

Etude de la biodisponibilité des contaminants métalliques pour les escargots sur les anciens sites miniers de la vallée de la Vis à Saint Laurent le Minier.

Benjamin Pauget et Annette de Vaufleury

1 octobre 2013



Principales conclusions :

- Des transferts et de fortes accumulations d'arsenic, de cadmium, de plomb, d'antimoine, de thallium et de zinc chez les escargots exposés 28j sont mis en évidence.
- Des concentrations supérieures aux normes de consommation sont mesurées dans les escargots autochtones présents sur le site d'étude
- Les analyses de sols réalisées dans d'autres études du site rapportant surtout des concentrations élevées en Pb, Zn et Cd, la bioaccumulation très importante chez les escargots du thallium, métal toxique, constitue un des éléments marquants de cette étude.
- Les modalités des bassins de décantation sont celles présentant les plus fort transferts de contaminants métalliques aux escargots en comparaison des modalités hors bassins (Terrasse, Jardin et Stérile)
- Les priorités de gestion sont identifiées pour les bassins de décantation pour lesquels une excavation et/ou une remédiation doivent être envisagées
- La note de SET_{modalité} obtenue dans le jardin de Mr D. confirme le bien fondé d'un arrêt de l'exploitation à des fins alimentaires

Sommaire

I.	Objectifs de l'étude	4
II.	Organismes étudiés : les escargots	4
II.1.	Présentation du bioindicateur.....	4
II.2.	Protocole d'exposition et d'échantillonnage	5
II.3.	Analyse des escargots.....	6
II.4.	Indice SET (somme des excès de transferts)	7
III.	Sites d'études	8
IV.	Résultats	12
IV.1.	Accumulation des contaminants métalliques dans les viscères d'escargots exposés en microcosmes.....	12
IV.1.	Accumulation des contaminants métalliques dans les viscères d'escargots autochtones	21
IV.2.	Calcul de l'indice SET	25
V.	Conclusion	28
VI.	Bibliographie.....	28
VII.	Annexe : Accumulation des métaux dans les viscères des escargots exposés pendant 28 jours sur les différentes modalités d'étude.....	30

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Concentrations internes de référence (CIRef) en contaminants métalliques chez les escargots	7
Tableau 2 : Concentrations en contaminants métalliques dans les viscères d'escargots après 28 jours d'exposition	13
Tableau 3 : Concentrations en contaminants métalliques dans les plantes présentes dans les microcosmes après 28 jours d'exposition	14
Tableau 4 : Concentrations en contaminants métalliques dans les viscères des escargots autochtones ramassés <i>in situ</i> . CA : <i>Cantareus aspersus</i> , <i>Cepaea</i> : <i>Cepaea</i> sp., Maison : escargots ramassés dans la zone actuellement habitée par Mr D., Jardin : Ancien jardin de Mr D. localisé dans la zone contaminé	22
Tableau 5 : Calcul et notes de l'indice SET (SETmodalité et SETsite). Les valeurs en rouges identifient un fort excès de transfert de contaminants métallique du sol aux escargots.	27

Liste des Figures

Figure 1 : Réseau trophique simplifié impliquant les escargots.....	5
Figure 2 : Microcosmes (cylindres en acier inoxydable de 25 cm de diamètre sur 25 cm de hauteur fermés par une grille de maille 0,5 ou 1cm, maintenue par 3 à 4 tiges en inox également). Dans chaque microcosme on dispose 15 individus.....	5

Figure 3 : Vue du côté droit du corps de l'escargot dépourvu de sa coquille et représentation de la ligne de section (ls) entre les deux parties, pied (P) et viscères (V).....	6
Figure 4 : Localisation des modalités d'étude du site contaminé (Saint Laurent le Minier).....	11
Figure 5 : Localisation des microcosmes témoin sur la commune de Gornies - l'Escoutet	12
Figure 6 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot avant exposition (T0). Les lignes violettes représentent les CIREf du métal.....	14
Figure 7 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Revégétalisation 1. Les lignes violettes représentent les CIREf du métal.	15
Figure 8 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Revégétalisation 2. Les lignes violettes représentent les CIREf du métal.	15
Figure 9 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Légumineuse. Les lignes violettes représentent les CIREf du métal.	16
Figure 10 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Terrasse. Les lignes violettes représentent les CIREf du métal.....	16
Figure 11 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Bassin. Les lignes violettes représentent les CIREf du métal.	17
Figure 12 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Jardin. Les lignes violettes représentent les CIREf du métal.....	17
Figure 13 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Stérile. Les lignes violettes représentent les CIREf du métal.	18
Figure 14 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Témoin 1. Les lignes violettes représentent les CIREf du métal.	18
Figure 15 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Témoin 2. Les lignes violettes représentent les CIREf du métal.	19
Figure 16 : Corrélations (modèle linéaire) entre les médianes des concentrations ($\log(\text{concentration}+1)$, en mg.kg^{-1}) en métaux dans les viscères d'escargots et les plantes	20
Figure 17 : Concentrations en contaminants métalliques dans les viscères des escargots <i>Cantareus aspersus</i> autochtones.....	23
Figure 18 : Concentration en contaminants métalliques dans les viscères des escargots <i>Cepaea sp.</i> autochtones.....	24

I. Objectifs de l'étude

La commune de Saint-Laurent-le-Minier dans le Gard (30) a connu une forte activité industrielle : du XVIII^{ème} siècle à 1940, une usine de papeterie et de 1875 à 1953 des activités minières. Des études mettent en évidence la contamination, principalement de la vallée de la Vis, entre la Cascade et le Pont de Mange Châtaigne, ainsi que de lieux habités, en particulier La Meuse et La Papeterie.

Les éléments disponibles font apparaître une forte contamination des sols en contaminants métalliques comme l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le mercure (Hg) ainsi que l'existence d'une contamination de la chaîne alimentaire ; des concentrations de plomb et de cadmium jusqu'à dix fois la norme (The commission of the European communities, 2006) ont été retrouvées dans certains légumes cultivés sur place.

Des analyses début 2009 mettent en évidence cette pollution des sols et des jardins, mais aussi des taux élevés dans les poussières prélevées à l'intérieur des habitations qui ont attiré l'attention des pouvoirs publics.

Afin d'étudier la biodisponibilité des métaux du sol, l'université de Franche Comté a été sollicitée par l'ADEME, EauGéo et Thésora.

II. Organismes étudiés : les escargots

II.1. Présentation du bioindicateur

Parmi les bioindicateurs animaux utilisables pour révéler la contamination des sols notamment par les métaux, les **escargots** (Mollusques gastéropodes pulmonés terrestres), qui vivent à l'interface sol-plantes-air, constituent une des composantes de la faune du sol (consommateur primaire et décomposeur) et un maillon des chaînes alimentaires impliquant divers prédateurs invertébrés et vertébrés (dont certains micromammifères comme les musaraignes ; les hérissons, des oiseaux, Figure 1).

Cet indicateur dont les densités peuvent être élevées (Mason, 1970) peut être utilisé (de Vaufleury et al., 2006; Pauget et al., 2013) *in situ* pour quantifier la biodisponibilité des métaux dans les sols par **bioindication active**, c'est-à-dire par encagement durant des périodes déterminées d'escargots sentinelles issus du laboratoire, de passé biologique connu (l'espèce utilisée est habituellement ***Cantareus aspersus* = *Helix aspersa* = escargot Petit gris**, espèce très ubiquiste).

L'espèce *Cantareus aspersus*, ou Petit Gris est une espèce très largement répartie dans le monde¹ Son élevage étant possible (ISO 15952, 2006), on peut disposer d'escargots de passé biologique connu pour les utiliser sur le terrain et analyser la biodisponibilité des contaminants du milieu (sol, plantes, air) par mesure de leur accumulation dans des organismes encagés pendant une durée déterminée.

L'analyse des concentrations en métaux d'escargots autochtones de la même espèce ou d'une autre espèce (*Cepaea* sp. notamment) prélevés sur le site d'étude permet, par une approche de bioindication dite passive, d'analyser la biodisponibilité des métaux *in situ* (Fritsch et al., 2011). Cependant dans ce cas on ne connaît pas l'âge des animaux et donc la durée de leur exposition.

¹ Pour plus de détails, norme ISO 15952 (2006) ou au site http://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/199863/tab/taxo.

Type d'indicateur : Bioindicateurs d'accumulation : l'analyse des concentrations internes est réalisée dans les viscères d'escargots exposés 28 jours sur site (= méthode statique² : 1 seule durée d'exposition). Les analyses sont généralement faites dans cette partie du corps qui concentre souvent les contaminants.

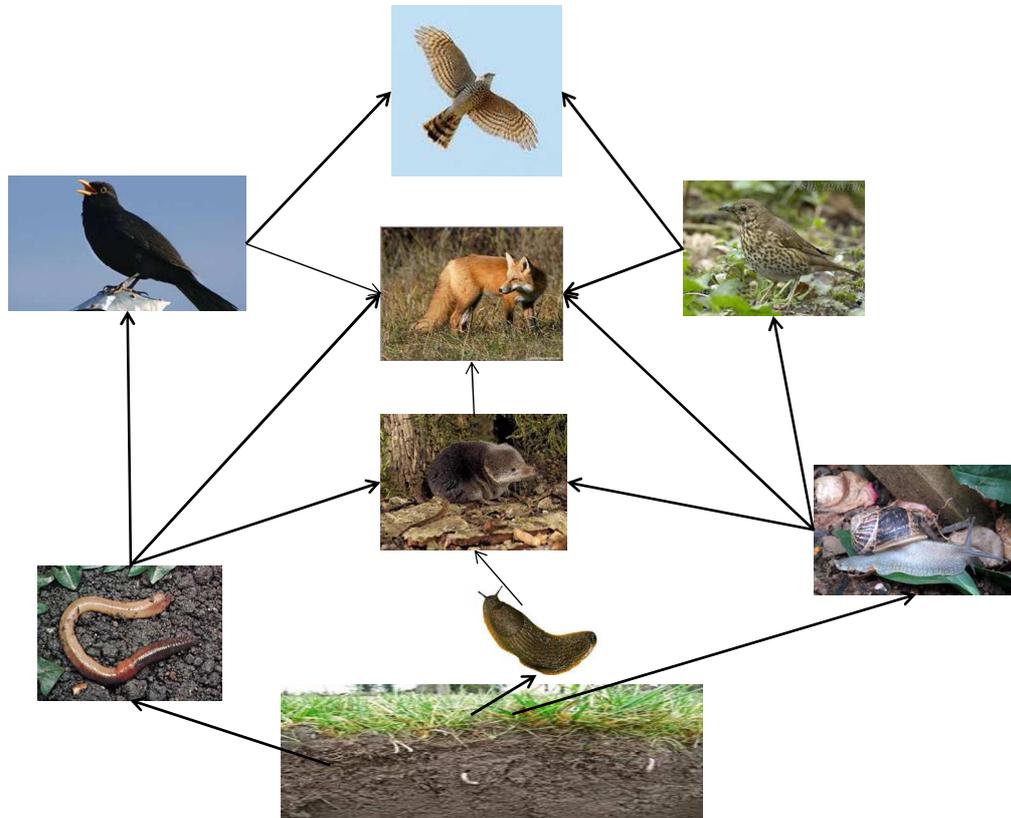


Figure 1 : Réseau trophique simplifié impliquant les escargots

II.2. Protocole d'exposition et d'échantillonnage

Bioindication active : pour étudier les transferts et les effets des métaux des microcosmes sont placés sur les modalités d'étude (un par modalité d'étude).



Figure 2 : Microcosmes (cylindres en acier inoxydable de 25 cm de diamètre sur 25 cm de hauteur fermés par une grille de maille 0,5 ou 1cm, maintenue par 3 à 4 tiges en inox également). Dans chaque microcosme on dispose 15 individus.

Dans ces microcosmes (Figure 2), 15 escargots sont exposés au sol ainsi qu'aux végétaux (vivants ou en décomposition) ayant poussé sur le site et à l'air ambiant ; ils subissent les aléas climatiques réels. Les escargots engagés sont des subadultes (5-6 g) issus de l'élevage standardisé de notre laboratoire (LCE). A t₀, 6 escargots sont utilisés pour analyse des concentrations en métaux avant exposition.

² Une étude cinétique permettant de modéliser l'assimilation des contaminants peut également être conduite: voir <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=10143>

On sélectionne si possible des endroits présentant un peu d'ombrage et une végétation herbacée suffisante pour alimenter les escargots. Le site de Saint Laurent le Minier étant fortement exposé au soleil, des ombrières ont été disposées au dessus des microcosmes.

Quinze escargots par microcosme ont été placés à t0 (11 juillet 2013) et six sont prélevés après 28 jours d'exposition (8 août 2013) sur le terrain pour l'analyse des métaux (les escargots restant pouvant servir à l'analyse d'autres contaminants comme les HAP).

Bioindication passive :

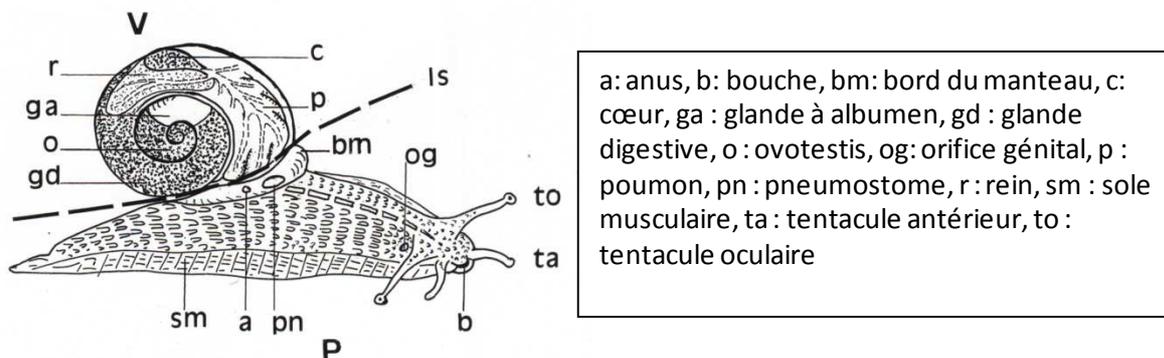
Des escargots autochtones ont été ramassés en juillet-août sur deux localisations différentes : au pied de la nouvelle habitation (de l'autre côté de la Vis en face de la zone d'étude) de la famille de Mr D. (Modalité non contaminée "Maison") et dans le jardin de l'ancienne maison de Mr D. (Modalité contaminée "Jardin"). Deux espèces d'escargot ont été identifiées : *Cantareus aspersus* et *Cepaea sp.*.



Escargots avant dissection : μ8-9 : escargots petits gris transplantés *in situ* pendant 28 jours dans les sites témoins ; autoch. Maison et autocht. Jardin contam. : Escargots sauvages ramassés *in situ*.

II.3. Analyse des escargots et de la végétation

A l'issue de l'exposition, les escargots échantillonnés sont pesés, puis disposés dans une boîte en polystyrène cristal de type « boîte à souris » humidifiée (24*21*8 cm, ref. EIDBBAC001, Charles River IFFA-CREDO, 69 L'arbresle) une période de jeûne de 48 heures. Pendant le jeûne, les fèces sont ôtées toutes les 24 heures. Suite à ce jeûne, les escargots sont sacrifiés par congélation à -80°C. Après décongélation, le corps mou est retiré de la coquille, les viscères et le pied sont séparés (Figure 3) puis séchés à l'étuve à 60°C jusqu'à masse constante.



a : anus, b : bouche, bm : bord du manteau, c : cœur, ga : glande à albumen, gd : glande digestive, o : ovotestis, og : orifice génital, p : poumon, pn : pneumostome, r : rein, sm : sole musculaire, ta : tentacule antérieur, to : tentacule oculaire

Figure 3 : Vue du côté droit du corps de l'escargot dépourvu de sa coquille et représentation de la ligne de section (Is) entre les deux parties, pied (P) et viscères (V).

Les concentrations en 18 métaux (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, Tl, Pb et Zn) sont mesurées après digestion des tissus dans 4 mL d'acide nitrique (HNO₃, 65% qualité analytique RPE Carlo-Erba) à 60°C pendant 48 à 72 h. Quinze mL d'eau ultra pure sont ajoutés avant l'analyse par ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry).

La validité des analyses est évaluée par un matériel de référence (TORT-2, hépatopancréas de homard, NRCC-CNRL, Canada).

Pour pouvoir prendre en compte la source de contamination provenant de la végétation, celle ci a été prélevée dans les microcosmes à l'issue de l'exposition (14 aout 2013). Les concentrations en éléments métalliques ont été analysées par ICP MS après digestion acide (en présence d'H₂O₂). La validité des analyses est évaluée par un matériel de référence (Tabac oriental, (INCT-OBTL-5).

II.4. Indice SET (somme des excès de transferts)

Dans le but de développer un outil de bioindication de la qualité des sols ayant la capacité de hiérarchiser les sols sur la base du transfert de métaux aux escargots, un indice sera attribué à chaque modalité d'étude ainsi qu'aux sites d'étude et témoin. La modalité ayant l'indice le plus élevé sera celle présentant la plus forte biodisponibilité de contaminants métalliques et pourra être mis en tête des priorités de gestions.

Sur la base des concentrations internes de références (C_{IRef}) par métal chez l'escargot (Tableau 1), une note appelée **quotient d'accumulation par métal (QA)** ainsi que la **Somme des Excès de Transfert (indice SET) de tous les métaux** (dont la C_{IRef} est disponible) sont calculées pour l'évaluation de l'accumulation et de la biodisponibilité des contaminants métalliques.

Tableau 1 : Concentrations internes de référence (C_{IRef}) en contaminants métalliques chez les escargots

Métal	C _{IRef} (mg.kg ⁻¹)
As	0.307
Cd	2.27
Co	6.676
Cr	2.01
Cu	184.7
Hg	0.198
Mo	4.428
Ni	5.249
Pb	12.9
Sb	0.076
Sn	0.058
Sr	125.7
Tl	0.259
Zn	1490

Pour chaque modalité, les concentrations en métaux dans les viscères des escargots sont divisées par les C_{IRef} respectives afin d'obtenir un quotient d'accumulation (QA) pour chaque métal (Eq 1). Si le

QA est inférieur ou égal à 1, la modalité ne présente pas de transfert anormal du métal considéré pour l'escargot. Inversement, si le $QA > 1$, alors le site sera identifié comme présentant un transfert excessif.

$$\text{Eq. 1} \quad QA = \frac{C_{\text{esc}}}{C_{\text{Ref}}}$$

Où : QA représente le quotient d'accumulation, C_{esc} la concentration du métal dans les viscères des escargots en mg kg^{-1} et C_{Ref} la concentration interne de référence pour le métal en mg kg^{-1} .

Un transfert de métal anormal aux escargots est caractérisé par un QA d'une valeur supérieure à 1 et plus le QA est fort, plus le transfert est important.

Dans le cas d'un transfert normal de métaux le QA est inférieur ou égal à 1 : dans la mesure où quantifier un transfert normal ou inférieur à la normale n'est pas nécessaire puisque correspondant à des conditions normales, chaque transfert normal ($QA < 1$) sera ramené à une valeur de 1 quelle que soit la valeur calculée du QA.

Une fois que les QA pour les contaminants métalliques ont été déterminés, la somme des QA-1 (où 1 représente un transfert normal) est réalisée afin d'obtenir **la Somme des Excès de Transfert pour une modalité** ($SET_{\text{modalité}}$, Eq. 2). L'indice ainsi calculé n'est pas dépendant du nombre de métaux analysés quand ils ne présentent pas de transferts anormaux (la note ne sera pas modifiée si on ajoute un métal avec un $QA \leq 1$).

Dans le cas où l'indice SET doit être étudié sur un site dans son ensemble, la somme des QA-1 est divisée par le nombre de modalités étudiées (SET_{site} , Eq. 3) afin que l'indice ne soit pas dépendant du nombre de modalité de chaque site. L'indice SET est une valeur intégrative et quantitative des transferts et d'accumulation des métaux étudiés non dépendante du nombre de modalités étudiées.

$$\text{Eq. 2} \quad SET_{\text{Modalité}} = \sum(QA - 1)$$

$$\text{Eq. 3} \quad SET_{\text{Site}} = \frac{\sum(QA-1)}{n_{\text{modalité}}}$$

Où : $SET_{\text{Modalité}}$ représente la somme des excès de transferts pour une modalité, SET_{site} représente la somme des excès de transferts pour un site (SET : valeur représentative du transfert tous ET confondus pour l'escargot), QA quotients d'accumulation obtenus pour chaque élément étudié en ayant remplacé au préalable toutes les valeurs de $QA < 1$ par 1, $n_{\text{modalité}}$ correspond au nombre de modalités du site étudié dans le cas d'un calcul de SET_{site} .

Les notes de SET pour toutes modalités ($SET_{\text{Modalité}}$) et pour tous les sites (SET_{site}) sont ensuite triées par ordre décroissant, et la modalité et/ou le site ayant obtenu la note de SET la plus élevée sera celle/celui qui présentera le plus grand transfert tous métaux confondus.

L'indice SET peut donc être utilisé afin de déterminer une priorité de gestion par site (SET_{site}) et non plus par modalité. Ce changement d'échelle peut s'avérer intéressant en fonction de la volonté d'un gestionnaire à mettre des priorités de gestion sur des modalités (au sein d'un site) ou sur le site en lui-même.

III. Sites d'études

L'exposition des escargots a été réalisée du 11 juillet au 8 Aout 2013.

Huit modalités d'étude (7 modalités contaminées et 1 modalité témoin, Figure 4) ont été retenues en relation avec celles étudiées par ELISOL Environnement (Nématofaune du sol).

Essai de revégétalisation

**(= Revégétalisation, microcosmes 1 et 2
3°39'57.7" E, 43°55'56.7" N, Alt : 164 m)**



Essai mis en place en 2002. Sur cette modalité, 2 microcosmes ont été placés sur différents type de végétation.



Microcosme 1 : Présence de Fétuque d'Auvergne (*Festuca arvernensis*), plante tolérante aux métaux



Microcosme 2 : Végétation composite avec des espèces potentiellement accumulatrice comme l'*Arenaria aggregata*



Essai récent de phytoremédiation avec des légumineuses

**(= Légumineuse, microcosme 3
3°39'58.3" E, 43°55'57.0" N, Alt : 164 m)**

Mis en place en 2010 avec l'espèce *Anthyllis vulneraria*. Les sols ayant reçu les jeunes pousses ont été amendés avec un compost de cheval.





Terrasse surplombant les bassins

(= Terrasse, microcosme 4

3°40'01.0" E, 43°56'00.2" N, Alt : 167 m))

Terrasse surplombant les bassins présentant une végétation herbacée et arbustive abondante recouvrant le sol.



Bassin de décantation

(= Bassin, microcosme 5

3°39'56.1" E, 43°55'57.5" N, Alt : 163 m))

Sur ce sol la végétation est quasi absente (la végétation observée dans le fond de la photo ne fait pas partie de la modalité d'étude).

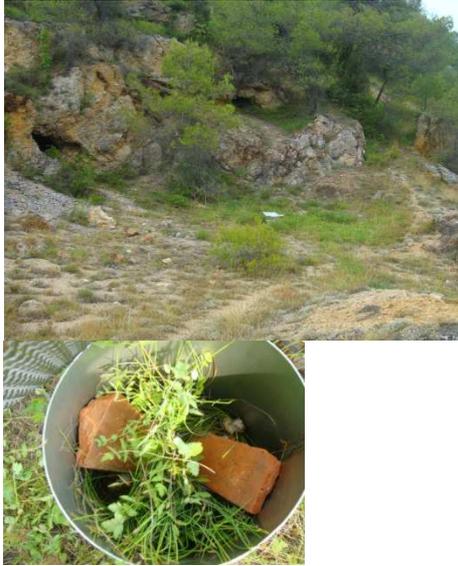


Jardin de Mr D.

(= Jardin, microcosme 6,

3°39'46.8" E, 43°55'56.8" N, Alt : 163 m))

Jardin ayant servi de potager à Mr D. qui résidait dans la maison à proximité des bassins.



Stérile des Avinières
(= Stérile, microcosme 7,
3°39'55.3" E, 43°55'52.7" N, Alt : 248 m))

Ancien lieu d'extraction de minerais. Le stérile est situé au dessus de la papèterie. La végétation est éparse.



Modalité témoin non contaminée
(= Témoin, microcosmes 8 et 9,
3°37'34.5" E, 43°53'32.9" N, Alt : 202 m))

Le site témoin est située dans le lieu dit de Gornières - L'Escoutet à environ 7 km du site d'étude dans un verger. La végétation est variée et abondante.



Figure 4 : Localisation des modalités d'étude du site contaminé (Saint Laurent le Minier).

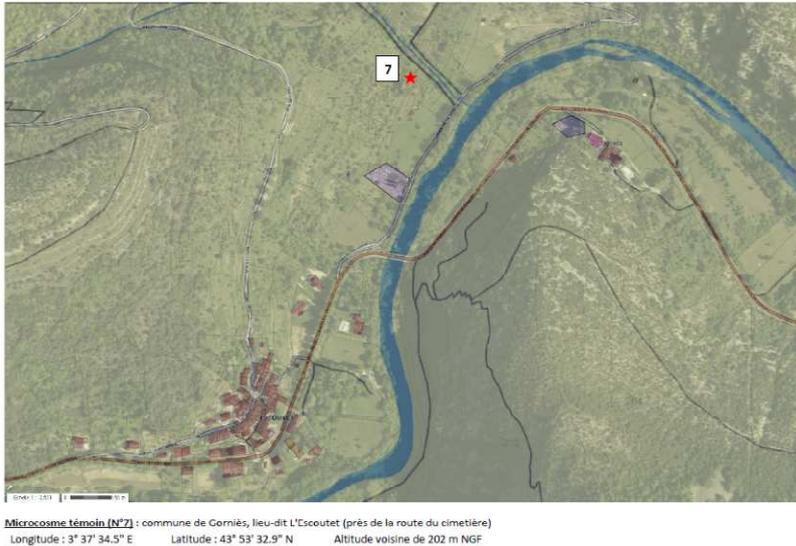


Figure 5 : Localisation des microcosmes témoin sur la commune de Gornies - l'Escoutet

IV. Résultats

IV.1. Accumulation des contaminants métalliques dans les viscères d'escargots exposés en microcosmes

Les médianes des concentrations en métaux dans les escargots avant exposition (T0) sont toutes inférieures aux CIREf exceptées pour Hg et Sn (cependant, ces concentrations restent faibles). Les escargots exposés pendant 28 jours aux modalités du site témoin (microcosmes 8 et 9) ne présentent pas de fortes concentrations en contaminants métalliques (Tableau 2) avec des valeurs inférieures aux CIREf ou quasiment identiques aux concentrations dans les viscères avant exposition (pour l'Al, le Mn, le Se et le Ti). Les seules concentrations supérieures aux CIREf sont observées une fois de plus pour le mercure (Hg). Cependant ces valeurs bien que supérieures à la CIREf restent proches (0.212 et 0.287 mg.kg⁻¹ pour une CIREf de 0.198 mg.kg⁻¹ pour les modalités Témoin 1 et 2, Tableau 2, Figures 13 et 14). Cette absence d'accumulation souligne que le site témoin ne présente pas contamination des sols et des plantes et/ou une très faible biodisponibilité des contaminants.

L'exposition des escargots sur les modalités de la zone contaminée (Saint Laurent le Minier) a engendré une accumulation de contaminants métalliques sur toutes les modalités. Les contaminants les plus fortement accumulés sont **le Cd, le Pb, le TI et le Zn** et dans une moindre mesure, l'As, le Sb, (Tableau 2 et Figures 6 à 13). Ces concentrations sont les plus fortes jamais identifiées dans des escargots depuis le début de nos travaux. Pour les autres contaminants métalliques (Al, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Se, Sr et Ti) aucune accumulation n'est identifiée (par rapport aux valeurs de CIREf ou aux escargots T0 quand la CIREf n'est pas disponible, Tableau 2, Figures 6 à 13).

Tableau 2 : Concentrations en contaminants métalliques dans les viscères d'escargots après 28 jours d'exposition

Modalité		T0	Revég. 1	Revég. 2	Légum.	Terrasse mg.kg ⁻¹	Bassin	Jardin	Stérile	Tém. 1	Tém. 2
Al CIRef=nd	Médiane	22.7	31.1	14.9	12.7	8.30	90.5	26.2	12.6	10.4	7.77
	Min	8.87	14.8	9.34	10.4	4.58	41.6	11.4	4.11	4.92	1.76
	Max	154	56.9	20.3	17.7	15.1	794	37.7	27.4	35.5	46.7
As CIRef=0.307	Médiane	0.252	2.77	3.86	2.12	0.233	25.9	1.08	0.687	0.199	0.135
	Min	0.084	0.862	2.21	1.66	0.199	12.3	0.727	0.225	0.117	0.072
	Max	0.288	6.33	4.79	3.03	1.29	102	1.51	0.956	0.312	0.200
Cd CIRef=2.27	Médiane	1.03	63.1	129	364	204	458	123	93.7	1.45	1.44
	Min	0.819	25.5	103	302	119	404	109	75.5	1.21	1.25
	Max	1.12	109	319	399	516	663	406	103	1.85	1.59
Co CIRef=6.676	Médiane	0.622	0.993	0.977	1.36	0.305	1.68	0.721	0.332	0.677	0.522
	Min	0.458	0.644	0.809	1.00	0.260	1.01	0.463	0.255	0.401	0.302
	Max	0.715	1.21	1.16	1.78	0.542	2.52	0.880	0.691	0.781	0.782
Cr CIRef=2.01	Médiane	1.44	1.07	0.638	0.482	0.476	0.500	0.711	0.556	0.690	0.422
	Min	0.934	0.442	0.576	0.346	0.265	0.287	0.428	0.244	0.375	0.183
	Max	3.68	1.69	0.793	0.906	0.830	2.32	1.28	0.810	0.977	0.566
Cu CIRef=184.7	Médiane	71.4	69.7	100	126	95.7	78.4	76.7	75.2	75.1	112
	Min	60.2	45.6	65.6	95.7	71.8	53.6	44.5	63.7	61.7	60.9
	Max	97.4	99.6	152	146	138	95.1	304	100	132	157
Hg CIRef=0.198	Médiane	0.307	0.379	0.275	0.225	0.197	0.657	0.214	0.173	0.212	0.287
	Min	0.166	0.343	0.240	0.173	0.134	0.525	0.118	0.122	0.184	0.199
	Max	0.447	0.512	0.531	0.361	0.235	1.28	0.317	0.254	0.421	0.375
Mn CIRef=nd	Médiane	106	188	284	407	111	347	127	213	112	111
	Min	58.9	123	162	292	59.0	234	110	150	85.6	83.6
	Max	191	247	377	515	165	912	220	311	317	189
Mo CIRef=4.428	Médiane	3.25	1.74	1.68	3.08	2.76	1.57	2.07	2.67	2.47	2.39
	Min	2.49	1.13	1.14	2.31	1.96	1.28	1.52	2.00	1.91	1.96
	Max	3.43	2.31	2.74	5.20	3.12	1.72	2.59	2.90	2.70	3.10
Ni CIRef=5.249	Médiane	2.49	2.88	1.74	1.21	1.27	1.47	1.39	1.58	2.23	2.01
	Min	2.26	1.17	0.987	0.728	0.936	0.847	0.879	0.858	1.54	1.53
	Max	3.24	3.37	2.10	7.50	2.31	2.83	2.44	7.62	3.12	4.01
Pb CIRef=12.9	Médiane	0.342	3137	2492	1461	415	6059	983	194	2.70	1.83
	Min	0.243	2137	2187	1297	213	2605	687	85.1	2.24	1.55
	Max	0.635	4730	3454	1787	696	8816	1786	398	3.22	2.84
Sb CIRef=0.076	Médiane	0.030	1.41	1.45	0.688	0.207	5.74	1.06	0.126	0.030	0.029
	Min	0.026	0.475	1.23	0.575	0.146	2.79	0.583	0.033	0.023	0.014
	Max	0.044	5.53	2.34	1.08	0.762	37.4	1.95	0.206	0.047	0.036
Se CIRef=nd	Médiane	2.23	2.69	2.27	2.64	2.47	2.83	2.69	2.25	1.95	2.63
	Min	1.62	2.43	1.83	2.22	2.28	2.47	2.10	1.79	1.43	2.20
	Max	2.32	3.67	3.40	4.86	2.82	3.43	3.88	2.59	2.57	3.01
Sn CIRef=0.058	Médiane	0.059	0.059	0.024	0.028	0.020	0.020	0.020	0.019	0.017	0.020
	Min	0.050	0.019	0.020	0.020	0.015	0.016	0.013	0.016	0.016	0.016
	Max	0.063	0.097	0.055	0.052	0.026	0.034	0.082	0.066	0.025	0.023
Sr CIRef=125.7	Médiane	31.0	35.2	43.6	53.5	42.0	42.4	34.7	39.2	40.0	38.9
	Min	22.7	27.3	33.0	47.0	30.5	25.3	25.6	32.6	28.4	34.8
	Max	36.4	46.3	57.4	65.9	44.6	62.2	40.3	57.2	56.5	46.2
Ti CIRef=nd	Médiane	2.78	3.34	3.79	3.02	3.72	3.08	2.84	2.74	3.11	3.28
	Min	2.27	2.66	3.24	2.86	3.11	2.26	2.30	2.58	2.65	2.68
	Max	3.94	4.73	5.05	4.03	4.30	8.32	3.48	3.54	3.42	3.59
Tl CIRef=0.259	Médiane	0.131	23.6	931	75.5	17.1	97.5	2.35	0.277	0.084	0.070
	Min	0.112	10.8	710	49.7	7.05	51.1	1.33	0.183	0.046	0.042
	Max	0.206	36.4	2639	105	34.4	131	2.82	0.820	0.152	0.107
Zn CIRef=1490	Médiane	404	4795	7729	18806	3361	15653	12053	3131	440	546
	Min	329	3406	5869	13107	2004	10034	7676	1916	360	342
	Max	458	6665	10389	21242	4221	22853	15833	3731	502	624

Tableau 3 : Concentrations en contaminants métalliques dans les plantes présentes dans les microcosmes après 28 jours d'exposition

Métal	Revég. 1	Revég. 2	Légum.	Terrasse	Bassin	Jardin	Stérile	Tém. 1	Tém. 2
	mg.kg ⁻¹								
Al	54.7	547	465	331	3962	189	30.8	61.7	37.5
As	4.57	74.4	71.5	4.74	540	7.42	1.30	0.410	0.325
Cd	3.95	112	291	79.4	251	16.2	14.6	0.140	0.116
Co	0.066	0.454	0.798	0.231	1.61	0.197	0.041	0.107	0.081
Cr	1.27	2.52	3.31	2.03	11.3	1.20	0.338	2.43	1.12
Cu	2.07	15.3	13.5	7.48	45.6	5.13	3.52	5.39	5.39
Hg	0.067	0.399	0.355	0.076	2.29	0.121	0.031	0.028	0.031
Mn	8.87	35.5	108	25.6	99.9	13.8	23.4	30.8	18.5
Mo	1.92	0.670	1.94	0.563	2.55	0.737	0.604	0.774	0.742
Ni	0.899	2.04	2.29	1.43	6.52	0.958	0.447	3.59	1.21
Pb	368	4145	3013	878	10377	454	32.6	5.61	3.46
Sb	2.88	45.3	40.8	3.53	218	3.41	0.406	0.234	0.152
Se	0.050	0.268	0.354	0.123	1.05	0.051	0.050	0.109	0.050
Sn	0.013	0.052	0.060	0.014	0.207	0.032	0.067	0.100	0.099
Sr	4.80	58.3	56.9	31.4	63.3	15.1	13.4	8.60	12.6
Ti	0.927	6.74	5.63	2.01	21.2	1.45	0.579	0.984	0.684
Tl	8.72	376	50.3	6.72	42.0	0.632	0.169	0.056	0.034
Zn	530	8567	15720	1361	20823	1161	390	24.0	18.6

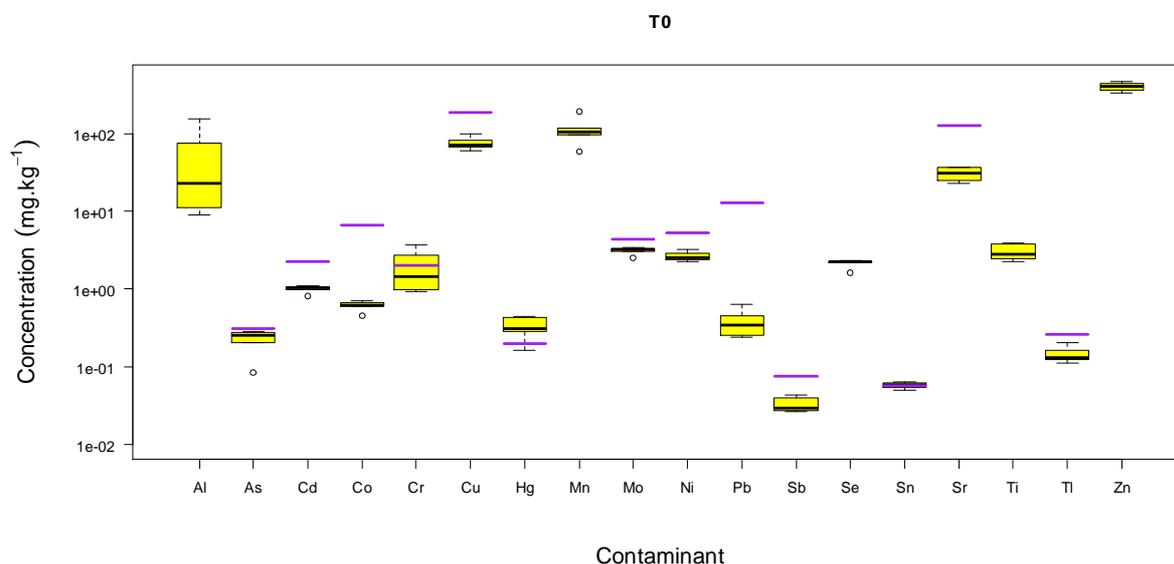


Figure 6 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot avant exposition (T0). Les lignes violettes représentent les CIRef du métal.

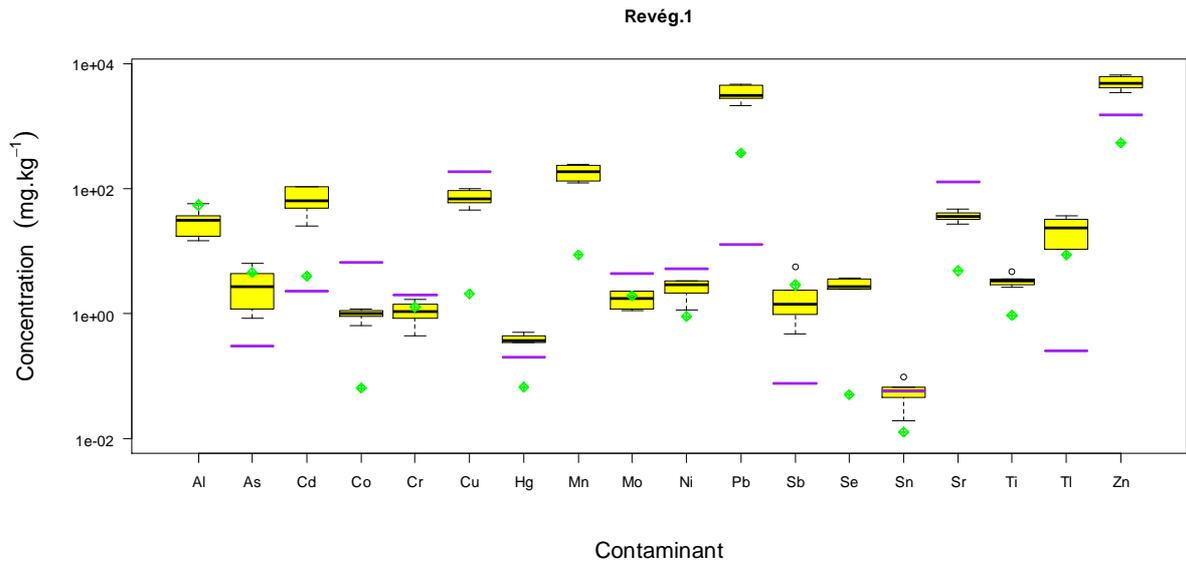


Figure 7 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Revégétalisation 1. Les lignes violettes représentent les CIRef du métal.

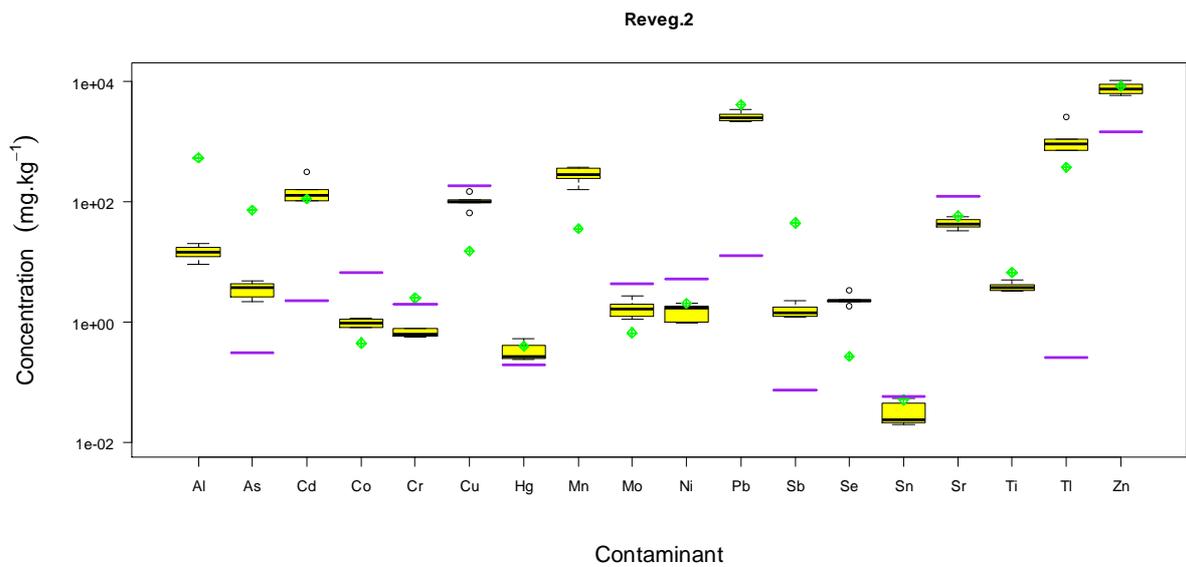


Figure 8 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Revégétalisation 2. Les lignes violettes représentent les CIRef du métal.

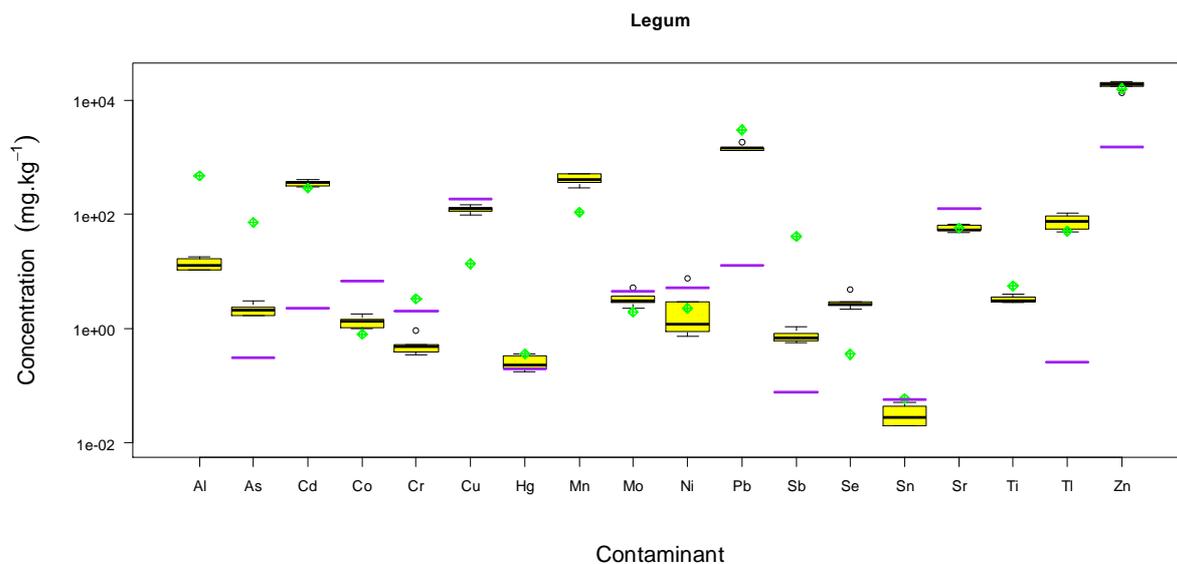


Figure 9 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Légumineuse. Les lignes violettes représentent les CRef du métal.

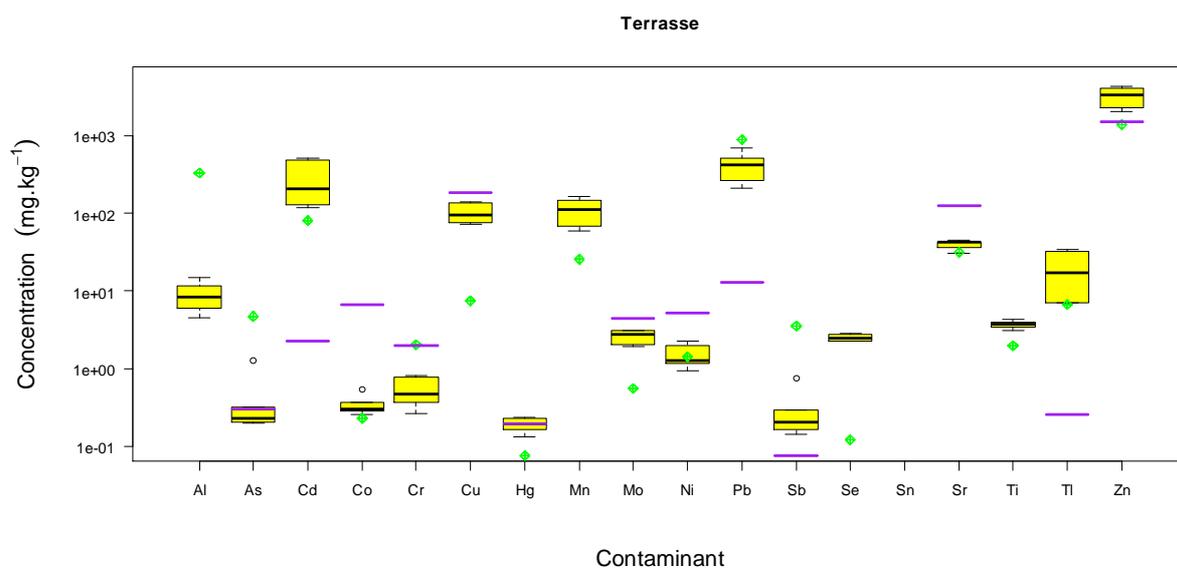


Figure 10 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Terrasse. Les lignes violettes représentent les CRef du métal.

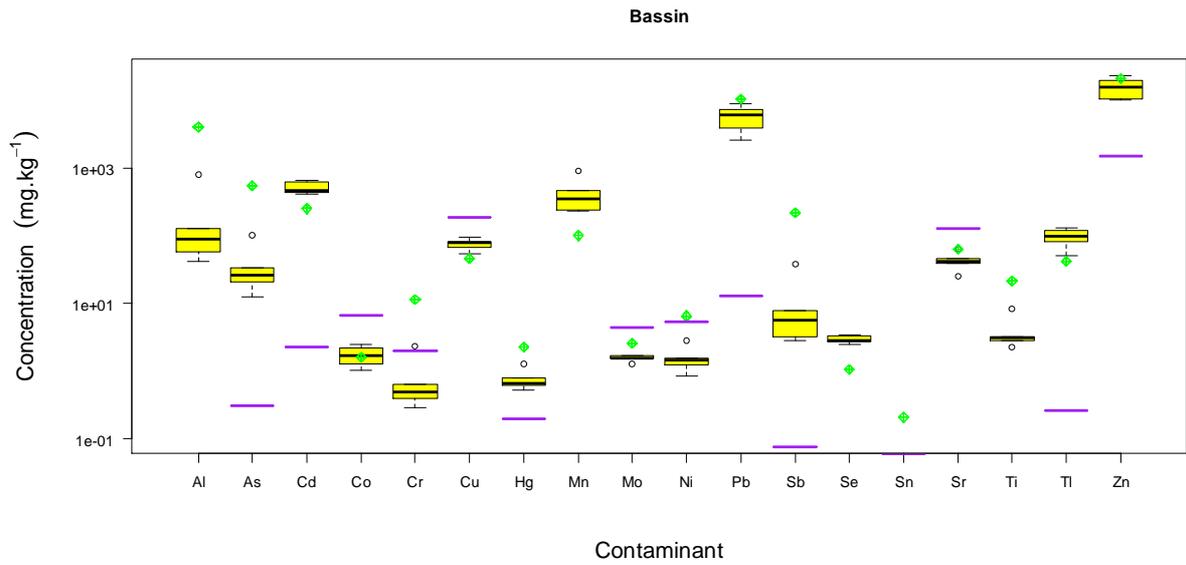


Figure 11 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Bassin. Les lignes violettes représentent les CIRef du métal.

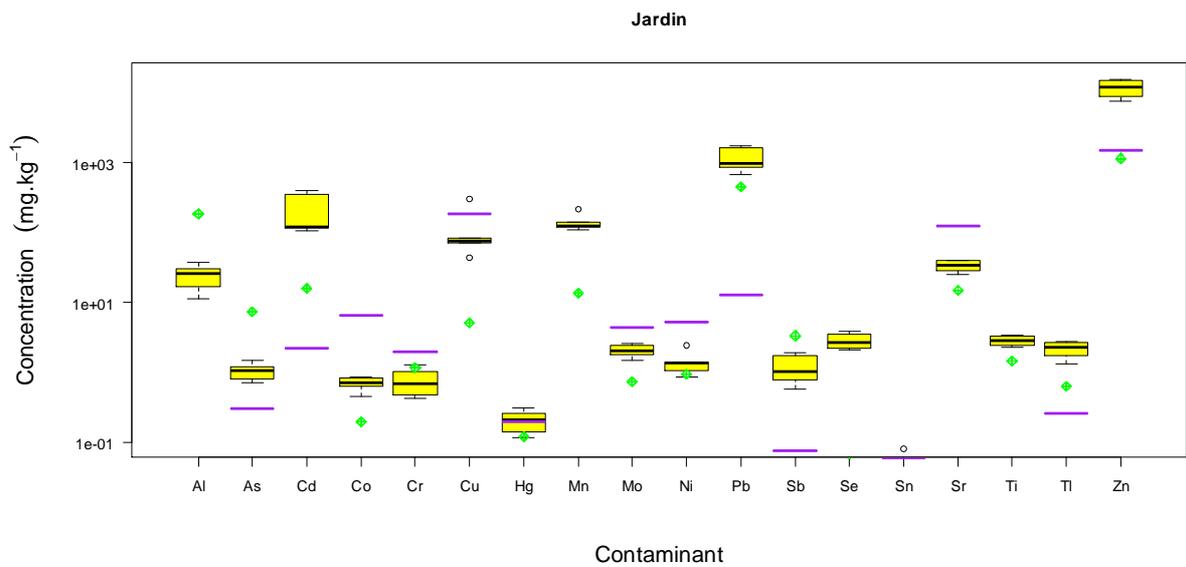


Figure 12 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Jardin. Les lignes violettes représentent les CIRef du métal.

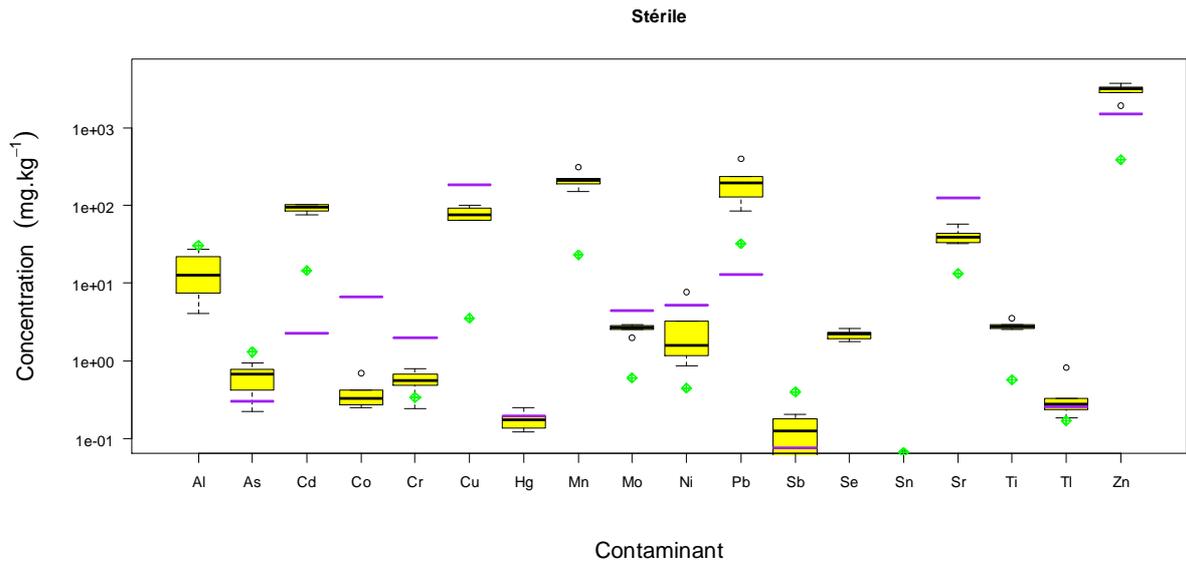


Figure 13 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Stérile. Les lignes violettes représentent les CIRef du métal.

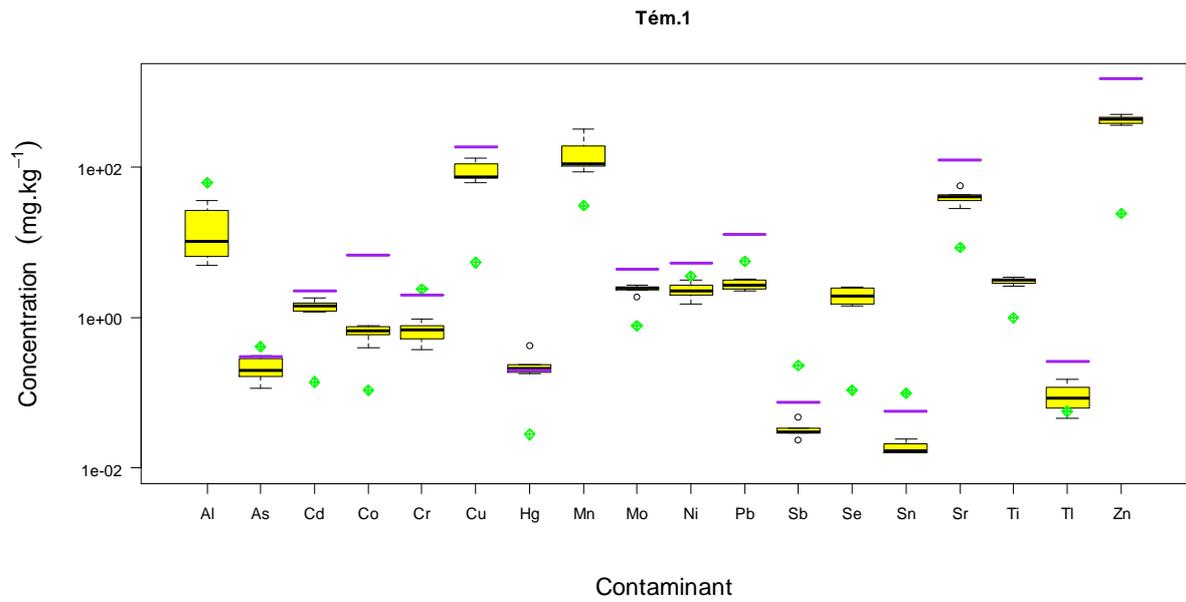


Figure 14 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Témoin 1. Les lignes violettes représentent les CIRef du métal.

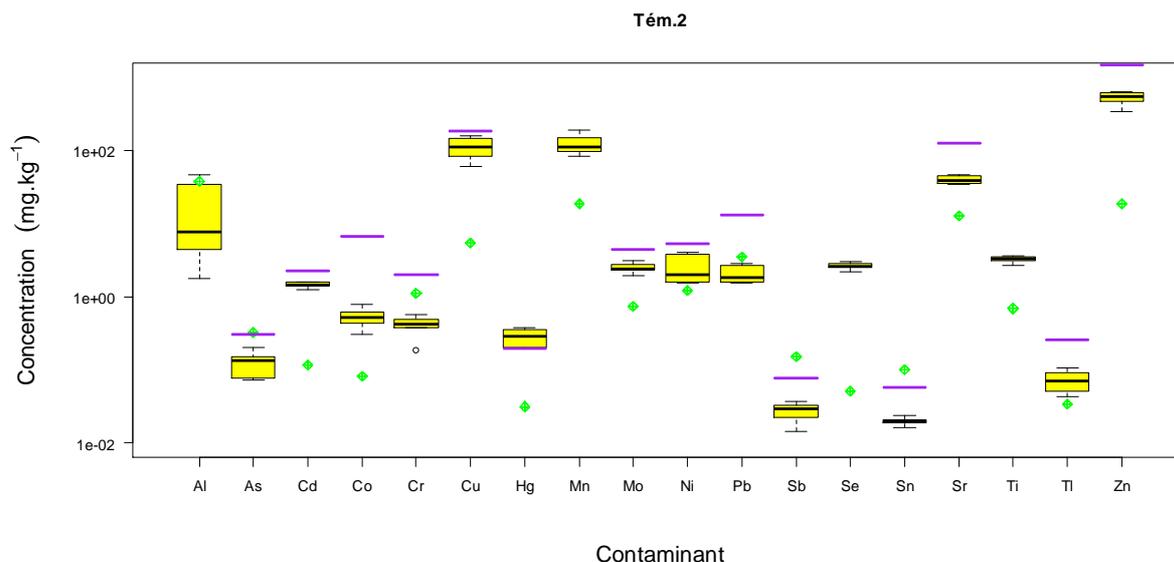


Figure 15 : Concentrations en métaux dans les viscères d'escargot exposés 28 jours (jaune) et dans les plantes (vert) sur la modalité Témoin 2. Les lignes violettes représentent les CIRef du métal.

Les végétaux présents dans les microcosmes présentent de fortes concentrations d'As, de Cd, de Pb, de Sb, de Tl ainsi que de Zn (Tableau 3) ; les végétaux n'ayant pas été lavés avant analyse, les métaux peuvent être soit simplement adsorbés à la surface soit être dans les tissus végétaux. L'accumulation de contaminants par les escargots et les concentrations des plantes présentent des corrélations pour certains métaux (As, Cd, Co, Hg, Mn, Pb, Sb, Tl et Zn) comme le montre la figure 16.

Les concentrations de ces contaminants métalliques dans les escargots ainsi que dans la végétation (en relation trophique directe) révèle leur forte biodisponibilité sur le site ainsi qu'un risque de transfert dans les chaînes trophiques (vers les escargots mais également vers les niveaux supérieurs). La comparaison des concentrations dans les végétaux et dans les escargots entre les microcosmes 1 et 2 révèle l'influence de la nature de la végétation dans les transferts aux escargots. En effet dans le microcosme 2 dans lequel les plantes (*Arenaria* en fleur essentiellement) présentent les concentrations en contaminants métalliques les plus fortes, les concentrations dans les viscères des escargots sont supérieures à celle observées dans le microcosme 1 dans lequel les espèces végétales (*Festuca arvensis* et/ou *Koeleria vallesiana*) sont également tolérantes aux contaminants métalliques mais moins contaminées. Les seules exceptions sont identifiées pour le Pb, le Sn et le Hg. Globalement une biodisponibilité des métaux plus faible est observée dans la modalité légumineuse + amendement de compost (*Anthyllis vulneraria*) par rapport à la modalité Revégétalisation 2 (présentant des espèces végétales de type graminées).

Cette forte accumulation dans les tissus d'escargots exposés pendant 28 jours sur le site de Saint Laurent le Minier a été comparée aux concentrations en contaminants métalliques dans les tissus de quelques escargots autochtones ramassés sur le site.

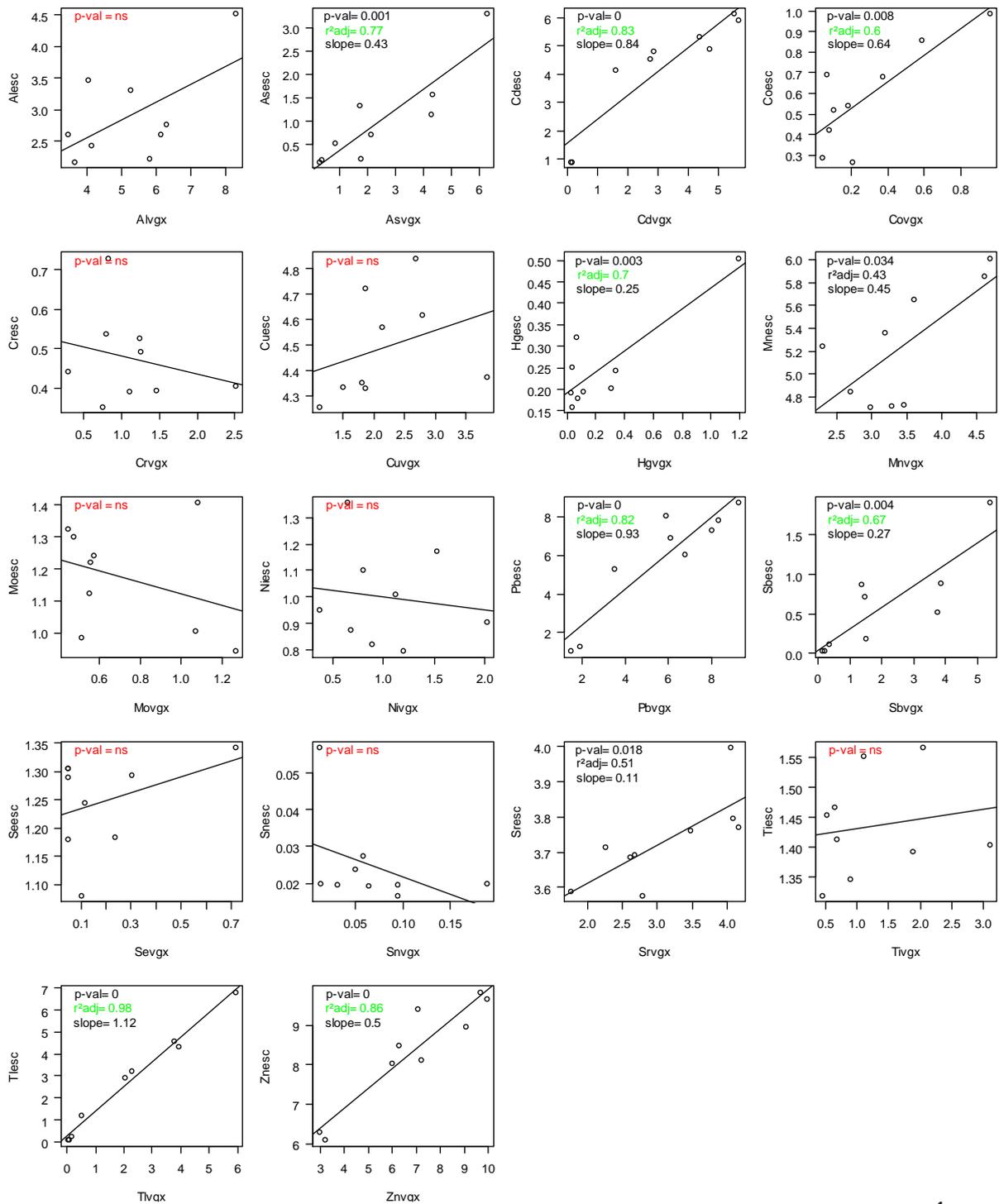


Figure 16 : Corrélations (modèle linéaire) entre les médianes des concentrations (log(concentration+1), en mg.kg⁻¹) en métaux dans les viscères d'escargots et les plantes

IV.1. Accumulation des contaminants métalliques dans les viscères d'escargots autochtones

Les escargots autochtones ramassés au pied de la nouvelle habitation (de l'autre côté de la Vis en face de la zone d'étude) de la famille de Mr D. (Modalité non contaminée "Maison") et dans le jardin de l'ancienne maison de Mr D. (Modalité contaminée "Jardin") appartiennent à deux espèces: *Cantareus aspersus* et *Cepaea sp.*.

Les concentrations en métaux accumulés dans les viscères des individus autochtones sont présentées dans le tableau 4 et dans les Figures 17 et 18.

On observe une forte accumulation de Cd, de Pb et de Zn chez les animaux ramassés dans le Jardin de l'ancienne maison de Mr D. avec des valeurs médianes de 189, 283, 882 mg.kg⁻¹ dans les viscères (pour le Cd, le Pb et le Zn, respectivement). Ces valeurs sont bien au delà des concentrations maximales autorisées dans les denrées alimentaires (The commission of the European communities, 2006) établies à 1,5 mg_{Pb}.kg MF et 1 mg_{Cd}.kg MF correspondant environ à 7.5 mg_{Pb}.kg MS et 5 mg_{Cd}.kg MS (il n'y a pas de seuil réglementaire disponible pour le Zn).

Après discussion avec les personnes vivants à proximité de la zone contaminée de Saint Laurent le Minier, il été identifié que des escargots étaient encore ramassés dans la modalité Jardin en vue d'être consommés. Il apparait important d'effectuer une mise en garde voire une interdiction de ramassage d'escargots autochtones dans un but de consommation.

Tableau 4 : Concentrations en contaminants métalliques dans les viscères des escargots autochtones ramassés *in situ*. CA : *Cantareus aspersus*, *Cepaea* : *Cepaea sp.*, Maison : escargots ramassés dans la zone actuellement habitée par Mr D., Jardin : Ancien jardin de Mr D. localisé dans la zone contaminée

Modalité		Maison (CA)	Maison (<i>Cepaea</i>)	Jardin(CA)	Jardin (<i>Cepaea</i>)
n		2	2	5	1
		mg.kg ⁻¹			
Al	Médiane	38.6	49.4	19.6	
	Min	8.99	23.4	2.96	3.02
	Max	68.2	75.4	104	
As	Médiane	0.473	0.158	0.717	
	Min	0.296	0.112	0.422	0.154
	Max	0.650	0.205	1.35	
Cd	Médiane	102	134	189	
	Min	59.4	82.1	24.1	171
	Max	144	186	279	
Co	Médiane	0.381	0.650	0.212	
	Min	0.230	0.346	0.067	0.097
	Max	0.532	0.954	0.276	
Cr	Médiane	0.249	0.354	0.136	
	Min	0.092	0.162	0.022	0.013
	Max	0.407	0.545	0.415	
Cu	Médiane	52.9	89.6	60.7	
	Min	49.8	78.5	40.7	49.0
	Max	56.0	101	170	
Hg	Médiane	0.026	0.060	0.044	
	Min	0.025	0.060	0.016	0.036
	Max	0.027	0.061	0.372	
Mn	Médiane	70.3	131	39.4	
	Min	28.2	55.5	14.7	32.9
	Max	112	206	53.5	
Mo	Médiane	2.43	1.69	1.90	
	Min	1.83	1.42	1.15	0.643
	Max	3.03	1.97	3.28	
Ni	Médiane	0.844	0.864	0.650	
	Min	0.553	0.394	0.386	0.390
	Max	1.14	1.33	1.29	
Pb	Médiane	48.1	22.4	283	
	Min	16.7	21.2	28.5	69.7
	Max	79.4	23.6	381	
Sb	Médiane	0.366	0.079	0.382	
	Min	0.195	0.068	0.105	0.067
	Max	0.536	0.090	0.652	
Se	Médiane	0.487	1.75	0.424	
	Min	0.414	1.12	0.233	0.837
	Max	0.560	2.38	0.613	
Sn	Médiane	0.086	0.042	0.055	
	Min	0.040	0.039	0.007	0.024
	Max	0.132	0.044	0.186	
Sr	Médiane	114	50.5	84.1	
	Min	110	40.4	66.4	20.2
	Max	119	60.6	128	
Ti	Médiane	1.97	2.41	2.02	
	Min	1.56	2.36	1.57	1.47
	Max	2.38	2.46	3.54	
Tl	Médiane	0.934	1.73	56.6	
	Min	0.472	0.771	12.9	40.7
	Max	1.40	2.69	921	
Zn	Médiane	387	1086	882	
	Min	284	1036	447	817
	Max	490	1136	1849	

CA : *Cantareus aspersus*, *Cepaea* : *Cepaea sp.*, Maison : escargots ramassés dans la zone actuellement habitée par Mr D., Jardin : Ancien jardin de Mr D. localisé dans la zone contaminée

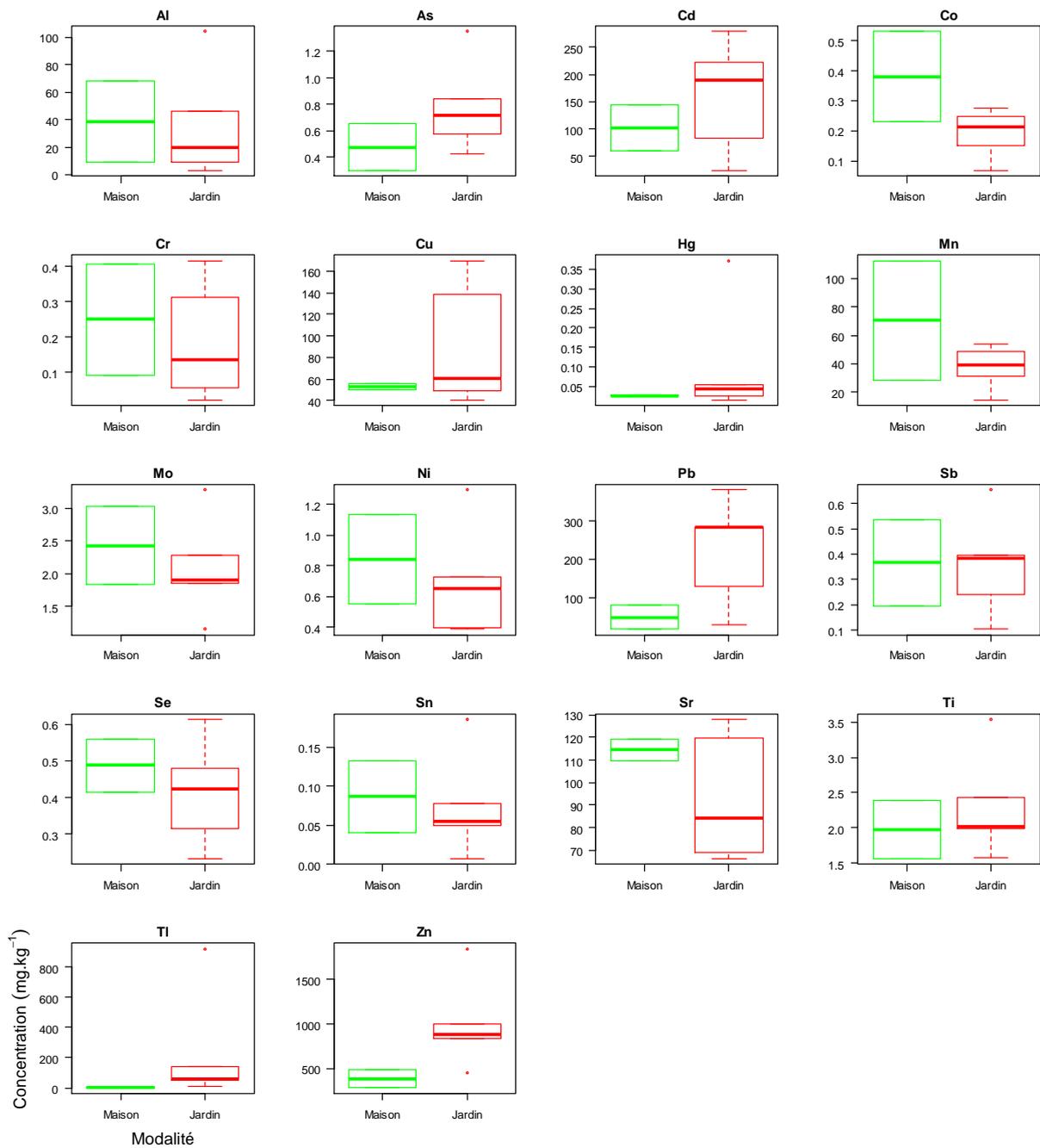


Figure 17 : Concentrations en contaminants métalliques dans les viscères des escargots *Cantareus aspersus* autochtones.

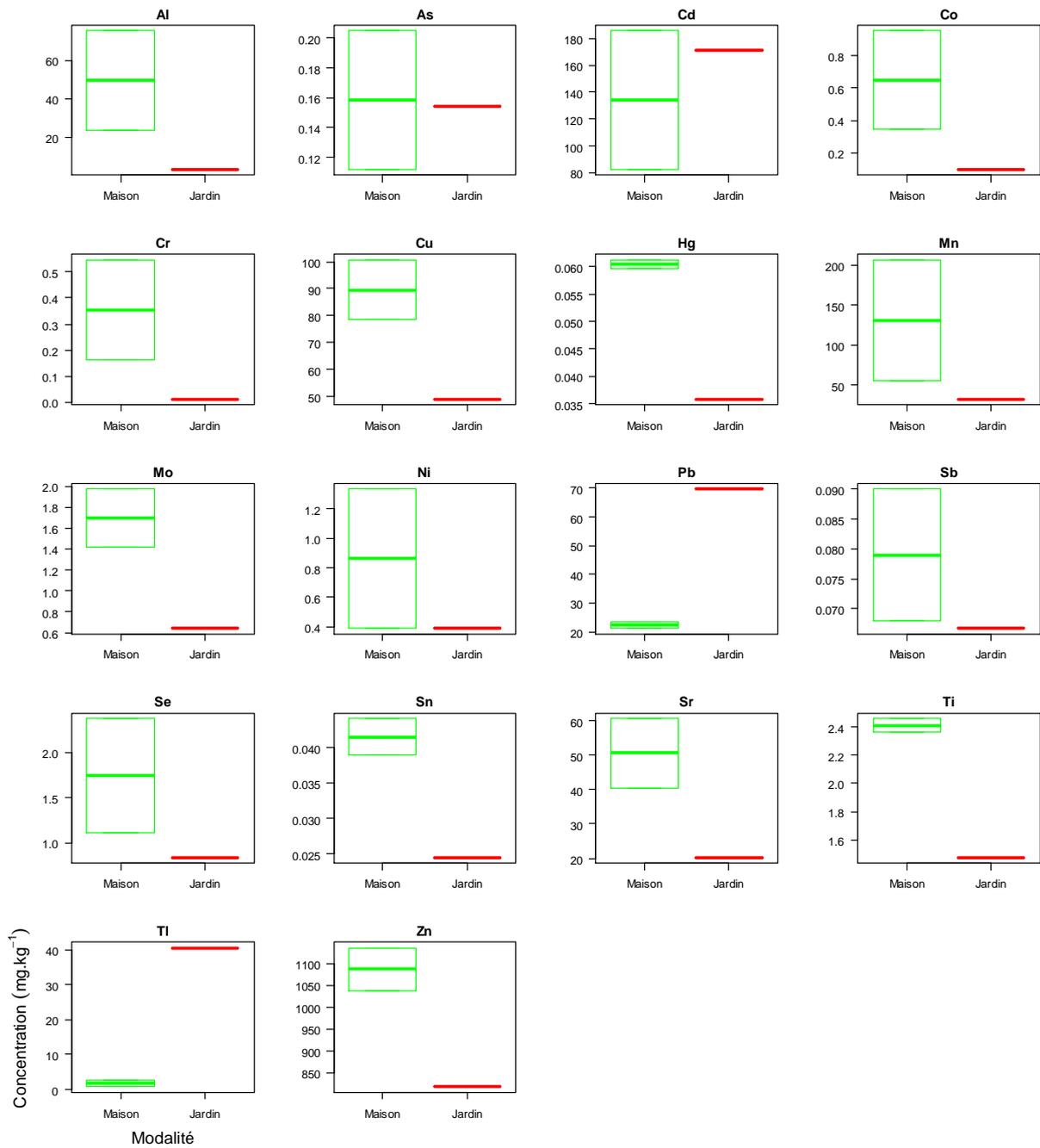


Figure 18 : Concentration en contaminants métalliques dans les viscères des escargots *Cepaea sp.* autochtones

IV.2. Calcul de l'indice SET

Le calcul de l'indice SET et des quotients d'accumulation pour chaque contaminant métallique traduit le fait que les concentrations dans les viscères des escargots exposés pendant 28 jours aux différentes modalités du site de Saint Laurent le Minier sont très largement supérieures aux CIREf. Les valeurs de QA présentées dans le tableau 5 montrent des excès de transfert en As, Cd, Pb, Sb, Tl et Zn allant jusqu'à 3595 fois la CIREf (pour le Tl sur la modalité revégétalisation 2) soulignant de très forts transferts de ces métaux vers les escargots et donc potentiellement le long de la chaîne trophique.

Ces forts transferts conduisent à des notes de SET_{modalité} allant de 57,4 à 3876 et une note de SET globale pour le site contaminé de 924 (Tableau 5) montrant la très forte biodisponibilité des contaminants métalliques sur la zone de Saint Laurent le Minier. Ces valeurs de SET sont très largement supérieures à celle observée sur les sites du programme bioindicateurs2 (cf fiche outil F1 Les escargots, gamme des valeurs de SET observées de 0 à 12 au maximum). La zone témoin quant à elle ne présente pas de transferts de contaminants avec des notes de SET de 0,069 et 0,447 (Tableau 5).

Ces notes de SET permettent de hiérarchiser les modalités de la zone contaminée de Saint Laurent le Minier.

En tête arrive la modalité revégétalisation (en moyenne pour les 2 modalités avec végétation différente, la note de SET est de 2131) avec une problématique principale liée au Tl, au Pb et au Cd.

La modalité bassin présente une note de SET inférieure mais qui reste très forte également (1214) principalement due aux mêmes contaminants que ceux identifiés pour la modalité revégétalisation.

Sur la modalité légumineuse, une note de SET très forte est également calculée (587) toujours liée aux mêmes contaminants. Le ruissellement depuis les Avinières et l'accumulation des résidus miniers dans les bassins de décantation couplée à la très faible porosité des sols engendre une source de contamination pour les organismes conduisant à un fort transfert de contaminants.

Sur ces quatre modalités, la très forte biodisponibilité des contaminants pour les escargots souligne l'importance de la mise en place de méthodes de remédiation pour dépolluer (excavation de sol ou phytoextraction) et/ou pour immobiliser les contaminants (phytostabilisation et/ou confinement).

La modalité terrasse présente une note de SET plus faible que les notes des bassins de décantation (bien qu'élevée). Ces transferts plus modérés peuvent être dus à plusieurs facteurs. Cette modalité, en surplomb des bassins est un lieu de transition des ruissellements (les dépôts se faisant principalement dans les bassins) ce qui peut engendrer une contamination plus faible des sols. De plus, cette modalité présente un fort couvert végétal. La présence d'une rhizosphère fortement développée a pu entraîner l'immobilisation des contaminants dans les sols limitant ainsi leur biodisponibilité pour les escargots.

La modalité Jardin présente la note de SET parmi les plus faibles (159) probablement en lien avec une contamination des sols plus faible sur cette modalité. Cependant, les transferts importants de Pb (QA=76,2) et de Cd (QA=41,3) soulignent la nécessité de l'arrêt de l'exploitation du jardin de Mr D à des fins alimentaires.

La modalité Stérile (sur les Avinières) pourtant identifiée comme celle présentant les contaminations des sols les plus hautes (cf. étude EauGéo et Tésora présentées le 15 mai 2013) en As et en Pb présente la note de SET la plus basse (57,4). Cette modalité n'apparaît donc pas comme prioritaire pour une remédiation des sols contrairement à ce que les concentrations dans les sols en contaminants pouvaient laisser envisager. Bien que fortement contaminée, la biodisponibilité des

contaminants est identifiée comme plus faible comparée aux autres modalités. La forte perméabilité des sols de cette modalité a probablement conduit au ruissellement ainsi qu'à la percolation de la majorité des contaminants mobiles présents dans les sols. Les contaminants restant étant probablement très fortement liés à la matrice sol.

Tableau 5 : Calcul et notes de l'indice SET (SETmodalité et SETsite). Les valeurs en rouges identifient un fort excès de transfert de contaminants métallique du sol aux escargots.

Modalité	T0	Revégétalisation 1	Revégétalisation 2	Légumineuse	Terrasse	Bassin	Jardin	Stérile	Témoin 1	Témoin 2	
QA	As	1.000	9.026	12.585	6.915	1.000	84.388	3.506	2.236	1.000	1.000
	Cd	1.000	27.805	57.036	160.134	89.849	201.877	54.263	41.273	1.000	1.000
	Co	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Cr	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Cu	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Hg	1.552	1.912	1.391	1.137	1.000	3.317	1.083	1.000	1.069	1.447
	Mo	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ni	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Pb	1.000	243.209	193.207	113.240	32.208	469.710	76.181	15.068	1.000	1.000
	Sb	1.000	18.499	19.059	9.049	2.718	75.511	13.950	1.662	1.000	1.000
	Sn	1.013	1.012	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Sr	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Tl	1.000	91.051	3595.351	291.350	66.180	376.289	9.076	1.071	1.000	1.000
	Zn	1.000	3.218	5.187	12.622	2.255	10.505	8.089	2.101	1.000	1.000
SET modalité	0.565	388	3877	587	188	1215	159	57.4	0.069	0.447	
SET site	0.565	924.480							0.258		

V. Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que le site contaminé de Saint Laurent le Minier est fortement impacté par les anciennes activités industrielles conduisant à une forte accumulation de contaminants métalliques dans les viscères des escargots exposés. Les modalités du site contaminé se scindent en deux groupes :

- un groupe composé des modalités revégétalisation, légumineuse et bassin (lieu de dépôts ayant entraîné l'accumulation des contaminants dans les sols) présentant de très forts transferts de contaminants avec des notes de SET très élevées

et un second groupe composé des modalités Terrasse, Jardin et Stérile sur lesquelles une biodisponibilité plus faible (bien qu'importante si on se réfère par exemple à la gamme de SET identifiée sur les sites du programme Bioindicateurs²) des contaminants métalliques est révélée. Ces résultats sont en accord avec ceux d'ELISOL Environnement qui regroupent les modalités de la même manière.

Les priorités de gestion devraient donc se porter sur les modalités des bassins de décantation puis sur la terrasse et le jardin de Mr D.

Avec le Pb et le Cd, le Tl (thallium), sous-produit de l'exploitation du zinc, bien que non majoritaire dans les sols du site contaminé (*cf.* étude EauGéo et Tésora présentées le 15 mai 2013) est un élément qui influence fortement les notes de SET pour la plupart des modalités. La forte biodisponibilité ainsi que la toxicité de cet élément (Imbert, 2007) ne doivent pas être négligées dans les futures décisions de remédiation et de réaménagement du site ainsi que dans le suivi des populations humaines.

L'analyse des concentrations en contaminants métalliques d'escargots autochtones a révélé des concentrations très largement supérieures aux normes de consommation. Une mise en garde de la population locale doit être faite afin de stopper la consommation d'escargots ramassés sur le site contaminé de Saint Laurent le Minier.

VI. Bibliographie

- De Vaufleury, A., Coeurdassier, M., Pandard, P., Scheifler, R., Lovy, C., Crini, N., Badot, P.M., 2006. How terrestrial snails can be used in risk assessment of soils. *Environ. Toxicol. Chem.* 25, 797–806.
- Fritsch C., Coeurdassier M., Gimbert F., Crini N., Scheifler R., de Vaufleury, 2011. Investigations of responses to metal pollution in land snail populations (*Cantareus aspersus* and *Cepaea nemoralis*) from a smelter-impacted area. *Ecotoxicology* 20, 739-759.
- Imbert H. (2007) Risques sanitaires encourus par une population vivant au voisinage d'une unité de fonderie de zinc et liés à la présence de thallium et d'antimoine. Mémoire de fin d'étude Ingénieur sanitaire, Ecole des hautes études en santé publique, 64p.
- ISO 15952, 2006. Soil quality - Effects of pollutants on juvenile land snails (*Helicidae*) -- Determination of the effects on growth by soil contamination. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Mason, C.F., 1970. Snail populations, beech litter production and the role of snail in litter decomposition. *Oecologia* 5, 215–239.
- Pauget, B., Gimbert, F., Coeurdassier, M., Crini, N., Pérès, G., Faure, O., Douay, F., Hitmi, A., Beguiristain, T., Alaphilippe, A., Guernion, M., Houot, S., Legras, M., Vian, J.-F., Hedde, M.,

Bispo, A., Grand, C., de Vaufleury, A., 2013. Ranking field site management priorities according to their metal transfer to snails. *Ecol. Indic.* 29, 445–454.

The commission of the European communities, 2006. Commission regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Off. J. Eur. Union* L 364/4 – 364/24.

VII. Annexe : Accumulation des métaux dans les viscères des escargots exposés pendant 28 jours sur les différentes modalités d'étude

Le trait vert représente la concentration en contaminants métallique dans les végétaux présents dans les microcosmes à l'issue des 28 jours d'exposition. La ligne violette représente la CIREf pour le contaminant considéré.

