



**HAL**  
open science

## La contamination chimique des sols : conséquences écotoxicologiques et sanitaires

Christian Mougin

► **To cite this version:**

Christian Mougin. La contamination chimique des sols : conséquences écotoxicologiques et sanitaires. “ Toxicologie Environnementale et Agroalimentaire dans l’Espace Francophone ”, Association pour la Recherche en Toxicologie (ARET). FRA., Nov 2009, Sousse, Tunisie. hal-02813324

**HAL Id: hal-02813324**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02813324>**

Submitted on 4 Mar 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

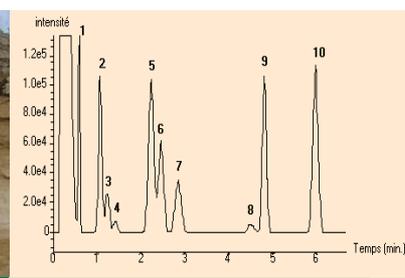
L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

# La contamination chimique des sols : conséquences écotoxicologiques et sanitaires

Christian Mougin *et coll.*

[mougin@versailles.inra.fr](mailto:mougin@versailles.inra.fr)



ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



# Un contexte nouveau

- **Les enjeux actuels de l'agriculture**

- Globalisation des préoccupations sanitaires et environnementales
- Sécurité alimentaire
- Gestion durable des ressources naturelles, dont le sol
- Prix de l'énergie, renouvellement de la chimie

- **Le Grenelle de l'Environnement**

- Préserver les milieux et la biodiversité
- Ecotoxicologie, toxicologie de l'environnement

- ▶ **Renforcer les recherches sur les interactions sols/contaminants chimiques (PESSAC)**

# Les sols cultivés, des écosystèmes complexes

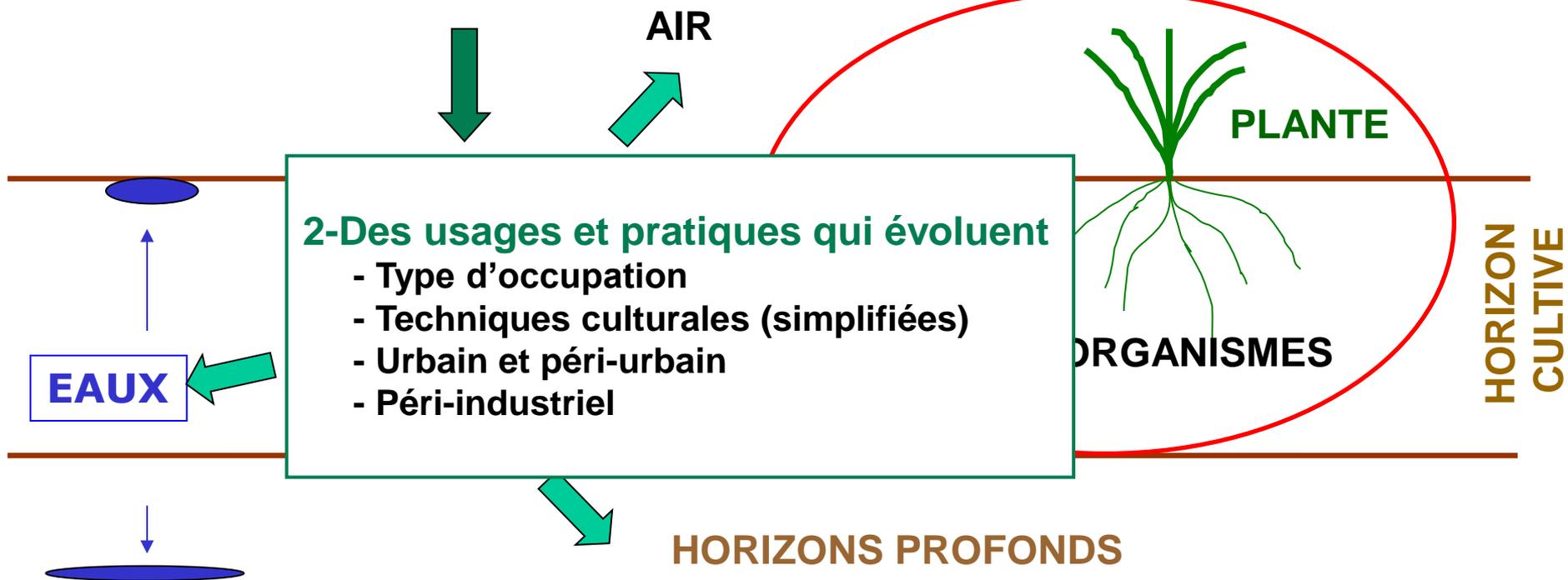


# Une évolution sous l'action d'une double contrainte

## 1-Des contaminations multiples

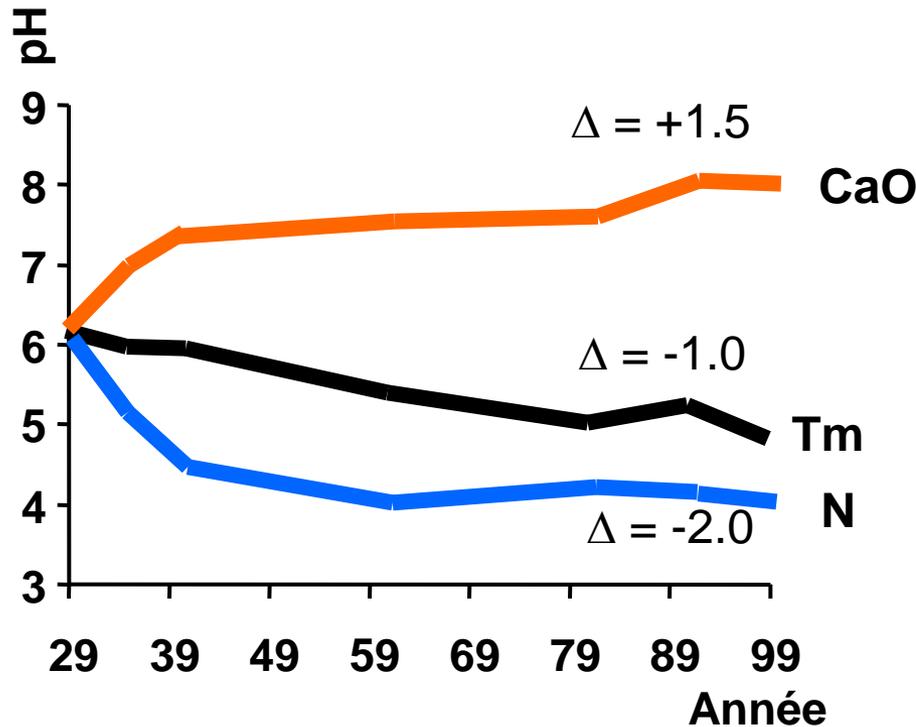
- Apports directs : pesticides
- Valorisation des produits résiduaire organiques : EDCs
- Retombées atmosphériques : ETMs + ...

CHAINES  
TROPHIQUES

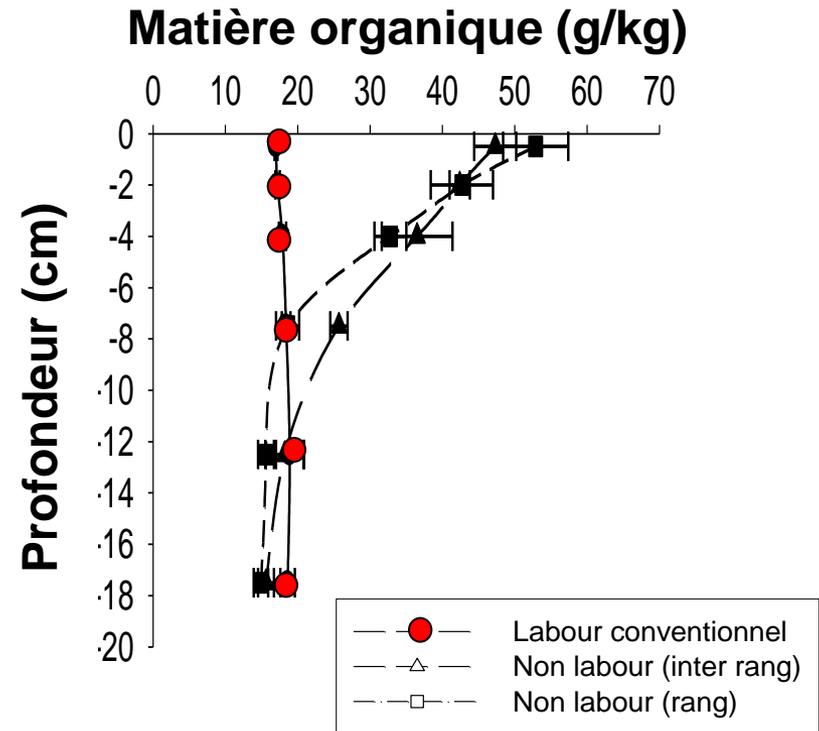


# Propriétés physico-chimiques (pH, MO)

42 Parcelles, 80 ans, intrants



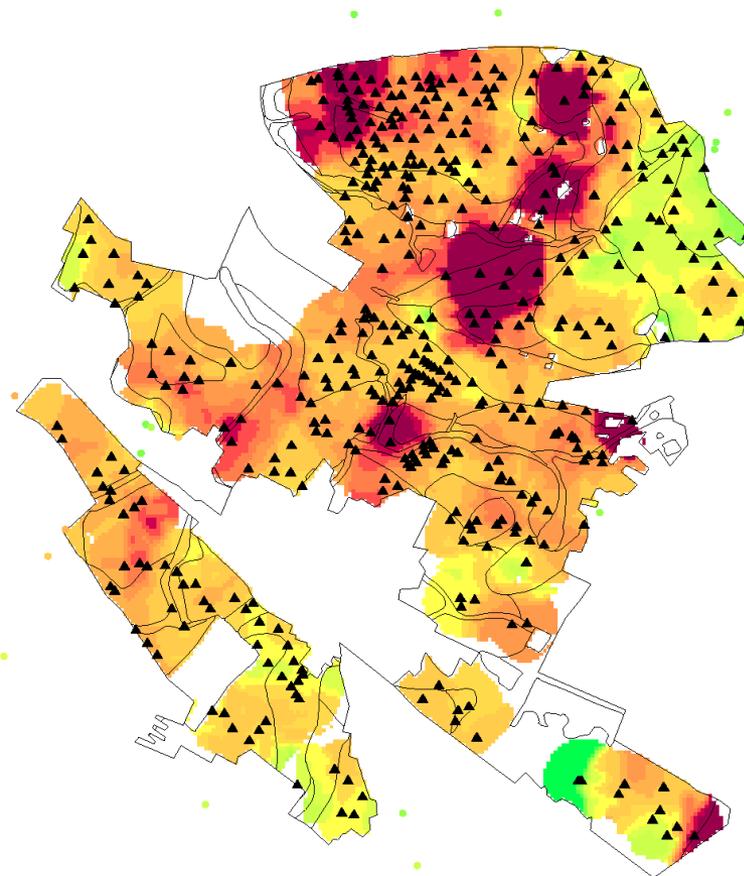
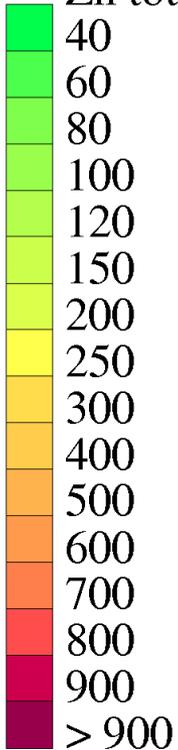
Arvalis, 30 ans, pratiques



► L'acidification des sols est modulée par les intrants organo-minéraux et les pratiques (biodisponibilité des contaminants, propriétés biologiques)

# Caractéristiques de la contamination

Zn total en ppm



**Site de Pierrelaye :  
100 ans d'eaux  
usées de Paris**

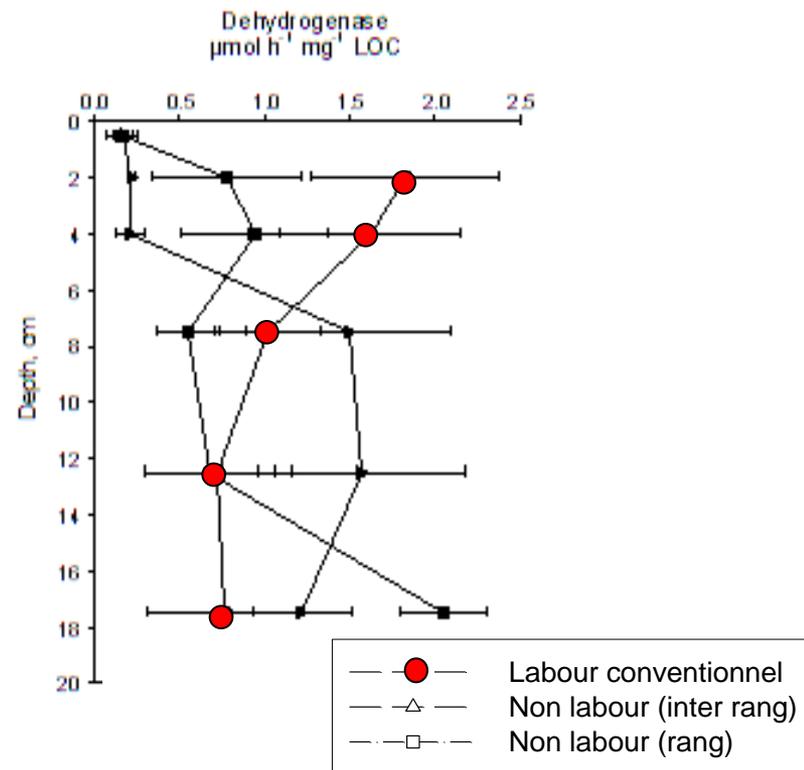
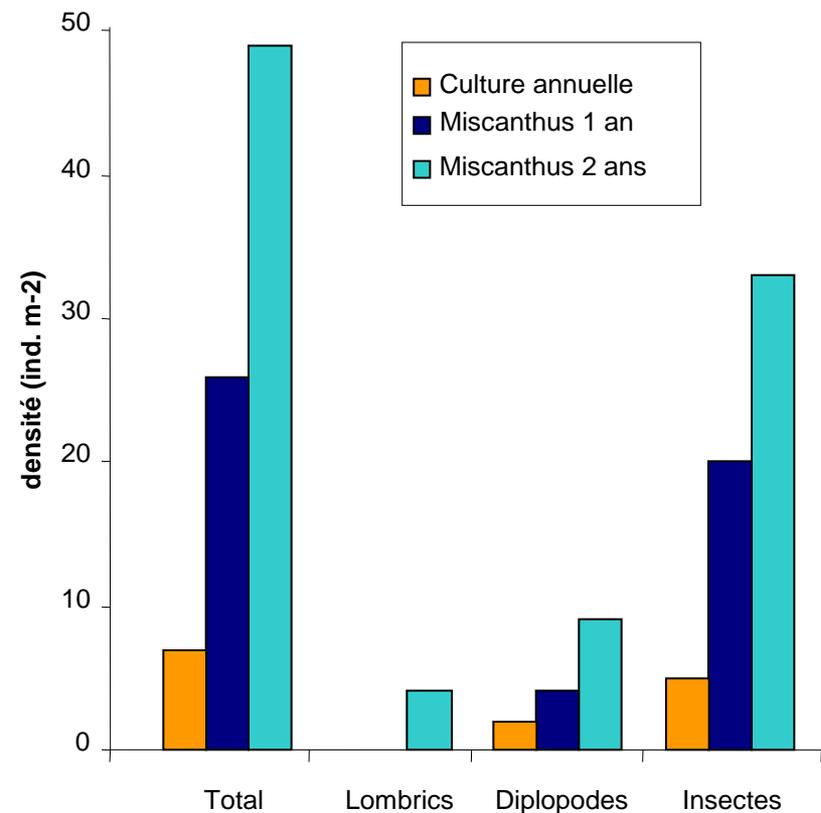
**1 – 1,5 kg/m<sup>3</sup>  
15 000 tonnes**

► **Teneurs totales ≠ formes actives**

# Evolution des propriétés biologiques

## ANR Resacor, faune

## Arvalis : activité microbiologique



► Un effet contrasté des techniques culturales



# La valorisation agricole des PRO



ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



# Boues / composts / lisiers...

- **Un intérêt évident pour le maintien du statut organo-minéral du sol**
- **Mais peu de connaissances sur le devenir et les impacts de composés autres que métaux et organiques persistants**
  - Peu d'études intégrées
  - Des doses d'apport souvent sans réalisme agronomique
  - Des difficultés analytiques
- **Plusieurs programmes lancés à l'INRA (ADEME, INSU, ANR...)**
  - Pesticides / EDC / hormones / antibiotiques...
  - Procédé de traitement / dynamique / impacts

# Le cas des pesticides dans les boues d'épuration

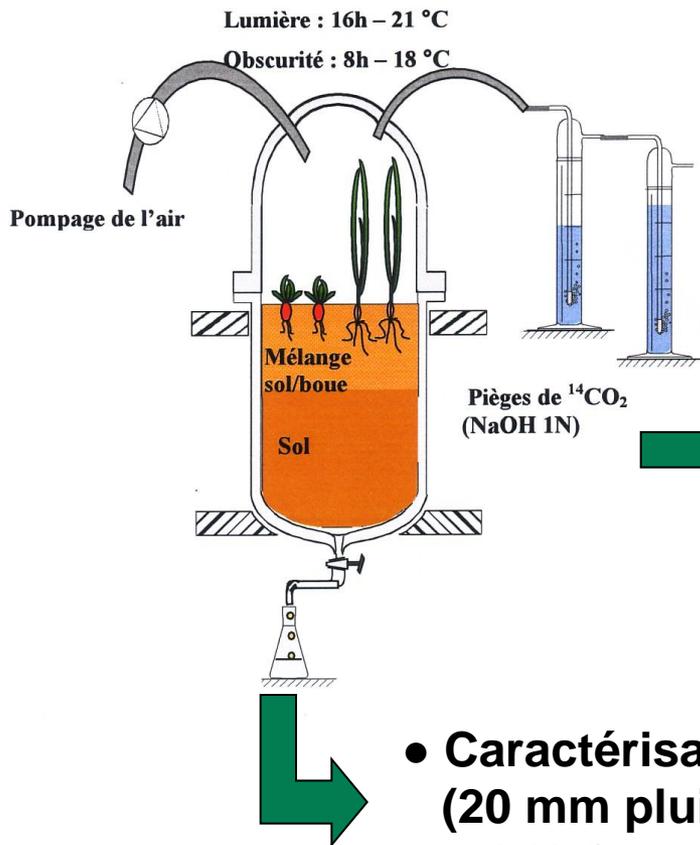
<i>CTO contenus dans les boues</i>	Teneur des boues (mg/kg MS)		Quantité maximale apportée au sol**	
	moyenne	maximale*	mg/m <sup>2</sup>	mg/kg
<b>Nonylphénol</b> <sup>°</sup>	112	207	620	4,1
Fluoranthène	0,53	5	7,5 <sup>\$</sup>	0,05
Pesticides organochlorés	0.02 - 2.8	0.2 - 570	0,6 - 1710	0,004 - 11,4
<b>Glyphosate / AMPA</b>	1 / 12	2,2 / 29	6,6 / 87	0,04 / 0,6
<b>Diuron</b>	0,026	0,07	0,21	0,001
<b>Pesticide à usage agricole</b> (100 g matière active/ha)			10	0,07

\* valeurs maximales mesurées ou réglementées

\*\* hypothèse de pire cas : épandage de 30 T boue sèche.ha<sup>-1</sup>

- ▶ Des concentrations en glyphosate et AMPA importantes  
Pas de triazines quantifiées  
Un challenge analytique

# Dynamique des contaminants radiomarqués



## Boues contaminées (mg/kg) dans les sols)

- **Transformation (90 j)**  
minéralisé : 20 % et diminue  
extractible : stable ou diminue  
stabilisé : augmente
- **Transfert vers la plantes**  
< 0,05% QI : dépend de l'espèce  
radis : 6  $\mu\text{g/g}$  mais diminue après 15 jours  
blé : 1  $\mu\text{g/g}$  peu modifié pendant 45 jours

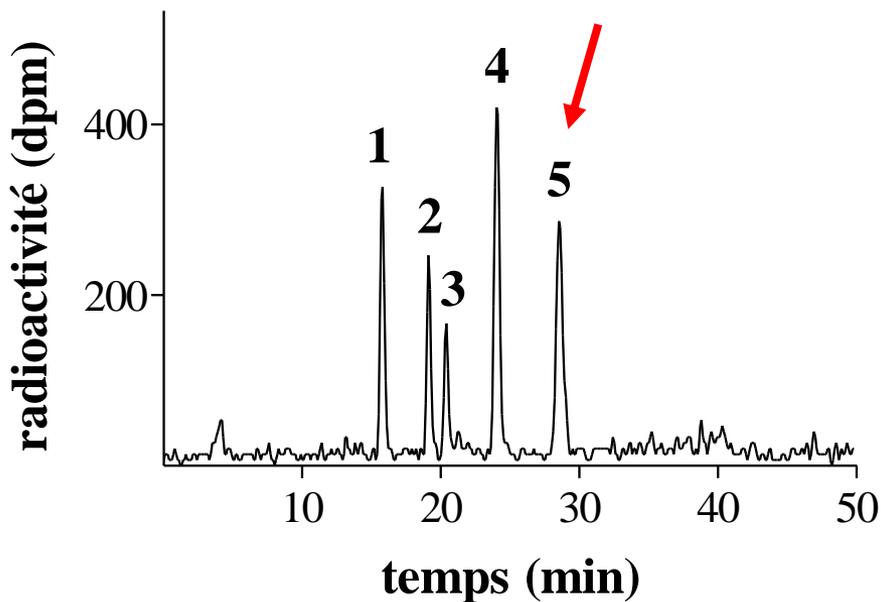
- **Caractérisation chimique des eaux de percolation (20 mm pluie à 45, 60 et 90 jours)**  
<1 % QI : peu modifié (> 0,1  $\mu\text{g/L}$ ), boue chaulée X 2

► Risque écotoxicologique et sanitaire ?

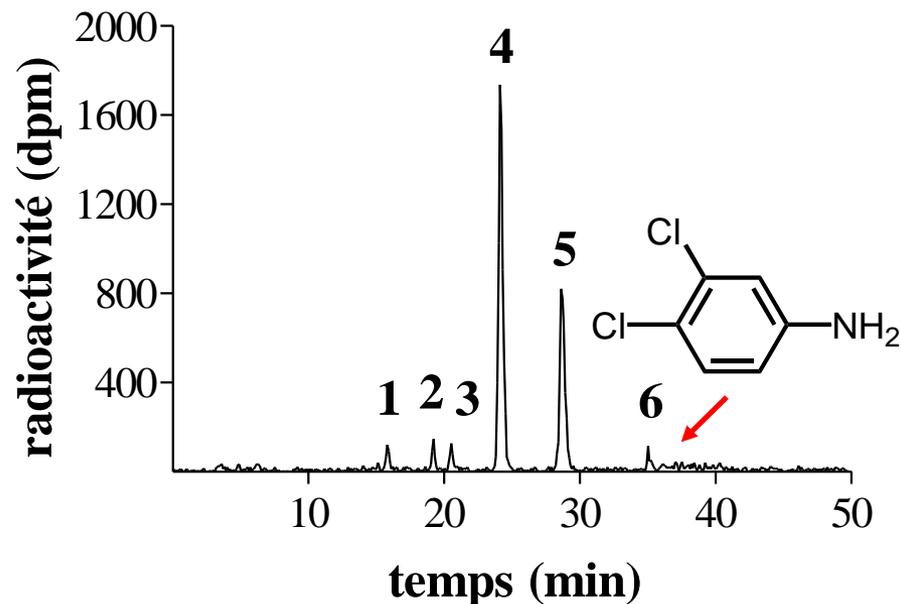
# Cas du diuron : vers des formes toxiques

Profil CLHP d'extrait brut

BLE feuille



RADIS racine



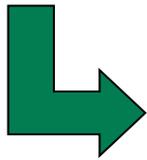
► Quel transfert, bioaccumulation des métabolites toxiques ?

# Impact écotoxicologique des contaminants

## 3 niveaux trophiques



- **Décomposeurs**  
diversité fonctionnelle microbienne  
« litter bag » : pas d'effet
- **Producteurs : blé**  
germination (% , délai) des végétaux  
production de biomasse
  - phytotoxicité des pesticides avec la boue chaulée à la DA
  - phytotoxicité avec toutes les boues à forte dose
- **Consommateurs**  
reproduction des collemboles : effet des pesticides avec la boue chaulée



**Evaluation de l'estrogénicité** : lignées humaines MELN  
Des réponses déjà positives avec les boues sans pesticides

► **Des recherches complémentaires**

# Le développement de bioindicateurs



# La diversité fonctionnelle des sols

- **Quelques grands types d'indicateurs pris en compte**

- Groupes fonctionnels : cycle de l'N
- Activités enzymatiques (hydrolases)

- **Mais :**

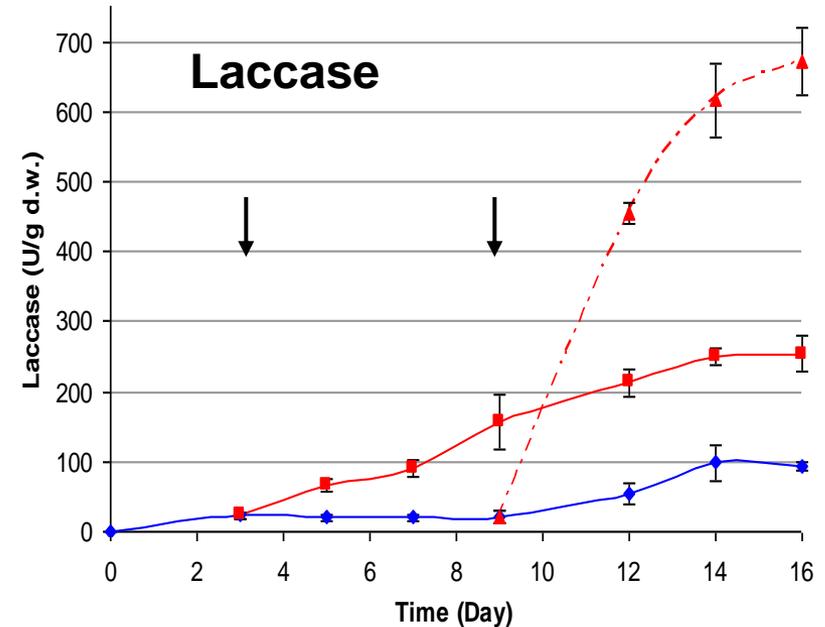
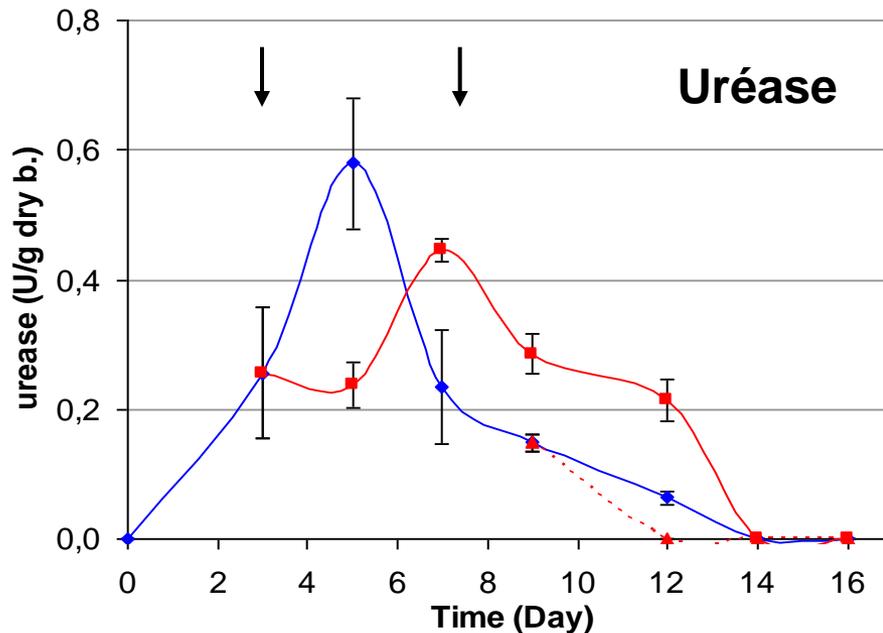
- Peu d'indicateurs microbiens disponibles
- Des résultats contradictoires pour le même produit
- Une variabilité spatiotemporelle au champ supérieure à l'effet des contaminants
- Des difficultés d'interprétation ( $\neq$  témoin/traité)

- **Le programmes « Bioindicateurs » de l'ADEME**

- ▶ **Validation des indicateurs existants en situations multiples**  
**Développement de nouveaux bioindicateurs**

# Hydrolases vs oxydo-réductases

Cultures liquides de *T. versicolor* dopées avec du Cu (200 ppm)

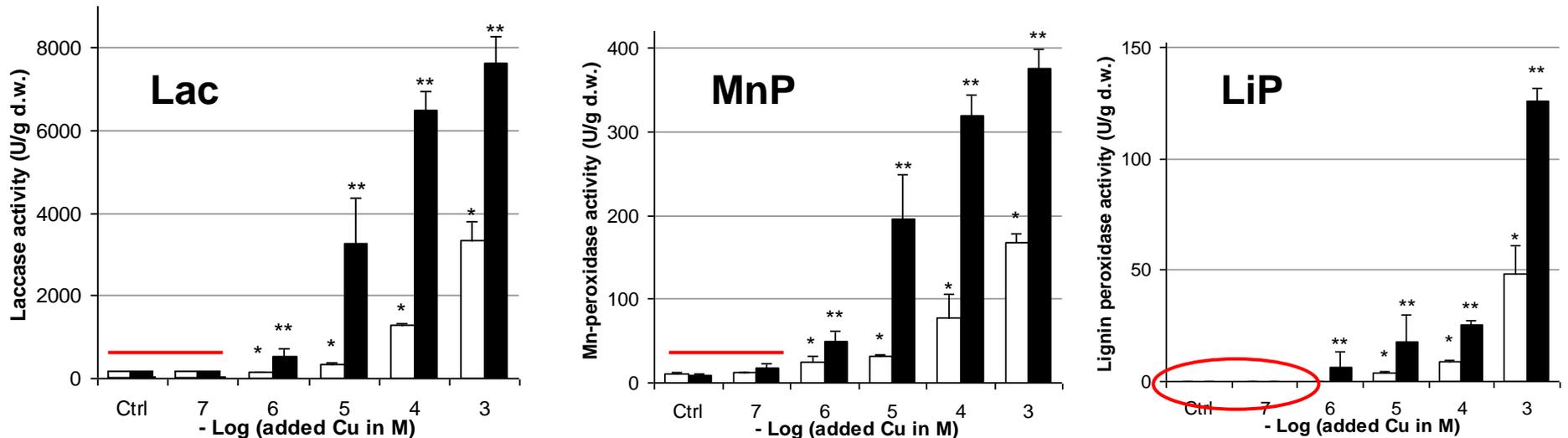


**Témoin, dopée**

► La réponse de la laccase est plus simple à interpréter

# Sensibilité et spécificité des réponses

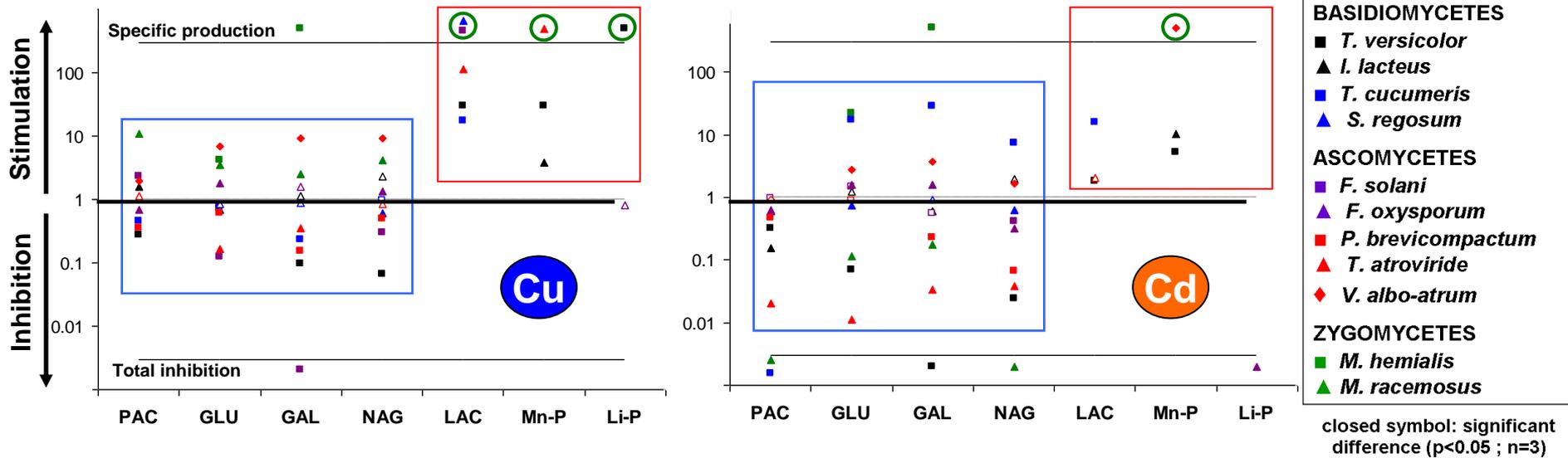
Cultures liquides de *T. versicolor* dopées avec le Cu (7 jours)



- ▶ Les réponses sont sensibles dans les milieux peu complexants  
La LiP est exprimée spécifiquement en présence de Cu  
Les mécanismes moléculaires (induction) sont prouvés

# Généralisation des réponses

Cultures liquides de 11 souches fongiques dopées avec le Cu et le Cd ( $10^{-3}$  M)



► Les oxidoréductases semblent systématiquement stimulées

# Conclusion : quels besoins de recherche ?

- **Coupler les approches et disciplines**

- Connaître les sols (structure, réactivité...)
- Identifier et quantifier les formes actives biodisponibles
- Développer des bioindicateurs

spéciation / biodisponibilité / exposition / bioaccumulation / réponses

- **Maîtriser les changements d'échelle**

- Comprendre (système simple) > généraliser (écosystème)
- Jeux de données (ORE)

- **Prévoir les impacts**

- Omiques dirigées
- Modélisation ?

# Merci pour votre attention



**Congrès 2010, INRA Versailles, 31 mars-1<sup>er</sup> avril**

# Les objectifs de l'unité PESSAC

## ● Au plan fondamental

D'identifier, de comprendre et de prévoir les perturbations\* subies par l'écosystème sol en présence de polluant

\* écart au fonctionnement d'un état de référence

D'expliciter dans la matrice sol les relations entre :  
spéciation / biodisponibilité / exposition / bioaccumulation / réponses

## ● Au plan finalisé

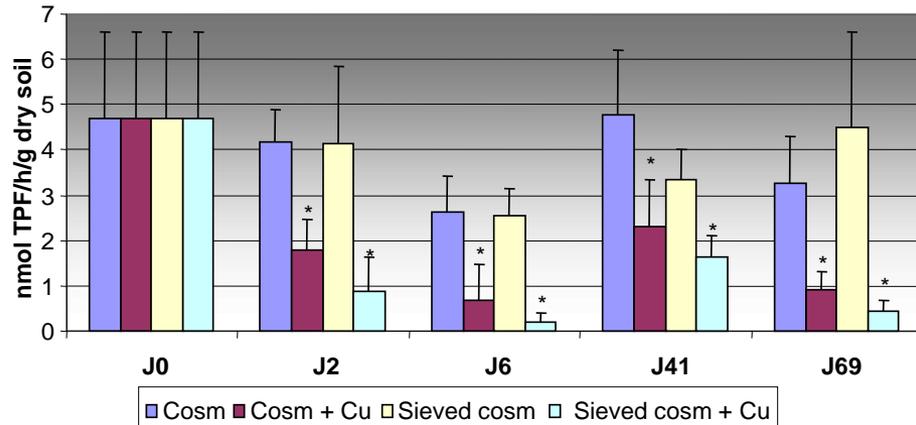
De contribuer à l'évaluation écologique et écotoxicologique des sols cultivés, ainsi qu'à la proposition de pratiques durables de gestion

## ● Au plan méthodologique

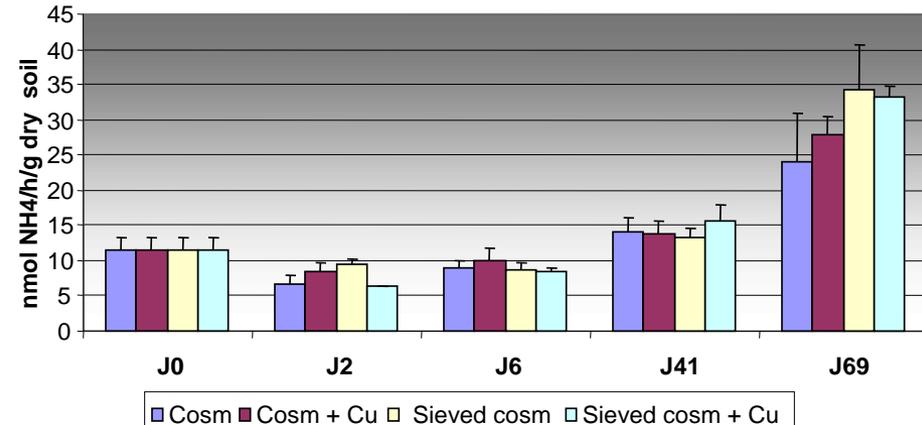
De développer des outils, des méthodes d'évaluation et de prévision ... adaptées à l'échelle d'étude : de la molécule à la parcelle

# Variabilité des activités enzymatiques microbiennes

Déshydrogénase



Uréase

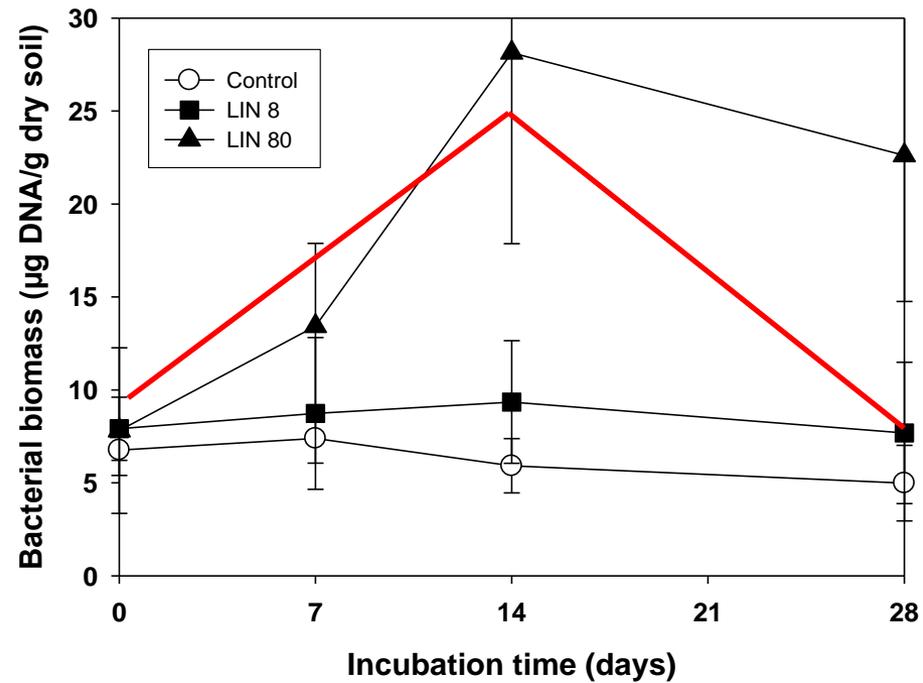
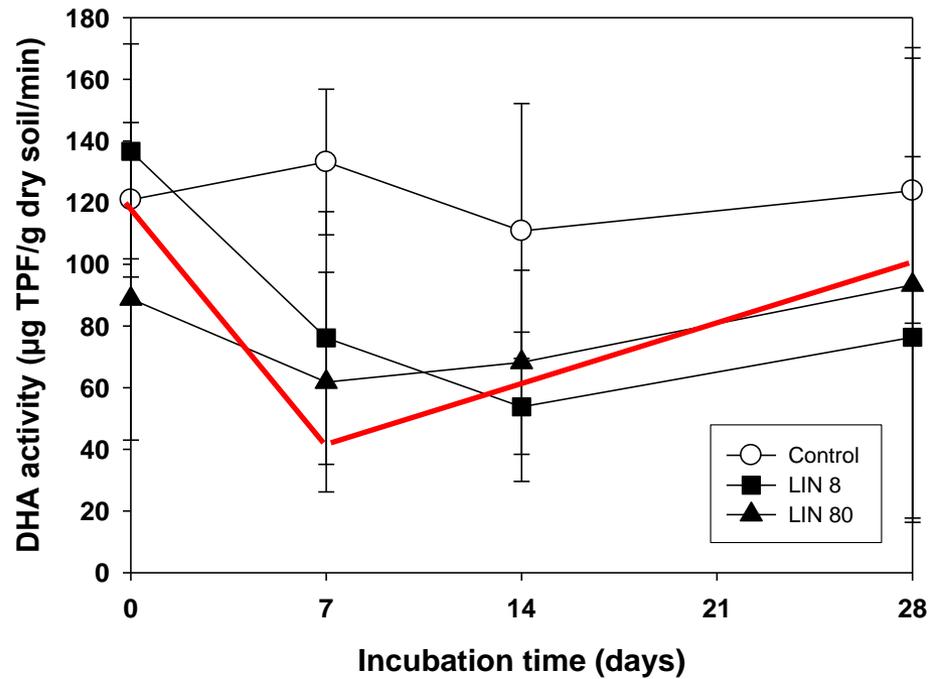


- Un effet du Cu (200 ppm) variable selon l'activité
- Pour la déshydrogénase, l'effet du Cu est augmenté dans le sol préalablement tamisé



# Antibiotiques et communautés microbiennes

ANR SEST : DIPERPHA- Hormones et antibiotiques dans la « filière » lisiers

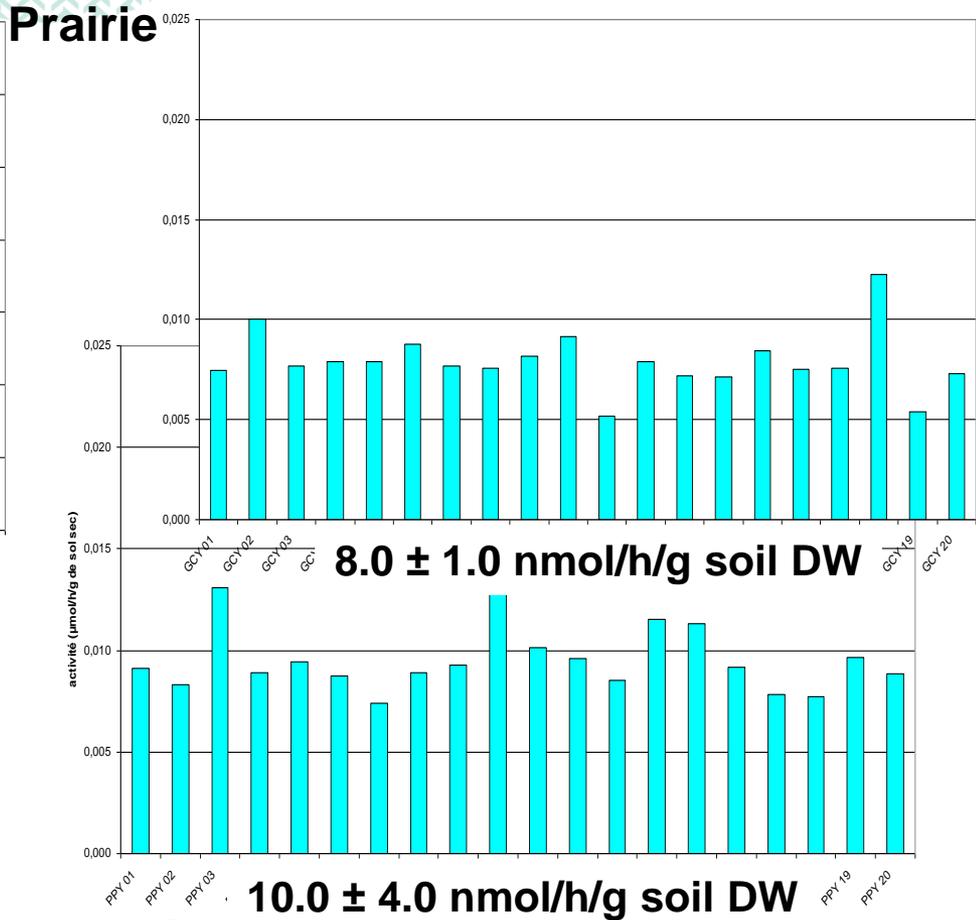
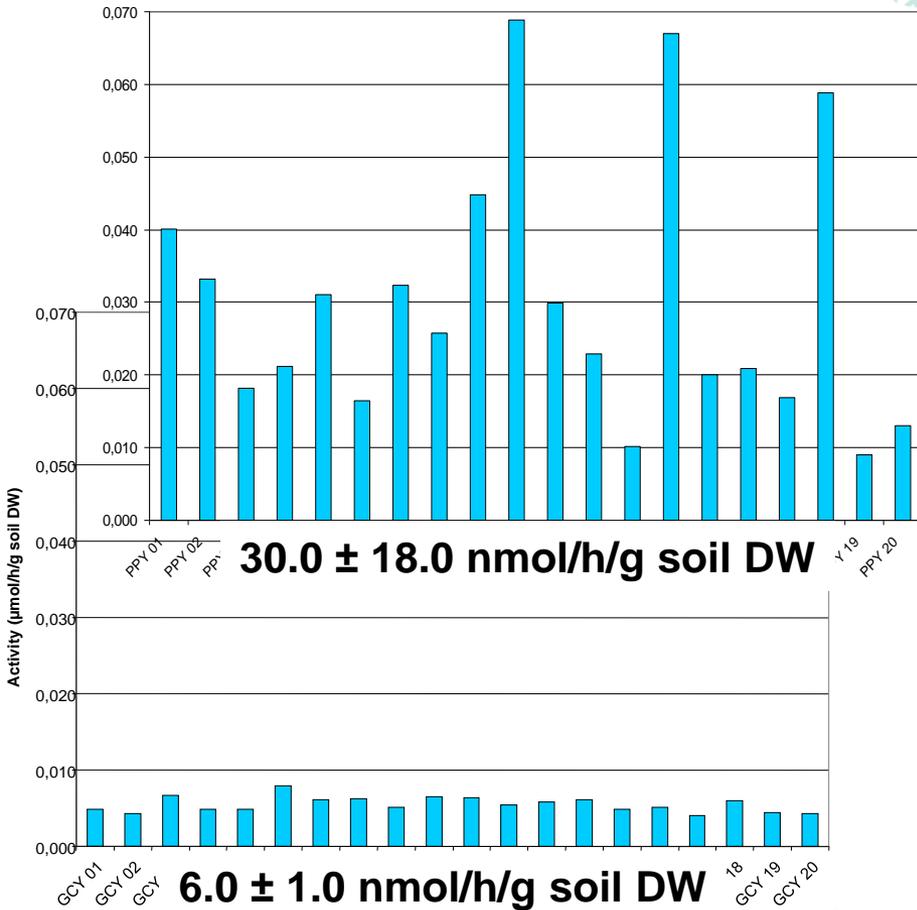


# Variabilité des activités enzymatiques microbiennes

## Déshydrogenase

Prairie

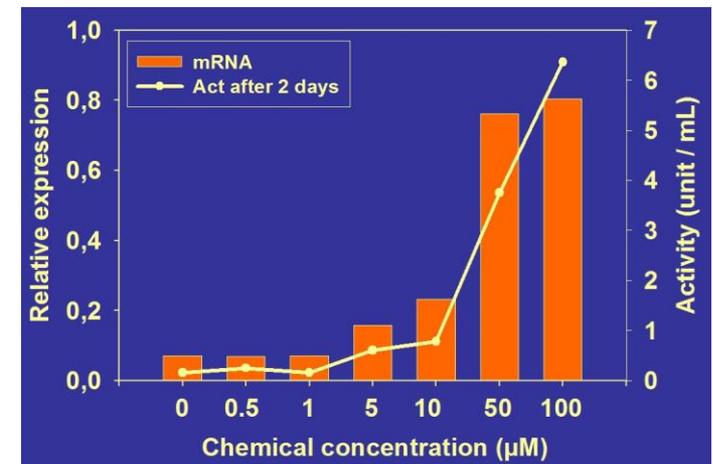
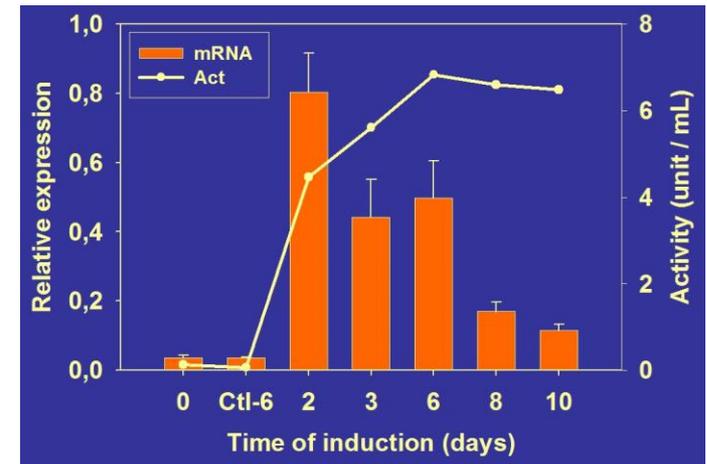
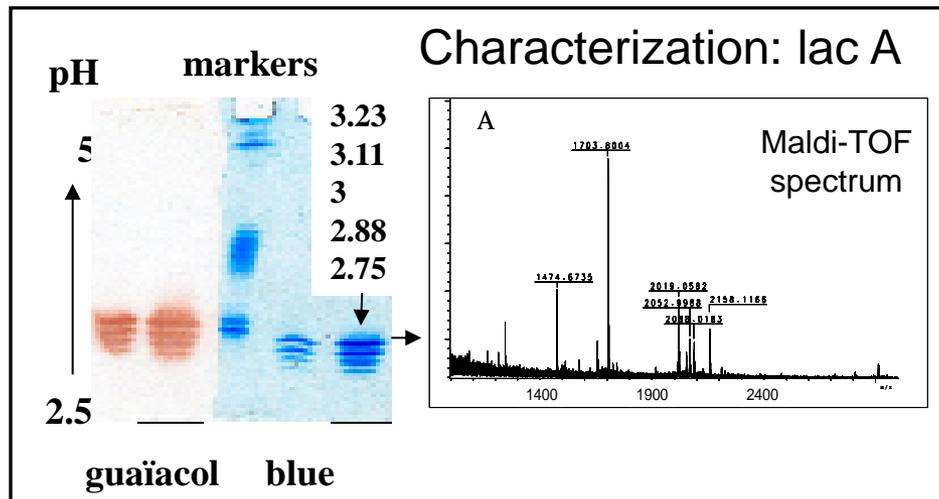
## Uréase



Culture : blé

# Connaissance des mécanismes

## Laccases de *T. versicolor*



# Un défi pour la recherche

**Observer, comprendre et prévoir sur le long terme l'impact de mélanges de contaminants chimiques apportés en faibles doses sur :**

- Le fonctionnement des sols (cycles, biodiversité)**
- La contamination des ressources (eau, aliments)**