



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية عاوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie et Ecologie Végétale

قسم : البيولوجيا و علم البيئة النباتية.

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Gestion Durable des Ecosystèmes et Protection de l'Environnement

Option : Pollution des Ecosystèmes et Ecotoxicologie

Intitulé :

Utilisation des escargots comme indicateur de la contamination métallique des sols : cas de *Helix aspersa*

Présenté et soutenu par : *BENGUEDOUAR Hiba*

Le : 22/06/2016

Jury d'évaluation :

Président du jury : *BAZRI Kamel Eddine (MCA - UFM Constantine).*

Rapporteur : *SAHLI Leila (MCA - UFM Constantine).*

Examineurs : *TOUATI Laïd (MCB – UFM Constantine)*

*Année universitaire
2015 – 2016*



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية عاوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie et Ecologie Végétale

قسم : البيولوجيا و علم البيئة النباتية.

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Gestion durable des écosystèmes et protection de l'environnement

Option : Pollution des Ecosystèmes et Ecotoxicologie

Intitulé :

Utilisation des escargots comme indicateur de la contamination métallique des sols : cas de *Helix aspersa*

Présenté et soutenu par : *BENGUEDOUAR Hiba*

Le : 22 /06/2016

Jury d'évaluation :

Président du jury : *BAZRI Kamel Eddine (MCA - UFM Constantine).*

Rapporteur : *SAHLI Leila (MCA - UFM Constantine).*

Examineurs : *TOUATI Laid (MCB – UFM Constantine)*

*Année universitaire
2015 – 2016*

Remerciement

Je me lance dans une liste de remerciement, moins poétique et pas très original certes, mais dans laquelle je place mes sentiments les plus sincères.

J'adresse mes sincères remerciements à tous mes enseignants en licence et en master 2, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant mon parcours universitaire.

La citation d'Albert Einstein « c'est l'art suprême du professeur de réveiller la joie dans le savoir et l'expression créative » pourrait fort bien être dédiée à ma promotrice M^{elle} Sahli Leila, j'ai eu beaucoup de chance; sa patience, disponibilité, son enthousiasme, et surtout la confiance qu'elle m'a accordée tout au long de mon parcours, ont contribué à alimenter ma réflexion. Sans elle rien de tout ceci n'aurait été possible.

A Mr Bazri Kamel Eddine qui m'a honoré de présider le jury de ce mémoire, qu'il retrouve ici l'expression de ma reconnaissance.

A Mr Touati Laid, qui a examiné avec beaucoup d'intérêt ce travail et dont je suis honorée.

Une pensée et un grand merci pour tous mes amis, amies, camarades, et à tous les membres de ma famille qui m'ont soutenu moralement durant mon parcours, votre soutien a été une aide précieuse.

Résumé

En Algérie et plus particulièrement à Constantine, il est aisé de constater qu'on a un véritable problème de contamination de l'air, des eaux, des sols, des végétaux et des animaux. En effet, la ville de Constantine a enregistré dès les années 80, un accroissement de ses agglomérations, de l'activité industrielle ainsi qu'un trafic routier intense. De nombreuses recherches dans le monde ont été menées sur l'utilisation des escargots comme bio-indicateurs de la pollution des sols.

Cette étude a porté sur l'évaluation du niveau de contaminations des sols par le plomb et l'utilisation de *l'Helix aspersa* comme indicateur de cette contamination. Pour cela, six points de prélèvements ont été retenus le long d'un axe routier à circulation intense ; il s'agit de la route nationale N°03 reliant la commune de Constantine à celle d'El Hamma via B'kira. Plusieurs prélèvements de sols et d'escargots ont été réalisés le long de cet axe routier.

Plusieurs paramètres ont été déterminés : pH, conductivité électrique, calcaire total, matière organique et teneurs en plomb pour le sol. Pour *l'Helix aspersa*, nous nous sommes intéressés à la biométrie, en plus de la quantification des teneurs en plomb dans les coquilles, pieds et viscères.

Les résultats ont révélé un enrichissement en plomb relativement important. Les teneurs en plomb dans le sol dépassent largement les concentrations naturelles. *Helix aspersa* semble être un bon bioindicateur de la contamination métallique. Les teneurs en plomb enregistrent l'ordre d'abondance suivant : viscères >> coquilles >> pieds. Ainsi, la glande digestive (hépatopancréas) a été reconnue comme étant l'organe principal de stockage des éléments traces métalliques.

Mots clés : plomb, sol, *Helix aspersa*, bioindicateur.

Summary

In Algeria more particularly in Constantine, it's easy to notice that we have a real problem of air, water, soil, plants and animal's contamination. In fact Constantine has registered since the 80s, an increase in its agglomerations, industrial activity and heavy road transport. Many researches in the world concluded that snail can be used as a bio-indicators soil's pollution.

This study interest on the evaluation of soil contamination levels of lead and the role of *Helix aspersa* as indicators of this contamination. Six samples were selected along a heavy traffic road; it's the national road No. 03 linking Constantine's town to El Hamma via B'kira. Several samples of soil and snails have been picked up along this road.

Several parameters were determined: pH, electrical conductivity, total limestone, organic matter and soil's lead contains. For *Helix aspersa*, we were interested by biometric parameters and quantifying the levels of lead in the shells, feet and viscera.

The results reveal an important lead enrichment. Lead levels in soil were above background levels. *Helix aspersa* seems like a good bio-indicator of metal contamination. Lead levels recorded the following order of abundance: viscera >> shells >> feet. Thus, digestive gland (hepatopancreas) was acknowledged as the main body storage of trace metals.

Keywords: lead, soil, *Helix aspersa*, bioindicator

ملخص

في الجزائر و بالأخص في قسنطينة نلاحظ تدهور حالة كل من الماء, التربة, المياه, النباتات و الحيوانات. و لدى منطقة قسنطينة. سجلت مند الثمانينات نمو ديموغرافي كبير مع تضاعف الانشطة الصناعية. هناك العديد من الابحاث عبر العالم التي اهتمت بالحلزون كمؤشر حيوي للتربة الملوثة.

هذه الدراسة تهتم بتقييم مستوى تلوث التربة بمعدن الرصاص و استعمال *Helix aspersa* كمؤشر لهذا التلوث. و لدى اخذت عينات من 6 نقاط مختلفة على طول الطريق الوطني رقم 3, و الذي يربط بين وسط مدينة قسنطينة و دائرة الحامة.

لقد تم قياس بعض الخصائص الفيز و كيميائية, كدرجة الحموضة, الناقلية الكهربائية, المادة العضوية, و كمية معدن الرصاص في التربة. و بالنسبة ل *Helix aspersa* انجزت قياسات ببو مترية و تم تقييم كمية معدن الرصاص في القوقعة, القدم و الاحشاء.

النتائج كشفت عن تواجد كمية مرتفعة نسبيا من معدن الرصاص فهي تفوق الكمية الطبيعية المتواجدة في التربة.

Helix aspersa يعتبر كمؤشر مناسب لتلوث التربة بالمعادن الثقيلة. ترتيب تراكيز المعدن في *Helix aspersa* كان كالآتي ؛ الأحشاء << القوقعة << القدم . و بالتالي فالجهاز الهضمي (البنكرياس الكبدي) يعتبر كجهاز اساسي لتخزين المعادن الثقيلة.

الكلمات الدالة: معدن الرصاص, التربة, *Helix aspersa* , مؤشر حيوي .

Liste des abréviations

Al: Aluminium

ANDI : Agence Nationale de développement de l'Investissement

As: arsenic

Ba: barium

C : Carbone

Ca: calcium

Cd : Cadmium

CE : conductivité électrique

C_{org} : carbone organique

Cr : Chrome

CT : calcaire total

Cu : Cuivre

ETM : élément trace métallique

Fe : fer

GEPPA : Groupe d'étude des problèmes de pédologie appliquée

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

K: potassium

Mg: manganèse

MO : Matière Organique

MTs : les métallothionéines

N3 : route national numéro 3

NF : norme française

P. chaire : poids chaire

P.coquille : poids coquille

P.f total : poids frais total

P.V.C : pied.viscères.coquille

Pb : plomb

pH : Potentiel Hydrogène

ppm : partie par million

Prc : parcelle

SAA : spectrométrie d'absorption atomique

Sb: antimoine

SCHB : Société des Ciments de Hamma Bouziane

Sr: strontium

St : station

Zn: Zinc

Liste des tableaux

Tableau 1 : les propriétés du plomb.....	5
Tableau 2 : les conditions de prélèvements de la station 1 de <i>l'Helix aspersa</i>	22
Tableau 3 : les conditions de prélèvements de la station 2 de <i>l'Helix aspersa</i>	23
Tableau 4 : les conditions de prélèvements de la station 3 de <i>l'Helix aspersa</i>	24
Tableau 5 : données statistiques des paramètres physico-chimiques des sols étudiés.....	30
Tableau 6 : Grille d'évaluation des valeurs du pH du sol (SSDS, 1993).....	31
Tableau 7 : Grille d'appréciation de la salinité des sols en fonction de la CE (SSDS, 1993).....	32
Tableau 8 : Grille d'appréciation du calcaire total du sol (GEPPA in Baize, 1988).....	33
Tableau 9 : Grille d'appréciation de la MO dans le sol (Hazelton and Murphy, 2007).....	35
Tableau 10 : données statistiques des paramètres biométrique de <i>l'Helix aspersa</i>	37

Liste des figures

Figure 1 : Devenir des métaux dans les sols (Juste, 1995).....	8
Figure 2 : photo de <i>l'helix aspersa</i> prises pendant le ramassage (février 2016).....	11
Figure 3 : Schéma de l'organisation interne d'un escargot des haies [La Hulotte n°97].....	12
Figure 4 : Transferts des polluants dans un écosystème terrestre. (sheifler, 2002).....	14
Figure 5 : localisation géographique de la zone urbaine de B'kira Constantine (1/25000) (source : Google 2016)	17
Figure 6 : photos prise en février 2016 dévoilant les rejets urbains dans la zone de B'kira (Constantine).....	18
Figure 7 : situation géographique des 3 stations (1/27 000) (source : Google 2016)	19
Figure 8 : une des parcelles de la rive droite, délimité en quadra de 4m ²	19
Figure 9 : rive gauche station 1, parcelle délimitée à l'aide d'une ficelle en 4m ²	20
Figure 10 : l'emplacement de la 2eme station, rive droite par rapport à l'axe routier.....	20
Figure 11 : ramassage d'escargot/sol en station 2 rive gauche.....	20
Figure 12 : station 3 rive droite.....	21
Figure 13 : station 3 rive gauche.....	22
Figure 14 : localisation des parcelles de prélèvements de la station 1 (rive gauche+ rive droite) représenté en carré rouge.....	23
Figure 15 : localisation des parcelles de prélèvements de la station 2 (rive gauche+ rive droite) représenté en carré rouge.....	24
Figure 16 : localisation des parcelles de prélèvements de la station 3 (rive gauche+ rive droite) représenté en carré rouge.....	25

Figure 17 : à droite, <i>Helix aspersa</i> adulte photographié, à gauche, dessin de l'escargot sorti de sa coquille.....	28
Figure 18 : Les paramètres de biométries mesurées chez <i>Helix aspersa</i> la hauteur (H) et le diamètre (D).....	31
Figure 19 : variation spatiale du pH des sols étudiés.....	31
Figure 20 : variation spatiale de CE des sols étudiés.....	32
Figure 21 : variation spatiale de calcaire total des sols étudiés.....	33
Figure 22 : variation spatiale de de la matière organique et le carbone des sols étudiés.....	34
Figure 23 : variation spatiale du plomb des sols étudiés.....	36
Figure 24 : Les paramètres de biométries mesurées chez <i>Helix aspersa</i> la hauteur (H) et le diamètre (D).....	36
Figure 25 : variation spatial du poids frais total, chaire et le poids de la coquille de <i>l'Helix aspersa</i>	37
Figure 26 : variation spatial du diamètre et la hauteur de la coquille de <i>l'Helix aspersa</i> ...	38
Figure 27 : variation spatiale du plomb dans le pied, viscères et coquille de <i>l'Helix aspersa</i>	39
Figure 28 : Variation spatiale des facteurs de bioconcentration du plomb (pied, viscères et coquille) chez <i>l'Helix aspersa</i>	41

Table des matières

Remerciements	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction	1

Chapitre I synthèse bibliographique

I. Contamination des sols des zones urbaines par le plomb	4
I.1. Généralités sur le plomb (Pb)	4
I.1.2. Les propriétés du plomb	4
I.1.3. Origine du plomb	5
I.1.3.1 Origine naturelle	5
I.1.3.2 Origine anthropique	6
I.2. Contamination versus pollution des sols	6
I.3. les différentes formes du plomb dans les sols	6
I.3.1. la fraction liée aux argiles.....	7
I.3.2. fraction liée aux carbonates	7
I.3.3. fraction liée aux oxydes de fer et manganèse.....	7
I.3.4. fraction liée à la matière organique	7

I.3.5. Des précipités	7
I.3.6. La fraction résiduelle.....	7
I.4. Influence de la physico-chimie du sol sur la spéciation et le comportement du plomb.....	8
I.4.1. Influence du pH.	8
I.4.2. Influence de la matière organique.....	8
I.4.3. Influence de la CEC.....	8
I.4.4. La température et l'humidité du sol.....	9
I.4.5. influence des carbonates de calcium.....	9
I.5. Utilisation des escargots comme bio-indicateurs de la contamination des sols par les éléments traces métalliques.....	9
I.5.1. Biondication.....	9
I.5.2. Intérêt et utilisation des escargots dans la bio-indication.....	10
I.5.2.1. Description, écologie et comportement de l'espèce <i>Helix aspersa</i> (Müller, 1774)..	10
I.5.2.2. Spécificités des escargots.....	13
I.5.2.3. Voies d'exposition.....	13
I.5.2.4. Cinétique du transfert des ETM chez les escargots	14

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1. Présentation de la zone d'étude.....	16
II.1.1 Situation géographique	16
II.1.2 Géologie et lithologie	16

II.1.3 Réseau hydrographique.....	16
II.1.4. Climatologie.....	17
II.1.5. Industries et agglomérations.....	17
II.2. Choix et localisation des stations de prélèvement.....	18
II.2.1 Choix des stations.....	18
II.2.2. Localisation des stations.....	19
II.3. Nature et stratégie des prélèvements	22
II.4. Traitement et caractérisation physico-chimique des sols.....	25
II.4.1. Traitement et préparation des sols.....	25
II.4.2. Caractérisation physico-chimique des sols.....	25
II.4.2.1. Mesure du pH	25
II.4.2.2. Détermination de la conductivité électrique (CE)	25
II.4.2.3. Dosage du calcaire total.....	26
II.4.2.4. Dosage de la matière organique	26
II.4.2.5. Extraction et dosage du plomb dans le sol	26
II.5. Caractérisation des escargots.....	27
II.5.1. Identification des espèces	27
II.5.2. Aspects généraux sur l'anatomie, la biologie et l'écologie de l'espèce <i>Helix aspersa</i>	27
II.5.3. Extraction et dosage des métaux lourds chez <i>Helix aspersa</i>	28
II.5.3.1 Dissection et préparation de l'escargot.....	28
II.5.3.2 Extraction et dosage des métaux lourds chez <i>l'Helix aspersa</i>	28

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Les paramètres physico-chimiques du sol.....	30
III.1.1. Le pH.....	30
III.1.2.La conductivité électrique.....	32
III.1.3.Le calcaire total.....	33
III.1.4.La matière organique.....	34
III.1.5 : Les teneurs en plomb dans le sol	35
III.2. Les paramètres morphométriques et teneurs en plomb chez <i>l'Helix aspersa</i>...	35
III.2.1. Biométrie de <i>l'Helix aspersa</i>.....	36
III.2.2. Les teneurs en plomb chez <i>l'Helix aspersa</i>.....	39
Conclusion et Perspectives.....	42
Références bibliographiques.....	45

Annexes

Introduction

INTRODUCION

Durant le dernier siècle, la société a connu une phase de forte expansion industrielle accompagnée de l'exploitation de nombreuses ressources non renouvelables. Le manque de préoccupation environnementale de cette époque a conduit au déversement de nombreuses substances polluantes dans l'environnement. Celles qui étaient peu voire non dégradables se sont accumulées dans les sols, les sédiments, les eaux et les organismes. Même si cette exploitation a permis un bon développement économique, elle a été à l'origine d'une dégradation de notre environnement *via* une chute de la biodiversité et de la qualité des milieux naturels. Les composés à caractère polluant arrivant aux sols sont de natures variées (pesticides, éléments traces métalliques, hydrocarbures, PCB, etc.) et présentent des rémanences différentes dans les sols (Morel, 1997).

En Algérie et plus particulièrement à Constantine, il est aisé de constater qu'on a un véritable problème de contamination de l'air, des eaux, des sols, des végétaux et des animaux. En effet, la ville de Constantine, tel est le cas de la plupart des villes en Algérie, a enregistré dès les années 80, un accroissement de ses agglomérations, de l'activité industrielle ainsi qu'un trafic routier intense. Cette amplification est à l'origine de perturbations, de plus en plus importantes des écosystèmes environnants et de leurs sols. Plusieurs études ont été menées dans ce sens notamment celles relatives à la contamination des eaux, des sédiments, des sols, des végétaux et de la pédofaune du constantinois par les éléments traces métalliques (El HadeF El Okki, 2002 ; Sahli, 2002 ; Afri-Mehennaoui et al. 2004 ; Azzoug, 2004, Ouahrani et Gheribi, 2007 ; Sahli, 2012).

Les éléments traces métalliques jouent un rôle important de par leur forte persistance dans l'environnement et leur toxicité. Dans le sol, ils sont pour partie d'origine naturelle (Alloway, 1995; Baize, 1997). Ils peuvent également être d'origine anthropique. Les principales sources anthropiques de métaux sont l'agriculture, le trafic routier, l'incinération d'ordures et le rejet dans l'environnement de métaux sous forme d'apports diffus ou localisés (Baize, 1997; Morel, 1997 ; Merian et al. 2004).

En premier lieu, ces éléments viennent s'accumuler dans l'horizon de surface. Ils peuvent être stockés, transformés, lessivés vers les cours d'eaux, et repris par les êtres vivants. Leur accumulation dans le sol peut compromettre l'usage de ce dernier et induire des dangers pour les organismes exposés tels les microorganismes, la flore, la faune et *in fine* l'homme *via* les chaînes alimentaires (Chassin et al. 1996). Ces dangers peuvent se traduire par des changements majeurs dans la structure du compartiment biologique. La contamination engendre ainsi des

modifications de la densité et la biodiversité, et influence les différentes activités des communautés vivant dans le sol. Cependant, ces communautés, en contact permanent avec ces éléments dans le sol, peuvent s'adapter à l'augmentation de leurs teneurs en développant différents mécanismes (accumulation, détoxification, ...) pour résister à cette contamination. Elles peuvent être ainsi de bons indicateurs de l'état de ces sols. C'est pourquoi, plusieurs représentants ont été utilisés pour la biosurveillance et la bioremédiation des sols contaminés par ces éléments, tels : les bactéries, les mollusques, les vers de terre, les plantes, etc. (Houda, 2010 ; Kabata-Pendias, 2011 ; Alloway, 2013).

Pouvant présenter des densités élevées, l'escargot *Helix aspersa* (syn. *Cantareus aspersus* ou *Cornu aspersum* O.F. Müller, 1774) communément appelé petit-gris, est le modèle biologique le plus utilisé (Mason, 1970). De par leur place au sein de l'écosystème terrestre, les escargots sont capables d'intégrer des sources multiples de contamination (sol, atmosphère, végétaux) par diverses voies : digestive, respiratoire et/ou cutanée. Les capacités de résistance et d'accumulation des métaux ont été démontrées chez ces escargots (Scheifler et al. 2002). Ainsi, les petits-gris sont considérés comme des bioindicateurs d'exposition et d'effets de nombreux polluants métalliques (Scheifler et al. 2002 ; Fritsch, 2010).

Par ailleurs, plusieurs études ont montré que les sols, notamment ceux aux abords des infrastructures routières, se comportent comme des systèmes accumulateurs d'éléments traces métalliques (Bourrelier et Berthelin, 1998 ; Colinet, 2003 ; Dère, 2006). La caractérisation physico-chimique des sols, notamment la quantification des teneurs en éléments traces métalliques, est considérée comme étant un moyen direct d'évaluation du niveau de contamination d'un sol. Néanmoins, cette approche reste imprécise ; les résultats ne permettent pas de connaître, ni d'estimer la fraction réellement disponibles pour les organismes vivants. C'est pourquoi, il s'avère nécessaire de combiner des mesures physico-chimiques et biologiques voire écotoxicologique. Le recours à des approches mixtes apparaît alors comme un moyen direct qui renseigne réellement sur la fraction qui circule dans la partie vivante des sols et permet d'estimer les risques pour les organismes vivants.

Dans ce contexte, nous nous sommes proposé à travers cette étude d'évaluer le niveau de contaminations par le plomb des sols et des différentes parties (coquilles, pieds et viscères) de l'*Helix aspersa* échantillonnés le long de la RN°03 reliant le centre ville de Constantine à la commune d'El Hamma et caractérisée par un trafic routier intense.

Aussi, les paramètres physico-chimiques du sol qui peuvent avoir un effet sur la spéciation, la mobilité ainsi que la biodisponibilité du plomb ont été déterminés.

Ce manuscrit s'articule en trois chapitres :

- ✓ Chapitre 1 « **synthèse bibliographique** » dans lequel est donné un aperçu général sur le plomb et ses propriétés, ses origines, et ses différentes formes dans les sols, on parlera notamment de l'utilisation de *l'Helix aspersa* comme espèce bioindicatrice et bioaccumulatrice
- ✓ Chapitre 2 « **Matériels et méthodes** » décrit la localisation de la zone d'étude. Aussi nous décrivons les différentes techniques utilisées lors de la réalisation de ce travail,
- ✓ Chapitre 3 « **résultats et discussion** », décrit les résultats obtenus relatifs à la caractérisation physico-chimique des sols, et aux teneurs en plomb dans le sol et les différentes parties de *l'Helix aspersa*,
- ✓ **Une conclusion et des perspectives** clôtureront ce travail.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

I. Contamination des sols des zones urbaines par le plomb

I.1. Généralités sur le plomb (Pb)

On appelle éléments traces métalliques (Di benedetto, 1997) :

- Tout métal ayant une densité supérieur à 5
 - Tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du sodium (Z=11)
- Conventionnellement, les éléments traces sont les 68 éléments minéraux, constituants de la croûte terrestre, dont la concentration est pour chacun d'entre eux inférieure à 0,1%.
- Parmi ces ETM on peut citer le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le plomb (Pb), le zinc (Zn) qui se classent dans la catégorie des métaux et l'arsenic (As) et l'antimoine (Sb) qui se classent parmi les métalloïdes.

On note que le plomb est un élément non essentiel et toxique pour les êtres vivants (Miquel, 2001)

Tous les éléments traces métalliques sont une part constituante naturelle de la croûte terrestre et sont donc toujours présents dans le sol, dans l'eau souterraine et dans l'eau de surface. Les concentrations naturelles dans le sol se situent généralement dans une plage de 1 à 100 mg/kg, mais des valeurs inférieures ou supérieures sont possibles pour certains métaux (Steketee 2010).

I.1.2. Les propriétés du plomb

C'est un élément largement répandu dans la surface du globe (0.0018% de la croûte terrestre), très utilisé par l'homme, utilisé dans de nombreux secteurs (Bliefert.2001), La teneur moyenne en Pb est la croûte de la Terre est estimée à 15 mg / kg (Kabata-Pendias 2011)

Le plomb est extrait de trois minerais : la galène (PbS), la cérusite (PbCO₃) et l'anglésite (PbSO₄), (Mc Culley et al. 1991). Le tableau (1) met en évidence les principales caractéristiques du plomb

Tableau 1 : les propriétés du plomb

Symbole	Numéro atomique	Masse atomique	Etat standard	Couleur	État d'oxydation
Pb	82	207,2	solide	bleuté brillant	4

I.1.3. Origine du plomb

Le plomb présent dans les sols est pour partie d'origine naturelle, en provenance de la dégradation du matériau parental (Girard et al. 2005), des feux de forêts et des éruptions volcaniques (Garrett, 2000).

Le plomb dans les sols peut également être d'origine anthropique. Les principales sources anthropiques du plomb sont l'agriculture, par exemple l'utilisation de l'arséniat de plomb comme insecticide (Girard et al. 2005 ; INERIS, 2010), le trafic routier, l'incinération d'ordures (Denison and Silbergeld, 1988) et le rejet dans l'environnement de métaux sous forme d'apports diffus (poussières) ou localisés par rejet direct dans l'environnement (Godin et al., 1985; Baize, 1997; Merian et al., 2004)

I.1.3.1 Origine naturelle

Les sols contiennent naturellement des éléments traces métallique qui proviennent directement de l'altération et de l'érosion des roches mères et des matériaux géologiques (Sillanpaa, 1972). De nombreuses anomalies naturelles ont été détectées. Il s'agit de teneurs élevées dues à la roche mère

Contrairement aux composés organiques, les éléments traces métalliques ne se décomposent pas. Pour Baize (1997), il paraît absurde d'employer la formule de « pollution naturelle » lorsqu'on se trouve en présence d'un fond pédogéochimique à très forte concentrations métalliques. Naturellement, le sol contient le plomb issu de la roche-mère sur laquelle il s'est formé. Par conséquent, le sol sera d'autant plus riche en plomb que la roche-mère l'est également, le fond pédogéochimique local est la concentration naturelle d'une substance dans un horizon de sol, résultant de l'évolution géologique et pédologique, à l'exclusion de tout apport d'origine anthropique.

I.1.3.2 Origine anthropique

Les apports anthropogènes résultent de cinq groupes d'activités :

- les moteurs à explosion : le plomb est rejeté par les gaz d'échappement sous forme d'aérosols ou de poussières, une partie de ces composés se dépose sur les chaussées ou à proximité (moins de 50m).
- les sources industrielles : le plomb peut être libéré par des usines traitant le minerai ou réalisant la récupération des batteries.
- les sources minières et poussières crassiers.
- les sources urbaines ; boues de stations d'épuration.
- certains traitements pesticides à base de plomb (arseniates) ont été employés autrefois dans des terrains agricoles (Baize, 1997)

I.2. Contamination versus pollution des sols

Le comité technique (ISO/TC 190/1997) s'est refusé à définir les deux mots « contamination » et « pollution » dans la norme ISO 11074-1 1997 sous le prétexte que ces mots étaient employés sans cohérence par divers experts d'un pays à l'autre et à l'intérieur d'un même pays (,1997)

D'après Juste (1995) « contamination » doit être employé pour les sols lorsqu'il y a des apports anthropiques importants mais sans effet apparent pour l'environnement. En revanche, ce même auteur préconise l'emploi de terme « pollution » lorsque des apports liés à des activités humaines ont des effets négatifs visibles sur l'environnement.

On peut cependant associer la contamination des sols à :

- Un accroissement des teneurs suit aux activités humaines locales
- Un accroissement du risque de nuire aux fonctions des sols naturels

Mais c'est probablement plus la forme chimique de l'élément que sa teneur qui pourra provoquer un effet négatif sur le fonctionnement du sol (Juste, 1995).

I.3. les différentes formes du plomb dans les sols

Dans les sols, les ETM se répartissent entre la phase solide et la phase liquide. La plupart du temps, la quantité de métaux présente dans la solution du sol ne représente qu'une faible partie de la quantité totale présente dans le sol (Morel, 1997; Girard et al., 2005). La majeure partie des ETM va donc se concentrer dans la phase solide du sol et se répartir entre ses différents

constituants (fig. 1). Les principaux acteurs de la fixation et de la rétention des métaux dans un sol sont :

I.3.1. la fraction liée aux argiles

On trouve une fraction importante du plomb dans la phase argileuse, il est inclus dans les réseaux silicatés sous une forme très peu disponible, ou encore adsorbé à la périphérie des argiles (Perrono, 1999).

I.3.2. La fraction liée aux carbonates

En sol calcaire, les carbonates de calcium sont les constituants majeurs qui interviennent dans la fixation du plomb, soit par adsorption, par précipitation d'hydroxydes ou de carbonates, ou encore par insertion dans le réseau de CaCO_3 (Perrono, 1999).

I.3.3. La fraction liée aux oxydes de fer et manganèse

La distribution du Pb dans le sol n'est pas uniforme et indique une grande association avec les hydroxydes, en particulier le fer et le manganèse. Les concentrations en plomb sur le complexe Fe-Mg peuvent être très hautes et atteindre 20.000 ppm (Kabata-Pendias et al. 1999)

I.3.4. La fraction liée à la matière organique

Généralement, le plomb est accumulé près de la surface du sol, due à son adsorption à la matière organique. Une étude conduite par Sipos et al. (2005) suggère que la matière organique joue un rôle décisif dans l'adsorption du Pb. Toutefois, sa fixation avec la partie minérale s'avère beaucoup plus forte.

I.3.5. Les précipités

Le plomb peut précipiter dans les sols suivant les conditions qui y règnent, pour former des composés chimiques peu ou pas solubles, tels que des sulfures, des phosphates, des hydroxydes ou des sels organiques (Perrono, 1999).

I.3.6. La fraction résiduelle

Correspond aux métaux incorporés dans les minéraux du sol, c'est à dire inclus dans la matrice sol, ainsi le Pb a une capacité de remplacer le K, Ba, Sr et même le Ca (Kabata-Pendias 2011).

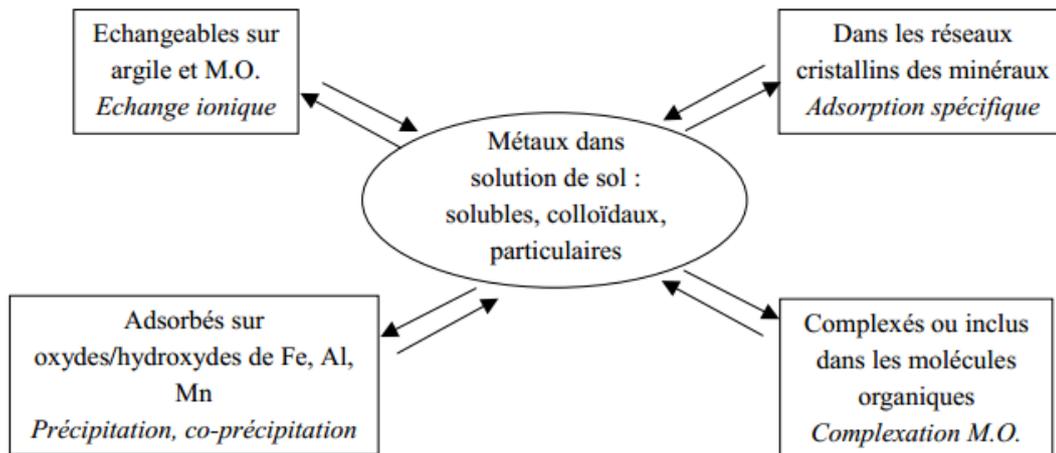


Figure 1 : Devenir des métaux dans les sols (Juste 1995)

1.4. Influence de la physico-chimie du sol sur la spéciation et le comportement du plomb :

Les ETM ne demeurent pas figés au cours du temps. En permanence, les éléments passent d'une forme à une autre sous l'influence de modifications externes naturelles ou anthropiques : changements du pH, du degré d'aération, de la température, de l'hydratation, de l'environnement chimique, etc. (Baize, 1997)

I.4.1. Influence du pH

La variation de pH (naturelle ou anthropique) semble être le facteur dont l'action sur la mobilité des éléments traces métalliques est la plus déterminante. L'abaissement du pH favorise la mobilité du Pb, notamment par mise en solution de sels métalliques ou destruction de la phase de rétention. Inversement, l'augmentation du pH provoque l'immobilisation par formation de composés insolubles ou accroissement de la capacité d'échange cationique (Perrono, 1999).

I.4.2. Influence de la matière organique

L'apport de matière organique permet d'immobiliser les ETM du sol qui ont pour elle une grande affinité, mais la minéralisation ultérieure peut les remettre en solution, il ne s'agit donc que d'une immobilisation temporaire (Perrono, 1999).

I.4.3. Influence de la CEC

L'augmentation de la salinité entraîne la remobilisation des éléments traces métalliques par compétition des ions magnésium et calcium vis-à-vis des autres ETM sur le site de fixation. Ceci a été observé pour le cadmium et le magnésium. Pour le cuivre et le plomb, les désorptions sont

beaucoup plus faibles car ils sont principalement associés à la matière organique. Les éléments libérés (mobiles) présentent une toxicité plus ou moins marquée, car ils sont formés de chloro-complexes qui sont moins biodisponibles que les ions libres (Förstner et Whittmann, 1981).

I.4.4. La température et l'humidité du sol

Elles jouent un rôle indirect en favorisant l'activité biologique du sol, et donc la production de substances acides ou complexantes issues de la biodégradation de matières organiques. L'élévation de température agit directement sur la dissolution de composés fixant un ETM, facilitant ainsi son absorption par la flore. L'humidité agit également directement dans les processus de précipitation et de solubilisation. Par ailleurs, un excès d'hygrométrie peut conduire à un défaut d'aération du sol (Perrono, 1999).

I.4.5 influence des carbonates de calcium

En milieu calcaire, les carbonates de calcium CaCO_3 sont les constituants majeurs qui interviennent dans la fixation des ETM, soit par adsorption, par précipitation d'hydroxydes ou de carbonates, ou encore par insertion dans le réseau de CaCO_3 (Perrono, 1999).

I.5. Utilisation des escargots comme bio-indicateurs de la contamination des sols par les éléments traces métalliques

I.5.1 Biondication

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 (Hopkin, 1993 ; 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
- leur écologie et physiologie doivent être connues.

Les escargots ont donc depuis longtemps été utilisés pour étudier l'accumulation de polluants (Coughtrey and Martin, 1976; Dallinger et al. 1993; Laskowski and Hopkin, 1996; Coeurdassier et al. 2001; de Vaufleury et al. 2006; Gimbert et al. 2006; Druart et al. 2011).

Deux types de bioindication peuvent être développés : bioindication passive et bioindication active. La bioindication passive est basée sur le prélèvement d'organismes sauvages autochtones

exposés de manière chronique sur les sites pollués, tandis que la bioindication active consiste en l'exposition d'organismes naïfs par l'expérimentateur sur le site contaminé.

Dans le premier cas, les mesures concernent une exposition chronique et à long terme donc une intégration temporelle des phénomènes d'exposition et d'effets, et permettent d'étudier les réponses des organismes dans des conditions écologiquement représentatives. Par contre, il n'est pas possible de connaître précisément le moment et/ou l'endroit de l'exposition au polluant. Dans le second cas, l'intérêt est de connaître le passé des individus, leur âge et autres caractéristiques individuelles pouvant influencer le niveau d'expression du paramètre mesuré, mais aussi de connaître le lieu et la durée d'exposition ce qui facilite l'interprétation des réponses observées et l'évaluation de relation dose/réponse (Fritsch, 2010).

I.5.2. Intérêt de l'utilisation des escargots dans la bio-indication.

I.5.2.1. Description, écologie et comportement de l'espèce *Helix aspersa* (Müller, 1774)

Les escargots utilisés au cours de ce travail sont des mollusques gastéropodes pulmonés terrestres et appartiennent à l'espèce *Helix aspersa*, on l'appelle aussi *Cantareus aspersus*. Plus communément appelé Petit gris.

C'est une espèce ubiquiste qui s'adapte à des milieux, des sols et des climats variés et s'accommode très bien aux milieux fortement anthropisés, mais semble cependant préférer les milieux ouverts (Kerney et al. 2006). Le petit gris est très répandu en Algérie et dans les régions méditerranéennes et océaniques (Chevallier, 1998).

Helix aspersa, plus connu sous le nom commun du Petit-Gris (fig. 2) appelé communément en Algérie «Z'gargou» ou «Boujaghlel», « Boujeghlelou » est un escargot très répandu sur la façade méditerranéenne algérienne. Son aire de répartition écobiogéographique s'étend à toute l'Afrique du Nord et en Europe. L'espèce a été décrite par le zoologue danois Otto Friedrich (Müller 1774). Leur coquille, dextre, est de couleur brun jaunâtre avec un diamètre variant de 20 à 35 mm et une hauteur de 25 à 40 mm, pour un poids adulte de 7 à 15 g (Müller, 1774). Deux grandes parties sont distinguées : le pied et les viscères, les viscères correspondent aux organes situés à l'intérieur de la coquille et comprennent le rein, l'hépatopancréas (site principal de stockage des métaux), le cœur et une partie de l'appareil génital qui se prolonge également dans le pied. Le pied comporte essentiellement la sole pédieuse, musculeuse, la partie antérieure du tube digestif et le système nerveux (fig. 3)



Figure 2 : photos de *l'Helix aspersa* prise pendant le ramassage (février 2016)

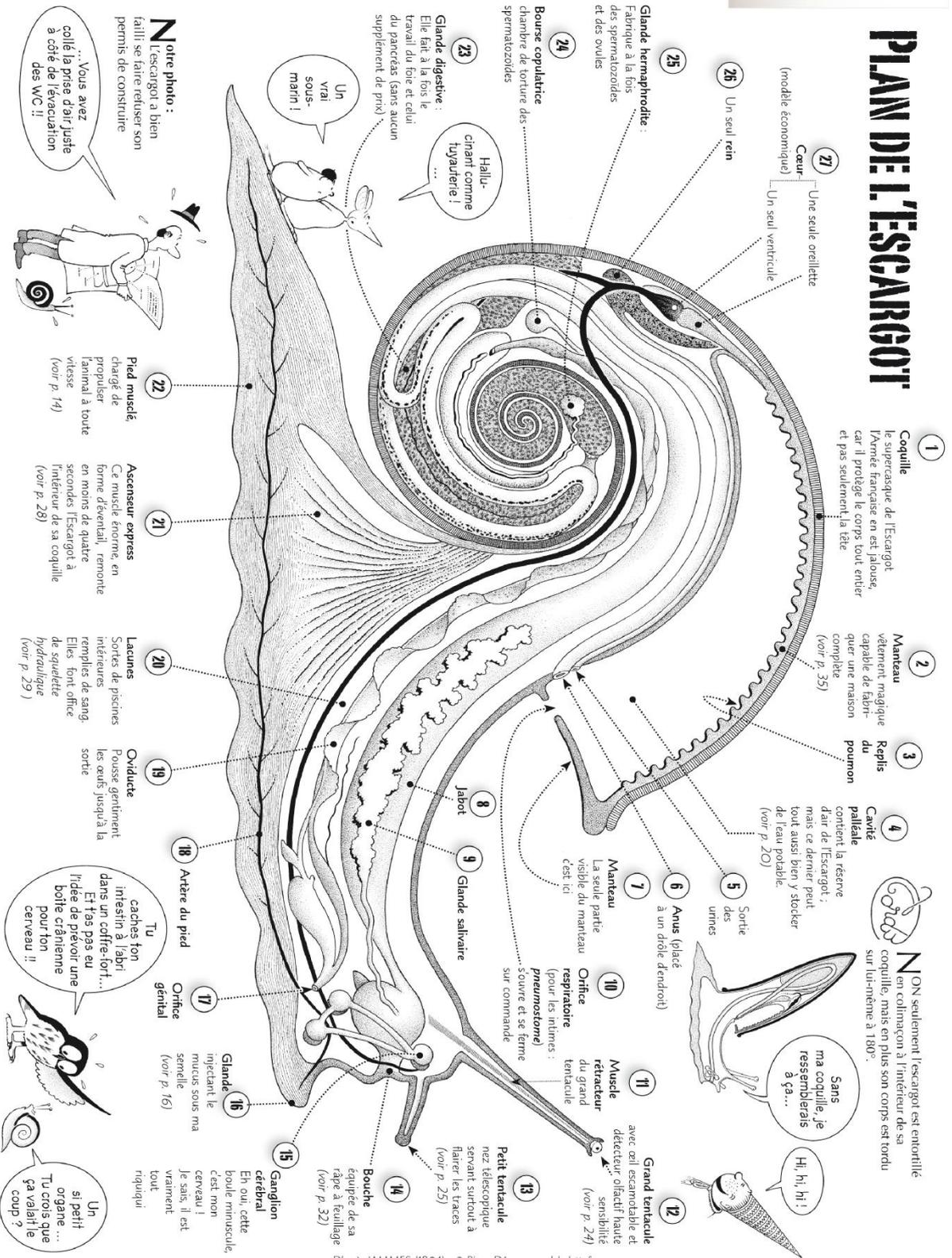
L'activité de *l'Helix aspersa* dépend des conditions environnementales telles que l'humidité du sol et de l'air (activité au-dessus de 80%), la température (inactivité pour des températures nocturnes inférieures à 9°C) et l'intensité lumineuse (Chevallier, 1982).

Helix aspersa est surtout actif la nuit et en période humide. Pendant les jours trop secs, il entre en estivation en se fixant contre une paroi et en obturant sa coquille d'un voile blanchâtre, l'épiphragme. A partir du mois d'octobre en Europe, l'escargot hiberne en s'enfouissant dans le sol ou en s'abritant dans les interstices des murs. Sa coquille est alors obturée par un épiphragme épais. Il reprend généralement son activité au printemps quand les températures avoisinent les 12 - 14°C (Marasco et Murciano, 2003 ; Kerney et Cameron, 2006).

La reproduction de *l'Helix aspersa* en milieu naturel a lieu de mai à mi-septembre. Chez ces hermaphrodites protandres, la fécondation est réciproque par échange de spermatophores entre les 2 partenaires, certains individus pouvant toutefois se comporter uniquement comme mâle ou comme femelle (Pauget, 2012).



PLAN DE L'ESCARGOT



D'après JAMMES (1904) - © Pierre Déom - www.lahulotte.fr

Figure 3 : Schéma de l'organisation interne d'un escargot des haies [La Hulotte n°97]

I.5.2.2. Spécificités des escargots

En milieu terrestre les escargots remplissent les critères précédemment développés et sont reconnus comme des indicateurs écologiques pertinents (Berger et Dallinger, 1993 ; Cortet et al. 1999) 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,
- ils possèdent des capacités de bioaccumulation importantes pour de nombreux polluants métalliques (Dallinger et al. 1984),
- ils présentent des réponses physiologiques : inhibition de croissance, de reproduction, mortalité (Laskowski et al 1996), et biochimique (coeurdassier et al 2001) quand ils sont exposés aux contaminants,
- ils constituent un élément des réseaux trophiques qui contribue au transfert des polluants du sol et/ou des plantes aux prédateurs (Beeby, 1985).

I.5.2.3. Voies d'exposition

A l'interface sol-plante-atmosphère, l'escargot intègre plusieurs sources de contaminations accessibles *via* différentes voies d'exposition (fig. 4) :

- Digestive par ingestion de nourriture ; plante mais également particules de sols, (Gomot et al. 1989),
- Cutanée par diffusion des polluants du sol à travers l'épithélium de pied (coeurdassier et al. 2002 ; Gomot-de Vaufleury et Pihan, 2002),
- Respiratoire par inhalation de gaz et/ou de particules atmosphériques (Ismert et al. 2002 ; Regoli et al. 2006)

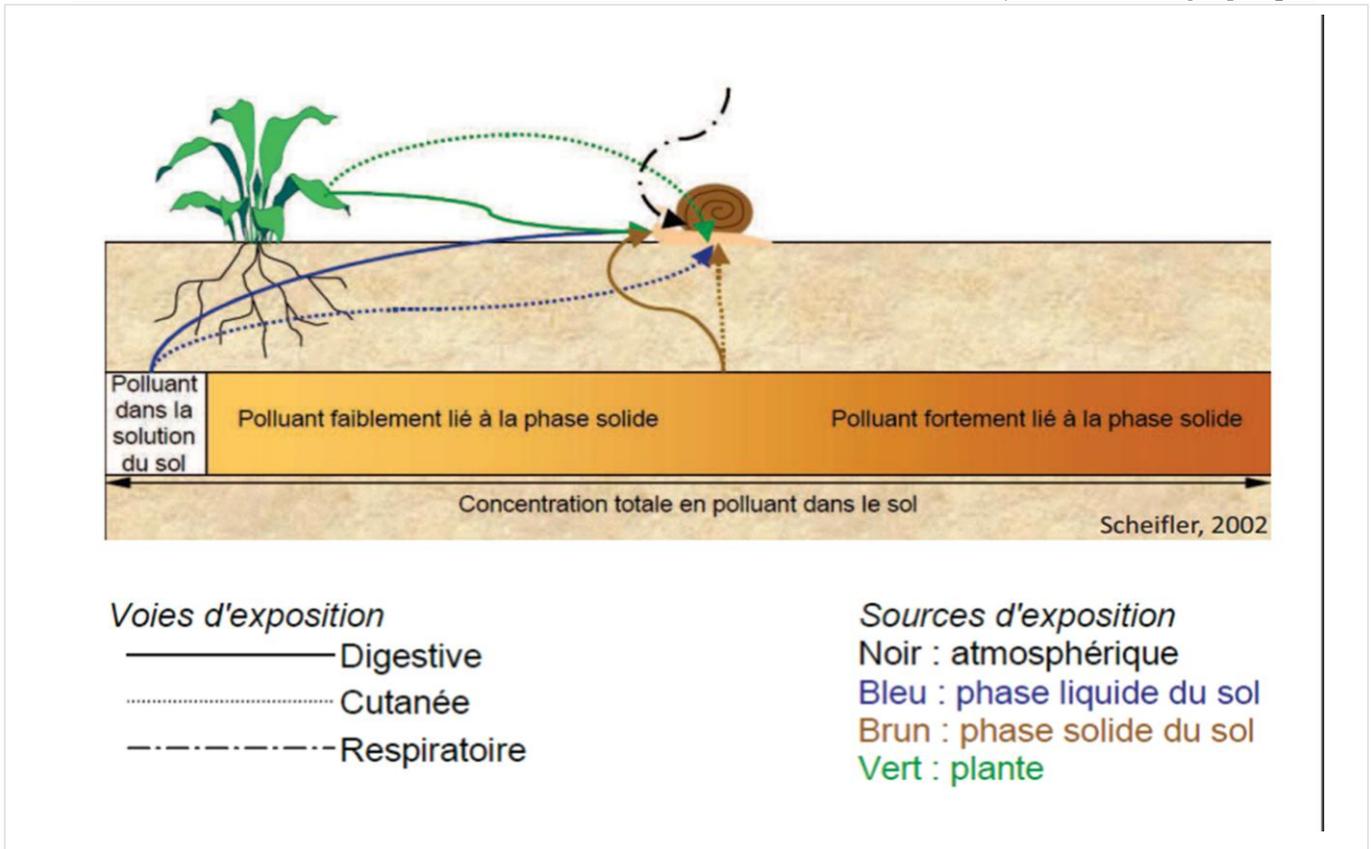


Figure 4 : Transferts des polluants dans un écosystème terrestre (sheifler et al. 2002)

Chez *l'Helix aspersa*, la contribution du sol à l'accumulation totale des ETM est supérieure à 80% pour le plomb, compris entre 30 et 60% pour le Zn et entre 2 et 40% pour le Cd (sheifler et al. 2006).

I.5.2.4. Cinétique du transfert des ETM chez les escargots

Une fois assimilés, les ETM sont pris en charge par le système circulatoire hémolympatique et sont distribués dans l'organisme (Gimbert, 2006).

Le plomb est un élément non essentiel pour les gastéropodes, il sera détoxiqué, soit via son excrétion à l'extérieur de l'organisme, soit via son stockage sous une forme soluble ou insoluble (simkiss 1997).

Deux principaux types de structures de détoxification et de stockage ont été identifiés chez les escargots ; les métallothionéines (MTs) et les granules, qui vont lier de manière plus au moins spécifiques certains ETM selon leur affinité pour certains types de ligands (Gimbert 2006).

Chapitre 2 : Matériel et Méthodes

La partie expérimentale de cette étude est divisée en deux parties distinctes :

- ✓ une partie, échantillonnage sur terrain ;
- ✓ une partie, analyses au laboratoire.

II.1. Présentation de la zone d'étude

II.1.1. Situation géographique

La wilaya de Constantine est située à l'Est Algérien (36° 24' N et 06° 38' E, 644 m), et s'étend sur 2297,2 km² (ANPE, 1988). Dans la commune de Hamma Bouziane, à 7 km au nord Constantinois se situe la zone urbaine de B'kira. La zone d'échantillonnage se situe le long de la route nationale N°3 reliant la ville de Constantine à la commune de Hamma Bouziane (fig. 5)

II.1.2 .Géologie et lithologie

La wilaya de Constantine est caractérisée par une prédominance de terrains tendres constitués de marnes et d'argiles, de faible à moyenne résistance, avec prédominance des formations calcaires marneuses et des formations de marnes, conglomérats et calcaires lacustres. Ces formations, peu ou pas tectonisées, correspondent au miopliocène et au quaternaire qui constituent le bassin de Constantine (Mebarki, 1984.).

II.1.3 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique, au niveau de la Wilaya de Constantine, résulte de la jonction de deux cours d'eau importants : l'oued Rhumel et l'oued Boumerzoug. Ce réseau est alimenté par plusieurs sources d'eau douce (Aïn Hammam Zouaoui, Aïn Skhouna, Aïn Touta, Aïn Bensbaa, etc.) ainsi que les rejets des eaux usées et/ou industrielles. Celles-ci représentent, actuellement, les principales sources des eaux de ces deux oueds pendant la saison estivale (Mebarki, 1984).

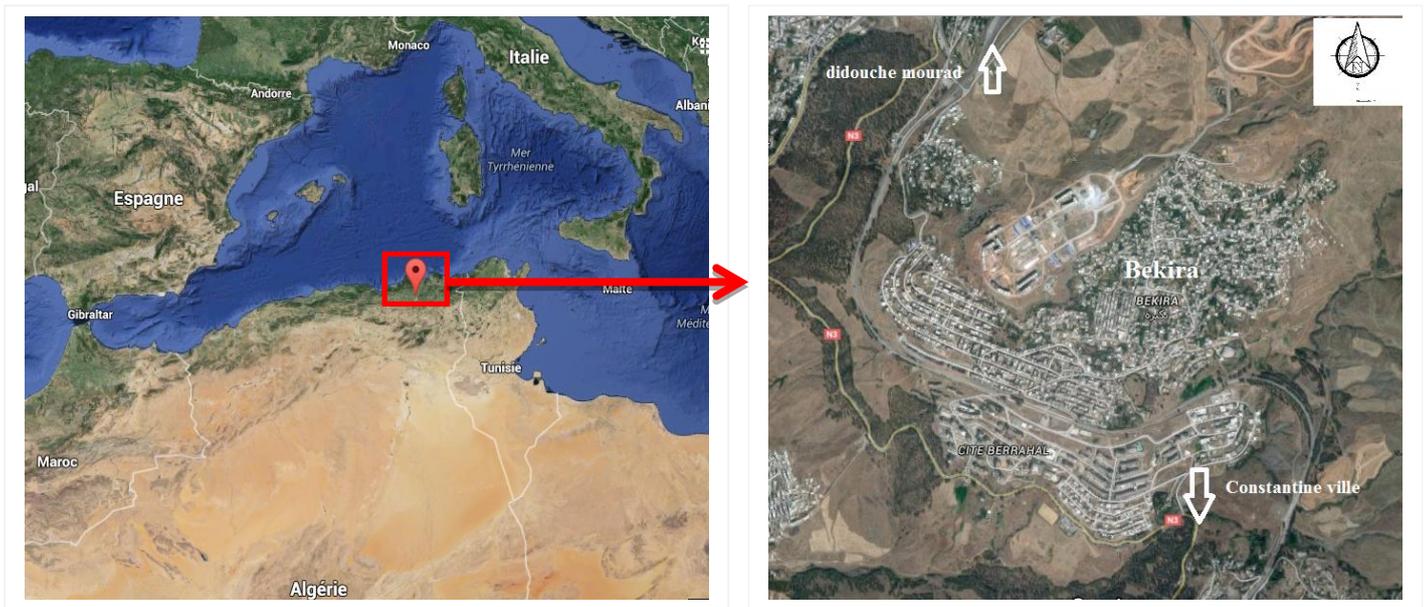


Figure 5: localisation géographique de la zone urbaine de B'kira Constantine (1/25 000)
(source : Google 2016)

II.1.4. Climatologie

Le climat de la zone est de type méditerranéen. La moyenne pluviométrique varie de 500 mm à 700 mm par an (Monographie de la wilaya de Constantine sur le site de l'ANDI). La région de Constantine se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais, et été chaud et sec. Il subit des influences de l'étage méditerranéen bioclimatique sub-humide en hiver (méditerranéen) et de l'atlas saharien en été (Mebarki, 1984).

II.1.5. Industries et agglomérations

La wilaya de Constantine a connu depuis ces dernières décennies une extension difficilement contrôlée de l'urbanisation du secteur industriel et du trafic routier. La région de B'kira est soumise à une perturbation due au :

- trafic routier important, la route nationale N3 reliant B'kira à Constantine ville,
- une pollution atmosphérique due aux rejets de la cimenterie (ERCE) de Hamma Bouziane (Rabouh, 2011),
- les déchets urbains non dégradables (caoutchouc, plastique, aluminium...) (fig. 6)



Figure 6 : photos prise en février 2016 dévoilant les rejets urbains dans la zone de B’kira
(Constantine)

II.2. Choix et localisation des stations de prélèvement

II.2.1. Choix des stations

La région de B’kira est une zone urbaine à forte pression anthropique, trois sites d’échantillonnages ont été retenus sur 3 zones successives au niveau de la route nationale N3 de l’amont vers l’aval de la zone de B’kira (fig. 7).

II.2.2. Localisation des stations



Figure 7 : situation géographique des 3 stations (1/27 000) (source : Google 2016)

Station 1 : Amont de B’kira et aval de Constantine, 2 rives :

Rive droite (fig. 8) : $36^{\circ}23'00''\text{N}$; $06^{\circ}36'48''\text{E}$ Altitude=536m



Figure 8 : une des parcelles de la rive droite, délimité en quadra de 4m²

Rive gauche (fig. 9) : $36^{\circ}23'03''$ N; $06^{\circ}36'42''$ E Altitude=480m



Figure 9 : rive gauche, station 1, parcelle délimitée à l'aide d'une ficelle en 4m²

Station 2 : Située à environ 600m de la première station

Rive droite (fig 10): $36^{\circ}23'17''$ N ; $06^{\circ}36'56''$ E Altitude=508m



Figure 10 : emplacement de la 2^{ème} station, rive droite par rapport à l'axe routier

Rive gauche (fig 11): 36°23'14'' N ; 06°36'51'' E altitude=497m



Figure 11 : ramassage des escargots et sol en station 2 rive gauche

Station 3 : Cette zone est plus éloignée des deux précédentes ; elle se situe à 2.5 km de la première zone, elle est caractérisée par la présence d'une seule espèce ligneuse qui est l'Eucalyptus.

Rive droite (fig 12) : 36°23'32'' N;06°36'57'' E altitude=508m



Figure 12 : station 3 rive droite

Rive gauche (fig 13) : 36°23'59'' N ; 06°35'29'' E altitude=497m



Figure 13 : station 3 rive gauche

II.3. Nature et stratégie des prélèvements

Le ramassage d'escargots s'est effectué en mois de février et de mars 2016, le choix des parcelles était aléatoire; il dépendait notamment de la présence et/ou abondance d'un nombre suffisant d'individus. Chaque station est partagée en deux rives séparées par l'axe routier, et chaque rive comporte 2 à 3 parcelles. La récolte des escargots est accompagnée par un échantillonnage de sol (0-20cm) à l'aide d'une tarière en acier dur.

Ci-dessous (tab. 2) récapitule les conditions de prélèvements de la station 1 de *l'Helix aspersa*

Station 1 : (fig 14)

Rives	Date/T(°C)	Nb. parcelles	Nb. spécimens	S. parcelle	Coordonnées GPS
Rive droite	13/02/2016 T=14C°	3	13	Prc 1= 4m ²	36°23'00.006'' N 06°36'48.664'' E
				Prc 2=4m ²	36°23'00.075'' N 06°36'48.745'' E
				Prc 3=4m ²	36°23'00.363'' N 06°36'48.994'' E
Rive gauche	13/02/2016 T=14C°	2	11	Prc 1=4m ²	36°23'03.659'' N 06°36'42.635'' E
				Prc 2=4m ²	36°23'03.907'' N 06°36'42.748'' E



Figure 14 : localisation des parcelles de prélèvements de la station 1 (rive gauche+ rive droite) représenté en carré rouge

Ci-dessous (tab. 3) récapitule les conditions de prélèvements de la station 2 de *l'Helix aspersa*
Station 2 (fig 15)

Rives	Date/T(°C)	Nb. parcelles	Nb. spécimens	S. parcelle	Coordonnées GPS
Rive droite	29/02/2016 T : 10C°	3	20	Prc 1= 4m ²	36°23`17.1276`` N 06°36`56.0520`` E
				Prc 2=9m ²	36°23`17.0772`` N 06°36`57.5892`` E
				Prc 3=4m ²	36°23`16.1088`` N 06°36`52.3404`` E
Rive gauche	29/02/2016 T : 10C°	2	20	Prc 1=1m ²	36°23`14.8884`` N 06°36`51.5592`` E
				Prc 2=4m ²	36°23`15.9216`` N 06°36`52.2180`` E



Figure 15 : localisation des parcelles de prélèvements de la station 2 (rive gauche+ rive droite) représenté en carré rouge

Ci-dessous (tab. 4) récapitule les conditions de prélèvements de la station 3 de *l'Helix aspersa*
Station 3 (fig 16)

Rives	Date/T(°C)	Nb. parcelles	Nb. spécimens	S. parcelle	Coordonnées GPS
Rive droite	29/02/2016 T : 10C°	2	/	Prc 1= 1m ²	36°23'31.9524`` N 06°35'56.7888`` E
				Prc 2=1m ²	36°23'33.1512`` N 06°35'58.7580`` E
Rive gauche	03/03/2016 T : 12C°	2	9	Prc 1=9m ²	36°23'59.3304`` N 06°35'30.2928`` E
				Prc 2=16m ²	36°23'59.4816`` N 06°35'29.4180`` E



Figure 16 : localisation des parcelles de prélèvements de la station 3 (rive gauche+ rive droite) représenté en carré rouge

II.4 Traitement et caractérisation physico-chimique des sols

II.4.1. Traitement et préparation des sols

Les sols sont été séchés à l'air libre sur du papier kraft pendant 10 à 15 jours, broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine afin de les réduire en particules fines, puis tamisés avec un tamis de mailles de 2mm. Ils sont ensuite conservé dans des sachets krafts jusqu'à analyse.

II.4.2. Caractérisation physico-chimique des sols

II.4.2.1. Mesure du pH

Le pH a été déterminé dans une suspension sol/eau distillée selon un rapport pondéro-volumique de 1/2,5, selon la norme NF X 31-103 (1998). Le pH est mesuré sur le surnageant à l'aide d'un pH mètre de terrain (model 903 nahita) étalonné avec des solutions à pH connu.

II.4.2.2. Détermination de la conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est une mesure qui donne une estimation de la concentration des sels solubles présents dans un échantillon. La conductivité électrique a été déterminée dans une

suspension sol/eau distillée selon un rapport pondéro-volumique de 1/5 selon la méthode ISO 11265 (1994). La mesure de la conductivité électrique est effectuée sur le surnageant obtenu après centrifugation à l'aide d'un conductimètre (Model WTW/Multi 3420). elle est exprimée en mS/cm

II.4.2.3. Dosage du calcaire total

Il est déterminé à l'aide du calcimètre de Bernard selon la norme NF ISO 10693 (1995), les taux en calcaire total sont exprimés en %.

II.4.2.4. Dosage de la matière organique

Le dosage de la matière organique est effectué selon la méthode de Walkley et Black (Duchaufour, 1991). Ce dosage est basé sur l'oxydation du carbone par le bichromate de potassium en milieu fortement acide (acide sulfurique). Cette oxydation s'accompagne d'une transformation du C en CO₂ et le Cr₂O₇³⁻ en forme réduites Cr³⁺. L'excès du K₂Cr₂O₇ utilisé est titré à l'aide d'une solution de sulfate ferreux FeSO₄·7H₂O en présence de diphénylamine comme indicateur. Les résultats sont exprimés en % de C_{org} et le taux de MO est obtenu en multipliant le taux du C_{org} par le coefficient 1,724.

II.4.2.5. Extraction et dosage du plomb dans le sol

L'extraction du plomb a été effectuée par digestion humide à l'eau régale (mélange de trois parts d'acide chlorhydrique HCl concentré et d'une part d'acide nitrique HNO₃) dans un four micro-onde (modèle Speedwave MWS-2. BERGHOF B). La technique est inspirée de la norme NF-ISO 11466 (1995) appliquée au four micro-onde. Cette dernière consiste à ajouter 10 ml d'eau régale à 500 mg de sol. On procède ensuite à une digestion à chaud dans des bombes en téflon sous pression en trois étapes dans le four micro-onde selon les conditions décrites ci-dessous :

	1 ^{ère} étape	2 ^{ème} étape	3 ^{ème} étape
Température	180°C	100°C	100°C
Puissance	80%	80%	40%
Temps	25mn	10mn	5mn

Le dosage a été effectué par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à Flamme de type PERKIN-ELMER. A Analyst 100. La flamme utilisée correspond à un mélange air-acétylène.

II.5. Caractérisation des escargots.

II.5.1. Identification des espèces

Les Gastéropodes regroupent 80 000 espèces caractérisées par une coquille univalve spiralée, un pied aplati dont la face inférieure sert à la locomotion, une tête bien distincte ou s'ouvre la bouche et portant organes sensoriels, et par une masse viscérale située dorsalement, enveloppée par le manteau et protégée par la coquille (Gaillard, 1991).

Les méthodes d'identification décrites par Bonnet et al. (1990) et Chevallier (1992) se basent sur le nombre de bandes spirales au niveau des coquilles ainsi que la couleur et la forme de ces dernières. Les escargots ont été identifiés à l'espèce sur la base de critères morphologiques de la coquille et du corps.

Helix aspersa : petit gris

Taille moyennes de la coquille adulte (hauteur x diamètre) : 30 x 35 mm

Grande coquille globuleuse avec des bandes spirales mouchetées, d'aspect caractéristique avec un dessin typique : bandes sombres larges interrompues par des fines zébrures claires.

Habitats très variés, souvent proche de l'homme.

II.5.2. Aspects généraux sur l'anatomie, la biologie et l'écologie de l'espèce *Helix aspersa*

Helix aspersa ou le petit gris, est un escargot appartenant à l'embranchement des Mollusques, animaux à corps mou et dépourvu de squelette, 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 fait partie de la classe des Gastropodes, il possède un poumon (ou cavité palléale), ce qui le situe dans la sous classe des Pulmonés, il appartient au sous ordre des Stylomatophores, caractérisés par le port des yeux à l'extrémité des tentacules oculaires (fig. 17). Sa coquille enroulée caractérise la famille des Hélicidés ; sa spirale tourne généralement dans le sens des aiguilles d'une montre, pouvant contenir tout son corps. La masse viscérale étant retenue dans la coquille par le muscle columbaire (Chevallier, 1977).



Figure 17 : à droite *Helix aspersa* adulte photographié, à gauche, dessin de l'escargot sorti de sa coquille

II.5.3. Extraction et dosage des métaux lourds chez *Helix aspersa*

II.5.5.1. Dissection et préparation de l'escargot

Après la récolte, les escargots sont mis à jeun pendant 24 heures afin que le contenu de leur tube digestif soit vide, les animaux sont ensuite sacrifiés par congélation pendant 48 heures puis disséqués, les coquilles sont séparées de la partie moue à l'aide d'une pince. Les tissus mous et les coquilles ont été séchés jusqu'à masse constante (85°C) puis broyées à l'aide d'un mortier en agate et conservés jusqu'à analyse.

II.5.5.2. Extraction et dosage des métaux lourds chez l'*Helix aspersa*

De même que pour le sol, l'extraction du plomb dans les différentes parties de l'*Helix aspersa* (pieds, viscères et coquilles) a été effectuée par digestion humide avec l'acide nitrique au four micro-onde (modèle Speedwave MWS-2. BERGHOF B). La technique consiste à ajouter 10 ml d'acide nitrique à 400 mg de broyats des différentes parties. On procède ensuite à une digestion à chaud dans des bombes en téflon sous pression en trois étapes dans le four microonde selon les conditions décrites ci-dessous :

	1 ^{ère} étape	2 ^{ème} étape	3 ^{ème} étape
Température	150°C	200°C	100°C
Puissance	80%	80%	40%
Temps	5mn	10mn	10mn

Le dosage a été effectué par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à Flamme de type PERKIN-ELMER. A Analyst 100. La flamme utilisée correspond à un mélange air-acétylène.

Chapitre 3 : Résultats et discussion

III.1. Les paramètres physico-chimiques du sol

Le sol est caractérisé par ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Les interrelations entre ces différentes propriétés déterminent la capacité et les limites du sol pour assurer la fonction de support de biomasse, et conditionnent plus globalement l'utilisation des terres.

Les paramètres définissant la physico-chimie des sols étudiés sont récapitulées dans le tableau (5), sont indiqués : le minimum, le maximum, la moyenne et l'écart type.

Tableau (5) : données statistiques des paramètres physico-chimiques des sols étudiés.

	pH	CE (mS/cm)	CT (%)	MO (%)	C (%)	Pb (µg/g)
min	7.51	0.82	18.10	2.66	1.52	26,67
max	8.40	1.38	28.98	4.17	2.42	91
moyenne	7,97	1.10	24,13	3,39	2,15	58,53
ET	0,24	0.15	3.70	0.54	0,31	17,49

Dans ce chapitre, nous allons noter que :

Point 1 : correspond à la station 1 rive droite

Point 2 : correspond à la station 1 rive gauche

Point 3 : correspond à la station 2 rive droite

Point 4 : correspond à la station 2 rive gauche

Point 5 : correspond à la station 3 rive droite

Point 6 : correspond à la station 3 rive gauche

III.1.1. Le pH

Par définition, les sols à un pH inférieur à 7.0 sont considérés comme étant acides, on dit qu'ils sont alcalins lorsque le pH est supérieur à 7.0, et neutre lorsque le pH est égal à 7.0.

L'examen des données du tableau (5) montre que le pH des sols étudiés oscille entre 7.51 et 8.40. La moyenne calculée pour les sols étudiés est de l'ordre de 7.97. La figure (19) montre que le pH présente une certaine homogénéité entre les différents points de prélèvements, il apparaît que les points 1, 2, 3 et 6 présentent des valeurs légèrement plus élevés que les autres points.

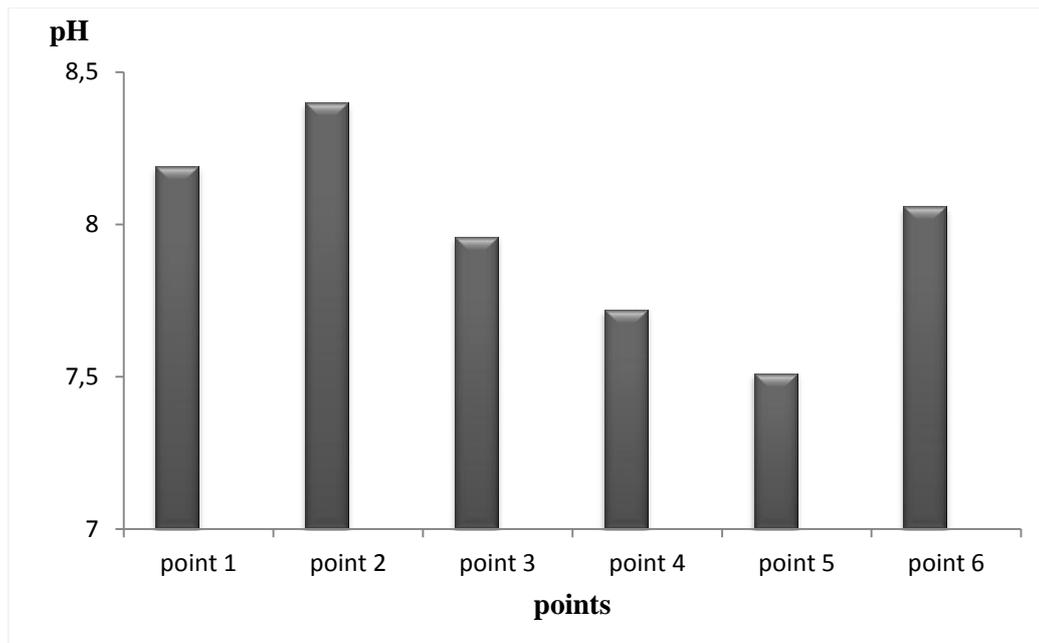


Figure (19) : Variation spatiale du pH des sols étudiés

L'appréciation des valeurs du pH des sols étudiés est effectuée sur la base des critères du SSDS (1993) : (Tab 6)

Tableau (6) : Grille d'évaluation des valeurs du pH du sol (SSDS, 1993).

Classe	pH
Fortement acide	< 5,0
Acide	5,0 - 6,0
Légèrement acide	6,0 - 6,6
Neutre	6,6 - 7,4
Légèrement alcalin	7,4 - 7,8
Alcalin	> 7,8

Les valeurs enregistrées dans la présente étude indiquent un milieu alcalin pour toutes les stations probablement liée à la présence de carbonates (Baize et Jabiol, 1995). Ces derniers jouent un rôle important dans le maintien du pH des sols. Plusieurs auteurs ont montré que le pH des sols dépend de la nature géologique du substrat. En effet, les sols de la région de Constantine reposent sur une formation carbonatée (Djebbar et al. 2004 ; Mebarki, 2005).

III.1.2. La conductivité électrique

La conductivité électrique définit la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol, elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans ce sol (Guessoum, 2001).

Pour ce qui est de la conductivité électrique des sols étudiés, le minimum est de 0,82 mS/cm et le maximum de 1,38 mS/cm (tab 5). La moyenne est de l'ordre de 1,10 mS/cm. La représentation de la conductivité électrique de nos points sous forme d'histogramme (fig. 20) permet de constater une légère variation de celle-ci d'un point à l'autre.

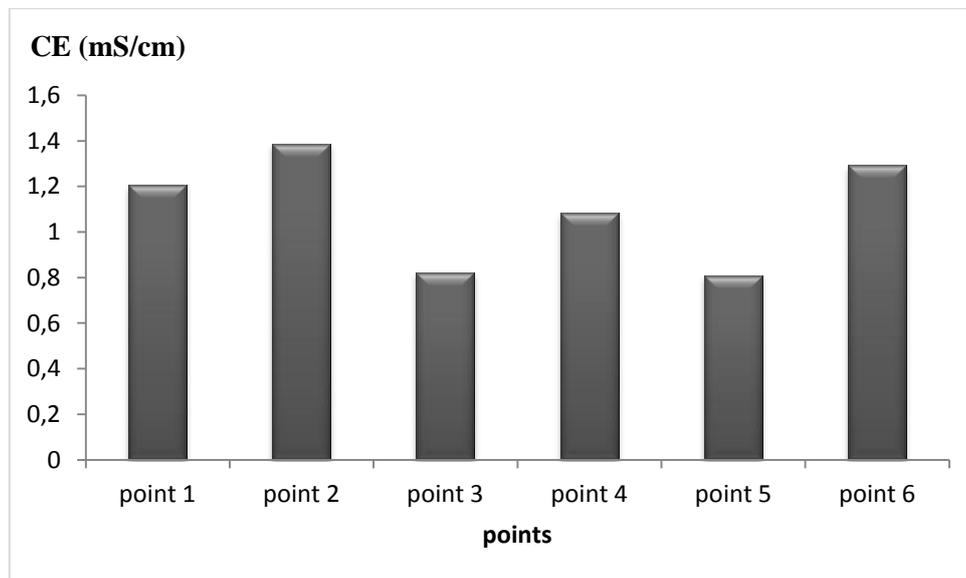


Figure (20) : Variation spatiale de la conductivité électrique des sols étudiés

Sur la base des critères établis par le SSDS (1993), on peut conclure que nos sols sont loin d'être salins (tab 7)

Tableau (7) : Grille d'appréciation de la salinité des sols en fonction de la CE (SSDS, 1993).

	Classe	CE (mS/cm)
0	Non-salin	0 – 2
1	Salinité très faible	2 – 4
2	Salinité faible	4 – 8
3	Salinité modérée	8 – 16
4	Salinité élevée	≥ 16

III.1.3. Le calcaire total

Le calcaire total des 6 points étudiés varie entre un minimum de 18.10% enregistré au niveau du point 6 et un maximum de 28.98% enregistré au niveau du point 1, avec une moyenne de 24,13% et un écart type de 1.96. (tab. 5)

Par ailleurs, l'examen de la figure (21) montre que les taux en calcaire total varient peu d'un point de prélèvement à l'autre.

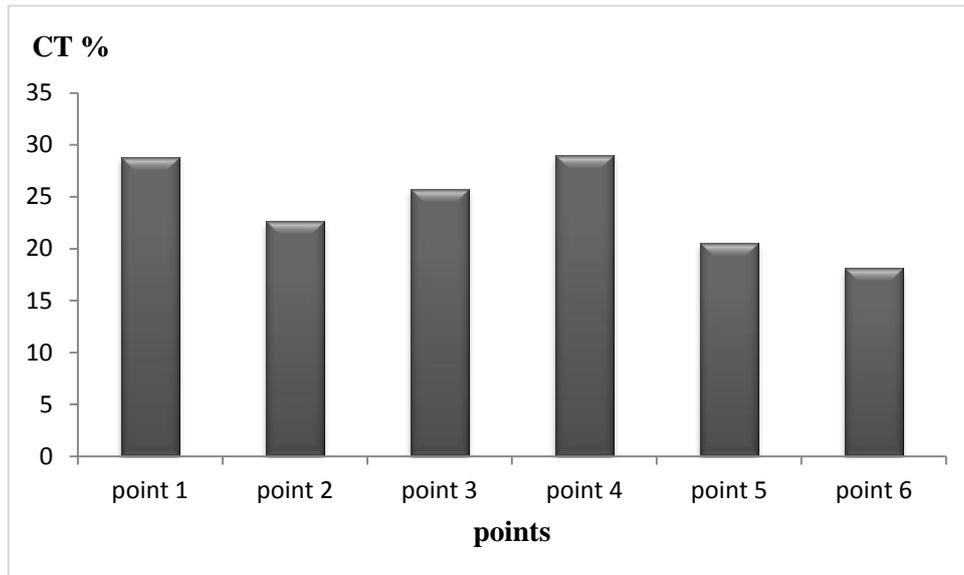


Figure (21) : Variation spatiale des taux de calcaire total des sols étudiés

Si nous prenons en considération les normes données par GEPPA in Baize (1988), nous constatons que les sols de notre zone d'étude sont modérément à fortement calcaire (tab 7). Un tel résultat n'est pas surprenant dans la mesure où le matériel géologique de la zone d'étude présente une prédominance de formations calcaires marneuses (Mebarki, 1984).

Tableau 8 : Grille d'appréciation du calcaire total du sol (GEPPA in Baize, 1988)

Classe	% CT
Non calcaire	≤ 1
Peu calcaire	1 % - 5
Modérément calcaire	5 % - 25
Fortement calcaire	25 % - 50
Très fortement calcaire	50 % - 80

III.1.4. La matière organique

Les valeurs extrêmes des taux en matière organique des sols étudiés sont de l'ordre de 4,17 % et 4,14 % enregistrés au niveau des points 1 et 6 respectivement avec une moyenne de l'ordre de 3.39 % (tab. 5)

La variation des taux en carbone suit celle de la matière organique. Les valeurs extrêmes (2.42 % et 2.40 %) ont été enregistrées au niveau des points 1 et 6 respectivement. La moyenne est de l'ordre de 3.39 % (tab. 5).

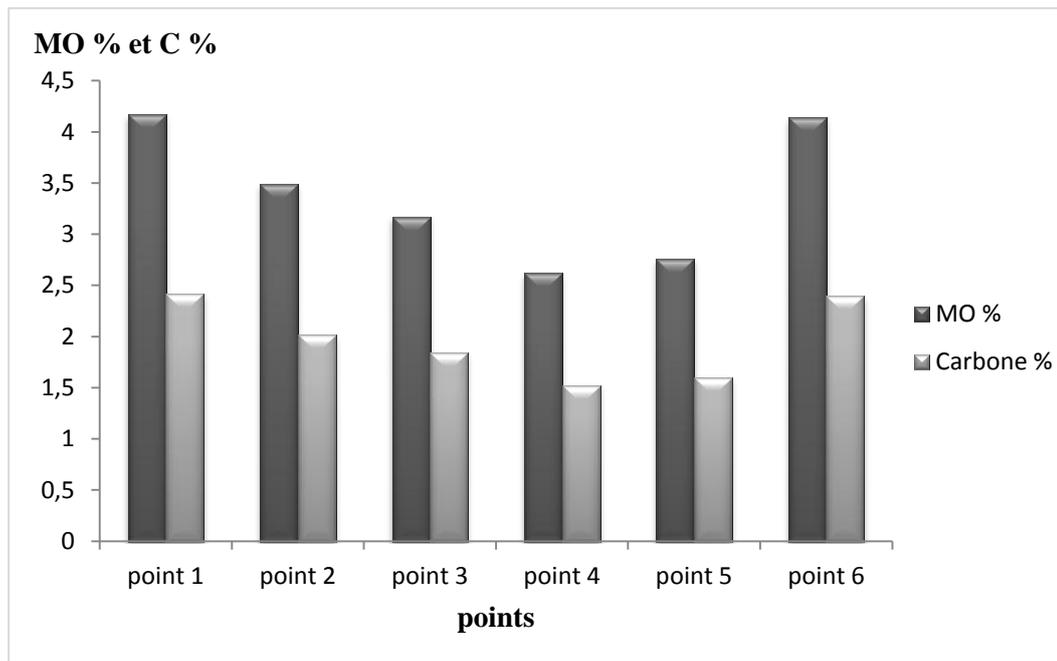


Figure (22) : Variation spatiale des taux de la matière organique et du carbone des sols étudiés

Les résultats obtenus dans la présente étude indiquent que le sol possède un taux élevé en carbone selon la grille de Hazelton and Murphy (2007). Duthil (1970) affirme que le taux de matière organique est normal lorsqu'il est inférieur à 4, ce qui est le cas de la plupart des sols de la région d'étude. Les sols dépassant un taux de 4 %, sont considérés comme humifères par le même auteur.

Tableau (9) : Grille d’appréciation des taux de matière organique dans le sol
(Hazelton and Murphy, 2007)

Classe	C (%)
Taux extrêmement faible	< 0,4
Taux très faible	0,4 – 0,6
Taux faible	0,6 – 1,0
Taux modéré	1,0 – 1,8
Taux élevé	1,8 – 3,0
Taux très élevé	> 3,0

II.1.5 : Les teneurs en plomb dans le sol

Nous tenons à signaler que le point 5 (station 3 rive droite) n’a pas été pris en compte lors de l’extraction et dosage du plomb dans les deux compartiments. En effet, nous avons enregistré une absence totale de l’espèce *Helix aspersa*.

Les résultats des teneurs en plomb dans le sol sont portés dans le tableau (5) et représentés sous forme d’histogramme dans la figure (23). L’examen de ces derniers montre que les teneurs extrêmes en plomb sont de l’ordre de 26.67 µg/g et 91.00 µg/g enregistrées au niveau des points 6 et 3 respectivement. La moyenne est de l’ordre de 58.53 µg/g.

Par ailleurs, il apparait que les teneurs en plomb varient d’un point à l’autre. Certains points ont enregistré des taux d’enrichissement plus importants que d’autres ; il s’agit des points 2, 3 et 4. La teneur maximale se situe au niveau du point 3, ceci peut être attribué à l’emplacement géographique. En effet, ce point est le plus proche de l’axe routier, donc il est plus exposé aux rejets automobiles.

Globalement, il apparait que les teneurs en plomb dépassent la limite des sols non pollués établie par Kabata-Pendias (2011) et qui est de l’ordre de 27 µg/g. Cette concentration est dépassée dans 4 sols sur 5 étudiés.

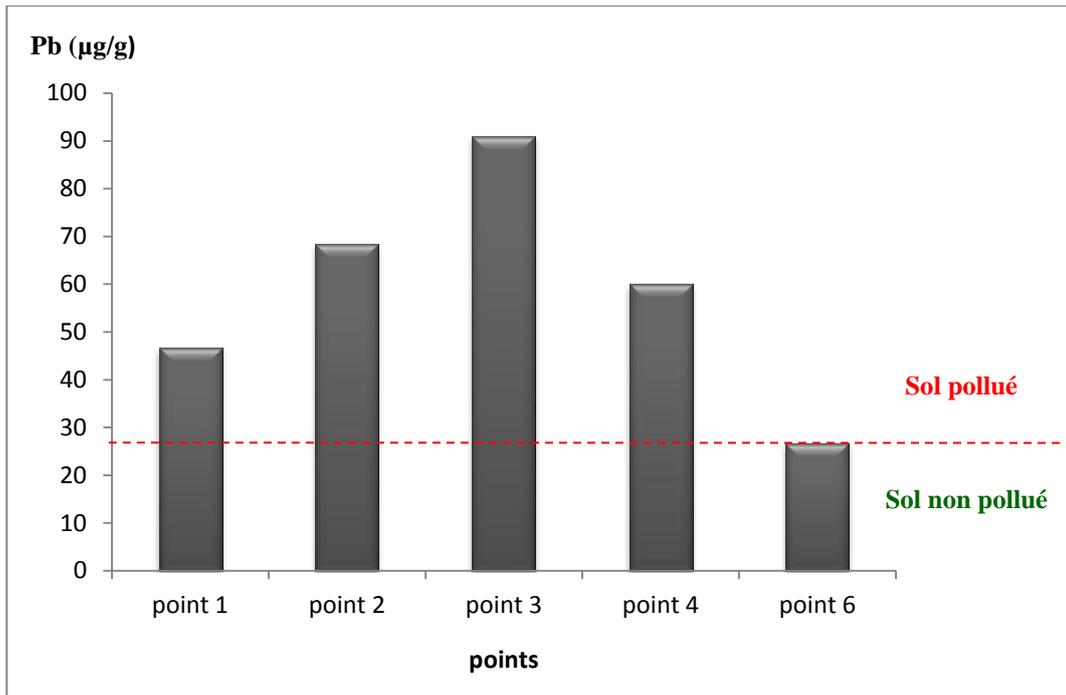


Figure 23 : Variation spatiale des teneurs en plomb des sols étudiés

III.2. Les paramètres morphométriques et teneurs en plomb chez *Helix aspersa*

III.2.1. Biométrie de *Helix aspersa*

Le diamètre et la hauteur de la coquille ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse digitale, le poids de la coquille vide et du tissu mou ont été pesés à l'aide d'une balance de précision pour l'ensemble des échantillons. Les résultats sont récapitulés dans le tableau (10) et illustrés sous formes d'histogrammes (fig. 25 et fig. 26).



Figure (24) : Les paramètres de biométries mesurés chez *Helix aspersa* la hauteur (H) et le diamètre (D).

Tableau (10) : Données statistiques des paramètres biométrique de *l'Helix aspersa*.

	PF. Total	P. Chaire	P. Coquille	Diamètre	Hauteur
min	3,78	3,07	0,65	3,85	13,70
max	13,77	10,11	3,53	23,26	37,37
moyenne	7,66	6,10	1,71	14,79	25,74
ET	3,98	3,18	1,11	5,97	7,91

Les figures (25) et (26) représentent la biométrie et le poids de *l'Helix aspersa* dans chaque point :

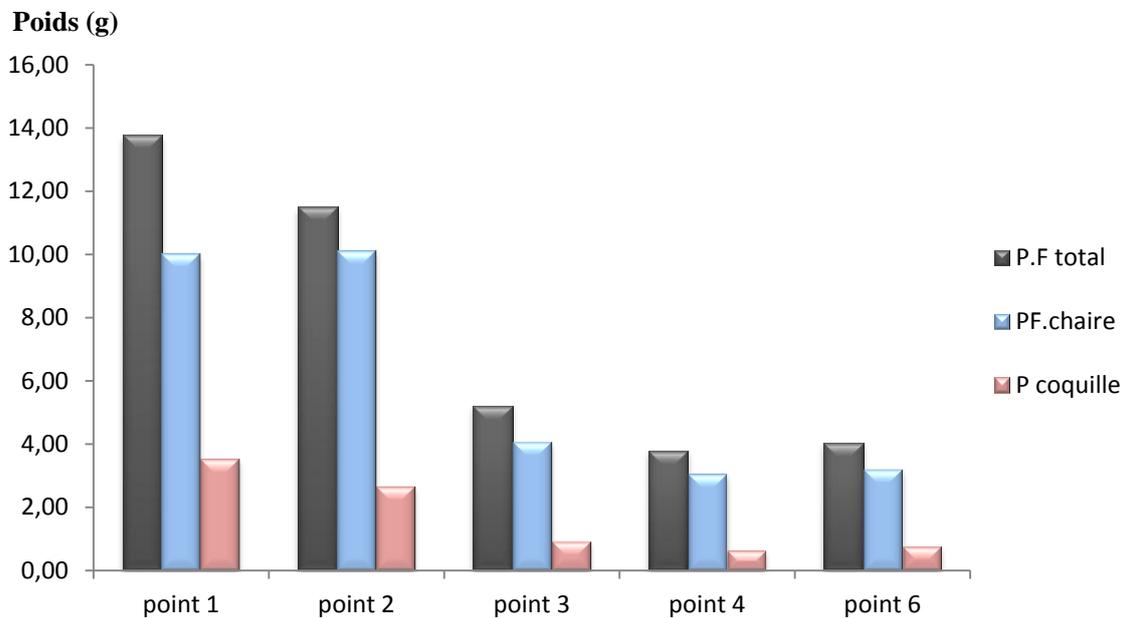


Figure (25) : Variation spatiale du poids frais total, chaire et le poids de la coquille de *l'Helix aspersa*

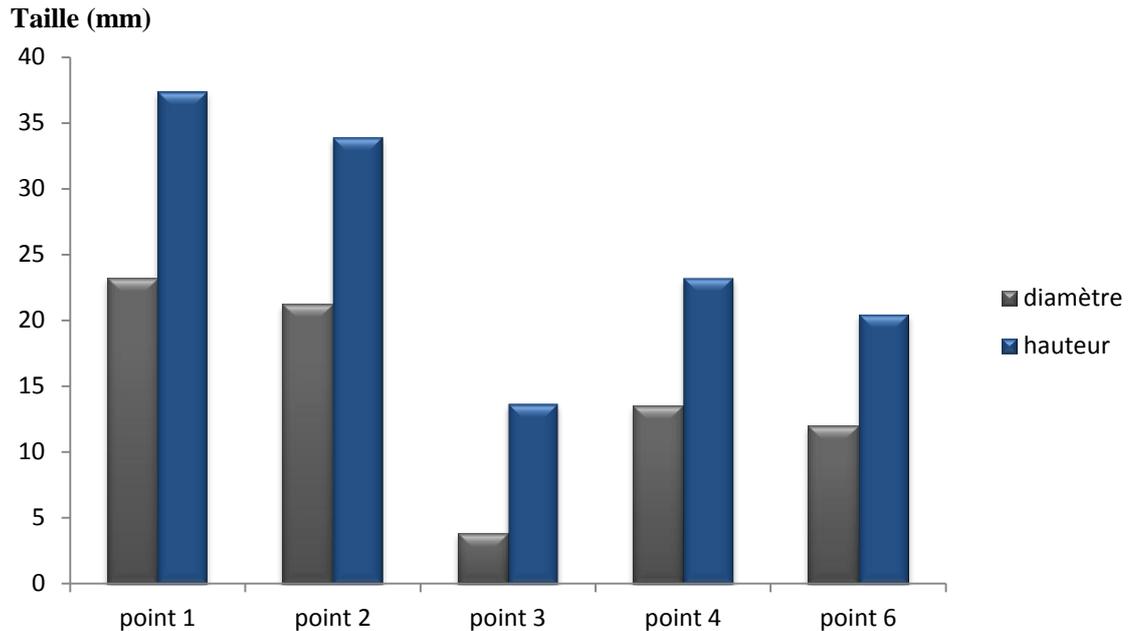


Figure (26) : Variation spatiale du diamètre et la hauteur de la coquille de *l'Helix aspersa*

L'examen du tableau (10) et de (fig. 25) (fig. 26) nous permet de faire les constatations suivantes :

- ✓ Le poids frais total varie de 3.78 g à 13.77g, avec un poids moyen de 7,66 g,
- ✓ Le diamètre de la coquille varie entre 3.85 mm et 23,26 mm avec une taille moyenne de 14.79 mm,
- ✓ La hauteur de la coquille varie entre 13.70 mm et 37.37 mm avec une taille moyenne de 25.74 mm.

D'après Müller (1774), à l'âge adulte la coquille de ladite espèce a un diamètre variant de 20 à 35 mm et une hauteur de 25 à 40 mm, avec un poids de l'ordre de 7 à 15 g. Nos résultats sont faibles par rapport à ces normes ; une telle situation peut être attribuée au fait que nos spécimens n'ont pas encore atteint l'âge adulte. Aussi, les paramètres biométriques illustrés ci-dessus représentent une moyenne calculée pour 5 points d'échantillonnage à raison de 2 à 3 quadrats par point. La moyenne peut être influencée par les valeurs atypiques (anormalement élevée et/ou faibles). En effet, lors du ramassage et du tri, nous avons constaté une grande variabilité biométrique de l'escargot (petits et gros) pour certains quadrats notamment au niveau des points 3,4 et 6.

III.2.2. Les teneurs en plomb chez *l'Helix aspersa*

Les teneurs en plomb dans les différentes parties (coquilles, pieds et viscères) de *l'Helix aspersa* sont récapitulées dans le tableau (11) et illustrées sous formes d'histogrammes (fig. 27).

Tableau (11) : données statistiques des teneurs en plomb chez *l'Helix aspersa*

	Pied ($\mu\text{g/g}$)	Viscères ($\mu\text{g/g}$)	Coquille ($\mu\text{g/g}$)
moyenne	46,67	61,67	26,67
min	25,00	33,33	16,67
max	75,00	91,67	33,33
ET	17,33	17,33	5,33

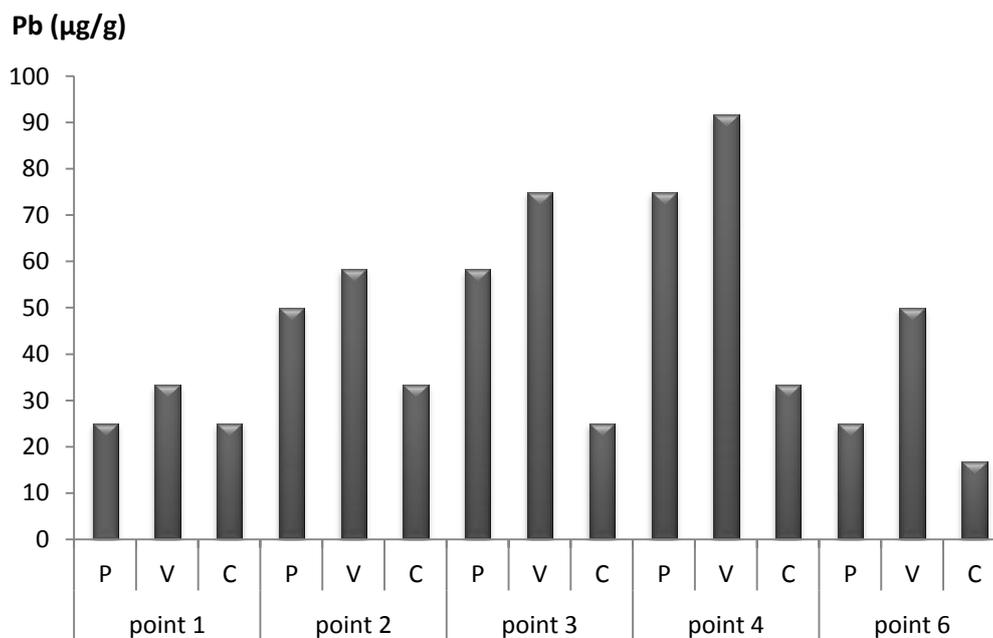


Figure (27) : Variation spatiale des teneurs en plomb (pied, viscères et coquille) chez *l'Helix aspersa*

Les résultats révèlent la présence du plomb dans tous échantillons. Nous avons enregistré l'ordre d'abondance suivant : Viscères >> Pieds >> coquilles.

Ainsi, les teneurs les plus faibles ont été enregistrées au niveau des coquilles. Les valeurs extrêmes varient de 16.67 $\mu\text{g/g}$ à 33.33 $\mu\text{g/g}$. La moyenne est de l'ordre de 26.67 $\mu\text{g/g}$.

Pour les pieds, les teneurs en plomb varient de 25 $\mu\text{g/g}$ à 75 $\mu\text{g/g}$ avec une moyenne de l'ordre de 46.67 $\mu\text{g/g}$.

Pour les viscères, nous avons enregistré un minimum de 33.33 µg/g et un maximum de 91.67 µg/g avec une moyenne de l'ordre de 61.67 µg/g.

Par ailleurs, il apparaît que les teneurs en plomb chez l'escargot varient d'un point de prélèvement à l'autre. Cette variabilité suit celle des sols ; les teneurs les plus élevées de ce compartiment biotique coïncident avec celles du compartiment abiotique (points 2, 3 et 4). Ceci peut être attribué à la capacité des escargots d'absorber, concentrer et/ou réguler le plomb présent dans le sol dans leurs tissus et organes. En effet, dans le sol, les escargots sont en contact direct avec ces composés soit par voies cutanée, *via* leur derme, ou par voie digestive. Suite au processus d'absorption, les escargots sont capables de séquestrer cet élément dans les différents compartiments de leurs corps. Les ETM, et plus particulièrement le plomb, se localisent principalement dans les viscères (*cf. chapitre 1*). Chez toutes les espèces étudiées à ce jour, la glande digestive (ou hépatopancréas) contient systématiquement les plus fortes concentrations en Cd, Pb et Zn (Coughtrey et Martin, 1976; Cooke et al. 1979 ; Dallinger et Wieser, 1984). Le tube digestif semble également jouer un rôle dans le stockage du Cd, le pied apparaissant plus comme un site d'accumulation transitoire en liaison avec l'absorption cutanée (Dallinger et Wieser, 1984; Chabicoovsky et al. 2003).

Ces conclusions sont confirmées par le calcul du facteur de bioconcentration qui constitue l'outil le plus simple pour l'estimation de l'accumulation des ETM dans les corps des organismes vivants notamment les escargots. Il désigne le ratio entre la concentration du polluant (le plomb dans notre cas) dans le milieu et celle de l'organisme. Ce ratio est donné par la formule suivante :

$$BCF = \frac{[ETM]_{escargot}}{[ETM]_{sol}}$$

Les résultats du BCF pour les différentes parties et les différents points de prélèvements sont représentés sous forme d'histogramme (fig. 28). L'examen de ce dernier, montre que les BCF varient de 0,27 à 0,63 pour les coquilles, 0.54 à 1.25 pour les pieds, et 0.71 à 1.88 pour les viscères. Ces résultats confirment la capacité des escargots à concentrer les ETM en particulier le plomb dans leurs corps, d'où l'intérêt de leur utilisation comme organisme sentinelles lors de l'évaluation de la contamination métallique des sols.

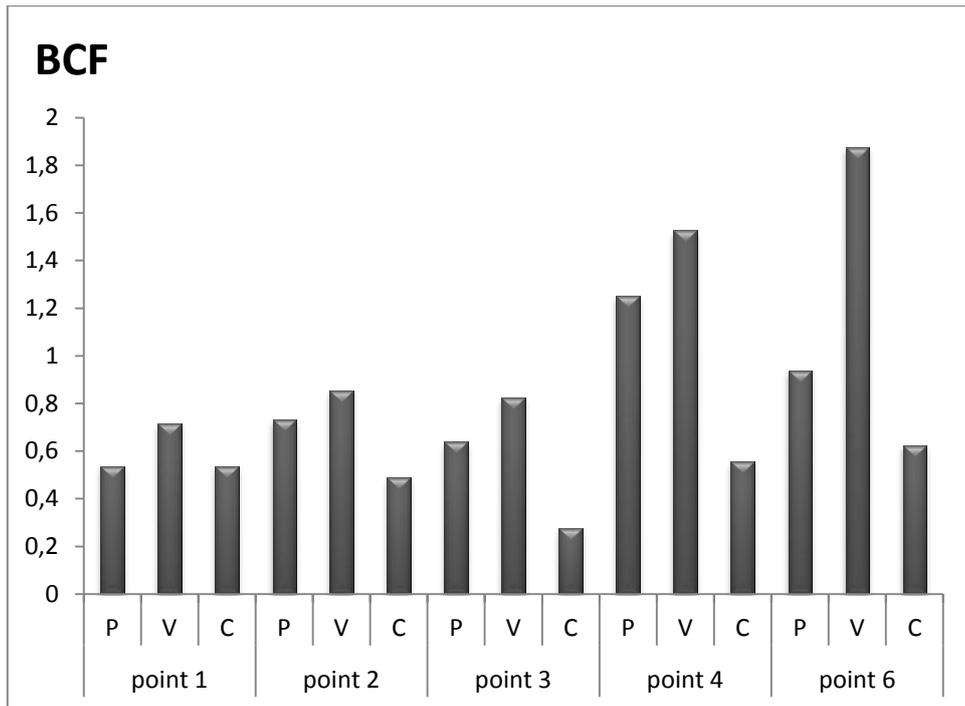


Figure (28) : Variation spatiale des facteurs de bioconcentration du plomb (pied, viscères et coquille) chez *Helix aspersa*

Conclusion et perspectives

En Algérie et plus particulièrement à Constantine, il est aisé de constater qu'on a un véritable problème de contamination de l'air, des eaux, des sols, des végétaux et des animaux. En effet, la ville de Constantine, tel est le cas de la plupart des villes en Algérie, a enregistré dès les années 80, un accroissement de ses agglomérations, de l'activité industrielle ainsi qu'un trafic routier intense. Cette amplification est à l'origine de perturbations, de plus en plus importantes des écosystèmes environnants et de leurs sols. Plusieurs études ont été menées dans ce sens notamment celles relatives à la contamination des eaux, des sédiments, des sols, des végétaux et de la pédofaune du constantinois par les éléments traces métalliques (El Hadeff El Okki, 2002 ; Sahli, 2002 ; Afri-Mehennaoui et al. 2004 ; Azzoug, 2004, Ouahrani et Gheribi, 2007 ; Sahli, 2011).

Par ailleurs, de nombreuses recherches dans le monde ont été menées sur l'utilisation des escargots comme bio-indicateurs de la pollution des sols (*cf. chapitre 1*). Ces organismes présentent un intérêt tout particulier pour l'étude des transferts et effets des ETM dans les écosystèmes terrestres, car ces taxons sont largement répartis à travers le monde et colonisent des milieux diversifiés : ils peuvent donc être présents dans une large variété de sites pollués (Talmage and Walton, 1991; Berger and Dallinger, 1993). De plus, ils présentent des densités de population relativement élevées, permettant ainsi d'obtenir des tailles d'échantillon suffisantes pour étudier le transfert et les effets des polluants en milieu naturel.

C'est dans ce contexte que ce travail a été réalisé. L'objectif visé étant de quantifier les teneurs en plomb dans les sols et les différentes parties du corps de *l'Helix aspersa* (coquilles, pieds, viscères) échantillonnés le long d'un axe routier caractérisé par un trafic intense ; il s'agit de la route nationale N°03 reliant la commune de Constantine à celle d'El Hamma *via* B'kira. Outre les teneurs en plomb qui constituent le cœur de ce travail, plusieurs paramètres physico-chimiques du sol, caractéristiques et biométriques chez *l'Helix aspersa* ont été déterminés.

A l'issue de ce travail, les principales conclusions peuvent être résumées ainsi :

- ✓ Pour le pH, les valeurs enregistrées indiquent un milieu alcalin pour toutes les stations probablement liée à la présence de carbonates (Baize et Jabiol, 1995). Plusieurs auteurs ont montré que le pH des sols dépend de l'origine de la nature géologique du substrat. En effet, les sols de la région de Constantine reposent sur une formation carbonatée (Djebbar et al. 2004 ; Mebarki, 2005).

- ✓ Les résultats obtenus pour la conductivité électrique indiquent que les sols sont loin d'être salins,
- ✓ Ils sont modérément à fortement calcaire. Ceci est dû principalement à la nature du matériel géologique qui présente une prédominance de formations calcaires marneuses (Mebarki, 1984),
- ✓ Les sols sont riches en carbone,
- ✓ La teneur moyenne du plomb dans le sol dépasse les limites établies par Kabata-Pendias (2011) et qui est de l'ordre de 27 µg/g. La teneur maximale se situe au niveau du point 3, ceci peut s'expliquer par l'emplacement géographique qui s'avère être le plus proche de l'axe routier, donc il est plus exposé aux rejets automobiles. Cet enrichissement traduit l'influence directe des apports du trafic routier, sur l'ensemble des sols aux abords de cette infrastructure routière. Cette contamination des sols par le plomb peut altérer la structure et le fonctionnement des communautés de la pédofaune et mettre ainsi en péril la qualité et le fonctionnement de ce compartiment abiotique,
- ✓ L'utilisation de *l'Helix aspersa* comme bioindicateur de la contamination par le plomb a révélé la présence de ce métal dans tous les échantillons. Nous avons enregistré l'ordre d'abondance suivant : Viscères >> Pieds > coquilles. La teneur moyenne du plomb dans le sol est de 58.53 ppm, or ; les teneurs moyennes dans les viscères dépassent celle du sol de 5%, ceci peut s'expliquer par une bioaccumulation au niveau de l'hépatopancréas. Dans toutes les études utilisant l'escargot comme indicateur, la glande digestive (hépatopancréas) a été reconnue comme étant l'organe principal de stockage des ETM car il contient systématiquement les plus fortes concentrations en Cd, Pb et Zn (Coughtrey and Martin, 1976; Cooke et al., 1979; Gimbert et al., 2008). Parmi les voies de contamination majeure des escargots, c'est la voie digestive. Cependant la voie cutanée n'est pas négligeable pour autant car il a été démontré que les ETM dans la solution du sol sous forme ionique ou sous forme de complexes organométalliques passent à travers l'épithélium du pied par diffusion passive (Ireland, 1982; Hopkin, 1989) ou par passage facilité par des transporteurs membranaires (Simkiss and Taylor, 1989; Rainbow and Dallinger, 1993).

Au terme de cette étude, nous pouvons conclure que la contamination des sols par le plomb, même faible, constitue un problème sérieux qu'il faudra prendre en charge du fait de l'effet cumulatif mais aussi toxique de cet élément notamment le long de la chaîne alimentaire. Les escargots, grâce aux données précédemment acquises constituent des bioindicateurs intéressants pour affiner la compréhension des mécanismes physiologiques et écologiques, nécessaires pour mener à bien et améliorer les procédures d'évaluation de risque écologique.

Enfin, comme perspectives et d'un point de vue fondamental, il serait intéressant :

- ✓ de multiplier les points de prélèvements et d'agrandir la zone d'étude,
- ✓ de doser d'autres éléments traces métalliques aussi bien dans les sols que chez *l'Helix aspersa*,
- ✓ de prendre en considération d'autres espèces peuplant les sols de l'axe routier en question.

Références bibliographiques

- **Afri-Mehennaoui F.Z., Sahli L. et Mehennaoui S. 2004.** Assessment of sediment trace metal level and biological quality of Rhumel river by using multivariate analysis. *Environmetrics*.
- **Alloway J.B. 1995.** Soil Pollution and land contamination. In *pollution: Causes, Effects and Control*, Eds. R. M. Harrison. Cambridge. The Royal Society of Chemistry. 318 p.
- **Alloway J.B. 2013.** Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. 3rd Ed. Springer, New York.
- **Azzoug R. 2004.** Etude phytoécologique des bordures de l'oued Boumerzoug et évaluation de leurs niveaux de contamination métallique (Pb, Zn Cr, Cd, et Cu). Mémoire de Magistère en Ecologie et Ecotoxicologie. Univ. Mentouri de Constantine, 100 p.
- **Baize D. 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie. INRA.
- **Baize D. 1997.** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols. INRA .Paris.13-14-154-153p.
- **Baize D. et Jabiol B. 1995.** Guide pour la description des sols. Ed. INRA, Paris, 375 p.
- **Barker, G.M., 2001.** The Biology of Terrestrial Molluscs. CAB International, Oxon, Wallingford, UK, 567 p.
- **Beeby A. 1985.** The role of *Helix aspersa* as a major herbivore in the transfer of lead through a polluted ecosystem. *Journal of Applied Ecology* 22, p. 267-275.
- **Berger B., Dallinger R. 1993.** Terrestrial snails as quantitative indicators of environmental metal pollution. *Environmental Monitoring and Assessment* 25, 65-84.
- **Bliefert P. 2001.** Chimie de l'environnement : Air, eau, sol, déchets .Ed. De Boek.395-389p.
- **Bonnet J.C., Aupinel P. et Vrillon, J.L. 1990.** L'escargot *Helix aspersa*, biologie, élevage. Du labo au terrain. INRA. pp.1-5.
- **Bourrelier P. et Berthelin J 1998.** "Contamination des sols par les éléments traces : les risques et leur gestion." Rapport de l'Académie des sciences Ed. Lavoisier, Paris.
- **Chabicovsky 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 Pharm* 190:25-36.

- **Chassin P., Baize D., Cambier P. et Stechewan T. 1996** Les éléments traces métalliques et la qualité des sols. Impacts à moyen et à long terme. *Etude et Gestion des sols* 3:297–306.
- **Chevallier H. 1977.** La variabilité de l'escargot Petit-gris *Helix aspersa* Müller, *Bull. Mus. Nat. Hist. Nat., 3^o sér. 448, Zoologie 3 11:* pp. 425-442.
- **Chevallier H. 1982.** Facteurs de croissance chez des Gastéropodes Pulmonés terrestres paléarctiques en élevage. *Halotis*, 12, 29-46
- **Chevallier H. 1992.** L'élevage des escargots. Production et préparation du Petit-gris. Edit. Du Point Vétérinaire, Maisons-Alfort, 144 pages.
- **Chevallier H. 1998.** L'élevage des escargots : production et préparation du Petit-Gris éditions du Point Vétérinaire (Deuxième Edition).
- **Coeurdassier M. Saint-Denis M., gomot-de Vaufleury A., Ribera D., Badot P.M., 2001.** Is the cadmium uptake from soil important in bioaccumulation and toxic effects for snails ? *Ecotoxicology and Environmental Safety* 53,425-431.
- **Coeurdassier, M., Gomot-de Vaufleury, A., Lovy, C., 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.
- **Colinet G. 2003.** Eléments traces métalliques dans les sols: contribution à la connaissance des déterminants de leur distribution spatiale en région limoneuse Belge. Thèse de doctorat, FUSA Gx, Gembloux, 442p.
- **Cooke M., Jackson A., Nickless G. et Roberts, D.J. 1979.** Distribution and speciation of cadmium in the terrestrial snail *Helix aspersa*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 23, 445-451.
- **Cortet, J., Gomot-De Vauflery, A., Poinso-Balaguer, N., Gomot, L., Texier, C. et Cluzeau, D. 1999.** The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects. *European Journal of Soil Biology*, Vol. 35, No. 3, (Jun., 1999), pp. 115-134
- **Coughtrey PJ. et Martin MH. 1979** The distribution of Pb, Zn, Cd, and Cu within the pulmonate mollusk *Helix aspersa*Müller. *Oecologia* ; 23: 315-322.
- **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* L. *Comparative Biochemistry and Physiology* 79C, 117-124.
- **Dallinger R., Berger B. et Gruber A. 1993** Quantitative aspects of zinc and cadmium binding in *Helix pomatia*: differences between an essential and a nonessential trace

- element. In: Dallinger R, Rainbow P, editors. Ecotoxicology of Metals in Invertebrates. Lewis Publ. Boca Raton, FL, USA, pp. 315-332.
- **Dallinger, R., Berger, B., Triebkorn, R., Köhler, H. 2001.** Soil biology and ecotoxicology. In: Barker, G.M. (Ed.). The biology of terrestrial molluscs. CAB International, Oxon, Wallingford, UK, p. 489-525.
 - **Denison Richarda et Silbergeld Ellen K. 1998** Risks of Municipal Solid Waste Incineration: An Environmental Perspective.
 - **Dère C. 2006.** Mobilité et redistribution à long terme des éléments traces métalliques exogènes dans les sols: Application à des Luvisols pollués par 100 ans d'épandage d'eaux usées brutes dans la plaine de Pierrelaye. Thèse de doctorat de l'ENGREF, 124p.
 - **Di Benedetto M. 1997.** Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation. Dossier SAM 1997, Les Métaux Lourds.
 - **Djebbar M., Bencheikh-Lehocine M., Bakalowicz M. et Meniai A.H. 2004.** Identification hydrogéochimique du karst hydrothermal constantinois (Algérie nord-orientale). Sciences et Technologie, **22**, 133-140.
 - **Druart C., Millet M., Scheifler R., Delhomme O., Raeppl C. et de Vaufleury A. 2011** Snails as indicators of pesticide drift, deposit, transfer and effects in the vineyard. Sci Total Environ ; 409:4280-4288.
 - **Duchaufour Ph. 1991.** Pédologie. Sol, végétation, environnement, 3^{ème} éd
 - **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: van Straalen, N.M., Krivolutsky, D.A. (Eds). Bioindicator Systems for Soil Pollution. Kluwer, Amsterdam, The Netherlands, p. 67-84.
 - **El-Hadef El-Okki M. 2002** Evaluation de la pollution métallique (cadmium, cuivre, plomb, et Zinc) des sols des bords d'oued Rhumel (Constantine) par les lombriciens. Magister en Ecologie, Université Constantine p1-94.
 - **Förstner U., Wittman G T W. 1981.** Metal pollution in the aquatic environment, springer-Verlag, Berlin, 1-486.
 - **Fritsch C. 2010.** Utilisation intégrée de bioindicateurs pour la surveillance des sols et des écosystèmes terrestres. Ecologie, Environnement. Université de Franche-Comté.
 - **Gaillard J. 1991.** Les Mollusques. Document polycopie du module de la conférence sur les animaux venimeux au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, juillet 99. p 1-18.

- **Garrett R-G. 2000.** Natural Sources of Metals to the Environment. Human and Ecological Risk Assessment 2000; 19: 945-963.
- **Gimbert F. 2006.** cinétiques de transfert de polluants métalliques du sol à l'escargot. thèse de doctorat université de franche-comté
- **Gimbert, F., de Vaufleury, A., Douay, F., Scheifler, R., Coeurdassier, M., Badot, P.M., 2006.** Modelling chronic exposure to contaminated soil: a toxicokinetic approach with the terrestrial snail *Helix aspersa*. Environment International 32, 866-875.
- **Gimbert, F., Mench, M., Coeurdassier, M., Badot, P.-M. et de Vaufleury, A. 2008.** Kinetic and dynamic aspects of soil plant- snail transfer of cadmium in the field. Environmental Pollution 152, 736-745.
- **Girard M-C., Walter C., Rémy J-C., Berthelin J. et Morel JL. 2005** Sols et Environnement. Sciences Sup, Dunod, Paris, 816 p.
- **Godin M., Feinbert M-H. et Ducauze C-J. 1985** Modeling of soil contamination by air-borne lead and cadmium around several emission sources. Environ Pollut ; 10: 97-114.
- **Gomot-de-Vaufleury 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 5, 1-7.
- **Guessoum A., 2001.** L'effet de l'irrigation sur la salinité du sol dans la région de Saada-Biskra., Thèse ing, Agro, Univ Batna., 50 P.
- **Hazelton P. et Murphy B. 2007.** Interpreting soil test results. What do all the numbers mean? CSIRO Publishing, Victoria.
- **Hopkin S.P. 1993.** In situ biological monitoring of pollution in terrestrial and aquatic ecosystems. In: Calow P (Ed). Handbook of ecotoxicology. Blackwell, Oxford, p. 397-427
- **Hopkin S-P. 1989.** Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates. Elsevier Applied Science, NY, USA, 336-399p.
- **Houda PS. 2010.** Trace Elements in Soils. A John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, 618p
- **INERIS 2010.** Fiches de données toxicologiques et environnementales. Arsenic et ses dérivés inorganiques. 2010, 124.

- **Ireland M-P. 1982.** Sites of water, zinc and calcium uptake and distribution of these metals after cadmium administration in *Arion ater* (Gastropoda: Pulmonata). *Comparative Biochemistry and Physiology* ; 73A: 217-221.
- **Ismert M., Oster T. et Bagrel D. 2002.** Effects of atmospheric exposure to naphthalene on xenobiotic-metabolising enzymes in the snail *Helix aspersa* . *Chemosphere* 46, 273-280.
- **Juste C. 1995.** Matières organiques et comportement des éléments traces dans le sol. Actes 4eme journées de l'analyse de terre (GEMAS): matières organiques et agricultures. 115-123.
- **Kabata –Pendias A. 2011** Trace Elements in Soils and Plants Fourth edition, Taylor & Francis; 338-339.
- **Kabata-Pendias, A. et Pendias, H. 1999** Biogeochemistry of Trace Elements, 2nd ed., Wyd. Nauk PWN, Warsaw, 400, (Po)..
- **Kerney M., Cameron R. et Bertrand A. 2006.** A field guide to the land snails of Britain and north-west Europe. Delachaux et Niestlé SA, Paris, 2006, 288 p.
- **Laskowski R. et Hopkin S.P. 1996.** Effect of Zn, Cu, Pb, and Cd on fitness in snails (*Helix aspersa*). *Ecotoxicology and Environmental safety* 34,59-69.
- **Marasco F. et Murciano C. 2003.** Les escargots. Editions de Vecchi, Paris.
- **Martin M.H. et Coughtrey P.J. 1982.** Biological monitoring of heavy metal pollution : land and air, in: K., M. (Ed.). Applied science publishers, London, New-york, pp. 253-271.
- **Mason C.F. 1970** - Snail populations, beech litter production and the role of snail in litter decomposition. *Oecologia* 5 :215-239.
- **Mc Culley F. et Gilman I. 1991.** Literature review: geochemical fate and transport of anthropogenic lead release to the soil environment. Prepared for the Lead Industries Association, Washington, D.C.39 p.
- **Mebarki A. 1984.** Ressources en eau et aménagement en Algérie. Le bassin du Kebir-Rhumel. O.P.U., Alger : 302 pp.
- **Mebarki A. 2005.** Hydrologie des bassins versants de l'est Algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de doctorat d'état. Université Mentouri-Constantine.
- **Merian E, Anke M, Ihnat M, Stoepler M. 2004.** Elements and their compounds in the environment. 2. Weinheim: Wiley-VCH. pp. 1157–1164.

- **Merian E, Anke M, Ihnat M. et Stoeppler M. 2004.** Metals and their compounds in the environment. Occurrence, analysis and biological relevance. VCH Publishers, Weinheim, New York, 1806 p.
- **Miquel G. 2001.** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, Onzième législature, N°261, sénat-session ordinaire de 2000-2001, 104 pp.
- **Morel J.L. 1997.** Bioavailability of Trace Elements to Terrestrial Plants. Soil Ecotoxicology, J. Tarradellas, G. Bitton and D. Rossel ed., Lewis Publishers, pp. 141-176.
- **Müller O-F. 1774.** Helixaspera, Vermivmterrestrium et fluviatilium, seuanimaliuminfusoriorum, helminthicorum, et testaceorum, non marinorum, succincta historia. Volumenalterum. XXXVI.
- **Ouahrani G. et Gheribi-Aoulmi Z. 2007.** Apport des lombriciens à l'estimation des éléments traces (Cd, Cu, Pb et Zn) des sols bordant l'oued Rhumel (Constantine). *Ecologia mediterranea*.
- **Pauget B. 2012.** Determination des facteurs du sol modulant la biodisponibilité et l'accumulation des métaux pour l'escargot (*cantareusaspersus*). Thèse de doctorat à l'université de franche-comte, , 8 -97.
- **Perrono P. 1999.** Les micropolluants métalliques des boues de stations d'épuration urbaine et l'épandage agricole. Mém. D.U.E.S.S., D.E.P., Univ. Picardie, Amiens. *Perspective. Risk Analysis* 1988; 8: 343-355.
- **Rabouh S. 2011.** impact de la pollution de l'air provoquée par la cimenterie tahar djouad sur la santé publique et le cadre bâti -cas de hamma bouziane-, magister en architecture et urbanisme, Université Constantine.
- **Rainbow P-S. et Dallinger R. 1993.** Metal uptake, regulation and excretion in freshwater invertebrates In: Dallinger R, et Rainbow R, editors. *Ecotoxicology of Metals in Invertebrates*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA, pp. 119-132.
- **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 intergrated approach *Environmental Health Perspectives* 114, 63-69.
- **Sahli L. 2002.** Evaluation de la contamination par le cadmium, le plomb, le chrome et le manganèse dans les sédiments, les macroinvertébrés et une plante aquatique (*Roripa*

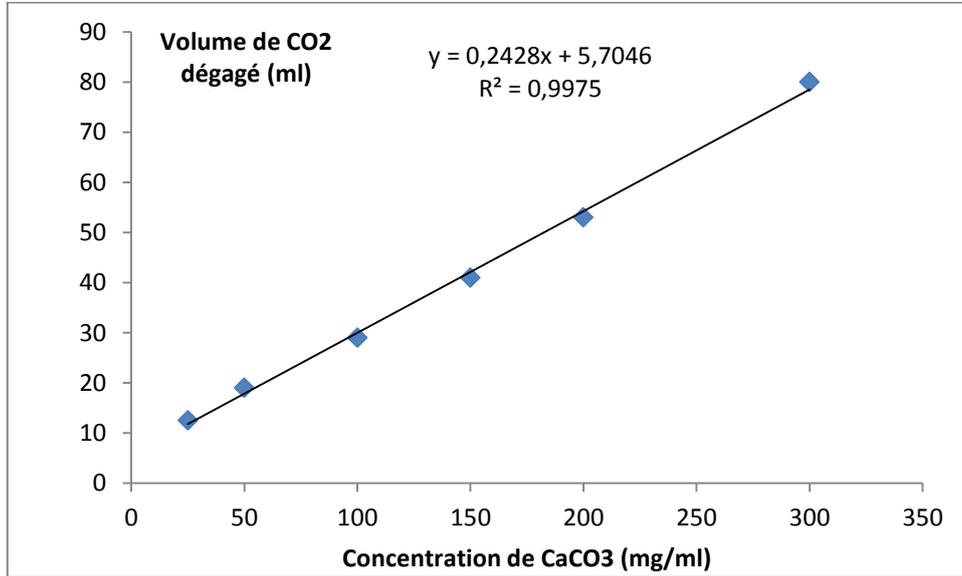
nasturtium aquaticum) dans l'oued Rhumel et son affluent l'oued Boumerzoug en zone urbaine. Mémoire de Magistère, Université Mentouri-Constantine. 126 p.

- **Sahli L. 2012.** Etude du comportement de quelques espèces floristiques et faunistiques des écosystèmes aquatiques vis-à-vis des éléments traces métalliques par des bioessais. Thèse de doctorat, Université Mentouri-Constantine.
- **Scheifler R., de Vaufleury A., Coeurdassier M., Crini N. et Badot P.M. 2006.** Transfer of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn in soil-plant-invertebrate food chain: a microcosm study. *Environmental Toxicology and Chemistry* 25, 815-822.
- **Scheifler R., Gomot-de Vaufleury A., Toussaint M.-L., Badot P.-M. 2002.** Transfer and effects of cadmium in an experimental food chain involving the snail *Helix aspersa* and the predatory carabid beetle *Chrysocarabus splendens*. *Chemosphere*, 48: 571-579.
- **Sillanpää, M. 1972. Trace elements in soils and agriculture. FAO Soils Bulletin, 17.67p**
- **Simkiss K. 1977.** Biomineralization and detoxification. *Calcified Tissue Research*. 24, 199-200.
- **Simkiss K. et Taylor M-G. 1989.** Metal fluxes across the membrane of aquatic organisms. *Reviews in Aquatic Sciences* 1: 173-188.
- **Sipos P., Nemeth T., Mohai I. 2005.** Distribution and possible immobilization of lead in a forest soil (Luvisol) profile. *Environ. Geochem. Health* 27:1-10.
- **Spellerberg I-F. 2005.** Monitorig ecological change. Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge, England, 410p.
- **SSDS- Soil survey Division Staff. 1993.** Examination and description of soils: In: *Soil survey Manual. Agricultural Handbook* 18, chapter 3.
- **Steketee J. 2010.** métaux lourds, cahier SKB, Fondation Développement et transfert de connaissances sur le sol 10p.
- **Walkley A. and I. A. Black. 1934.** An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-37.

Annexes

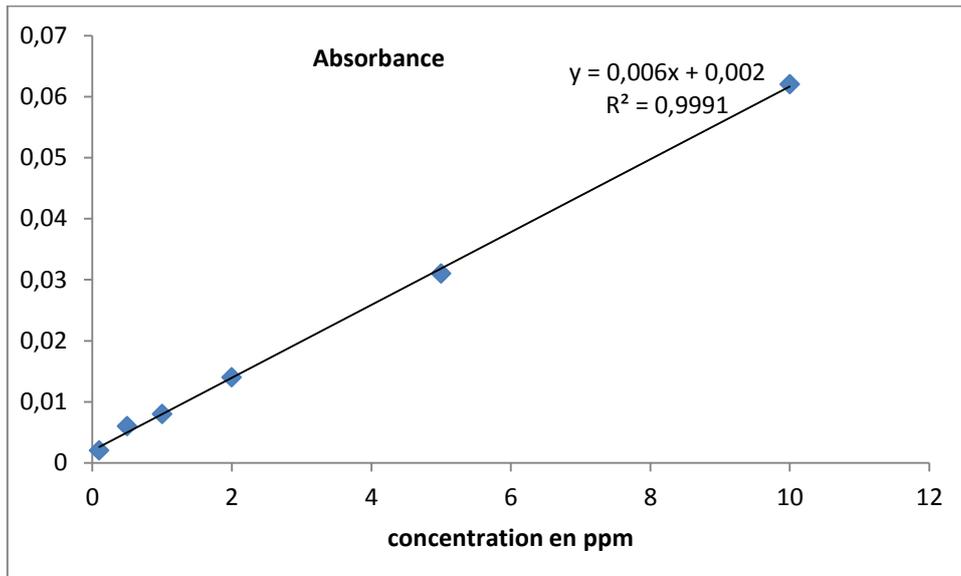
Annexe 1

Courbe d'étalonnage du calcaire total



Annexe 2

Courbe d'étalonnage du plomb



Utilisation des escargots comme indicateur de la contamination métallique des sols : cas de *Helix aspersa*

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Pollution des écosystèmes et Ecotoxicologie

En Algérie et plus particulièrement à Constantine, il est aisé de constater qu'on a un véritable problème de contamination de l'air, des eaux, des sols, des végétaux et des animaux. En effet, la ville de Constantine a enregistré dès les années 80, un accroissement de ses agglomérations, de l'activité industrielle ainsi qu'un trafic routier intense. De nombreuses recherches dans le monde ont été menées sur l'utilisation des escargots comme bio-indicateurs de la pollution des sols.

Cette étude a porté sur l'évaluation du niveau de contaminations des sols par le plomb et l'utilisation de *Helix aspersa* comme indicateurs de cette contamination. Pour cela, six points de prélèvements ont été retenus le long d'un axe routier à circulation intense ; il s'agit de la route nationale N°03 reliant la commune de Constantine à celle d'El Hamma via B'kira. Plusieurs prélèvements de sols et d'escargots ont été réalisés le long de cet axe routier.

Plusieurs paramètres ont été déterminés : pH, conductivité électrique, calcaire total, matière organique et teneurs en plomb pour le sol. Pour *Helix aspersa*, nous nous sommes intéressés à la biométrie, en plus de la quantification des teneurs en plomb dans les coquilles, pieds et viscères. Les résultats ont révélé un enrichissement en plomb relativement important. Les teneurs en plomb dans le sol dépassent largement les concentrations naturelles. *Helix aspersa* semble être un bon bioindicateur de la contamination métallique. Les teneurs en plomb enregistrent l'ordre d'abondance suivant : viscères >> coquilles >> pieds. Ainsi, la glande digestive (hépatopancréas) a été reconnue comme étant l'organe principal de stockage des éléments traces métalliques.

Mots clés : plomb, sol, *Helix aspersa*, bioindicateur

Laboratoire de recherche : Biologie et Environnement

Jury d'évaluation :

Président du jury : BAZRI Kamel Eddine (MCA - UFM Constantine),
Rapporteur : SAHLI Leila (MCA - UFM Constantine),
Examineur : TOUATI Laïd (MCB – UFM Constantine).

Date de soutenance : 22/06/2016