



**INERIS**

maîtriser le risque  
pour un développement durable

**Pierre HENNEBERT**

Marseille, 22/05/2018: restitution ECCOREV

Mécanismes et solutions réalistes de stabilisation de déchets industriels et de sols contaminés en milieu méditerranéen par l'utilisation de résidus de bauxite (boues rouges)



**Patricia MERDY**

**Yves LUCAS**



**Aix\*Marseille université**



**Raquel BERTHOLDO**



**Isabelle LAFFONT-SCHWOB**



**Pascale PRUDENT**

**Laurent VASSALO**

---

# INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS

---

# FLUX DE DÉCHETS EN FRANCE ET INDUSTRIE DE L'ALUMINE

Ordures ménagères  
et assimilées

70 Mt

Mâchefers  
d'incinération  
d'ordures  
ménagères

3.3 Mt

Boues de station  
d'épuration  
urbaine

1.1 Mt

Résidu de bauxite

0.3 Mt

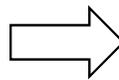
## L'industrie de l'alumine et de l'aluminium produit :

- 1.5 tonnes de résidu de bauxite/tonne d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- Accumulation annuelle mondiale : 80 Millions tonnes
- Stock accumulé : 3 Milliards tonnes

## RECYCLAGE – REUTILISATION A DES FINS UTILES

Résidu de bauxite

+ gypse = sulfate de calcium  
Et  $\text{CO}_2$  atmosphérique



RBM: résidu de  
bauxite modifié

Matériau structuré, à structure  
stable, perméable, pH=8,5

# OPPORTUNITE OFFERTE PAR LES SCORIES ET SOLS POLLUES DE L'ESCALETTE?

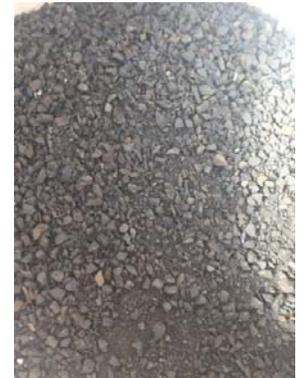
Activité passée de transformation de la galène à l'Escalette à partir de minerai d'Espagne et d'Italie



Sol contaminé de l'Escalette  
riche en Pb, As, Zn, Sb



Crassier : dépôt de  
scories à l'Escalette  
Fortes concentrations  
en Pb, Zn, Cu, Sb...



Scories broyées

Sols et scories contaminés : modèles locaux d'étude de substrats pollués  
Mais pas d'application de RBM possible in situ (charte PNCaI)

# BUT DE L'ETUDE: UTILISATION DU RBM



## Possibilité de traitement de sols contaminés et scories?

### Partie Scientifique

### Partie SHS

- ① **A quelle dose** le RBM est-il efficace pour immobiliser les éléments métalliques et métalloïdes présents dans les sols contaminés et les scories?
- ② Les mélanges **RBM+sol** et **RBM+scories** offrent-ils des milieux **acceptables pour les plantes**?
- ③ Obtenons-nous des systèmes fiables à **long terme**?
- ④ Possibilité de **réhabiliter** à grande échelle des sites contaminés par de la re-végétalisation après traitement?

### Risques?

- ① Risques perçus par la population quant au projet de réutilisation du RBM?
- ② Quid des professionnels de l'environnement?
- ③ Variables susceptibles d'amplifier ou de modérer les perceptions des risques?
- ④ Quelle confiance est accordée aux institutions?

---

# RESTITUTION DE LA PARTIE SHS

## - RAQUEL BERTOLDO -

---



## QUESTIONNAIRE : LA MÉTHODE

- **Questionnaire diffusé auprès**

- des professionnels de la dépollution des sites (N = 17)
- de la population marseillaise en général (N = 191)

- **Diffusion en version en ligne** (professionnels) et papier entre nov. et déc. 2016

### Variables modératrices

- ◆ Attachement au lieu
- ◆ Identité environnementale
- ◆ Confiance aux scientifiques, institutions privées et médias

### Conscience de l'enjeu

- ◆ Que savez-vous sur le sujet des boues rouges? Sur celui de valorisation des « boues rouges » dans la région ?

### Craintes spécifiques

- ◆ Bénéfices vs Risques pour ce projet de valorisation des boues rouges?
- ◆ Craintes au niveau de la santé?

## QUESTIONNAIRE : RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

- **L'identité écologique** est une bonne variable explicative des perceptions de risque – plus que **l'attachement au lieu**
- Ceux qui se considèrent comme étant plus investis sur l'environnement
  - Sont **plus informés** sur la question des boues rouges que ceux qui le sont moins
  - Considèrent plus que **l'enjeu des boues rouges concerne la ville de Marseille**
  - Perçoivent **les autres marseillais acceptant mieux le projet**
- Perception des risques associant les boues rouges à sa propre santé et celle de la ville
  - Risques plus grands perçus par les personnes plus âgées et les femmes

---

# RESTITUTION DE LA PARTIE SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

---

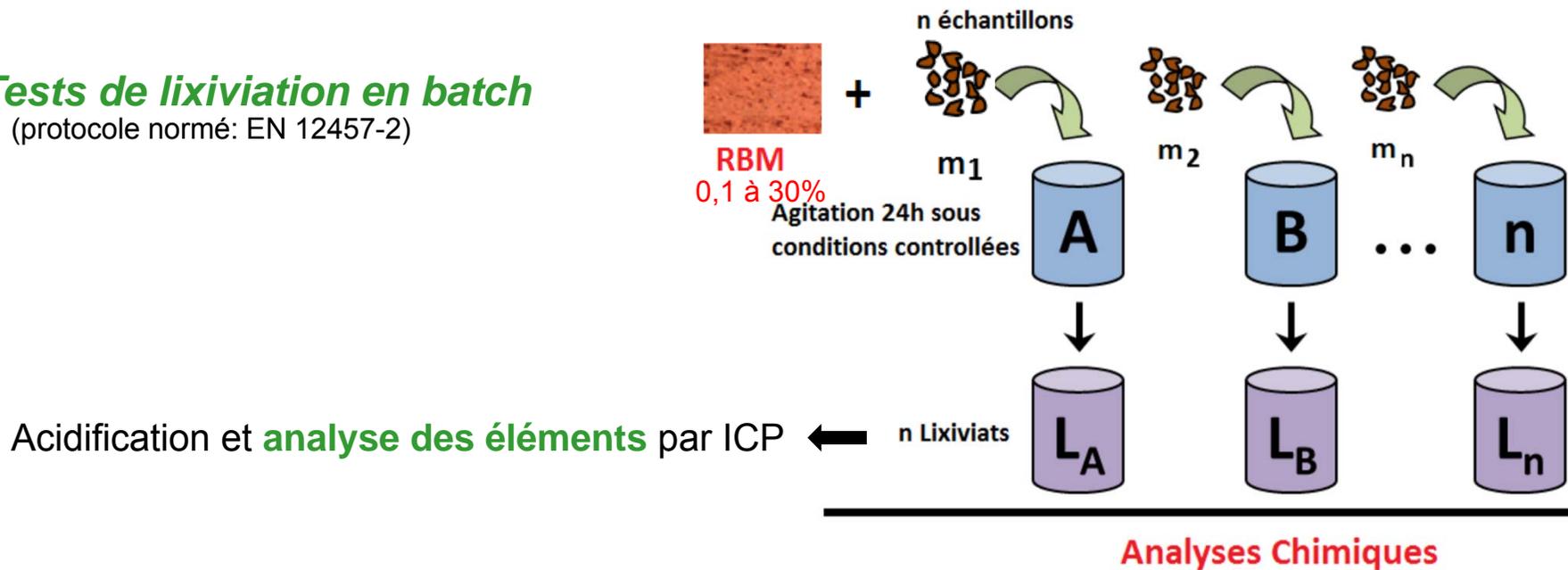
# ① IMMOBILISATION DES ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES DANS LES MÉLANGES RBM-SOL ET RBM-SCORIES

**INERIS**  
*maîtriser le risque |  
pour un développement durable |*  
**Pierre HENNEBERT**

# MATÉRIELS ET MÉTHODES: TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS ET LIXIVIATION

## ① Tests de lixiviation en batch

(protocole normé: EN 12457-2)



## ② Essais en Pot:

*Dactylis glomerata* cultivé en plein air dans des pots de 400 g:

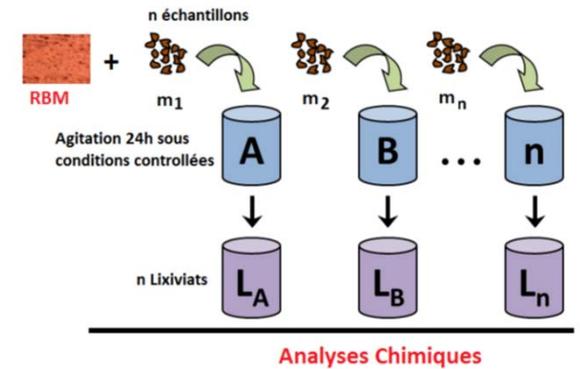
sol ou résidus miniers, modifiés avec 0, 10 ou 30% de RBM, avec engrais NPK à dose agronomique, irrigation quotidienne et lixiviation libre, pendant 4 mois.



échantillon+ RBM  
0,1 à 30%  
+ engrais NPK  
+ compost

# RÉSULTATS

L'addition de résidu de bauxite modifié (RBM) réduit la concentration lixiviable de tous les éléments, jusqu'à la concentration du sol témoin, ou jusqu'à la limite de quantification.



Dans les pots, mort ou faible croissance pour les pots sans RBM, croissance modérée pour 30% de RBM. Les concentrations foliaires sont réduites avec l'ajout de RBM.

**Attention: les teneurs foliaires augmentent ou restent stables pour Cr, Fe, Al.**

Teneur feuilles (ppm)	Pb	Cr	Fe
Témoin	3	0,8	100
Escalette	>100	8	600

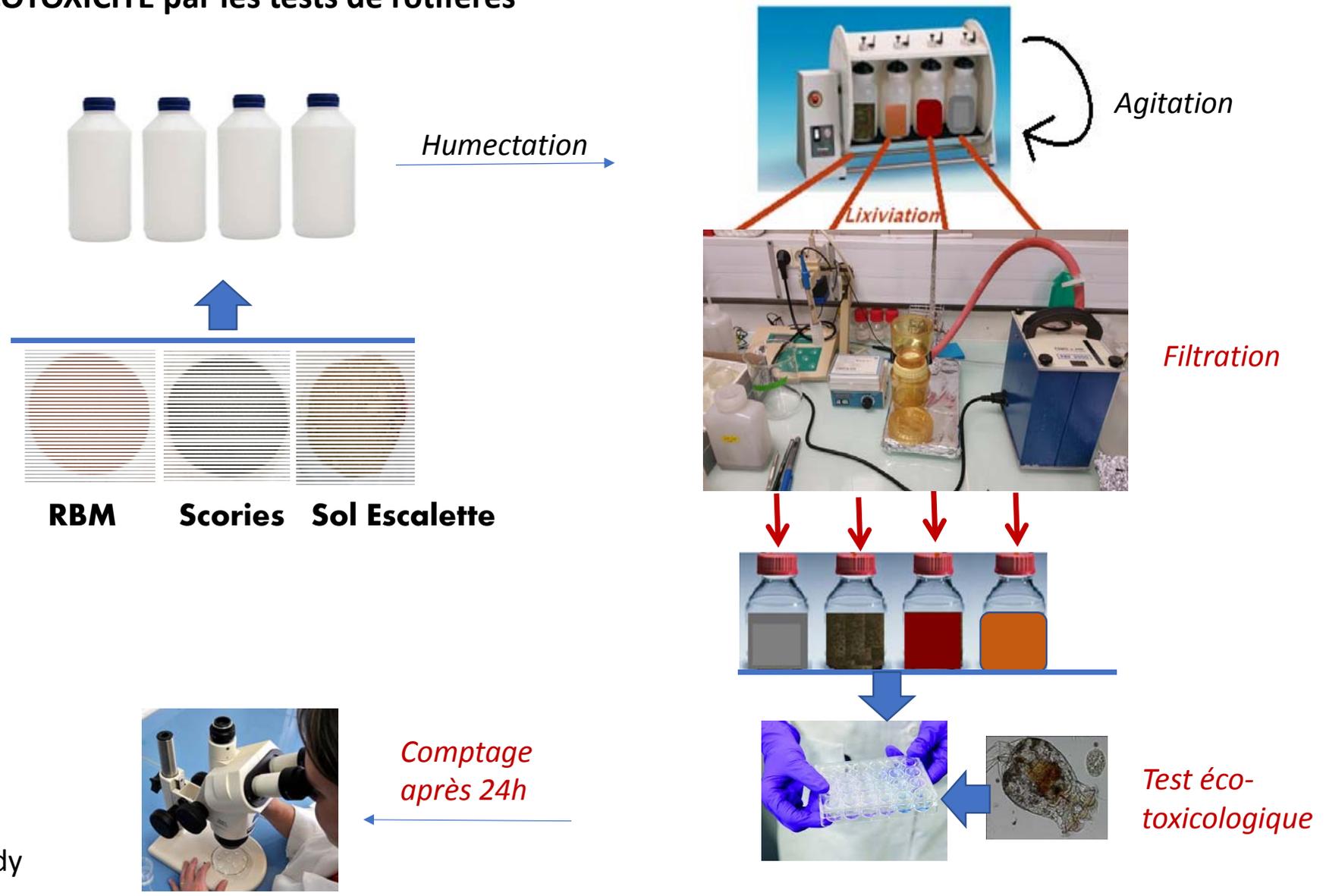
## ② ECOTOXICITÉ PAR TEST DE ROTIFÈRES



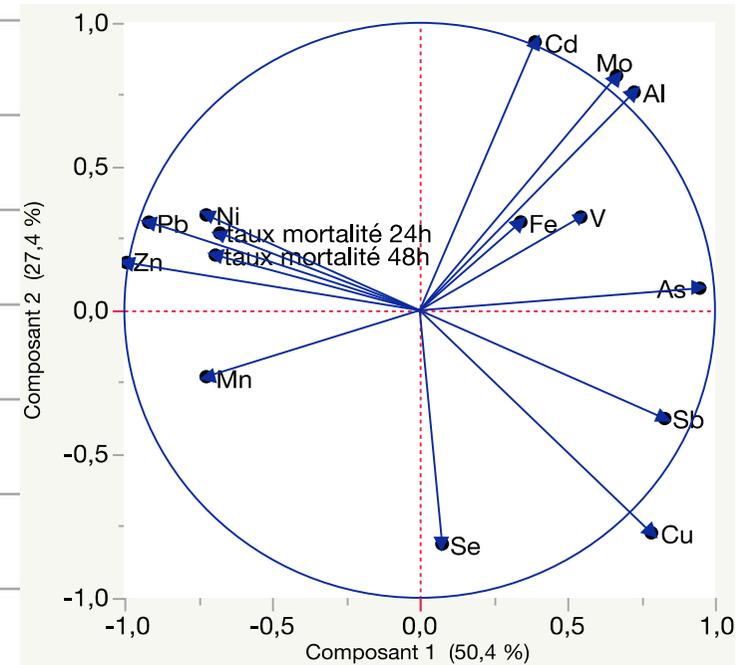
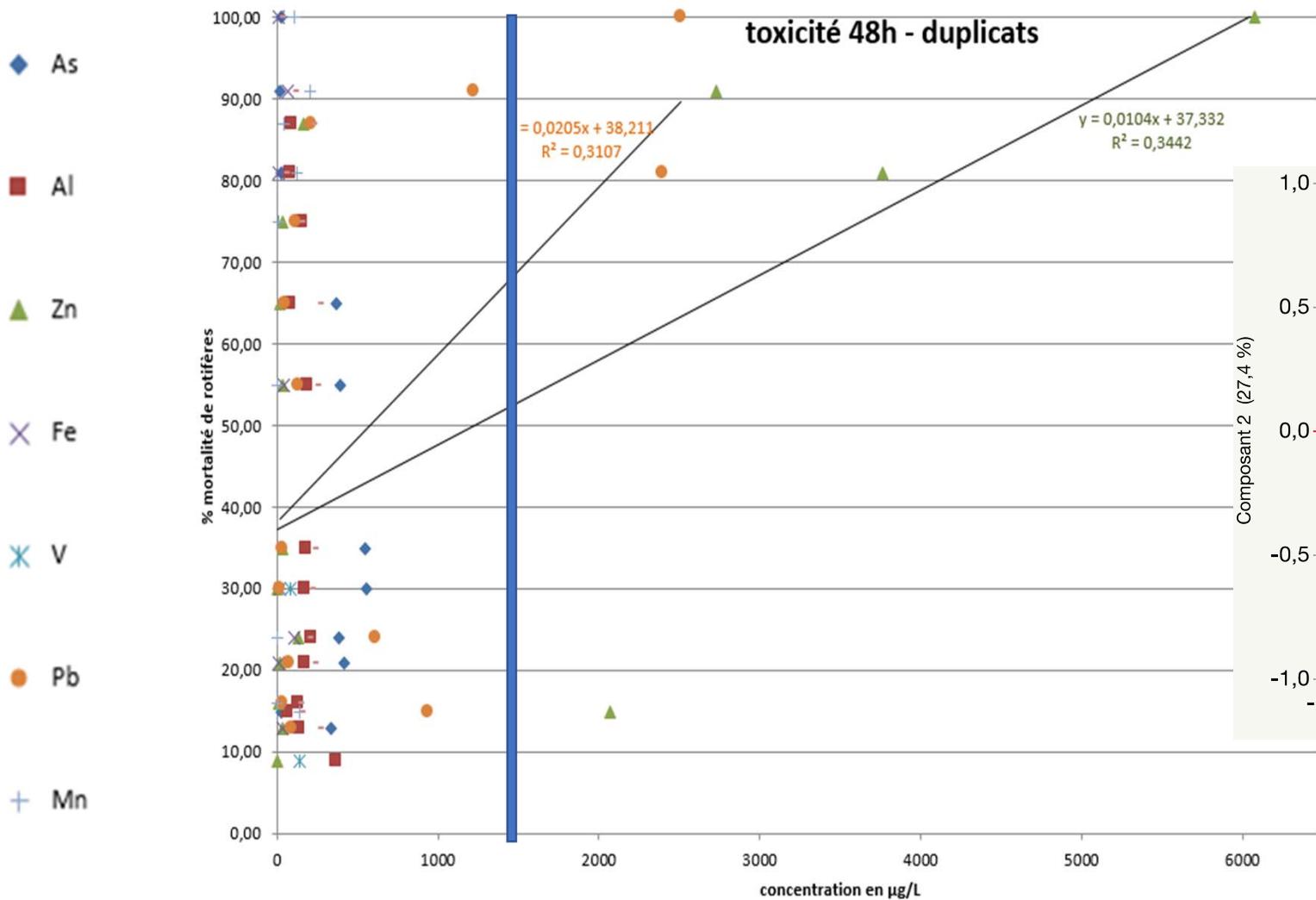
**Patricia MERDY**

**Protocole opératoire**

**2-A-Partie ECOTOXICITE par les tests de rotifères**



Merci à Théo Rochez et Teddy Tuaiva (L3)



- ✓ Les scories seuls sont plus écotoxiques que les sols
- ✓ En présence de RBM les taux de mortalité chutent

Zn, Pb et Ni semblent être statistiquement corrélés aux taux de mortalité contrairement au Sb.

### ③ CAPACITÉS DE CROISSANCE DES PLANTES



**Pascale PRUDENT**

**Laurent VASSALO**



**Isabelle LAFFONT-SCHWOB**

## Essais en pots sous serre

Espèce végétale sélectionnée : *Dactylis glomerata* (cultivar vs semences sauvages)



- Référence : sol Ardevie
- 100% RBM
- Scories Escalette broyées + 30%RBM
- Scories Escalette broyées + 10%RBM

} + 1% compost

### Suivi biométrique :

- Pourcentage de germination
- Hauteur
- Biomasse (masse fraîche et sèche)



### Partie aérienne :

- Concentration en métaux
- Suivi biométrique

### Substrat :

- pH, COT, NTK
- MM pseudo totaux
- MM échangeable
- MM Mobilisable



Merci à Claire  
Mattalia, stagiaire  
L2, AMU

## Suivi de la germination



### Germination sur chaque type de substrat en % après 8 jours

99% terre	30% RBM + scorie	99% RBM	99% scorie
13,7±0,8a	10,9±0,8b	4±2c	0

N=5,  $p \leq 0,05$ , test non paramétrique Wilcoxon

## Suivi de la croissance



**Hauteur des dactyles sur chaque type de substrat en cm après 23 jours**

99% terre	30% RBM 70% scorie	99% RBM
10,1±0,7a	6,8±0,3b	1,8±0,6c

N=5,  $p \leq 0,05$ , test non paramétrique Wilcoxon

## Fin expérimentation après 26 jours



### Masse de matière fraîche des dactyles sur chaque type de substrat en cm après 23 jours

99% terre	30% RBM 70% scorie	99% RBM
6,1±0,6a	1,8±0,3b	0

# CONCLUSIONS

**Lixiviats**: Immobilisation des éléments métalliques et métalloïdes (teneurs dans les **lixiviats** faibles mais attention à **As** dans le sol de l'Escalette).

**Tests rotifères**: Zn, Pb et Ni semblent être statistiquement corrélés aux taux de mortalité

## **Plantes**:

⇒ Tolérance de Dactyles et limitation des transferts vers les feuilles, mais rôle direct du RBM?

**Teneurs foliaires**: attention au **Pb, Cr, Fe**.

⇒ Effet dilution du RBM vs Scories seules

⇒ Impact positif du RBM sur la fraction mobilisable des métaux, sauf pour Al

# POINTS FORTS / POINTS FAIBLES

Contexte industriel et économie circulaire

MAIS

Mise en application difficile

Complémentarité SHS / Chimie / Biologie

Complexité des interprétations

Problèmes de As et Pb: solution?

## EVOLUTION PRÉVUE

Valorisation des résultats par des publications

# PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. abstract accepté au congrès de l'association française de psychologie environnementale, Rennes, septembre
2. article empirique prévu pour Health&Place, PsyEcology ou The Extractive Industries and Society.
- 3- Hennebert et al: Lyon, juin 2017, Immobilisation of elements by iron and alkalinity in nine contaminated soils and mine residues without vegetation, growth of *Dactylis glomerata* and reduction of contaminant concentration in leaf. *AquaConSoil 2017*
- 4- Hennebert et al: Lyon, juin 2017, Assessing phytoavailability of elements and immobilisation by soil improver with simple leaching tests in phytotoxic soils and mine residues. *Intersol 2017*.

## **5- Articles futurs de la partie scientifique:**

A- Croissance des plantes

B- Ecotoxicité



MERCI DE VOTRE  
ATTENTION

