



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.

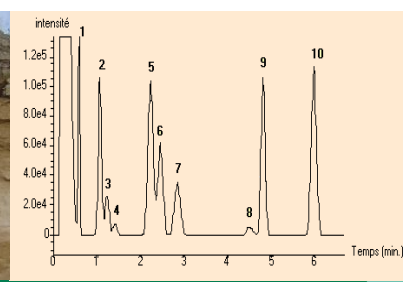
L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

La contamination chimique des sols : conséquences écotoxicologiques et sanitaires

Christian Mougin *et coll.*

mougin@versailles.inra.fr



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

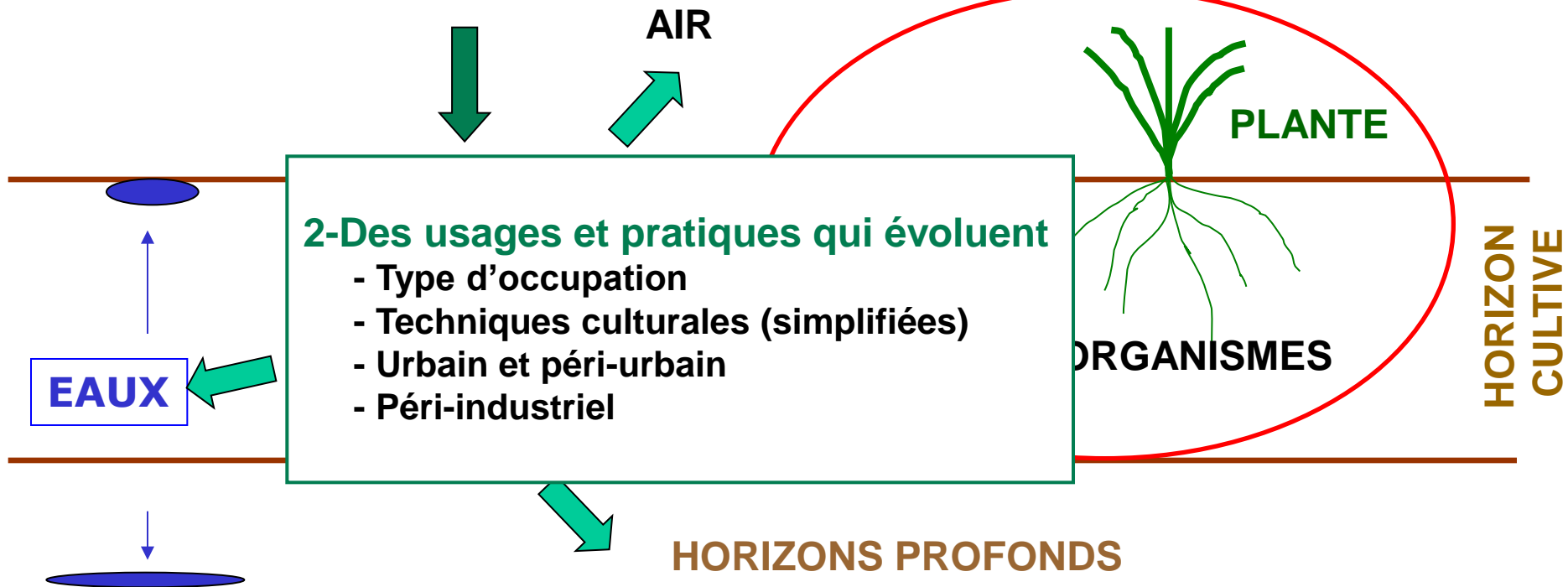


Une évolution sous l'action d'une double contrainte

1-Des contaminations multiples

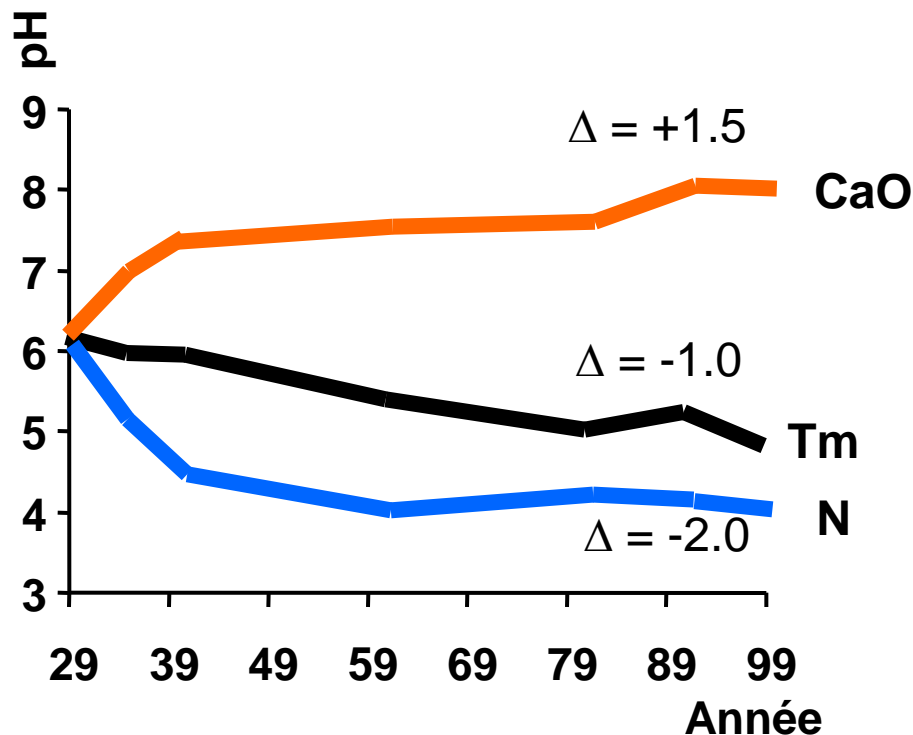
- Apports directs : pesticides
- Valorisation des produits résiduels organiques : EDCs
- Retombées atmosphériques : ETMs + ...

CHAINES
TROPHIQUES

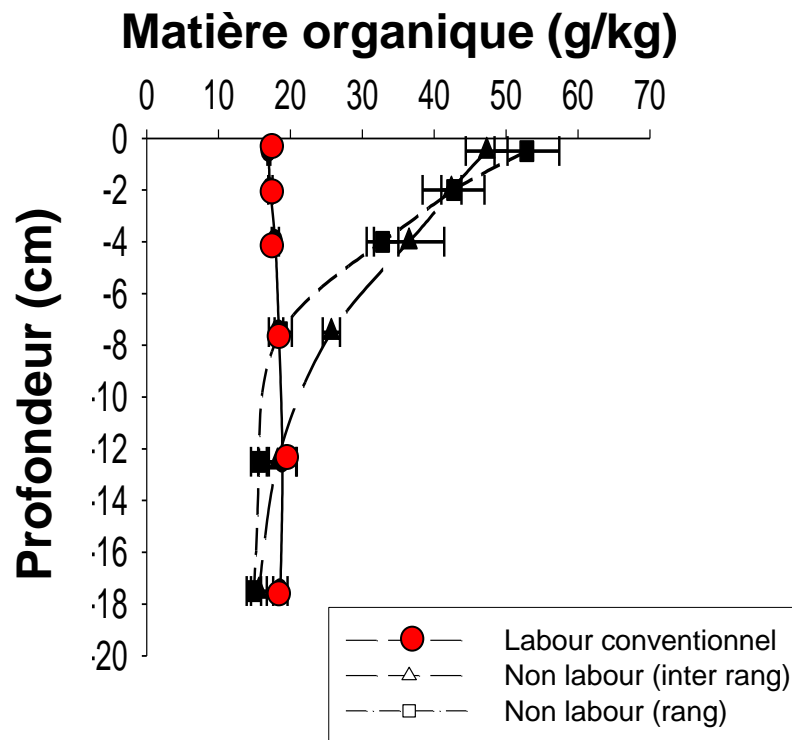


Propriétés physico-chimiques (pH, MO)

42 Parcelles, 80 ans, intrants



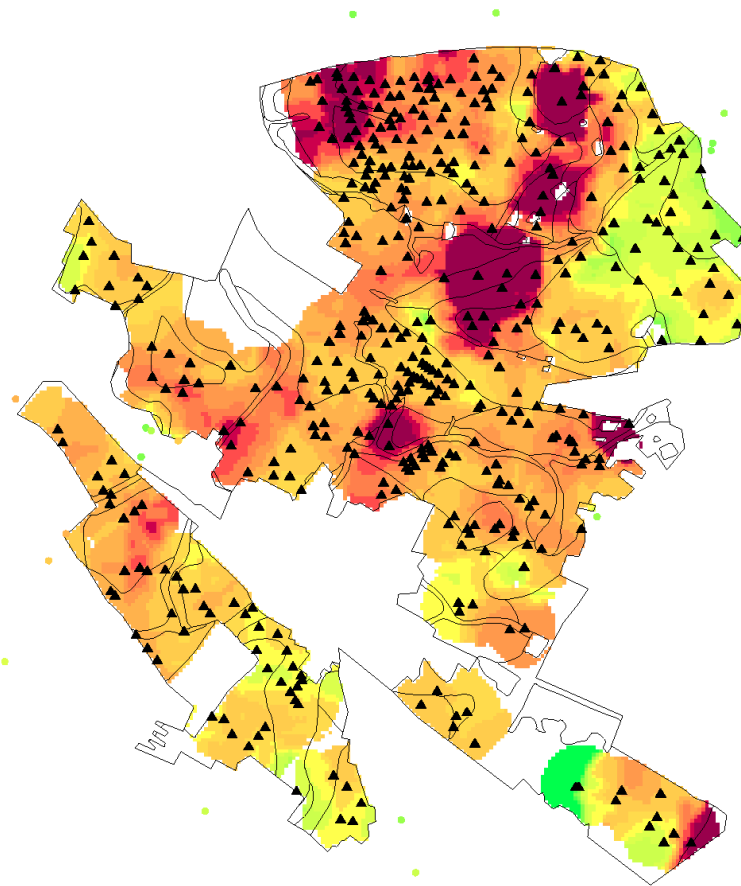
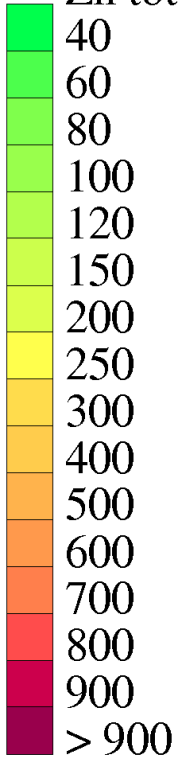
Arvalis, 30 ans, pratiques



► 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/m³

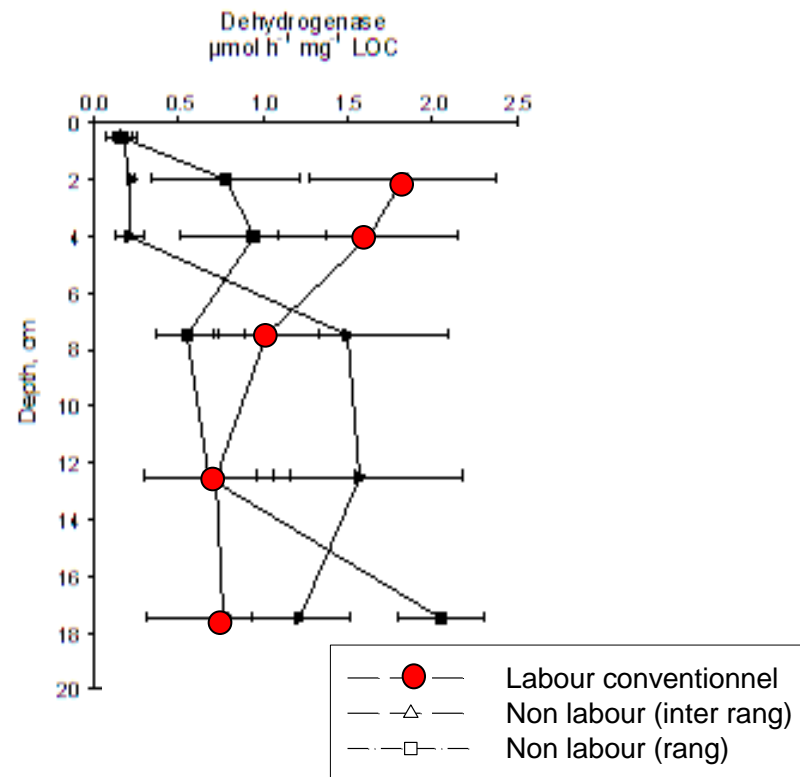
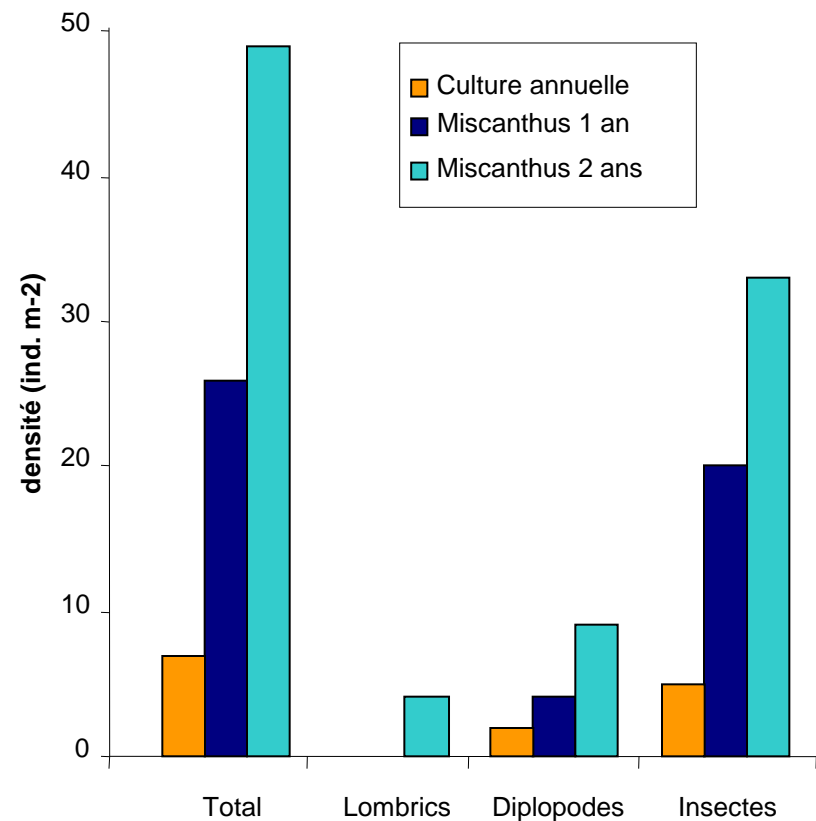
15 000 tonnes

► **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

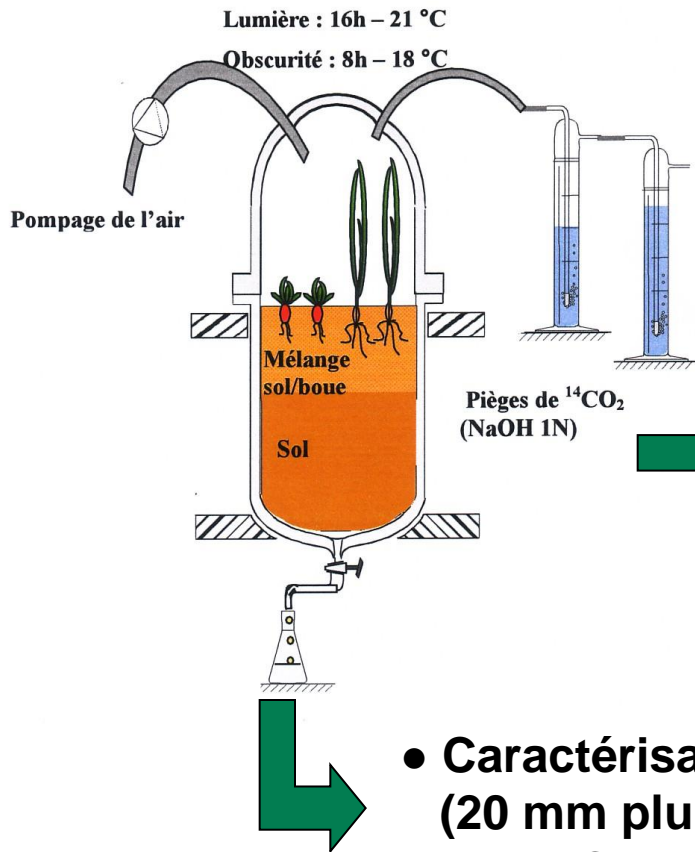
<i>CTO contenus dans les boues</i>	Teneur des boues (mg/kg MS)		Quantité maximale apportée au sol**	
	moyenne	maximale*	mg/m ²	mg/kg
Nonylphénol [°]	112	207	620	4,1
Fluoranthène	0,53	5	7,5 ^{\$}	0,05
Pesticides organochlorés	0.02 - 2.8	0.2 - 570	0,6 - 1710	0,004 - 11,4
Glyphosate / AMPA	1 / 12	2,2 /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

* valeurs maximales mesurées ou réglementées

** hypothèse de pire cas : épandage de 30 T boue sèche.ha⁻¹

- ▶ 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

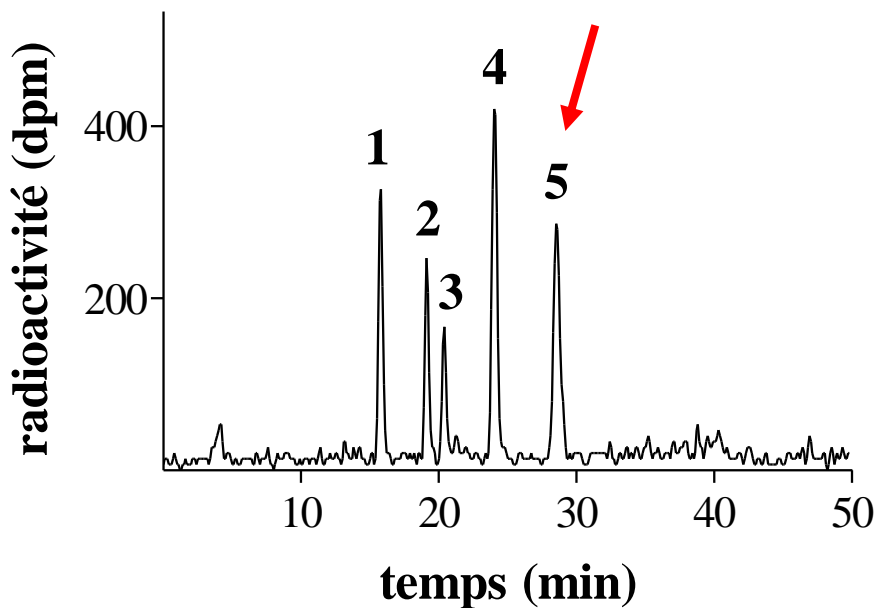
- **Caractérisation chimique des eaux de percolation (20 mm pluie à 45, 60 et 90 jours)**
<1 % QI : peu modifié (> 0,1 $\mu\text{g/L}$), boue chaulée X 2

► **Risque écotoxicologique et sanitaire ?**

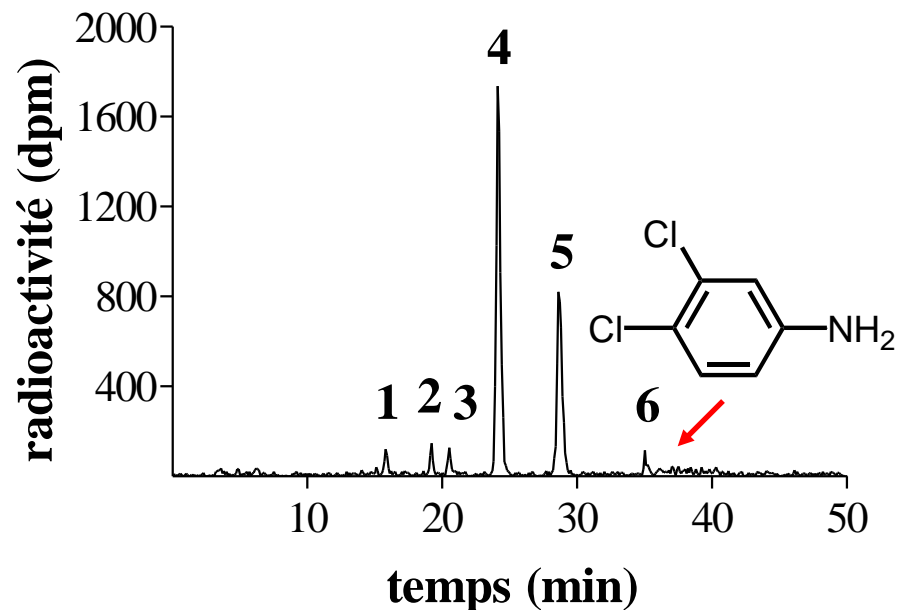
Cas du diuron : vers des formes toxiques

Profil CLHP d'extrait brut

BLE feuille



RADIS racine



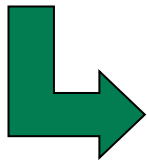
► Quel transfert, bioaccumulation des métabolites toxiques ?

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 :**

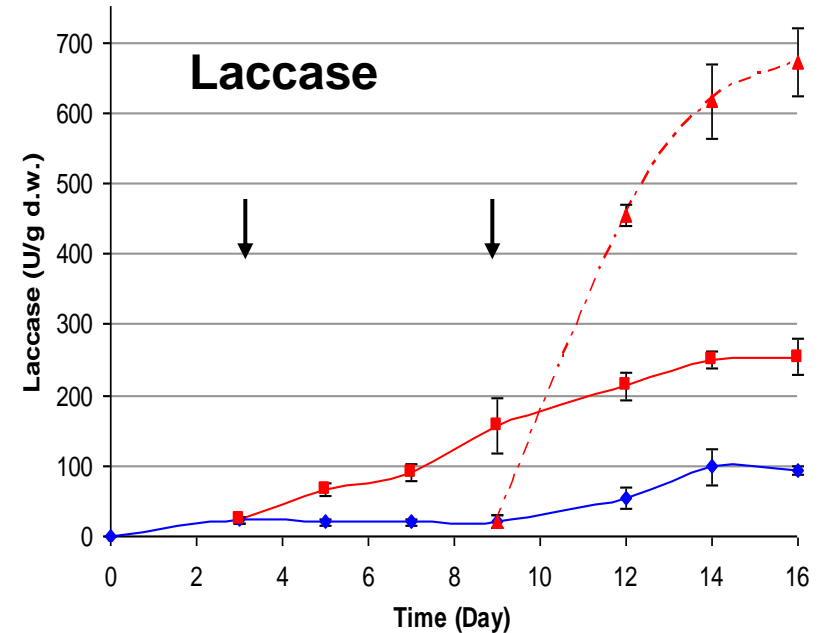
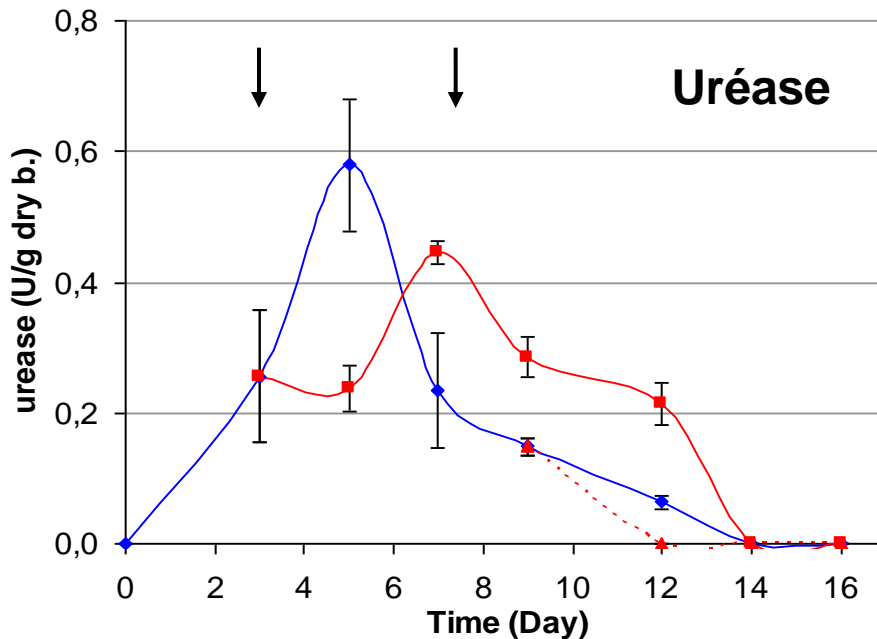
- Peu d'indicateurs microbiens disponibles
- Des résultats contradictoires pour le même produit
- Une variabilité spatiotemporelle au champ supérieure à l'effet des contaminants
- Des difficultés d'interprétation (\neq témoin/traité)

- **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)

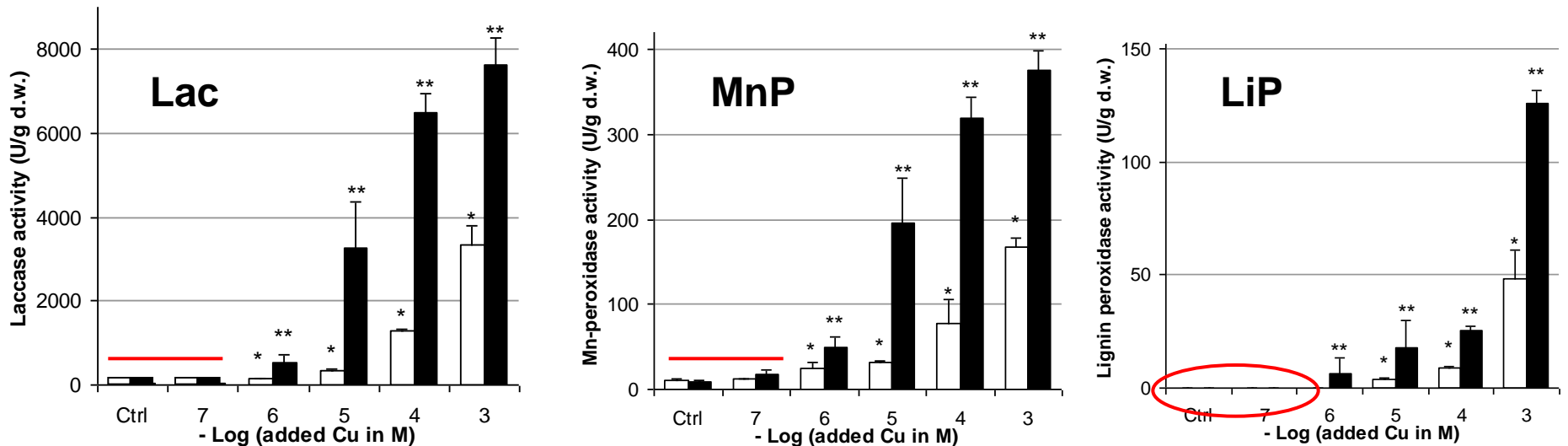


Témoin, dopée

► La réponse de la laccase est plus simple à interpréter

Sensibilité et spécificité des réponses

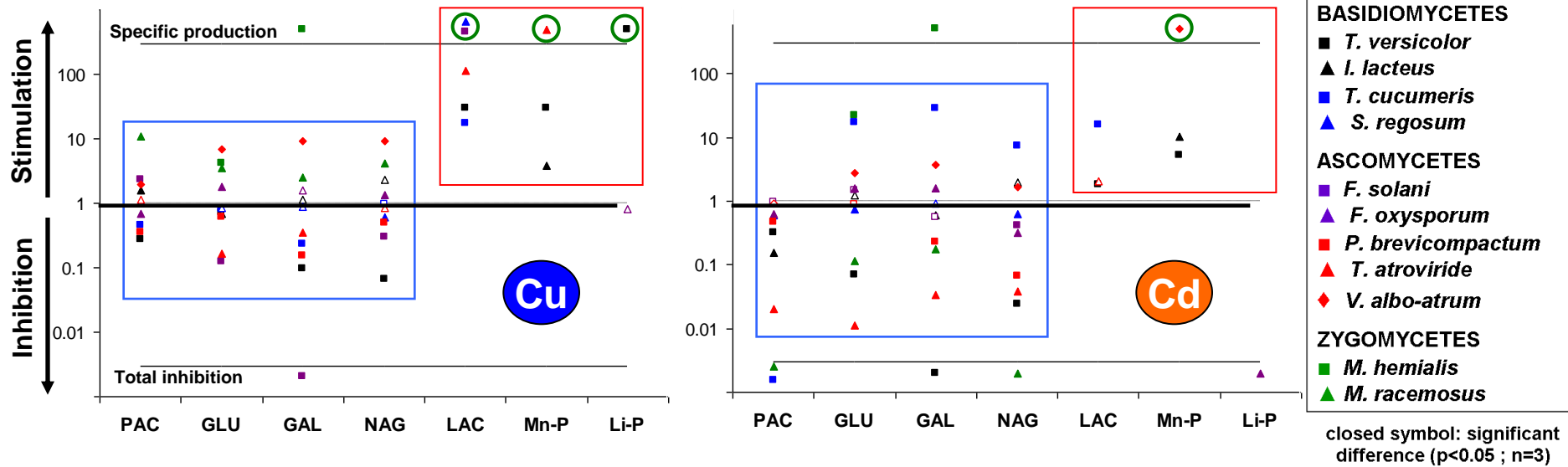
Cultures liquides de *T. versicolor* dopées avec le Cu (7 jours)



- ▶ 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^{er} 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

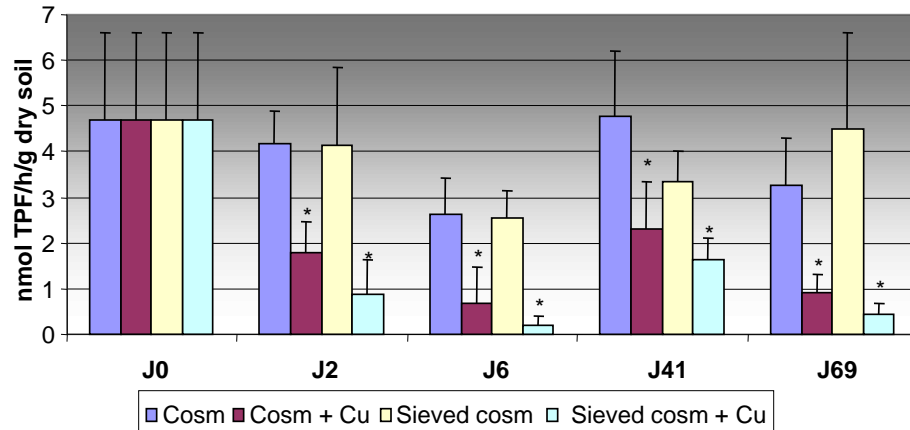
De contribuer à l'évaluation écologique et écotoxicologique des sols cultivés, ainsi qu'à la proposition de pratiques durables de gestion

● Au plan méthodologique

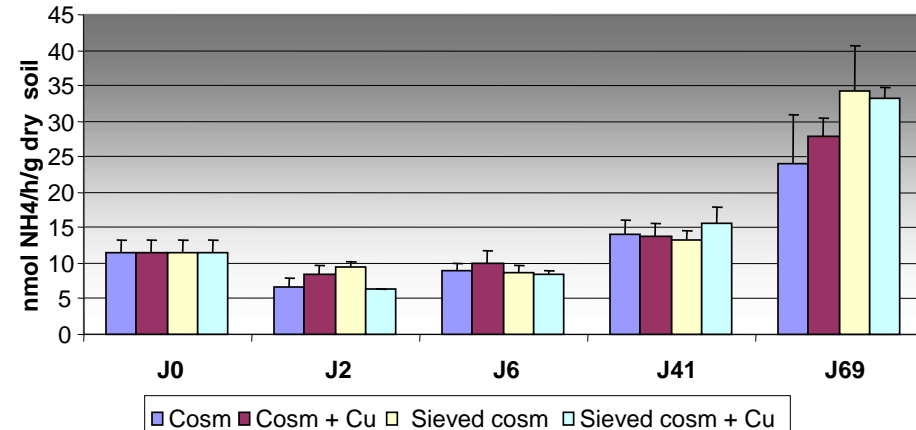
De développer des outils, des méthodes d'évaluation et de prévision ... adaptées à l'échelle d'étude : de la molécule à la parcelle

Variabilité des activités enzymatiques microbiennes

Déshydrogénase



Uréase

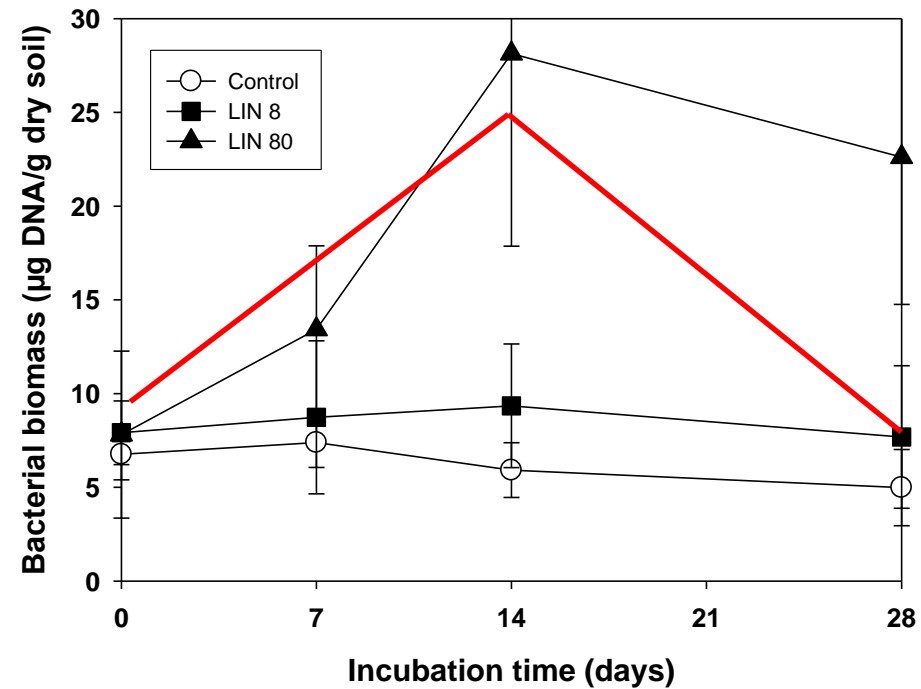
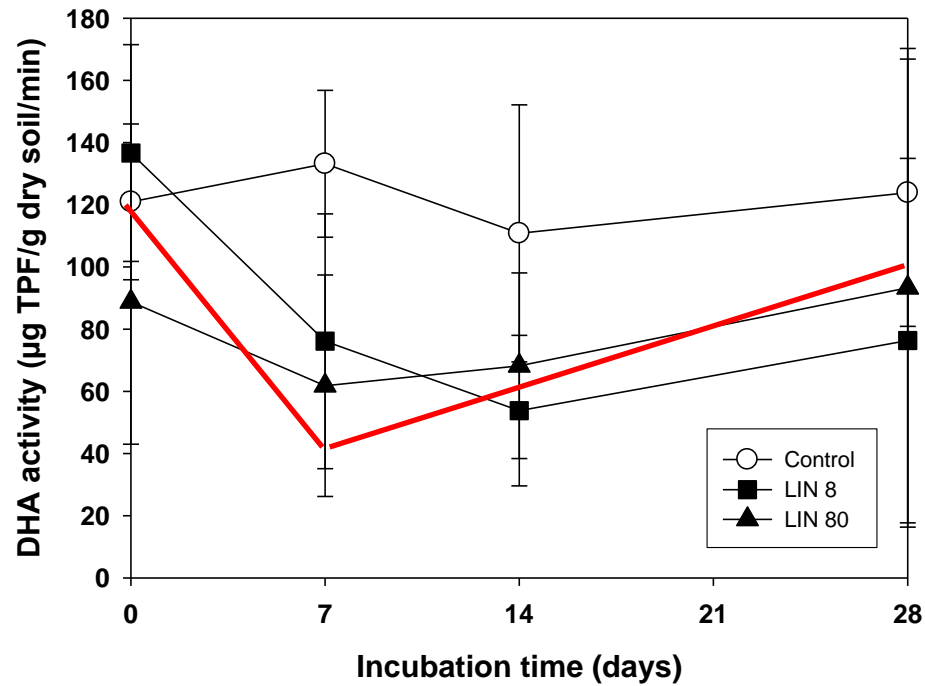


- Un effet du Cu (200 ppm) variable selon l'activité
- Pour la déshydrogénase, l'effet du Cu est augmenté dans le sol préalablement tamisé



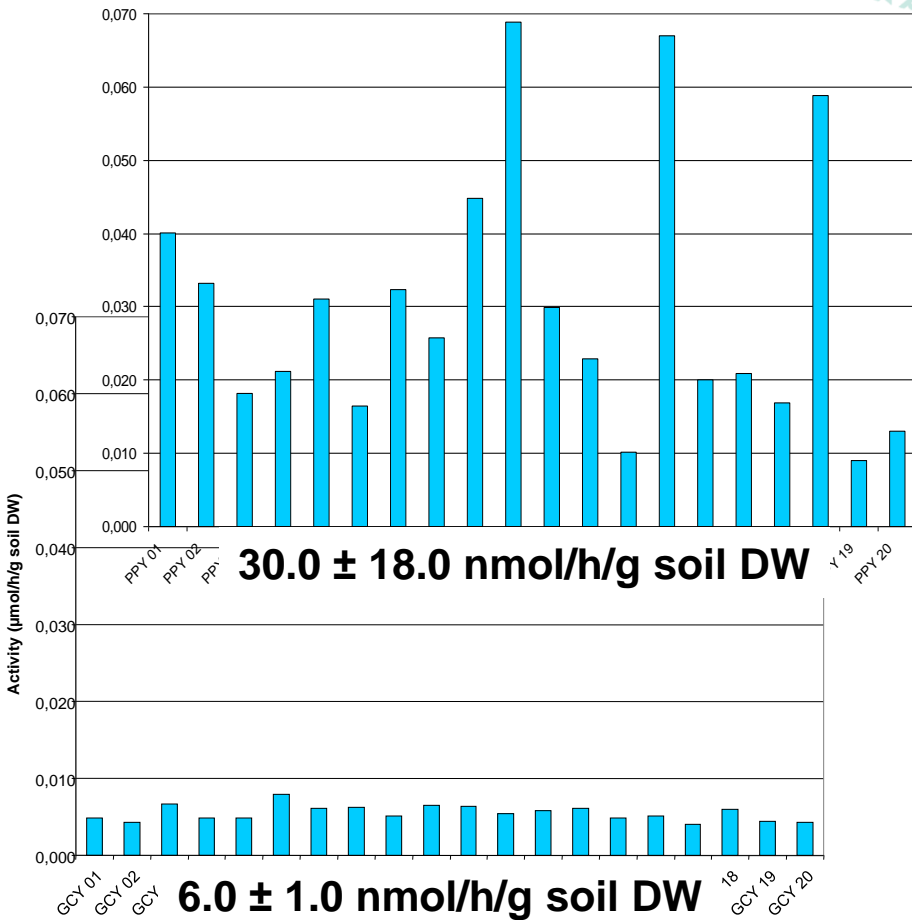
Antibiotiques et communautés microbiennes

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

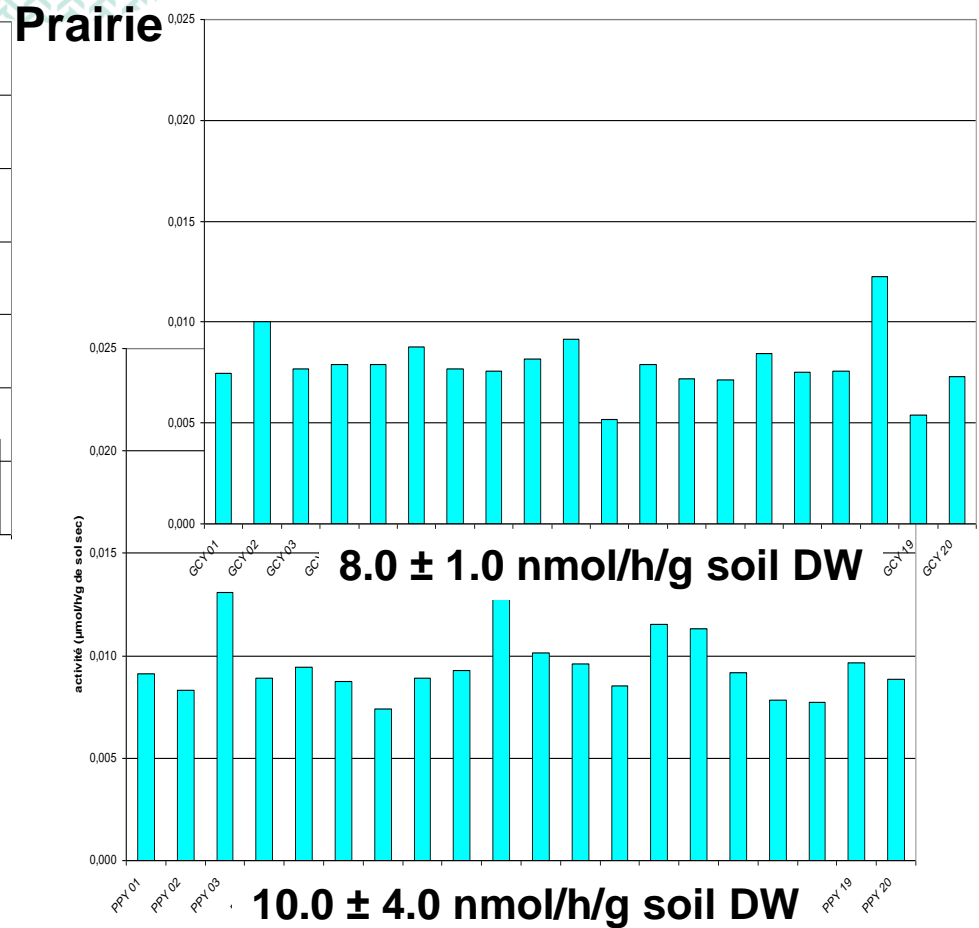


Variabilité des activités enzymatiques microbiennes

Déshydrogenase



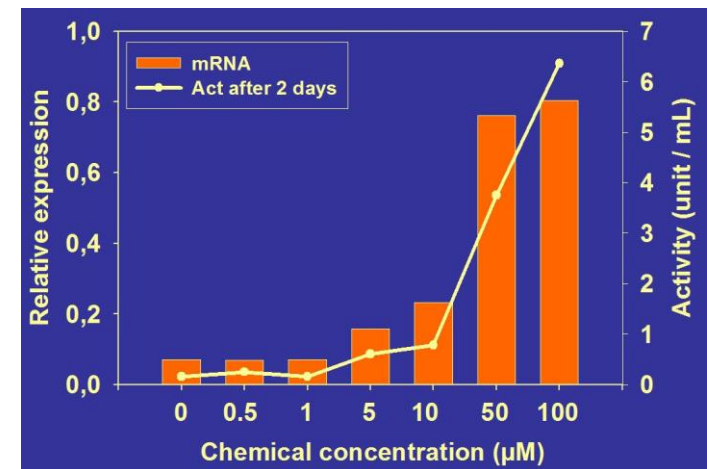
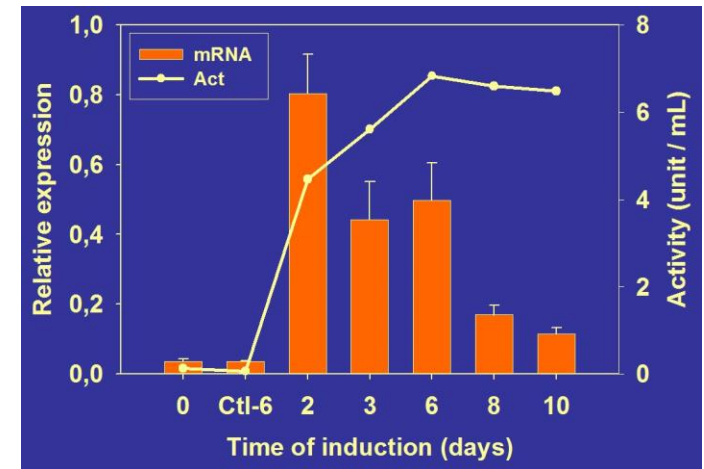
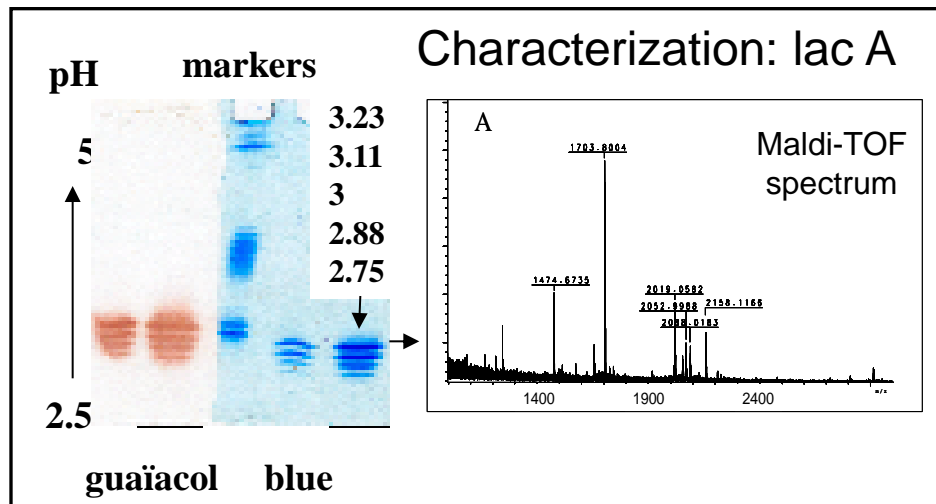
Uréease



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)**