



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

**Biodégradation des résidus de pesticides dans  
les sols: quels effets des pratiques ?**

**Aliénor Allain, Laure Vieublé, Emma Vivien, Olivier Crouzet**

*INRA EcoSys, Versailles & INRA ISPA, Bordeaux*



# Devenir des pesticides dans l'environnement

- **Réduire l'impact environnemental des pesticides:**

- Comprendre les processus (et interactions) contrôlant le devenir des pesticides dans les sols
- Identifier des pratiques permettant d'optimiser leur dissipation (*influençant leur stabilisation + dégradation*)

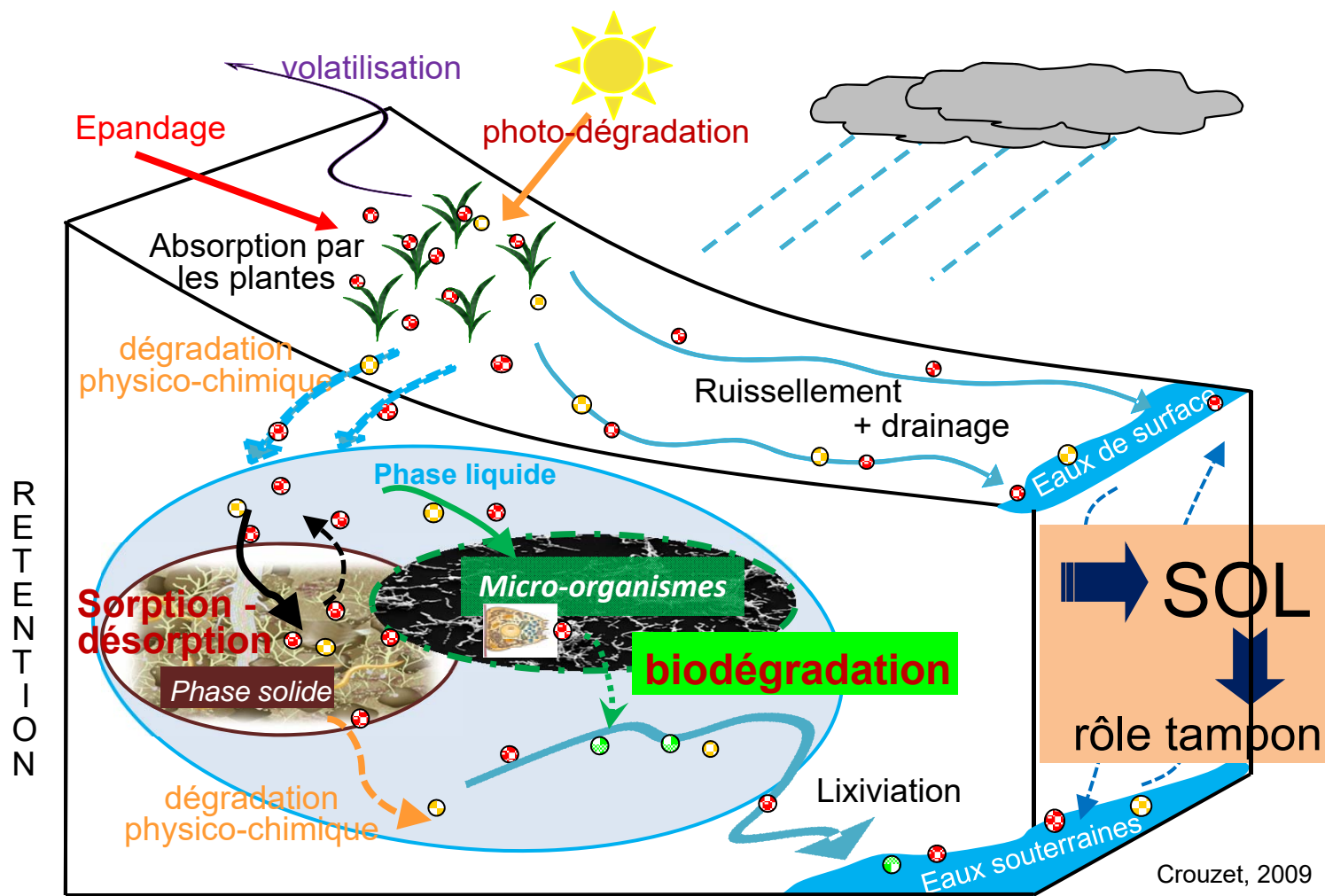
- **Importance du rôle tampon des sols**

- divers processus interagissent (rétention, dégradation, stabilisation, transfert) et modulent leur devenir dans l'environnement et donc:
  - l'expression de leur caractère polluant
  - leur rémanence (persistance)



# Devenir des pesticides dans l'environnement

- Importance du rôle tampon des sols



# Devenir des pesticides dans l'environnement

- Réduire l'impact environnemental des pesticides:

- Comprendre les processus (et interactions) contrôlant le devenir des pesticides dans les sols
- Identifier des pratiques permettant d'optimiser leur dissipation (*influençant leur stabilisation + dégradation*)

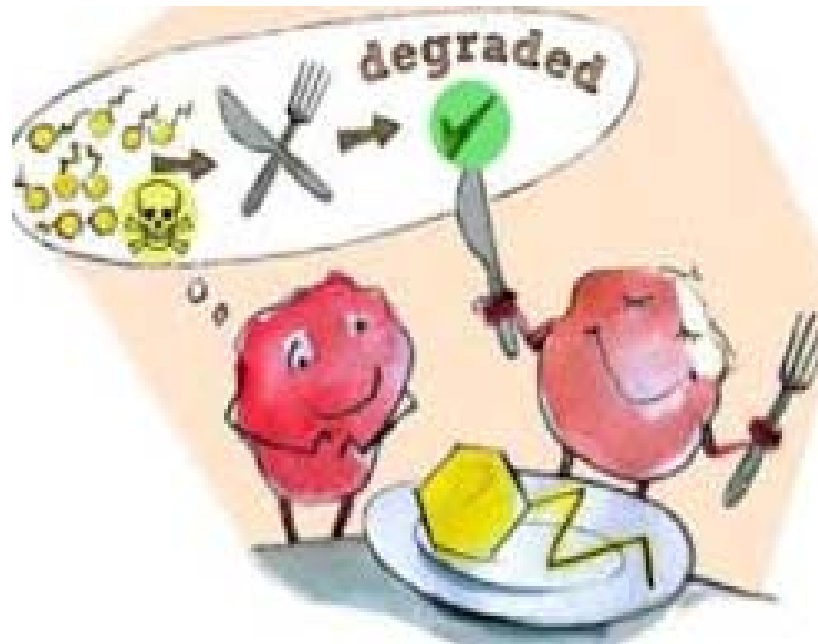
- Importance du rôle tampon des sols

- divers processus interagissent (rétention, dégradation, stabilisation, transfert) et modulent leur devenir dans l'environnement et donc:
  - l'expression de leur caractère polluant
  - leur rémanence (persistance)
- Grande variabilité selon les familles de pesticides
- Forte influence des *conditions pédoclimatiques* (pH, teneur en argile et MO, humidité, température), des *pratiques agricoles* (fertilisations et amendements, travail du sol)



# Biodégradation microbienne des pesticides

- Une fonction clef des sols agricoles
  - Assurée par des bactéries et champignons
  - Biomasse microbienne dégradante n'est qu'une fraction de la microflore totale



# Biodégradation microbienne des pesticides

- Une fonction clef des sols agricoles

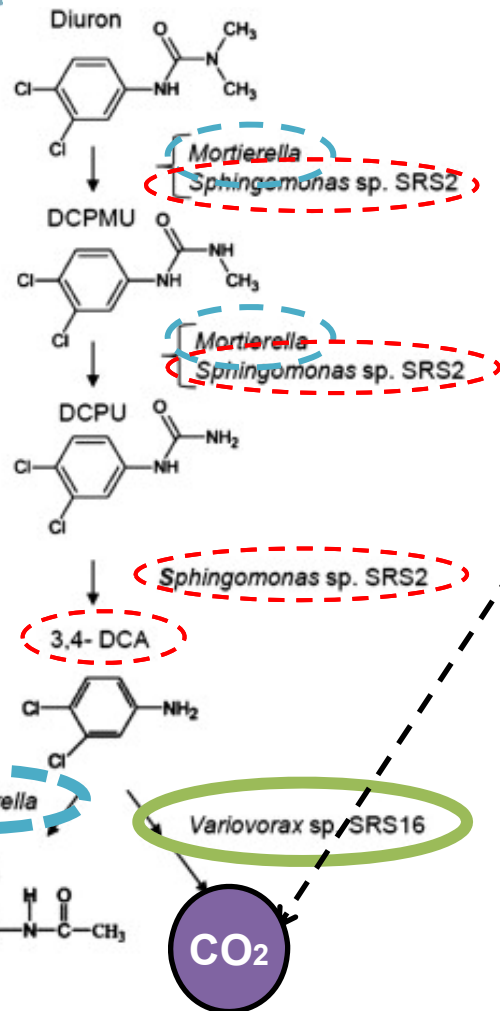
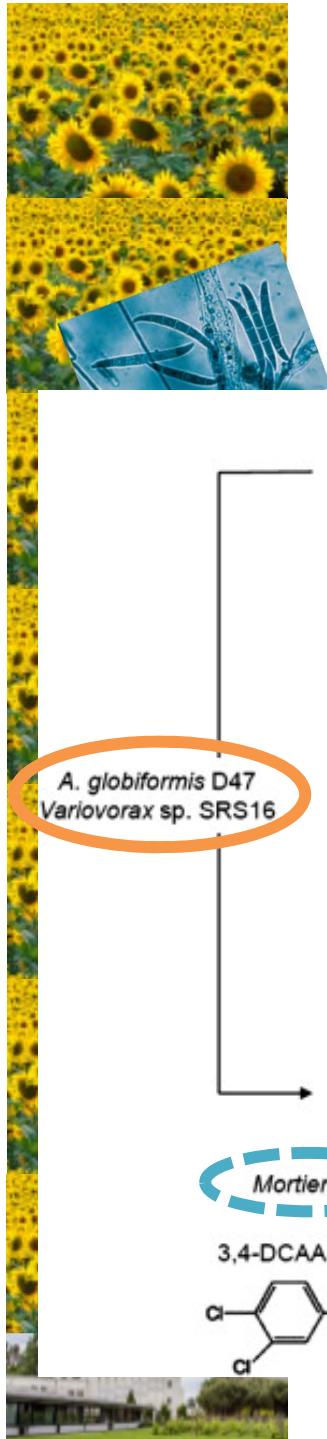
- Assurée par des bactéries et champignons
- Biomasse microbienne dégradante n'est qu'une fraction de la microflore totale
- Métabolisme spécifique ou cométabolisme
  - Dégradation totale -> -> minéralisation -> -> C, N, P
  - Possible production de produits de transformation (métabolites)
- Coopération métabolique au sein de « consortia »:
  - ✓ divers souches microbiennes permettent une chaîne métabolique favorisant une dégradation complète



# Biodégradation microbienne des pesticides

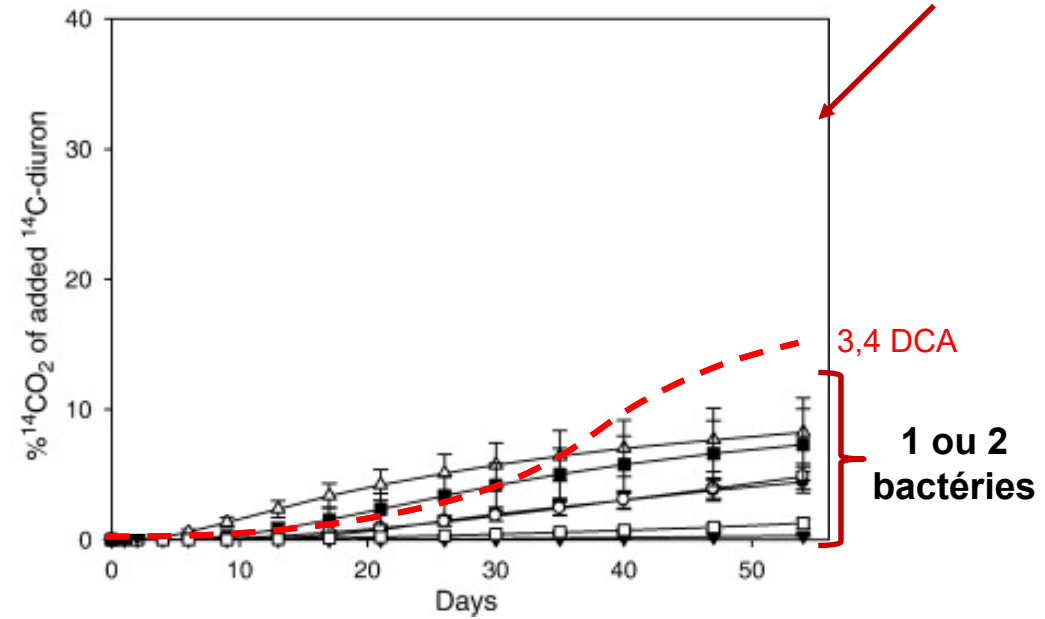
- Une fonction clef des sols agricoles

→ Importance des consortia microbiens



A. globiformis D47  
Variovorax sp. SRS16

Ellegaard-Jensen *et al.*, 2014



→ Effet synergique du consortia microbien

# Biodégradation microbienne des pesticides

- Une fonction clef des sols agricoles

- Assurée par des bactéries et champignons
- Biomasse microbienne dégradante n'est qu'une fraction de la microflore totale
- Métabolisme **spécifique** ou **cométabolisme**
  - Dégradation totale -> -> minéralisation -> -> C, N, P
  - Possible production de produits de transformation (métabolites)
- Coopération métabolique au sein de « consortia »:
  - ✓ divers souches microbiennes permettent une chaîne métabolique favorisant une dégradation complète
- Adaptation microbienne → **dégradation accélérée**
  - ✓ Bénéfice pour les bactéries et dépend des pressions de sélection -> fréquence d'application
  - ✓ Gènes de dégradation (mobiles entre les bactéries)





# Biodégradation microbienne des pesticides

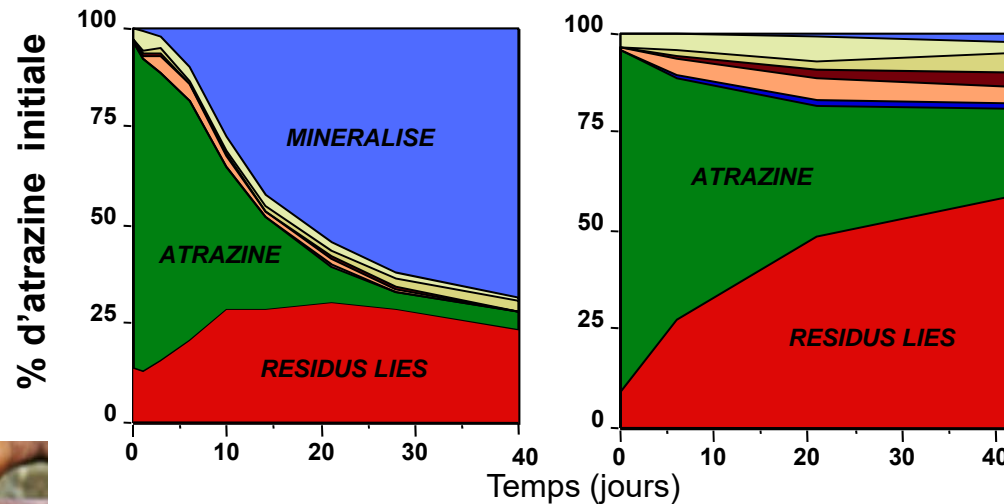
- Importance du passif de traitements phytosanitaires

→ Adaptation microbienne → dégradation accélérée

*Monoculture de maïs*



*Prairie permanente ou monoculture de blé*



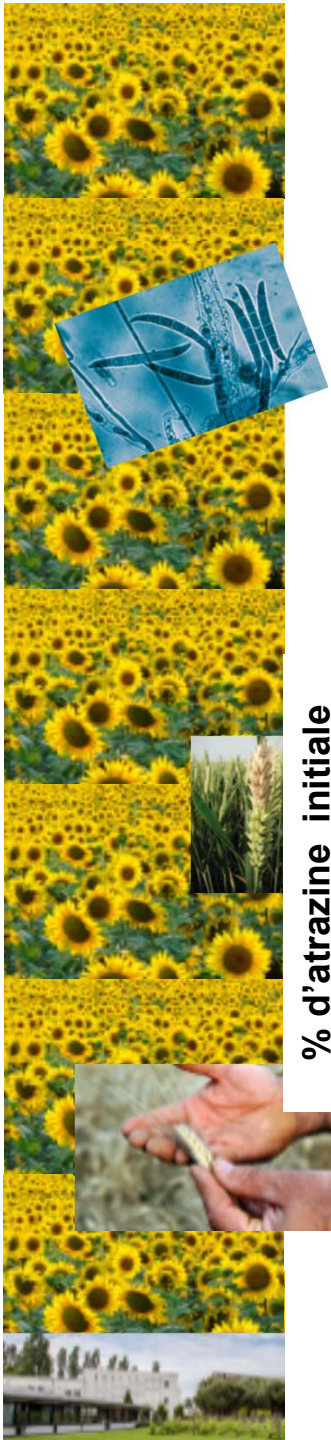
Fréquence de l'exposition:

- ➔ ++ minéralisation
- ➔ Moins d'atrazine restante, moins de résidus liés et de métabolites formés
- ➔ Malgré tout il y a accumulation de résidus

(Barriuso et Houot, 1996;  
Ostrowsky et al., 1997)

Intensité de traitement → Adaptation des microorganismes → minéralisation

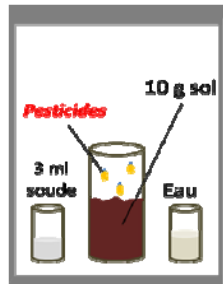
- ✓ dissipation accrue du caractère polluant
- ✓ Mais aussi ... de l'efficacité phytosanitaire



# Biodégradation microbienne des pesticides

- Méthodes de mesure de la biodégradation

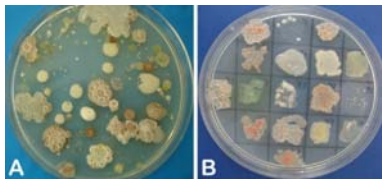
- Mesure du métabolisme (activité): incubation en laboratoire



Microcosmes au laboratoire avec ajout des pesticides marqués au  $^{14}\text{C}$

↳ Suivi du  $^{14}\text{C-CO}_2$  et bilan  $^{14}\text{C}$  ( $^{14}\text{C}$  extraits  $\text{CaCl}_2$  et  $\text{MeOH}$ , métabolites et résidus- $^{14}\text{C}$  non extractibles)

- Mesure de l'abondance des microorganismes dégradants



↳ isolement et culture de microorganismes dégradants  
(*pesticides comme source de C ou nutriments*)

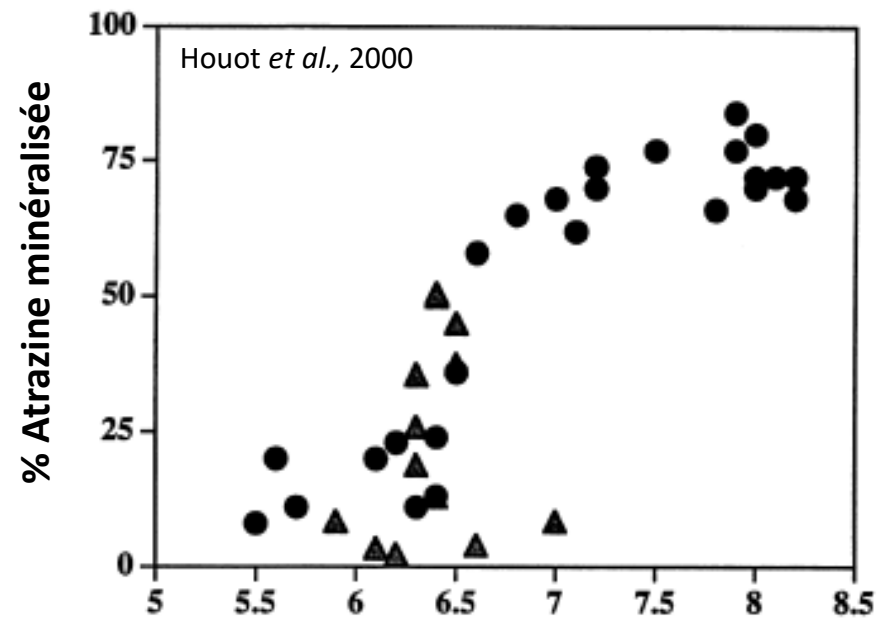
- ↳ Biologie moléculaire

Extraction d'ADN / ARN du sol → Criblage et quantification qPCR de gènes impliqués dans la biodégradation et déjà connus chez des bactéries isolées    Ex: Triazine, Phenylurée, glyphosate, 2,4-D, ...

# Biodégradation microbienne des pesticides

- Importance du pédo-climat

→ Rôle du pH



Double effet du pH:

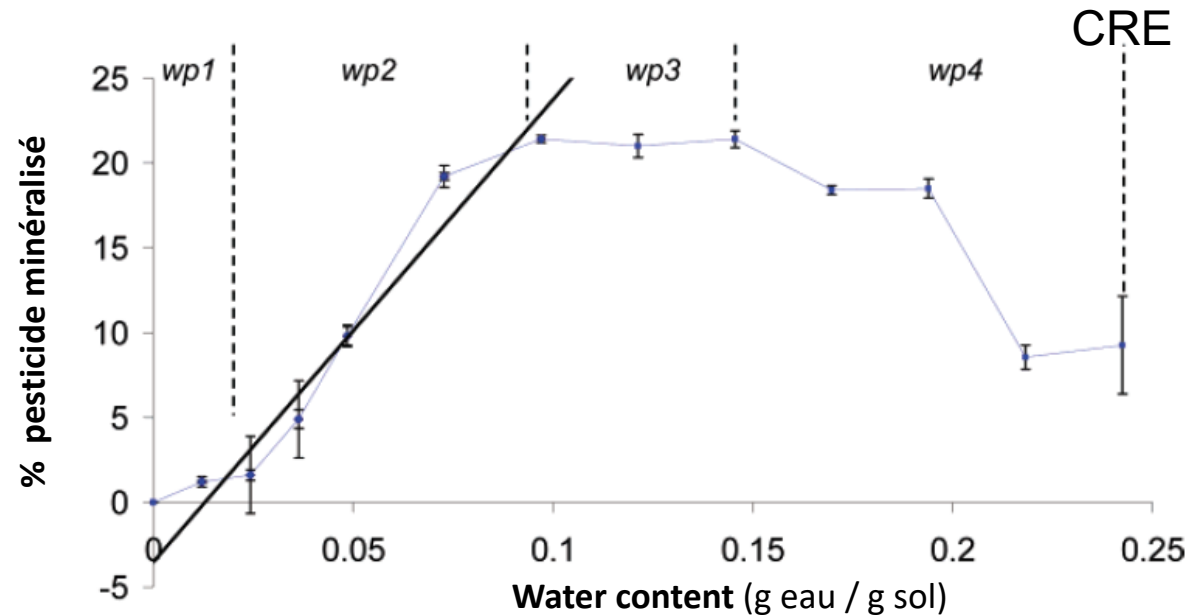
- Influence la charge des molécules (ionisation) → adsorption
- pH neutres ou légèrement alcalins favorisent l'activité microbienne



# Biodégradation microbienne des pesticides

- Importance du pédo-climat

→ Rôle de l'humidité



d'après Schroll 2006

## L'augmentation de l'humidité favorise:

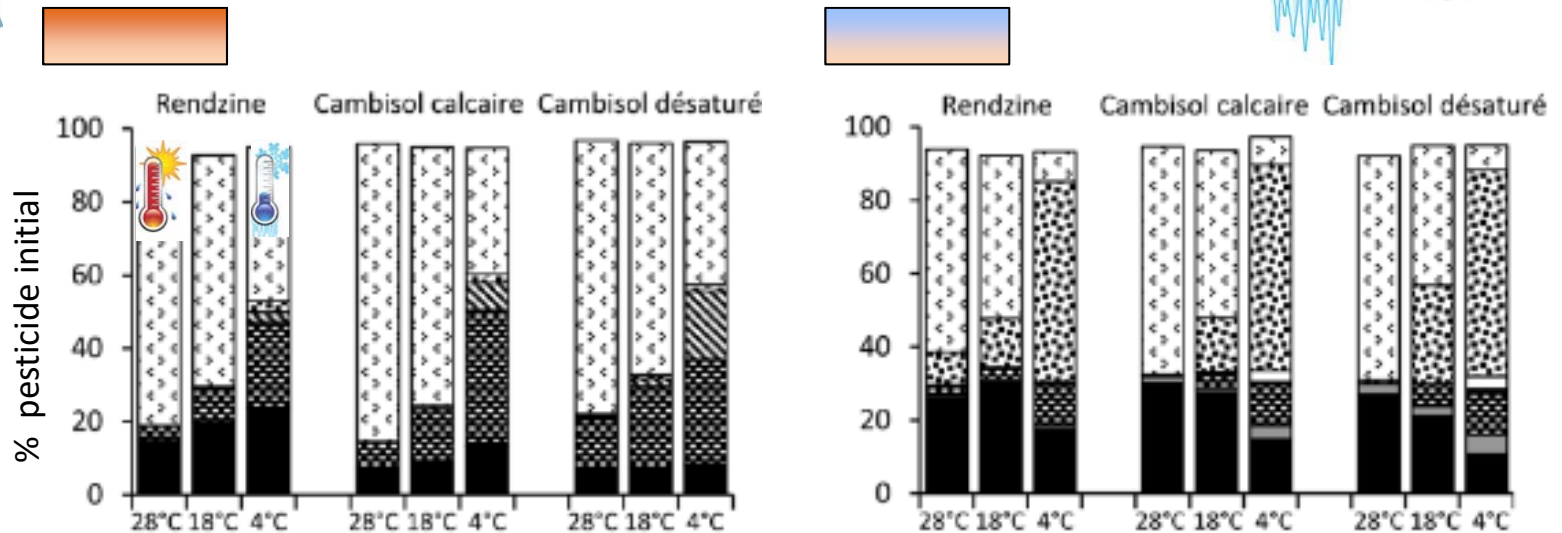
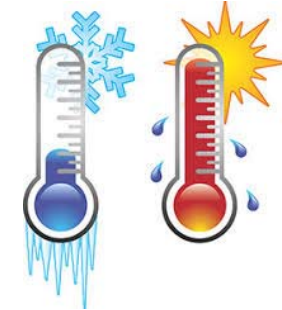
- La biodisponibilité des pesticides pour les microorganismes
- l'activité microbienne (tant que le sol n'est pas saturé)



# Biodégradation microbienne des pesticides

- Importance du pédo-climat

→ Rôle de la température



Mamy et al., 2013

- tendance similaire dans différents sols
- L'augmentation de la T°C accroît la minéralisation (dégradation complète)
- ++ métabolites formés à faible T°C

Risques accrus en climat froid pour la contamination des eaux par transfert des résidus non dégradés

☐ Minéralisé

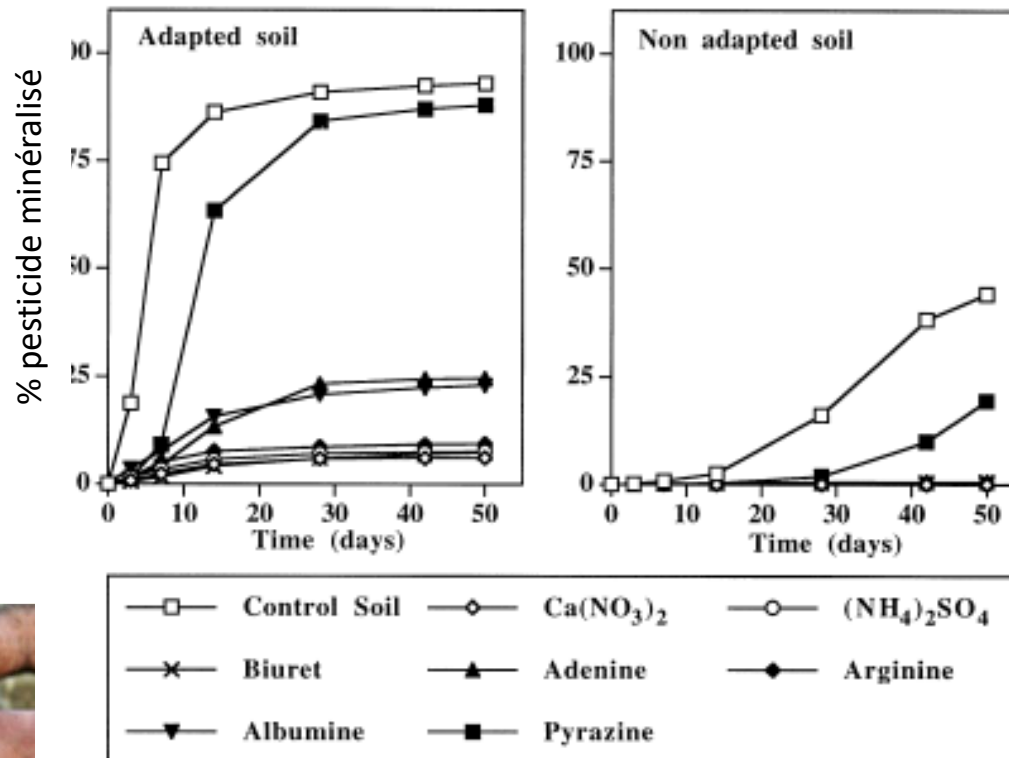
■ Résidus non extractibles (résidus liés)

# Biodégradation microbienne des pesticides

- Effets d'amendements et fertilisants

→ Fertilisants azotés (organiques et inorganiques)

Ex pesticides: Atrazine et Isoproturon



Abdelhafid et al. 2000



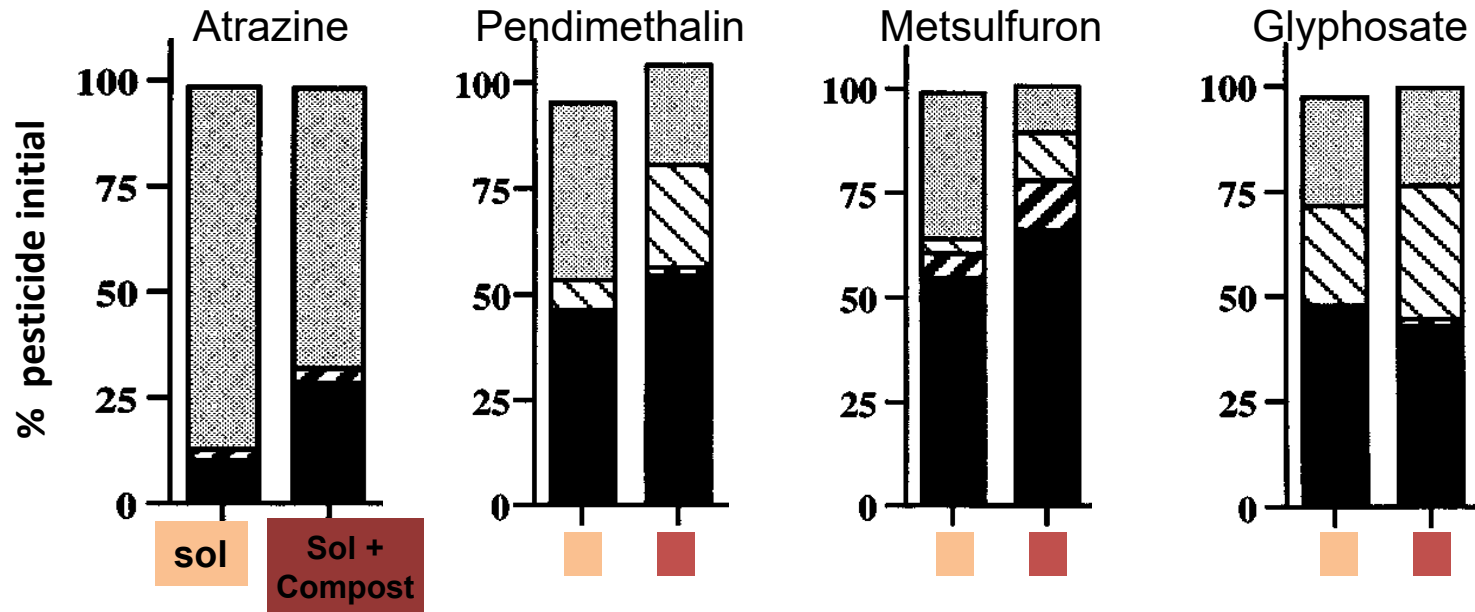
→ Effets similaires qu'il y ait ou non des microorganismes adaptés.

→ La disponibilité en N limite la dégradation de certains pesticides du fait de changements dans les métabolismes microbiens.

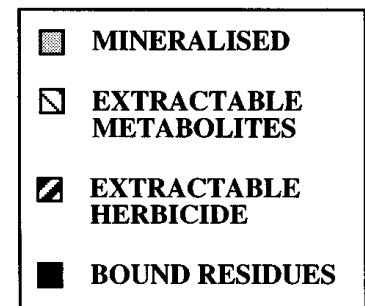
# Biodégradation microbienne des pesticides

- Effets d'amendements et fertilisants

→ Amendements organiques

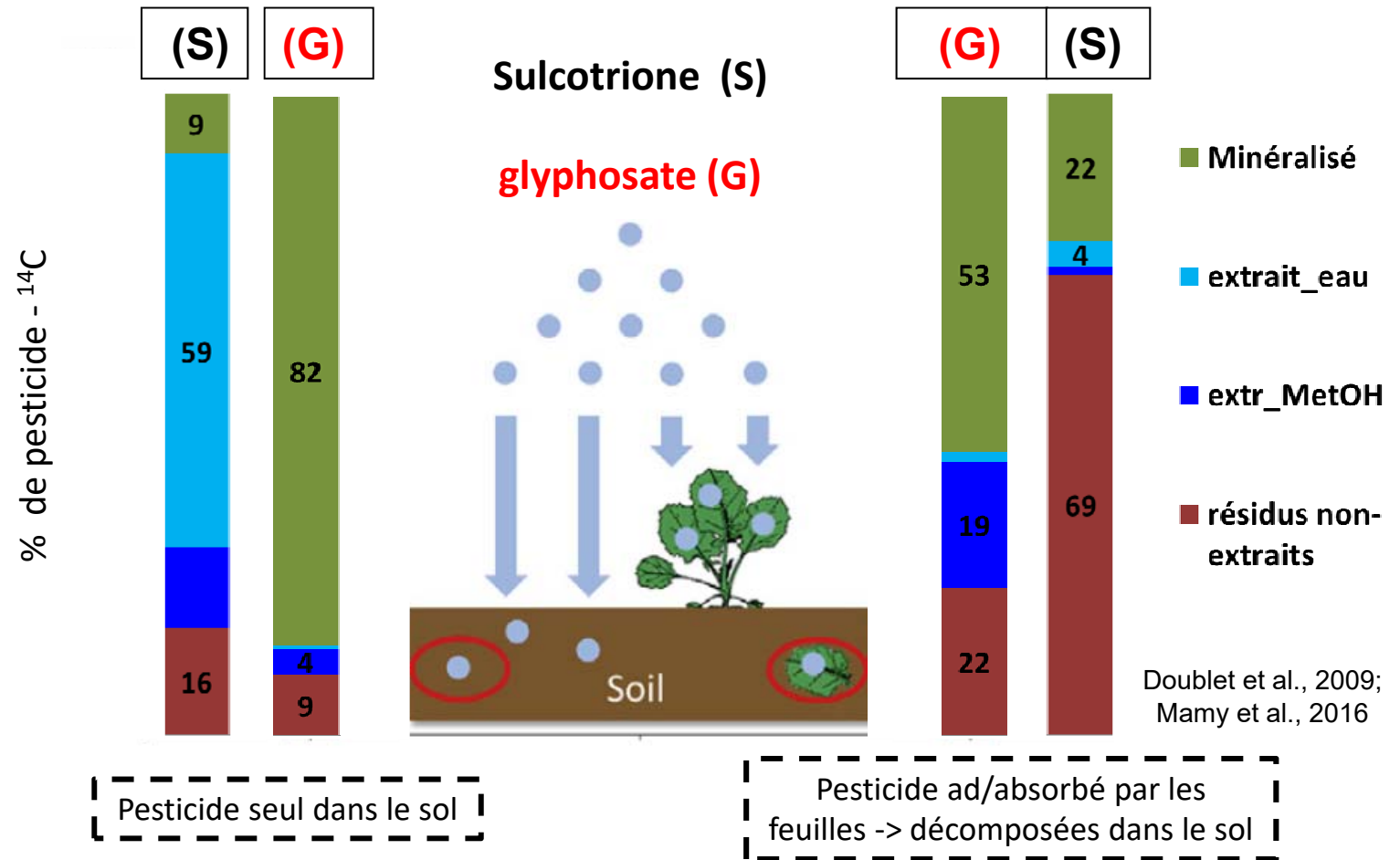


- Diminution de la fraction minéralisée et augmentation des résidus liés au sol (parfois + dégradation).
- L'adsorption des pesticides dans les sols (MO et argiles) diminue leur disponibilité pour la biodégradation.
- Parfois cas contraire ou les apports de MO stimulent la dégradation (cométabolisme) du fait d'apport de C.



# Biodégradation microbienne des pesticides

- Recyclage des pesticides absorbés par les plantes



→ Effets dépendants du type de molécule (Idem avec les pulvérisations sur mulch)

→ **Les pesticides ad- et absorbés par les plantes persistent plus longtemps**

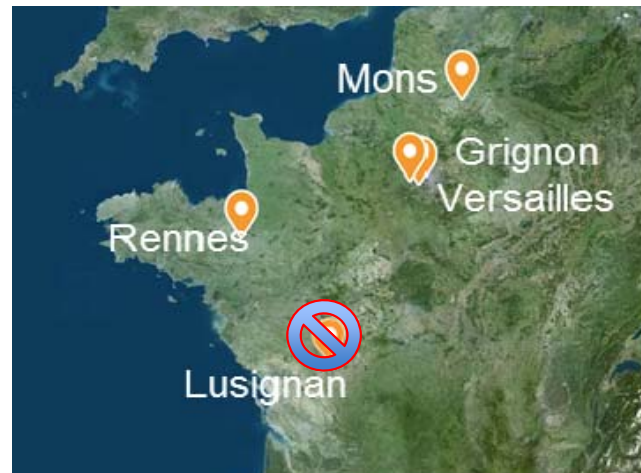


# Biodégradation microbienne des pesticides

- Effets des systèmes de culture

- Comparaison Agriculture Conventionnelle et Biologique

- Choix de sites avec agriculture **conventionnelle** et **AB / ZéroPest)**
- Pédoclimats « proches » (luvisols océaniques)



+ Choix de parcelles sous blé d'hiver



Site	Date de conversion	Sables (%)	Limon (%)	Argiles (%)	C <sub>org</sub>	pH	C/N
Versailles	1998	16 - 18	65 - 67	16,1 - 17,1	1,0 - 1,1	6,9 - 7,5	11,6 - 12,0
Grignon	2008	7,3- 7,9	70,4 - 71,3	21,4 - 21,8	1,4 - 1,5	7,4 - 7,8	10,6
Mons	2012	3,5 - 12,7	70,6 - 73, 6	16,7 - 22,9	0,8 - 1,1	7,8 - 8,2	9,7 - 9,9
Rennes	2012	0 - 15	55 - 82,5	17,5 - 30	1,1 - 1,5	6,3 - 6,4	9 -9,9

20 septembre 2016, Giraudeau



# Biodégradation microbienne des pesticides

- Effets des systèmes de culture

- Comparaison Agriculture Conventionnelle et Biologique

- Choix de sites avec agriculture **conventionnelle** et **AB / ZéroPest**
- Pédoclimats « proches » (luvisols océaniques)
- Choix des molécules en fonction : historiques de traitement, résidus de pesticides dans les sols
- Échantillonnage des sols -> incubation au laboratoire avec ajout de pesticides marqués au  $^{14}\text{C}$

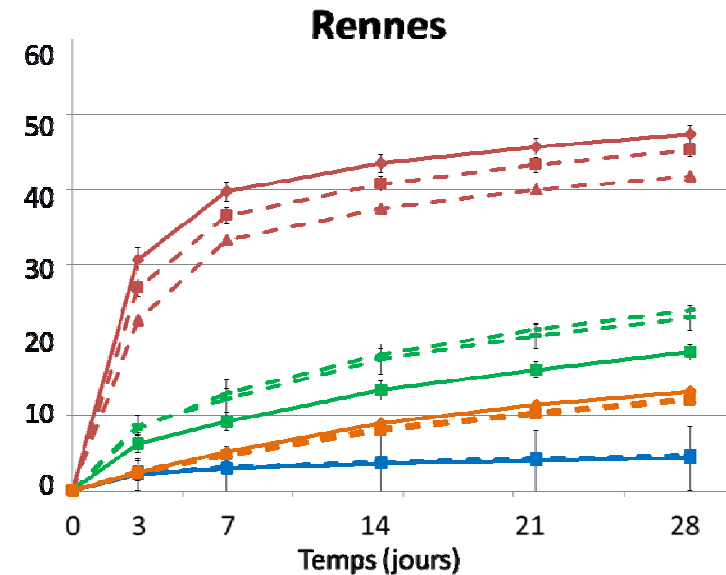
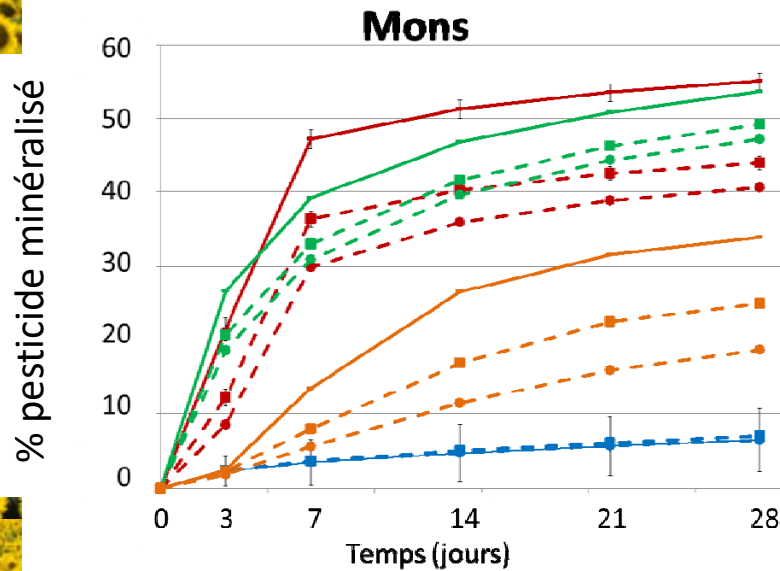
↳ *suivi de la biodégradation + devenir*



# Biodégradation microbienne des pesticides

- Effets des systèmes de culture

→ Minéralisation: effet molécule et site



**Minéralisation : 2,4-D  $\geq$  GLY > IPU > EPX**

➤ Effet site important (pédo-climat)



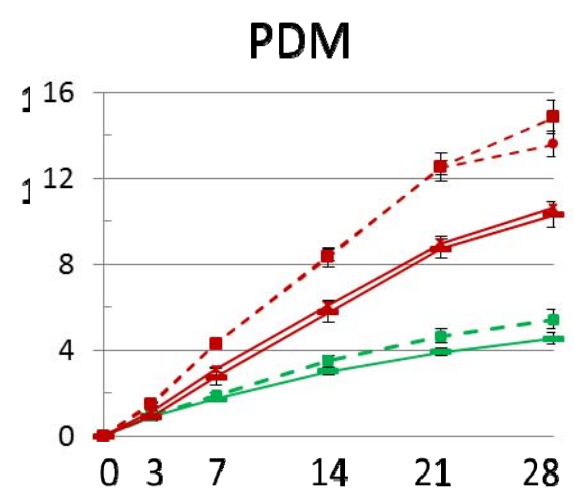
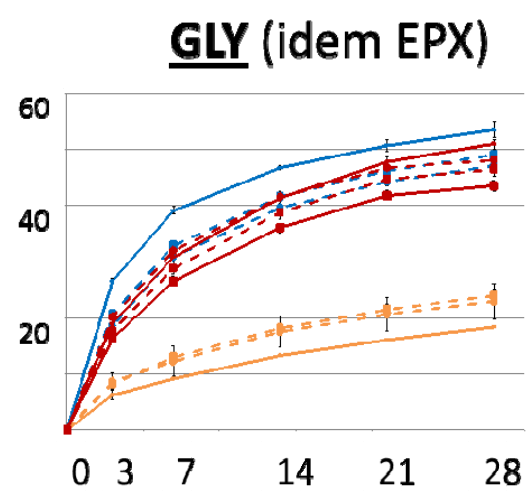
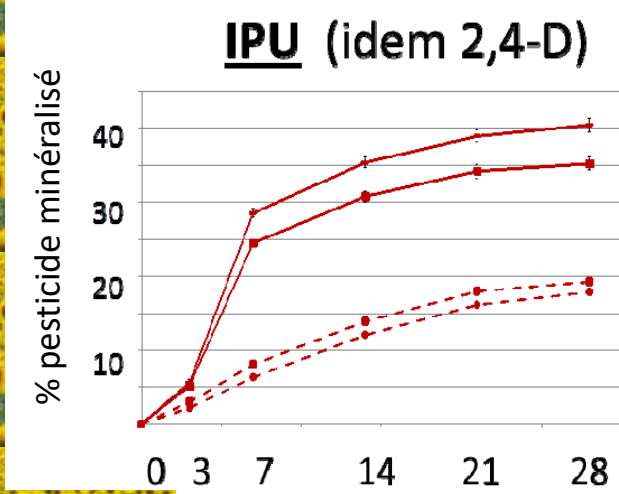
# Biodégradation microbienne des pesticides

- Effets des systèmes de culture

→ Minéralisation : effet du SdC

■ Grignon  
■ Versailles  
■ Rennes  
■ Mons

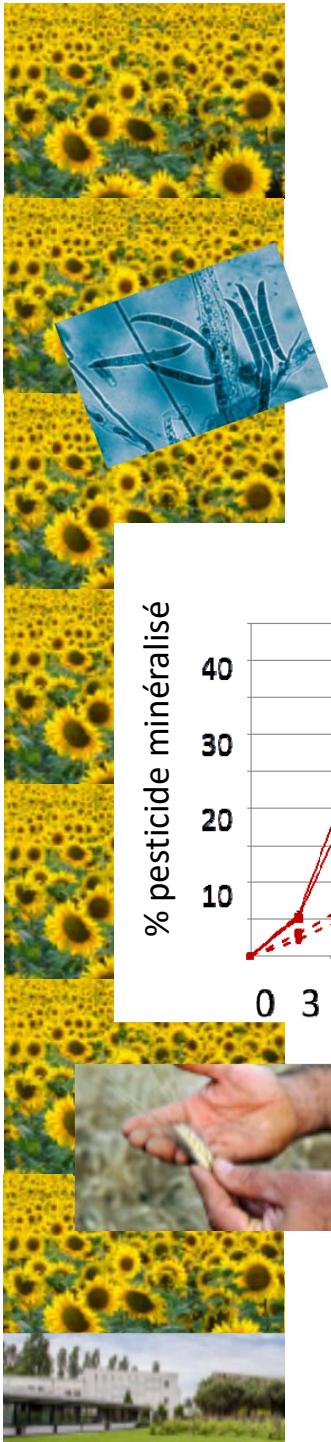
■ Conv  
■ OPest



↪ Adaptation suite à la récurrence de traitements sur de nombreux sites mais pas pour toutes les molécules (→ 2,4-D et IPU)

↪ Minéralisation en AB/OPest non négligeable:

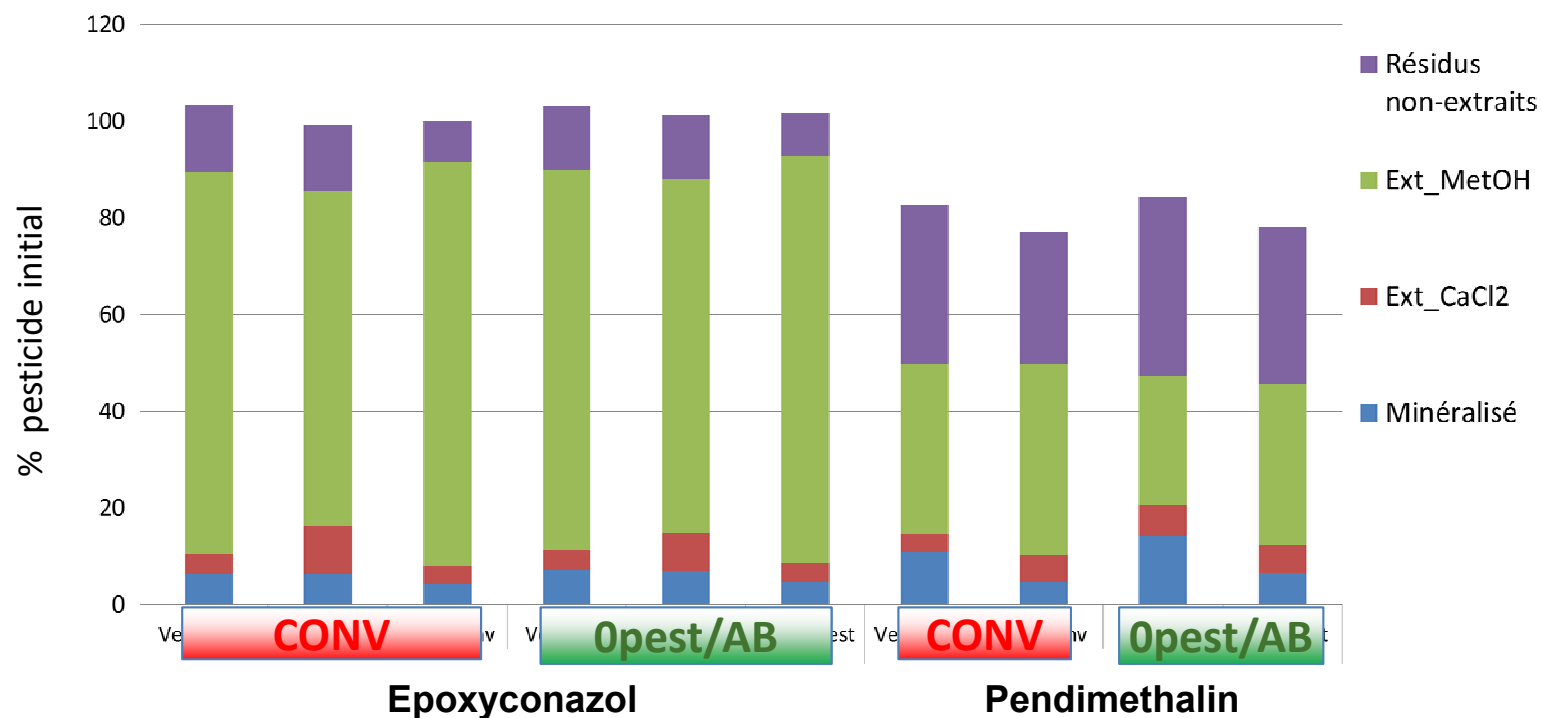
-> *maintien de souches microbiennes dégradantes en dormance ?*



# Biodégradation microbienne des pesticides

- Effets du travail du sol et présence de mulch

→ approche comparative travail du sol / non-travail du sol



→ De faibles potentiels de minéralisation (probablement aussi de dégradation) expliqueraient la rémanence de ses molécules, observée même dans des sols de systèmes de culture en AgriBio, depuis plus de 5 années.



# Biodégradation microbienne des pesticides

- Effets des systèmes de culture

## → Facteurs explicatifs de la dégradation

- corrélations entre potentiel biodégradation et divers facteurs

### Facteurs biologiques

	BM à t0	BF à t0	BF/BM	Resp j28
2,4-D	-0,45	-0,43	-0,15	0,46
IPU	-0,14	-0,39	-0,25	<b>0,62</b>
GLY	0,01	-0,23	-0,42	0,07
PDM	-0,31	-0,43	-0,37	<b>0,77</b>
EPX	0,33	0,01	-0,18	0,34

→ Biomasse microbienne totale ≠ biomasse dégradante ?

# Biodégradation microbienne des pesticides

- Conclusion sur les effets des systèmes de culture

→ Le potentiel de biodégradation microbienne dépend:

- des molécules (toxicité intrinsèque, capacité d'adsorption au sol),
- de facteurs pédoclimatiques (type d'argiles, MO, T ° C et humidité)
- de facteurs microbiens : biomasse globale et la présence de micro-organismes adaptées à certaines molécules (ex: isoproturon, 2,4-D)
- des historiques de traitement (IFT et fréquence de traitement)

117



## Diapositive 23

---

I17

persistance des populations dégradantes ou dégradation par coMB ?

lvieuble; 25/09/2018



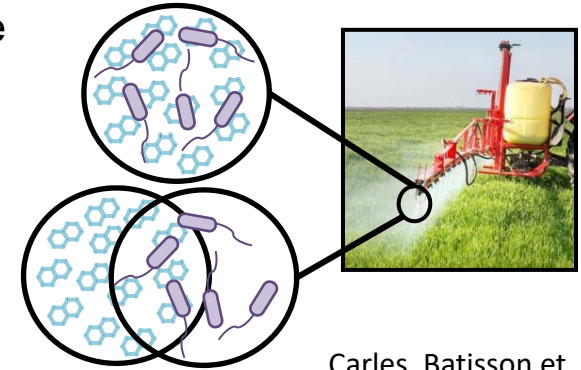
# Perspectives de pilotage de la biodégradation ?

- Inoculation de microorganismes dégradants**

→ Isoler des souches microbiennes capables de dégrader des produits phytosanitaires d'intérêt

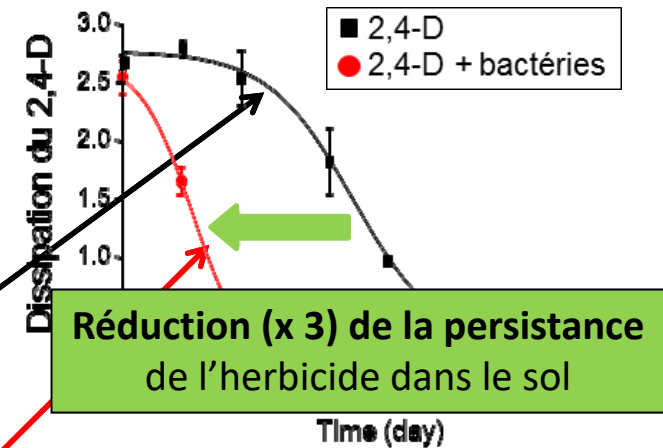
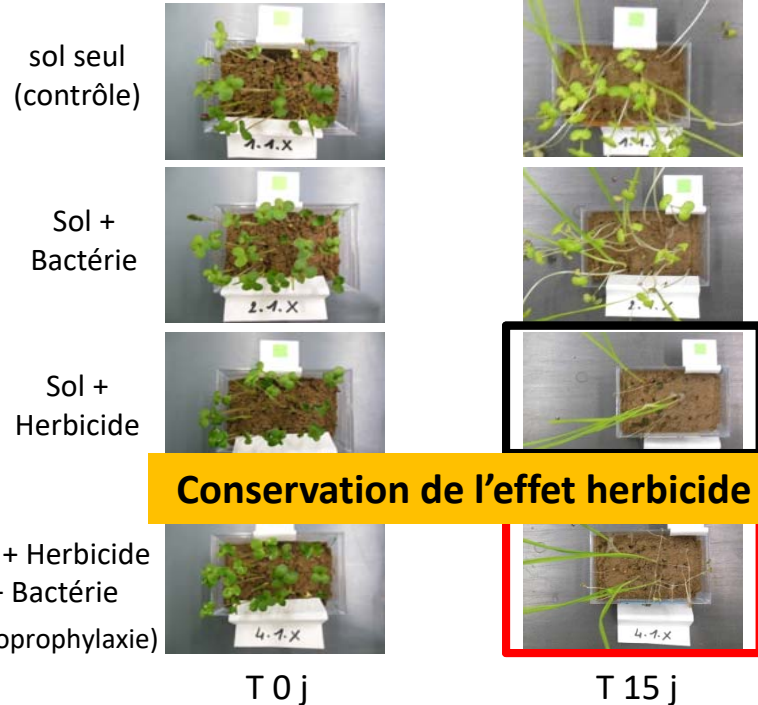


Développer une formulation associant le pesticide et les microorganismes dégradants



Carles, Batisson et al., 2016

## → Exemple avec l'herbicide 2,4D

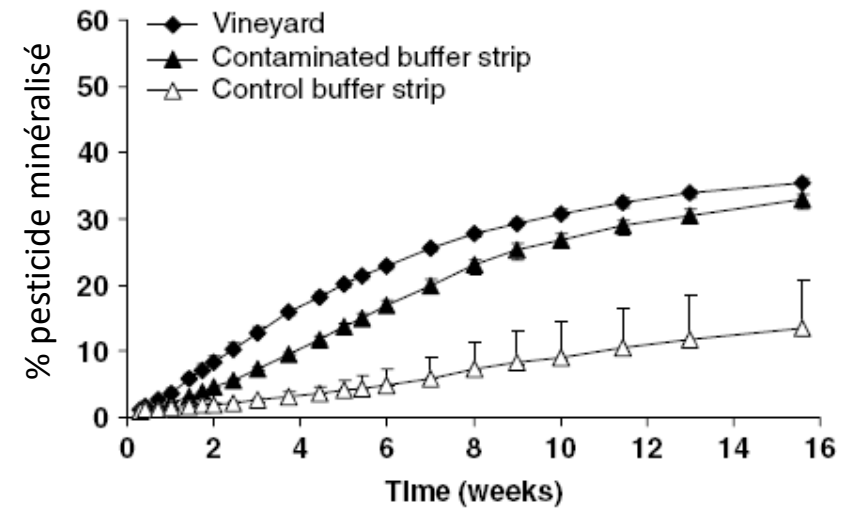
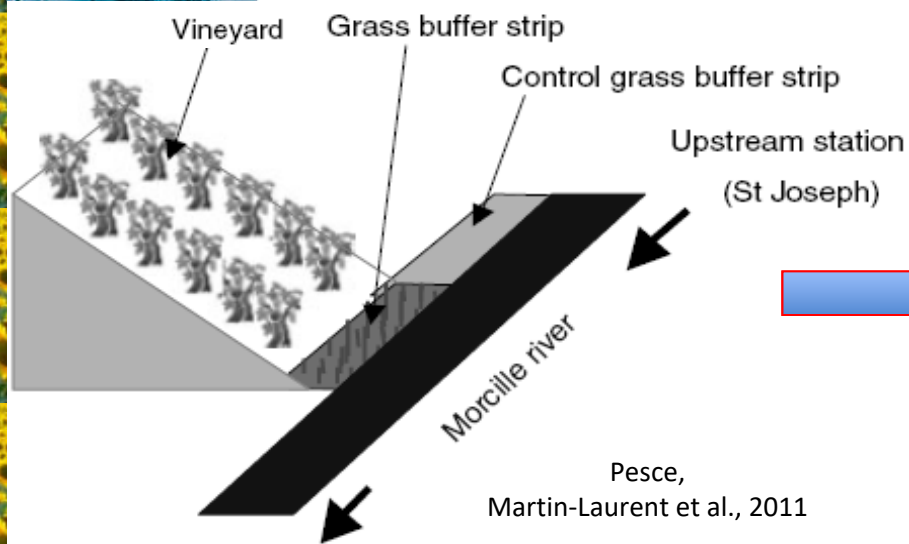


→ Réduction de l'impact environnemental

# Perspectives de pilotage de la biodégradation ?

- Aménagements de zones tampons

→ Exemple en bassin versant viticole (Beaujolais)



→ **Capacité de filtration des zones tampon:** Adaptation des microorganismes des bandes enherbées à la dégradation des pesticides

→ **Limitation des transferts de pesticides vers le cours d'eau**



# Merci de votre attention

**Un GRAND Merci aux gestionnaires de sites sollicités pour les prélèvements et la collecte des informations sur les itinéraires techniques.**

**Sébastien Darras et Rosemonde Devaux (Mons)**

**Philippe Le-Roy (Rennes)**

**Christophe Montagnier (Versailles)**

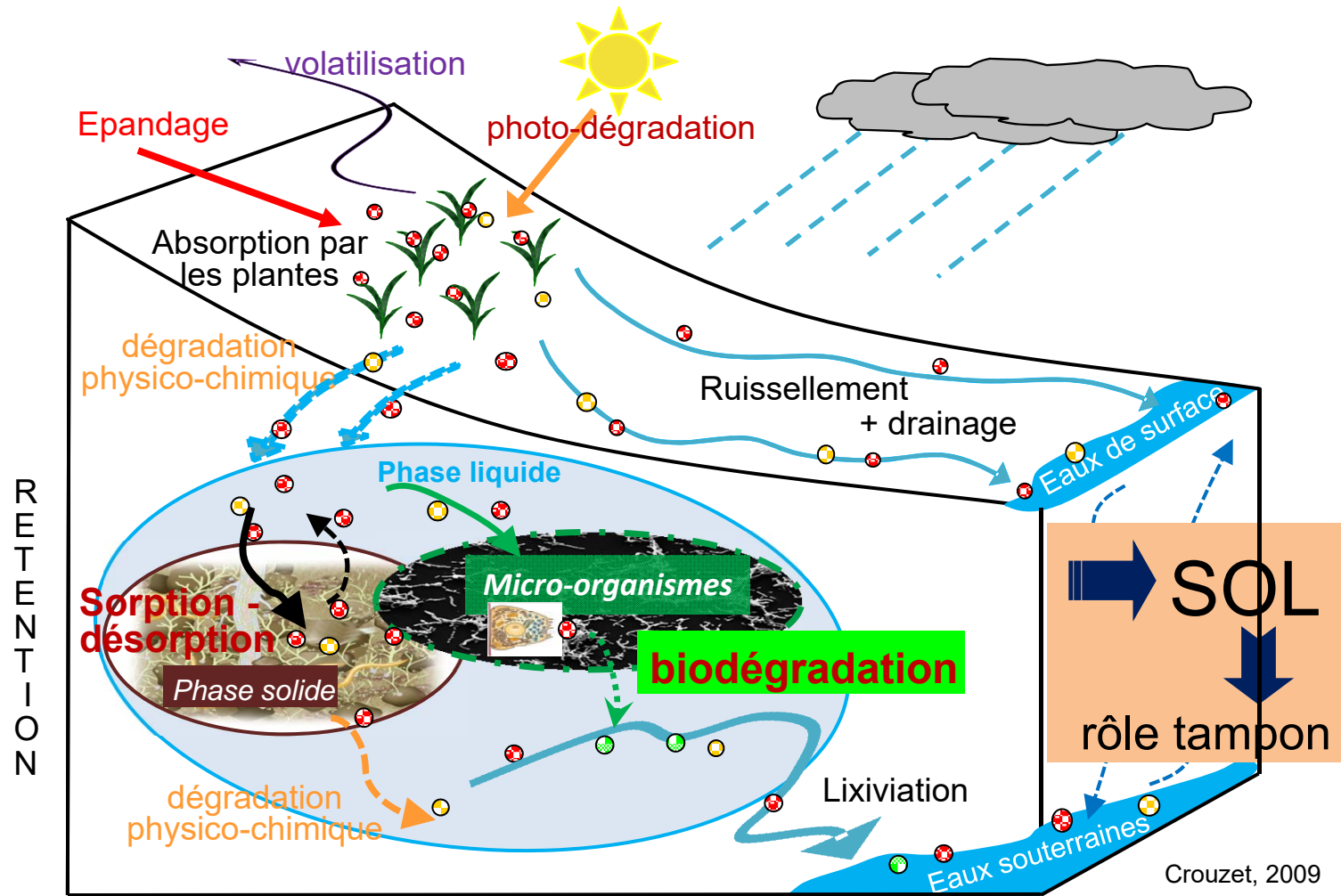
**Guillaume Audebert (Lusignan)**

**Gilles Grandeau & Caroline Colnenne-David (0-pest Grignon)**

**Aux collègues d'EcoSys pour les expérimentations:  
Valérie Bergheaud, Valérie Dumeny, Yolaine Goubard-Delaunay**

# Devenir des pesticides dans l'environnement

- Importance du rôle tampon des sols



# Devenir des pesticides dans l'environnement

- Dégradation des pesticides

→ 2 types de mécanismes:

- **Abiotiques:** hydrolyse, photodégradation, ...
- **Biotiques** : les microorganismes (processus majoritaire)

