

Pollutions environnementales : le diagnostic scientifique

La pollution du sol et ses conséquences sur la faune épigée et endogée

Christian Mougin

Directeur de recherche INRA
Membre correspondant, section 5

Avec le concours de

Olivier Crouzet, Fabrice Martin-Laurent, Colette Bertrand, Clémentine Fritsch, Céline Pélosi

Les points abordés

- ❖ Éléments d'introduction
- ❖ La contamination des sols
- ❖ Les effets : études au laboratoire
- ❖ Les effets : études à la parcelle
- ❖ Quelques pistes pour la recherche
- ❖ Éléments de conclusion

Un partage de définitions

- ❖ L'écotoxicologie est la science devant faire **l'intégration de la toxicologie et de l'écologie**, dont les objectifs sont de **comprendre et prédire les effets de contaminants sur les communautés naturelles**, pour des **régimes d'exposition réalistes** d'un point de vue environnemental (Chapman, 2002)
- ❖ Un sol est dit **pollué** quand il contient un ou plusieurs composé(s) chimique(s) susceptible(s) de causer des **altérations biologiques, physiques et/ou chimiques**
- ❖ Les **produits de protection des plantes** (« pesticides ») comprennent des **substances actives** dans des **préparations commerciales**. **Intrinsèquement, ils présentent un danger.**

Biodiversité : la 6^{ème} extinction de masse (IPBES)

LETTER

Nature 2014

doi:10.1038/nature13531

Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations

Caspar A. Hallmann^{1,2}, Ruud P. B. Foppen^{2,3}, Chris A. M. van Turnhout², Hans de Kroon¹ & Eelke Jongejans¹

WHERE HAVE ALL THE INSECTS GONE?

+

Surveys in German nature reserves point to a dramatic decline in insect biomass. Key members of ecosystems may be slipping away

By Gretchen Vogel, in Krefeld, Germany

Science 2017

=



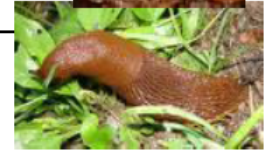
Quelle situation pour les sols et leurs habitants ?

Les organismes du sol

Types	Types d'organismes	Abondance
Microflore	Bactéries	10^8 à 10^9 / g de sol
	Champignons	10^4 à 10^6 / g de sol
	Algues	10^2 à 10^4 / g de sol
Microfaune ($< 0,2$ mm)	Protozoaires	10^8 à 50^8 / m^2
	Nématodes	10^6 à 20^6 / m^2
Mésafaune ($0,2 - 4$ mm)	Microarthropodes < 1 mm	
	- collemboles	20^3 à 500^3 / m^2
	- acariens	20^3 à 500^3 / m^2
	Enchytréides	10^4 à 50^4 / m^2
Macrofaune ($4 - 80$ mm)	Lombriciens	50 à 400 / m^2
	Mollusques	10 à 10^2 / m^2
	Arthropodes > 1 mm	10^3 à 10^4 / m^2

+ mégafaune : taupes, crapauds et serpents

Prairie permanente : **260 millions d'individus au m^2** = $1,5 \text{ t ha}^{-1}$
 + **diversité** très importante. Ex. 10^4 génotypes microbiens/g de sol

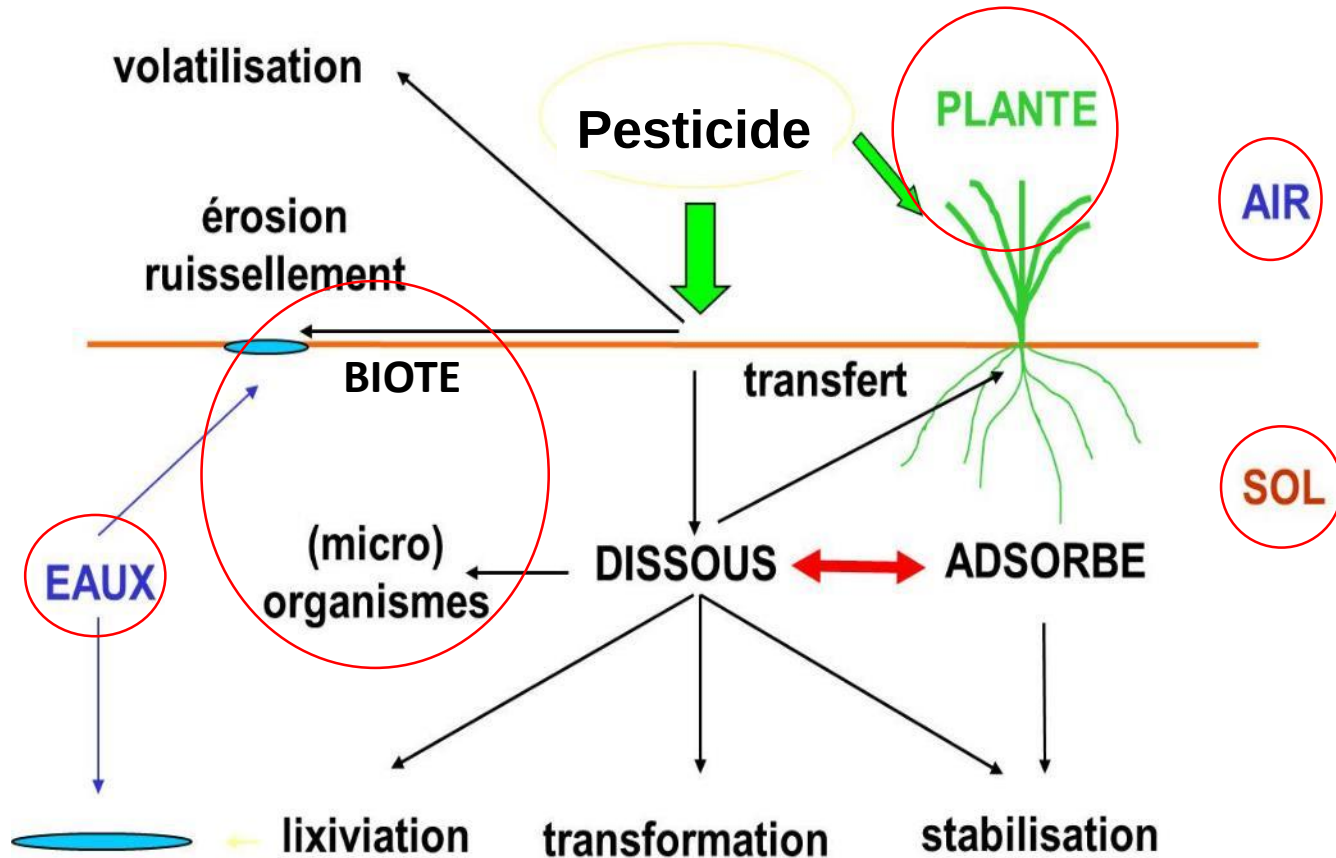


La contamination des sols

Les pesticides et leurs usages évoluent

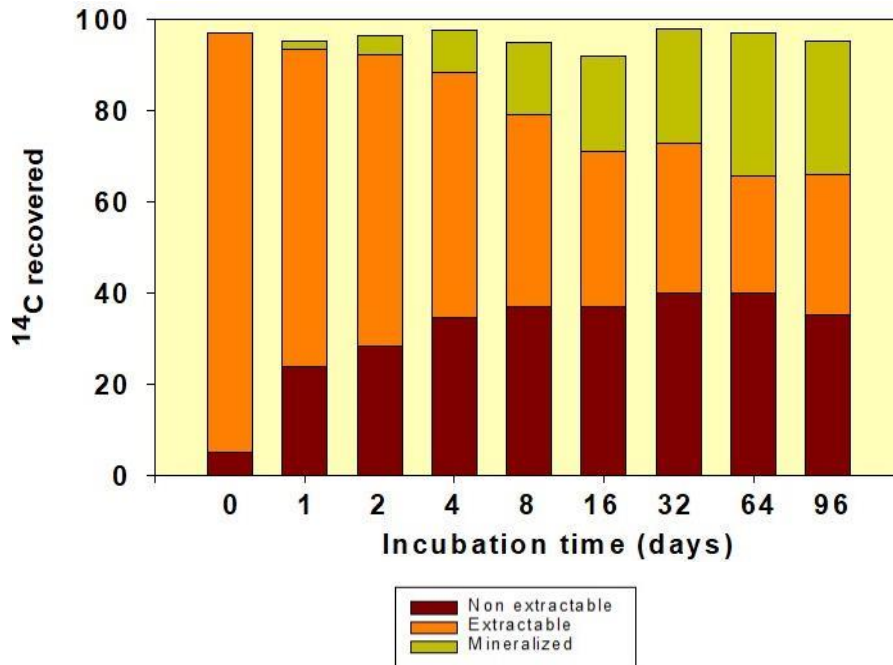
- ❖ **De nouvelles molécules pour une diminution de leur rémanence et de leurs effets non-intentionnels :**
 - Physicochimie : architecture moléculaire souvent moins récalcitrante
 - Biologie : connaissance du mode d'action, amélioration de la sélectivité et de l'efficacité, diminution des doses d'utilisation
- ❖ **Des interdictions d'usage :** organochlorés (1973), chlordécone (1994), triazines et diuron (2003) et néonicotinoïdes (2018), mais dérogations...
- ❖ **Une évaluation des risques (pré et post AMM) lourde mais perfectible (OPECST)**
- ❖ **Une large gamme de pesticides utilisés en France :** 325 substances actives et 2340 spécialités commerciales (EU pesticide database et E-Phy)
- ❖ **Des tonnages utilisés qui augmentent malgré Ecophyto(s) :** 73000 T et 2,7 kg/ha (CGDD 2018) : + 12 % en 2014-2016 par rapport à 2009-2011

Une présence des pesticides dans tous les milieux

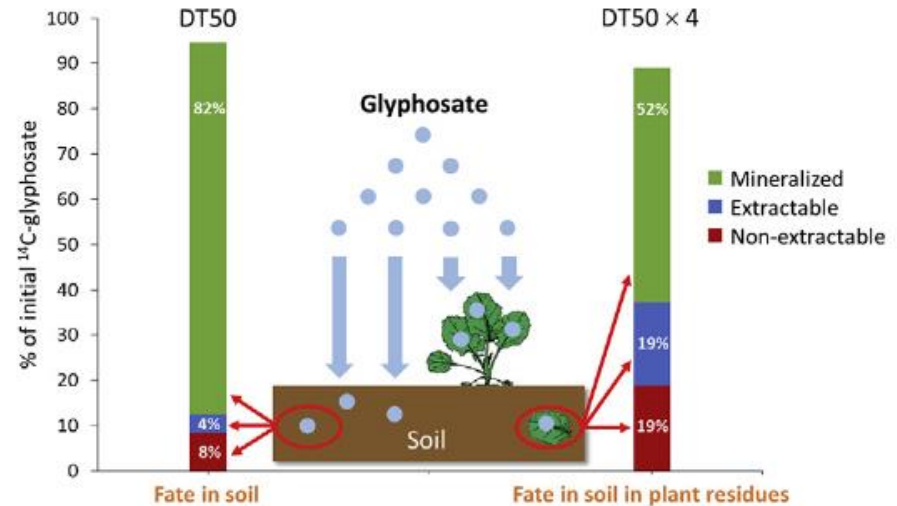


Dégradation ou stabilisation ?

❖ Dégradation et stabilisation



❖ Impact des résidus végétaux

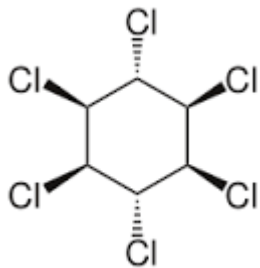
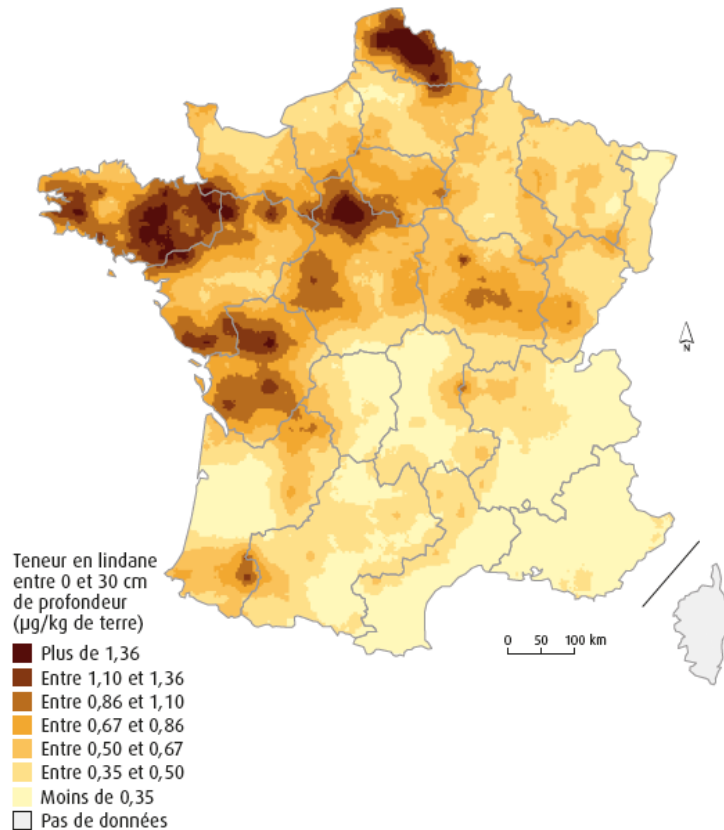


Mamy et al., Chemosphere, 2016

- Une fraction $\pm$ importante du pesticide apporté se stabilise dans le sol au cours du temps
- La répartition dégradation/stabilisation est variable

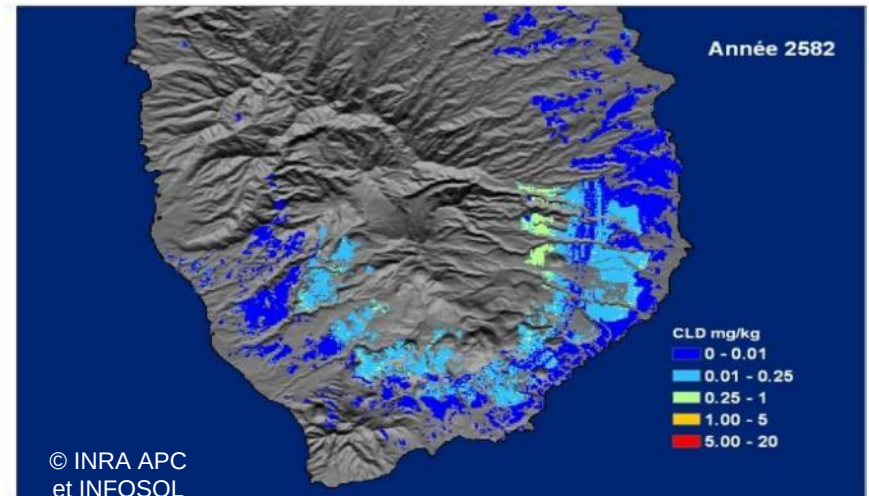
La gestion du passé

❖ Le lindane en métropole



Source : Gis Sol, RMQS, 2013. Traitements : SOeS, 2013

❖ Le chlordécone aux Antilles



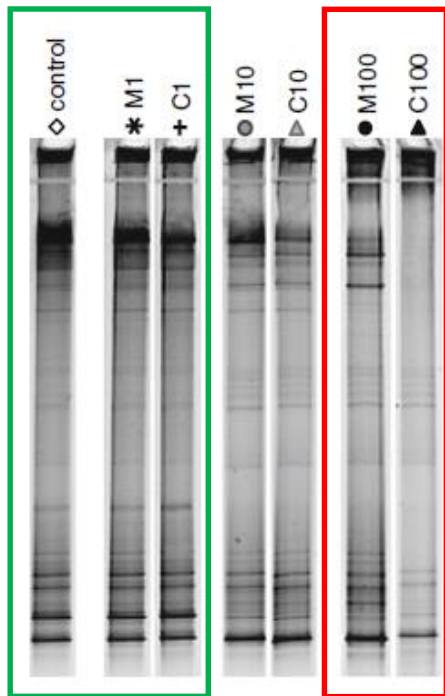
➤ La contamination des sols est durable

Les effets : études au laboratoire

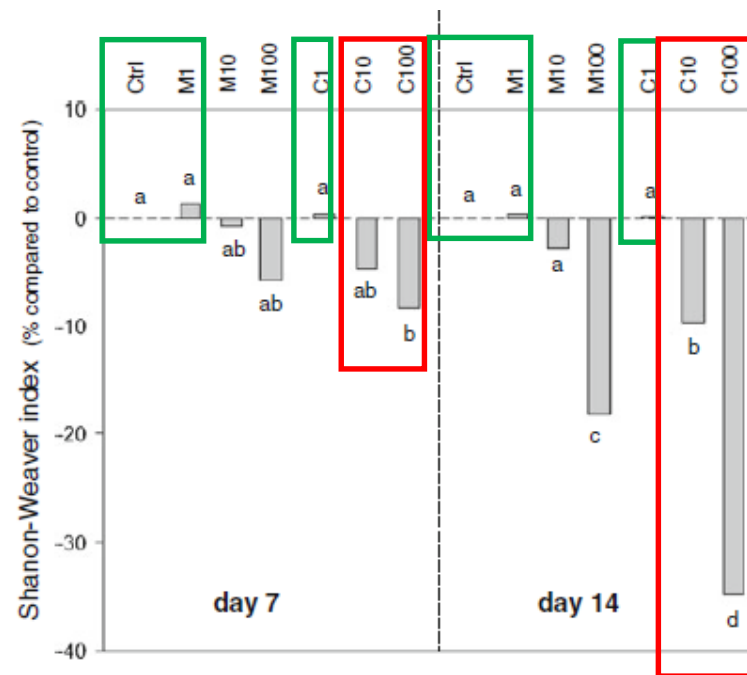
Effets sur les communautés de cyanobactéries

❖ Mésotrione (M) et Callisto (C) à 1, 10 et 100 x Dose Agronomique

■ Empreinte DGGE (14 jours)



■ Indice de diversité

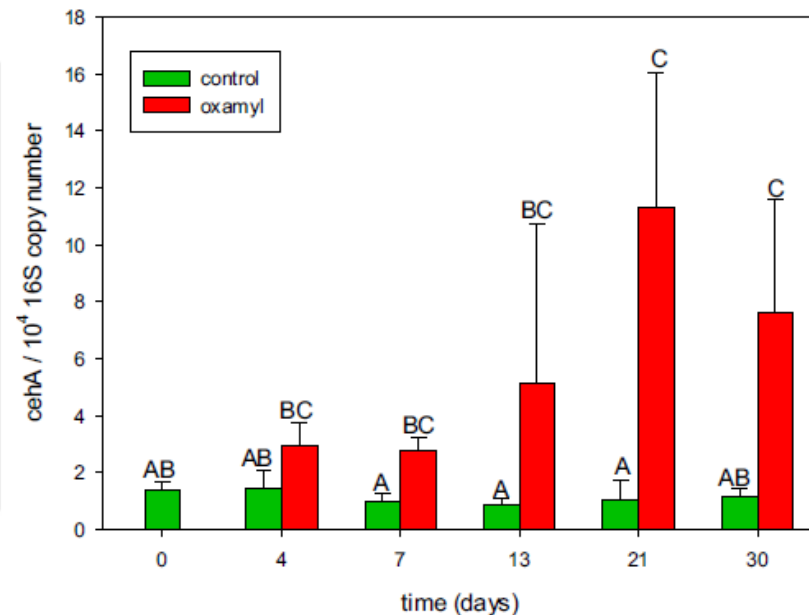
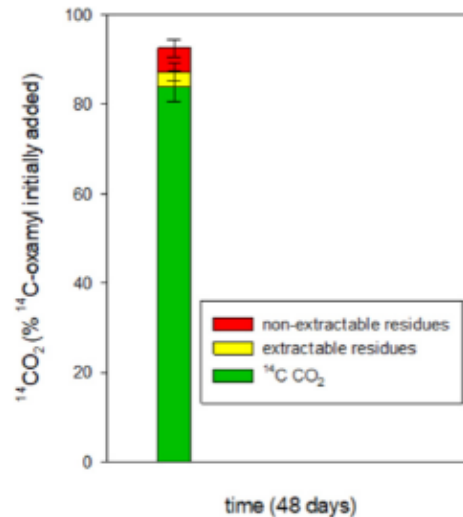
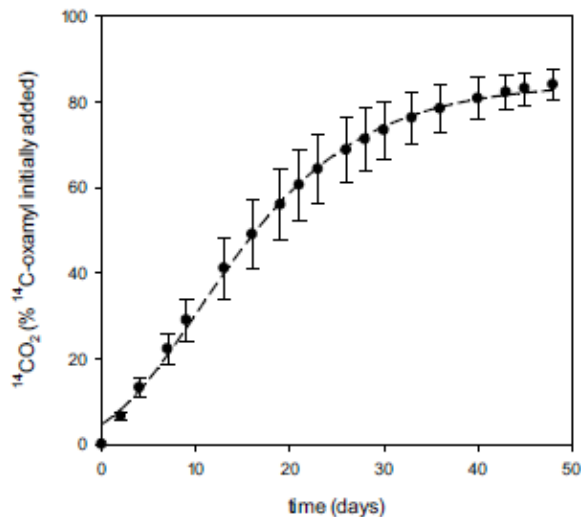


- Traités : 1 DA : pas d'effet, 10 et 100 DA : effet négatif sur la diversité
- Traités : effets plus intenses de la préparation commerciale

Une adaptation de la microflore

❖ Biodégradation accélérée de l'oxamyl

- Hypothèse : acquisition ou augmentation de la capacité de dégradation



- La minéralisation de l'oxamyl est importante
- L'abondance relative des microorganismes dégradant l'oxamyl est concomitante à la cinétique de minéralisation du nématicide
- Le sol s'adapte à la dégradation du nématicide

Une adaptation de la microflore

❖ PICT (Pollution-Induced Community Tolerance)

Blanck et al., 1988; Baath et al., 1992

1 - Echantillons prélevés au champ présentant différents niveaux/passifs de contaminations

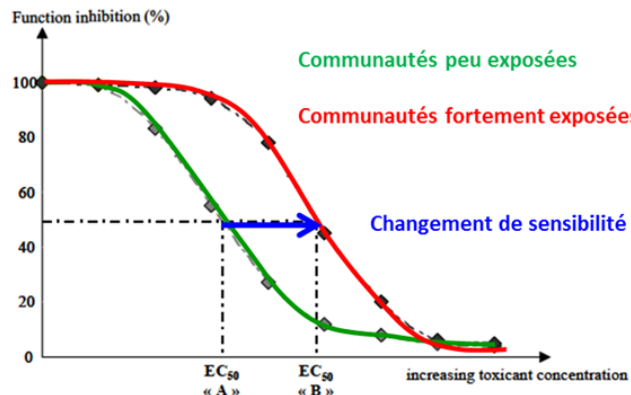
pressions de
sélection

Non contaminé

Contaminé

Hypothèse: modification des communautés microbiennes

2 - Analyses au laboratoire des réponses effet – dose d'une activité ou un processus microbien



$$CE_{50} < CE_{50}$$

→ **Communautés B** plus tolérantes au contaminant testé que **communautés A**

➤ Acquisition de tolérance

Une adaptation de la microflore

❖ PICT (Pollution-Induced Community Tolerance) : exemple de l'isoproturon

Incubation sur 14 jours

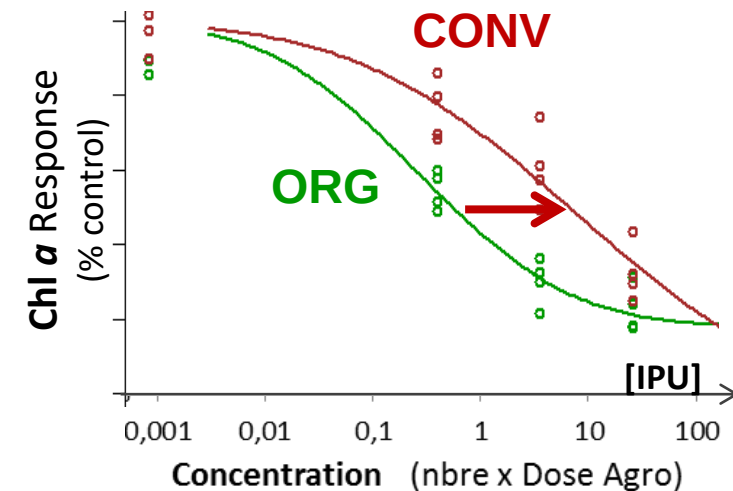
Ctrl 0,3x 1xDA 3x 10x



BIOLOGIQUE

Gradient de contaminant : Dose agronomique IPU

CONVENTIONNEL



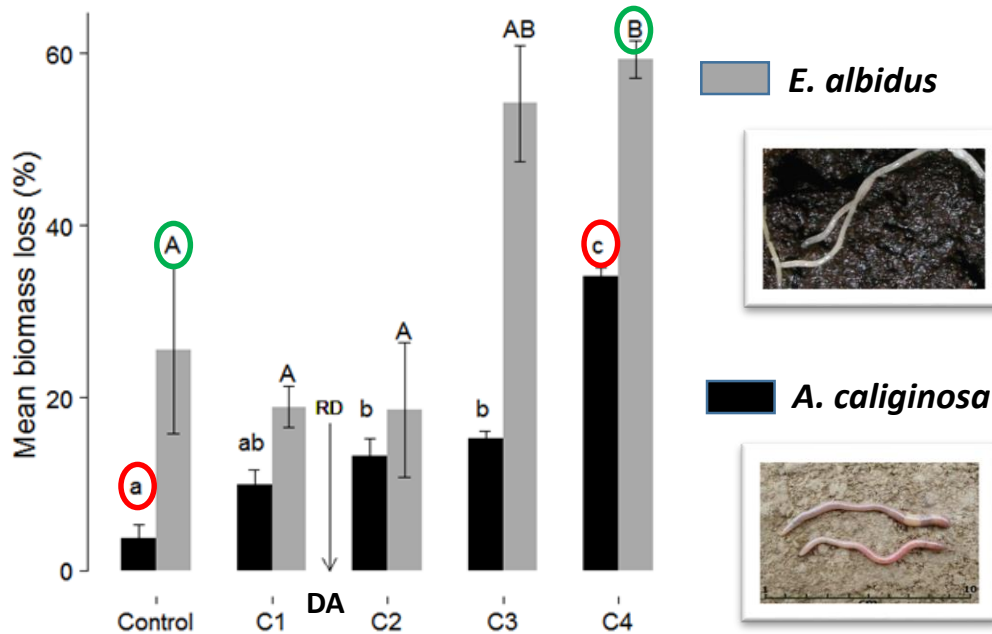
$EC_{50} \text{ Bio} < EC_{50} \text{ Conv}$

➤ Acquisition de tolérance à l'IPU dans le SdC conventionnel

Effets de fongicides sur les annélides

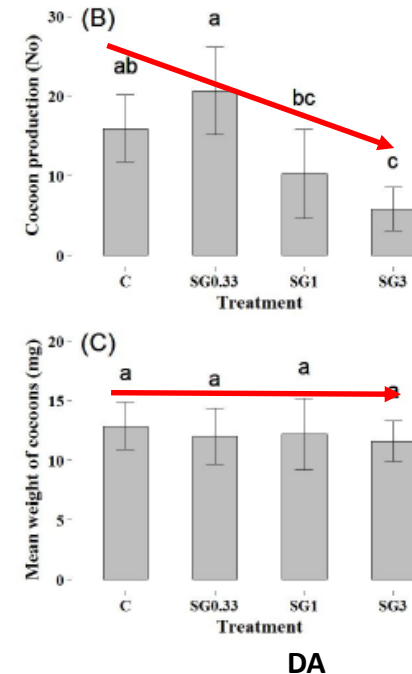
❖ Le Cuprafor

(oxychlorure de cuivre)



❖ Le Swing Gold

(dimoxytrobine + époxiconazole)

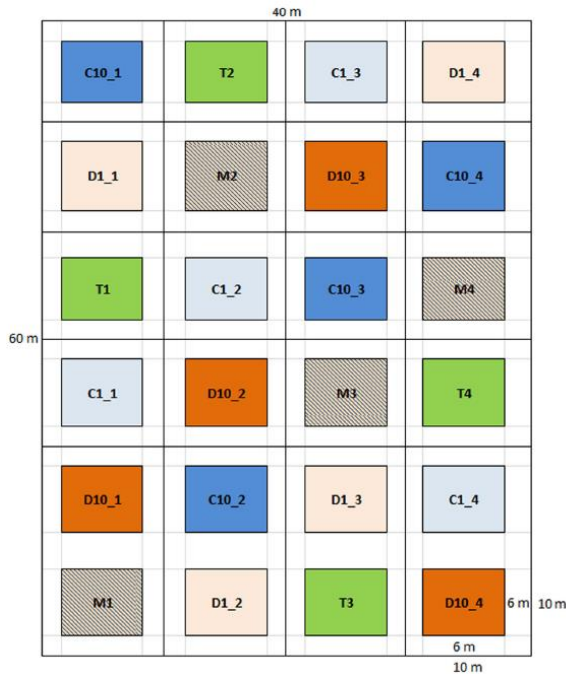


- Pas de mortalité durant les 14 jours d'exposition
- Perte significative de biomasse pour les 2 espèces exposées
- Vers de terre plus sensibles que les enchytréides
- Impact sur la production de cocons de *A. caliginosa* à la DA
- Pas d'effet sur le poids des cocons

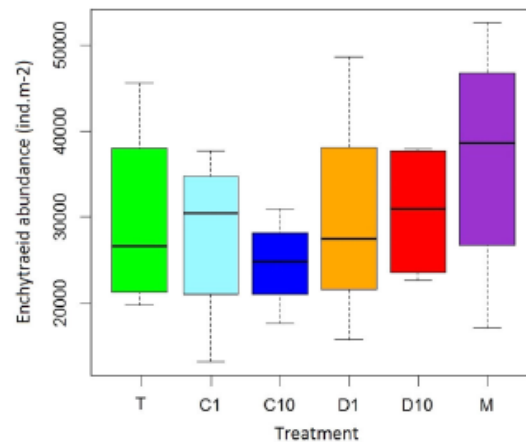
Les effets : études à la parcelle

Effet des fongicides sur les annélides (densité)

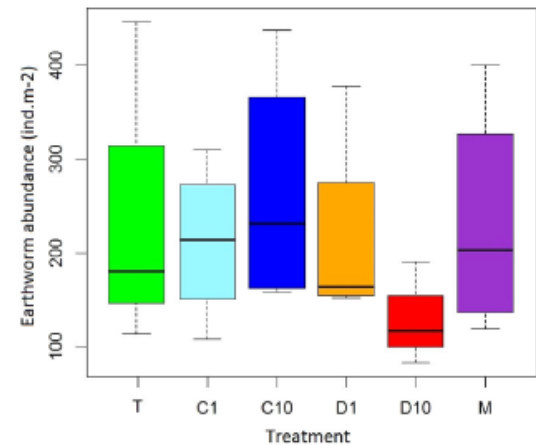
❖ Cuprafor (C), Swing Gold (D) et mélange (M) à 1 et 10 x Dose Agronomique



■ Enchytréides



■ Vers de terre



- Pas de différence significative entre les traitements sur la densité d'animaux
- Une différence sur les métriques de diversité pour les VdT à D10 et M (épigés et anéciques)

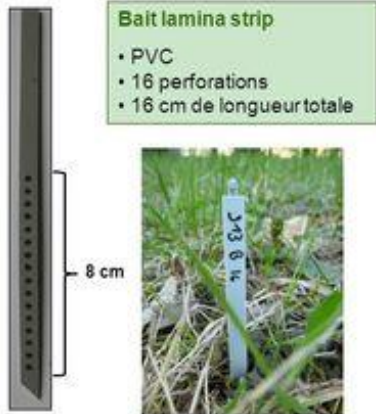
Effet des fongicides sur les annélides (activité)

❖ Cuprafor (C), Swing Gold (D) et mélange (M) à 1 et 10 x Dose Agronomique

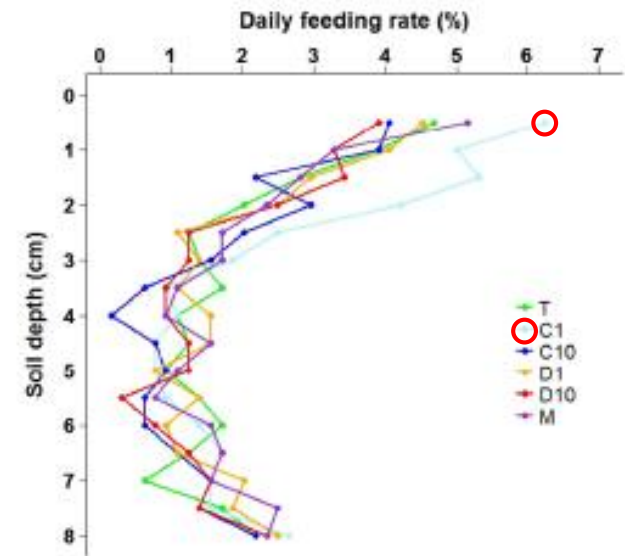
Bait Lamina - Principe de la méthode

Mesure fonctionnelle de l'écosystème sol

- Activité biologique des organismes du sol mesurée par la dégradation de la matière organique



Centre Ecotox Suisse



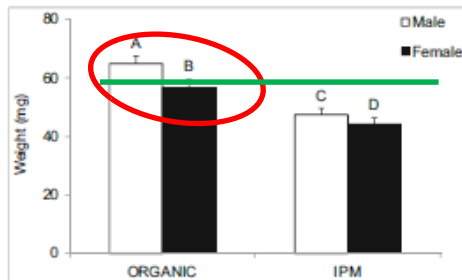
➤ Pas de différence significative entre les traitements sur l'activité d'alimentation

Effet sur les insectes (morphologie)

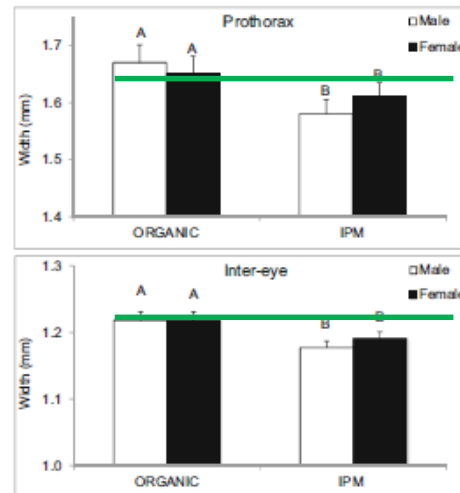


❖ Vergers en Bio (organic) ou gestion intégrée (IPM) : *F. auricularia*

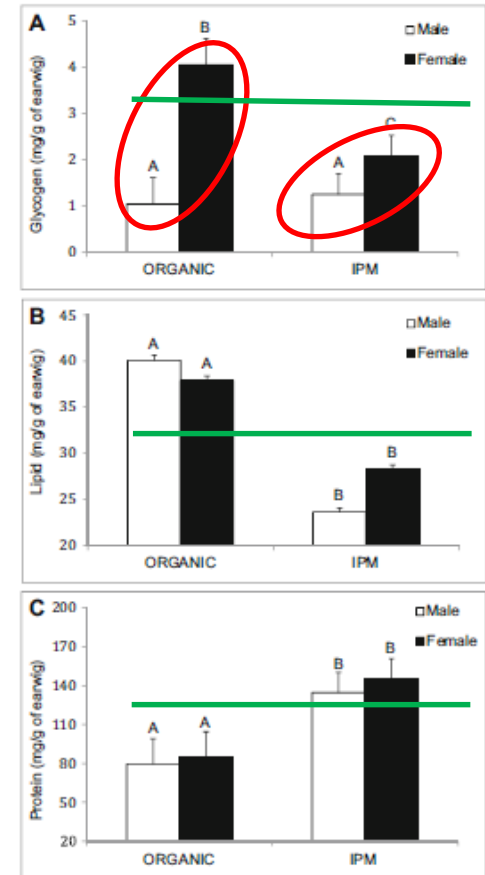
■ Poids



■ Morphométrie



■ Réserves énergétiques

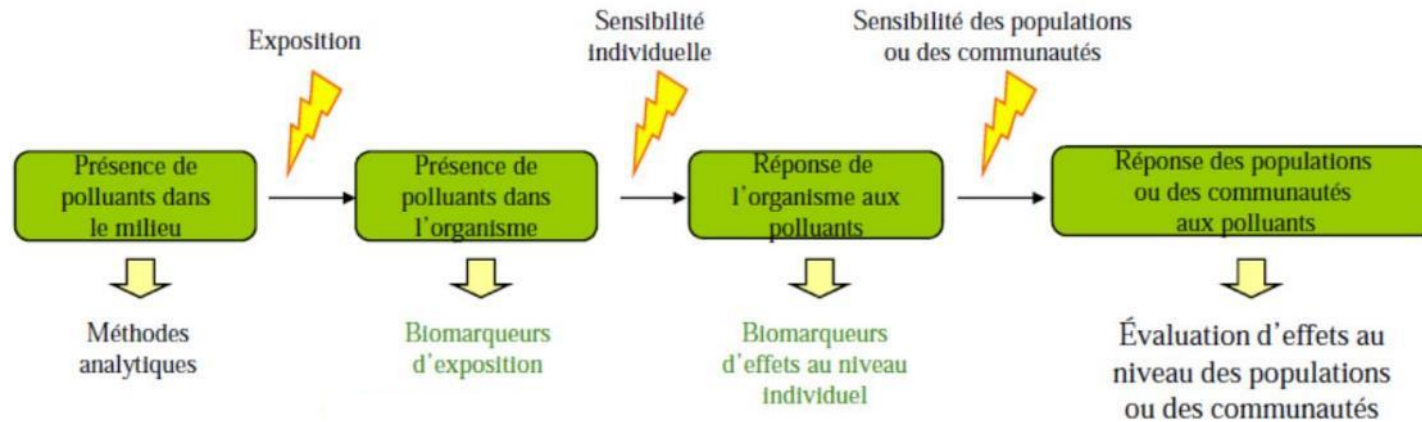


- Les pratiques de gestion des vergers peuvent conduire à des modifications des paramètres biochimiques et morphométriques chez les invertébrés, en fonction du sexe, avec des conséquences sur la dynamique des populations
- Et les traits fonctionnels ?

Quelques pistes pour la recherche

Plus de pertinence agro-écologique

❖ Considérer le changement d'échelle biologique



❖ Reconsidérer les espèces modèles (invertébrés et vertébrés)

- Jouent un rôle particulier dans l'écosystème, et ont une représentativité écologique
- Doivent permettre de dépasser le réductionnisme inhérent aux modèles classiques pour décrire des mécanismes universels

❖ Développer une écotoxicologie plus intégrative

- Observation *in natura* / expérimentation (manipulation de facteurs) / modélisation (intégration des connaissances et généralisation des résultats)
- Chaîne pression / exposition / impact

Proposer des espèces modèles représentatives des agrosystèmes

Store > Catalogue de normes > Explorer par ICS > 13 > 13.080 > 13.080.30 > ISO 11268-2:2012

ISO 11268-2:2012

Prévisualiser

Qualité du sol -- Effets des polluants vis-à-vis des vers de terre -- Partie 2: Détermination des effets sur la reproduction de *Eisenia fetida*/*Eisenia andrei*

Chemosphere 90 (2013) 895–900



ELSEVIER

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Chemosphere

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



Review

Searching for a more sensitive earthworm species to be used in pesticide homologation tests – A meta-analysis

C. Pelosi^{a,*}, S. Joimel^{b,c}, D. Makowski^{d,e}

Environmental Science and Pollution Research (2018) 25:33867–33881

<https://doi.org/10.1007/s11356-018-2579-9>

ECOTOX, NEW QUESTIONS FOR TERRESTRIAL AND AQUATIC ECOTOXICOLOGY



Aporrectodea caliginosa, a relevant earthworm species for a posteriori pesticide risk assessment: current knowledge and recommendations for culture and experimental design

Sylvain Bart¹  • Joël Amossé¹ • Christopher N. Lowe² • Christian Mougin¹ • Alexandre R. R. Péry¹ • Céline Pelosi¹

Normaliser des méthodes de caractérisation biologique (mesure, modélisation...) pour l'évaluation du risque

- ❖ ISO11263:2012 - Méthode pour extraire directement l'ADN d'échantillons de sol > en révision
- ❖ ISO21130:2018 - Mesure de l'activité enzymatique dans des échantillons de sol en utilisant des substrats colorimétriques
- ❖ ISO 11268-2:2012 - Effets des polluants sur les vers de terre - Partie 2 : Détermination des effets sur la reproduction d'*Eisenia fetida*/*Eisenia Andrei* > en révision
- ❖ ISO 18400-206:2017 - Échantillonnage - Partie 206: Lignes directrices pour la collecte, la manipulation et la conservation de sols destinés à l'évaluation de paramètres biologiques fonctionnels et structurels en laboratoire



Initiative en éco-toxicologie pour suivre, comprendre et réduire les impacts des pesticides dans les socio-agro-écosystèmes

❖ Les ambitions

- Promouvoir une recherche transversale et intégrée pour suivre, comprendre et atténuer les impacts environnementaux (et sanitaires) des pesticides et biocides,
- Analyser la chaîne “pressions-expositions-impacts” en coordonnant et en intégrant l’observation et l’expérimentation *in natura* en écotoxicologie et toxicologie,
- Partager au sein des partenaires une culture commune autour de l’écotoxicologie.

❖ Un projet scientifique et un réseau de sites

❖ Une plus-value en écotoxicologie apportée aux infrastructures de recherche RZA, OZCAR et AnaEE-France

❖ Une animation scientifique (AMIs...)

❖ Une implication dans la phytopharmacovigilance



RESCAPE



PING

L'écotoxicologie du paysage

**RESistance of agricultural landSCAPEs
to pesticide transfers in soils and living organisms**

**Pratiques agricoles, Interactions avec le paysage et
exposition de la faune au Glyphosate :
une approche écotoxicologique et socio-économique**

Evaluer l'impact des caractéristiques du paysage (composition et configuration) et des pratiques phytosanitaires sur la biodiversité et la résistance des paysages aux transferts de pesticides dans les sols et dans les organismes vivants



PING

Matériel et méthodes

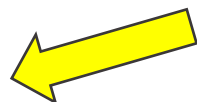
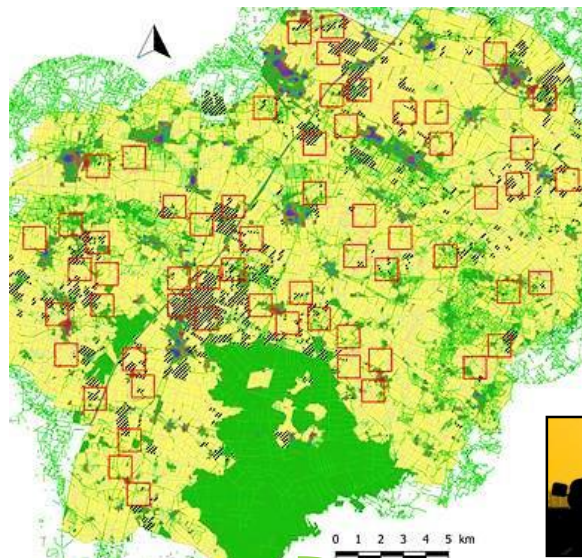


Zones Ateliers
LTSER FRANCE PLAINE ET VAL DE SÈVRE

60 (2016) + 40 (2018) fenêtres 1km²

3 gradients paysagers :

- % éléments arborés
- % prairie
- % **AB**
- + calcul métriques agencement spatial
- Enquêtes pratiques



Haie / bosquet



Blé



Prairie



+ communautés microbiennes des sols (PING)



Premiers résultats



INSTITUT DES
SCIENCES
ANALYTIQUES

31 molécules recherchées



LUXEMBOURG
INSTITUTE
OF HEALTH
RESEARCH DEDICATED TO LIFE

69 molécules recherchées

n = 180

SOL



n = 155

VERS DE
TERRE



n = 146

CARABES



n = 77

MICRO-
MAMMIFÈRES



Au moins 1 molécule détectée dans

100% des échantillons
9 ± 4 molécules/éch.

92% des échantillons
4 ± 2 molécules/éch.

75% des échantillons
3 ± 2 molécules/éch.

100% des échantillons
32 ± 4 molécules/éch.

Principales molécules détectées - Insecticides, Herbicides, Fongicides

Éléments de conclusion

- ❖ **Beaucoup d'information « fragmentée » obtenue dans des conditions expérimentales « simples », ? peu de synthèses ou de méta-analyses !**
- ❖ **Pas de relation simple et systématique entre stressseurs (chimiques) et impacts biologiques : regarde-t-on les bons mécanismes (directs, indirects) et les bonnes concentrations (hormèse)**
- **Repenser l'écotoxicologie dans le contexte de l'agroécologie : associer écotoxicologues, agronomes, écologues**
- **Traiter la question cruciale des multi-expositions : expositions répétées, mélanges, stressseurs variés**
- **Mieux étudier la résistance et la résilience des communautés**
- **Développer pour les sols et leurs organismes les approches évoquées par Thierry**
- **Se placer dans un contexte de santé globale**
- **Pesticides, mais aussi diversité de contaminants : valorisation des MAFOR, plastiques...**



Merci pour votre attention !



Contact

christian.mougin@inra.fr

