



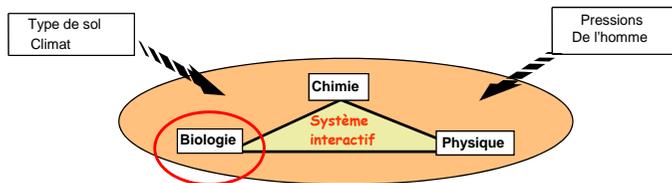
22 janvier 2015 - Caulnes

1. Introduction - contexte générale
  11. Système interactif, Ses variabilités.
2. Compartiment biologique.
  21. L'ensemble des organismes du sol
  22. Les vers de terre
3. Acteurs
  31. Physique (porosité)
  32. Microbio
  33. Chimie (Matière organique)

→ Conséquences sur les services écosystémiques
4. Indicateurs
  41. Conditions mésologiques (indicateurs d'état)
  42. Pratiques agricoles (indicateurs d'usage)

1. Introduction - contexte général

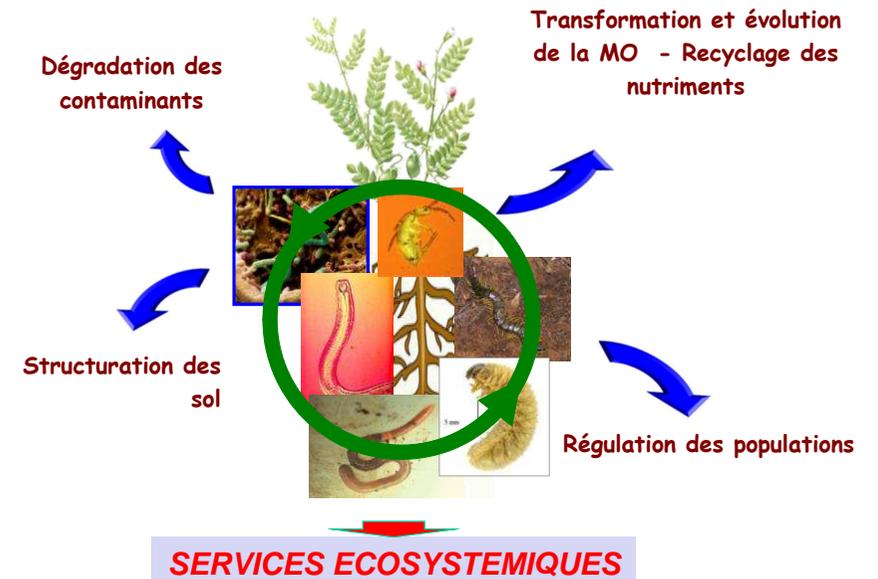
Sol = système interactif



Un système interactif qui a des fonctions et rend des services .....

1. Introduction - contexte général

Les 4 grandes fonctions biologiques



## Contraintes de forçage

Les 4 grands types de services écosystémiques rendus par le sol  
Millennium Ecosystem Assessment (2005)

### Services de support

- Production primaire
- Production d'oxygène
- Formation des sols
- Recyclage des nutriments

### Services de régulation

- Qualité de l'air
- Régulation du climat
- Contrôle de l'érosion
- Purification de l'eau
- Régulation hydrique
- Détoxification

### Services d'approvisionnement

- Aliments et fibres
- Ressources génétiques
- Produits biochimiques et pharmaceutiques

### Services culturels

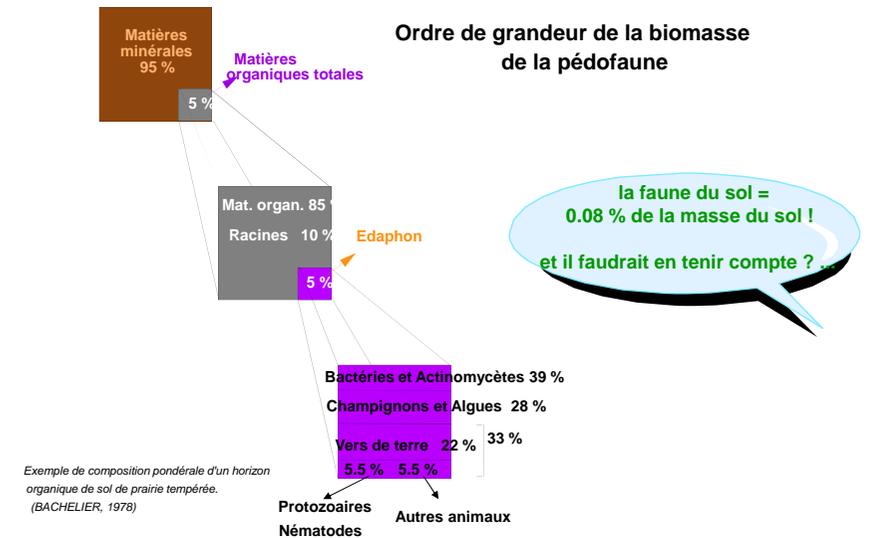
- Diversités culturelles et religieuses
- Ecotourisme



d'après E. Blanchart, 2012

## 2. Le compartiment biologique

### Importance de la faune dans le sol ...

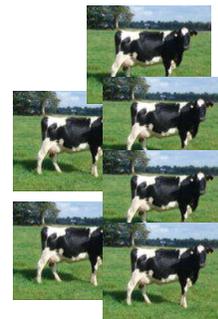


## 2. Le compartiment biologique

### Importance des organismes du sol

#### Quelle biomasse ?

En moyenne, dans une prairie,  
150 g d'animaux par m<sup>2</sup>  
2 = UGB / hectare sous terre  
et quelques 260 millions d'individus par m<sup>2</sup>



En forêt,  
sous la semelle d'un randonneur  
autant d'invertébrés que de Suisses,  
soit 7 millions d'animaux



En hêtraie,  
0.240 kg/ha d'oiseaux pour  
25 à 35 kg/ha d'acariens (oribates)



## 2. Le compartiment biologique

### Importance des organismes du sol

#### Quelle diversité ?

Organismes du sol : 25 % des 1,5 millions d'espèces décrites au monde  
Seules 10% des espèces sont décrites à ce jour



> 4000 espèces de bactéries  
> 2000 sp de champignons saprophytes

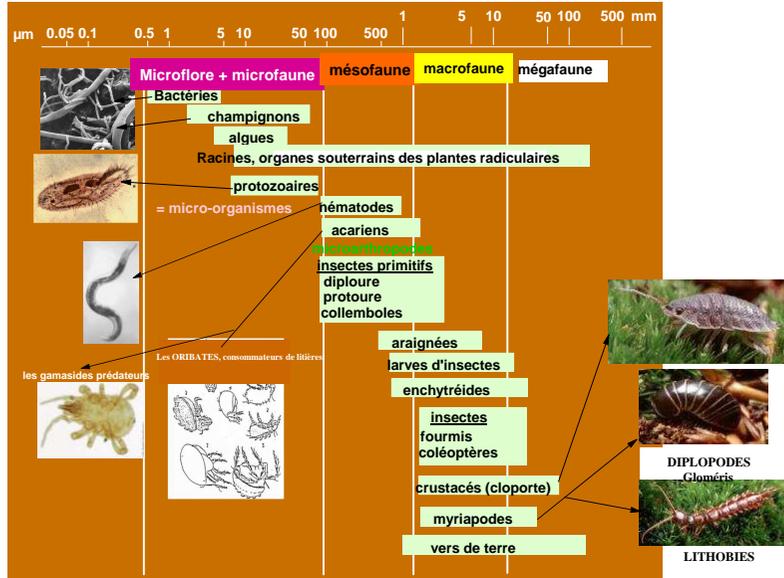
1000 espèces d'invertébrés:

- > 400 – 500 Acariens
- > 60 – 80 Collemboles
- > 90 Nématodes
- > 60 Protozoaires
- > 20 – 30 Enchytréides
- > 10 – 12 Lombriciens
- > 15 Diplonodes

d'après E. Blanchart, 2012

D'après Decaëns, Torsvik et al. (1994), Hawksworth (2001), Schaefer et Schauer mann (1990)

Diversité de la faune dans le sol ...



Le fonctionnement biologique des sols

"Ours d'eau"



Le grand sommeil : 2000 ans ! (20 ans)

+ de 1000 espèces

Supportent :

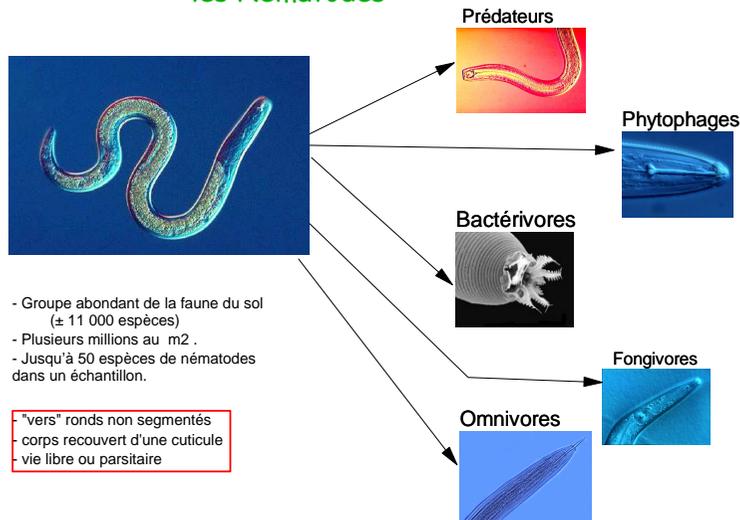
- 200°C jusque +360°C (l'air liquéfié à 190 °)
- l'immersion dans l'alcool absolu (100°),
- les rayons X



Le vide spatial

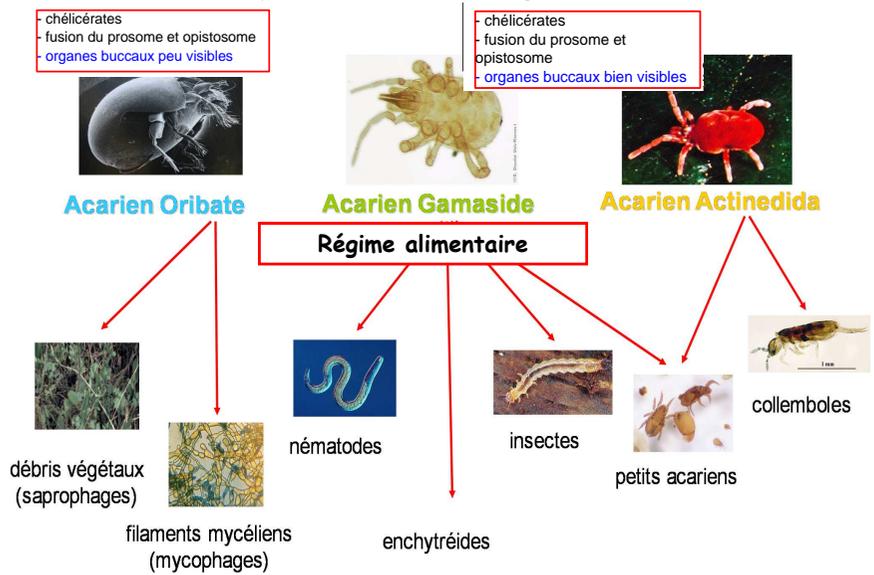
Le fonctionnement biologique des sols

La mésafaune du sol ...  
les Nématodes



Le fonctionnement biologique des sols

Les acariens Dans les sols, on peut trouver de 20 000 à 500 000 individus / m<sup>2</sup>  
Sachant que 100 000 acariens = 1 g



Le fonctionnement biologique des sols

Les collemboles (taille comprise entre 0,2 et 5 mm)



*Orchesella villosa*  
(photo P.Poison)



*Sminthurus viridis*  
(photo J.Botting)

- hexapodes
- antennes
- entognathes
- furca

-En moyenne, il y a 100 000 collemboles par m<sup>2</sup>

Régime alimentaire



La macrofaune du sol ... (> 2 mm)

quelques exemples ...

Les Myriapodes

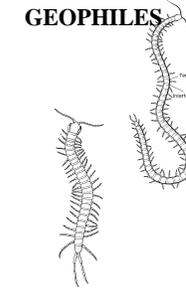
deux paires de pattes/segment

une paire de pattes/segment



**DIPLOPODES**  
Gloméris

Crédits Photographiques :  
Sonia DOUÏLOÏ,  
Université de Rennes 1



**GÉOPHILES**



**LITHOBIES**

chilopode

- antennes
- + de 7 paires de pattes
- une paire de pattes par segment

**SCOLOPENDRES**

Les vers de terre : les lombriciens

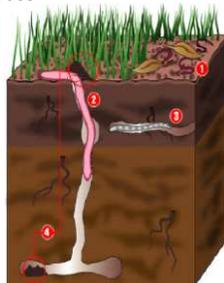
**Annelides**

- vers annelés
- oligochètes
- (différent de achètes et polychètes)

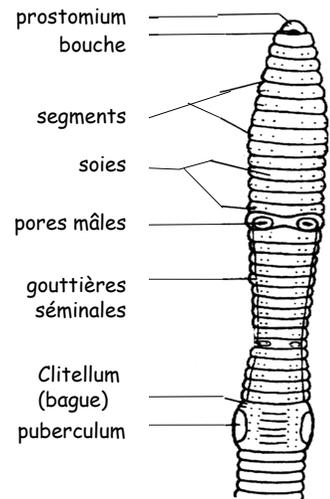
diversité

En France : 100 espèces

- 3 Catégories écologiques
- ✓ morphologiques
  - ✓ physiologiques,
  - ✓ écologiques



morphologie

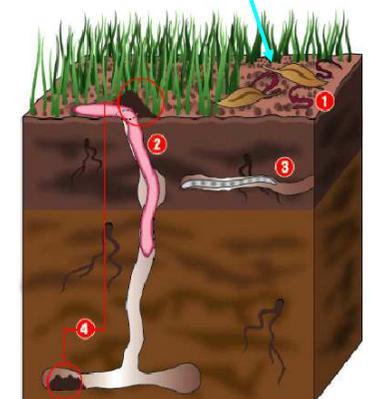


Les épigés

- Taille : 1-5 cm,  
Couleur : rouge sombre  
Mode de vie :  
- Localisation en surface :  
\* dans amas organique (fumier, compost, litière de feuilles, écorces, bouses...)  
\* dans 1ère cm du sol  
- Ingestion de peu de matière minérale.  
- Participent au fractionnement de la M.O  
- Creusent peu ou pas de galerie

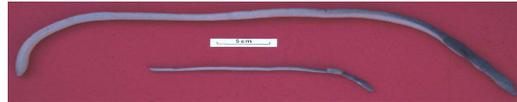
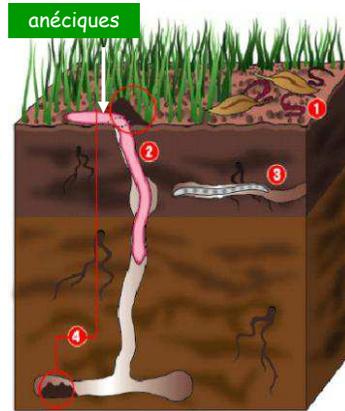


épigés



Les anéciques

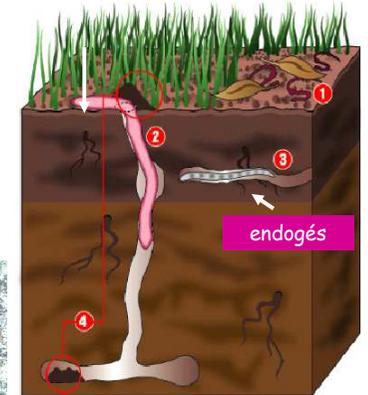
**Taille :** espèces les plus grosses (10-110 cm)  
**Couleur :** rouge, gris clair, brun  
**Mode de vie :**  
 - Localisation dans le sol  
 - Mixent matière organique et matière minérale.  
 - Creusent galeries permanentes d'orientation sub-verticales à verticales, ouvertes en surface (5-6 m)  
 - Rejetent des déjections à la surface du sol (turricules)



Le fonctionnement biologique des sols

Les endogés

**Taille :** moyenne à grande (1-20 cm)  
**Couleur :** faiblement pigmentée (rose à gris clair)  
**Mode de vie :**  
 - Localisation dans le sol (ne remontent presque jamais à la surface)  
 - Se nourrissent de MO plus ou moins dégradée  
 - en fonction de la richesse organique du bol alimentaire :  
   \* endogés oligohumiques  
   \* endogés méso-humiques  
   \* endogés polyhumiques  
 - Creusent galeries temporaires d'orientation sub-horizontales à horizontales, très ramifiées



Le fonctionnement biologique des sols

Lombriciens, leur écologie

Leur reproduction

Les vers de terre sont hermaphrodites.



Le développement du cocon à l'adulte est variable suivant les espèces :

- environ 9 mois pour le lombric commun
- 45 jours pour un ver de fumier.



Le fonctionnement biologique des sols

Lombriciens, leur écologie

Leur période d'inactivité = léthargie

1) Quiescence

Léthargie temporaire  
 - liée à un facteur du milieu  
 - disparaît quand contrainte disparaît  
 - tous les lombriciens  
 (*ahydrobiose, hibernation*)



*A. giardi*

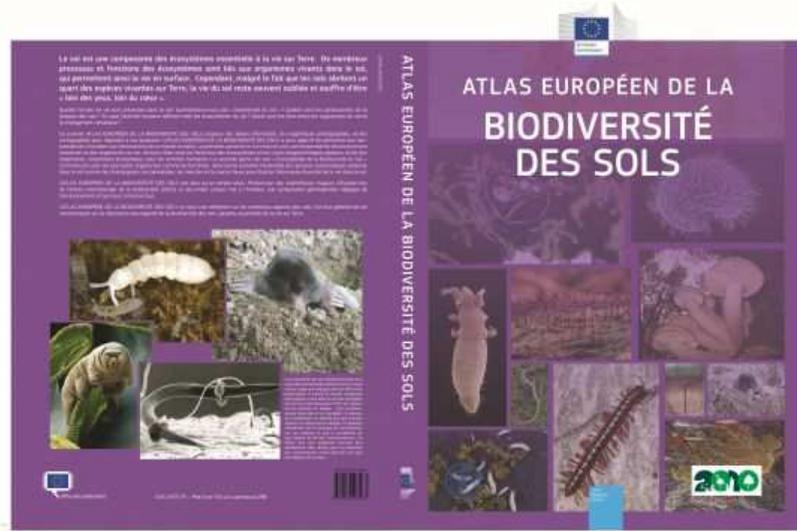
Logette d'estivation

2) Diapause

- Déclenchée par facteur externe  
 - Régulation interne (endocrine)  
 - Pas de levée quand facteur disparaît  
 - Ex: *A. giardi*



Le fonctionnement biologique des sols



## 2. Le compartiment biologique

### Diversité d'espace de vie de la faune dans le sol ...

La **microfaune** (Protozoaires) vit à l'**échelle de l'agrégat**, dans les pores ou films d'eau de la matrice du sol (eaux pelliculaire et interstitielle) dans un **univers de vie de quelques mm à 5 cm**

La **mésafaune** (Nématodes, Acariens, Collemboles, Diptères, ...) vit à l'**échelle de la motte de sol**. Elle occupe préférentiellement les pores d'air de la matrice du sol.

La mésafaune se déplace au sein des espaces existants, sans creuser de manière significative, dans un **univers de vie de quelques 10 cm à 50 cm**

La **macrofaune** (Lombriciens, Mollusques, Myriapodes) vit à l'**échelle du profil**.

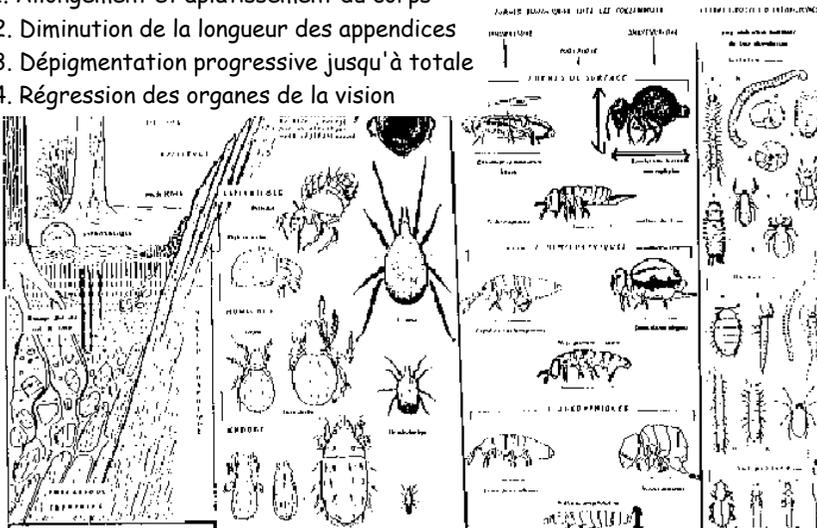
De par sa taille, elle peut modifier la structure physique du sol par le creusement de galeries ou pour son alimentation. Elle crée sa propre porosité en se déplaçant sur l'ensemble du profil de sol.

Son **univers de vie varie du mètre à 5 m**

## 2. Le compartiment biologique

### Diversité de morphologie de la faune dans le sol ...

1. Allongement et aplatissement du corps
2. Diminution de la longueur des appendices
3. Dépigmentation progressive jusqu'à totale
4. Régression des organes de la vision



## 2. Le compartiment biologique

### Diversité de régime alimentaire...

exemples...

#### Dans les chaînes de décomposition

Géophages	terre	vers de terre
Humivores	humus	
Sapropahes	matière organique morte non spécifiée	nombreux groupes d'invertébrés
Saprorhizophages	racine morte	larves de coléoptères, vers de terre

#### Dans les chaînes de broutage-prédation liée à la MO vivante

Fongivores	champignon	larves de diptères
Rhizophages	racines vivantes	larves de chareçons, de hanetons
Herbivores	mousses, végétaux supérieurs	chenilles
Bacterivores	bactéries	protozoaires, nématodes

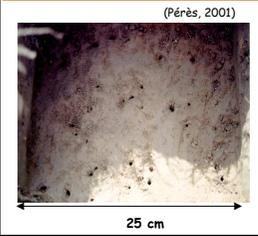
### 3. Impact des lombriciens sur les caractéristiques physiques Pérès et al., 2014

Les lombriciens agissent sur la physique du sol par deux voies

A) **activité fousseuse** : formation de galeries ou de logettes d'estivation

1 tonne de lombriciens /ha à galeries = 5% du volume de sol

Orifices des Galeries (P. horizontal)

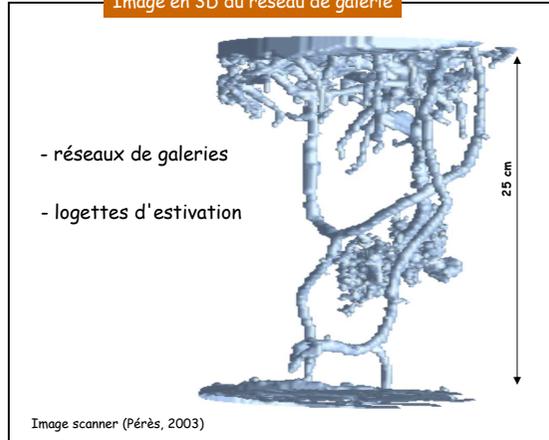


25 cm

Galeries sur profil de sol



Image en 3D du réseau de galerie



- réseaux de galeries
- logettes d'estivation

Image scanner (Pérès, 2003)

Le fonctionnement biologique des sols

Pérès et al., 2014

### 3. Rôle des lombriciens sur les caractéristiques physiques

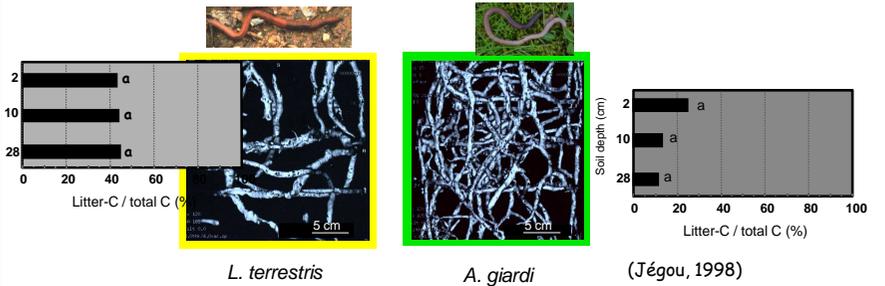
Variabilités morphologiques des réseaux de galeries

→ Variabilité inter catégories écologiques

-anéciques : réseau sub-vertical à vertical, permanent, peu ramifié

- endogés : réseau sub-horizontale à horizontale, temporaire, très ramifié

→ Variabilité intra catégories écologiques (spécifiques)



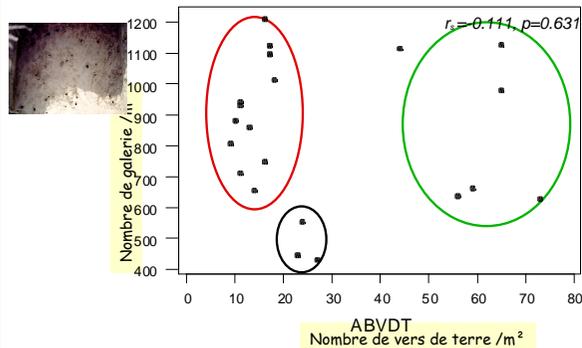
(Jégou, 1998)

Le fonctionnement biologique des sols

### 3. Impact des lombriciens sur les caractéristiques physiques Pérès et al., 2014

Relation entre nombre de galeries et nombre de lombriciens ?

● Ensemble du profil



- maïs
- prairie de rotation
- prairie permanente



→ Pas de corrélation quand tous les milieux sont pris en compte

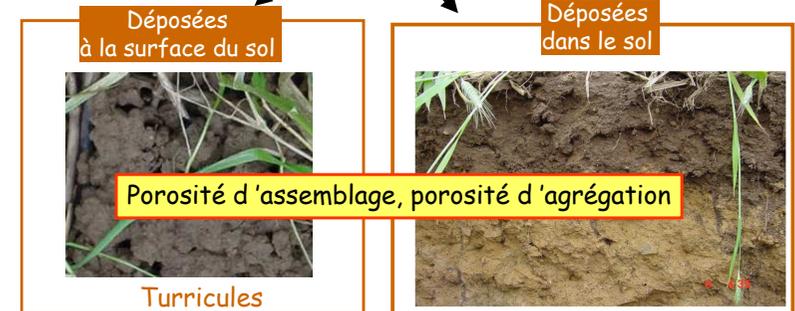
(Pérès et al., 2010)

Le fonctionnement biologique des sols

### 3. Impact des lombriciens sur les caractéristiques physiques Pérès et al., 2014

B) **Production de déjections (fèces)**

chiffre = 1 tonne de lombriciens /ha  
→ 30 tonnes déjections de surface/ha/an  
→ 240 tonnes déjections /ha/an



Porosité d'assemblage, porosité d'agrégation

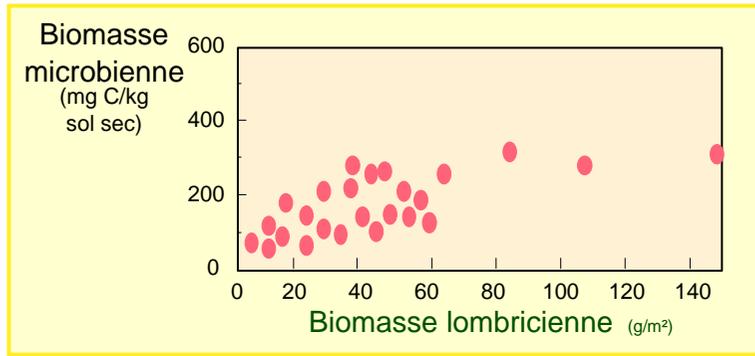


déjections = mélange intime de Minéral et Organique

- sécrétions (mucus, enzymes, NH4+),
- les matières minérales (argiles)
- les matières organiques
- les microorganismes

Le fonctionnement biologique des sols

A) Les lombriciens influencent la biomasse microbienne (croissance microbienne)

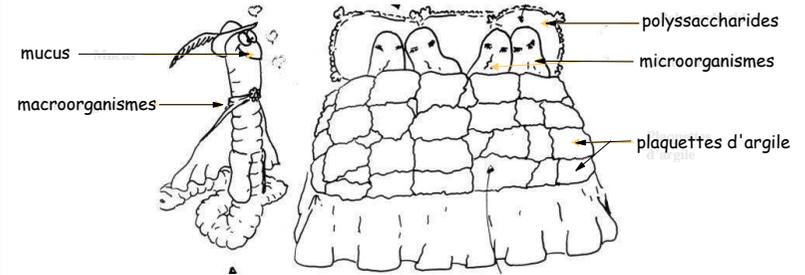


Les vers de terre créent des bonnes conditions pour le développement des microorganismes

- Matière organique plus accessible
- Mucus directement assimilable
- Conditions humidité et pH meilleures

B) Les vers de terre stimulent l'activité des microorganismes

Le paradoxe de la belle au bois dormant

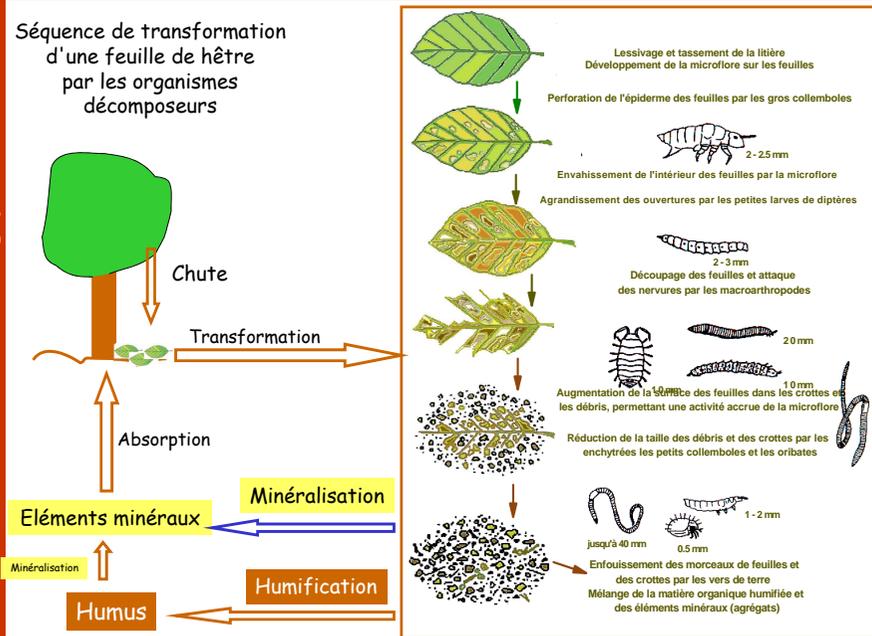


La microflore est inactive la plupart du temps attendant des conditions plus propices

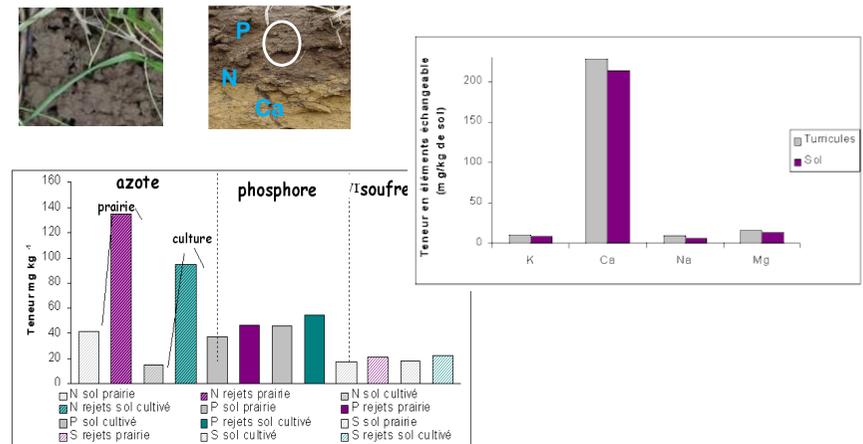
→ Les Racines et les Invertébrés jouent le rôle de « Prince Charmant »

Les racines et les invertébrés du sol peuvent créer ces conditions favorables

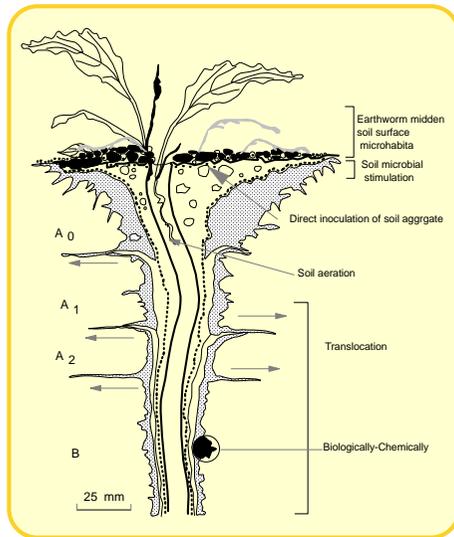
Séquence de transformation d'une feuille de hêtre par les organismes décomposeurs



Conséquences sur les caractéristiques des déjections

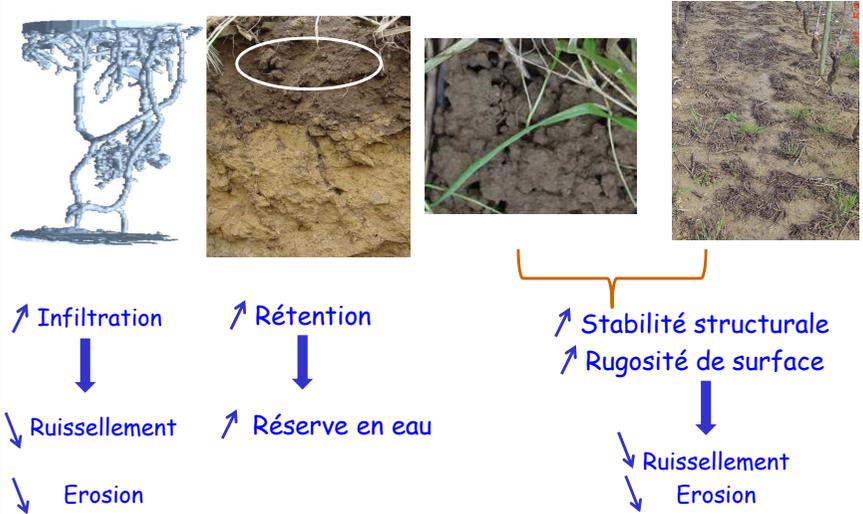


Définition d'une sphère fonctionnelle = la drilosphère



- ❖ physique du sol
  - Infiltration (air, eau)
  - Erosion
- ❖ chimique du sol
  - Dynamique de la MO
- ❖ biologie du sol
  - Microhabitat
  - Stimulation microbienne

Bilan sur les Conséquences environnementales ?



Conséquences environnementales ?

Processus de transfert des polluants dans le paysage

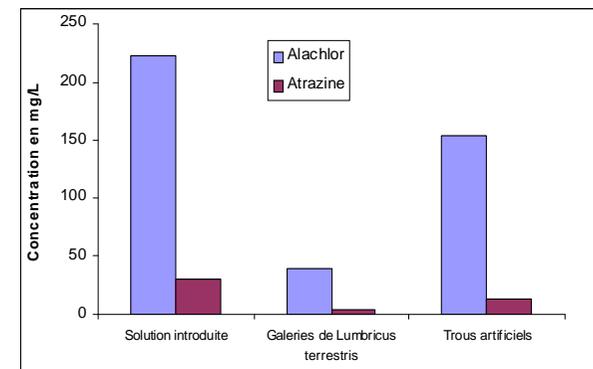
Des processus différents suivants les éléments ...

**Eléments dans la phase soluble :**  
(nitrates, phyto) → infiltration ,  
→ écoulement en nappe

**Eléments dans la phase particulaire :**  
(phosphore, phyto, ETM, MES)  
→ ruissellement de surface

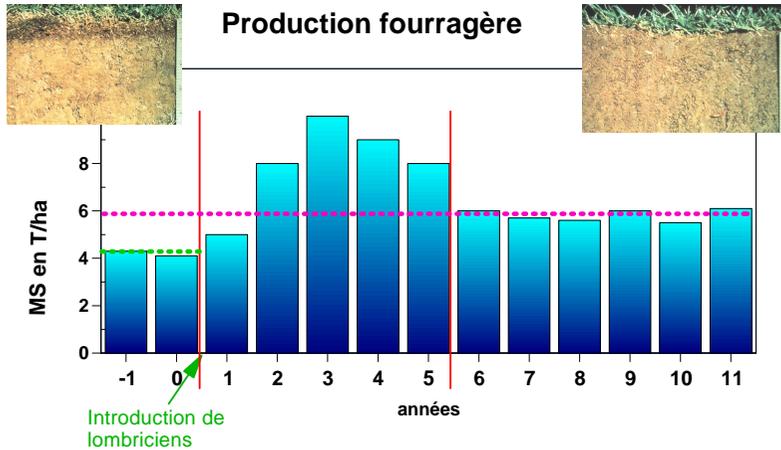
Effet des galeries sur le transfert des pesticides

Effet des galeries du lombric commun sur la qualité des eaux de percolation collectées à 45 cm de profondeur



Conséquences agronomiques ?

Prairie en Nouvelle-zélande



L'introduction de lombriciens permet d'augmenter la vitesse de dégradation de la MO et de ce fait la productivité végétale

En résumé .....

1) L'activité lombricienne et le maintien de leurs structures biogéniques (galeries et déjections), participent à améliorer les flux d'air et d'eau dans les sols. Par ailleurs, ils assurent une meilleure capacité de rétention en eau ainsi qu'une plus forte activité microbienne

2) L'augmentation de la stabilité du sol (incorporation de la MO et MM dans déjections), la création de macropores ouverts en surface (galeries) et le maintien d'une rugosité de surface (middens, turricules) contribuent à diminuer les risques de ruissellement, d'érosion et de pollution = fonction environnementale

De plus la stimulation de l'activité microbienne peut favoriser la dégradation des pesticides = fonction épuratrice du sol.

Les lombriciens sont influencés par les caractéristiques du sol

Ils sont sensibles à leur environnement:

- La composition minérale du sol (sable, limon, argiles)



Source : JM. Rivière

- L'humidité du sol

-> espèces caractéristiques des sols hydromorphes .

- Le pH

2 bornes : 4.7 - 11, sachant qu'en dessous de 3.7 : absence de lombriciens (Bachelier, 1971)

- les lombriciens peuvent vivre à des pH très éloignés de l'optimum

MAIS : leur activité générale est modifiée

exemple : *Allolobophora icterica* (endogée)

optimum : 7, peut vivre entre 4.2 et 8

longueur du réseau de galeries : 3 fois plus importante à pH8 comparé à pH 4.2

-> Communautés lombriciennes plus nombreuses dans sols neutres, riche en cations

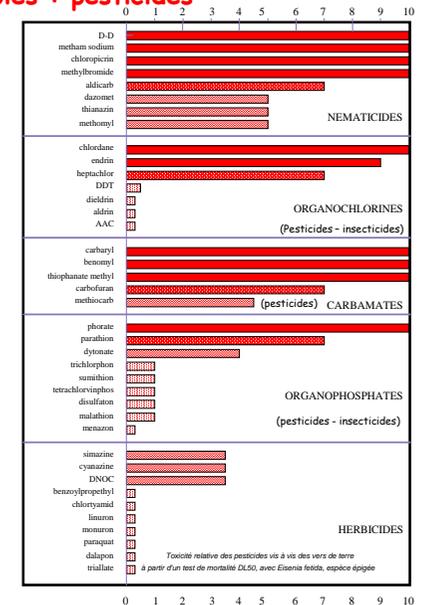
-> Communautés faibles dans sols acides

Impact des activités agricoles : pesticides

Test écotoxicologique normalisé (mortalité sur 14 jours)

(*Eisenia fetida* espèce épigée, absente des sols)

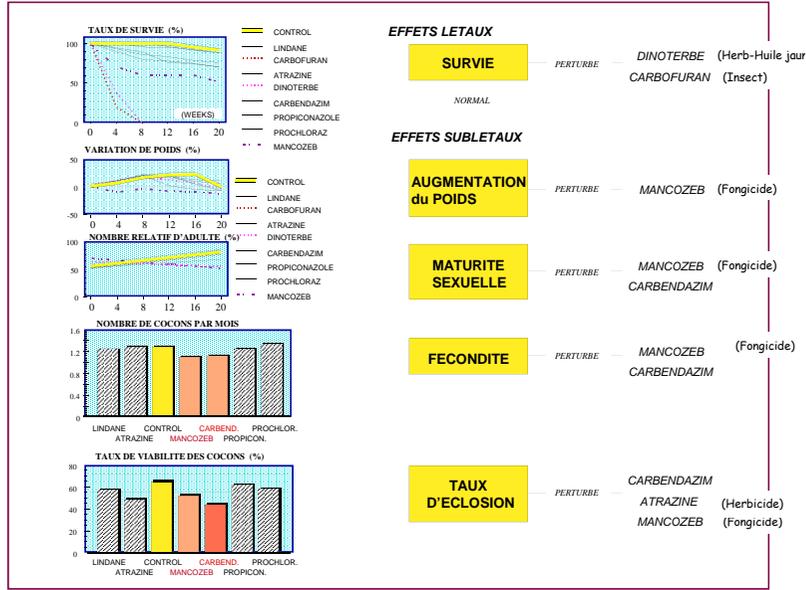
(Sol artificiel avec billes d'agathe)



#### 4. Lombriciens = indicateur d'usages

Pérès et al., 2014

### Impact des activités agricoles : pesticides



Le fonctionnement biologique des sols

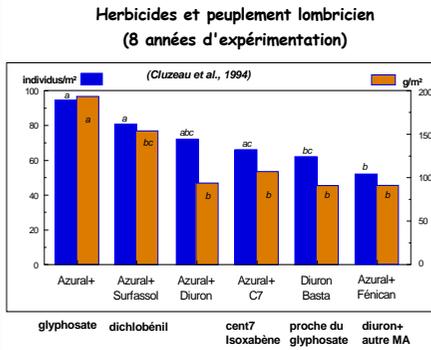


#### 4. Lombriciens = indicateur d'usages

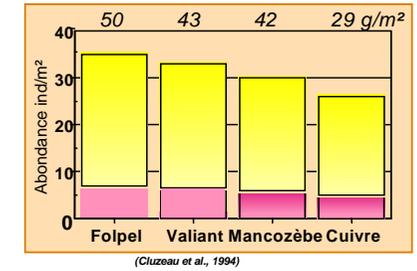
UNIVERSITÉ DE RENNES 1



### Impact des activités agricoles : pesticides



### Fongicides et peuplement lombricien (5 années d'expérimentation)



Le fonctionnement biologique des sols

### Impact de la fertilisation

Pérès et al., 2014

ADEME

Exemple d'un programme de Recherche National :

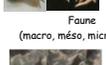
→ Programme Bioindicateurs de la qualité des sols

**Objectifs** : identifier des bioindicateurs pertinents en fonction des attentes (agricoles, sols contaminés)

Programme de Recherche Régional :  
→ Programme VITI 2000

Grande diversité de paramètres

40 paramètres testés



différentes échelles

Communauté structure

Population

abondance, biomasse, présence-absence structure

Individu

activité enzymatique, accumulation des ETM

Grand nombre de sites



13 sites (forestiers, agricoles, pollués), 51 contextes

Réseau de chercheurs : 20 équipes de recherche françaises (70 chercheurs)

Le fonctionnement biolo

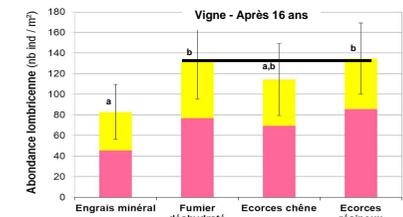
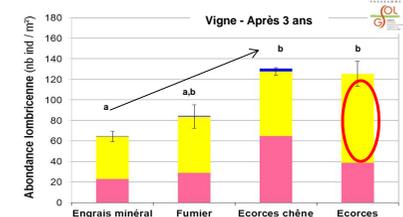
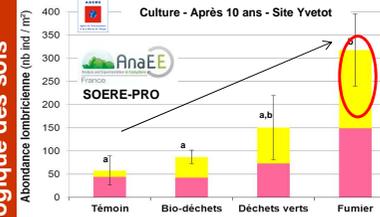
#### 4. Lombriciens = indicateur d'usages

### gestion des apports organiques 14

Pérès et al., 1998, 2008, 2012

Cluzeau et al., 2009, 2012

Le fonctionnement biologique des sols



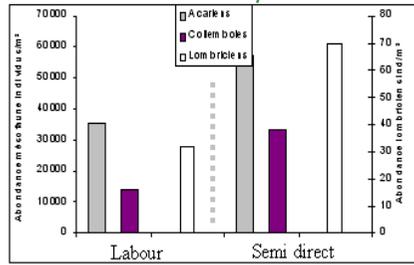
#### 4. Lombriciens = indicateur d'usages

Travail du sol

Pèrès et al., 2014

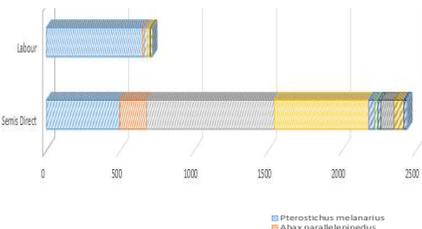
### Impact des activités agricoles : travail du sol -> sur l'ensemble des organismes du sol

#### Influence sur la méso, macrofaune



Aslam et al., 1999

#### Influence sur la macrofaune (carabes)



(Chambre d'Agriculture Finistère)

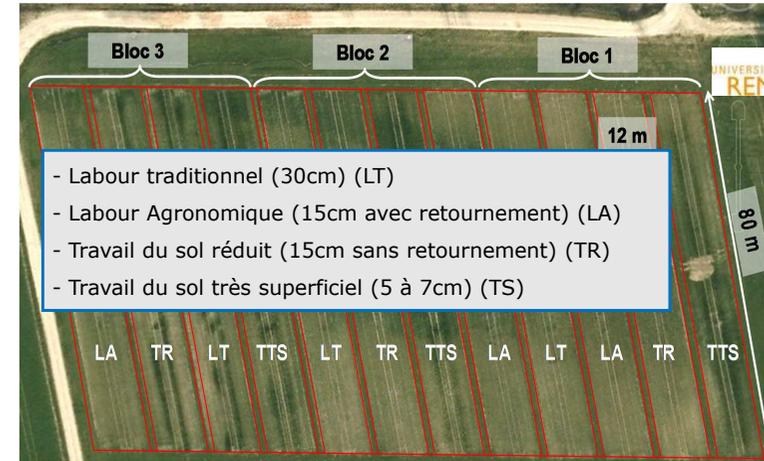
Le fonctionnement biologique des sols

#### 4. Lombriciens = indicateur d'usages

Profondeur Travail du sol



### Impact de la profondeur de labour (programme Bioindicateur ADEME)



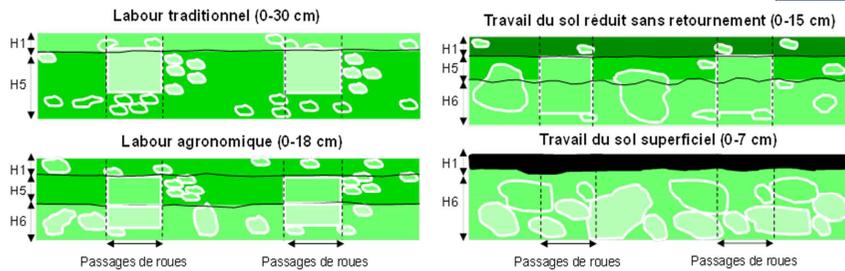
Le Rhône

Le fonctionnement biologique des sols

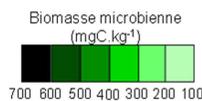
#### 4. Lombriciens = indicateur d'usages



### Impact de la profondeur de labour (programme ADEME)



H1: Horizon de reprise de labour ou d'un travail du sol superficiel  
H5: Horizon de labour ou de travail du sol superficiel non repris  
H6: Ancien horizon labouré, sans travail du sol  
Les zones entourées d'un trait blanc correspondent à des zones de tassements



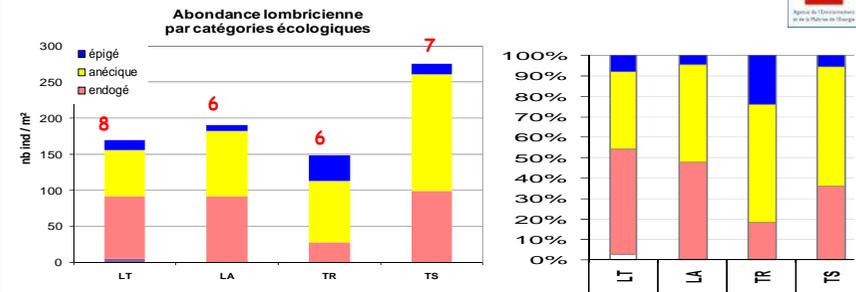
(Vian, 2009)

Le fonctionnement biologique des sols

#### 4. Lombriciens = indicateur d'usages

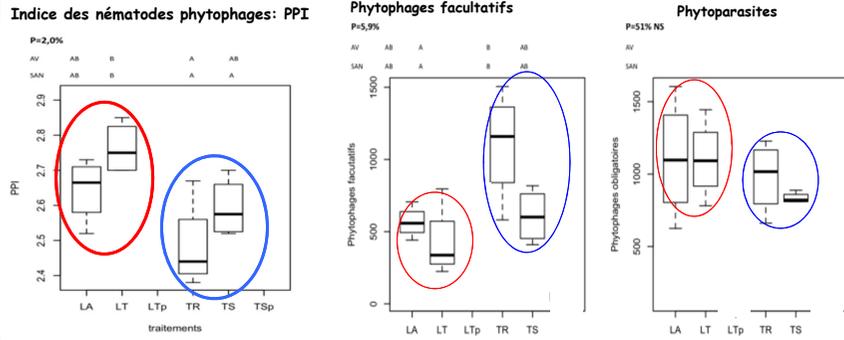


### Impact de la profondeur de labour (programme ADEME)



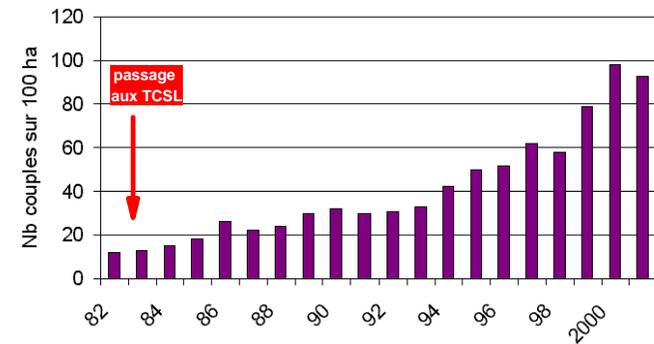
Le fonctionnement biologique des sols

(Pèrès Guénola et al., 2011)



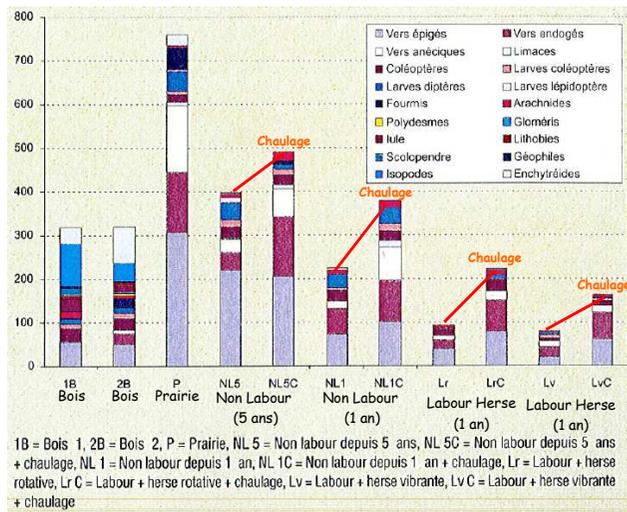
(Cécile Villenave et al., 2011)

Évolution du nombre de couples de perdrix grises sur 100 ha (territoire de la ferme du Bois Cabaret) depuis 1982, date du passage aux TCSL



Grandval, ONCFS, 2003

Chambre d'Agriculture d'Indre et Loire (2000) dans TCS (n°40, 2006)



1B = Bois 1, 2B = Bois 2, P = Prairie, NL 5 = Non labour depuis 5 ans, NL 5C = Non labour depuis 5 ans + chaulage, NL 1 = Non labour depuis 1 an, NL 1C = Non labour depuis 1 an + chaulage, Lr = Labour + herse rotative, Lr C = Labour + herse rotative + chaulage, Lv = Labour + herse vibrante, Lv C = Labour + herse vibrante + chaulage

-> Rôle positif du chaulage

Impact du travail du sol  
Et gestion organique

Exemple d'un programme de Recherche européen :

-> Programme SUSTAIN

(Soil Functional Biodiversity and Ecosystem Services, a

Transdisciplinary Approach

SUSTAIN project

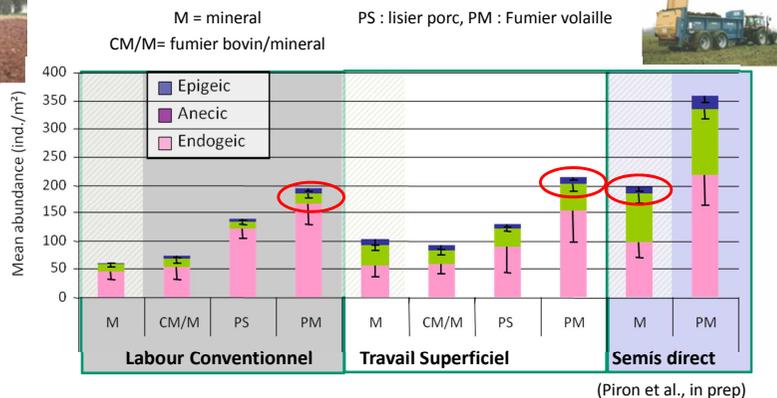
(2011-2014)



SNOWMAN NETWORK

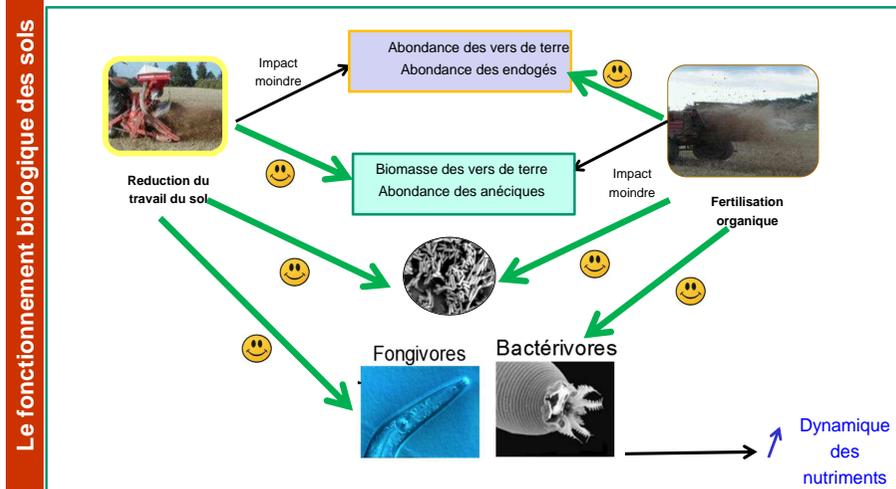
Knowledge for sustainable soils

**Impact des activités agricoles : travail du sol  
-> Rôle de la fertilisation  
(exemple après 7 ans d'expérimentation, Site Kerguehenec)**



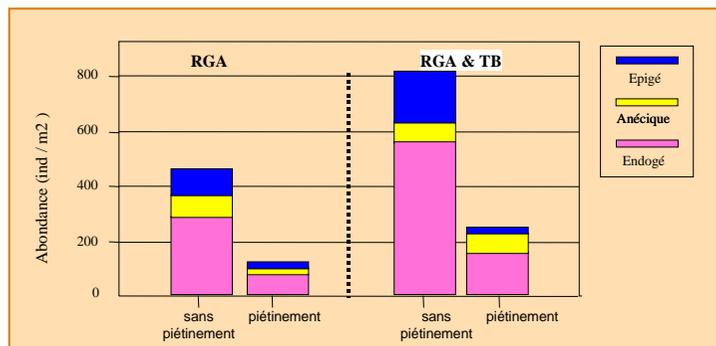
Le fonctionnement t

**Effet des systèmes sans labour sur la biodiversité**



Le fonctionnement biologique des sols

**Impact des activités agricoles : couvert et piétinement**

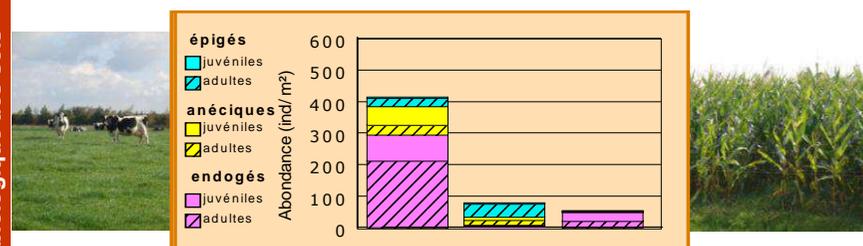


(Cluzeau et al., 1992)

- Le tassement du sol et la dégradation du couvert végétal peuvent nuire de façon importante à l'activité lombricienne.
- Les légumineuses sont particulièrement favorables à l'activité biologique des sols

Le fonctionnement biologique des sols

**Impact des activités agricoles**



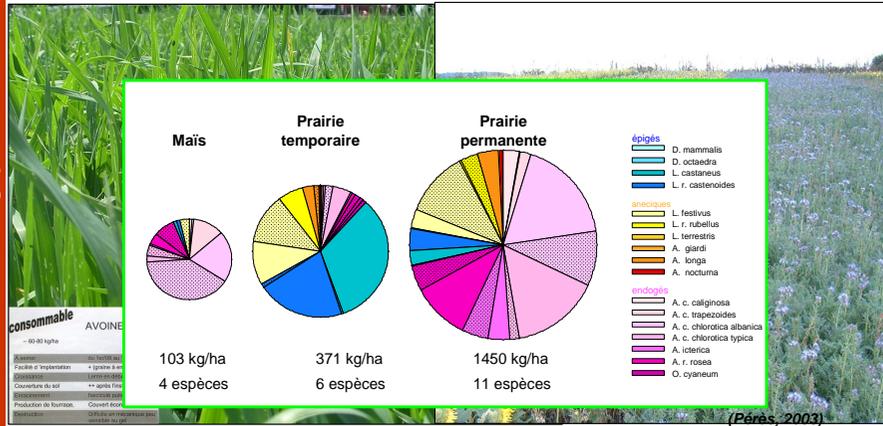
- le labour affecte toutes les catégories écologiques (CE)
  - les épigés
  - les vers de grandes taille (anéciques, adultes)
- la présence de couvert herbacé est profitable à toutes les CE (notamment aux épigés)
- les traitements phytosanitaires affectent particulièrement les épigés
- le piétinement affecte directement les épigés, indirectement les autres CE

Le fonctionnement biologique des sols

#### 4. Lombriciens = indicateur d'usage

Pérès et al., 2014

#### Impact des activités agricoles : effet de la rotation

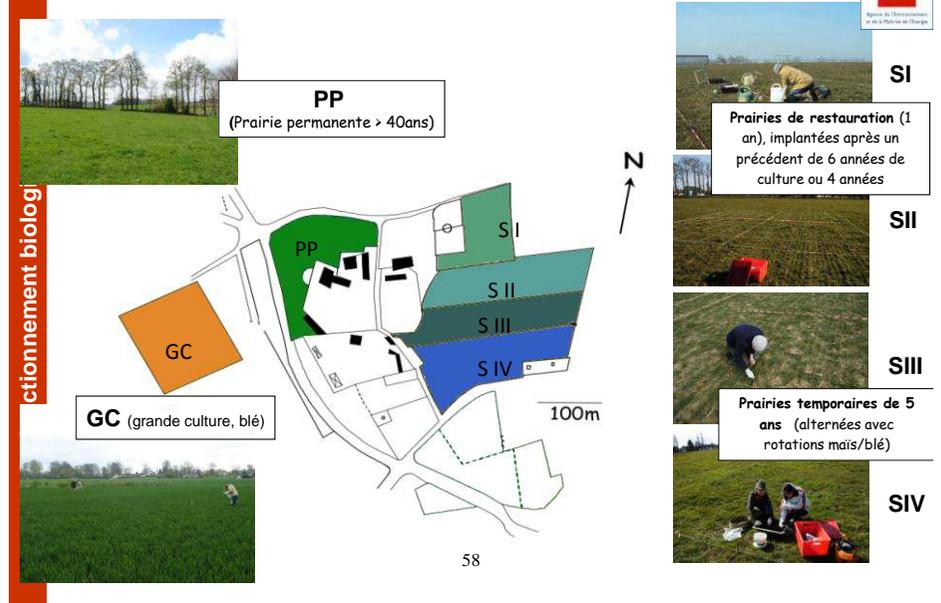


Le fonctionnement biologique des sols

Pé ADOME

#### 4. Lombriciens = indicateur d'usage

#### Impact des activités agricoles : effet de la rotation

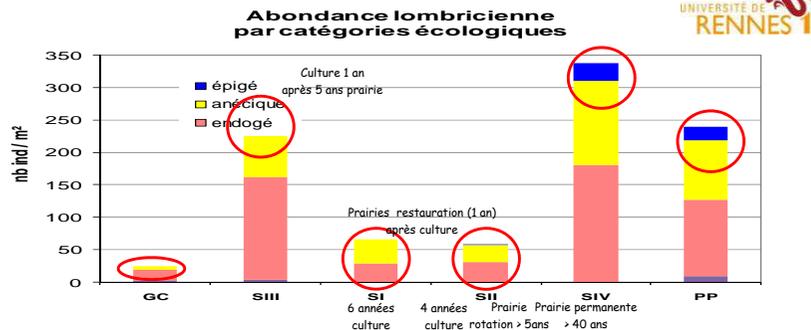


Le fonctionnement biologique des sols

#### 4. Lombriciens = indicateur d'usage

Pérès et al., 2014

#### Impact des activités agricoles : effet de la rotation

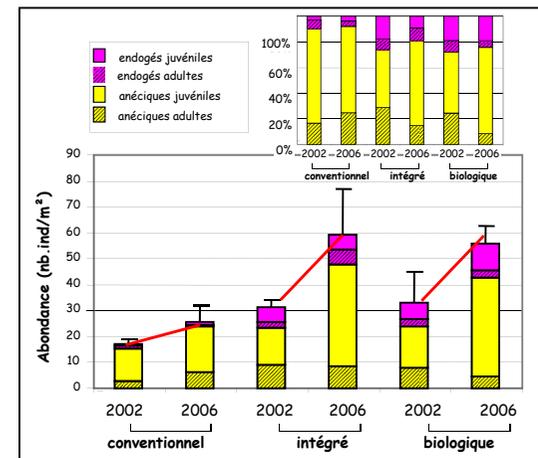


Le fonctionnement biologique des sols

Pérès et al., 2014

#### 4. Lombriciens = indicateur d'usage

#### G) Impact du mode de gestion



Le fonctionnement biologique des sols

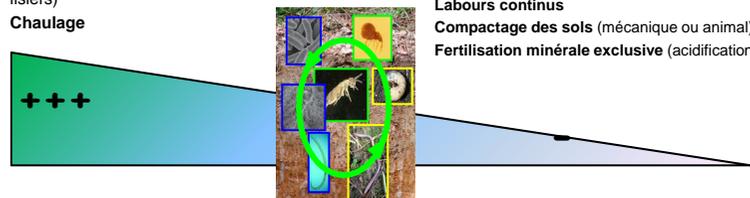


**Facteurs de restauration**

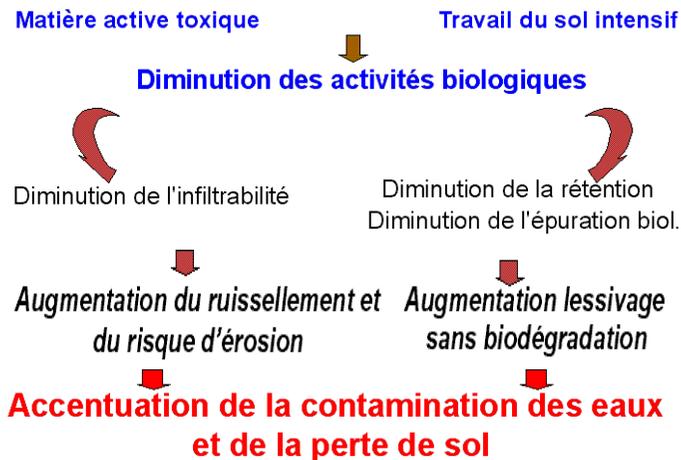
- Protection phytosanitaires raisonnée (utilisation raisonnée de certaines matières actives)
- Travail minimum, Semis direct
- Couvert végétal d'interculture (mort ou vivant)
- Amendements organiques (fumier, compost, ...)
- Fertilisation raisonnée (fumures organo-minérales, lisiers)
- Chaulage

**Facteurs de dégradation**

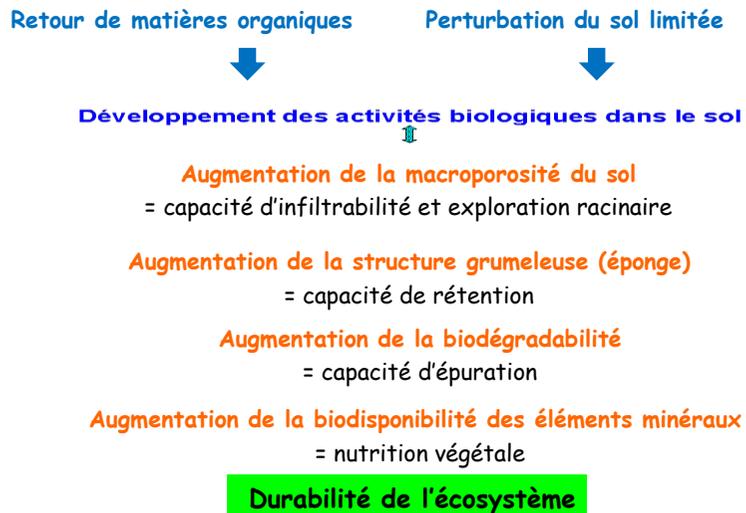
- Protection phytosanitaires (la majeure partie des nématicides et insecticides, certains fongicides et molluscides, peu d'herbicides...)
- Rotations courtes et monocultures
- Labours continus
- Compactage des sols (mécanique ou animal)
- Fertilisation minérale exclusive (acidification des sols)



**Conséquences des pratiques culturales dégradantes sur le fonctionnement des sols agricoles**



**Conséquences de pratiques culturales favorables au fonctionnement biologique**



**Références internet**

- <http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/>
- <http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/snowman-sustain/>
- <http://ecofinders.dmu.dk/>
- [http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Boden/Projekte/Informationsgrundlagen\\_abgeschlossen/ENVAOSSO/ENVAOSSO\\_en.html](http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Boden/Projekte/Informationsgrundlagen_abgeschlossen/ENVAOSSO/ENVAOSSO_en.html)

