

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*  
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Biologiques de l'Environnement  
Filière : Santé et Environnement  
Option : Environnement et Santé Publique



Réf:.....

Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

**MASTER**

*Thème*

**Contribution à l'étude d'accumulation de métaux lourds chez des individus adultes appartenant à l'espèce *Helix aspersa* (Gasteropoda : Helicidae) dans la region de Béjaia.**

Présenté par :

**AINSERI Fatah & HAMIDOUCHE Lilia**

Soutenu le : **13 Juin 2016**

Devant le jury composé de :

Mme. NATOURI N

Mme. TAFOUGHALT S

Melle. DJOUDER Z

MAA

MCA

MAA

Président

Encadreur

Examineur

**Année universitaire : 2015 / 2016**

# Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes parents qui m'ont toujours soutenu,

Merci à vous pour avoir œuvré pour ma réussite, votre encouragement et votre soutien, tous les sacrifices consentis et vos précieux conseils.

Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de vous.

J'espère que je serais à la hauteur de vos espérances.

A mes frères et sœurs,

Merci de m'avoir encouragé, entouré et motivé sans cesse pour devenir meilleure.

A mon binôme et à tous mes collègues,

Merci pour votre persévérance, courage et générosité.

A Lincoln et à tous mes amis et tous ceux qui sont chers pour moi,

A toi Léana

Merci pour votre disponibilité et vos conseils.

Fatah

## Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes parents qui m'ont toujours soutenu,  
Merci à vous pour vos encouragements et votre soutien, tous  
les sacrifices consentis et vos précieux conseils.

A mes sœurs : Chahinaze sabrina et Maylisse

Ma tante Saliha et son mari Hakim et ses enfants Lyes  
Rafic et Juba

Mon oncle Ali et sa famille

Toute ma famille maternelle MAHMOUDI et toute ma  
famille paternelle

Merci pour votre présence, vos conseils et vos  
encouragements permanents

A toute mes amies : Sabrina, Lamia, Lydia, Hassiba.

Merci pour votre disponibilité et votre amour.

A mon binôme Fatah et toute sa famille  
A Toute la promotion Environnement et Santé Publique  
2015-2016

Lilia

## *Remerciements*

On remercie Mme TAFOUGHALT S, d'avoir assuré l'encadrement de ce travail.

On tient également à remercier les membres de Jury :

Mme NATOURI N d'avoir accepté de présider le jury de soutenance,

Mme DJOUDER Z d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos remerciements vont aussi à M. BEKDOUCHE F pour ses conseils, et Mme Bradai qui nous a facilité l'accès au laboratoire des génies des procédés

A tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

# SOMMAIRE

Dédicace

Remerciements

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Liste des Abréviations

Introduction..... 1

## Chapitre I : Synthèse bibliographique sur les métaux lourds

I.1. Définition des métaux lourds..... 3

I.2. Le cadmium..... 3

I.2.1. Les sources du cadmium..... 4

I.2.2. Les effets du cadmium sur la santé humaine..... 4

I.3. Le zinc..... 5

I.3.1. Les sources du zinc..... 6

I.3.2. Les effets du zinc sur la santé humaine..... 6

I. 4. Le cuivre ..... 7

I.4.1. Les sources du cuivre..... 7

I.4.2. Les effets du cuivre sur la santé humaine..... 7

I.5. Les voies d'assimilation transmembranaire des ETM..... 8

I.6. Mécanismes moléculaires de la toxicité des ETM..... 9

I. 6.1. Effets sur la membrane cytoplasmique..... 9

I.6.2. Effets sur le noyau..... 9

I.6.3. Effets sur le système vacuolaire lysosomal.....	10
I.6.4. Effets sur les mitochondries.....	10
I.6.5. Effets sur le réticulum endoplasmique.....	10
I.7. Effet des ETM sur les microorganismes du sol .....	10
I.8. Les végétaux: principale voie d'entrée des éléments traces métalliques dans la chaîne alimentaire.....	11

## **CHAPITRE II : Synthèse bibliographique sur l'*Helix aspersa***

II.1. Présentation et classification de l'espèce ( <i>Helix aspersa</i> ).....	12
II.2. Anatomie générale de l'escargot .....	12
II.3. La biologie de l'espèce <i>Helix aspersa</i> .....	14
II.3.1. Habitat.....	14
II.3.2. Alimentation.....	14
II.3.3. Croissance .....	14
II.3.4. Hibernation.....	14
II.3.5. Reproduction.....	14
II.4. L'utilisation des escargots <i>Helix aspersa</i> en écotoxicologie .....	15
II.4.1. Voies d'expositions et d'absorptions des ETM par l'organisme.....	16
II.4.2. Sites d'accumulations des éléments traces métalliques dans l'organisme.....	17

## **CHAPITRE III : Matériels et méthodes**

III.1. Stations de prélèvement.....	18
-------------------------------------	----

III.1.1. Beni Maouche (S1) .....	<b>18</b>
III.1.2. Chellata (S2) .....	<b>18</b>
III.1.3. Ighil Nacer (S3) .....	<b>18</b>
III.1.4. Ighil Ialouanene .....	<b>19</b>
III.1.5. Sidi Ahmed .....	<b>19</b>
III.1.6. El Kseur .....	<b>19</b>
III.1.7. Taharacht (S7) .....	<b>19</b>
III.1.8. Champ Thawra Ziraia .....	<b>19</b>
III.1.9. Ferme Boukhelifa .....	<b>20</b>
III.1.10. Ferme Tichy.....	<b>20</b>
III.2. Matériels utilisés.....	<b>21</b>
III.2.1. Matériel biologique.....	<b>21</b>
III.2.2. Matériel de laboratoire.....	<b>21</b>
III.2.3. Réactifs.....	<b>21</b>
III.3. Préparation des échantillons.....	<b>21</b>
III.3.1. Période de jeûne .....	<b>21</b>
III.3.2. La congélation .....	<b>22</b>
III.3.3. La dissection .....	<b>22</b>
III.3.4. Le séchage .....	<b>22</b>
III.3.5. Le broyage .....	<b>23</b>
III.3.6. La Minéralisation .....	<b>23</b>
III.3.7. Le dosage .....	<b>24</b>

## **CHAPITRE VI : Résultats et discussions**

IV.1. Comparaison entre la concentration en cadmium, en zinc et en cuivre dans les échantillons de pieds et de viscères de l'ensemble des individus prélevés..	<b>25</b>
IV.1.1. Concentrations en cadmium.....	<b>25</b>
IV.1.2. Concentration en zinc.....	<b>26</b>
IV.1.3. Concentration en cuivre.....	<b>27</b>
IV.2. Variation des concentrations en cadmium, en zinc et en cuivre dans les viscères de l'ensemble des escargots <i>Helix aspersa</i> étudiés.....	<b>29</b>
IV.3. Variation des concentrations en cadmium, en zinc et en cuivre dans les viscères des escargots <i>Helix aspersa</i> échantillonnés dans différentes stations .....	<b>31</b>
IV.3.1 Cadmium.....	<b>31</b>
IV. 3.2 Zinc .....	<b>32</b>
IV.3.3. Cuivre.....	<b>33</b>
Conclusion.....	<b>36</b>

### **Références bibliographiques**

### **Annexes**

Liste des figures

<b>Figure n° 1</b> : Les voies d'assimilation transmembranaire des polluants.....	8
<b>Figure n° 2</b> : Morphologie de l'escargot <i>Helix aspersa</i> .....	13
<b>Figure n° 3</b> : Anatomie de l'escargot <i>Helix aspersa</i> .....	13
<b>Figure n° 4</b> : Voies et sources d'exposition de l'escargot aux polluants.....	16
<b>Figure n° 5</b> : Cartographie des différentes stations d'échantillonnage.....	20
<b>Figure n° 6</b> : Escargots en période de jeûne.....	21
<b>Figure n° 7</b> : Anatomie d' <i>Helix aspersa</i> sorti de sa coquille, avec représentation de la ligne de dissection séparant le pied des viscères.....	22
<b>Figure n° 8</b> : Echantillons de pieds et de viscères après dissection. ....	22
<b>Figure n° 9</b> : Echantillons de pieds et de viscères après séchage.....	23
<b>Figure n° 10</b> : Echantillons de pieds et de viscères après broyage.....	23
<b>Figure n° 11</b> : Echantillons de la solution (matière organique HNO <sub>3</sub> ) après minéralisation.....	24
<b>Figure n° 12</b> : Spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA).....	24
<b>Figure n° 13</b> : Concentrations moyennes en cadmium dans les pieds et les viscères des escargots <i>Helix aspersa</i> étudiés.....	25
<b>Figure n° 14</b> : Concentrations moyennes en zinc dans les pieds et les viscères des escargots <i>Helix aspersa</i> étudiés.....	26
<b>Figure n° 15</b> : Concentrations moyennes en cuivre dans les pieds et les viscères des escargots <i>Helix aspersa</i> étudiés.....	27

<b>Figure n° 16:</b> Concentrations des moyennes en cadmium, en zinc et en cuivre dans les viscères de l'ensemble des escargots <i>Helix aspersa</i> échantillonnés.....	<b>29</b>
<b>Figure n° 17 :</b> Les concentrations en cadmium dans les viscères des escargots <i>Helix aspersa</i> selon les stations d'échantillonnage.....	<b>31</b>
<b>Figure n° 18 :</b> Les concentrations en zinc dans les viscères des escargots <i>Helix aspersa</i> selon les stations d'échantillonnage.....	<b>32</b>
<b>Figure n° 19 :</b> Les concentrations en cuivre dans les viscères des escargots <i>Helix aspersa</i> selon les stations d'échantillonnage.....	<b>33</b>
<b>Figure n° 20 :</b> Tableau périodique des éléments.....	<b>Annexe 1</b>

**Liste des tableaux**

<b>Tableau I.</b> Concentration en éléments métalliques dans le sol : seuil fixé par la norme AFNOR .....	<b>10</b>
<b>Tableau II.</b> Concentrations moyennes de cadmium dans les viscères et les pieds des individus.....	<b>Annexe 2</b>
<b>Tableau III.</b> Concentrations moyennes de zinc dans les viscères et les pieds des individus.....	<b>Annexe 2</b>
<b>Tableau VI.</b> Concentrations moyennes de cuivre dans les viscères et les pieds des individus.....	<b>Annexe 2</b>
<b>Tableau V.</b> Concentrations moyennes de Cadmium, Zinc et Cuivre dans tous les individus.....	<b>Annexe 2</b>
<b>Tableau VI.</b> Concentration de Cadmium dans les différentes stations .....	<b>Annexe 2</b>
<b>Tableau VII.</b> Concentration de Zinc dans les différentes stations .....	<b>Annexe 2</b>
<b>Tableau VIII.</b> Concentration de Cuivre dans les différentes stations.....	<b>Annexe 2</b>

**Liste des abréviations**

**ETM** : Eléments Traces Métallique

**Cd** : Cadmium

**Zn** : Zinc

**Cu** : Cuivre

**Ni** : Nickel

**Fe** : Fer

**Pb** : Plomb

**Hg** : Mercure

# INTRODUCTION

Depuis la révolution industrielle, notre environnement ne cesse de se détériorer. En effet, les activités industrielles, urbaines, agricoles et routières, sans cesse croissantes, sont à l'origine de nombreuses modifications des écosystèmes. Ce changement de l'état naturel, dû aux différents polluants d'origine anthropique, pose de graves répercussions sur la santé humaine et environnementale (**Zaafour, 2014**).

Les métaux lourds sont parmi les polluants les plus dangereux, car ils ne peuvent pas être dégradés et leurs concentrations augmentent régulièrement dans les différents compartiments des écosystèmes (**Zorrig, 2004**). Pour évaluer la qualité de ces derniers, les recherches actuelles sont axées principalement sur la détection précoce de signes traduisant les altérations. Dans cette optique, l'écotoxicologie revêt une importance primordiale, elle s'intéresse particulièrement aux interactions entre les produits chimiques présents dans l'environnement, et englobe plusieurs domaines dont la mise au point de bioindicateurs (**Viard, 2004**).

La bioindication utilise des organismes animaux ou végétaux, apportant des renseignements sur les caractéristiques écologiques de leur habitat, par la bioaccumulation de micropolluants dans leurs organes (**Coughtrey et Martin, 1982; Dallinger et Berger, 1993; Gomot de Vaufleury et Pihan, 2000 ; Beeby et Richmond, 2002 ; Viard et al., 2004 ; Notten et al., 2005**).

Parmi ces espèces, l'escargot *Helix aspersa* constitue un élément de la chaîne trophique et contribue au transfert des polluants du sol et/ou des plantes aux prédateurs (**Laskowski et Hopkin, 1996 ; Scheifler et al., 2002**). Il possède, également, une capacité de bioaccumulation importante pour de nombreux polluants métalliques (**Dallinger et Weiser, 1984 ; Gomot et Pihan, 1997 ; Gomot de Vaufleury et Pihan, 2002 ; Viard et al., 2004**).

Dans ce contexte, plusieurs études ont été menées en Algérie par des chercheurs tels que : **Larba (2014) ; Zaafour (2014) et Douafer (2010)** afin d'évaluer la contamination de l'environnement par les éléments traces métalliques (ETM).

Notre étude a été menée dans différentes régions de la wilaya de Bejaia, caractérisées par une variation des sources de contamination. En utilisant la bio-surveillance passive dont les analyses reposent sur l'étude d'organismes autochtones «l'escargot *Helix aspersa*».

Le but principal de notre étude consiste en :

L'évaluation des concentrations en éléments traces métalliques (cadmium, zinc et cuivre) dans les viscères et les pieds d'une espèce bioindicatrice de pollution prélevée dans plusieurs sites tous situés dans la région de Bejaia, exposés à des sources de pollution différentes.

La structure retenue dans ce manuscrit est la suivante :

- Dans le premier chapitre, une synthèse bibliographique sur les éléments traces métalliques (cadmium, zinc et cuivre) a été abordée.
- Le deuxième chapitre a été consacré pour la présentation de quelques données bibliographiques sur l'escargot appartenant à l'espèce *Helix aspersa*.
- Le matériel et les méthodes employés afin de réaliser cette étude sont développés dans le troisième chapitre.
- Le dernier chapitre évoque les résultats obtenus et leurs discussions.
- Enfin, nous terminons ce présent travail par une conclusion générale et quelques recommandations pour une prise en charge optimale de la pollution par les éléments traces métalliques afin de réduire les séquelles qu'elle engendre.

**CHAPITRE I**  
**Synthèse**  
**bibliographique**  
**sur**  
**Les métaux**  
**lourds**

## I.1. Définition des métaux lourds

Le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g.cm<sup>3</sup> (**Adriano, 2001**). Le terme « éléments traces métalliques » est aussi utilisé pour décrire ces mêmes éléments, car ils se retrouvent souvent en très faible quantité dans l'environnement (**Baker et Walker, 1989**)

D'un point de vue biologique, on en distingue deux types de métaux lourds en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques :

**a. Les métaux essentiels :** sont des éléments indispensables pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (**Loué, 1993**). Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe). Par exemple, le zinc (Zn), à la concentration du millimolaire, est un oligo-élément qui intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques (déshydrogénases, protéinase, peptidase) et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides (**Kabata-Pendias et Pendias, 2001**).

**a) Les métaux toxiques :** ils ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd) (**Loué, 1993**).

## I.2. Généralités sur les métaux lourds

### I.2.1. Le cadmium

Le cadmium est un élément chimique, de symbole Cd et de numéro atomique 48 (**Figure n° 20 Annexe 1**). Le cadmium dans l'environnement n'est presque jamais trouvé à l'état métallique mais dans son état d'oxydation unique, c'est-à-dire Cd<sup>2+</sup>. Les principaux composés du cadmium sont l'oxyde de cadmium, le chlorure de cadmium et le sulfure de cadmium (**Amirad, 2011**).

Ce métal présente des caractéristiques chimiques proches de celles du calcium, en particulier le rayon ionique, facilitant ainsi sa pénétration dans les organismes (**Borchardt, 1985**).

### **I.2.1.1. Les sources du cadmium**

#### **a. Les sources naturelles**

Le cadmium présent dans la croûte terrestre peut être dispersé dans l'air par entraînement de particules provenant du sol et par les éruptions volcaniques. Il est présent dans les minerais de zinc (la teneur en cadmium varie de 0,01 à 0,05 %), de plomb et de cuivre, ainsi que dans les phosphates naturels (**Amirad, 2011**).

#### **b. Les sources anthropiques**

Les sources anthropiques du cadmium dans l'environnement humain sont les accumulateurs nickel-cadmium et batteries, les pigments (encre, émaux, verres, peintures...) les stabilisants (matières plastiques), les revêtements anticorrosion, les fusibles, cellules photoélectriques, les activités minières et raffinage des minerais de Zn de Cu et de Pb, la combustion du charbon, les cimenteries et aciéries, l'acide phosphorique et les engrais phosphatés (**Amirad, 2011**).

### **I.2.1.2 Les effets du cadmium sur la santé humaine**

On identifie le cadmium comme étant un polluant extrêmement toxique, car l'exposition à cet élément chimique entraîne un grand nombre d'effets nocifs sur la santé humaine (**Godt et al., 2006**). Parmi ces effets on peut citer :

#### **a. Effets néphrotoxiques**

Le rein est l'organe le plus touché par les méfaits du cadmium (**Barbier et al., 2005**). Il atteint cet organe sous forme de complexe cadmium-métallothionéines, ce dernier est absorbé par les tubules rénaux, ce qui provoque des perturbations des métabolismes phosphorés et calciques, une protéinurie et une haute excrétion de calcium induisant un grand risque d'avoir des calculs rénaux (**Svartengren et al., 1986**).

### **b. Effets sur le système respiratoire**

L'inhalation du Cd provoque des troubles respiratoires et des œdèmes pulmonaires ainsi qu'une destruction des muqueuses (Seidal *et al.*, 1993).

### **c. Effets sur le système reproducteur**

Le cadmium semble interférer avec la voie stéroïdogénique ovarienne, en effet, de faibles concentrations en cet élément stimuleraient la biosynthèse ovarienne de progestérone alors que des concentrations élevées la bloqueraient (Henson et Chedrese, 2004). Dans le même contexte, Johnson et ses collaborateurs. (2003) rapportent que l'exposition des femmes enceintes à ce polluant est associée à un faible poids des nouveaux nés et à une augmentation de l'avortement spontané.

### **d. Effets sur le système squelettique**

Plusieurs études ont montré une forte relation entre l'intoxication par le cadmium et des dommages osseux. Le cadmium est impliqué dans les occurrences de la maladie d'Itai-Itai qui présente comme symptômes la diminution de la minéralisation des os, des taux élevés d'ostéoporose et une douleur osseuse (Kazantzis, 1979).

### **e. Effets cancérigènes**

Plusieurs études confirment la cancérogénicité du cadmium, notamment en ce qui concerne le cancer rénal chez l'Homme (Kolonel, 1976 et Il'yasova, 2005). Les mécanismes moléculaires de la carcinogénèse induite par cet ETM ne sont pas encore compris. On peut cependant citer que la régulation de la signalisation cellulaire est altérée par le Cd, ainsi que les mécanismes de réparation et d'acquisition d'une résistance apoptotique (Goyer *et al.*, 2004).

## **I.2.2. Le zinc**

Le zinc est un élément chimique, de symbole Zn et de numéro atomique 30 (Figure n° 20 Annexe 1). Dans la nature on ne le trouve pas à l'état libre, mais sous forme d'oxyde de zinc (ZnO), de silicates (2ZnO, SiO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O), de carbonates de zinc (ZnCO<sub>3</sub>) (Mahan,

**1987).** L'état d'oxydation unique du zinc est +2 (appelé ion zincique), ainsi la géochimie du zinc est relativement peu complexe et l'on note un comportement chalcophile assez marqué par une association fréquente avec le soufre (**Mahan, 1987**).

### **I.2.2.1 Les sources du zinc**

#### **a. Les sources naturelles :**

Le zinc est principalement sous forme de sulfure (sphalérite), il 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 mères sableuse. Il entre naturellement dans l'atmosphère à partir du transport par le vent de particules du sol, des éruptions volcaniques, des feux de forêts et d'émission d'aérosols marins (**Amirad, 2011**).

#### **b. Les sources anthropiques :**

Les apports anthropiques de zinc dans l'environnement résultent des activités minières et industrielles, traitement du minerai (raffinage, galvanisation du fer), transport routier (consommation des carburants et huile moteur, usure des pneumatiques et des freins, abrasion des routes), fabrication de gouttières (piles électriques, pigments, matières plastiques, caoutchouc) et les épandages agricoles (**Amirad, 2011**).

### **I.2.2.2. Les effets du zinc sur la santé humaine**

Le zinc est l'un des oligo-éléments les plus abondants chez l'homme (besoins 15 mg/jour) car il est essentiel pour la croissance et la survie du corps humain (**Foster et al., 2010**). Il est impliqué dans le fonctionnement de plus de 300 enzymes intervenant dans le métabolisme, et garant de la stabilité et de l'activité de certaines hormones peptidiques tel que l'insuline (**Gilmour et al., 2006**).

Le zinc est l'un des ETM les moins toxiques car il ne présente aucun risque tératogène, mutagène ou cancérigène. Si les signes digestifs aigus n'apparaissent qu'à dose élevée, une anémie sévère par interaction avec le cuivre peut survenir (**Gunnar et al., 2007**).

En revanche les fortes concentrations de cet élément dans le corps humain affectent le métabolisme des lipoprotéines, ce qui augmente les risques cardiovasculaire (**Foster et al., 2010**). Le zinc provoque aussi des maladies coronariennes, hématologiques, respiratoires (**Gilmour et al., 2006**) et dégradent le pancréas (**Perez-Quintanila et al., 2007**).

### **I.2.3. Le cuivre**

Le cuivre est un élément chimique, de symbole Cu et de numéro atomique 29 (**Figure n° 20 Annexe 1**). Il est extrait d'une grande variété de minerais et il est présent dans la nature sous forme sulfuré comme la Covellite (CuS), la Chalcocite(Cu<sub>2</sub>S), la Chalcopyrite(CuFeS<sub>2</sub>), et la Bornite (Cu<sub>3</sub>FS<sub>3</sub>). Ou sous forme oxydé comme le Malachite(CuCO<sub>3</sub>OH<sub>2</sub>), la Chrysocolle(CuSiO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>O) et la Chalcanthile(CuSO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>O) (**Amirad, 2011**).

#### **I.2.3.1. Les sources du cuivre**

##### **a. Les sources naturelles :**

Le cuivre est présent dans l'environnement de manière ubiquiste. Sa concentration dans l'écorce terrestre est estimée à environ 70 mg/kg. Il est présent dans la chalcopyrite à 34,5 %, sa teneur est de 0,01 % dans les roches volcaniques et de 0,0055 % dans les roches cristallines. 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 (**Amirad, 2011**).

##### **b. Les sources anthropiques :**

Les principales sources anthropiques du cuivre sont l'industrie du cuivre et des métaux en général, le transport routier (usure des plaquettes de freins) et ferroviaire (usure des caténaires), l'industrie du bois, l'incinération des ordures ménagères, la combustion de charbon, d'huile et d'essence, les boues des usines de traitement des eaux usées, et la fabrication de fertilisants (phosphate). Le milieu le plus exposé au cuivre est le sol, 97 % du cuivre libéré dans l'environnement s'y retrouve, contre seulement 3 % dans les eaux et 0,04 % dans l'air (**Amirad, 2011**).

### **I.2.3.2. Les effets du cuivre sur la santé humaine**

Le cuivre à faibles doses est un oligo-élément indispensable à la survie du corps humain (Alloway et Ayres, 1997). Il est impliqué dans de nombreuses fonctions physiologiques : croissance du fœtus et du nouveau-né, synthèse de l'hémoglobine, développement des tissus de connexion, en particulier dans le système cardiovasculaire, et le maintien des fonctions immunitaires (Gilmour et al., 2006).

Cependant l'excès du cuivre dans le corps humain peut provoquer de différentes maladies comme la maladie de Wilson qui se manifeste quand l'organisme humain reçoit des quantités importantes de cet élément chimique, et le foie devient incapable de stocker son excès qui s'accumule ensuite dans le cerveau et dans la cornée de l'œil (Karl et al., 2011). Il provoque aussi des radicaux libres responsables de lésions cellulaires au niveau de l'ADN et d'organites tels que les mitochondries ou les lysosomes (Bisson et al., 2005).

### **I.3. Les voies d'assimilation transmembranaire des ETM**

Lorsqu'un polluant pénètre dans un organisme, quel que soit sa voie d'entrée, oral, pulmonaire, branchial, ou cutané, il parvient dans un premier temps dans la circulation générale (sang ou son équivalent). Puis, à partir de ce liquide interne il se distribue dans les différents tissus et organes. Comme les divers milieux biologiques sont aqueux à plus de 90, les molécules doivent avoir un certain degré d'hydrosolubilité pour pouvoir se déplacer. Le déplacement dans l'organisme suppose aussi le passage de multiples barrières membranaires. Les transports peuvent être passifs par diffusion simple (les canaux protéiques et les protéines de transports) qui ne concerne que les molécules liposolubles telles que les insecticides organochlorés et organophosphorés. Ils peuvent aussi être actifs nécessitant de l'énergie. Les macromolécules et les particules solides des polluants pénètrent dans la cellule grâce à la pinocytose et la phagocytose (Amirad, 2011).

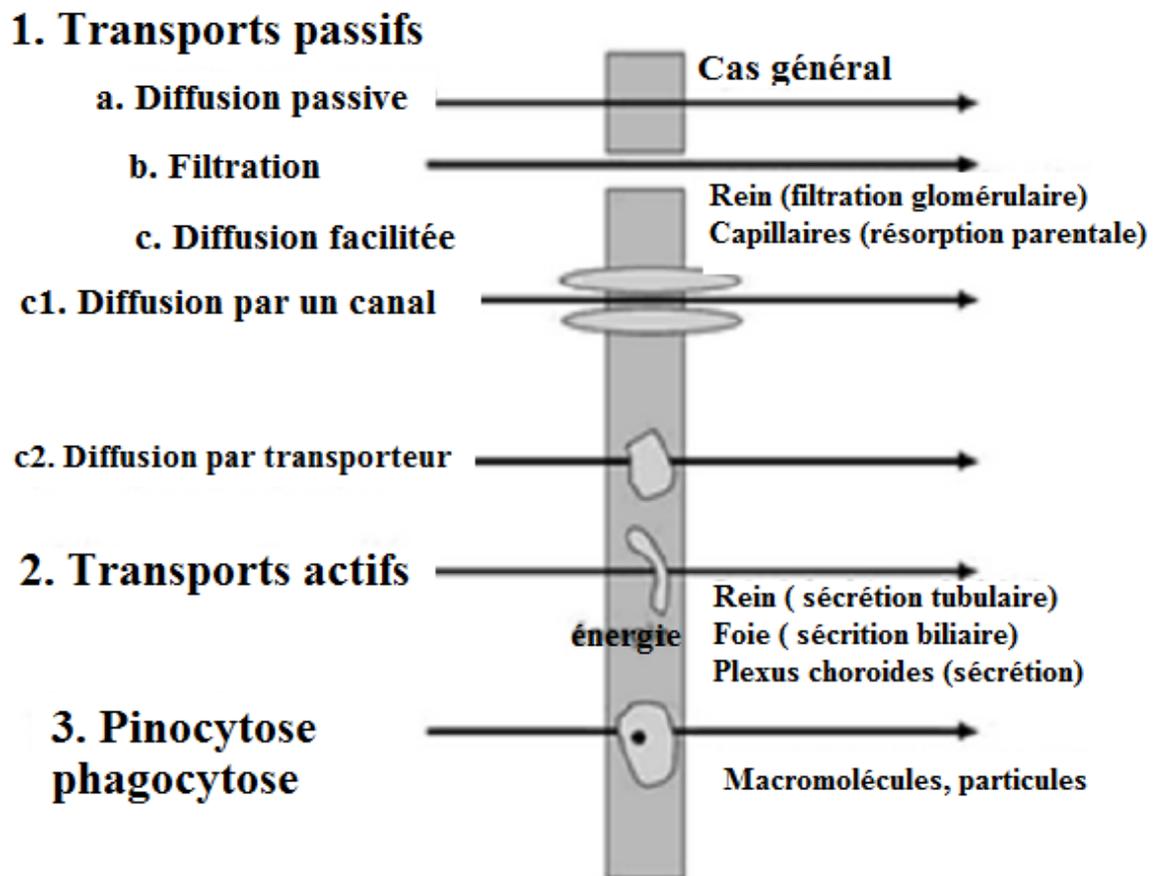


Figure n° 1 : Les voies d'assimilation transmembranaire des polluants (Amirad, 2011).

## I.4. Mécanismes moléculaires de la toxicité des ETM

### I.4.1. Effets sur la membrane cytoplasmique

La membrane cytoplasmique représente la première barrière pour les métaux au niveau de la cellule. Il a été démontré qu'en se liant aux protéines cytoplasmiques et aux phospholipides, les métaux engendrent une altération de leurs structures ainsi que de leurs fonctions (Evtushenko et *al.*, 1986). L'un des effets le plus important des cations métalliques tel que le cadmium et le cuivre est l'inhibition de l'activité des ATP ases Na-K dépendantes (Bouquegneau et Gilles, 1979).

### I.4.2. Effets sur le noyau

Une fois dans la cellule, les métaux vont rapidement s'accumuler dans le noyau (Bryan et Hidalgo, 1976). A ce niveau, ils vont stimuler la synthèse d'ARNm codant pour les métallothionéines (MTs), inhiber l'activité de l'ARN polymérase I et II responsables de la

synthèse de l'ARNr et l'ARNm respectivement, altérer la structure et le métabolisme de l'ADN et causer des anomalies au niveau des chromosomes (**Viarengo et al., 1982**).

#### **I.4.3. Effets sur le système vacuolaire lysosomal**

L'exposition au Cu ou au Cd engendre une déstabilisation au niveau des membranes des lysosomes, organites cellulaires assurant le catabolisme des macromolécules, suivi d'une augmentation du catabolisme protéique (**Glaumann et Ballard, 1987**).

#### **I.4.4. Effets sur les mitochondries**

La capacité des mitochondries à accumuler les éléments traces métalliques a pour conséquence la perturbation de la fonction mitochondriale en altérant les membranes mitochondriales par la voie de la peroxydation lipidique et en augmentant la perméabilité aux polypeptides ce qui entraîne une perturbation au niveau du gradient protonique responsable de la synthèse d'ATP (**Viarengo, 1989**).

#### **I.4.5. Effets sur le réticulum endoplasmique**

Il a été démontré que les métaux lourds altèrent la distribution des ribosomes entre le cytosol et le réticulum endoplasmique. Au niveau des cellules saines, très peu de ribosomes libres sont présents dans le cytosol, la plupart se présentent sous la forme de polyribosomes ou attachés au réticulum endoplasmique (**Viarengo, 1989**). Une exposition au cadmium provoque une augmentation du nombre des ribosomes libres et une diminution du nombre des polyribosomes ce qui amène à une diminution de la synthèse protéique (**Viarengo, 1989**).

### **I.5. Effet des ETM sur les microorganismes du sol**

Les bactéries du sol sont capables de métaboliser tous les composés naturels et anthropique présents dans le sol. Certaines étapes clé du cycle des éléments ne peuvent d'ailleurs être réalisées que par les bactéries. Leur disparition ne permet donc plus de garantir à long terme la fertilité du sol (**Torsvik et Ovreås, 2002**).

C'est pourquoi, l'impact écologique des ETMs sur les communautés bactériennes telluriques a fait l'objet de très nombreuses études. Parmi les impacts des ETM sur les communautés microbiennes :

La dénaturation des protéines ou de destruction de l'intégrité de la membrane cellulaire affectent la croissance, la morphologie et le métabolisme de ces microorganismes (Leita et al., 1995).

Le stress entraîne la disparition des populations les plus sensibles et subséquemment l'adaptation des populations les plus résistantes. (Díaz-Roviña et Bååth, 1996).

**Tableau. I :** concentration en éléments métalliques dans le sol : seuil fixé par la norme AFNOR

ETM	Seuil AFNOR mg/kg <sup>-1</sup>
Cadmium	2
Zinc	300
Cuivre	100

### **I.6. Les végétaux: principale voie d'entrée des éléments traces métalliques dans la chaîne alimentaire**

Les végétaux sont la principale voie d'entrée des ETM dans la chaîne alimentaire. La pollution, à la fois de l'air et des sols, expose les végétaux à des concentrations croissantes de ces polluants (Mensch et Baize, 2004). En effet, entre 1 et 5% des produits cultivés de certaines espèces végétales dépassent la concentration maximale réglementaire en ETM (Mensch et Baize, 2004). L'analyse des concentrations des métaux lourds dans les produits alimentaires a montré que la contribution des végétaux dans la contamination alimentaire est très importante, dépassant même 60 % de la totalité ingérée dans le cas du cadmium pour des individus non-fumeurs, ce qui démontre l'intérêt d'étudier et de contrôler l'accumulation des ETM dans les végétaux (Leblanc et al., 2004).

Plusieurs études confirment que la laitue fait partie des espèces comestibles les plus accumulatrices d'ETM. Elle est donc un bon modèle d'étude, non seulement pour étudier le déterminisme de l'accumulation de ces éléments chimiques dans les tissus végétaux, mais aussi pour élaborer des stratégies d'amélioration variétale limitant cette contamination dans les espèces cultivées (Mensch et Baize, 2004; Alexander et al., 2006).

# CHAPITRE II

Synthèse

bibliographique

Sur l'escargot

*Helix aspersa*

## II.1. Présentation et classification de l'espèce (*Helix aspersa*)

L'escargot *Helix aspersa* (Müller, 1774) est un mollusque gastéropode, pulmoné terrestre, aussi nommé *Cantareus aspersus*, *Cornu aspersum*, *Criptomphalus aspersus* (Barker, 2001).

Il appartient à l'embranchement des mollusques, animaux à corps mous et dépourvus de squelettes. Il fait partie de la classe des gastéropodes, sa masse viscérale présente une torsion de 180° par rapport au pied d'où une asymétrie de certains de ses organes (Bonnet et al., 1990). Il possède un poumon (ou cavité palléale), ce qui le situe dans le super ordre des Pulmonés. Il appartient à l'ordre des Stylomatophores, caractérisés par des yeux à l'extrémité des tentacules oculaires. Son corps entier peut se loger à l'intérieur de la coquille enroulé en spires ce qui caractérise la famille des Hélicidés (Daguzan, 1981); sa spirale tourne généralement dans le sens des aiguilles d'une montre (Figure n° 2).

Selon Bonnet et Vrillon (1990) sa position systématique est la suivante:

- Règne: Animal.
- Embranchement : Mollusques.
- Classe : Gastéropodes.
- Sous -classe : Euthyneurs.
- Super ordre : pulmonés.
- Ordre: stylommatophores.
- Famille: Helicidaes.
- Genre : *Helix*.
- Espèce : *Helix aspersa*.

## II.2. Anatomie générale de l'escargot

D'après Bonnet et al. (1990) le corps de l'escargot est mou et visqueux en raison de la présence du mucus. Il est constitué de : la tête, le pied, la masse viscérale et la coquille (Figure n° 3).

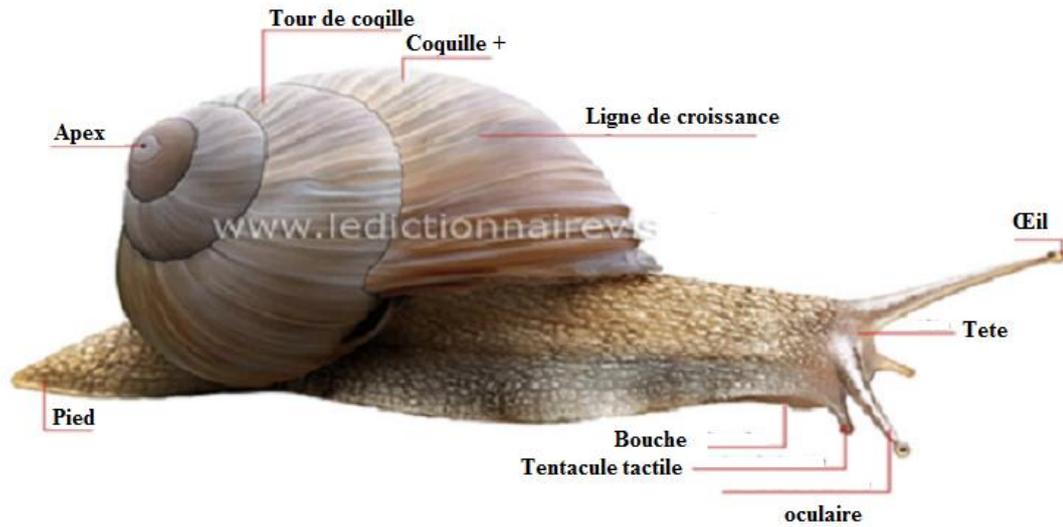


Figure n° 2 : Morphologie de l'escargot *Helix aspersa* (source internet)

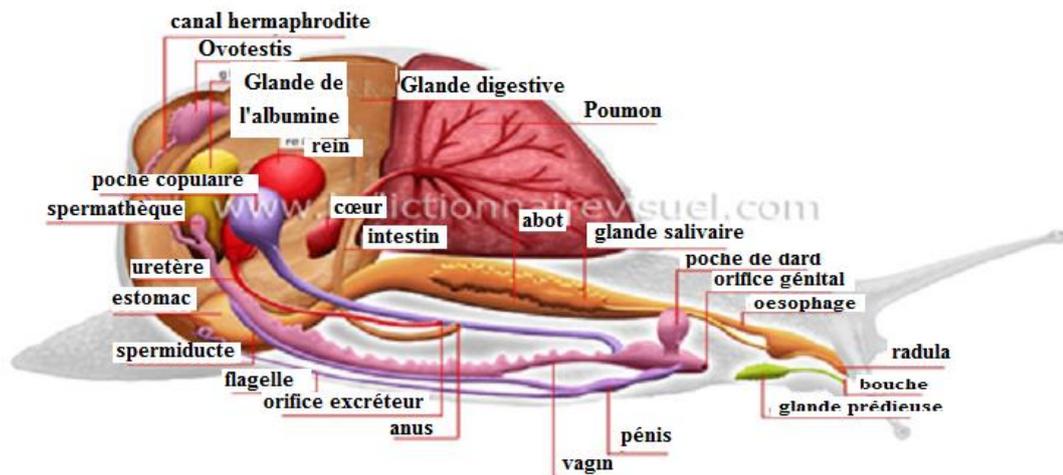


Figure n° 3 : Anatomie de l'escargot *Helix aspersa* (source internet)

### **II.3. La biologie de l'espèce *Helix aspersa***

#### **II.3.1. Habitat**

*Helix aspersa* est un escargot ubiquiste, pouvant s'adapter à des biotopes, des sols et des climats variés. Il préfère les milieux ouverts. Il est nocturne, plus en activité pendant la nuit et le matin avec la présence d'humidité, mais peut émerger pendant le jour après la pluie (Gomot et al., 1989).

#### **II.3.2. Alimentation**

L'escargot *Helix aspersa* est phytophage (phyllophage et succivore), carpophage (ou frugivore), détritivore et parfois cannibale. Il peut s'attaquer aux plantes cultivées des jardins, causant parfois de gros dégâts aux récoltes (Charrier, 1995).

#### **II.3.3. Croissance**

Gomot (1997) rapporte que la croissance d'*Helix aspersa* se résume en quatre phases bien définies : phase infantile, phase juvénile, phase de maturation sexuelle et la phase adulte. Et sa durée de vie moyenne en milieu naturel est de 6 à 7 ans.

#### **II.3.4. Hibernation et estivation**

Les escargots ne peuvent pas survivre lorsque les conditions de l'environnement sont défavorables ; ils doivent alors adopter une stratégie conservatoire, qui consiste à se murer dans la coquille derrière l'*opercule* ou l'*épiphragme* (Coeurdassier et al., 2002).

#### **II.3.5. Reproduction**

La période de reproduction chez les Helicidae, dans notre région commence au début du mois d'octobre et dure jusqu'à mi-avril. L'accouplement implique une fécondation réciproque par échange de spermatophores entre les deux partenaires. Cette règle n'est cependant pas absolue et certains individus se comportent soit comme mâle soit comme femelle (Tafoughalt-Benbellil, 2011).

#### II.4. L'utilisation des escargots *Helix aspersa* en écotoxicologie

Selon la définition générale de **Spellerberg (2005)**, un indicateur biologique peut être défini comme une espèce reflétant l'état du milieu dans lequel elle vit. Il doit pour cela répondre à un certain nombre de critères (**Edwards et al., 1996**) :

- Participer activement au fonctionnement de l'écosystème;
- Être sédentaire, largement distribué et facile à identifier et à échantillonner;
- Être bioaccumulateur;
- Être tolérant aux fortes contaminations de l'environnement;
- L'écologie et la physiologie de cette espèce doivent être connues.

Les mollusques gastéropodes, notamment les escargots *Helix aspersa*, sont connus pour leur grande capacité à accumuler les éléments traces métalliques, à savoir le Cd, le Cu, le Pb, et le Zn. Cette priorité a été mise à profit pour utiliser les escargots comme bioindicateurs de pollution (**Martin et Coughtrey, 1977**).

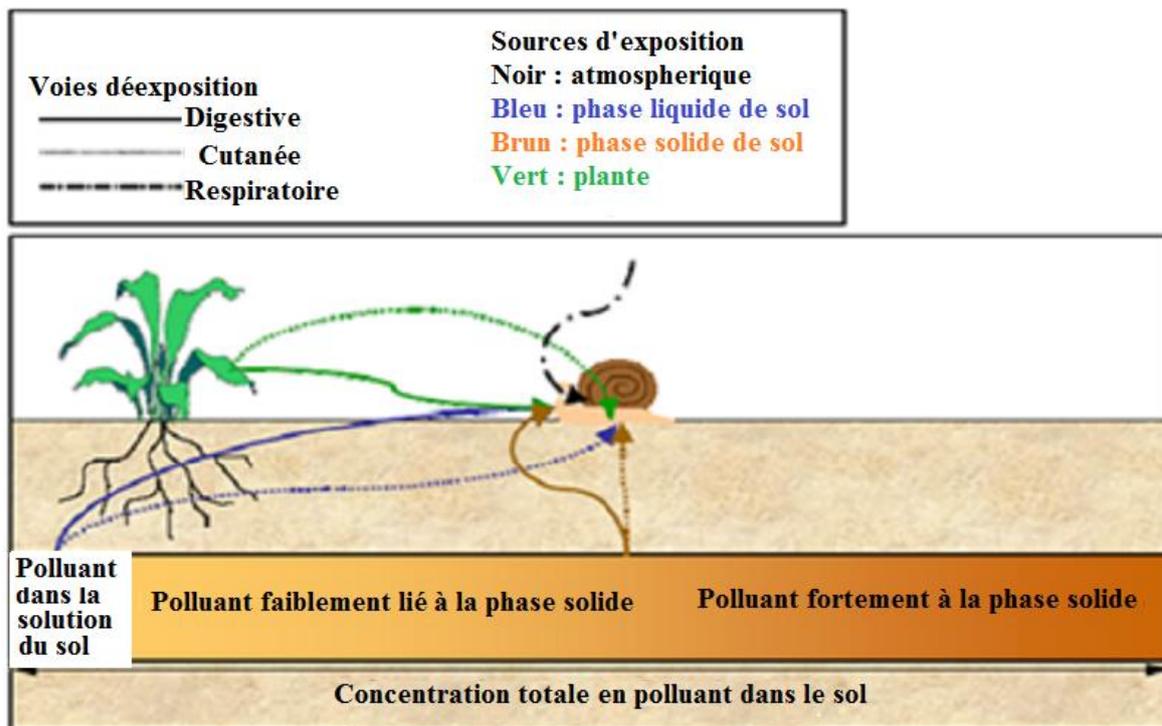
Ils remplissent les critères précédemment développés et ils sont reconnus comme des indicateurs écologiques pertinents car :

- Ils représentent une biomasse significative au sein de la communauté des invertébrés du sol (**Dallinger et al., 2001**).
- Ils occupent une situation privilégiée à l'interface sol-plante-atmosphère (**Barker, 2001**).
- Ils intègrent des sources et voies de contamination multiples (**Menta et Paris, 2001**).
- Ils possèdent des capacités de bioaccumulation importantes pour de nombreux polluants métalliques (**Viard et al., 2004**).
- Ils constituent un élément des réseaux trophiques qui contribue au transfert des polluants du sol et /ou des plantes aux prédateurs (**Scheifler et al., 2002**).

### II.4.1. Voies d'expositions et d'absorptions des ETM par l'organisme

A l'interface sol-plante-atmosphère, l'escargot intègre plusieurs sources de contamination accessible *via* différentes voies d'exposition (**Figure n° 4**) :

- Digestive, par ingestion de nourriture (plantes et particules du sol) (**Gomot et al., 1989**).
- Cutanée, par diffusion des polluants du sol à travers l'épithélium du pied (**Coeurdassier et al., 2002**).
- Respiratoire par inhalation de gaz et/ou de particules atmosphériques (**Regoli et al., 2006**).



**Figure n°4** : Voies et sources d'exposition de l'escargot aux polluants (**Scheifler et al., 2002**).

#### **II.4.2. Sites d'accumulations des éléments traces métalliques dans l'organisme**

Le principal organe d'accumulation des ETM est l'hépatopancréas. Lorsque l'organisme est exposé à ces polluants, l'hépatopancréas contient 70% à 90% de la quantité totale accumulée (**Dallinger et Wieser, 1984**).

Le pied et l'intestin dit « organes secondaires » jouent un rôle important dans le stockage de ces ETM, soit de façon temporaire, ces ETM étant redirigé ensuite vers l'hépatopancréas, soit de façon définitive pour être excrété. Seul le plomb s'accumule significativement dans la coquille. Le cuivre est stocké de façon plus homogène dans les différents tissus (**Dallinger et Wieser, 1984**).

**CHAPITRE III**

**MATERIELS**

**ET**

**METHODES**

L'intérêt essentiel de cette étude consiste à déterminer les doses en éléments traces métalliques, en l'occurrence, le cadmium, le zinc et le cuivre au niveau du pied et de la masse viscérale des escargots appartenant à l'espèce *Helix aspersa*. Les individus concernés par cette étude ont été échantillonnés sur des sites exposés à des sources de contamination différentes. Ces expérimentations ont pour but essentiel l'évaluation et la comparaison des niveaux de contamination par les ETM entre les différents sites de prélèvement.

### III.1. Stations de prélèvement

Tous les prélèvements ont été effectués dans la région de Bejaia, aux niveaux de dix stations différentes et sans méthode d'échantillonnage précise (**Figure n° 5**).

#### III.1.1. Beni Maouche (S1) :

Le premier site concerné par cette étude est un endroit naturel, loin de toute activité industrielle ou automobile. Il est situé dans la commune de Beni Maouche (Latitude : 36°30'40.54"N, Longitude : 4°45'42.73"E). Connue pour son agriculture très conservatrice car les paysans de cette zone refusent d'introduire même des plants élevés en pépinière aux fins d'éviter la moindre pollution génétique de leur parc figuicole. Elle est connue par une figuiculture composée de variétés exclusivement utilisées dans le séchage. Cet attachement des populations locales aux variétés ancestrales et aux pratiques culturelles traditionnelles leur a valu la production d'une figue sèche hautement biologique et qui sera revêtue d'un label (Appellation d'Origine Contrôlée) dans les prochains jours (**Figure n° 5**).

#### III.1.2. Chellata (S2) :

Le deuxième site de prélèvement est un espace montagnard situé dans la commune de Chellata à une altitude dépassant les 1 000m sur le versant sud du Djurdjura (Latitude : 36°30'38.01"N, Longitude : 4°30'37.14"E). Loin de toute activité industrielle, Les populations locales pratiquent une agriculture vivrière pour laquelle, ils n'utilisent guère de fertilisants autres que le fumier produit dans leurs bergeries (**Figure n° 5**).

#### III.1.3. Ighil Nacer (S3) :

Le troisième prélèvement a été effectué dans un endroit naturel, situé dans la commune d'Akbou (Latitude 36°27'25.57"N, longitude 4°55'21.02"E). Cette station est

loin de toute activité anthropique ou automobile. Là aussi la pratique agricole est une agriculture de subsistance donc n'utilisant aucun intrant d'origine chimique (**Figure n° 5**).

#### **III.1.4. Ighil Ialouanene (S4) :**

Le quatrième site concerné par cette étude est un endroit naturel, loin de toute activité humaine (Latitude : 36°38'6.52"N, Longitude : 4°55'21.02"E). Il est situé dans la commune d'Amizour caractérisé par une habitation éparsée et parsemée d'oliviers (**Figure n° 5**).

#### **III.1.5. Sidi Ahmed (S5) :**

Le cinquième site concerné par les prélèvements est un espace vert situé entre les immeubles d'un quartier populaire de la ville de Béjaia (Latitude 36°45'56.83"N, longitude 5°3'25.64"E). Cette partie de la ville, ornée d'une forêt de pin d'Alep d'environ dix-sept hectares qui purifie plus ou moins l'atmosphère, est connue par une forte circulation automobile (**Figure n° 5**).

#### **III.1.6. El Kseur (S6) :**

Les individus du sixième prélèvement proviennent d'un site situé sur les abords de la route nationale N°12 dans la région d'El Kseur (Latitude 36°40'30.85"N, longitude 4°52'27.93"E), dont le trafic routier est des plus importants. Cette partie de la wilaya est connue par une agriculture des plus intensives car nous retrouvons à l'amont, la ferme des Amzal spécialisée dans la céréaliculture et l'ensilage et à l'aval un verger d'agrumes (**Figure n° 5**).

#### **III.1.7. Taharacht (S7) :**

Ce septième site de prélèvement est situé en bordure de la route nationale N° 26 dans la région d'Akbou (Latitude 36°29'2.87"N, longitude 4°33'40.26"E), connue par une circulation et une activité industrielle très élevées. Il s'agit là, du plus important pôle agroalimentaire de la région car elles y sont concentrées les grandes firmes spécialisées dans le lait et ses dérivées ainsi qu'un certain nombre de ballastières et de fabriques de matériaux de construction sur le lit de l'oued Soummam qui en fait limite au Sud (**Figure n° 5**).

#### **III.1.8. Champ Thawra Ziraia (S8) :**

Le champ Thawra Ziraia est situé dans la commune d'Amizour à 24km de la ville de Béjaia (Latitude : 36°41'33.16"N, longitude : 4°56'28.90"E). C'est un champ d'agrumes,

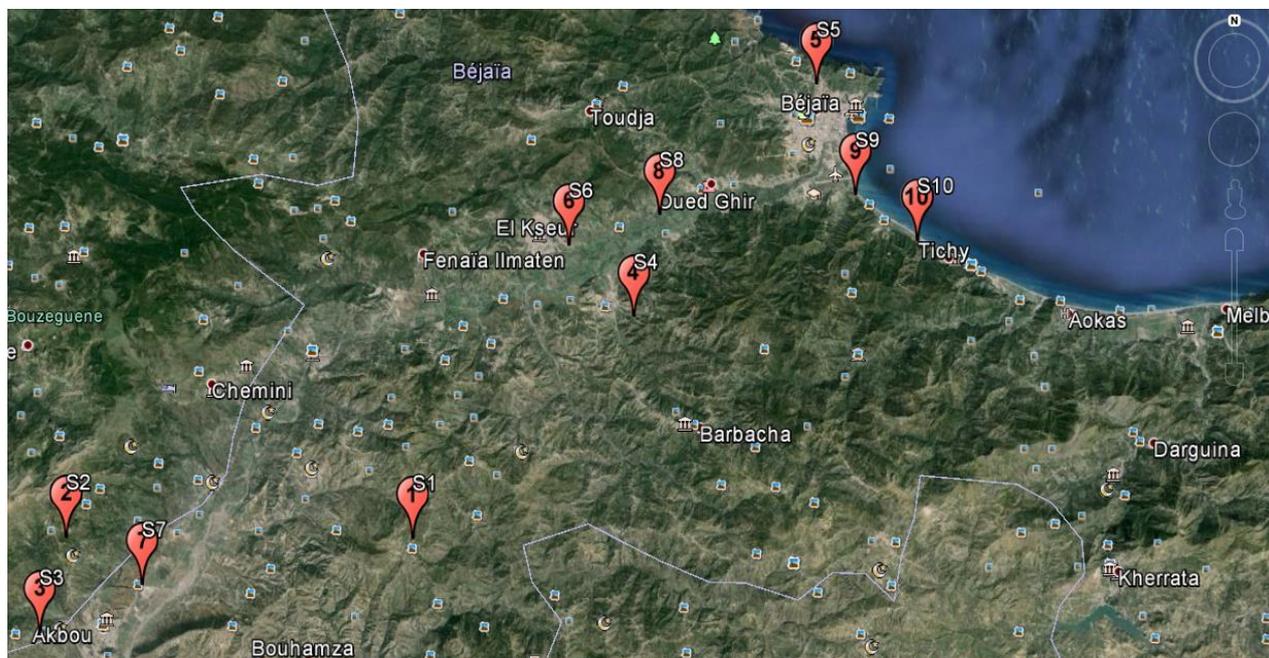
réputée par la production des plus belles oranges dans la région de Bejaia. Au niveau de cette ferme, plusieurs produits phytosanitaires sont utilisés pour lutter contre les différents ravageurs comme l'Ultracide, le Decis, le Thiodon, l'ovipron et le NPK monitorat (**Figure n° 5**).

### III.1.9. Champ agricole Boukhelifa (S9) :

Le neuvième échantillon est prélevé dans un champ agricole situé dans la commune de Boukhelifa dans la wilaya de Bejaia (Latitude : 36°42'14.23"N, longitude : 5° 5'9.33"E), c'est une ferme de laitue ou plusieurs pesticides sont couramment utilisés en lutte phytosanitaire comme le décis et la bouillie bordelaise (**Figure n° 5**).

### III.1.10. Champ agricole Tichy (S10) :

Le dixième site concerné par cette étude est un champ agricole caractérisé par une agriculture menée en intensive. Il est situé dans la commune de Tichy (Latitude : 36°40'42.06"N, Longitude : 5° 7'54.40"E). Connue pour son activité balnéaire donc une grande fréquentation en haute saison qui induit comme même certains désagréments au milieu local ne serait-ce par les fumées dégagées par les véhicules (**Figure n° 5**).



**Figure n° 5** : Cartographie des différentes stations d'échantillonnage (**Google Earth**).

## III.2. Matériels utilisés

### III.2.1. Matériel biologique

Le dosage d'éléments traces métalliques dans ce travail, est réalisé sur des escargots appartenant à l'espèce *Helix aspersa* considérée comme étant l'un des bio-indicateurs de pollution les plus utilisés en éco-toxicologie (voir la partie bibliographique).

Dans chaque station 15 individus sont récoltés et sont immédiatement transportés au laboratoire dans des boites en plastiques étiquetées pour les préparer au dosage.

### III.2.2. Matériel de laboratoire

Pour les besoins de notre travail nous avons utilisé :

Des boites en plastiques, pinces, ciseaux, boites pétries, étuve, broyeur, éprouvettes, entonnoirs, pipettes en verre jaugées, tubes à essais, tubes de minéralisation, balance électrique, papier absorbant, papier filtre, parafilm, appareil de dosage de métaux lourds « spectrophotomètre d'absorption atomique ».

### III.2.3. Réactifs

- Acide nitrique HNO<sub>3</sub> 75%,
- Eau distillée.

## III.3. Préparation des échantillons

### III.3.1. Période de jeûne :

Une fois au laboratoire, les individus sont placés dans des boites trouées et laissés pour une période de jeûne de 48 heures pour les vider de leurs excréments (**Figure n° 6**).



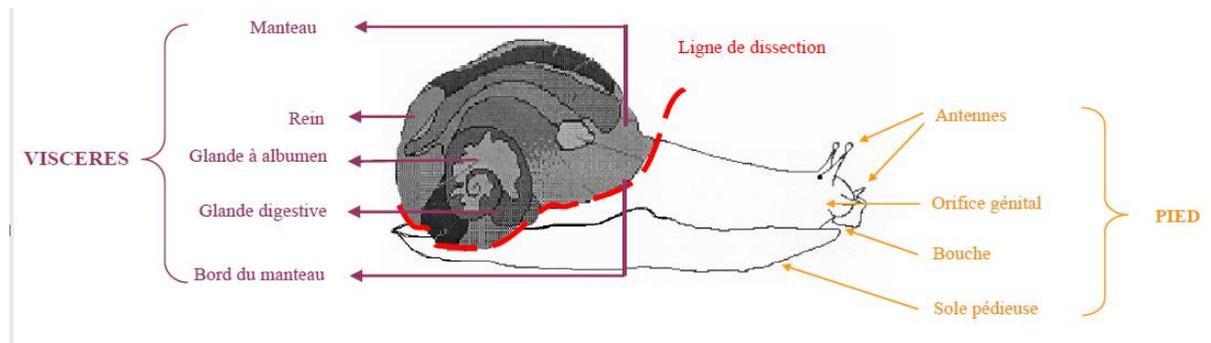
**Figure n° 6** : Escargots en période de jeûne.

### III.3.2. La congélation :

Après la période de jeûne, les individus sont pesés puis sacrifiés par congélation à  $-20^{\circ}\text{C}$  pendant 24 heures.

### III.3.3. La dissection :

Après décongélation, les escargots sont disséqués (**Figure n° 7**) à l'aide de ciseaux et de pinces. La dissection est faite dans le but de séparer les pieds et les viscères de chaque individu (**Figure n° 8**).



**Figure n° 7 :** Anatomie d'*Helix aspersa* sorti de sa coquille, avec représentation de la ligne de dissection séparant le pied des viscères (**Viard, 2004**).



**Figure n° 8 :** Echantillons de pieds et de viscères après dissection.

### III.3.4. Le séchage :

Les parties ainsi prélevées (pieds et viscères) sont étalées sur des boîtes de Pétris et placées dans une étuve à une température de  $80^{\circ}\text{C}$  pour le séchage pendant 24h (**Figure n° 9**).



**Figure n° 9 :** Echantillons de pieds et de viscères après séchage.

### III.3.5. Le broyage :

Une fois séchés, les échantillons de pieds et de viscères, de chaque échantillon, sont finement broyés, dans le but de l'homogénéisation (**Figure n° 10**).

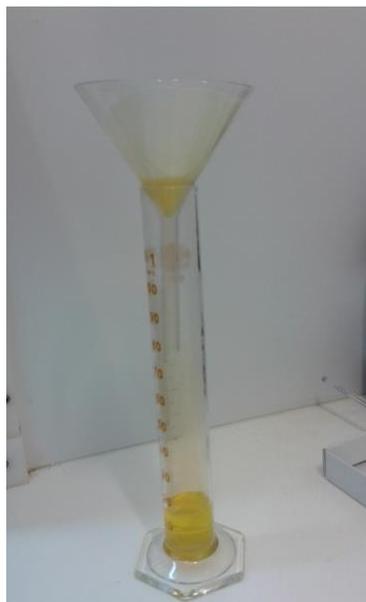


**Figure n° 10 :** Echantillons de pieds et de viscères après broyage.

### III.3.6. La Minéralisation :

L'étape de minéralisation est réalisée avec la méthode «attaque à acide chaud» en utilisant l'acide nitrique  $\text{HNO}_3$  75% pour éliminer la matière organique.

Dans un flacon, mettre 1g de matière organique broyée, ajouter 20ml d'acide nitrique  $\text{HNO}_3$ . Le flacon est ensuite chauffé à l'étuve à une température de  $100^\circ\text{C}$  pendant une durée de deux heures (**Figure n° 11**).



**Figure n° 11 :** Echantillons de la solution (matière organique +  $\text{HNO}_3$ ) après minéralisation.

### III.3.7. Le dosage :

Le dosage des ETM (Cd, Zn et Cu) a été réalisé avec la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA). Tous les dosages ont été effectués au niveau du laboratoire de génie des procédés « spectrophotométrie d'absorption atomique » (**Figure n° 12**).



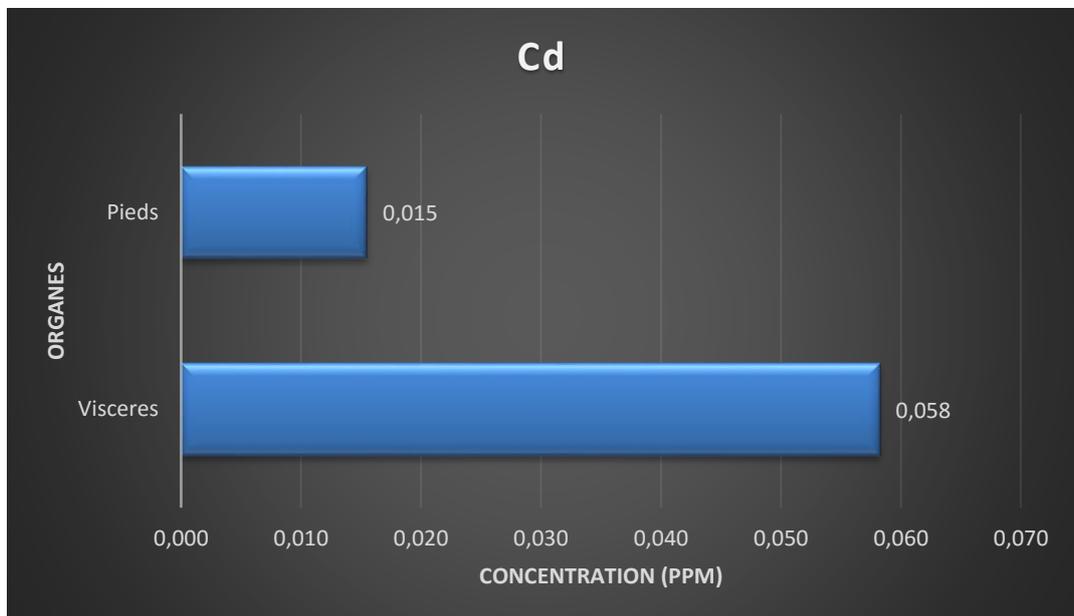
**Figure n° 12 :** Spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA).

**CHAPITRE VI**  
**RESULTATS**  
**ET**  
**DISCUSSION**

## VI.1. Comparaison entre la concentration en cadmium, en zinc et en cuivre dans les échantillons de pieds et de viscères de l'ensemble des individus prélevés

### VI.1.1. Concentrations en cadmium

Les concentrations moyennes, en cadmium, dans les pieds et les viscères, chez tous les escargots *Helix aspersa* concernés par cette étude sont représentées dans la **Figure n° 13 (Tableau II, Annexe 2)**.

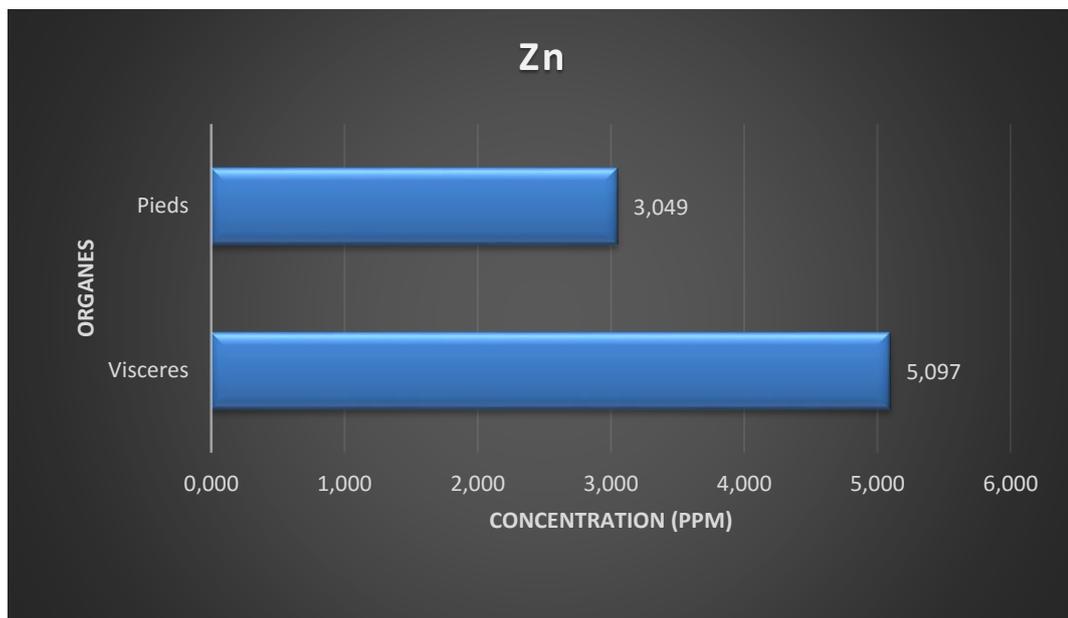


**Figure n° 13 :** Concentrations moyennes en cadmium dans les pieds et les viscères des escargots *Helix aspersa* étudiés.

La comparaison, à l'aide du test *t* de *student* (**Annexe 3**), révèle une différence significative (au seuil de 5%) entre la concentration en cadmium retrouvée au niveau des viscères et celle détectée dans les échantillons de pieds. En effet, ces données montrent que la dose moyenne en cadmium, retrouvée au niveau des viscères (0,058ppm) est plus élevée que celle retrouvée au niveau des pieds (0,015ppm) (**Figure n° 13**).

### VI.1.2. Concentration en zinc

Les concentrations moyennes, en zinc, dans les pieds et les viscères chez tous les escargots *Helix aspersa* concernés par cette étude sont représentées dans la **Figure n° 14** (Tableau III, Annexe 2).

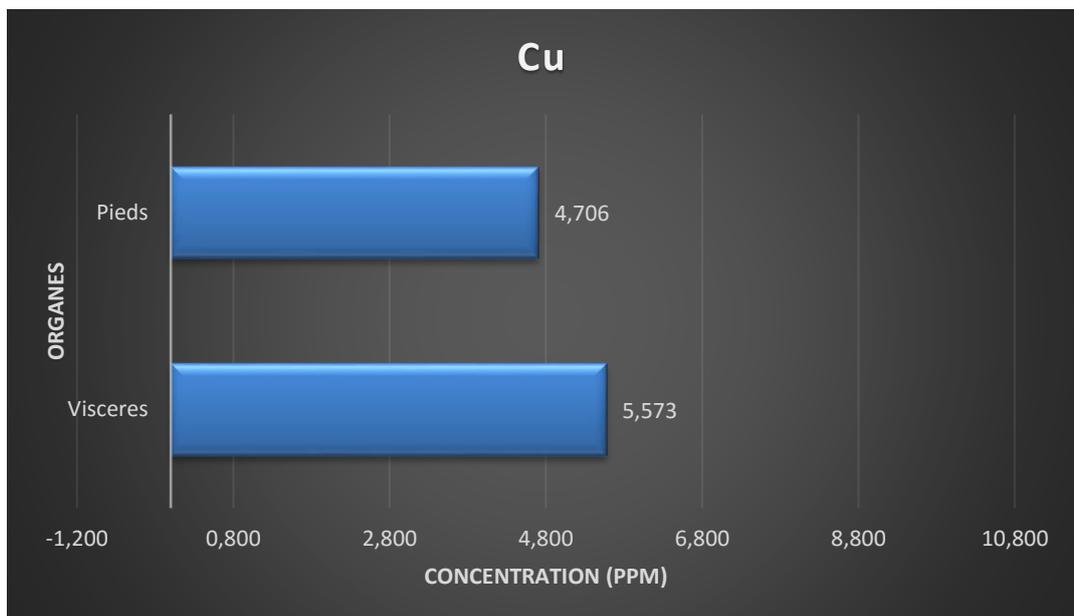


**Figure n° 14:** Concentrations moyennes en zinc dans les pieds et les viscères des escargots *Helix aspersa* étudiés.

La comparaison à l'aide du test *t* de *student* (**Annexe 3**), révèle une différence significative (au seuil de 5%) entre la concentration en zinc retrouvée dans les viscères et celle retrouvée dans les pieds de l'ensemble des escargots concernés par cette étude. Les données montrent une dose remarquablement élevée (5,097ppm) de cet élément chimique dans les viscères contre seulement (3,049ppm) dans les pieds (**Figure n° 14**).

### VI.1.3. Concentration en cuivre

Les concentrations moyennes, en cuivre, dans les pieds et les viscères chez tous les escargots *Helix aspersa* concernés par cette étude sont représentées dans la **Figure n°15** (Tableau IV, Annexe 2).



**Figure n°15** : Concentrations moyennes en cuivre dans les pieds et les viscères des escargots *Helix aspersa* étudiés.

La comparaison à l'aide du test *t* de *student* (**Annexe 3**), ne révèle aucune différence significative entre la concentration en cuivre retrouvée dans les viscères et celle détectée dans les pieds de l'ensemble des escargots *Helix aspersa* échantillonnés (**Figure n° 15**).

## Discussion

L'accumulation des éléments traces métalliques par les organismes invertébrés est le résultat des processus d'absorption, de distribution et de stockage (**Dallinger, 1993**). Lorsque les métaux sont absorbés, les gastéropodes terrestres ont une stratégie de non-régulation (**Notten et al., 2005**).

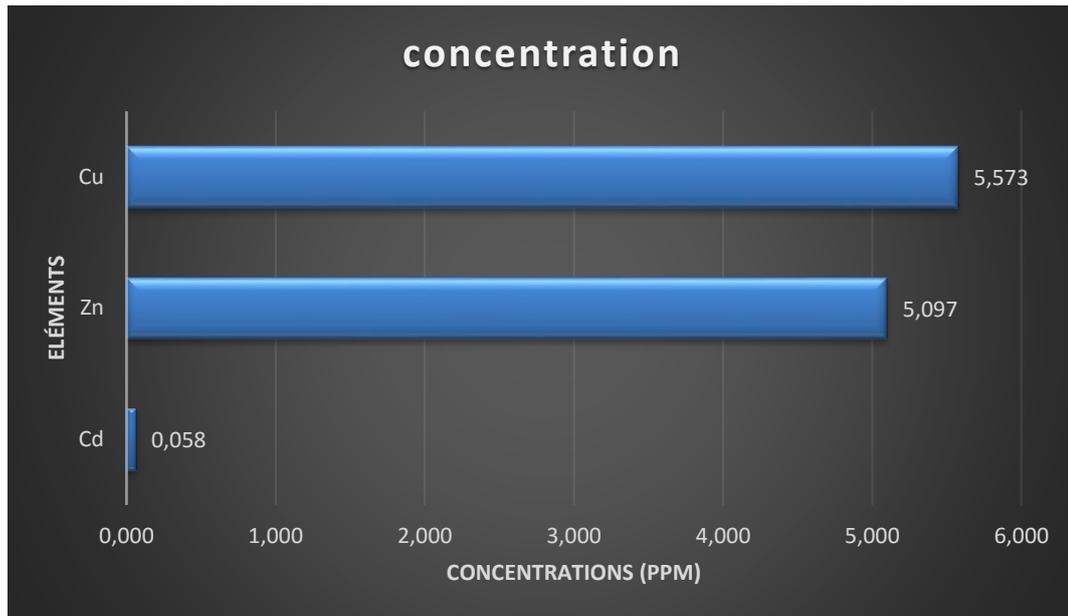
D'après les résultats de notre étude, le cadmium et le zinc sont stockés principalement dans les viscères. En effet les études de **Gomot (1998)**, sur la même espèce, indiquent que le principal organe accumulateur de métaux lourds est l'hépatopancréas. Généralement, le cadmium accumulé dans cet organe est majoritairement fixé à des protéines cytosoliques dont les propriétés sont proches des métallothionéines et dont la synthèse est induite par l'exposition des animaux à cet élément chimique (**Dallinger et al. 2000**). Le tube digestif joue aussi un rôle majeur dans le stockage du Cd (**Dallinger et Wieser, 1984**). **Chabicoovsky et al. (2003)**, rapportent également que les cellules environnantes telles que les cellules du rein participent à cette accumulation.

Cependant, nos résultats ne révèlent pas de différence entre la concentration en cuivre retrouvée dans les viscères et celle retrouvée dans les pieds. Ce résultat peut être expliqué par le fait que cet élément est stocké de façon très homogène dans les différents tissus de l'escargot (**Gomot et Pihan, 1997**). Par ailleurs, le rôle essentiel du zinc comme étant constituant de l'hémocyanine, pigment respiratoire des mollusques terrestres, définit cette régulation de stockage (**Coughtrey et Martin 1976**).

L'ensemble des résultats obtenus dans cette étude sont similaires à ceux trouvés par : **Grara et al.,(2012)**; **Viard (2004)**.

## VI.2. Variation des concentrations en cadmium, en zinc et en cuivre dans les viscères de l'ensemble des escargots *Helix aspersa* étudiés

Les concentrations moyennes en cadmium, en zinc et en cuivre dans les viscères de l'ensemble des escargots *Helix aspersa* étudiés sont représentées dans la **Figure n° 16** (Tableau V, Annexe 2)



**Figure n° 16:** Concentrations des moyennes en cadmium, en zinc et en cuivre dans les viscères de l'ensemble des escargots *Helix aspersa* échantillonnés.

Les résultats de la **Figure n° 16** montrent une grande variation dans les teneurs des trois métaux étudiés. En effet, la concentration la plus élevée étant celle du cuivre (5,573ppm), suivie de celle du zinc (5,097ppm), et enfin la concentration en cadmium qui est fortement inférieure aux autres (0,058ppm).

**Discussion**

Les escargots sont capables de mettre en évidence les concentrations en ETM de leur environnement quel que soit les conditions environnementales de leur milieu (**Viard, 2004**).

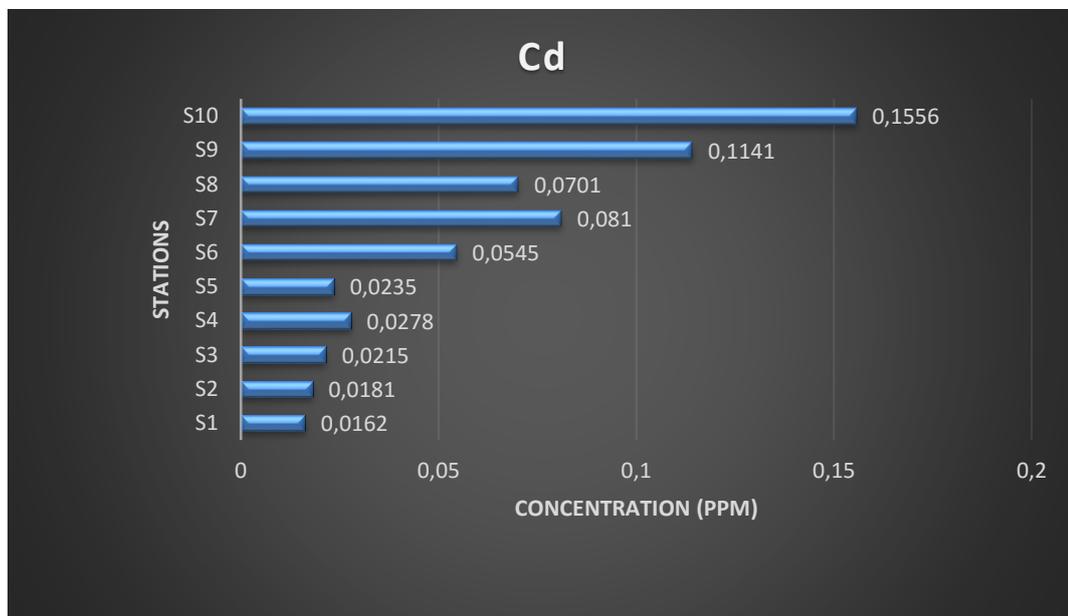
La variation des concentrations en ETM observée est probablement due à l'abondance des éléments et leurs clarkes dans la croûte terrestre (**Figure n ° 20 Annexe 1**).

Chez plusieurs espèces de gastéropodes, il a été démontré que le zinc s'accumule plus rapidement par rapport aux autres ETM, par conséquent, sa teneur est la plus élevée dans l'organisme (**D'silva et Kureishy 1978**), suivie de l'accumulation du cuivre puis le cadmium (**coughtrey et Martin 1977**), ce qui est comparable avec nos résultats.

### VI.3. Variation des concentrations en cadmium, en zinc et en cuivre dans les viscères des escargots *Helix aspersa* échantillonnés dans différentes stations

#### VI.3.1. Cadmium

Les concentrations en cadmium dans les viscères des escargots *Helix aspersa* dans les stations d'échantillonnage sont représentées dans la **Figure n° 17** (Tableau VI, Annexe 2)

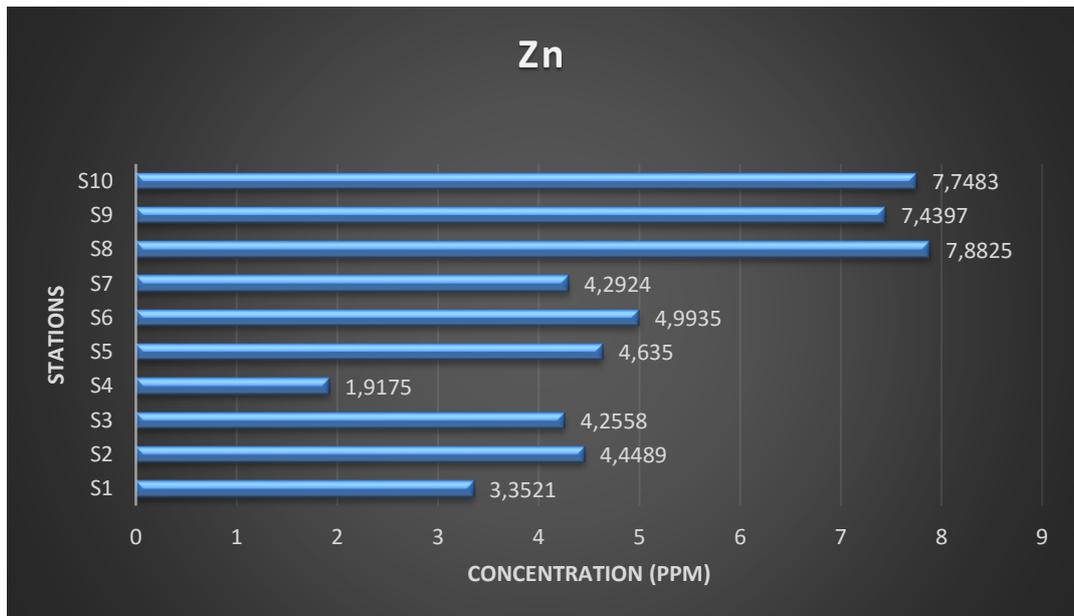


**Figure n° 17** : Les concentrations en cadmium dans les viscères des escargots *Helix aspersa* selon les stations d'échantillonnage.

Les concentrations en cadmium détectées dans les viscères des escargots prélevés dans les différentes stations varient entre 0,0162ppm et 0,1556ppm. Les concentrations les plus élevées sont celles enregistrées dans les stations S6, S7, S8, S9 et S10 et les plus faibles sont enregistrées aux niveaux des stations S1, S2 et S3 (**Figure n° 17**).

### VI.3.2. Zinc

Les concentrations en zinc dans les viscères des escargots *Helix aspersa* au niveau des dix stations d'échantillonnage sont représentées dans la **Figure n° 18** (Tableau VII, Annexe 2).

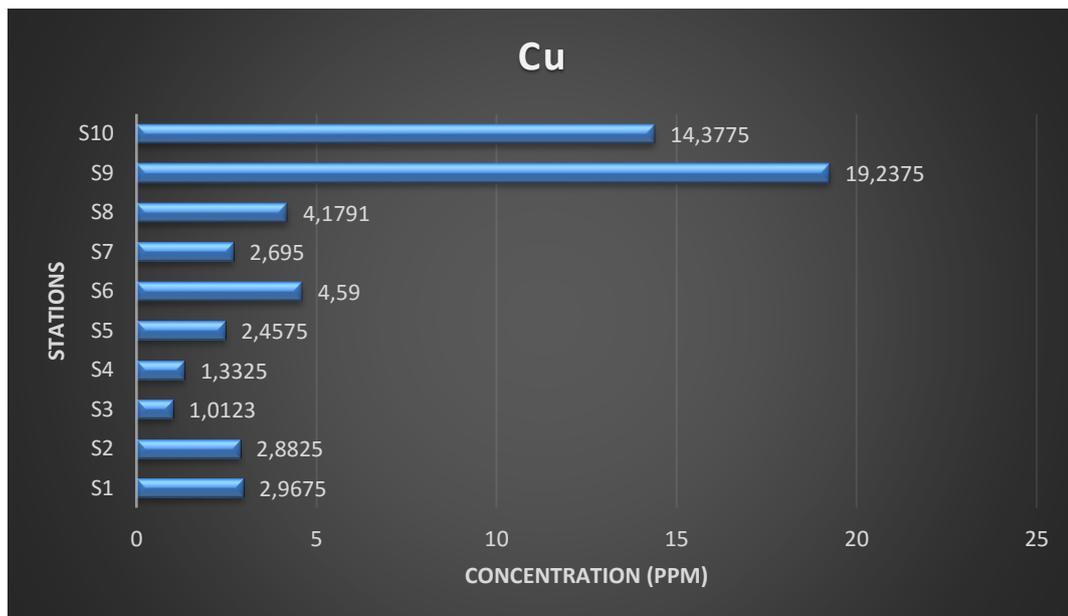


**Figure n° 18** : Les concentrations en zinc dans les viscères des escargots *Helix aspersa* selon les stations d'échantillonnage.

Les concentrations en zinc détectées dans les viscères des escargots prélevés dans les différentes stations varient entre 1,9175ppm et 7,8825ppm. Les concentrations les plus élevées sont enregistrées dans les stations S6, S8, S9 et S10 et les plus faibles sont enregistrées aux niveaux des stations S1, S3 et S4 (**Figure n° 18**).

### VI.3.3. Cuivre

Les concentrations en cuivre dans les viscères des escargots *Helix aspersa* au niveau des stations d'échantillonnage sont représentées dans la **Figure n° 19** (**Tableau VIII, Annexe 2**)



**Figure n° 19** : Les concentrations en cuivre dans les viscères des escargots *Helix aspersa* selon les stations d'échantillonnage.

Les concentrations en cuivre détectées dans les viscères des escargots prélevés dans les différentes stations varient entre 0,0123ppm et 19,2375ppm. Les concentrations les plus élevées sont enregistrées dans les stations S6, S8, S9 et S10 et les plus faibles sont enregistrées aux niveaux des stations S3 et S4 (**Figure n° 19**).

## Discussion

L'accumulation des métaux Cd, Cu, et Zn par les mollusques gastéropodes terrestres est liée à leurs concentrations environnementales (Coeurdassier, 2001), et les concentrations en ces éléments dans les viscères d'*Helix aspersa* sont significativement corrélées aux concentrations totales dans le sol (Viard, 2004).

La teneur des sols étudiés en ETM varie en fonction de leurs exposition aux diverses sources de pollution (Modrzewska et Wyszowski, 2014).

Dans notre étude, les escargots collectés dans les stations S8, S9 et S10 présentent les plus fortes concentrations en métaux lourds (Cd, Zn et Cu). Ce résultat pourrait être expliqué par le fait que ces trois stations se situent dans des terrains agricoles caractérisés par une forte utilisation de produits phytosanitaires (fongicides, insecticides et herbicides). Ces molécules chimiques peuvent contenir plusieurs métaux toxiques comme Cu, Cd, et le Zn et peuvent donc contribuer à la contamination du sol (He et al., 2005). L'utilisation des eaux usées en agriculture peut aussi contribuer à l'accumulation de ces métaux dans les sols (He et al., 2005). Les boues d'épuration et les composts des déchets urbains et industriels renferment des niveaux élevés de contaminants métalliques. L'utilisation de ces engrais insuffisamment purs en agriculture est l'une des causes de la pollution des sols (McBride, 2004).

Une contamination assez élevée en ETM est constatée dans les sites S5, S6 et S7. Ces trois stations sont caractérisées par une forte activité industrielle, automobile et ferroviaire. Ce qui présente plusieurs sources de contamination par les ETM (Voir la partie bibliographique).

Les plus faibles doses en métaux lourds (Cd, Zn, Cu), sont celles enregistrées aux niveaux des stations S1, S2, S3 et S4. Ce qui pourrait être dû au fait que ces quatre stations se situent dans des zones inhabitées caractérisées par l'absence de toute activité industrielle, automobile et toute pratique agricole. Viard (2004), rapporte que l'éloignement des sources de contamination (les autoroutes, les usines...) fait diminuer les risques de pollution des sols par les ETM. Ainsi, d'après Korte (1983), dans les secteurs inhabités, les concentrations atmosphériques en cadmium sont habituellement faibles.

Une biodisponibilité supérieure du zinc est marquée au niveau de tous les sites étudiés car la végétation est l'une des sources principales de cet élément chimique dans l'environnement, selon les études menées par (**Horowitz, 1985**).

Les résultats obtenus dans cette étude sont similaires à ceux trouvés par plusieurs auteurs tels que : **Viard (2004); Belabed (2010); Fritsch (2010); Bourbia-ait hamlet (2013) et Larba (2014)**.

**CONCLUSION**

Notre étude a pour objectif principal l'évaluation des concentrations en éléments traces métalliques (cadmium, zinc et cuivre) dans les viscères et les pieds d'une espèce bioindicatrice de pollution, prélevée dans dix stations toutes situées dans la région de Bejaia, exposées à des sources de pollution différentes.

À fin de répondre à l'objectif de cette étude, l'espèce *Helix aspesra* qui appartient aux Gastéropodes Pulmonés terrestres, a été choisie. Ce choix est basé sur : le fait qu'elle se caractérise par une bioaccumulation importante pour de nombreux ETM, elle constitue un composant de la chaîne trophique, et elle occupe une situation privilégiée à l'interface sol-plante-atmosphère.

Après la préparation des individus prélevés, au laboratoire d'écologie et environnement, le dosage des éléments traces métalliques a été effectué en utilisant la spectrophotométrie d'absorption atomique. Les résultats révèlent que le zinc et le cuivre sont stockés principalement dans les viscères, et que le cadmium est stocké d'une façon homogène dans le corps de l'animal. Les résultats révèlent également des concentrations élevées en zinc et en cuivre et des concentrations faibles en cadmium dans les tissus du bioindicateur. On constate aussi des niveaux de contamination différents, le plus élevé a été remarqué chez les individus prélevés dans des terres agricoles et dans des stations exposées à des activités industrielles et automobile, et le plus faible, a été observé chez les individus échantillonnés dans des stations naturelles loin de toute activité anthropique.

Une forte contamination a été remarquée dans les terrains agricoles, où l'agriculture est menée en intensif, en utilisant des produits chimiques de façon excessive, ce qui engendre certainement des effets préjudiciables sur la santé humaine et environnementale.

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude ouvrent certaines perspectives d'étude qu'il serait judicieux d'entreprendre :

- L'étude de la contamination des sols avec d'autres éléments traces métalliques tels que : le plomb et le mercure qui sont très nocifs pour les êtres vivants ;
- Étaler cette étude sur tous les sites de la région, qui sont exposés à des sources importantes de contamination par les ETM. Une telle éventualité permettrait de dresser une carte des niveaux de pollution, d'évaluer les impacts sur la flore et la faune et de projeter des mesures conservatoires de la biodiversité régionale ;

- Poursuivre cette étude en prenant compte des paramètres climatiques et des paramètres physico-chimiques, et faire plusieurs prélèvements pour un même site, afin de réunir le maximum d'information sur les niveaux de contamination ;En plus du sol, Elargir cette étude sur les écosystèmes aquatiques et adapter une stratégie d'échantillonnage à chaque type d'écosystème de manière à mieux déterminer et suivre les sources et les niveaux de contamination par les ETM;
- Associer les études sur le dosage des métaux lourds dans des organismes vivants à ceux des biomarqueurs (métallothionéine, acétylcholinestérase, peroxydation lipidique...etc.) ;
- Mettre en place un réseau de surveillance des écosystèmes (aquatiques et terrestres) par dosage des métaux lourds dans des organismes bioindicateurs, spécialement ceux qui se situent à la base de la chaîne alimentaire, et qui sont responsables de la contamination du réseau trophique (lichens, invertébrés et vertébrés ...etc.) ;
- Etablir des lois « sévères » afin de réduire les sources trophiques des éléments traces métalliques toxiques, qui présentent un danger pour la santé publique et environnemental.

## Glossaire

### -B-

- ✚ **Bactérie telluriques :** Désigne la famille des bactéries qui se trouvent naturellement dans le sol.

### -C-

- ✚ **Carpophage :** ou frugivore qui se nourrit des fruits ou des fructifications des végétaux.
- ✚ **Chalcophiles :** qui ont une affinité dominante pour le soufre.

### -D-

- ✚ **Déshydrogénase :** ou déshydrogénation, désigne une enzyme de la classe des oxydoréductases qui catalyse la perte d'un Hydrogène.

### -E-

- ✚ **Euthyneurs :** Une disposition euthyneure est une disposition particulière du système nerveux des gastéropodes opisthobranchia. En effet, à la suite d'une torsion incomplète ou complète suivie d'une détorsion de la larve véligère le système nerveux demeure non croisé.

### -M-

- ✚ **Maladies coronariennes :** est une maladie des artères qui vascularisent le cœur (artères coronaires) ayant pour conséquence une ischémie myocardique, c'est-à-dire un apport en sang insuffisant (ischémie) au muscle cardiaque (myocarde).
- ✚ **Maladie de Wilson :** est une maladie génétique secondaire liée à une accumulation de cuivre dans l'organisme et se manifestant par des atteintes du foie et du système nerveux.
- ✚ **Maladies hématologiques :** Les maladies du sang, également appelées hémopathies, touchent la production du sang, mais aussi de ses composants, comme les cellules sanguines, l'hémoglobine, le mécanisme de coagulation, les protéines sanguines... Découvrez les pathologies hématologiques.

- ✚ **Maladie Itai-Itai** : est un cas documenté d'intoxication massive au cadmium survenu dans la préfecture de Toyama, au Japon. L'intoxication au cadmium provoque un ramollissement des os et une insuffisance rénale. La maladie est ainsi nommée à cause des violentes douleurs (痛い, *itai*<sup>3</sup>), localisées à la colonne vertébrale et aux articulations. Le terme de maladie *Itai-Itai* a été inventé par la population locale<sup>1</sup>. Le cadmium a été déversé dans les cours d'eau des montagnes par les industries minières.
- ✚ **Métallothionéines** : sont un groupe de protéines de bas poids moléculaire (6.5 kDa) localisées dans le cytoplasme des cellules, notamment dans le foie, les reins et l'intestin. Elles ont un contenu élevé en cystéine et peuvent former des liaisons avec des ions métalliques tels que le Zn, Cu, Ca, Hg grâce aux groupements SH des Cystéine.

-O-

- ✚ **Œdème pulmonaire** : C'est une accumulation d'eau au sein des poumons, qui empêche les échanges gazeux de se faire (entre l'oxygène et le gaz carbonique).
- ✚ **Oligo-éléments** : sont une classe de nutriments, éléments minéraux purs nécessaires à la vie d'un organisme, mais en quantités très faibles.
- ✚ **Ostéoporose** : est caractérisée par une fragilité excessive du squelette, due à une diminution de la masse osseuse et à l'altération de la microarchitecture osseuse.

-P-

- ✚ **Peptidase** : est une enzyme qui coupe les liaisons peptidiques des protéines.
- ✚ **Phyllophage** : ou folivore, est un cas particulier d'organisme phytophage qui se nourrit aux dépens des feuilles.
- ✚ **Phytophage** : est un organisme vivant qui se nourrit à partir de végétaux.
- ✚ **Pinocytose** : est un type d'endocytose non spécifique : dans la pinocytose, la cellule absorbe des gouttelettes de liquide extracellulaire, et les redirige sous forme de minuscules vésicules, vers les lysosomes en vue de leur assimilation. Elle joue aussi un rôle dans l'absorption de certaines toxines.

✚ **Protéinurie** : présence de protéines dans les urines qui n'en contiennent qu'une quantité très faible à l'état normal (moins de 50 milligrammes par 24 h). Calculs rénaux communément appelés « pierres aux reins », sont des cristaux durs qui se forment dans les reins et peuvent entraîner de vives douleurs. Les médecins utilisent le terme lithiase urinaire pour désigner ces cristaux, qui peuvent aussi se retrouver dans le reste de l'appareil urinaire : dans la vessie, l'urètre ou les uretères (voir schéma).

#### -R-

✚ **Réseau trophique** : est un ensemble de chaînes alimentaires reliées entre elles au sein d'un écosystème et par lesquelles l'énergie et la biomasse circule

✚ **Résistance apoptotique** : résistance à la mort de la cellule.

#### -S-

✚ **Sédentaire** : la sédentarité, est, un mode de vie caractérisé par une fréquence faible, voire nulle, de déplacements.

✚ **Signalisation cellulaire** : est un système complexe de communication qui régit les processus fondamentaux des cellules et coordonne leur activité. La capacité des cellules à percevoir leur microenvironnement et à y répondre correctement est à la base de leur développement et de celui des organismes multicellulaires, de la cicatrisation et du système immunitaire, ainsi que de l'homéostasie tissulaire normale. Des dysfonctionnements dans le traitement de l'information cellulaire peuvent être responsables de maladies telles que le cancer, les maladies auto-immunes et le diabète. L'allostérie à grande distance est souvent un aspect important de ces processus.

✚ **Succivore** : ou opophage, qui se nourrit de la sève des végétaux.

#### -T-

✚ **Tubule rénal** : est la deuxième partie du néphron, qui est l'unité fonctionnelle d'un rein où s'élabore l'urine définitive à partir de l'urine brute ou primitive.

#### -U-

✚ **Ubiquiste** : l'ubiquité ou l'omniprésence est la capacité d'être présent en tous lieux ou en plusieurs lieux simultanément.



## References bibliographiques

1. **Adriano, D.C. (2001).** Trace elements in terrestrial environments: Biochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag, New York.
2. **Alexander, P.D., Alloway, B.J. et Dourado, A.M. (2006).** Genotypic variations in the accumulation of Cd, Cu, Pb and Zn exhibited by six commonly grown vegetables. *Environ Pollut*, **144**, 736-745.
3. **Alloway, B.J. et Ayers, D.C. (1997).** *Chemical of Environmental pollution*. Blackie Academic and profesional, an imprint of Chapman and Hall, London.
4. **Baker, A. J. M. et Walker, P. L. (1989).** Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. In *Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects* (edited by A. J. Shaw), pp155-177. CRC press, Boca Raton, Florida.
5. **Barbier, O., Jacquillet, G., Tauc, M., Cougnon, M. et Poujeol, P. (2005).** Effect of heavy metals on, and handling by, the kidney. *Nephron Physiol* **99**, 105-110.
6. **Beeby, A. et Richmond, L. (2002).** Evaluating *Helix aspersa* as a sentinel for mapping metal pollution. *Ecological Indicators*, **1**, 261-270.
7. **Belabed, B. (2010).** *La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba « Sources de contamination des écosystèmes aquatiques »*. Thèse en Sciences de la Mer. Université Badji Mokhtar, Annaba.
8. **Bisson, M., Houeix, N., Gay, G., Lacroix, G., lefevre, J.P., Magaud, H., Migne, V. et Morin., Tissot, S. (2005).** *Cuivre et ses dérivés*. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. INERIS, France.
9. **Bonnet, J.C., Aupinel, P. et Vrillon, J.L. (1990).** *L'escargot Helix aspersa, biologie, élevage*. INRA, Quae, Paris.
10. **Borchardt, T. (1985).** Relation ship between carbon and cadmium uptake in *Mytilus*
11. *edulis*. *Mar. Biol* **85**, 233-244.
12. **Bouquegneau, J.M. et Gilles, R. (1979).** Osmoregulation and pollution of the aquatic medium. In *metabolism and osmoregulation in animals* (edited by R Gilles),pp 563. John Wiley and sons, New York.
13. **Bourbia-ait hamlet, S. (2014).** *Évaluation de la toxicité de mixtures de pesticides sur un bioindicateur de la pollution des sols Helix aspersa*. Thèse en biologie animale. Universite Badji Mokhtar, Annaba.

14. **Bryan, S.E. et Hidalgo, H.A. (1976).** Nuclear 115 cadmium: uptake and disappearance correlated with cadmium-binding protein synthesis. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **68**, 858-865.
15. **Chabicoovsky, M., Niederstätter, H., Thaler, R., Hödl, E., Parson, W., Rossmanith, W. et Dallinger, R. (2003).** Localization and quantification of Cd- and Cu-specific metallothionein isoform mRNA in cells and organs of the terrestrial gastropod *Helix pomatia*. *Toxicol. & Appl. Pharmacol.*, **190**, 25-36.
16. **Charrier, M. (1995).** *Particularités du métabolisme digestif d'un gastéropode pulmoné phytophage Helix aspersa Müller. Recherches histologiques, histochimiques, enzymologiques et microbiologiques.* Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques. Université de Rennes, Rennes.
17. **Coeurdassier, M. (2001).** *Utilisation de mollusques gastéropodes pulmonés terrestres (Helix aspersa) et aquatiques (Lymnia stagnalis et Lymnia palustris) comme indicateurs de pollution par les éléments métalliques et les xénobiotiques.* Thèse de doctorat. Université de Franche Comté, France.
18. **Coeurdassier, M., Gomot-de Vaufléury, A., Lovy, C. et Badot, P.M. (2002).** Is the cadmium uptake from soil important in bioaccumulation and toxic effects for snails?. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **53**, 425-431.
19. **Coughtrey, P.J. et Martin, M.H. (1976).** The distribution of Pb, Zn, Cd, and Cu within the pulmonate mollusc *Helix aspersa* Müller. *Oecologia*, **23**, 315-322.
20. **Coughtrey, P.J. et Martin, M.H. (1977).** The uptake of lead, zinc, cadmium and copper by the pulmonate mollusc, *Helix aspersa* Muller, and relevance to the monitoring of heavy metal contamination of the environment. *Oecologia (berl)*, **27**, 65-74.
21. **D'Silva, C. et Kureishy, W. (1978).** Experimental studies on the accumulation copper and zinc in the green mussel. *Mar. Poll. Bull.*, **9**, 187-190.
22. **Dallinger, R. (1993).** Strategies of metal detoxification in terrestrial invertebrates. In *Ecotoxicology of metals in Invertebrates* (edited by Dallinger E. et Rainbow R), pp. 245-289. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA.
23. **Dallinger, R. et Berger, B. (1993).** Function of metallothioneins in terrestrial gastropods. *The Science of the Total Environment Supplement*, 607- 615
24. **Dallinger, R., Berger, B., Gruber, C., Hunziker, P. et Sturzenbaum, S. (2000).** Metallothioneins in terrestrial invertebrates: structural aspects, biological significance and implications for their use as biomarkers. *Cell. Molec. Biol.*, **46**, 331-346.

25. **Dallinger, R., Berger, B., Triebkorn, R. et Köhler, H. (2001).** Soil Biology and ecotoxicology. In *The biology of terrestrial mollusks* (edited by G.M Barker), pp 489-525. CAB International, Oxon, Wallingford, UK.
26. **Dallinger, R. et Wieser, W. (1984).** Patterns of accumulation, distribution and liberation of Zn, Cu, Cd, and Pb in different organs of the land snail *Helix pomatia*. *Comp. Biochem. Physiol*, **79**, 117-124.
27. **Dallinger, R. et Wieser, W. (1988).** Molecular Fractionation of Zn, Cu, Cd, and Pb in the midgut gland of *Helix pomatia* L. *Comparative Biochemistry and Physiology*, **79C**, 125-129.
28. **Díaz-Roviña, M. et Bååth, E. (1996).** Developement of metal tolerance in soil bacterial communities exposed to experimentally increased metal levels. *Appl. Environ. Microbiol*, **62**, 2970-2977.
29. **Douafer, L. (2010).** *Evaluation de la pollution des sols de quelques biotopes de l'Est algérien par l'utilisation d'un bioindicateur, Helix aspersa (Mollusca, Gasteropoda): inventaire, activité enzymatique et composition physico-chimique du sol.* Thèse doctorat en Biologie et Physiologie Animale. Université Badji Mokhtar, Annaba.
30. **Edwards, C.A., Subler, S., Chen, S.K. et Bogomolov, D.M. (1996).** Essential criteria for selecting bioindicator species, processes, or systems to assess the environmental impact of chemicals on soil ecosystems. In *Bioindicator Systems for Soil Pollution* (edited by N.M van Straalen. et D.A Krivolutsky), pp 67-84. Kluwer, Amsterdam, The Netherlands.
31. **Evtushenko, Z.S., Belcheva, N.N. et Lukyanova, O.N. (1986).** Cadmium accumulation in organs of the scallop *Mizuhopecten yessoensis*. *Comp. Biochem. Physiol*, **83**, 377-382.
32. **Foster, M., Petocz, P. et Samman, S. (2010).** Effect of zinc on plasma lipoprotein cholesterol concentration in humans A meta-analysis of randomised controlled trials. *Atherosclerosis*, **210**, 344-352.
33. **Fritsch, C. (2010).** *Utilisation intégrée de bioindicateurs pour la surveillance des sols et des écosystèmes terrestres.* Thèse de doctorat. Université de Franche-Comté, France.
34. **Gilmour, P.S., Nyska, A., Mette, C., Schladweiler., John, K., McGee, J., Wallenborn, G., Judy, H., Urmila, P. et Kodavanti. (2006).** Cardiovascular and blood caogulative effects of pulmonary zinc exposure. *Toxicology and Applied Pharmacology*, **211**, 41-5

35. **Glaumann, H. et Ballard, F.J. (1987).** *Lysosomes: Their role in protein breakdown.* Academic press, London.
36. **Godt, J., Scheidig, F., GrosseSiestrup, C., Esche, V., Brandenburg, P. et Reich, A. (2006).** The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *J Occup Med Toxicol*, **1**, 7-22.
37. **Gomot, A. (1997).** Dose-dependant effects of cadmium on the growth of snails in toxicity bioassays. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **33**, 209-216.
38. **Gomot, A. (1998).** Biochemical composition of *Helix* snails: influence of genetic and physiological factors. *J. Moll. Stud*, **64**, 173-181.
39. **Gomot, A., Gomot, L., Boukraa, S. et Bruckert, S. (1989).** Influence of soil on the growth of the land snail *Helix aspersa*. An experimental study of the route for the stimulating factors. *Journal of Molluscan Studies*, **55**, 1-7.
40. **Gomot, A. et Pihan, F. (1997).** Comparison of the bioaccumulation capacities of copper and zinc among two snails subspecies (*Helix*). *Ecotox. Environ. Safe*, **38**, 85-94.
41. **Gomot, A. et Pihan, F. (2000).** Growing snails used as sentinels to evaluate terrestrial environment contamination by trace elements. *Chemosphere*, **40**, 275-284.
42. **Gomot, A. et Pihan, F. (2002).** Methods for toxicity assesement of contamination soil by oral or dermal uptake in land snails : metal bioavailability and bioaccumulation. *Environ Toxicol Chem* **21**, 820-827.
43. **Goyer, R.A., Liu, J., Waalkes, M.P. (2004).** Cadmium and cancer of prostate and testis. *Biometals*, **17**, 555-558.
44. **Grara, N., Boucenna, M., Atailia, A., Berrebbah, H. et Djebbar, M.R. (2012).** Etude expérimentale de la bioaccumulation des éléments traces métalliques Cd, Cu, Zn et Pb chez l'escargot *Helix aspersa*. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat. (Section Sciences de la Vie)*, n° **34** (2), p. 183-187.
45. **Gunnar, F., Druce, A., Nodberf, F.W. et Friberg, L. (2007).** Handbook on the toxicologie of metals. . Academic Press, **3**, 1024.
46. **He, Z.L., Yang, X.E. et Stoffella, P.J. (2005).** Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *J Trace Elem Med Biol*, **19**, 125- 140
47. **Henson, M.C. et Chedrese, P.J. (2004).** Endocrine disruption by cadmium, a common environmental toxicant with paradoxical effects on reproduction. *Exp Biol Med (Maywood)*, **229**, 383-392.

48. **Horowitz, A. (1985).** *A primer on Trace Metal Sediment Chemistry.* United States Geological Survey, USA.
49. **Johnson, M.D., Kenney, N., Stoica, A., Hilakivi-Clarke, L., Singh, B., Chepko, G., Clarke, R., Sholler, P.F., Lirio, AA., Foss, C., Reiter, R., Trock, B., Paik, S. et Martin, M.B. (2003).** Cadmium mimics the in vivo effects of estrogen in the uterus and mammary gland. *Nat Med*, **9**, 1081-1084.
50. **Kabata-Pendias, A. et Pendias, H. (2001).** *Trace elements in soils and plants.* CRC Press, London.
51. **Karl, H. Summera, J.L., Bandowb, N., Don, W., Alan, A. et Bernhard, M. (2011).** The biogenic methanobactin is an effective chelator for copper in a rat model for Wilson disease. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, **25**, 36-41.
52. **Kazantzis, G. (1979).** Renal tubular dysfunction and abnormalities of calcium metabolism in cadmium workers. *Environ Health Perspect*, **28**, 155-159.
53. **Kolonel, L.N. (1976).** Association of cadmium with renal cancer. *Cancer*, **37**, 1782-1787.
54. **Korte, F. (1983).** Ecotoxicology of cadmium: general overview. Citation. Ecotoxicology and environmental safety, Academic Press.
55. **Landi, L., Renella, G., Moreno, J.L., Falchini, L. et Nannipieri, P. (2000).** Influence of cadmium on the metabolic quotient, L-D-glutamic acid respiration ratio and enzyme activity: microbial biomass ratio under laboratory conditions. *Biol. Fertil. Soils*, **32**, 8-16.
56. **Larba, R. (2014).** *Biosurveillance de l'environnement dans la région Est : mesure de biomarqueurs chez Helix aspersa et corrélation avec les caractéristiques physico-chimiques des sols.* Thèse en biologie animale environnementale. Université Badji Mokhtar, Annaba.
57. **Laskowski, R. et Hopkin, S.P. (1996).** Accumulation of Zn, Cu, Pb and Cd in the garden snail *Helix aspersa* : implications for predators. *Environ. Pollut*, **91**, 89-297.
58. **Leblanc, J.C., Verger, P., Guérin, T. et Volatier, J.L. (2004).** Etude de l'alimentation totale française: mycotoxines, minéraux et éléments traces. INRA.
59. **Leita, L., De Nobili, M., Muhlbachova, G., Mondini, C., Marchiol, L. et Zerbi, G. (1995).** Bioavailability and effects of heavy metals on soil microbial biomass survival during laboratory incubation. *Biol. Fertil. Soils*, **19**, 103-108.
60. **Loué, A. (1993).** Oligo-éléments en agriculture. *Ed. Nathan*, **14**, 45-177.

61. **Mahan, B.H. (1987).** *Termodinámica química elemental*. Curso Universitario en química. Université de Californie à Berkeley, USA.
62. **Martin, M.H. et Coughtry, P.J. (1982).** *Biological monitoring of heavy metal pollution: land and air*. Applied Science Publishers, London.
63. **McBride, M.B. (2004).** Molybdenum, sulfur, and other trace elements in farm soils and forages after sewage sludge application. *Commun Soil Sci Plant Anal*, **35**, 517.
64. **Mensch, M. et Baize, D. (2004).** Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en trace, mesures pour réduire l'exposition. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, **52**, 31-54.
65. **Menta, C. et Parisi, V. (2001).** Metal concentration in *Helix pomatia*, *Helix aspersa* and *Arion rufus*: a comparative study. *Environmental Pollution*, **115**, 205-208.
66. **Modrzewska, B. et Wyszowski, M. (2014).** Trace metals content in soils along the state road 51(northeastern Poland). *Environ Monit Assess*, **186**, 2589–2597.
67. **Notten, M.J.M., Oosthoek, A.J.P., Rozema, J. et Aerts, R. (2005).** Heavy metal concentrations in a soil-plant-snail food chain along a terrestrial soil pollution gradient. *Environmental pollution*, **138**, 178-190.
68. **Perez-Quintanilla, D., Sanchez, A., Del Hiero, I., Fajardo, M. et Sierra, I. (2007).** Preparation , characterization, and  $Zn^{+2}$  adsorption behavior of chemically modified MCM-41 with 5-mercapto-1-methyltetrazole. *J Colloid Interface Sci.* **313(2)**, 551-562.
69. **Regoli, F., Gorbi, S., Fattorini, D., Tedesco, S., Notti, A., Machella, N., Bocchetti, R., Benedetti, M. et Piva, F. (2006).** Use of the land snail *Helix aspersa* as sentinel organism for monitoring ecotoxicologic effects of urban pollution: An integrated approach. *Environmental Health Perspectives*, **114**, 63-69.
70. **Renella, G., Mench, M., Van Der Lelie, D., Pietramellara, G., Ascher, J., Ceccherini, M.T., Landi, L. et Nannipieri, P. (2003).** Hydrolase activity, microbial biomass and community structure in long-term Cd-contaminated soils. *Soil Biol. Biochem*, **36**, 443-451.
71. **Scheifler, R., Gomot-de Vaufleury, A. et Badot, P.M. (2002).** Transfer of cadmium from plant leaves and vegetable flour to the snail *Helix aspersa*: bioaccumulation and effects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. **53**, 148-153.
72. **Seidal, K., Jorgensen, N., Elinder, C.G., Sjogren, B. et Vahter, M. (1993).** Fatal cadmium-induced pneumonitis. *Scand J Work Environ Health*, **19**, 429-431.
73. **Spellerberg, I.F. (2005).** *Monitoring ecological change*. Cambridge University Press. University of Cambridge, England.

74. Svartengren, M., Elinder, C.G., Friberg, L. et Lind, B. (1986). Distribution and concentration of cadmium in human kidney. *Environ Res*, **39**, 1-7.
75. Tafoughalt-benbellil, S., Sahnoune, M., De Vaufleury, A. et Moali, A. (2011). Influence of sampling date on reproduction in the land snail *Helix aperta* kept under controlled conditions of teerature and photoperiod. *Ecol. (Terre Vie)*, **66**, 43-54.
76. Torsvik, V. et Øvraås, L. (2002). Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems. *Curr. Opin. Microbiol*, **5**, 240-245.
77. Viard-La rocca, B. (2004). *Mise au point et validation, sur sites contaminés, (ETM-HAP) d'un test de biosurveillance en microcosme : Croissance et bioaccumulation par le gastéropode terrestre hélix aspersa aspersa*. Thèse en Sciences de la Vie. Université de Metz, Metz.
78. Viard, B., Maul, A., Pihan, J.C. (2004). Standard use conditions of terrestrial gastropods in active biomonitoring of soil contamination. *Journal of Environmental Monitoring*, **6**, 103-107.
79. Viarengo, A. (1989). Heavy metals in marine invertebrates : mechanisms of regulation and toxicity at the cellular level. *Aquat. Sci*, **1**, 295-317.
80. Viarengo, A., Pertica, M., Mancinelli, G., Palmero, S. et Orunesu, M. (1982). Effects of Cu<sup>++</sup> on nuclear RNA polymerase activities in mussel digestive gland. *Mar. Biol. Lett*, **3**, 345-353.
81. Zaafour, M., Meddour, A et Boulakoud, M.S. (2014). Biométrie et dosage du glutathion chez *Helix aspersa* Müller (Gastropoda ; Helicidae) en zones agricole et urbaine polluée dans la région d'El-Hadjar (Annaba, Algérie). *Rev. Sci. Techno, Synthèse*, **28**, 96-105.
82. Zorrig, W., Rouached, A., Zaigham, S., Chedly, A., Davidian, J.C. et Berthomieu, P. (2004). *Identification of three relationships linking cadmium accumulation to cadmium tolerance and zinc and citrate accumulation in lettuce*. *Journal of Plant Physiology* **167**, 1239–1247 *Biochimie & Physiologie Moléculaire des Plantes*. Unité Mixte de Recherche CNRSINRA Université Montpellier II, Montpellier.

### **Site internet**

1. <http://www.ikonet.com/fr/ledictionnairevisuel/regne-animal/mollusques/escargot/anatomie-de-escargot.php> «anatomie de l'escargot»
2. <http://www.ikonet.com/fr/ledictionnairevisuel/regne-animal/mollusques/escargot/morphologie-de-escargot.php> «morphologie de l'escargot »

## Annexe 1

**Cd, Zn et Cu**

1	2																	10	11	12	13	14	15	16	17	18										
H	He																	Ne	Ar	Kr	Xe	Rn														
3	4																	10	11	12	13	14	15	16	17	18										
Li	Be																	Ne	Ar	Kr	Xe	Rn														
11	12																	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Na	Mg																	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	*	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
55	56	*	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	**	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	
Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo	
87	88	**	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	87	88	**	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	
Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo	Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo	
		* Lanthanides	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71																			
		* Lanthanides	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																			
		** Actinides	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103																			
		** Actinides	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																			

Figure n° 20 : Tableau Périodique des éléments

## Annexe 2

**Tableau II :** Concentrations moyennes de cadmium dans les viscères et les pieds des individus

<b>Organe</b>	<b>Concentration moyenne (ppm)</b>
Viscères	<b>0,058</b>
Pieds	<b>0,015</b>

**Tableau III :** Concentrations moyennes de zinc dans les viscères et les pieds des individus

<b>Organe</b>	<b>Concentration moyenne (ppm)</b>
Viscères	<b>5,097</b>
Pieds	<b>3,049</b>

**Tableau IV :** Concentrations moyennes de cuivre dans les viscères et les pieds des individus

<b>Organe</b>	<b>Concentration moyenne (ppm)</b>
Viscères	<b>5.573</b>
Pieds	<b>4.706</b>

**Tableau V :** Concentrations moyennes de Cadmium, Zinc et Cuivre dans les viscères de tous les individus

<b>Elément</b>	<b>Concentration moyenne (ppm)</b>
Cadmium	<b>0,058</b>
Zinc	<b>5,097</b>
Cuivre	<b>4.706</b>

**Tableau VI :** Concentration en Cadmium dans les viscères des individus prélevés dans les différentes stations

<b>Stations</b>		<b>Concentrations (ppm)</b>
<b>S1.</b>	Beni Maouche	<b>0,0162</b>
<b>S2.</b>	Chellata	<b>0,0181</b>
<b>S3.</b>	Ighil Nacer	<b>0,0215</b>
<b>S4.</b>	Ighil Ialouanene	<b>0,0278</b>
<b>S5.</b>	Sidi Ahmed	<b>0,0235</b>
<b>S6.</b>	El Kseur	<b>0,0545</b>
<b>S7.</b>	Taharacht	<b>0,081</b>
<b>S8.</b>	Champ Thawra Ziraia	<b>0,0701</b>
<b>S9.</b>	Ferme Boukhelifa	<b>0,1141</b>
<b>S10.</b>	Ferme Tichy	<b>0,1556</b>

**Tableau VII :** Concentration en Zinc dans les viscères des individus prélevés dans les différentes stations

<b>Stations</b>		<b>Concentrations (ppm)</b>
<b>S1.</b>	Beni Maouche	<b>3,3521</b>
<b>S2.</b>	Chellata	<b>4,4489</b>
<b>S3.</b>	Ighil Nacer	<b>4,2558</b>
<b>S4.</b>	Ighil Ialouanene	<b>1,9175</b>
<b>S5.</b>	Sidi Ahmed	<b>4,635</b>
<b>S6.</b>	El Kseur	<b>4,9935</b>
<b>S7.</b>	Taharacht	<b>4,2924</b>
<b>S8.</b>	Champ Thawra Ziraia	<b>7,8825</b>
<b>S9.</b>	Ferme Boukhelifa	<b>7,4397</b>
<b>S10.</b>	Ferme Tichy	<b>7,7483</b>

**Tableau VIII** : Concentration en Cadmium dans les viscères des individus prélevés dans les différentes stations

<b>Stations</b>		<b>Concentrations (ppm)</b>
<b>S1.</b>	Beni Maouche	<b>2,9675</b>
<b>S2.</b>	Chellata	<b>2,8825</b>
<b>S3.</b>	Ighil Nacer	<b>1,0123</b>
<b>S4.</b>	Ighil Ialouanene	<b>1,3325</b>
<b>S5.</b>	Sidi Ahmed	<b>2,4575</b>
<b>S6.</b>	El Kseur	<b>4,59</b>
<b>S7.</b>	Taharacht	<b>2,695</b>
<b>S8.</b>	Champ Thawra Ziraia	<b>4,1791</b>
<b>S9.</b>	Ferme Boukhlifa	<b>19,2375</b>
<b>S10.</b>	Ferme Tichy	<b>14,3775</b>

## Annexe 3

### Testes statistiques

#### Cadmium

Statistiques descriptives :

Variabes	moyenne	Ecart-type
Visceres	5,573	6,128
Pieds	4,573	2,522

Test t pour deux échantillons indépendants / Test bilatéral

t (Valeur observée) : 0,414

t (Valeur critique) : 2,101

Interprétation du test :

H0 : La différence entre les moyennes est égale à 0.

Ha : La différence entre les moyennes est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil  $\alpha=0,05$ , on peut valider l'hypothèse nulle H0.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est de 68,39%.

#### Zinc

Statistiques descriptives :

Variabes	moyenne	Ecart-type
Visceres	5,097	1,984
Pieds	3,049	0,685

### Test t pour deux échantillons indépendants / Test bilatéral

t (Valeur observée) : 3,085

t (Valeur critique) : 2,101

Interprétation du test :

H0 : La différence entre les moyennes est égale à 0.

Ha : La différence entre les moyennes est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification  $\alpha=0,05$ , on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,64%.

### Cuivre

Statistiques descriptives :

Variabes	moyenne	Ecart-type
Visceres	0,058	0,047
Pieds	0,015	0,014

### Test t pour deux échantillons indépendants / Test bilatéral

t (Valeur observée) 2,738

t (Valeur critique) 2,101

Interprétation du test :

H0 : La différence entre les moyennes est égale à 0.

Ha : La différence entre les moyennes est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification  $\alpha=0,05$ , on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 1,35%.

## Résumé

Les métaux lourds sont des éléments chimiques caractérisés par une forte masse volumique. Ils sont aussi appelés "éléments trace métalliques " car ils se retrouvent en faibles quantités dans la nature. Ils sont toxiques pour les organismes vivants et représentent un danger pour la santé publique et environnementale.

Cette étude s'intéresse principalement à l'évaluation des concentrations en Cadmium, Zinc et Cuivre dans les tissus d'une espèce bioindicatrice de pollution "l'escargot *Helix aspersa*". Les individus sont échantillonnés dans dix sites de la région de Bejaia, exposés à différentes sources de contamination par les éléments trace métalliques. Les résultats révèlent que les fortes concentrations sont détectées dans les tissus des individus prélevés dans les sites agricoles, industriels, et les sites ayant une forte circulation automobile.

**Mots clés :** Métaux lourds, Pollution, Cadmium, Zinc, Cuivre, Espèce bioindicatrice, *Helix aspersa*, Contamination, Santé publique.

## Abstract

Heavy metals are chemical elements characterized by high density. They are also called "trace metal elements", they exist in small quantities in nature. They are toxic to living organisms and represent a threat to public and environmental health.

This study mainly focuses on the assessment of concentrations of Cadmium, Zinc and Copper in the tissues of bioindicator species of pollution "snail *Helix aspersa*". Samples were collected in ten sites in the Bejaia region, exposed to different sources of contamination by trace metal elements. The results show that high concentrations are detected in the samples collected in the agricultural and industrial sites, and sites with high traffic.

**Keywords:** Heavy Metals, Pollution, Cadmium, Zinc, Copper, bioindicator species, *Helix aspersa*, Contamination, Public health.