotus lividus*» au niveau de deux sites du littoral de Mostaganem [en ligne]. Mémoire de Master : Hydrobiologie marine et continentale. Mostaganem : Université Abdelhamid IBN BADIS, le 12/09/2018, 112 p. Disponible sur :

<http://e-biblio.univ-mosta.dz/handle/123456789/4229?show=full> (Consulté le 07/04/2019).

Références bibliographiques

[105]. BENALI, Imen. Utilisation de l'activité de l'acétylcholinestérase chez *Mytilus Galloprovincialis* (Lmk, 1819), transplantée en baie d'Oran : biomarqueurs d'exposition à la contamination marine côtière [en ligne]. Mémoire de magister : Biologie et pollution marines. Oran : Université d'Oran Es-Snia, 2007, 111 p. Disponible sur : <https://theses.univ-oran1.dz/document/TH2569.pdf> (Consulté le 07/04/2019).

[106]. GUERLET, Edwige. Utilisation de biomarqueurs cellulaires chez plusieurs espèces d'invertébrés pour l'évaluation de la contamination des milieux dulçaquicoles [en ligne]. Thèse de doctorat : Ecotoxicité et biodiversité. UFR Sciences Fondamentales et Appliquées, le 12/10/2007, 318 p. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00530188/document>

(Consulté le 07/04/2019).

[107]. HAMITOUCHE, Moussa, HADERBACHE, Md Slimane. Evaluation de la pollution métallique de l'Oued Soummam par le dosage des métaux lourds dans le muscle de quelques espèces de poissons [en ligne]. Mémoire de master : Environnement et sécurité alimentaire. Bejaia : Université Abderrahmane MIR, le 22 Juin 2017, 40 p. Disponible sur : <http://www.univ-bejaia.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/4962/Evaluation%20de%20la%20pollution%20m%c3%a9tallique%20de%20l%27Oued%20Soummam%20par%20le%20dosage%20des%20m%c3%a9taux%20lourds%20dans%20le%20muscle%20de%20quelques%20esp%c3%a8ces%20de%20poissons.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (consulté le 10/07/2019).

[108]. MUN Christian. Etude du comportement du produit de fission ruthénium dans l'enceinte de confinement d'un réacteur nucléaire, en cas d'accident grave [en ligne]. Thèse de doctorat : Chimie (Radiochimie). Paris : Université de PARIS-XI, 2007, 158 p. Disponible sur : <https://pdfs.semanticscholar.org/08d3/c6433f147c49b6a282899711d5e103c0369a.pdf>

(Consulté le 11/07/2019).

Références bibliographiques

- [109]. BEN SEGHIER, Taiba. Evaluation de la contamination métallique dans des sols agricoles situés à Maghnia (Hammam BOUGHRARA) [en ligne]. Mémoire de master : Chimie inorganique et environnement (CIE). Tlemcen : Université de Tlemcen, 2012, 103 p. Disponible sur : <http://dspace.univtlemcen.dz/bitstream/112/2039/1/BEN%20SEGHIER%20TAIBA.PDF.pdf> (Consulté le 10/07/2019).
- [110]. BELHADJ, Hasna, NOUALI, Salima. Optimisation d'une méthode de dosage : spectrométrie d'absorption atomique électrothermique pour la détermination du Cadmium [en ligne]. Mémoire de master : Toxicologie industrielle et environnementale. Tlemcen : Université ABOU BEKR BELKAID, 2016, 72 p. Disponible sur : <http://dspace.univtlemcen.dz/bitstream/112/12461/1/Belhadj-Nouali.pdf> (Consulté 04/06/2019).
- [111]. SOULEYMANE, TRAORE. Mise au point d'une méthode d'analyse de trois métaux lourds dans le sel de consommation: le Cadmium, le Cuivre et le Plomb [en ligne]. Thèse de doctorat : Pharmacie/LNS. Bamako : Faculté de médecine de pharmacie et d'odontostomatologie (FMPOS), 2007, 81 p. Disponible sur : <http://www.keneya.net/fmpos/theses/2007/pharma/pdf/07P19.pdf> (Consulté le 15/04/2019).
- [112]. ABADA-BOUDJEMA, Y.M. Etude dynamique de deux populations de moules *Mytilus galloprovincialis* (Lmk) et *Perna perna* (L) de Bordj-El-Kiffan (Baie d'Alger) [en ligne]. Thèse de doctorat 3ème cycle : Ecotoxicologie. Alger : Université de SCI et Techno Houari Boumediene, 1983, 115 p. Disponible sur : w.w.who-int/water_sanitation_health/GDWQ/Summary_tables/ (Consulté le 07/07/2019).
- [113]. ZAOUALI J. Note sur la présence de *Perna perna* (L), *Mytilus africanus* (Chemnitz) dans la région de Bizerte (Tunisie). Etude comparative du peuplement. Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche, Salamboo [en ligne]. 1973, 2 (4) : 637 – 642. Disponible sur : <https://www.oceandocs.org/handle/1834/8610> (Consulté le 03/07/2019).

Références bibliographiques

- [114]. ROMERO, S.M.B. et G.S. MOREIRA. Les effets combinés de la salinité et de la température sur la survie des embryons et des larves de veliger de *Perna perna* (Linne, 1758) (*Mollusca : Bivalvia*) [en ligne]. Mémoire de magister : biologie et physiologie animale. Université de San Paulo, 1980, 87 p. Disponible sur : <https://teses.usp.br/index.php?lang=fr> (Consulté le 02/07/2019).
- [115]. Bodoy A, Massé H. 1979. Quelques paramètres permettant de suivre la production organique d'un Mollusque Bivalve au cours d'un cycle saisonnier. Publ. Sci. Tech. CNEXO, Actes Coll [en ligne]. 1979, 7, 753-766, 17 – 23 p. Disponible sur : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00306/41696/> (Consulté le 8/06/2019).
- [116]. BEHROUZ ESHGHI, Malayeri. Décontamination des sols contenant des métaux lourds à l'aide de plantes et de microorganismes [En ligne]. Thèse de doctorat : Biologie des organismes. Nancy : Université Henri Poincaré, le 21 octobre 1995, 166 p. Disponible sur : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCD_T_1995_0353_ESHGHI_MALAYERI.pdf (Consulté le 08/06/2019).
- [117]. COSSA, Daniel, LASSUC, Patrick. Le Cadmium en milieu marin biogéochimique et écotoxicologique. Rapport scientifique de l'Ifremer et technique N°16 [en ligne]. 1989, 114 p. Disponible sur : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00332/44312/43866.pdf>. (Consulté le 11/06/2019).
- [118]. BELADJ, Hichem. Evaluation de la pollution Métallique dans l'eau, les sédiments et organismes vivants du littoral de Ghazaouet. (Extrême ouest Algérien) [en ligne]. Mémoire de magister : Biologie. Tlemcen : Université Abou BAKR BELKAID, le 30/11/2008, 116 p. Disponible sur : <dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/6661/1/BELHADJ-Hichem.pdf>. (Consulté le 12/06/2019).
- [119]. LABARERE José. Tests paramétriques de comparaison de 2 moyennes [en ligne]. Mémoire de master : Mathématique. Grenoble : Université Joseph Fourier, 2012, 87 p. Disponible sur : http://unf3s.cerimes.fr/media/paces/Grenoble_1112/labarere_jose/labarere_jose_p04/labare_re_jose_p04.pdf (Consulté le 15/07/2019).

ANNEXE

➤ **Propriétés physico-chimiques des métaux étudiés**

Le tableau suivant présente les propriétés physico-chimiques des métaux étudiés :

Tableau 1 : Propriétés physico-chimiques des métaux étudiés. [29]

Métal	Symbole	Numéro atomique	Masse atomique	Point de fusion C°	Point d'ébullition C°	Densité
Chrome	Cr	24	51.99	1875	2682	7.17
Fer	Fe	26	55.85	1535	3000	7.90
Nickel	Ni	28	58.70	1555	2837	8.90
Cuivre	Cu	29	63.55	1083	2565	8.94
Zinc	Zn	30	65.38	419	907	7.14
Cadmium	Cd	42	112.48	321	767	8.65

➤ **Utilisation des métaux étudiés**

Les différentes utilisations des métaux étudiés sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau N°2: Les différentes utilisations des métaux étudiés.

Métal	Utilisation
Cd	Les traitements de surface, les pigments, les stabilisants, les accumulateurs. [20]
Cu	Conducteurs électriques, composants électroniques, alliages, fongicides (usages agricoles et vétérinaires entre autres), sous forme de sulfates très hydrosolubles, matériel de cuisine, plomberie... [1]
Cr	Industrie chimique, métallurgie, technologie des réfractaires. [30]
Fe	Dans la composition de nombreux alliages dont les aciers inoxydables, il est utilisé dans les machines et ustensiles divers utilisés quotidiennement, dans les infrastructures du monde moderne. [26]
Ni	Les alliages, dans l'industrie telle que l'électronique, la catalyse, la galvanoplastie (les sels de nickel), certaines enzymes qui sont utilisées comme centre catalytique, dans la cathode des piles alcalines, certains types de cordes de guitare électrique. Il entre également dans la composition du fil dentaire. [4]
Zn	Utiliser pour la couverture des bâtiments, la chimie de caoutchouc, il est présent dans certaines peintures antisalissures entrent dans la composition de divers alliages (laiton, bronze, alliages légers), la construction immobilière, les équipements pour l'automobile, les chemins de fer et dans la fabrication de produits laminés ou formés, [24] les produits cosmétiques (crèmes, shampoings), les batteries, pigments, peintures et dans la fabrication d'accumulateurs. [2]

➤ Table de Student

d.d.l. \ α	0,90	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,158	1,000	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619
2	0,142	0,816	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
3	0,137	0,765	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,134	0,741	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,132	0,727	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,131	0,718	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,130	0,711	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,130	0,706	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,129	0,703	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,129	0,700	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,129	0,697	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,128	0,695	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,128	0,694	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,128	0,692	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,128	0,691	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,128	0,690	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,128	0,689	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,127	0,688	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,127	0,688	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,127	0,687	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,127	0,686	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,127	0,686	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,127	0,685	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767
24	0,127	0,685	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,127	0,684	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,127	0,684	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,127	0,684	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
28	0,127	0,683	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,127	0,683	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
30	0,127	0,683	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
∞	0,126	0,674	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291

Figure N°1 : La Table de Student. [106]