



8èmes Rencontres du RMT Quasaprove « Recherche appliquée, Formation & Transfert »



Acteurs et indicateurs d'activité biologique des sols : les vers de terre

Céline PELOSI, *INRA (UMR ECOSYS)*



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION
avec la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
« Développement agricole et
rural »



Ecologie
Fonctions des organismes du sol



Master, stages écologie du sol





Ecologie
Fonctions des organismes du sol

Agroécologie
Pratiques et SdC



Master, stages écologie du sol

2005 – 2008 : Doctorat





Ecologie
Fonctions des organismes du sol

Agroécologie
Pratiques et SdC

Ecologie du paysage
Environnement parcellaire



Master, stages écologie du sol



2005 – 2008 : Doctorat



2008 – 2010 : Post-doctorat





Ecologie
Fonctions des organismes du sol

Agroécologie
Pratiques et SdC

Ecologie du paysage
Environnement parcellaire

Ecotoxicologie
Contaminants (pesticides)



Master, stages écologie du sol



2005 – 2008 : Doctorat



2008 – 2010 : Post-doctorat



2011 – 2015 : Chargée de recherche en
écotoxicologie terrestre (INRA Versailles)



8èmes rencontres « Recherche Appliquée, Formation et Transfert » du RMT Quasaprove
14 décembre 2017, Surgères





Biologie des lombriciens



Intérêt et fonctions des lombriciens

Effet des pratiques culturales et des systèmes de culture





Biologie des lombriciens



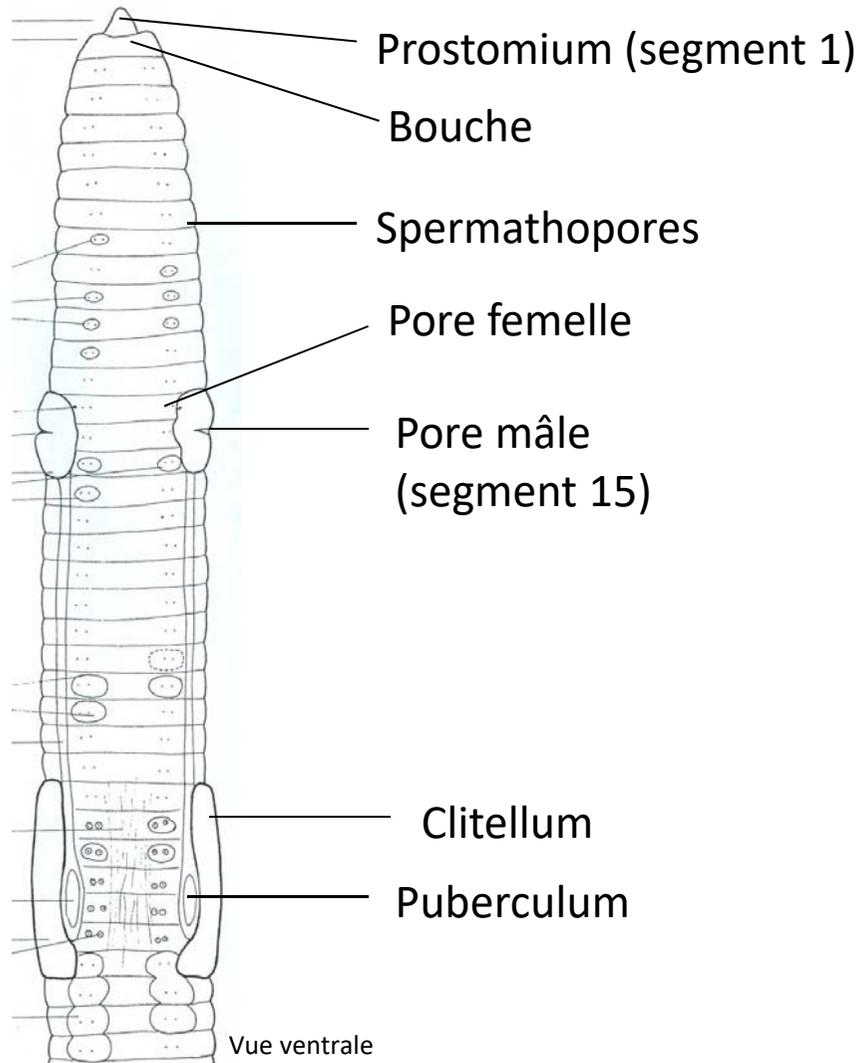
Intérêt et fonctions des lombriciens

Effet des pratiques culturales et des systèmes de culture



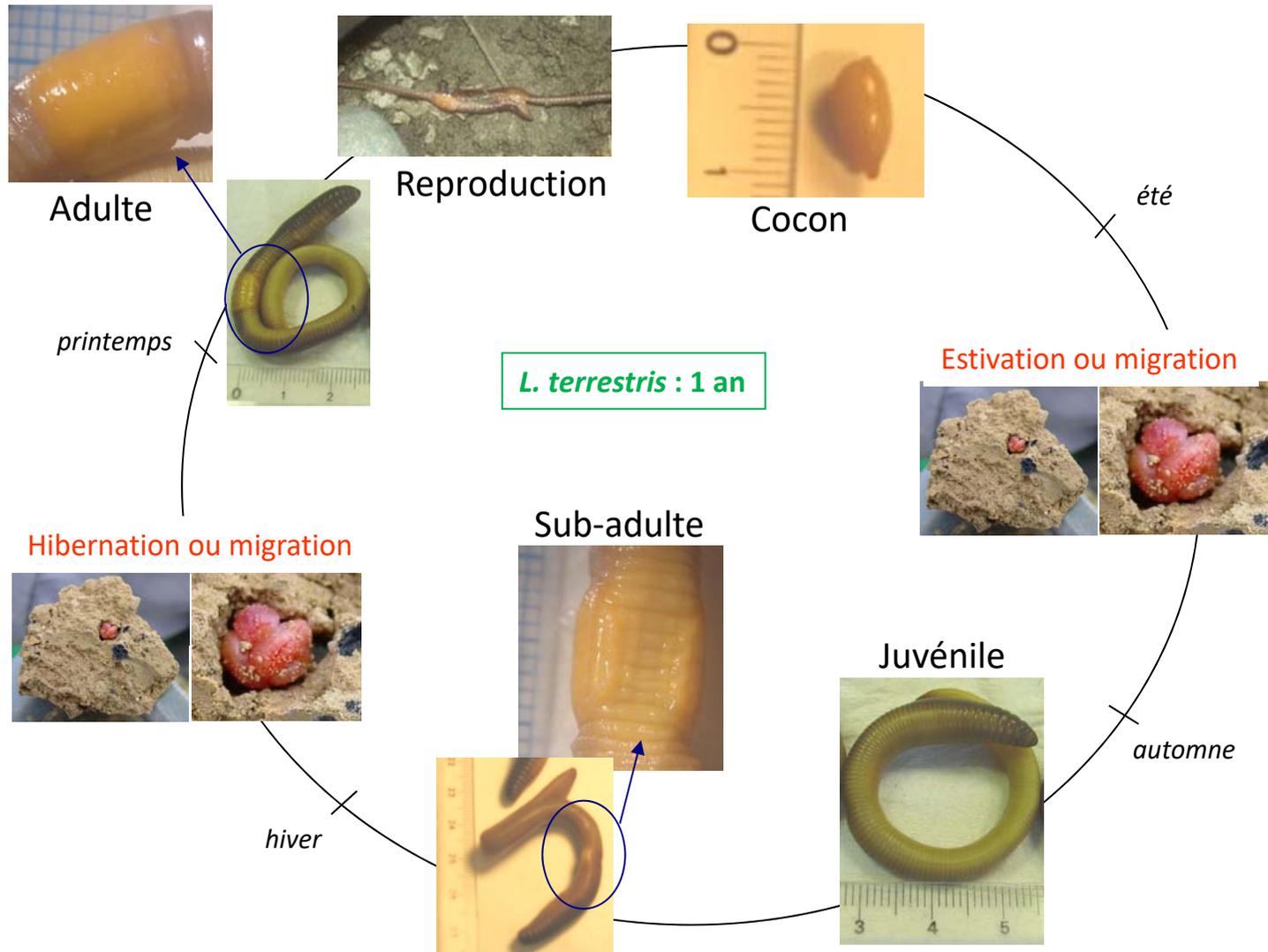


**Annélides oligochètes :
corps annelé, faible nombre
de soies**



**5000 espèces dans le Monde
150 en France,
dont une 15n très communes**





Respiration cutanée → nécessité d'avoir l'épiderme humide

Pas de mécanisme de résistance aux pertes en eau

=> **arrêt d'activité** dès que les conditions sont défavorables

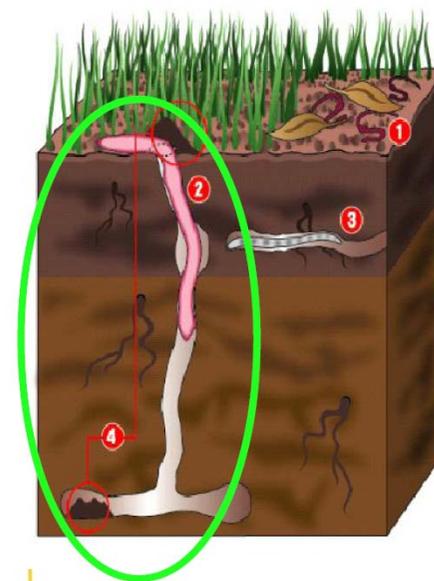
Les catégories écologiques ANECIQUES

Taille : grande (10-100cm)

Couleur : gradients (tête colorée : rouge
– gris foncé)

Mode de vie:

- Dans le sol
- Se nourrissent de MO +/- dégradée
- Galeries : verticales et permanentes avec une ouverture à la surface
- Déjections sur parois galeries et à la surface (turricules)



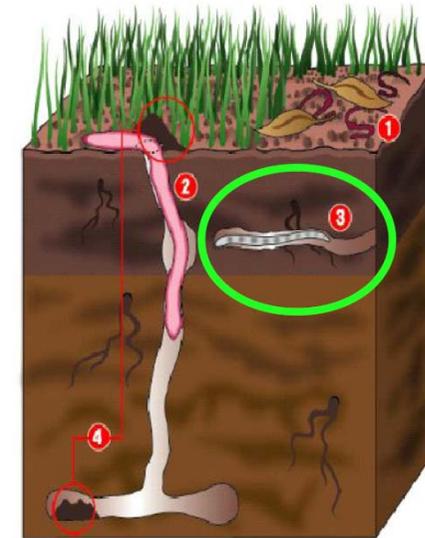
Lumbricus terrestris



Apporectodea giardi

Les catégories écologiques ENDOGES

- Taille : moyenne (3-16 cm)
Couleur : sans (rosé/gris clair)
Mode de vie :
- Dans le sol
 - Se nourrissent de MO +/- dégradée (contenue dans la fraction minérale du sol)
 - Galeries : horizontales et temporaires



Aporrectodea caliginosa



Aporrectodea icterica

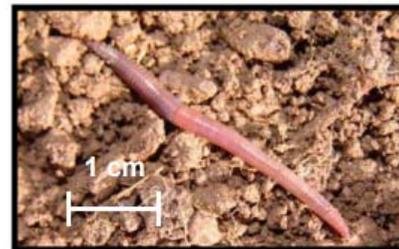
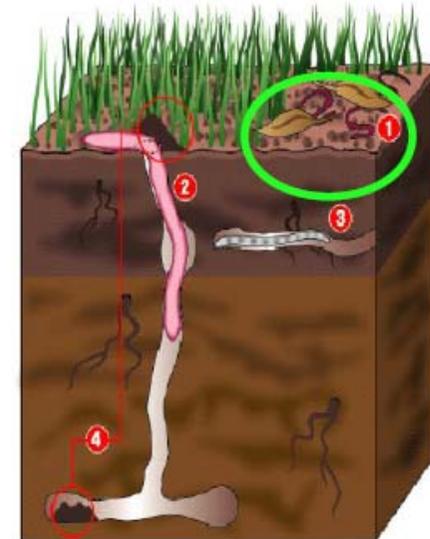
Les catégories écologiques EPIGES

Taille : petite (1-8 cm)

Couleur : rouge sombre

Mode de vie :

- En surface (litière + 1 ers cm du sol)
- Se nourrissent de MO qu'ils fractionnent
- Pas de galeries



Lumbricus castaneus



Dendrobaena octaedra



Biologie des lombriciens



Intérêt et fonctions des lombriciens

Effet des pratiques culturales et des systèmes de culture





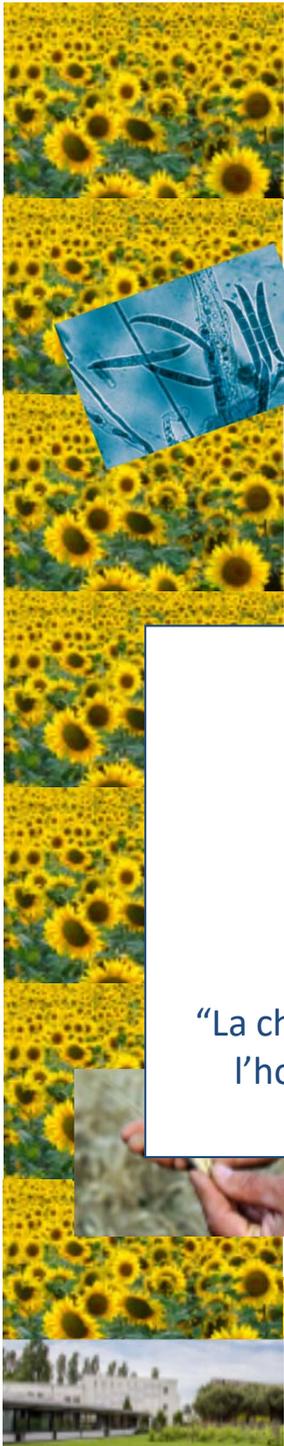
Fonctions agroécologiques nécessaires à la durabilité



Rôle sur l'évolution:

- de la structure du sol : aération sol, pénétration de l'eau
- de la matière organique (éléments assimilables par les plantes et les microorganismes): enrichissement en nutriments, enfouissement de la MO





Une fonction de « laboureur » connue de longue date...

Darwin (1881)

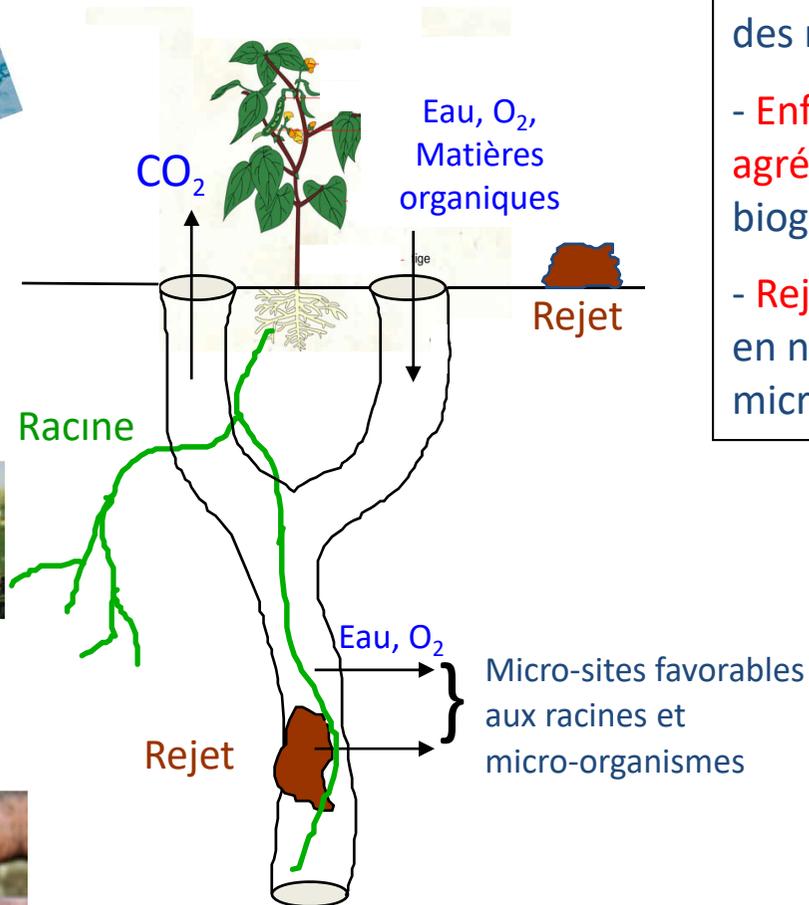
« Rôle des vers de terre
dans la formation de la terre végétale »

“La charrue est l’une des inventions les plus anciennes et les plus précieuses de l’homme; mais longtemps avant son existence, la terre était régulièrement labourée et continue d’être labourée par des vers de terre”.



Exemple : anéciques

- **Galeries** : transferts d'eau et d'air, pénétration des racines.
- **Enfouissement de la matière organique, agrégation** : participation aux cycles biogéochimiques.
- **Rejets** : création de sites favorables (enrichis en nutriments disponibles) aux racines et aux micro-organismes.



+ effets indirects

(Blouin *et al.*, 05; Ortiz-Ceballos *et al.*, 07)

Ver tropical + culture pois
=> rendement culture maïs ↑



Fonctions agroécologiques nécessaires à la durabilité



Rôle sur l'évolution:

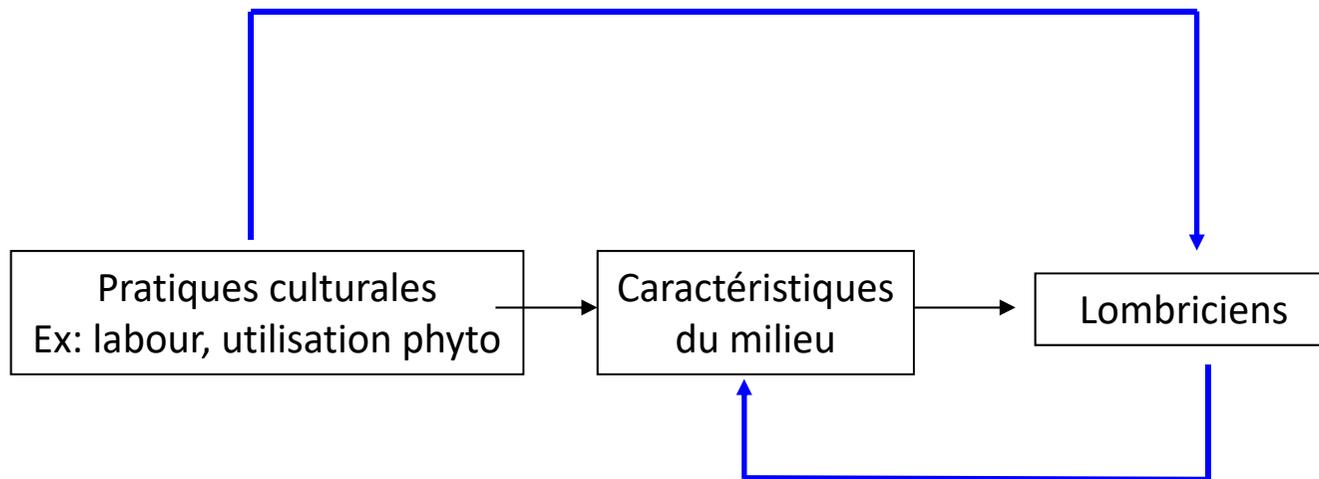
- de la structure du sol : aération sol, pénétration de l'eau
- de la matière organique (éléments assimilables par les plantes et les microorganismes): enrichissement en nutriments, enfouissement de la MO



Indicateurs

**Indicateur biologique de la qualité du sol et de la biodiversité
+ indicateur d'impact environnemental des systèmes de culture**

Espèce ou un groupe d'espèces dont la présence (ou l'état) renseigne sur certaines caractéristiques écologiques de l'environnement, ou sur l'incidence de certaines pratiques.





Biologie des lombriciens



Intérêt et fonctions des lombriciens

Effet des pratiques culturales et des systèmes de culture



Quelques chiffres...

- Densité : de 1000 à 20 vers/m²

Prairie > forêt (feuillus) > arboriculture, vignes et grandes cultures

- Diversité : de 1 à 16 espèces et souvent 2 à 6



Quelques chiffres...

- Densité : de 1000 à 20 vers/m²

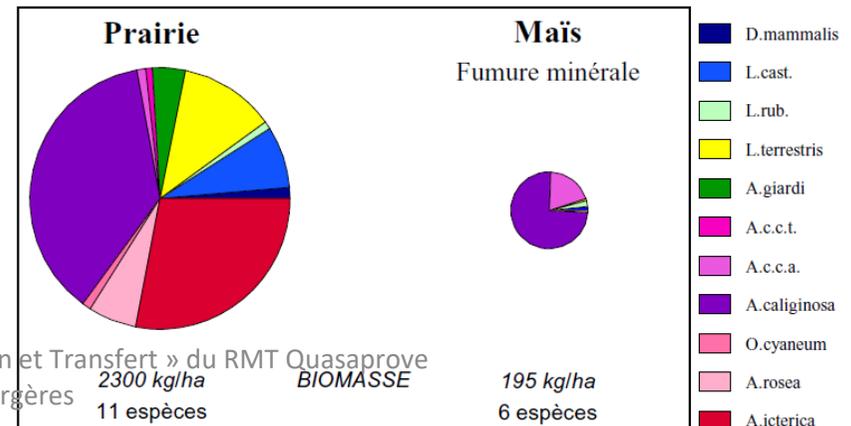
Prairie > forêt (feuillus) > arboriculture, vignes et grandes cultures

- Diversité : de 1 à 16 espèces et souvent 2 à 6
- Prairie permanente non traitée :
 - 10n d'espèces
 - 150 - 400 vers/m² => 1,5 - 4 millions vers/ha => 1 - 3 t vers/ha
 - 250 - 400 tonnes de sol ingéré/ha/an
 - 4000 - 5000 km galeries creusées/ha

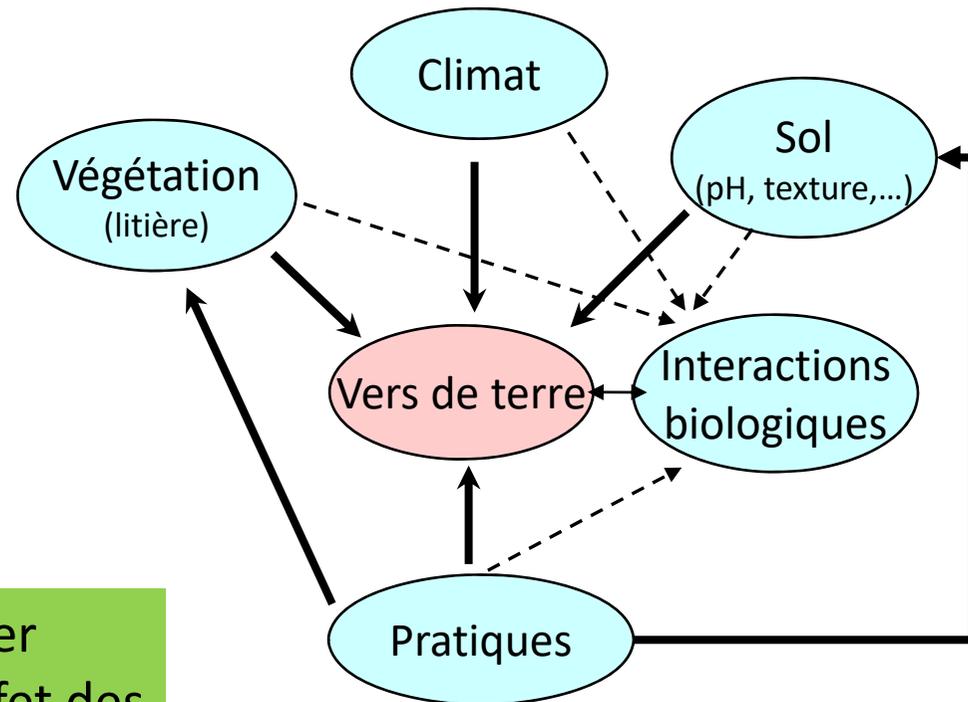


Quelques chiffres...

- Densité : de 1000 à 20 vers/m²
Prairie > forêt (feuillus) > arboriculture, vignes et grandes cultures
- Diversité : de 1 à 16 espèces et souvent 2 à 6
- Prairie permanente non traitée :
 - 10n d'espèces
 - 150 - 400 vers/m² => 1,5 - 4 millions vers/ha => 1 - 3 t vers/ha
 - 250 - 400 tonnes de sol ingéré/ha/an
 - 4000 - 5000 km galeries creusées/ha
- Pratiques en interaction :
 - Perturbation physique (labour)
 - Produits phytosanitaires
 - Réduction matière organique
 - Irrigation
 - Fertilisation (organique)



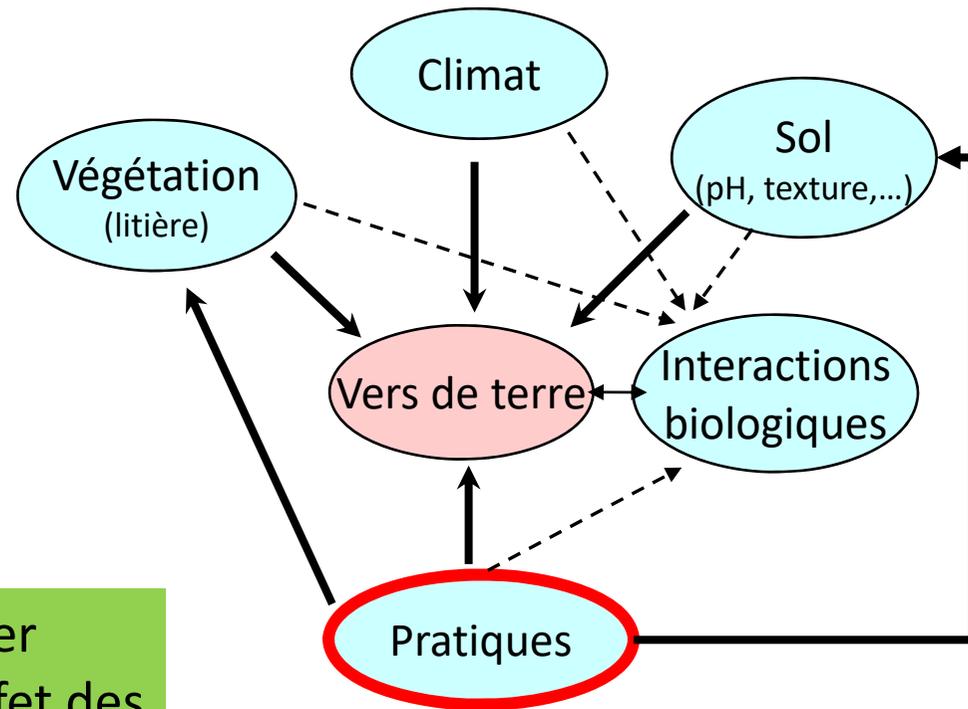
Facteurs influençant les communautés de vers de terre



Difficile d'isoler complètement l'effet des différentes pratiques



Facteurs influençant les communautés de vers de terre



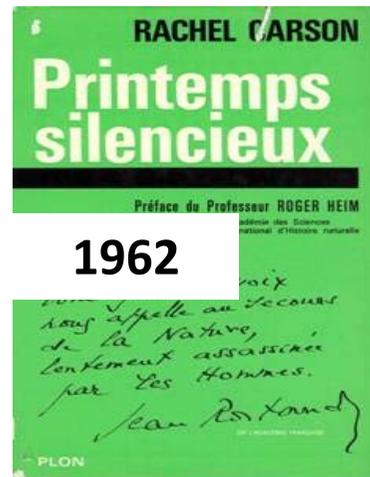
Difficile d'isoler complètement l'effet des différentes pratiques

Travail du sol
Pesticides



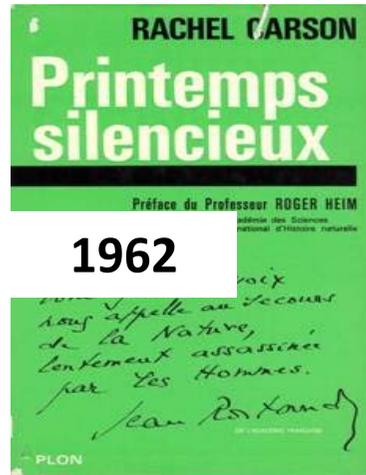


Prise de conscience





Prise de conscience



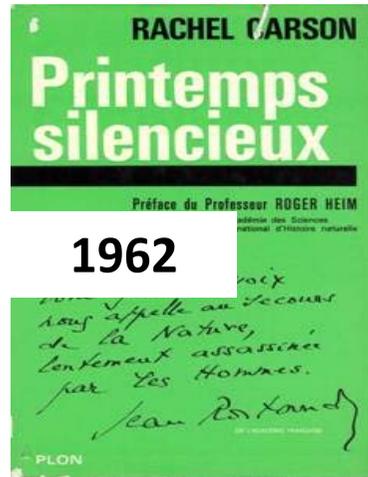
Réglementation pour limiter les impacts

Procédures d'évaluation avant la mise sur le marché





Prise de conscience



1962



Réglementation pour limiter les impacts

Procédures d'évaluation avant la mise sur le marché

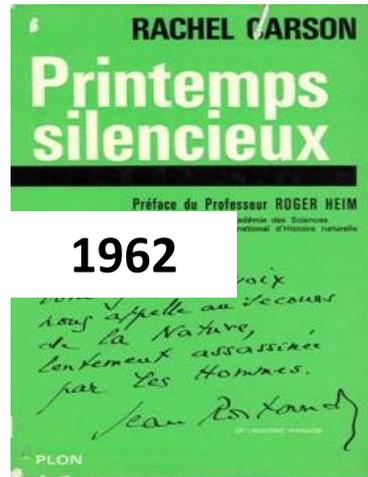


Normes, valeurs de référence
=> évaluateurs





Prise de conscience



Réglementation pour limiter les impacts

Procédures d'évaluation avant la mise sur le marché



Normes, valeurs de référence
=> évaluateurs



Science multidisciplinaire qui intègre la toxicologie et l'écologie

« *Devenir et effets des contaminants sur les organismes biologiques à différents niveaux d'organisation du vivant, de la molécule aux écosystèmes* » (Walker et al. 2012)

L'écotoxicologie héritée des normes



Conditions standardisées



L'écotoxicologie héritée des normes



Conditions standardisées

**Espèces modèles,
adultes,
sols artificiels**



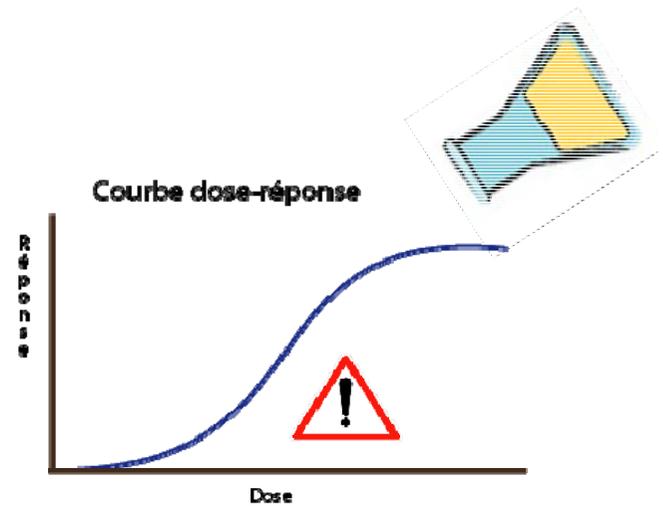
L'écotoxicologie héritée des normes



Conditions standardisées

Espèces modèles,
adultes,
sols artificiels

Doses
importantes,
molécules
pures



L'écotoxicologie héritée des normes



Conditions standardisées

Espèces modèles,
adultes,
sols artificiels

Doses
importantes,
molécules
pures

Tests courts



L'écotoxicologie : « a posteriori » : un lourd héritage des normes



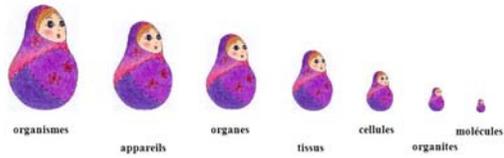
Eisenia fetida (80% des études)

Molécules plus autorisées en Europe

Fortes concentrations

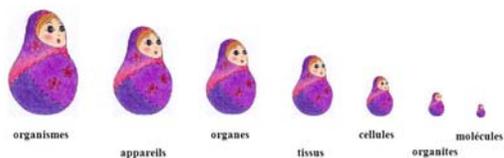
Pesticide	Concentration of pesticide/exposure	Test conditions	Species	Responses
Copper oxychloride (pure)	8.92, 15.92, 39.47, 108.72, 346.85 mg Cu/ kg substrate 56 days	Substrate = Dried, ground, finely sieved cattle manure pH = 7.1 ± 0.2–6.1 ± 0.3 Moisture = 77.6 ± 0.7–78.8 ± 1.1 Temp = 25°C	<i>Eisenia fetida</i> (Freshly hatched earthworms)	Earthworm growth and cocoon production were significantly reduced
Malathion (pure)	80.150, 300, 600 mg/kg soil 1, 5, 15, 30 days	Soil like substrate pH = 6.5, Temp = 21–22°C, Moisture = 50%,	<i>Eisenia fetida</i> (Adults)	Significant reduction in body weight decreased spermatic viability
Acetochlor	5, 10, 20, 40 and 80 mg/kg soil 7, 15, 30, 45 and 60 days (growth) 28 days (reproduction)	OECD artificial soil pH = 6.5, Moisture = 50% Temp = 20 ± 1°C	<i>Eisenia fetida</i> (Adults)	At higher concentrations of acetochlor (20–80 mg/kg growth and numbers of juveniles per cocoon were affected significantly
Chlorpyrifos (pure)	5, 20, 40, 60, 80 mg/kg soil 4 and 8 weeks	OECD artificial soil pH = 6.0 ± 0.5, Moisture = 50% Temp = 20°C	<i>Eisenia fetida</i> (Adults)	Adverse impact on growth and reproduction
Cypermethrin (pure)	5, 10, 20, 40, 60 mg/kg soil 4 and 8 weeks	OECD artificial soil pH = 6.0 ± 0.5, Moisture = 50% Temp = 20°C	<i>Eisenia fetida</i> (Juveniles)	Significant reduction in cocoon production Juveniles more sensitive than adults
Benomyl (pure)	0.32, 1.0, 3.2, 10, 32 mg/kg soil 56 days	OECD artificial soil Temp = 20 ± 2°C pH = 6.1 Moisture = 56% LUF A 2.2 pH = 6.1 Temp = 20 ± 2°C Moisture = 50% Tropical artificial soil Temp = 28 ± 2°C pH = 6.6 Moisture = 47% Tropical natural soil, Brazil pH = 3.9 Temp = 28 ± 2°C Moisture = 40%	<i>Eisenia fetida</i> (Adults)	Toxicity of benomyl was lower in tropical than temperate artificial soils No reproduction in tropical natural soil due to low pH





Mécanismes aux niveaux infra-individuel et individuel conduisant à des effets sur la dynamique de population et au-dessus





Mécanismes aux niveaux infra-individuel et individuel conduisant à des effets sur la dynamique de population et au-dessus



Espèces présentes en conditions naturelles

Sol naturel

Doses réalistes

Formulations commerciales:

- Représentatives des usages en grande culture céréalière
- Effets potentiels (valeurs toxiques de référence – dose recommandée)

Niveau infra-individuel, individuel

Différentes concentrations

Table 1 Effects of pesticides authorised in Europe on earthworms in infra-indi

Reference	Species	Studied biomarkers	Authorised active substance	Family	Action	Concentrations	Main results
Booth et al. (2001b)	<i>Aporrectodea caliginosa</i>	NRRT assay	Chlorpyrifos and diazinon	Organophosphate	Insecticide	In laboratory and semi-field (earthworms in mesocosms in a field sprayed with the pesticides)	NRRT reduced following exposure to chlorpyrifos or diazinon even at field rates
Booth and O'Halloran (2001)	<i>A. caliginosa</i>	ChE activity, glutathione-S-transferase activity, NRRT assay growth and cocoon production	Chlorpyrifos and diazinon	Organophosphate	Insecticide	Diazinon—12 mg kg ⁻¹ Chlorpyrifos—4 mg kg ⁻¹	ChE activity and NRRT were more sensitive than growth in each age group for detecting exposure to the pesticides. Growth and cocoon production more sensitive when earthworms were exposed as juveniles
Casabé et al. (2007)	<i>Eisenia andrei</i>	Avoidance behaviour ISO N 281 (2004), reproduction (ISO 11268-2 (1998), NRRT assay and Comet assay	Chlorpyrifos and glyphosate	Organophosphate Phosphonoglycine	Insecticide Herbicide	Nominal concentration recommended for soya crops	Reproduction and avoidance tests sensitive indicator of glyphosate exposure. NRRT and Comet assays revealed alterations at sub-cellular levels
Denoyelle et al. (2007)	<i>Allolobophora chlorotica</i>	ChE activity	Field study		Pesticides	In situ	Although ChE activity significantly decreased in earthworms from treated orchards, results illustrate the difficulty in obtaining reference values for the use of ChE as a biomarker in field studies
Dittbrenner et al. (2011)	<i>Eisenia fetida</i> , <i>A. caliginosa</i> and <i>Lumbricus terrestris</i>	Body mass and histopathologie	Imidacloprid		Insecticide	0.2, 0.66, 2 and 4 mg kg ⁻¹ dry weight	Body mass changes in <i>E. fetida</i> and <i>A. caliginosa</i> . Histological changes after 24 h of exposure at the lowest concentration
Dittbrenner et al. (2012)	<i>E. fetida</i> , <i>A. caliginosa</i> and <i>L. terrestris</i>	HSP 70 protein level and avoidance behaviour	Imidacloprid		Insecticide	0.2, 0.66, 2 and 4 mg kg ⁻¹ dry weight	HSP protein quantity is not a good biomarker of imidacloprid toxicity. Significant avoidance behavior but different between species.
Jordaan et al. (2012)	<i>E. andrei</i>	Cholinesterase activity, NRRT assay, growth, reproduction and behaviour	Azinphos-methyl	Organophosphate	Insecticide	Exposure range at 10–40 mg kg ⁻¹	Inhibition of cholinesterase activity. NRRT lower in exposed earthworms. No avoidance of azinphos-methyl even at concentrations as high as 50 % the LC ₅₀
Schreck et al. (2012)	In situ focus on the most abundant species: <i>A. caliginosa</i> nocturna	Enzyme activities (glutathione-S-transferase, catalase and cholinesterase) communities	Field studies in vineyards	NA		In situ	Neurotoxicity enzyme (ChE) activity in vineyards was not affected by pollutants conventionally spread on the vineyard, regardless of soil agricultural practices
Wang et al. (2012)	<i>E. fetida</i>	Enzyme activities (cellulase, superoxide dismutase and catalase activities)	Chlorpyrifos Fenvalerate	Organophosphate	Insecticide	10, 20 and 40 mg kg ⁻¹ dry soil	Alteration and changes in enzyme activities
Zang et al. (2000)	<i>E. fetida</i>	Micronucleus test Comet assay	Imidacloprid RH-5849		Insecticide	0.0004, 0.020, 0.100 and 0.500 µg/cm ² for imidacloprid 160, 320 and 480 µg/cm ² for RH-5849	No genotoxicity detected with the micronucleus test DNA damage detected with Comet assay

Intégrité membranes cellulaires
Activités enzymatiques

Niveau infra-individuel, individuel

Différentes concentrations

Table 1 Effects of pesticides authorised in Europe on earthworms in infra-indi

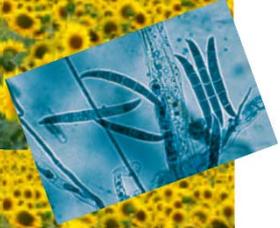
Reference	Species	Studied biomarkers	Authorised active substance	Family	Action	Concentrations	Main results
Booth et al. (2001b)	<i>Aporrectodea caliginosa</i>	NRRT assay	Chlorpyrifos and diazinon	Organophosphate	Insecticide	In laboratory and semi-field (earthworms in mesocosms in a field sprayed with the pesticides)	NRRT reduced following exposure to chlorpyrifos or diazinon even at field rates
Booth and O'Halloran (2001)	<i>A. caliginosa</i>	ChE activity, glutathione-S-transferase activity, NRRT assay growth and cocoon production	Chlorpyrifos and diazinon	Organophosphate	Insecticide	Diazinon—12 mg kg ⁻¹ Chlorpyrifos—4 mg kg ⁻¹	ChE activity and NRRT were more sensitive than growth in each age group for detecting exposure to the pesticides. Growth and cocoon production more sensitive when earthworms were exposed as juveniles
Casabé et al. (2007)	<i>Eisenia andrei</i>	Avoidance behaviour ISO N 281 (2004), reproduction (ISO 11268-2 (1998), NRRT assay and Comet assay	Chlorpyrifos and glyphosate	Organophosphate Phosphonoglycine	Insecticide Herbicide	Nominal concentration recommended for soya crops	Reproduction and avoidance tests sensitive indicator of glyphosate exposure. NRRT and Comet assays revealed alterations at sub-cellular levels
Denoyelle et al. (2007)	<i>Allolobophora chlorotica</i>	ChE activity	Field study		Pesticides	In situ	Although ChE activity significantly decreased in earthworms from treated orchards, results illustrate the difficulty in obtaining reference values for the use of ChE as a biomarker in field studies
Dittbrenner et al. (2011)	<i>Eisenia fetida</i> , <i>A. caliginosa</i> and <i>Lumbricus terrestris</i>	Body mass and histopathologie	Imidacloprid		Insecticide	0.2, 0.66, 2 and 4 mg kg ⁻¹ dry weight	Body mass changes in <i>E. fetida</i> and <i>A. caliginosa</i> . Histological changes after 24 h of exposure at the lowest concentration
Dittbrenner et al. (2012)	<i>E. fetida</i> , <i>A. caliginosa</i> and <i>L. terrestris</i>	HSP 70 protein level and avoidance behaviour	Imidacloprid		Insecticide	0.2, 0.66, 2 and 4 mg kg ⁻¹ dry weight	HSP protein quantity is not a good biomarker of imidacloprid toxicity. Significant avoidance behavior but different between species.
Jordaan et al. (2012)	<i>E. andrei</i>	Cholinesterase activity, NRRT assay, growth, reproduction and behaviour	Azinphos-methyl	Organophosphate	Insecticide	Exposure range at 10–40 mg kg ⁻¹	Inhibition of cholinesterase activity. NRRT lower in exposed earthworms. No avoidance of azinphos-methyl even at concentrations as high as 50 % the LC ₅₀
Schreck et al. (2012)	In situ focus on the most abundant species: <i>A. caliginosa</i> nocturna	Enzyme activities (glutathione-S-transferase, catalase and cholinesterase) communities	Field studies in vineyards	NA		In situ	Neurotoxicity enzyme (ChE) activity in vineyards was not affected by pollutants conventionally spread on the vineyard, regardless of soil agricultural practices
Wang et al. (2012)	<i>E. fetida</i>	Enzyme activities (cellulase, superoxide dismutase and catalase activities)	Chlorpyrifos Fenvalerate	Organophosphate	Insecticide	10, 20 and 40 mg kg ⁻¹ dry soil	Alteration and changes in enzyme activities
Zang et al. (2000)	<i>E. fetida</i>	Micronucleus test Comet assay	Imidacloprid RH-5849		Insecticide	0.0004, 0.020, 0.100 and 0.500 µg/cm ² for imidacloprid 160, 320 and 480 µg/cm ² for RH-5849	No genotoxicity detected with the micronucleus test DNA damage detected with Comet assay

Intégrité membranes cellulaires
Activités enzymatiques

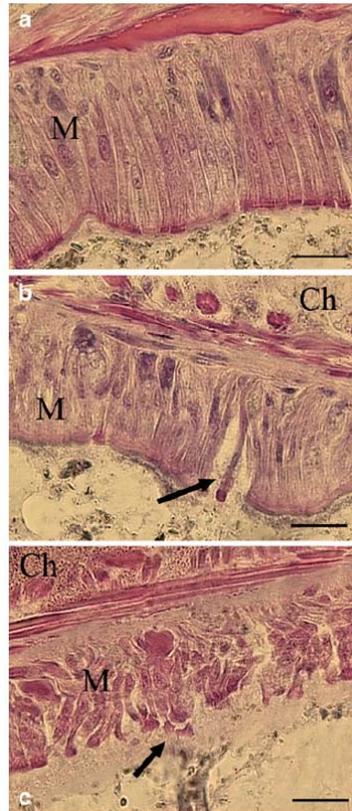
Effets au niveau génétique (ADN),
cellulaire (membranes),
enzymatique (stress oxydatif)

Niveau infra-individuel, individuel

Un exemple : cellules intestinales *L. terrestris*, insecticide (imidaclopride)



Dose et
temps d'exposition

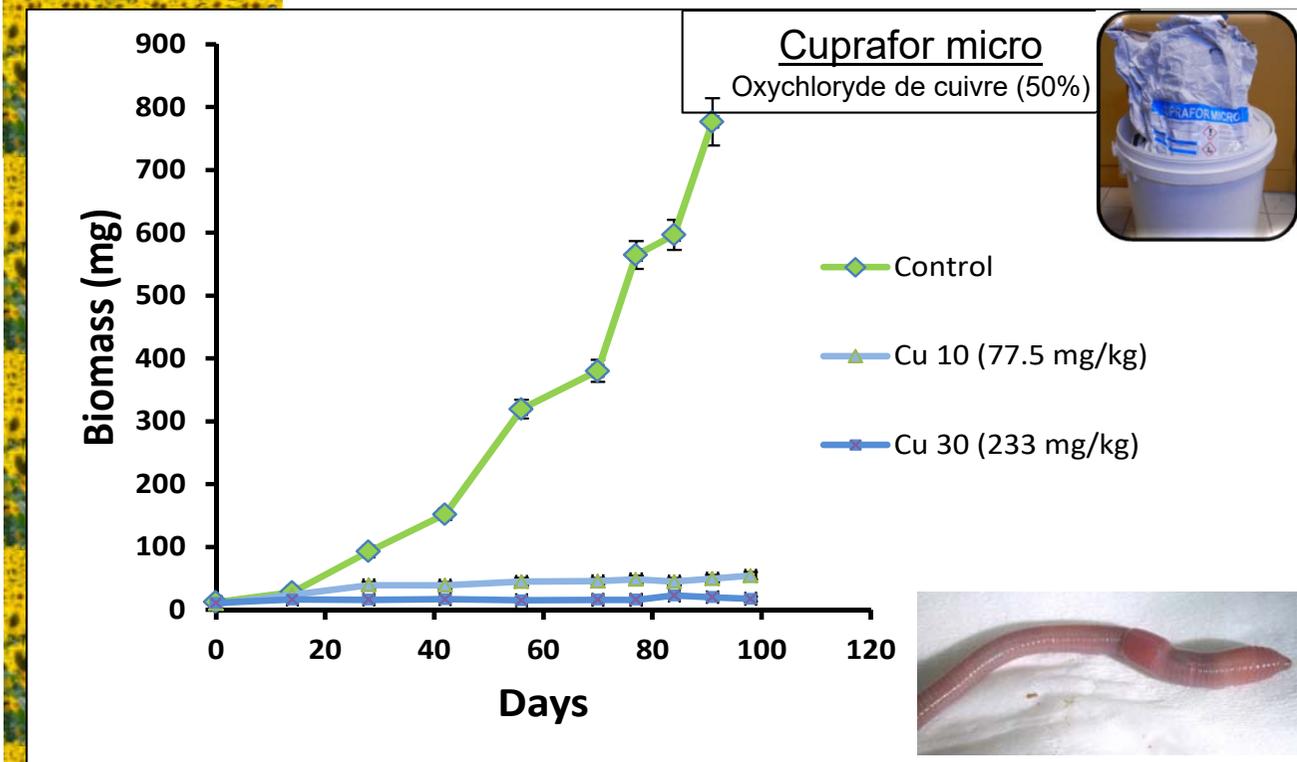


Témoin sans pesticide

Niveau infra-individuel, individuel

Reference	Studied parameters	Origin	Development stage	metal	form	Method of addition	Main results
Bart et al. (2017)	Mortality, biomass and avoidance behaviour	Collected	Adult	Cu	Oxychloride	Mixed	LC50 > 5000 mg/kg, EC50 avoidance was 51.2 mg/kg and there was a significant decrease of biomass from 50 mg/kg.
Eijsackers et al. (2005)	Mortality and biomass	Collected	NA	Cu	Oxychloride	Mixed	An addition of 60 mg/kg (effective concentration : 102 mg/kg) , there was a decrease of biomass and an increase of 67% of mortality after 4 week related to the increase of copper body content.
Friis et al. (2004)	Mortality, estivation	Collected	Adult	Cu	Chloride	Mixed	At 150 mg/kg, copper increase mortality during drought demonstrating synergetic effects of drought and copper. Development of estivation cells was significantly depressed in worms exposed to copper compared with worm not exposed.
Holmstrup et al. (1998)	Cocoon viability	Cultured	Cocoon	Cu	Chloride	aqueous solution	Desiccation and copper exposure combined had synergistic effects on survival rate of embryos. At full saturation, the NOEC was 12 mg/L, whereas at 97% relative humidity, the NOEC was only 6 mg/L.
Ma (1988)	Cocoon production	NA	Adult	Cu	NA		EC10 : 27-70 mg/kg, EC50: 68 mg/kg.
Martin (1986)	Cocoon production, growth and survival	Collected	Adult and juvenile	Cu	Sulphate	NA	NOEC mortality : 500 mg/kg, NOEC growth : 100 mg/kg, NOEC cocoon production : 50 mg/kg.
Khalil et al. (1996a)	Growth	Cultured	Juvenile	Cd, Cu and Zn	Sulphate salts	Mixed	EC50: 81.8, 68.4 and 461 mg/kg for Cu, Cd and Zn, respectively.
Khalil et al. (1996b)	Mortality and cocoon production	Cultured	Adult	Cd, Cu and Zn	Sulphate salts	Mixed	LC50 were 540, 640 and 3610 mg/k after 8 weeks of exposure and EC50 cocoon production were 34.4, 185.8 and 826 mg/kg for Cd, Cu and Zn respectively after 8 weeks of exposure. LC50 decrease with time of exposure (2-8 weeks).
Nahmani et al. (2005).	Burrow systems	Collected	Na	Zn, Cu, Pb and Cd	Soil contaminated	Soil contaminated	Metal pollution principally affected the shape of the burrow system (branching rate was higher in the polluted soil).
Van rhee 1975	Cocoon production, biomass	Na	Na	Cu, Zn		Mixed	At 110 mg/kg of Cu, there was a decrease of cocoon production. At 1100 mg/kg Zn, there was a decrease of biomass and cocoon production.
Khalil (2013)	Mortality, reproduction and behaviour	Collected	Adult	As	Inorganic sodium arsenate	NA	The 96-h LC50 of arsenate was estimated at 147 mg/kg. The avoidance behaviour has been recorded at 240 and 400 mg/kg. Deacres of biomass between 110-400 mg/kg after 25 days of exposure.
Langdon et al. (2005)	Mortality and biomass	Collected	Adult	Pb	Pb nitrate	Mixed	After 28 days LC50 was 2747 mg/kg and EC50 for biomass loss was 1208 mg/kg. Mortality increases with time exposure.
Maleri et al. (2007)	Mortality, biomass and reproduction	Collected	Adult	Cr, Co, Mg and Ni	Ultramafic soils		biomass gain was slower. Automization of the tail was observed at higher concentration. Decrease in cocoons production.
Qiu et al. (2011)	Mortality	Collected	Adult	Cd and Zn	Acetate salts	Mixed	LC50 : 344 and 1499 mg/kg for Cd and Zn respectively.
Spurgeon et al. (2000)	Mortality, biomass and cocoon production	Collected	Adult	Zn	salt	Mixed	LC50 : 1695 mg/kg, EC50 for biomass change was 417 mg/kg, EC50 for cocoon production was 442 mg/kg.

Niveau infra-individuel, individuel



on Main results

LC50 > 5000 mg/kg, EC50 avoidance was 51.2 mg/kg and there was a significant decrease of biomass from 50 mg/kg.

An addition of 60 mg/kg (effective concentration : 102 mg/kg) , there was a decrease of biomass and an increase of 67% of mortality after 4 week related to the increase of copper body content.

At 150 mg/kg, copper increase mortality during drought demonstrating synergetic effects of drought and copper. Development of estivation cells was significantly depressed in worms exposed to copper compared with worm not exposed.

Desiccation and copper exposure combined had synergetic effects on survival rate of embryos. At full saturation, the NOEC was 12 mg/L, whereas at 97% relative humidity, the NOEC was only 6 mg/L.

EC10 : 27-70 mg/kg, EC50: 68 mg/kg.

NOEC mortality : 500 mg/kg, NOEC growth : 100 mg/kg, NOEC cocoon production : 50 mg/kg.

EC50: 81.8, 68.4 and 461 mg/kg for Cu, Cd and Zn, respectively.

LC50 were 540, 640 and 3610 mg/k after 8 weeks of exposure and EC50 cocoon production were 34.4, 185.8 and 826 mg/kg for Cd, Cu and Zn respectively after 8 weeks of exposure. LC50 decrease with time of exposure (2-8 weeks).

Metal pollution principally affected the shape of the burrow system (branching rate was higher in the polluted soil).

At 110 mg/kg of Cu, there was a decrease of cocoon production. At 1100 mg/kg Zn, there was a decrease of biomass and cocoon production.

The 96-h LC50 of arsenate was estimated at 147 mg/kg. The avoidance behaviour has been recorded at 240 and 400 mg/kg. Decrease of biomass between 110-400 mg/kg after 25 days of exposure.

After 28 days LC50 was 2747 mg/kg and EC50 for biomass loss was 1208 mg/kg. Mortality increases with time exposure.

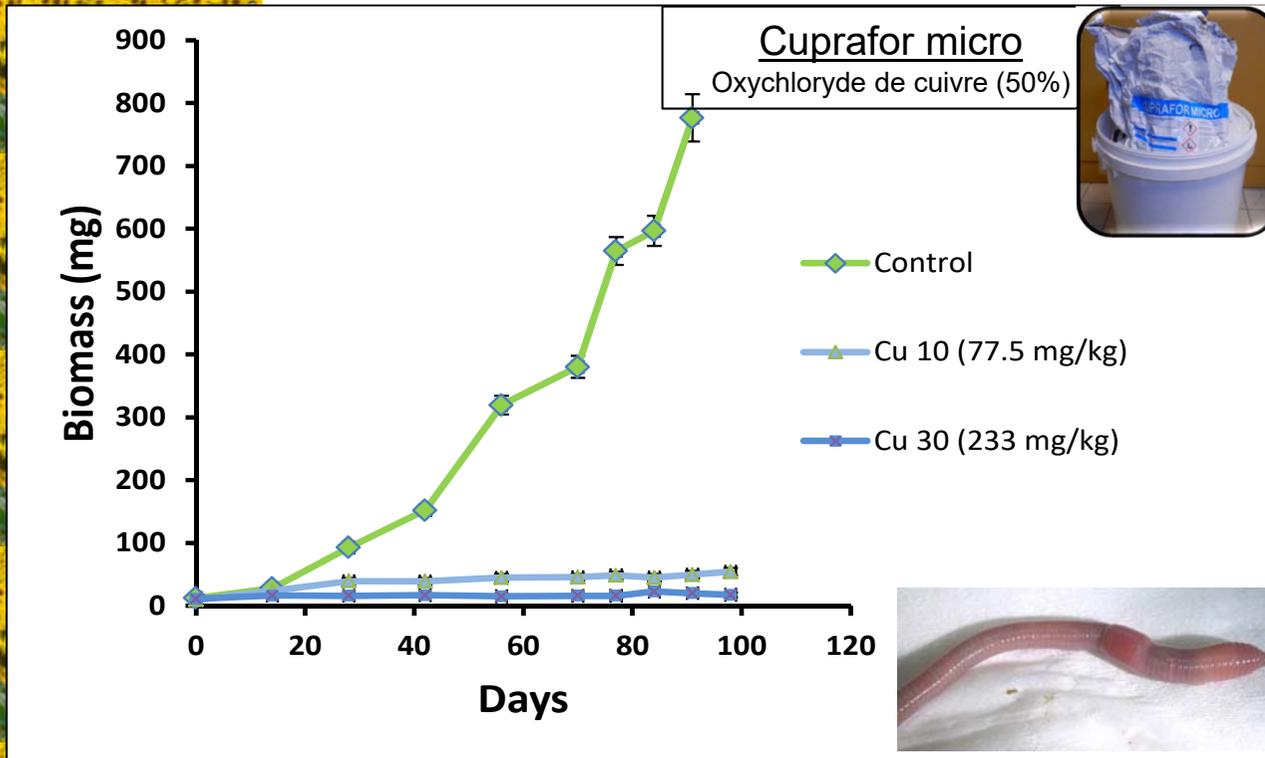
biomass gain was slower. Automization of the tail was observed at higher concentration. Decrease in cocoons production.

LC50 : 344 and 1499 mg/kg for Cd and Zn respectively.

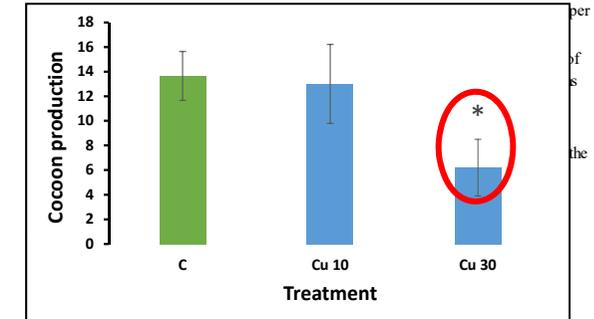
LC50 : 1695 mg/kg, EC50 for biomass change was 417 mg/kg, EC50 for cocoon production was 442 mg/kg.

Langdon et al. (2005)	Mortality and biomass	Collected	Adult	Pb	Pb nitrate	Mixed	After 28 days LC50 was 2747 mg/kg and EC50 for biomass loss was 1208 mg/kg. Mortality increases with time exposure.
Maleri et al. (2007)	Mortality, biomass and reproduction	Collected	Adult	Cr, Co, Mg and Ni	Ultramafic soils		biomass gain was slower. Automization of the tail was observed at higher concentration. Decrease in cocoons production.
Qiu et al. (2011)	Mortality	Collected	Adult	Cd and Zn	Acetate salts	Mixed	LC50 : 344 and 1499 mg/kg for Cd and Zn respectively.
Spurgeon et al. (2000)	Mortality, biomass and cocoon production	Collected	Adult	Zn	salt	Mixed	LC50 : 1695 mg/kg, EC50 for biomass change was 417 mg/kg, EC50 for cocoon production was 442 mg/kg.

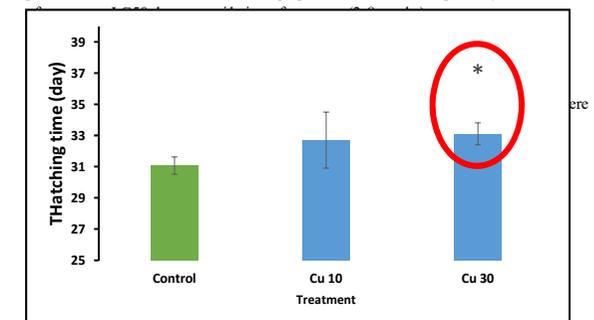
Niveau infra-individuel, individuel



on Main results
 LC50 > 5000 mg/kg, EC50 avoidance was 51.2 mg/kg and there was a significant decrease of biomass from 50 mg/kg.
 An addition of 60 mg/kg (effective concentration : 102 mg/kg), there was a decrease of



LC50 were 540, 640 and 3610 mg/kg after 8 weeks of exposure and EC50 cocoon production were 34.4, 185.8 and 826 mg/kg for Cd, Cu and Zn respectively after 8 weeks



LC50 : 344 and 1499 mg/kg for Cd and Zn respectively.
 LC50 : 1695 mg/kg, EC50 for biomass change was 417 mg/kg, EC50 for cocoon production was 442 mg/kg.

Langdon et al. (2005)	Mortality and biomass	Collected	Adult	Pb	Pb nitrate	Mixed
Maleri et al. (2007)	Mortality, biomass and reproduction	Collected	Adult	Cr, Co, Mg and Ni	Ultramafic soils	
Qiu et al. (2011)	Mortality	Collected	Adult	Cd and Zn	Acetate salts	Mixed
Spurgeon et al. (2000)	Mortality, biomass and cocoon production	Collected	Adult	Zn	salt	Mixed

Niveau populationnel



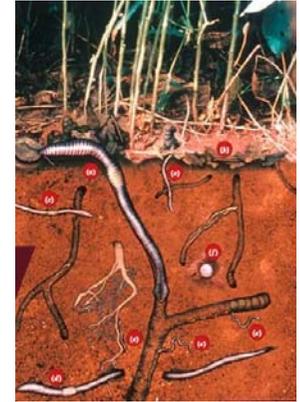
Niveau populationnel

Etablir des **relations statistiques** entre:

- Un **indicateur de pression** : Indice de Fréquence de Traitement phytosanitaire (IFT)
- Un **indicateur d'impact** : la densité de 3 espèces de vers de terre vivant + ou - en contact avec la surface du sol

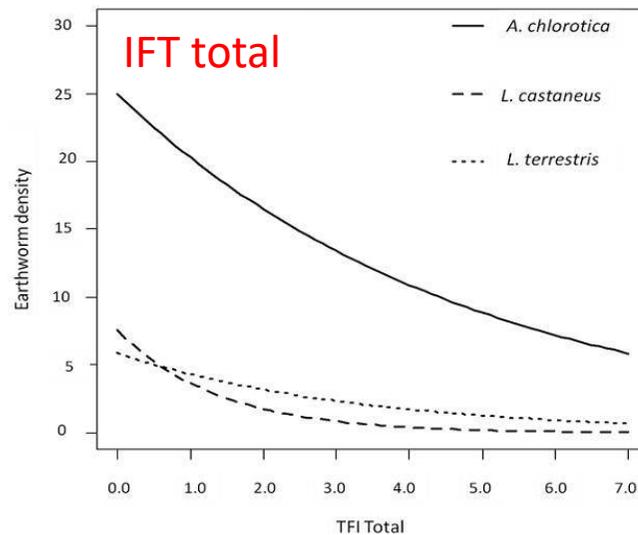


Niveau populationnel



Etablir des **relations statistiques** entre:

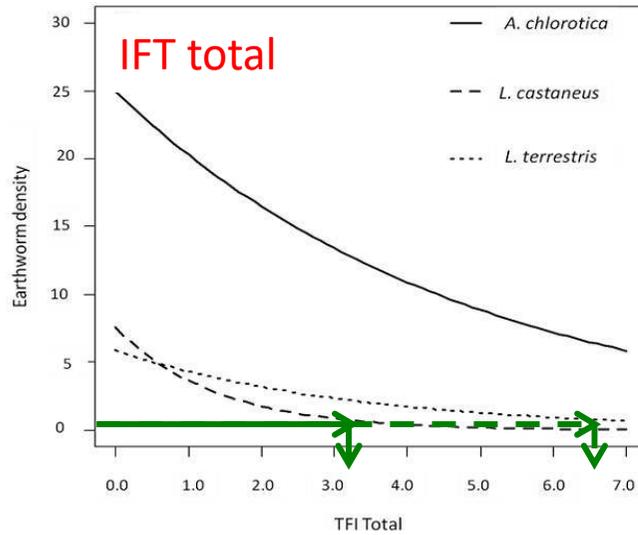
- Un **indicateur de pression** : Indice de Fréquence de Traitement phytosanitaire (IFT)
- Un **indicateur d'impact** : la densité de 3 espèces de vers de terre vivant + ou - en contact avec la surface du sol



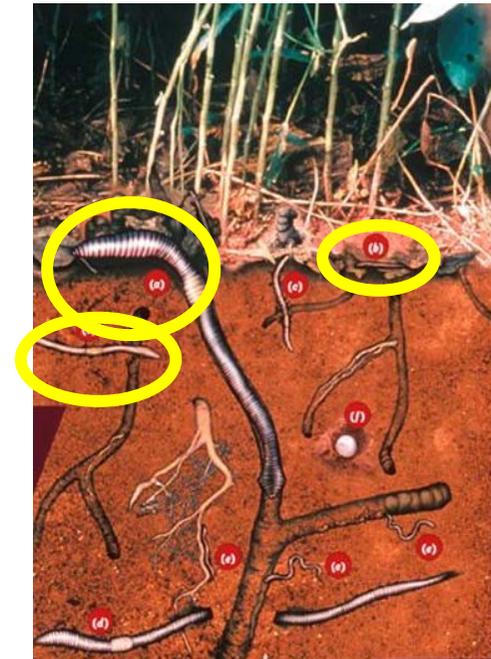
⇒ **Effet négatif significatif** d'une augmentation de l'IFT Total ($p < 0.05$)

Mortalité à dose agro, effets sur fécondité et croissance => abondances à long terme, dispersion

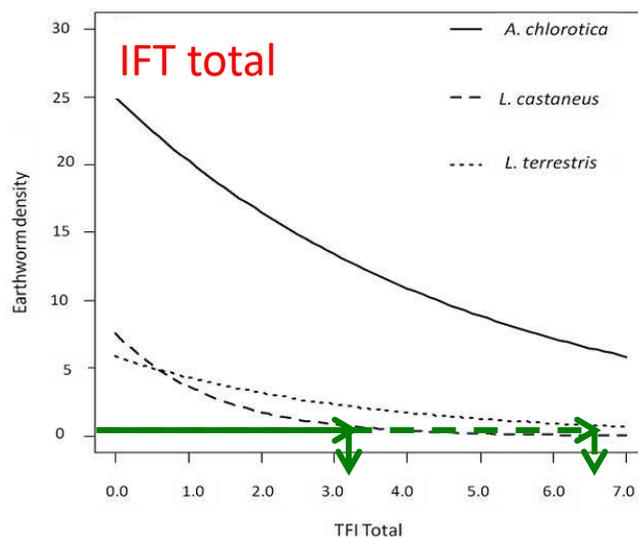
Niveau populationnel



⇒ Différence entre espèces :
 $L. castaneus > L. terrestris > A. chlorotica$



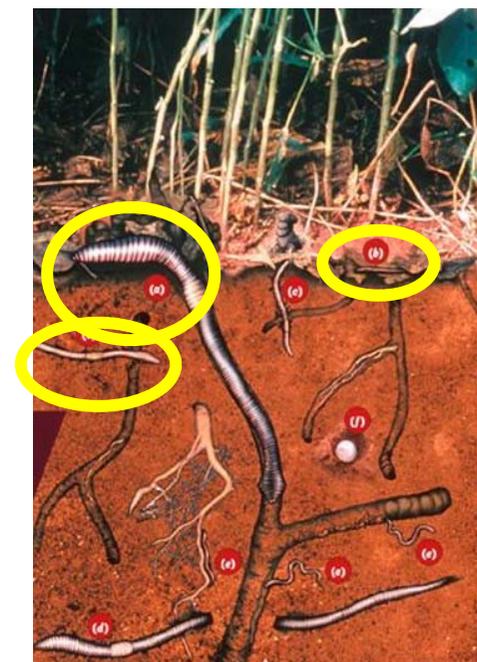
Niveau populationnel



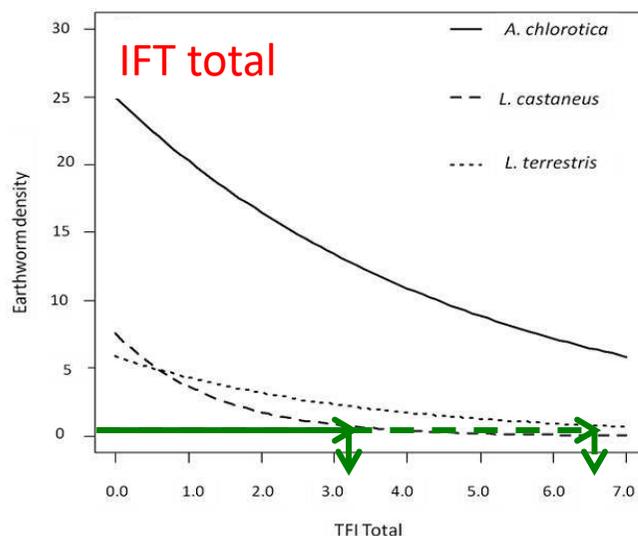
⇒ Différence entre espèces :
 $L. castaneus > L. terrestris > A. chlorotica$

Insecticide, fongicide, herbicide
Pesticides dans 2,5-5 premiers cm de sol

+ vers en contact avec surface sol,
+ affectés par pesticides



Niveau populationnel

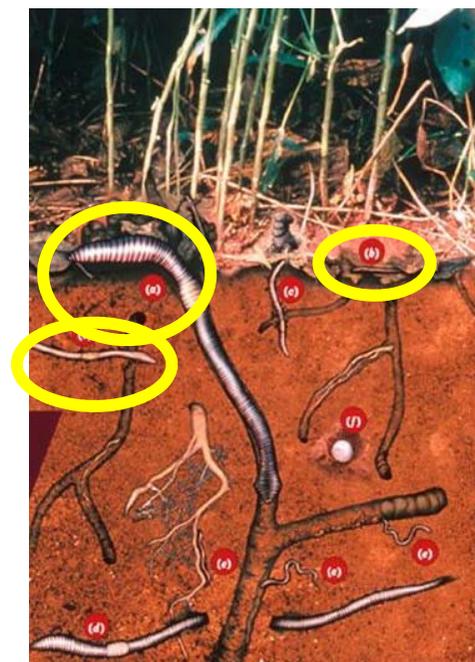


⇒ Différence entre espèces :
 $L. castaneus > L. terrestris > A. chlorotica$

Insecticide, fongicide, herbicide
Pesticides dans 2,5-5 premiers cm de sol

+ vers en contact avec surface sol,
+ affectés par pesticides

Quelle que soit l'espèce,
insecticides : plus forts effets



Niveau populationnel

Prédiction des densités de population en fonction de l'IFT total

Earthworm species	Mean TFI Total in France in 2006 (TFI Total = 3.8)	Denmark objective for 2012 (TFI Total = 1.7)	France objective for 2018 (TFI Total = 1.9)
<i>L. castaneus</i>	0.5 ± 0.2	2.2 ± 0.4	1.9 ± 0.4
<i>L. terrestris</i>	2.3 ± 0.4	3.5 ± 0.4	3.3 ± 0.4
<i>A. chlorotica</i>	11.4 ± 0.9	17.6 ± 0.8	16.8 ± 0.8

L. castaneus x 3,8

L. terrestris x 1,4

A. chlorotica x 1,5

Niveau de la communauté

- 3 systèmes : **biologique**, **productif** et **SCV** (sous couvert végétal, sans travail du sol)

3 systèmes de culture
2 réplicats de chaque système
1 ha /réplicat

Dispositif de La Cage (Versailles, 1997)



Niveau de la communauté

- 3 systèmes : **biologique, productif et SCV** (sous couvert végétal, sans travail du sol)
- Prélèvements à 2 périodes (2005, 2006 et 2007) puis (2011, 2012, 2013)



Dispositif de La Cage (Versailles, 1997)

Niveau de la communauté

- 3 systèmes : **biologique, productif et SCV** (sous couvert végétal, sans travail du sol)
- Prélèvements à 2 périodes (2005, 2006 et 2007) puis (2011, 2012, 2013)

Hypothèses :

- Effets bénéfiques du non travail du sol et de la couverture végétale contrebalancés par les apports de pesticides.
- Biologique > conventionnel dû à l'absence de pesticides.

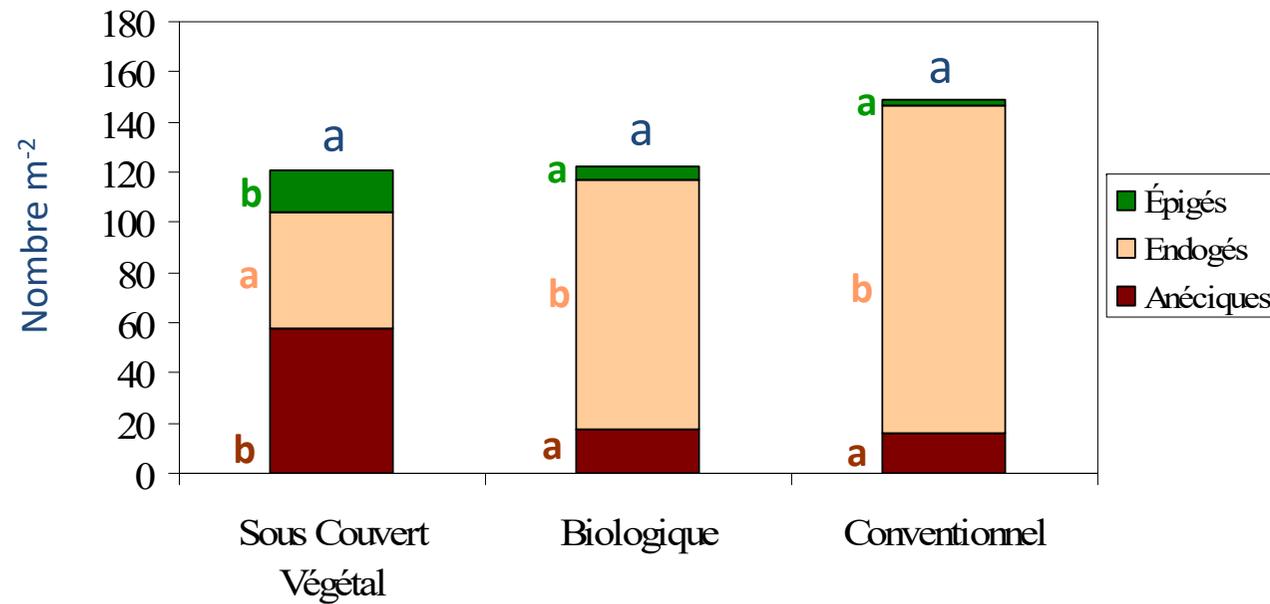


Dispositif de La Cage (Versailles, 1997)



Niveau de la communauté

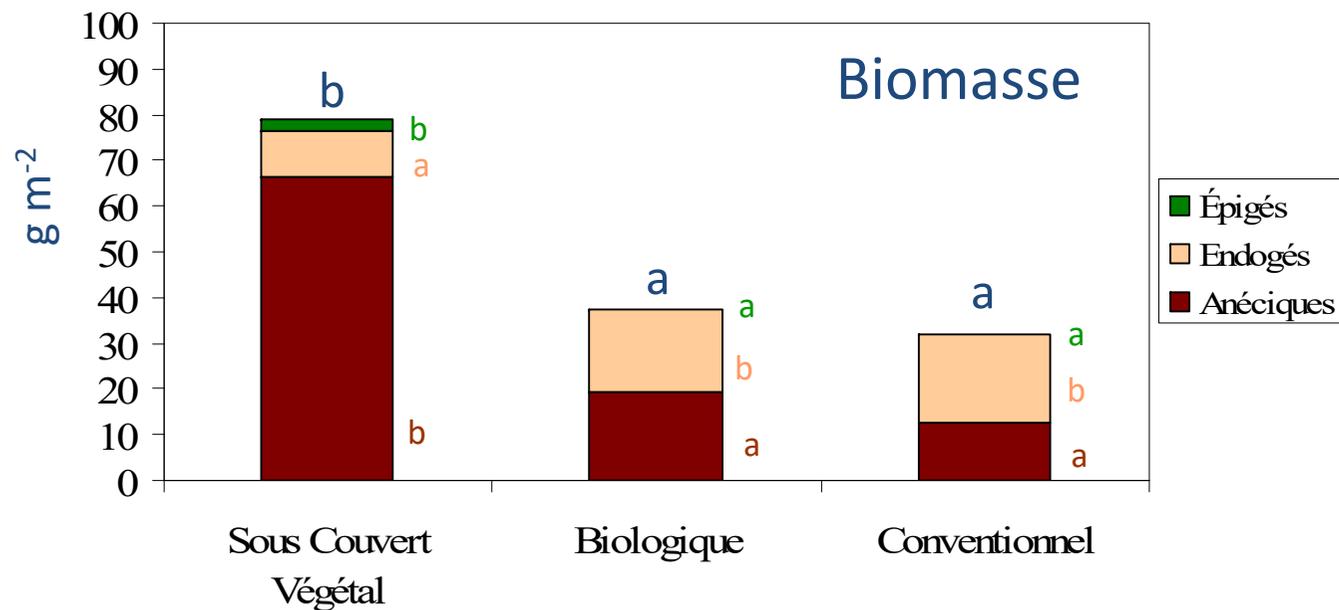
Abondance



=> Pas de différences de densité totale
=> Différence de composition en groupes fonctionnels



Niveau de la communauté

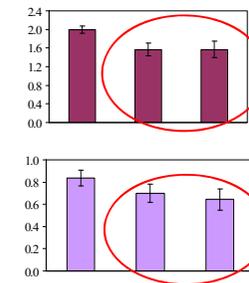
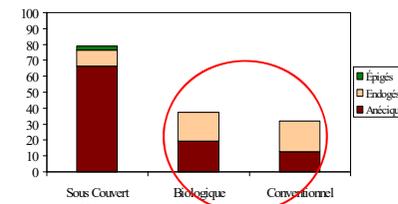
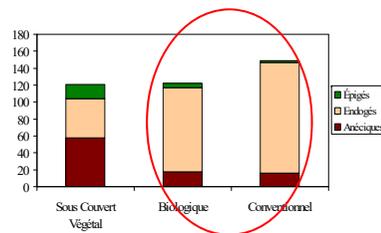


=> Biomasse totale : SCV > conventionnel = biologique

Niveau de la communauté

Systemes de culture :

- SCV > conventionnel (biomasse et diversité)
- Systeme biologique = conventionnel



- **Facteurs** : travail du sol et disponibilité en matière organique > application de pesticides.

Niveau de la communauté

- **Travail du sol** affecte les vers les plus gros
 - effets mécaniques
 - destruction de l'habitat
 - exposition à la prédation



Niveau de la communauté

- **Travail du sol** affecte les vers les plus gros
 - effets mécaniques
 - destruction de l'habitat
 - exposition à la prédation

 Travail du sol peut, dans certains cas, favoriser les vers vivant à quelques cm de profondeur (endogés, anéciques juvéniles) par **enfouissement des résidus**.



Niveau de la communauté



- **Travail du sol** affecte les vers les plus gros
 - effets mécaniques
 - destruction de l'habitat
 - exposition à la prédation



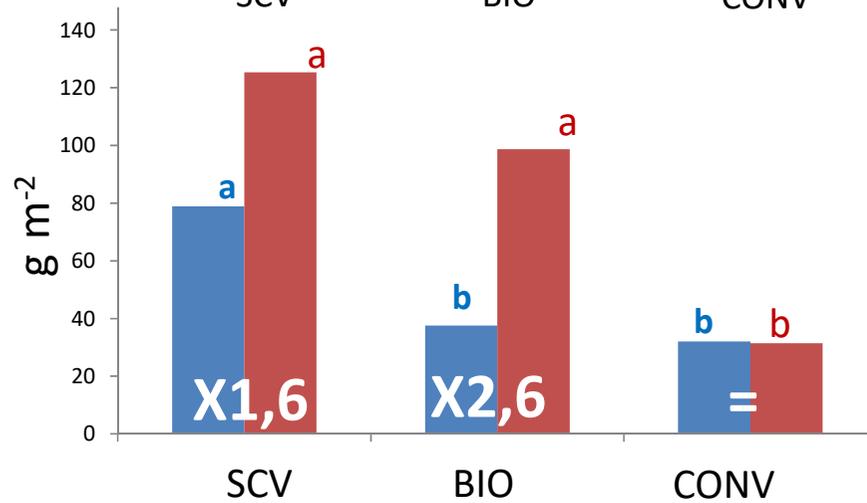
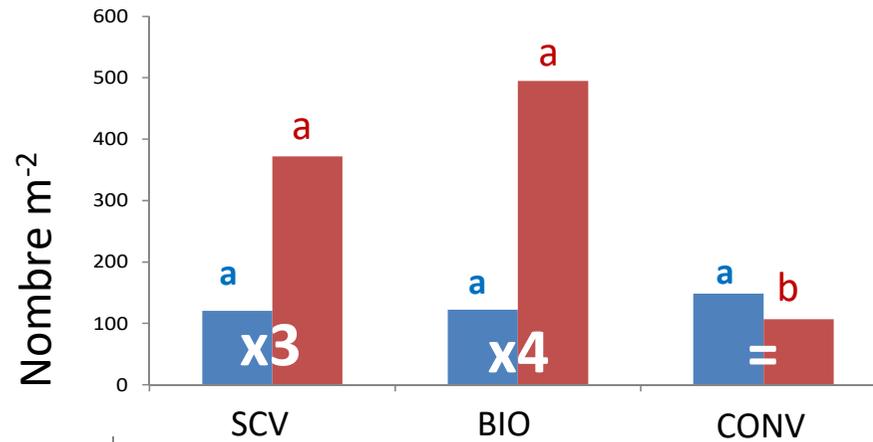
 Travail du sol peut, dans certains cas, favoriser les vers vivant à quelques cm de profondeur (endogés, anéciques juvéniles) par **enfouissement des résidus**.

- **Pesticides** : nuisibilité dépend de la période, du type, de la fréquence et de l'intensité d'application, de la matière active, du comportement des vers de terre et des conditions climatiques.
Ex. molluscicides, fongicides (carbendazim, thiabendazole), etc.

Niveau de la communauté

1ère période

2ème période



↑ surtout vers de surface en biologique



Niveau de la communauté

- CONV: pas d'évolution entre les 2 périodes
- SCV et BIO : forte augmentation
- BIO proche SCV en 2^{ème} période



Niveau de la communauté

- CONV: pas d'évolution entre les 2 périodes
- SCV et BIO : forte augmentation
- BIO proche SCV en 2^{ème} période

Hypothèses:

- Rotation (luzerne en BIO) mais idem en 2005



Niveau de la communauté

- CONV: pas d'évolution entre les 2 périodes
- SCV et BIO : forte augmentation
- BIO proche SCV en 2^{ème} période

Hypothèses:

- Rotation (luzerne en BIO) mais idem en 2005

- Effets négatifs des pesticides appliqués avant 1997 en BIO:

- ❖ Plus toxiques, persistant, plus fréquemment appliqués et doses plus fortes que maintenant
- ❖ Métabolites (composés de dégradation) plus toxiques que « parents »
- ❖ Peu d'effets sur la survie mais effets possibles sur croissance et reproduction => effets sur densités à longs termes



Niveau de la communauté

- CONV: pas d'évolution entre les 2 périodes
- SCV et BIO : forte augmentation
- BIO proche SCV en 2^{ème} période

Hypothèses:

- Rotation (luzerne en BIO) mais idem en 2005
- **Effets négatifs des pesticides appliqués avant 1997 en BIO:**
 - ❖ Plus toxiques, persistant, plus fréquemment appliqués et doses plus fortes que maintenant
 - ❖ Métabolites (composés de dégradation) plus toxiques que « parents »
 - ❖ Peu d'effets sur la survie mais effets possibles sur croissance et reproduction => effets sur densités à longs termes
- Temps nécessaire pour recoloniser la parcelle



Niveau de la communauté

Période de transition de plusieurs années durant lesquelles le système va vers un nouvel état.

=> Effets contrastés dans la littérature ?



Niveau de la communauté

Période de transition de plusieurs années durant lesquelles le système va vers un nouvel état.

=> Effets contrastés dans la littérature ?

Arrêt labour: effets rapides sur communautés

Arrêt pesticides: plus long pour voir effets



Niveau de la communauté

Période de transition de plusieurs années durant lesquelles le système va vers un nouvel état.

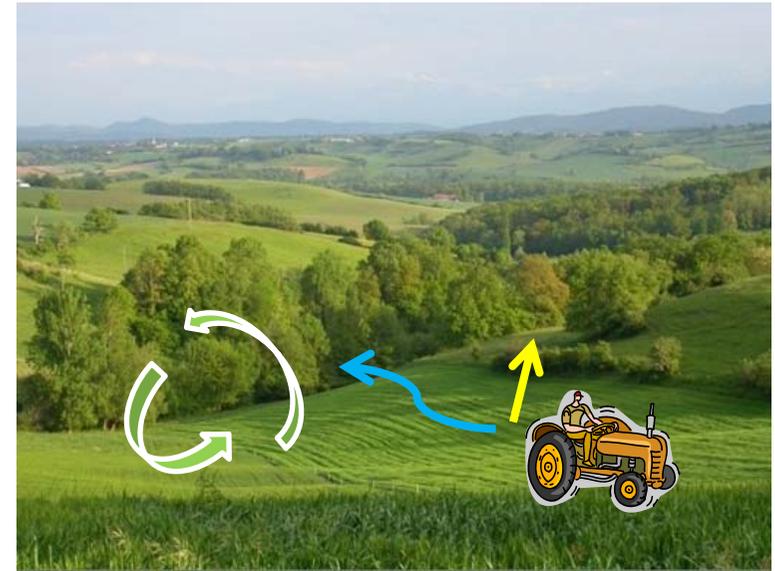
=> Effets contrastés dans la littérature ?

Arrêt labour: effets rapides sur communautés

Arrêt pesticides: plus long pour voir effets

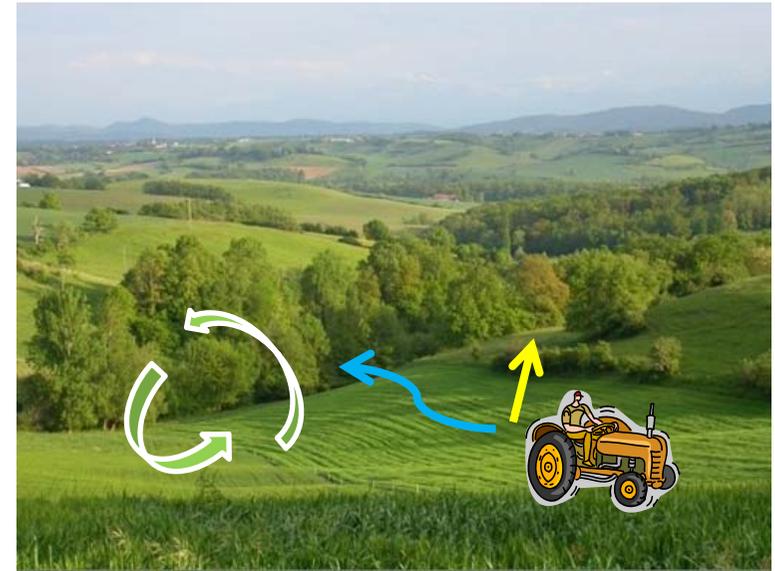
⇒ Intérêt des mesures à long terme pour évaluer les impacts des SdC « alternatifs » sur la biodiversité





« Récupération des populations » : 2 niveaux d'intérêt de l'agro-écologie, qui doivent être intégrés de façon cohérente





« Récupération des populations » : 2 niveaux d'intérêt de l'agro-écologie, qui doivent être intégrés de façon cohérente

- **Parcelle agricole** : dynamique des populations suite à des évolutions de pratiques/SdC (ex. travail sol, légumineuses, arrêts pesticides)
- **Paysage/territoire** : colonisation grâce à des éléments non cultivés



Écotoxicologie du paysage

Organisation du paysage :

- ⇒ Biodiversité et processus écologiques
- ⇒ Distribution spatiale des contaminants
- ⇒ Exposition des organismes vivants aux contaminants



Écotoxicologie du paysage

Organisation du paysage :

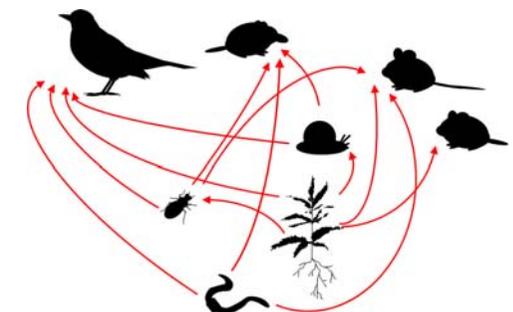
- ⇒ Biodiversité et processus écologiques
- ⇒ Distribution spatiale des contaminants
- ⇒ Exposition des organismes vivants aux contaminants



➤ Compréhension des effets

➤ Levier d'action pour favoriser biodiversité et limiter :

- les transferts horizontaux des pesticides dans les zones et organismes
- les impacts négatifs sur les organismes et les chaînes trophiques



Écotoxicologie du paysage

Organisation du paysage :

- ⇒ Biodiversité et processus écologiques
- ⇒ Distribution spatiale des contaminants
- ⇒ Exposition des organismes vivants aux contaminants

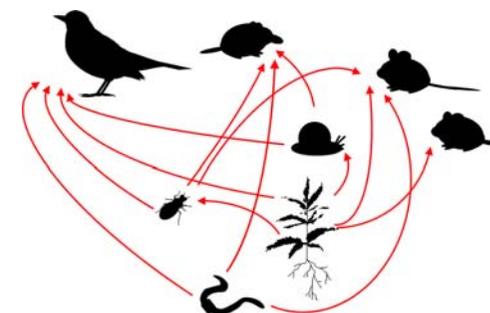


➤ Compréhension des effets

➤ Levier d'action pour favoriser la biodiversité et limiter :

- les transferts horizontaux de pesticides dans les zones et organismes
- les impacts néfastes des pesticides sur les organismes et les chaînes trophiques

**COMPRENDRE
POUR AGIR**





Merci pour votre attention

8èmes rencontres « Recherche Appliquée, Formation et Transfert » du RMT Quasaprove
14 décembre 2017, Surgères

R
M
T Quasaprove