

Évaluation des risques environnementaux des sites et sols pollués : bioindication active avec l'escargot *Cantareus aspersus*

Frédéric GIMBERT

L' Anthropocène

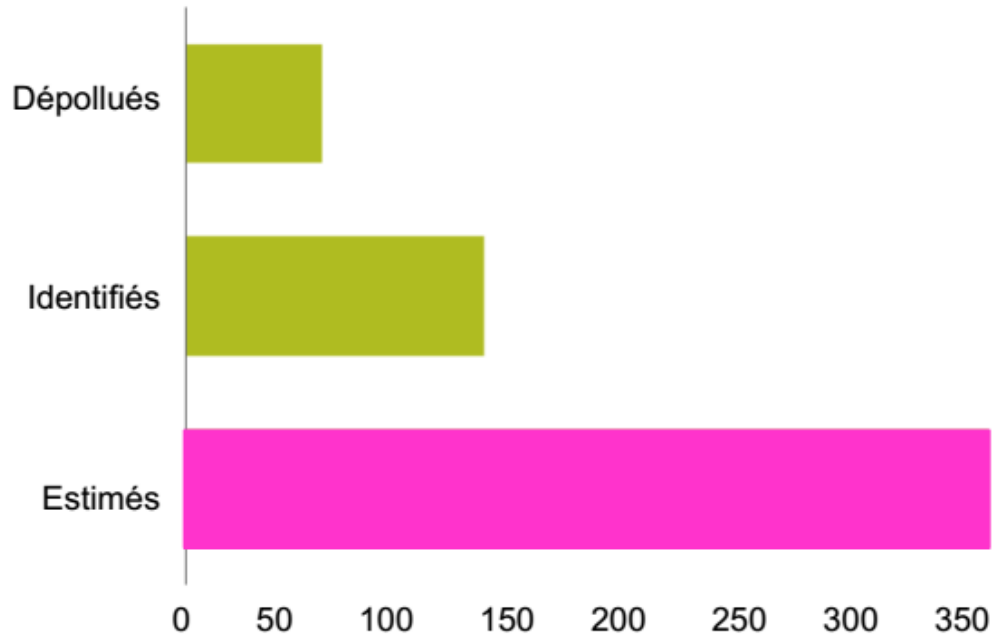
→ depuis l'avènement des sociétés humaines, les activités anthropiques sont à l'origine de l'émission de substances chimiques dans l'environnement



La contamination des sols

→ un constat alarmant...

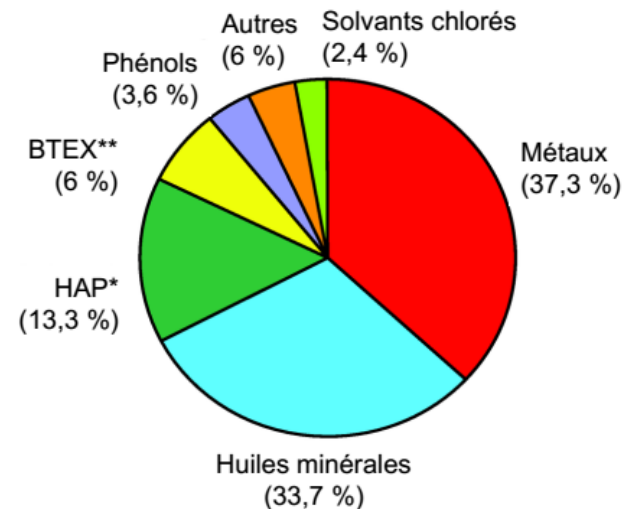
Sites contaminés identifiés dans l'UE



AEE (2019)

Sites x 1000

Contaminants retrouvés dans ces sites



*HAP = Hydrocarbures aromatiques polycycliques

**BTEX = Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes

AEE (2019)

→ et des enjeux d'actualité



**POLLUTIONS INDUSTRIELLES ET MINIÈRES DES SOLS :
ASSUMER SES RESPONSABILITÉS, RÉPARER LES ERREURS DU PASSÉ
ET PENSER DURABLEMENT L'AVENIR**

Commission d'enquête sur la pollution des sols

Rapport d'information n° 700 (2019-2020) de Mme Gisèle Jourda, sénatrice de l'Aude

« La pollution des sols d'origine industrielle et minière constitue toutefois un enjeu mal mesuré et insuffisamment pris en compte dans notre législation. »

Pas de directive cadre sur les sols

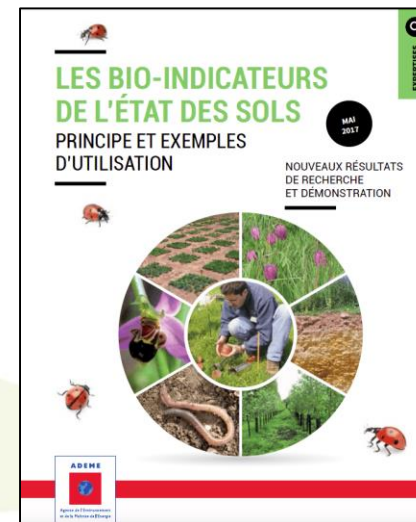
Prise de conscience d'impacts majeurs sur la santé des populations et de l'environnement

« Priorisation selon un barème de points en fonction des risques pour la santé et l'environnement... »

L'évaluation des risques

→ il existe donc une vraie nécessité de développer des procédures d'évaluation des risques environnementaux

- basées sur des mesures fiables et représentatives
- combinant des approches chimiques et biologiques
- sur des organismes modèles
(= **bioindicateurs**)



L'escargot comme modèle biologique

→ Petit gris

Cantareus aspersus

(syn. *Cornu aspersum*;
Helix aspersa)

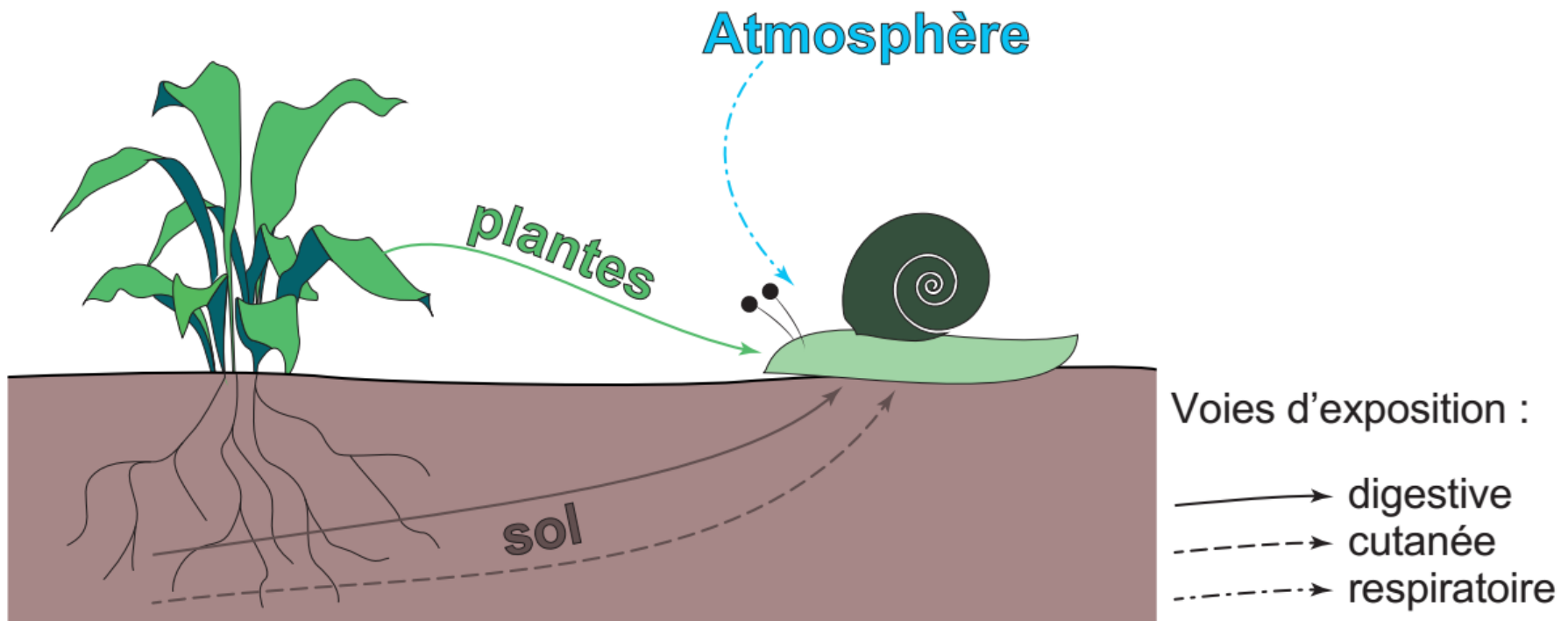


→ taille macro (adultes = 10-12 g)

→ longivive (~ 5 ans)

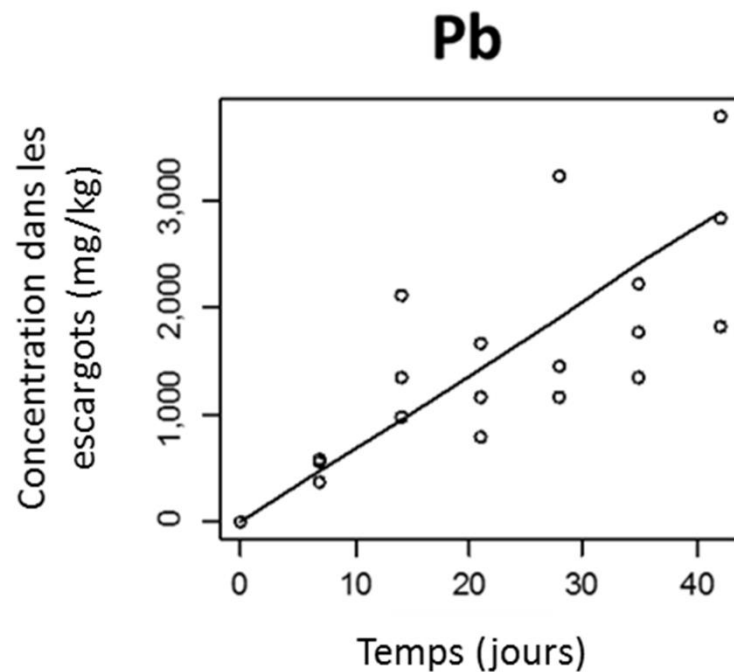
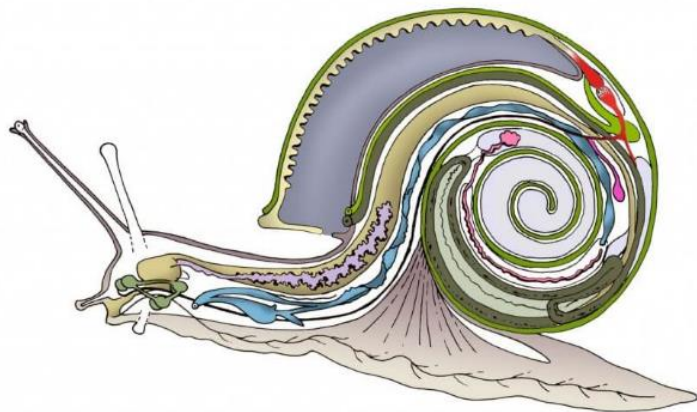
L'escargot comme modèle biologique

→ idéalement situé dans l'écosystème terrestre



L'escargot comme modèle biologique

→ bioaccumulateur de contaminants (macroconcentrateur)



Les utilisations de l'escargot

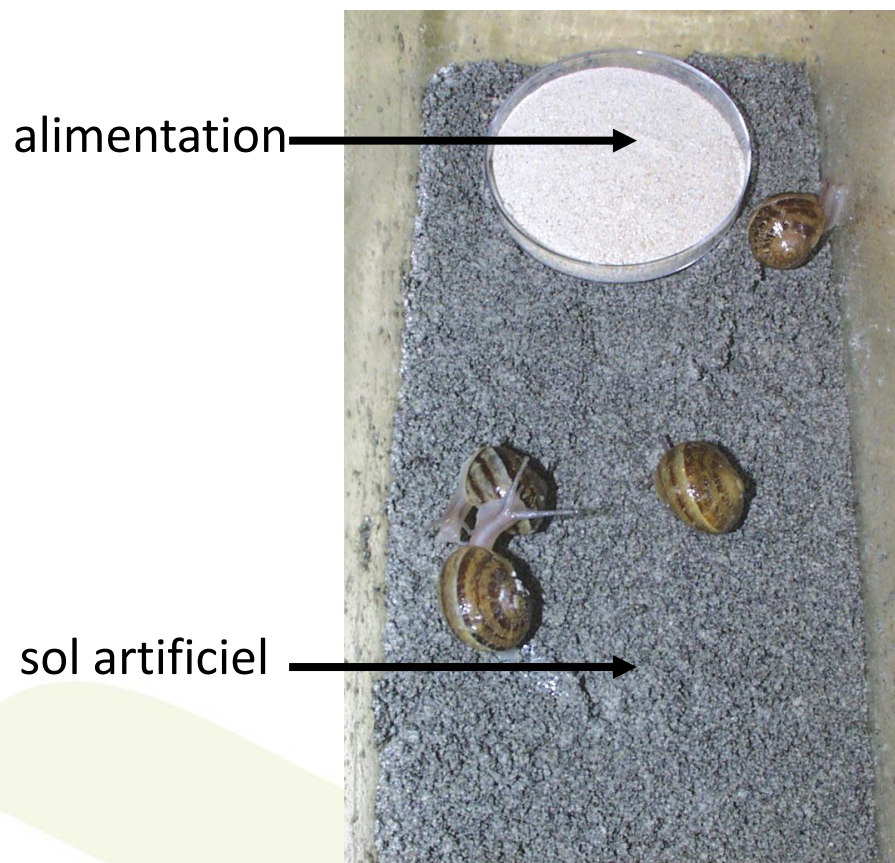
→ au labo, pour décrire et comprendre les interactions
entre les substances chimiques, le sol et la faune du sol

= conditions contrôlées



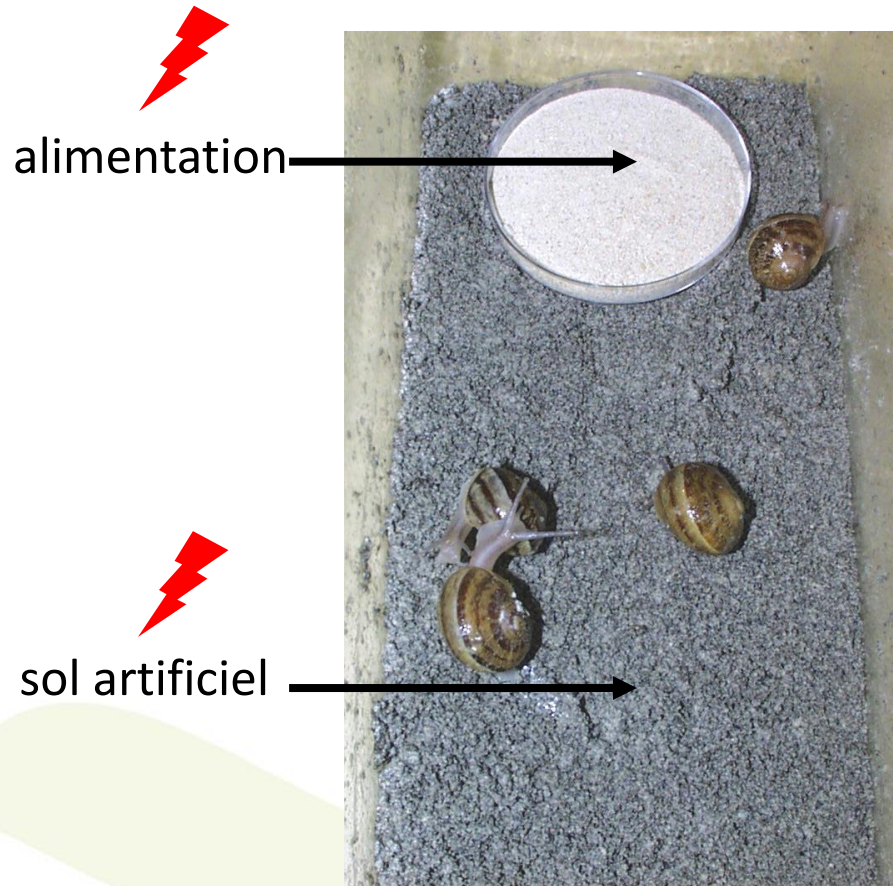
Les expérimentations de labo

→ approches "substance" ou "matrice" (= *ex situ*)



Les expérimentations de labo

→ approches "substance" ou "matrice" (= *ex situ*)



Les utilisations de l'escargot

→ en conditions réelles, pour évaluer *in situ* les risques environnementaux des sites et sols contaminés

= bioindication

Les utilisations de l'escargot

→ en conditions réelles, pour évaluer *in situ* les risques environnementaux des sites et sols contaminés

= bioindication



passive

= prélèvements d'organismes
autochtones, *i.e.*, issus des
populations présentes sur le site
d'étude



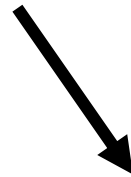
Les utilisations de l'escargot

→ en conditions réelles, pour évaluer *in situ* les risques environnementaux des sites et sols contaminés

= bioindication



passive



active



= prélèvements d'organismes autochtones, *i.e.*, issus des populations présentes sur le site d'étude



= encagement d'organismes issus du laboratoire, *i.e.*, calibrés (âge, taille) et de passé biologique connu

Bioindication active

→ différents types de cages (= microcosmes)



prairie

piquets inox

couvercle grillagé



Cylindre inox
(25 cm diam. x
25 cm haut)

fragment de
tuile



vignes



forêt



agrosystèmes

→ exposition de **28 jours**



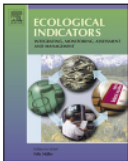
Ecological Indicators 34 (2013) 126–135



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind



Assessing the *in situ* bioavailability of trace elements to snails using accumulation kinetics

Benjamin Pauget^a, Frédéric Gimbert^a, Michael Coeurdassier^a, Nadia Crini^a, Guénola Pérès^b, Olivier Faure^c, Francis Douay^d, Antoine Richard^e, Cécile Grand^f, Annette de Vaufléury^{a,*}



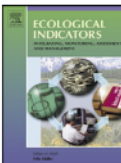
Ecological Indicators 29 (2013) 445–454



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind



Ranking field site management priorities according to their metal transfer to snails

Benjamin Pauget^a, Frédéric Gimbert^a, Michaël Coeurdassier^a, Nadia Crini^a, Guénola Pérès^b, Olivier Faure^c, Francis Douay^d, Adnane Hitmi^e, Thierry Beguiristain^f, Aude Alaphilippe^g, Murielle Guernion^b, Sabine Houot^h, Marc Legrasⁱ, Jean-François Vian^j, Mickaël Hedde^k, Antonio Bispo^l, Cécile Grand^l, Annette de Vaufléury^{a,*}



Metaleurop : 7 modalités	GISFI : 2 modalités	Sites industriels
SHSE : 3 modalités	Auzon : 6 modalités	
Yvetot : 6 modalités	Qualiagro : 5 modalités	Sites agricoles
Thil : 4 modalités	BioREco : 6 modalités	
PS 76 : 1 modalité	EPC 08 : 1 modalité	Sites forestiers
SP 57 : 1 modalité	EPC 63 : 1 modalité	

Définition de valeurs seuils

→ Concentrations Internes de Référence (CIRef)

Trace element	As	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Mo
Soil threshold	25 ^a	0.45 ^a	23^a	20 ^a	90 ^a	0.1^a	1.59^b
CIRef	0.307	2.27	6.68	184.7	2.01	0.2	4.43

Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Sr	Tl	Zn
1.59^b	60^a	62.3 ^b	2.01^c	4.31^c	224^c	1.7^a	100 ^a
4.43	5.25	12.9	0.08	0.06	126	0.26	1490

= valeurs guide d'évaluation
des transferts de métaux dans
les escargots

^a ASPITET program (Baize, 2000).

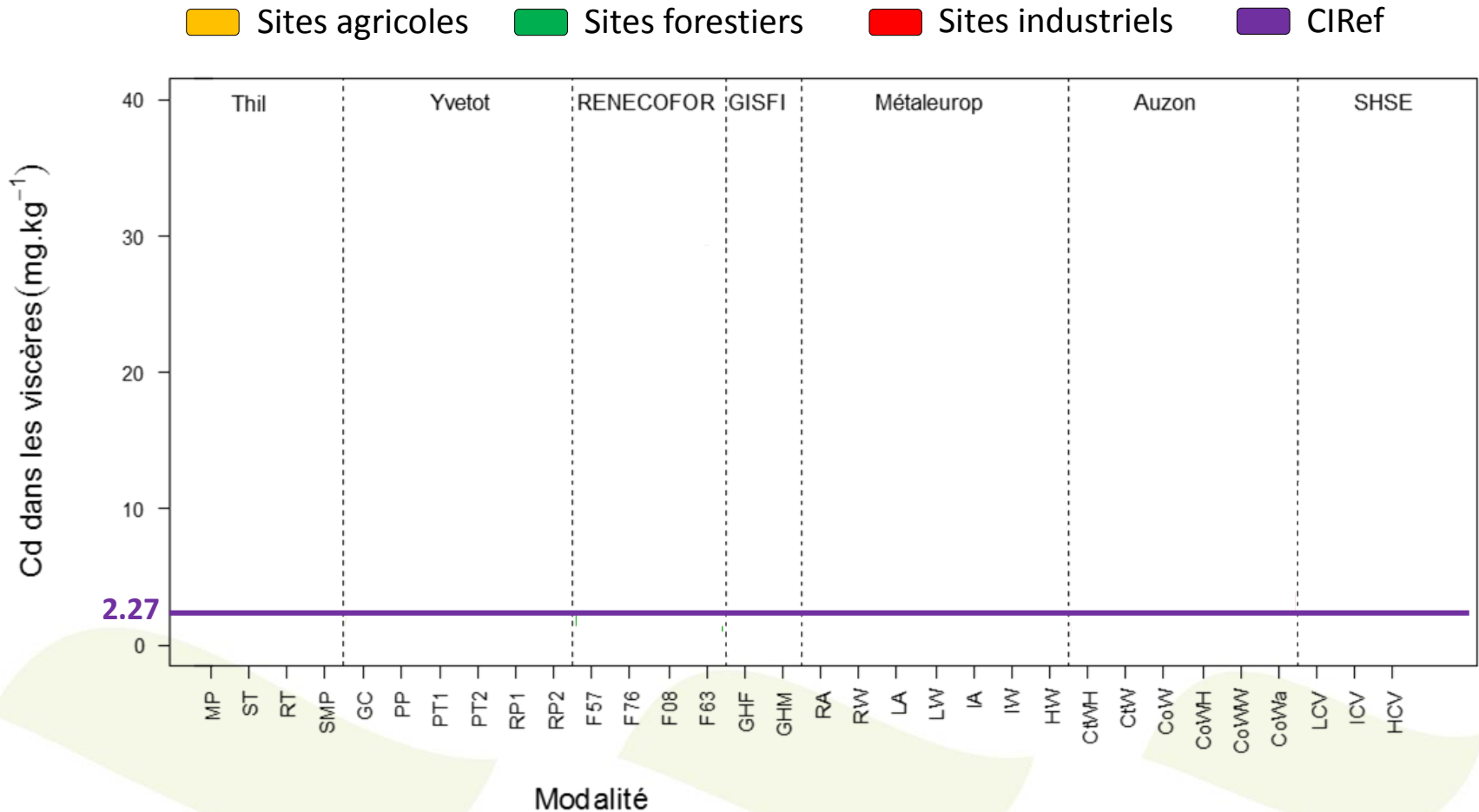
^b RMQS program (Villanneau et al., 2008).

^c Uncontaminated site of the Bioindicators 2 program.

Pauget and de Vaufleury, 2015

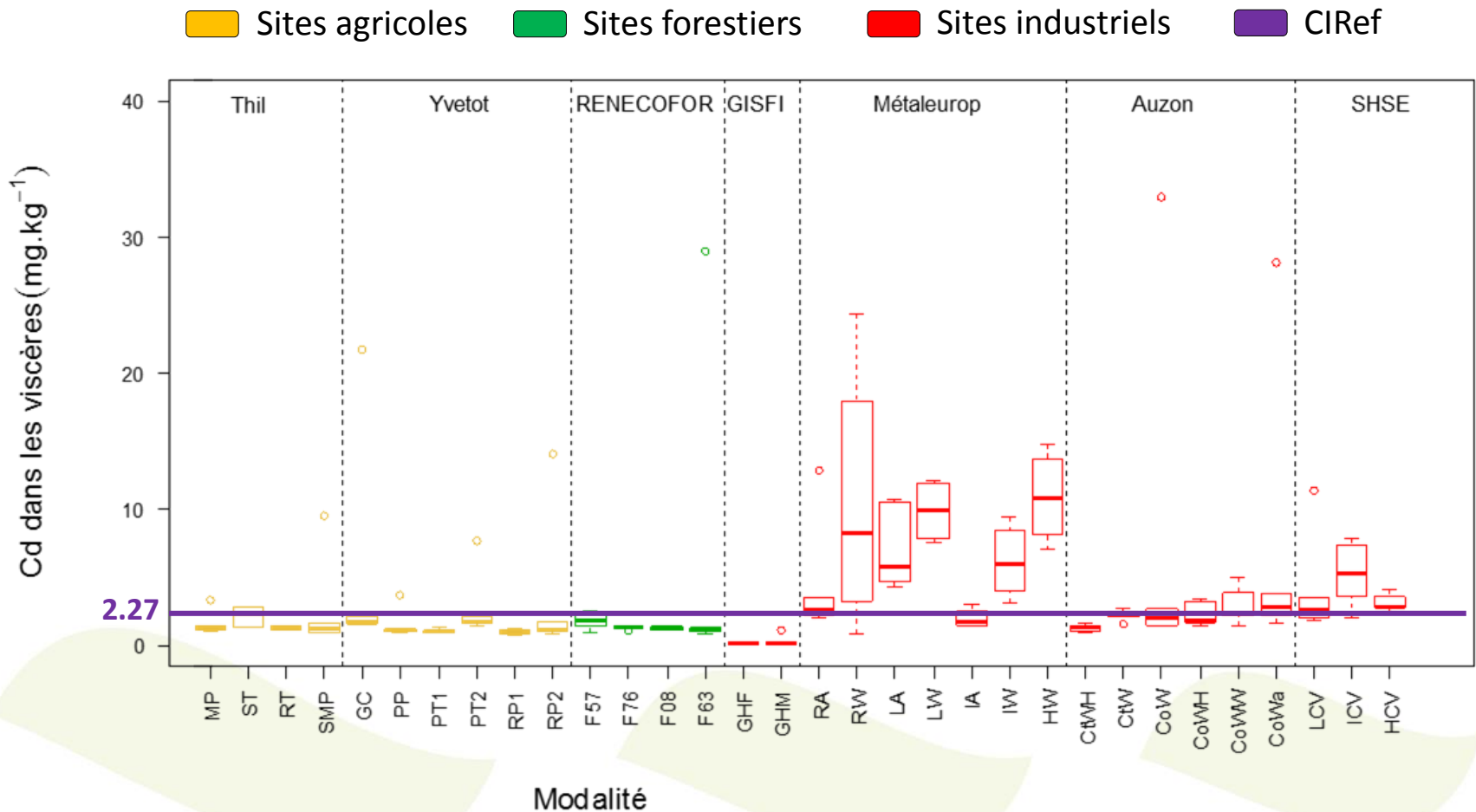
Identification des sites à risque

→ détermination des transferts anomaux



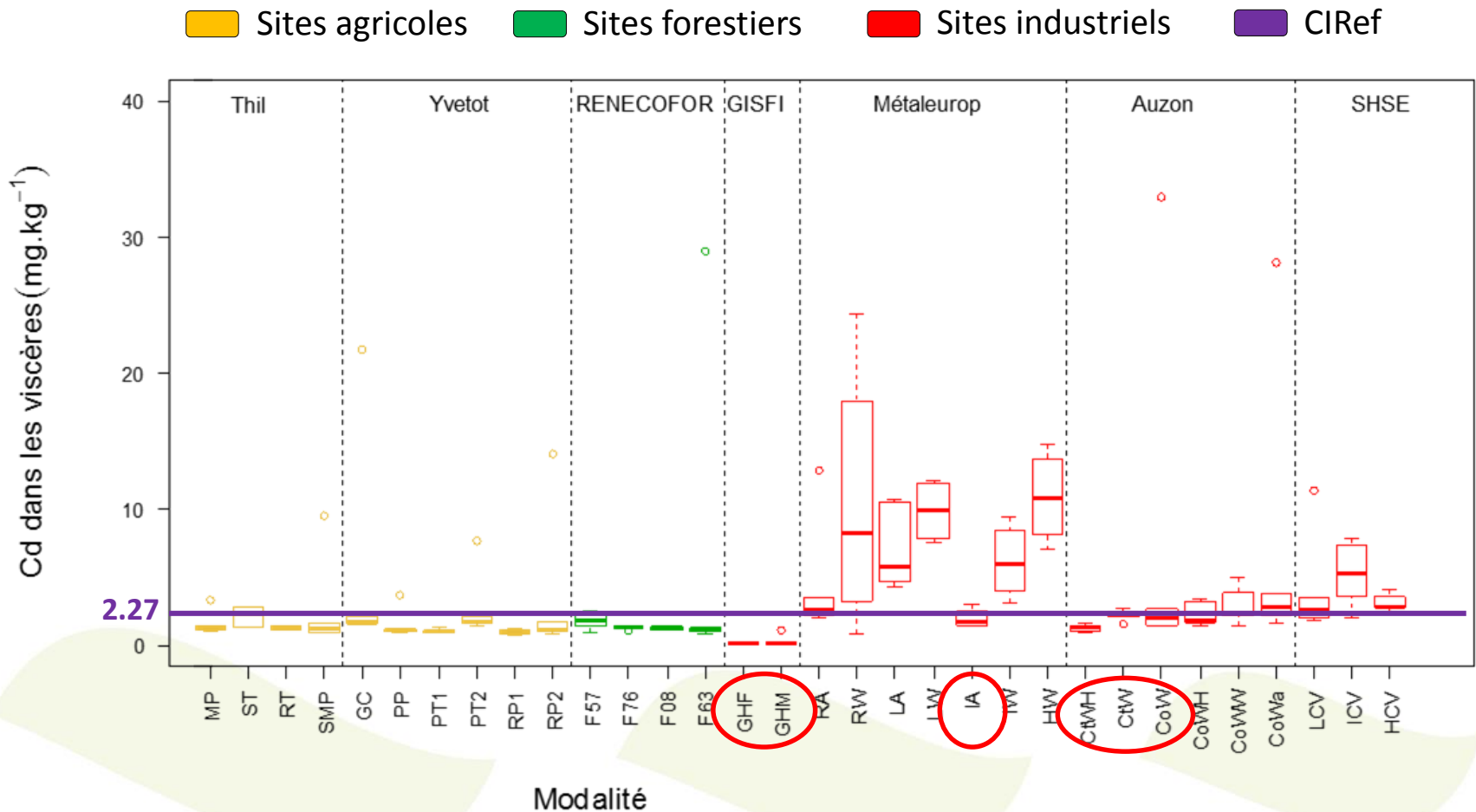
Identification des sites à risque

→ détermination des transferts anomaux



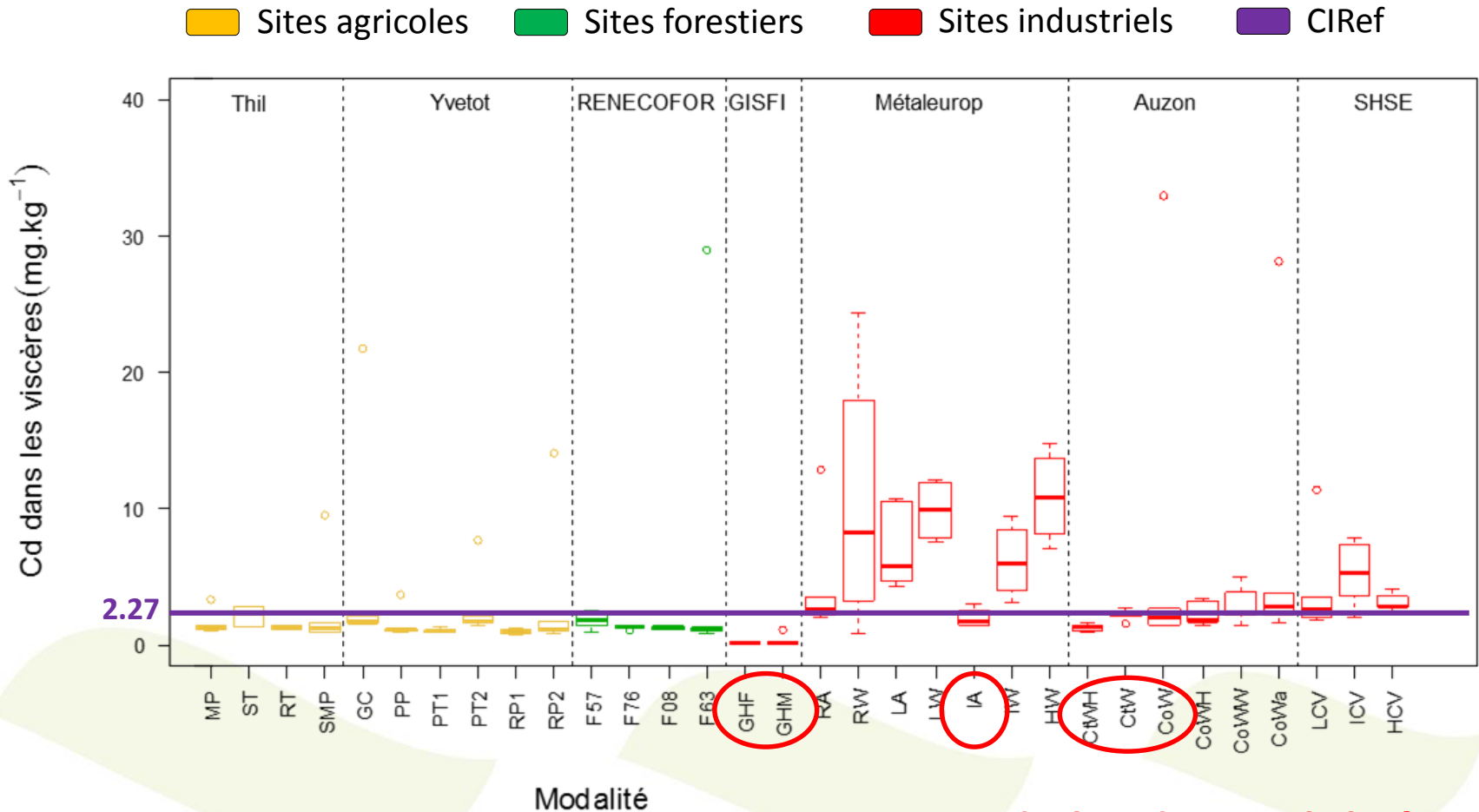
Identification des sites à risque

→ détermination des transferts anomaux



Identification des sites à risque

→ détermination des transferts anomaux



→ développement de deux indices de risques

Ecological Indicators 53 (2015) 206–210



Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind



Short Communication

The SET and ERITME indices: Integrative tools for the management of polluted sites

Benjamin Pauget*, Annette de Vaufléury

$$SET_{\text{plot}} = \sum AQ_{\text{metal}} - 1$$

Sum of the Excess of Transfers (SET)

$$RC_{\text{metal}} = (AQ_{\text{metal}} - 1) \times TP$$

$$ERITME_{\text{plot}} = \sum RC$$

Evaluation of the Risk of the Transferred Metal Elements (ERITME)

→ développement de deux indices de risques

Ecological Indicators 53 (2015) 206–210



Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind



$$AQ_{\text{metal}} = \frac{C_{28 \text{ days}}}{CI_{\text{Ref}}}$$

Short Communication

The SET and ERITME indices: Integrative tools for the management of polluted sites

Benjamin Pauget*, Annette de Vaufléury

$$SET_{\text{plot}} = \sum AQ_{\text{metal}} - 1$$

Sum of the Excess of Transfers (SET)

$$RC_{\text{metal}} = (AQ_{\text{metal}} - 1) \times TP$$

$$ERITME_{\text{plot}} = \sum RC$$

Evaluation of the Risk of the Transferred Metal Elements (ERITME)

→ développement de deux indices de risques

Ecological Indicators 53 (2015) 206–210

Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind



Short Communication

The SET and ERITME indices: Integrative tools for the management of polluted sites

Benjamin Pauget*, Annette de Vaufléury

$$AQ_{\text{metal}} = \frac{C_{28 \text{ days}}}{C_{\text{Ref}}}$$

$$RC_{\text{metal}} = (AQ_{\text{metal}} - 1) \times TP$$

$$ERITME_{\text{plot}} = \sum RC$$

Toxicity Points of the studied metals ([ATSDR, 2013b](#)).

Metal	As	Hg	Cd	Co	Pb	Sn	Zn	Cu
Toxicity Point (TP)	600	600	400	400	400	53	53	10

→ développement de deux indices de risques

Ecological Indicators 53 (2015) 206–210



Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind



Short Communication

The SET and ERITME indices: Integrative tools for the management of polluted sites

Benjamin Pauget*, Annette de Vaufléury

$$SET_{\text{plot}} = \sum AQ_{\text{metal}} - 1$$

$$SET_{\text{site}} = \frac{\sum SET_{\text{plot}}}{n_{\text{plot}}}$$

$$RC_{\text{metal}} = (AQ_{\text{metal}} - 1) \times TP$$

$$ERITME_{\text{plot}} = \sum RC$$

$$ERITME_{\text{site}} = \frac{\sum RC (= ERITME_{\text{plot}})}{n_{\text{plot}}}$$

Eléments traces métalliques

→ Les indices de risques

Site	ERITME	
	SET ₋₁₄ (14 MTE)	
Metaleurop	4.904	1724
Auzon	6.354	1947
SHSE	7.702	1175
RENECOFOR	0.759	308
Qualiagro	0.244	19.4
GISFI	0.032	4.48
BioREco	0.003	0.03
Thil	0.319	3.19
Yvetot	0.632	33.5

Éléments traces métalliques

→ Les indices de risques

Site	ERITME	
	SET ₋₁₄ (14 MTE)	
Metaleurop	4.904	1724
Auzon	6.354	1947
SHSE	7.702	1175
RENECOFOR	0.759	308
Qualiagro	0.244	19.4
GISFI	0.032	4.48
BioREco	0.003	0.03
Thil	0.319	3.19
Yvetot	0.632	33.5

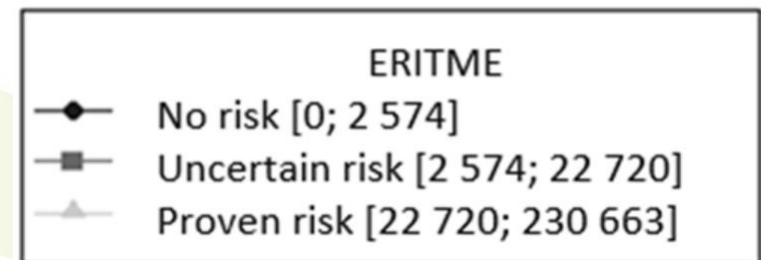
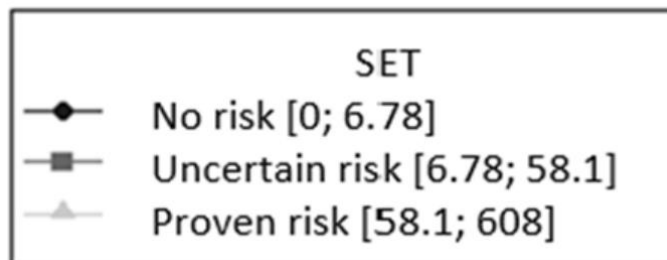
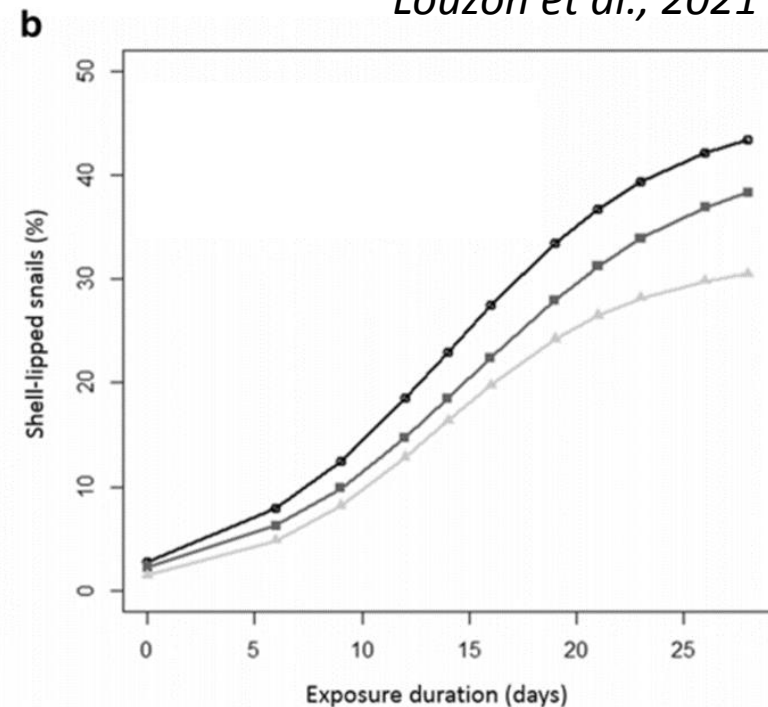
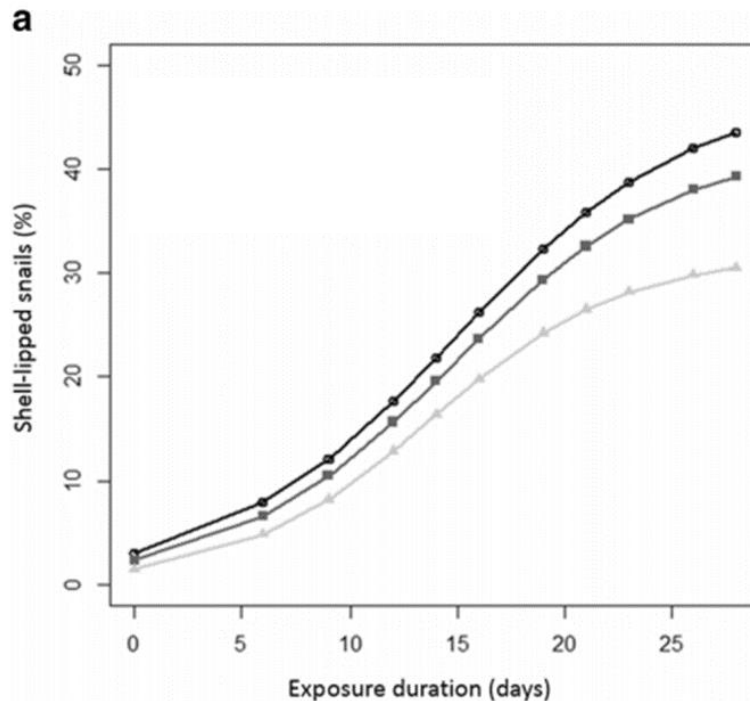
Éléments traces métalliques

→ Les indices de risques

Site	ERITME	
	SET ₋₁₄ (14 MTE)	
Metaleurop	4.904	1724
Auzon	6.354	1947
SHSE	7.702	1175
RENECOFOR	0.759	308
Qualiagro	0.244	19.4
GISFI	0.032	4.48
BioREco	0.003	0.03
Thil	0.319	3.19
Yvetot	0.632	33.5

→ Les classes de risques

Louzon et al., 2021

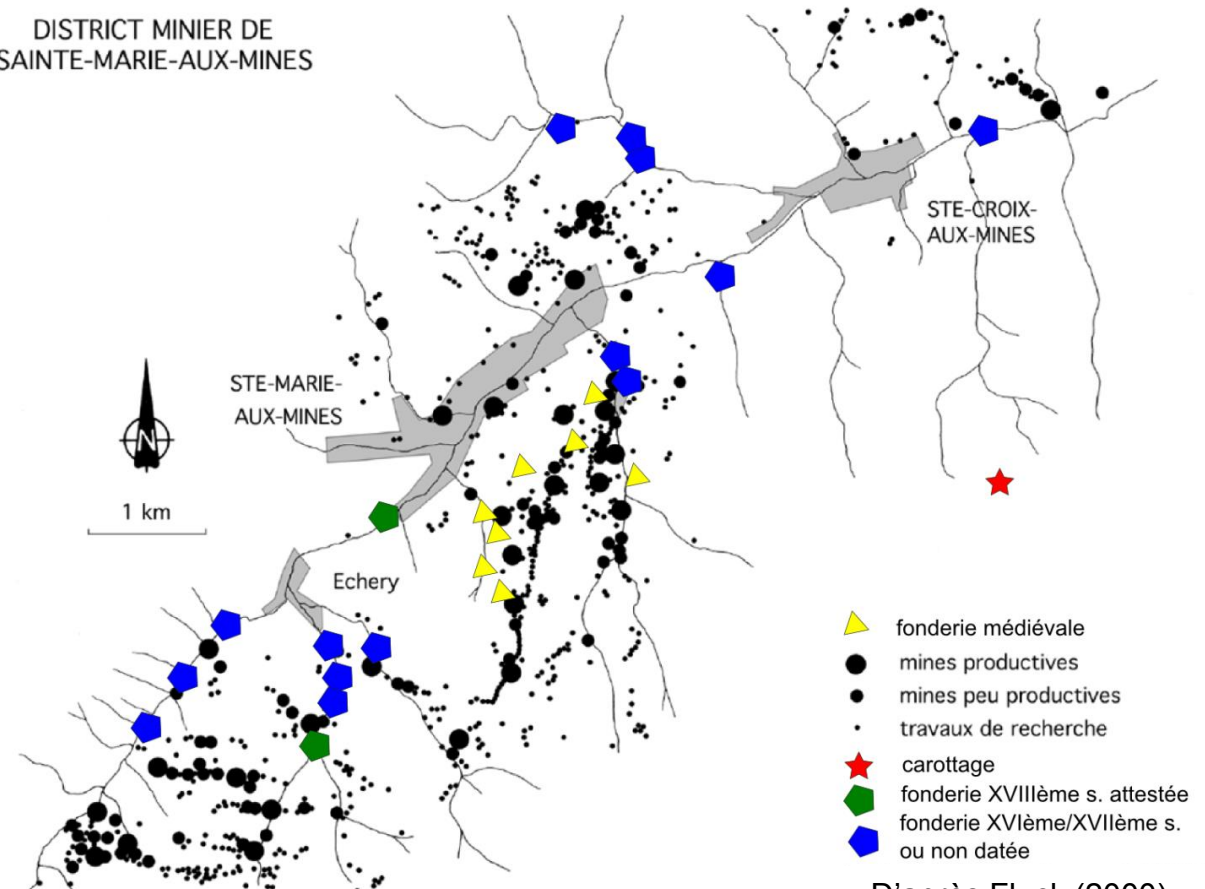


Paléo-pollutions métallurgiques

→ Vosges, Moyen-Âge

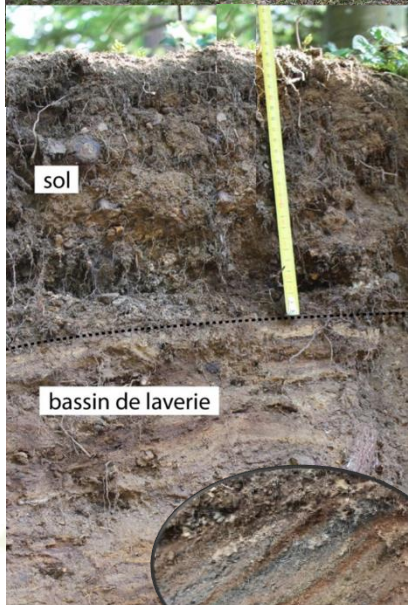


DISTRICT MINIER DE
SAINTE-MARIE-AUX-MINES



D'après Fluck (2000)

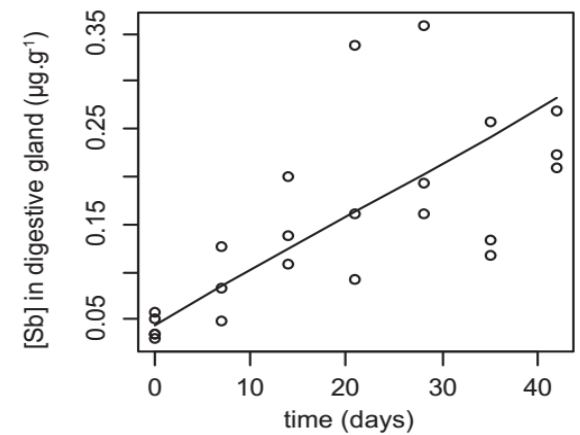
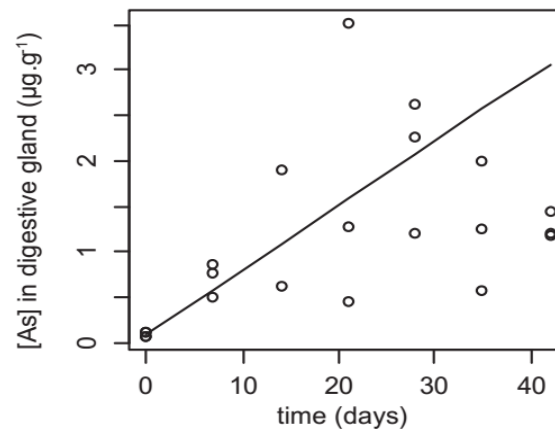
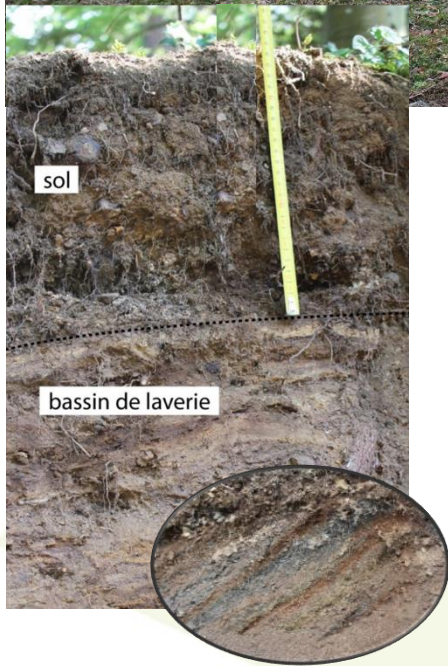
Paléo-pollutions métallurgiques



Paléo-pollutions métallurgiques



halde

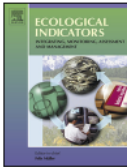




Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Ecological Indicators

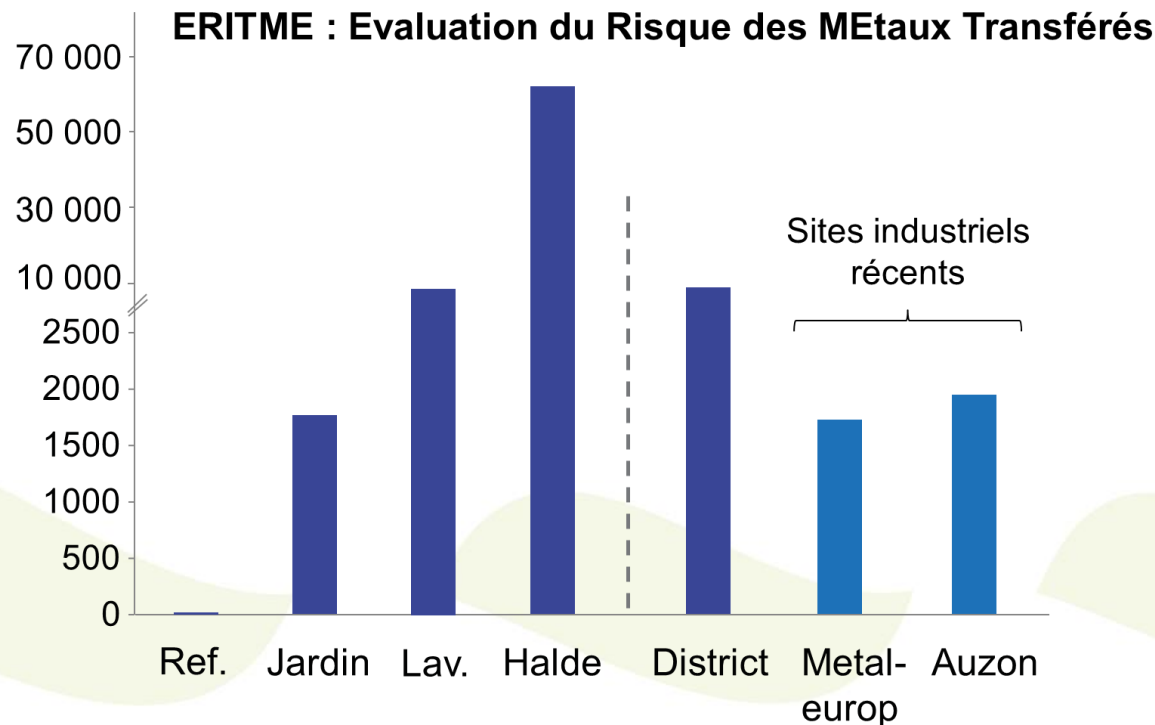
journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind



Original Articles

Using bioindicators to assess the environmental risk of past mining activities in the Vosges Mountains (France)

Anne-Lise Mariet, Benjamin Pauget, Annette de Vaufleury, Carole Bégeot, Anne-Véronique Walter-Simonnet, Frédéric Gimbert*



Paléo-pollutions métallurgiques

→ Bourgogne Franche-Comté, Antiquité-Moyen-Âge

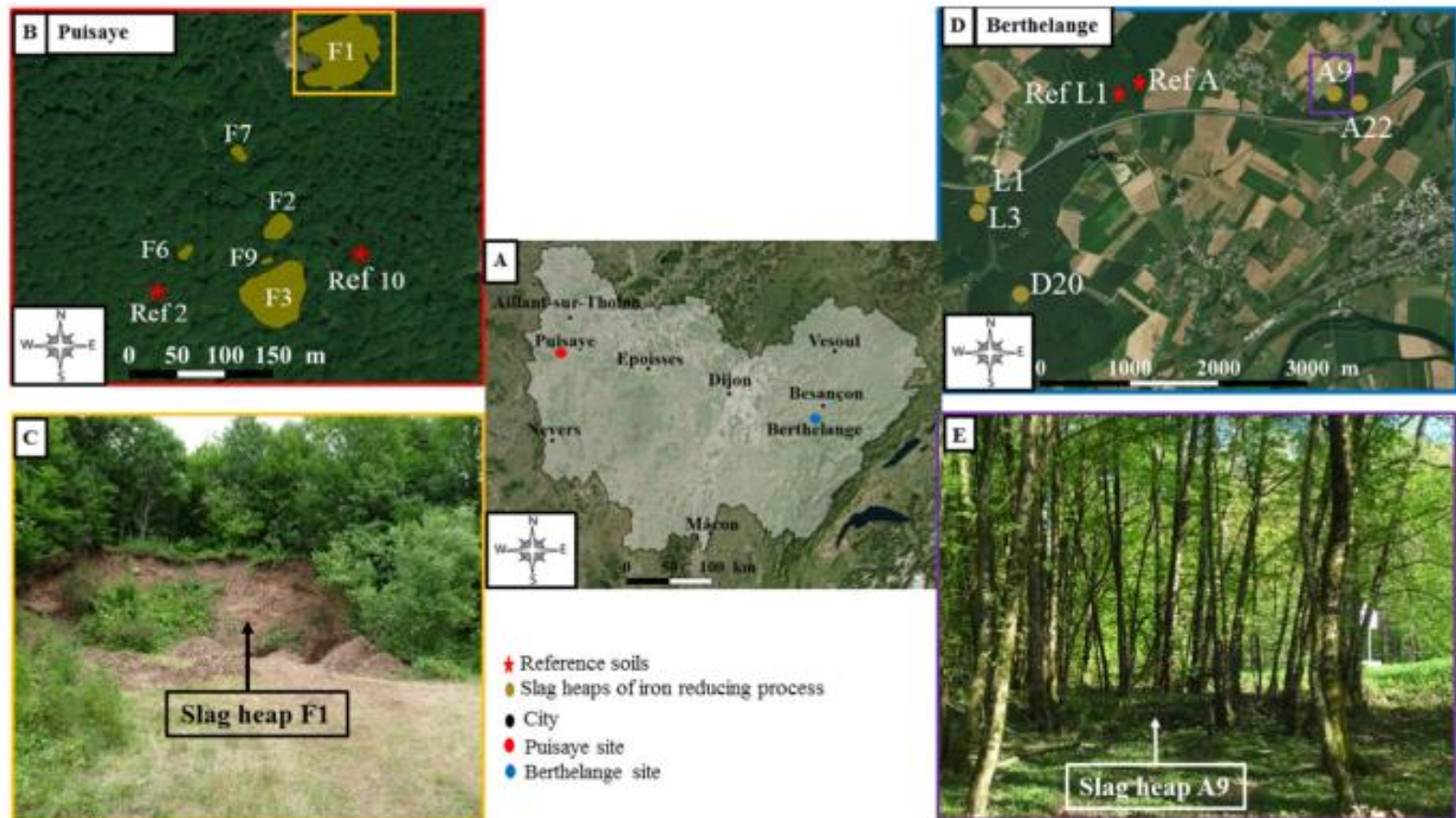


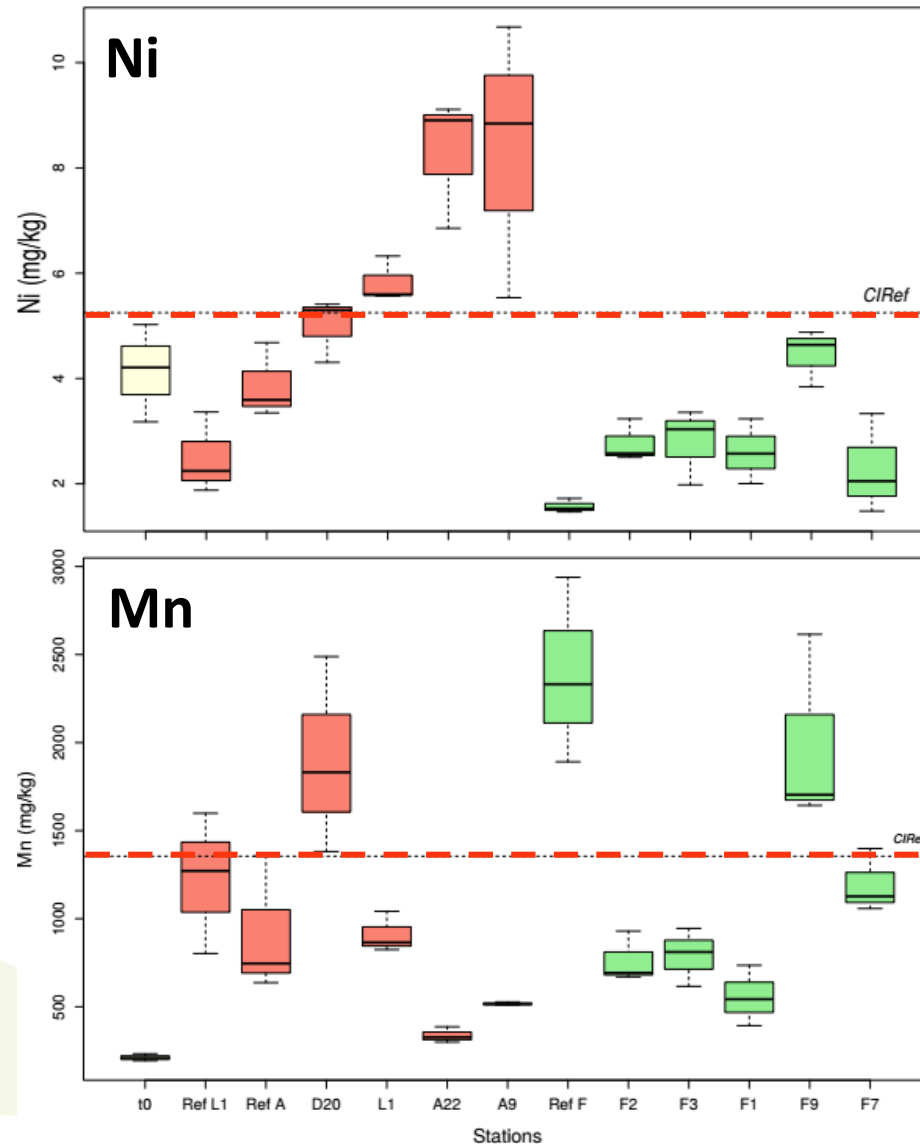
Fig. 1. Map of the study area (A: Bourgogne Franche Comté region) Location of samples from B: Puisaye and from D: Berthelange. Slag heap picture (C: Slag heap F1 from Puisaye and E: Slag heap A9 from Berthelange).

Paléo-pollutions métallurgiques

Berthelange

Puisaye

Radola et al., 2018



**CIRef
(5,25)**

**CIRef
(1355)**

Paléo-pollutions métallurgiques

Science of the Total Environment 776 (2021) 145929



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv

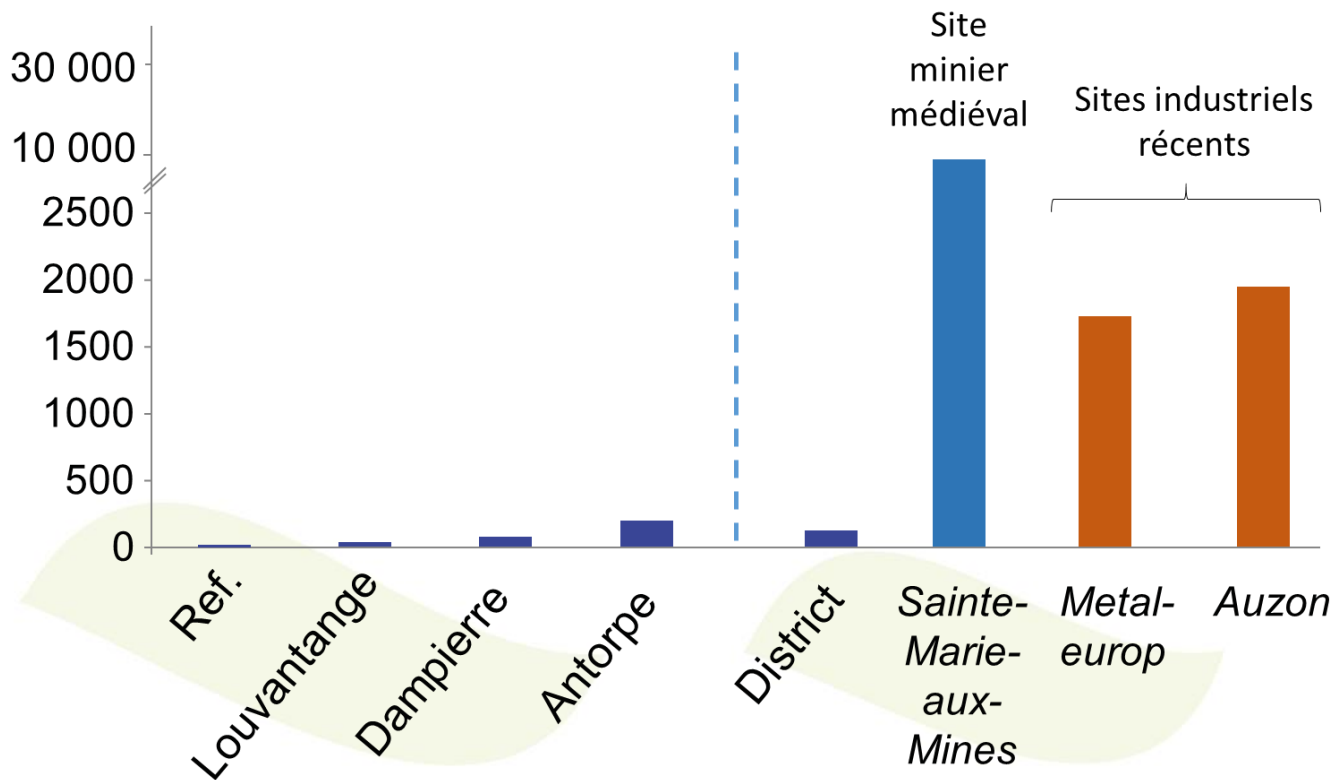


Impact of ancient iron smelting wastes on current soils: Legacy contamination, environmental availability and fractionation of metals

Adnane Amnai, Diane Radola, Flavien Choulet, Martine Buatier, Frédéric Gimbert *



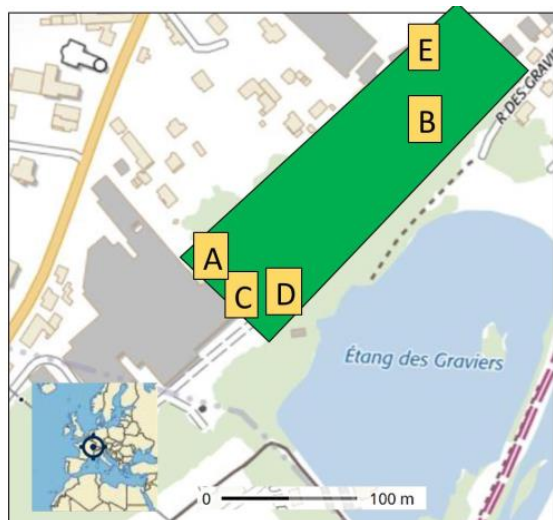
ERITME



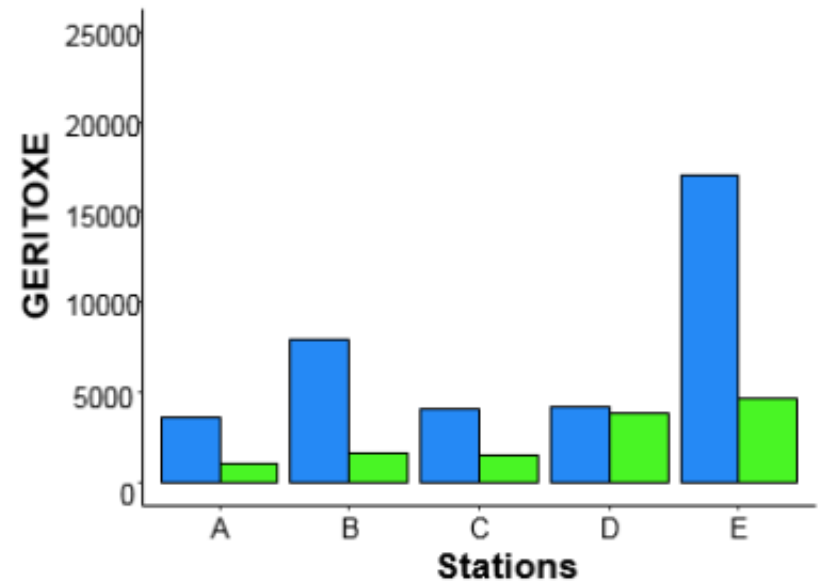
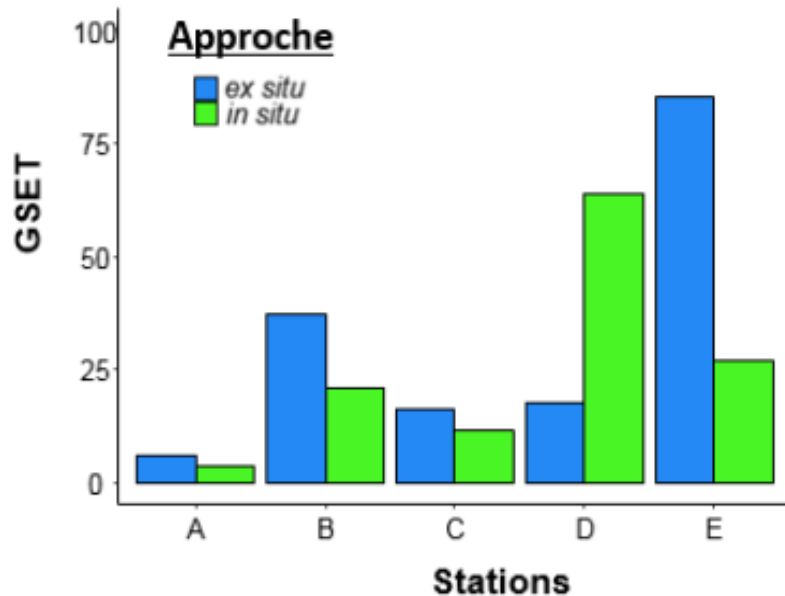
Environmental Management

In situ and ex situ bioassays with *Cantareus aspersus* for environmental risk assessment of metal(loid) and PAH-contaminated soils

Maxime Louzon,¹ Benjamin Pauget,² Frédéric Gimbert,¹ Nadia Morin-Crini,¹ Janine W. Y. Wong,³ Beñat Zaldibar,^{4,5} Tiago Natal-da-Luz,⁶ Natália Neuwirthova,⁷ Christina Thiemann,³ Bernard Sarrazin,⁸ Mireia Irazola,^{4,9} Caroline Amiot,¹ Dominique Rieffel,¹ José P. Sousa,⁶ Michel Chalot,^{1,10} and Annette de Vaufleury¹



Stations	Contaminations
A	Contrôle (+As, Zn)
B	++ Mo, Pb, Sn, Zn
C	++ HAP, As, Cr, Cu, Mo, Ni, Zn
D	++ HAP, As, Cr, Cu, Mo, Ni, Zn
E	+++ Mo, Pb, Sb, Sn, Zn



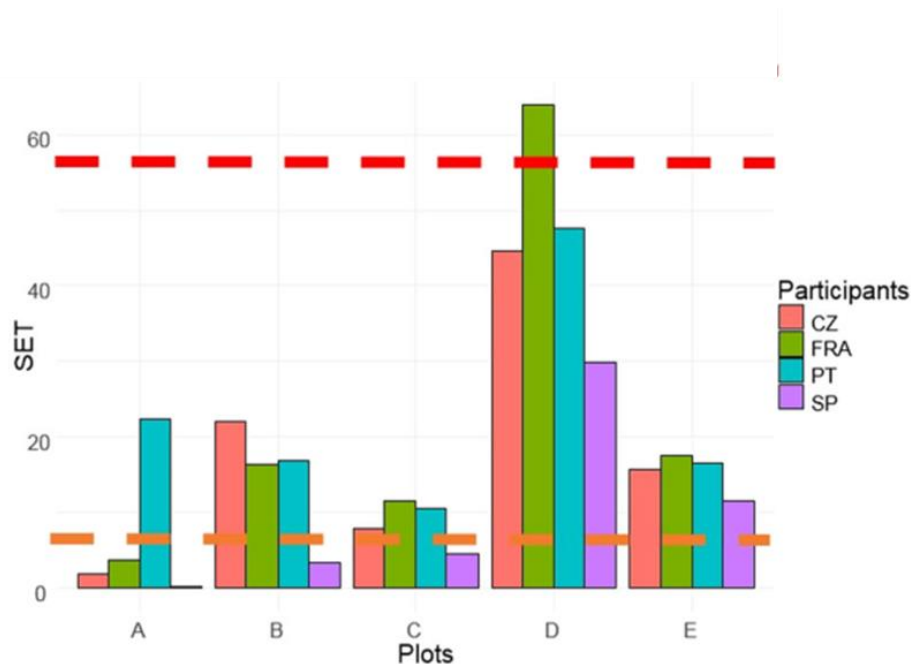
→ approches non-interchangeables et à utiliser pour répondre à des questions spécifiques

- *in situ* : état des milieux et risques sur sites
- *ex situ* : risque d'une terre pour orienter son devenir (excavation,...)

Quelles finalités ?

→ Développer et proposer de nouveaux outils d'évaluation des risques environnementaux

- conditions naturelles (bioindication active)



- indices de risques intégrateurs, complémentaires (transfert et toxicité), simples d'utilisation et reproductibles

→ Normalisation des méthodologies

ICS › 13 › 13.080 › 13.080.30

ISO/FDIS 24032

Soil quality — In situ caging of snails to assess bioaccumulation of contaminants



$$SET_{\text{plot}} = \sum AQ_{\text{metal}} - 1$$

$$SET_{\text{site}} = \frac{\sum SET_{\text{plot}}}{n_{\text{plot}}}$$

$$ERITME_{\text{plot}} = \sum RC$$

$$ERITME_{\text{site}} = \frac{\sum RC (= ERITME_{\text{plot}})}{n_{\text{plot}}}$$

→ Partenariats avec tissu socio-économique

- **industriels** : REACH,...



- **bureaux d'études** : diagnostic pollution, gestion sites contaminés, dépollution...



- **acteurs de la gestion environnementale** : ADEME, CEN, métropoles...

→ Rapprocher évaluation des **risques environnementaux** et **risques sanitaires**

Journal of Hazardous Materials 384 (2020) 121432



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Journal of Hazardous Materials

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jhazmat



Bioaccessibility of metal(loid)s in soils to humans and their bioavailability to snails: A way to associate human health and ecotoxicological risk assessment?



M. Louzon^a, A. Pelfrène^b, B. Pauget^c, F. Gimbert^a, N. Morin-Crini^a, F. Douay^b, A. de Vaufléury^{a,*}

Journal of Hazardous Materials 409 (2021) 124182



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Journal of Hazardous Materials

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jhazmat



Research paper

Combining human and snail indicators for an integrative risk assessment of metal(loid)-contaminated soils

M. Louzon^a, B. Pauget^b, A. Pelfrène^c, F. Gimbert^a, A. de Vaufléury^{a,*}



→ Améliorer les **procédures** d'évaluation des risques environnementaux :

- garantir la **qualité des écosystèmes**



- préserver les **services écosystémiques**

- orienter vers des **modes de gestion/remédiation adaptés**



Conclusions

- Associer recherche fondamentale et appliquée, terrain et labo, dans des **approches interdisciplinaires**.
- Vers une considération intégrée des risques



Remerciements

→ financeurs



→ les collègues chercheurs, personnels techniques,
doctorants, étudiants stagiaires

Remerciements

→ financeurs



→ les collègues chercheurs, personnels techniques, doctorants, étudiants stagiaires

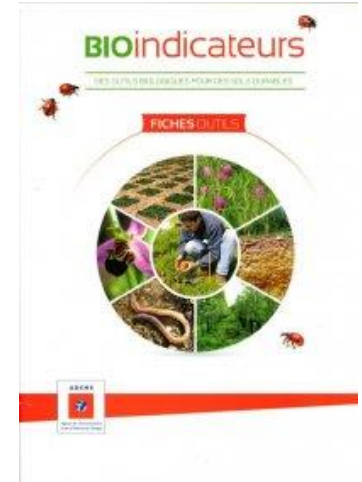


Merci pour votre attention

frederic.gimbert@univ-fcomte.fr

Critères :

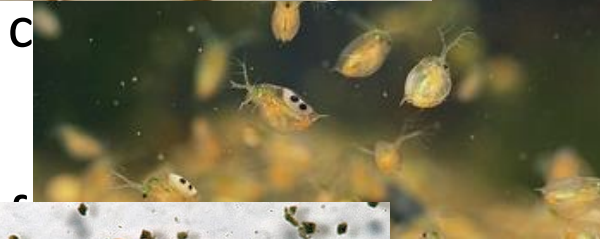
- participer activement au fonctionnement de l'écosystème (recyclage matière organique, chaîne alimentaire...)
- être sédentaire, largement distribué et facile à identifier et à échantillonner,
- être accumulateur mais tolérant aux fortes contaminations,
- avoir une écologie et une physiologie connues.



Les bioindicateurs



ent au fonctionnement
ge matière



ent di
illonner,

s tolérant au

ne physiolog



connues

L'escargot comme modèle biologique

- facilité d'élevage
- utilisable à tous ses stades de développement

