



**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

- 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*)

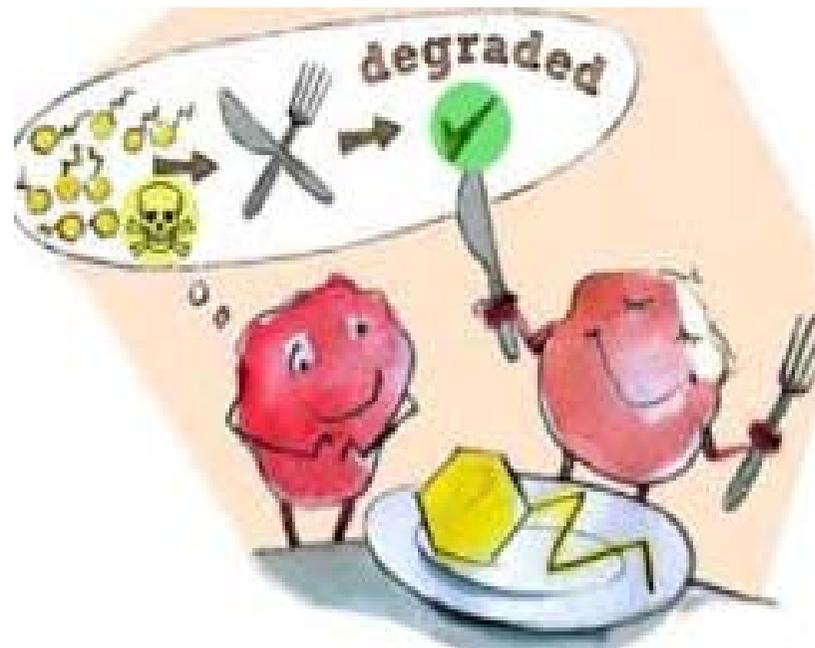
- Importance du rôle tampon des sols

- 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

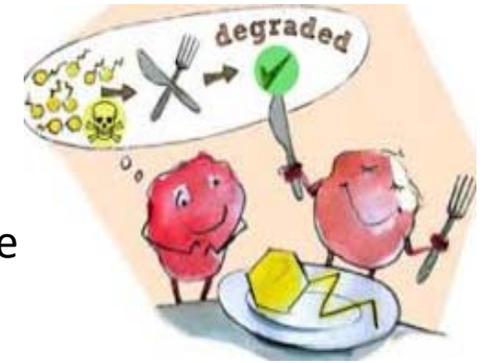
- Une fonction clef des sols agricoles
 - Assurée par des bactéries et champignons
 - Biomasse microbienne dégradante n'est qu'une fraction de la microflore totale



Biodégradation microbienne des pesticides

- Une fonction clef des sols agricoles

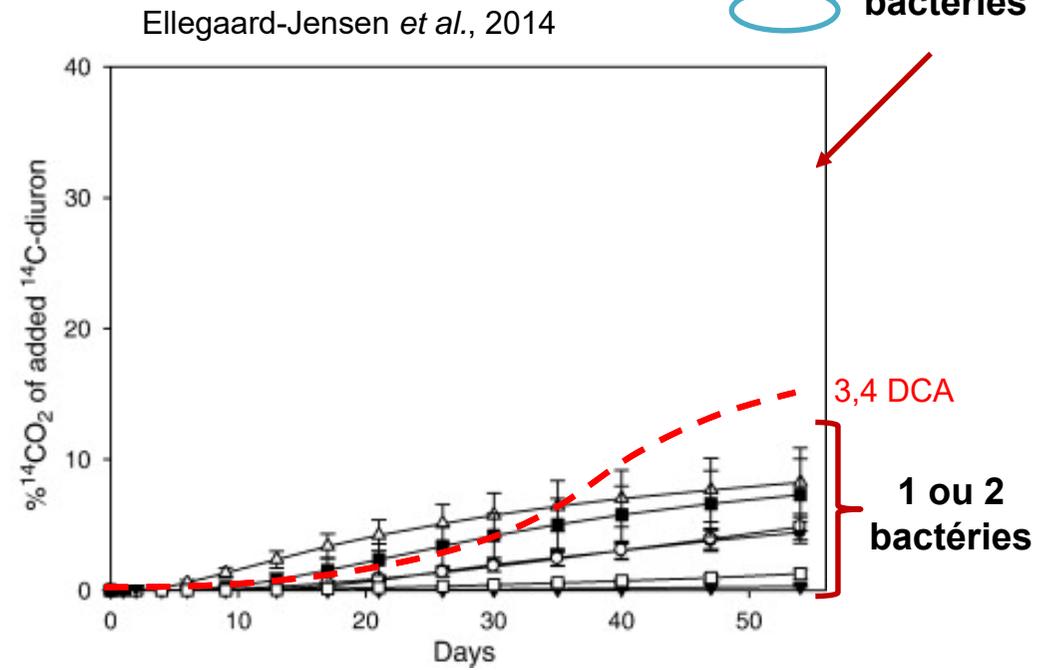
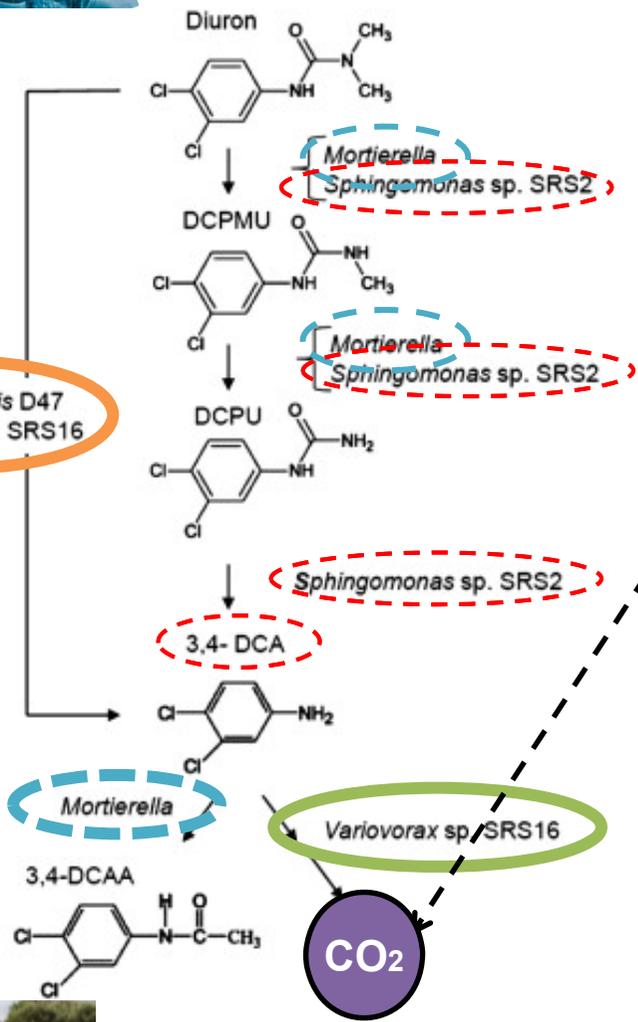
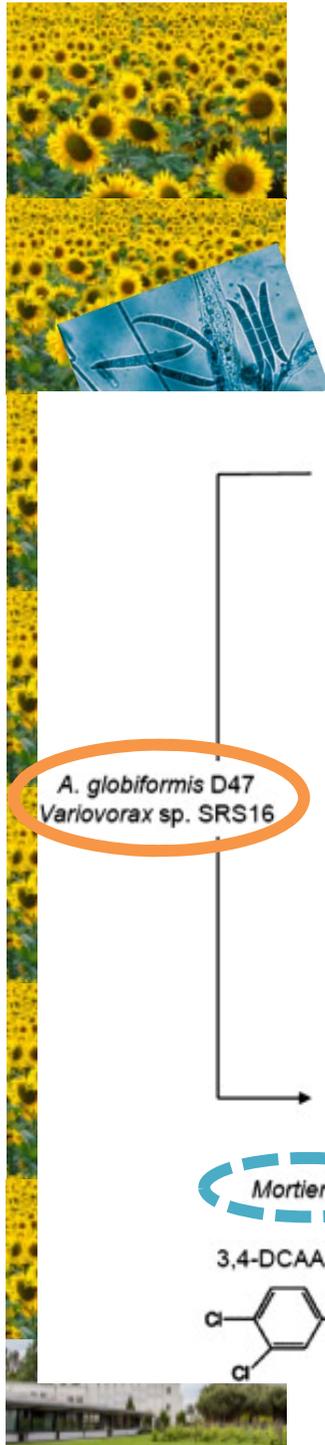
- Assurée par des bactéries et champignons
- Biomasse microbienne dégradante n'est qu'une fraction de la microflore totale
- Métabolisme spécifique ou cométabolisme
 - Dégradation totale -> -> minéralisation -> -> C, N, P
 - Possible production de produits de transformation (métabolites)
- Coopération 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

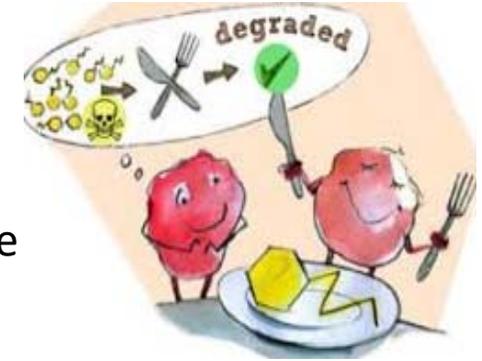


→ **Effet synergique du consortia microbien**

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

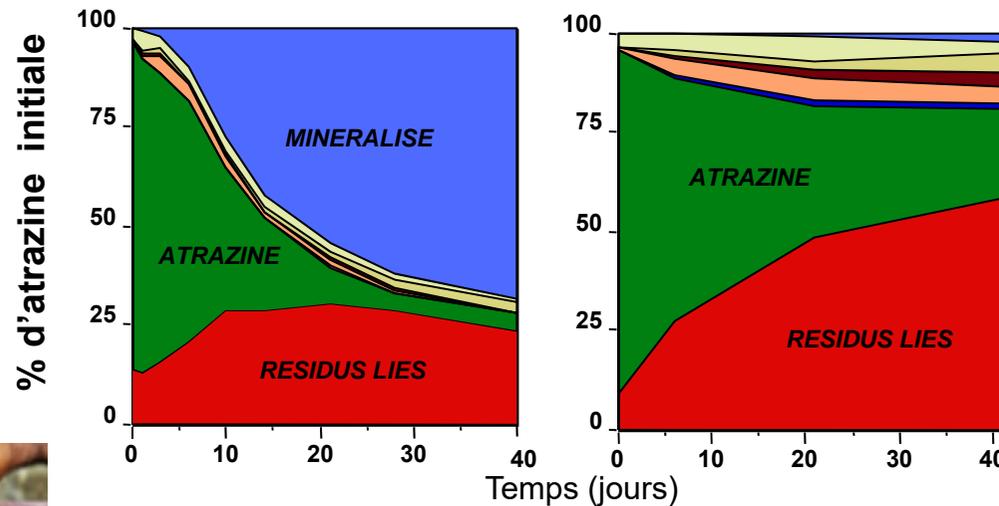
- Importance du passif de traitements phytosanitaires

→ Adaptation microbienne → dégradation accélérée

Monoculture de maïs



Prairie permanente ou monoculture de blé



Fréquence de l'exposition:

→ ++ minéralisation

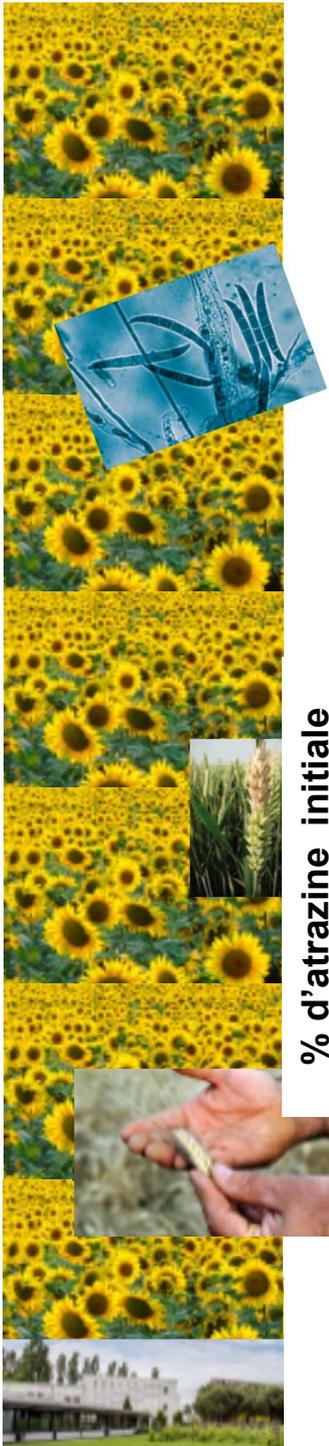
→ Moins d'atrazine restante, moins de résidus liés et de métabolites formés

→ Malgré tout il y a accumulation de résidus

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

Intensité de traitement → Adaptation des microorganismes → minéralisation

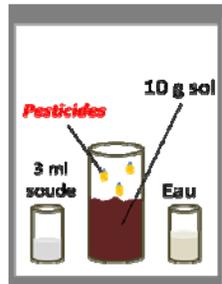
- ✓ dissipation accrue du caractère polluant
- ✓ Mais aussi ... de l'efficacité phytosanitaire



Biodégradation microbienne des pesticides

- Méthodes de mesure de la biodégradation

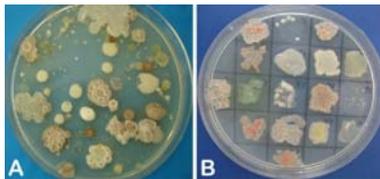
- Mesure du métabolisme (activité): incubation en laboratoire



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

↳ Suivi du $^{14}\text{C-CO}_2$ et bilan ^{14}C (^{14}C extraits CaCl_2 et MeOH , métabolites et résidus- ^{14}C non extractibles)

- Mesure de l'abondance des microorganismes dégradants



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

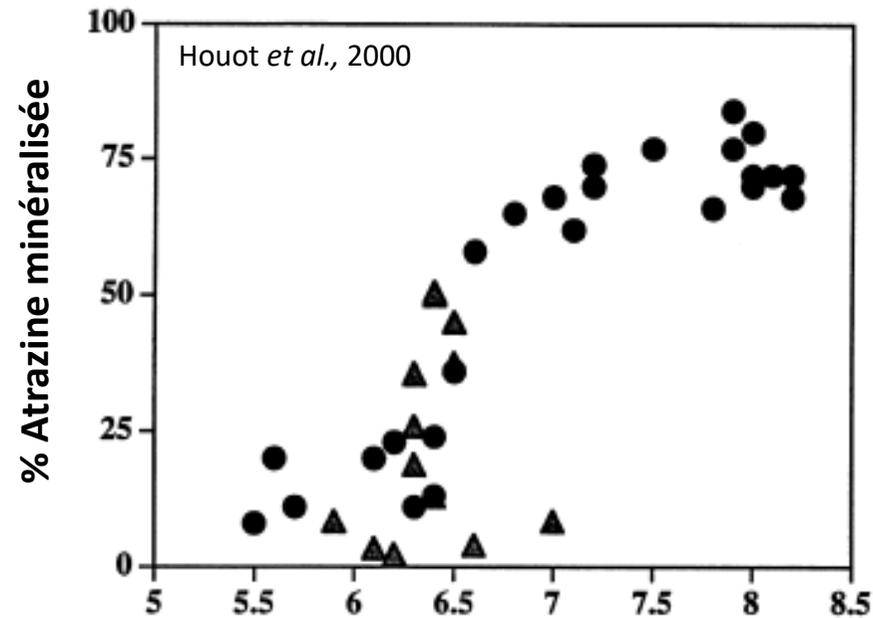
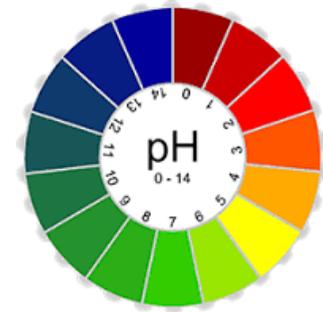
- ↳ Biologie moléculaire

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:

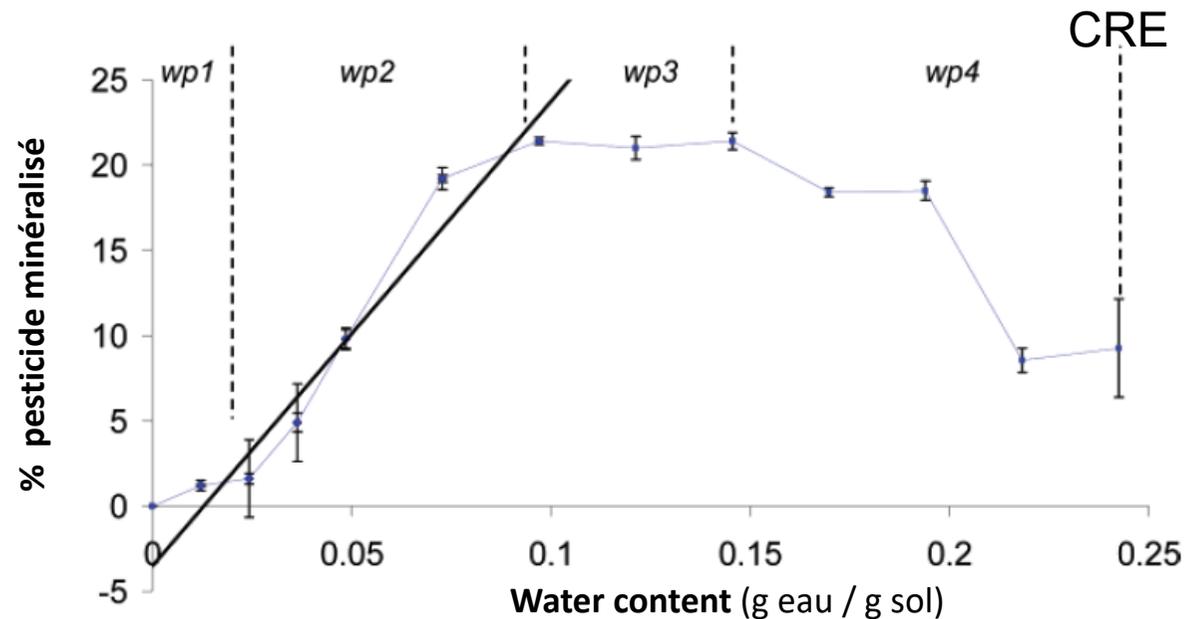
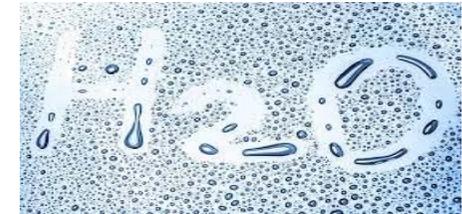
- Influence la charge des molécules (ionisation) → adsorption
- pH neutres ou légèrement alcalins favorisent l'activité microbienne



Biodégradation microbienne des pesticides

- Importance du pédo-climat

→ Rôle de l'humidité



d'après Schroll 2006

L'augmentation de l'humidité favorise:

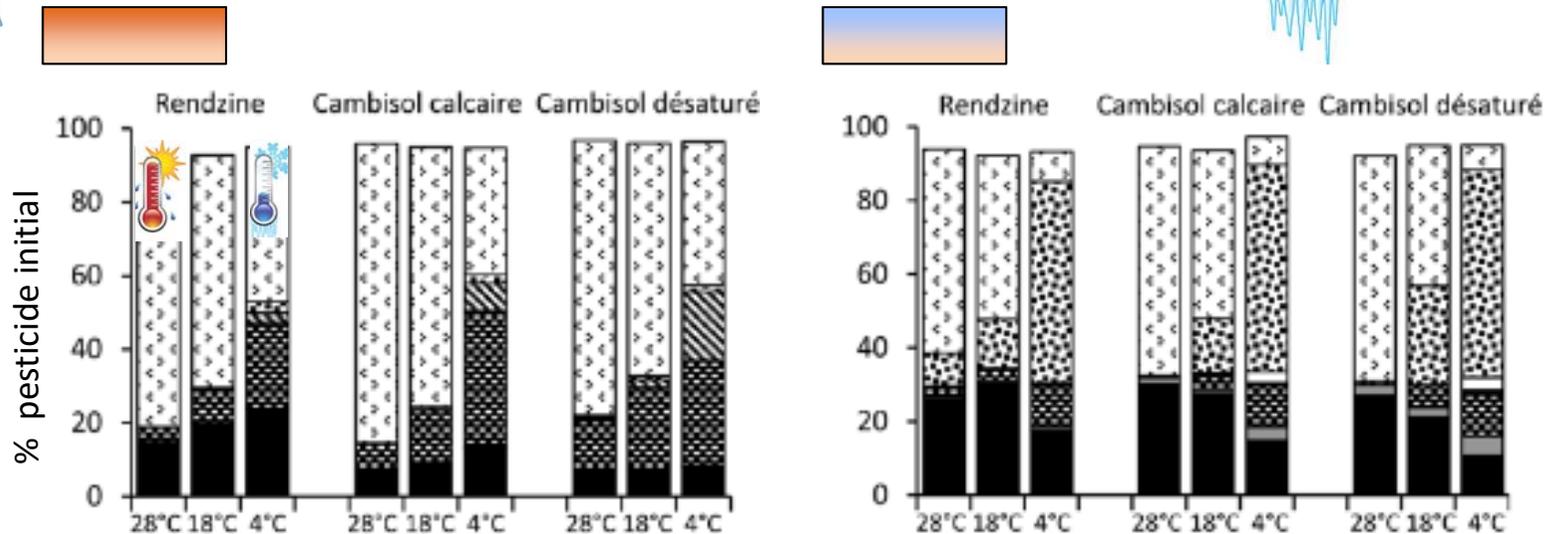
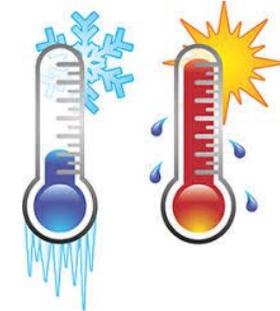
- La biodisponibilité des pesticides pour les microorganismes
- l'activité microbienne (tant que le sol n'est pas saturé)



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)

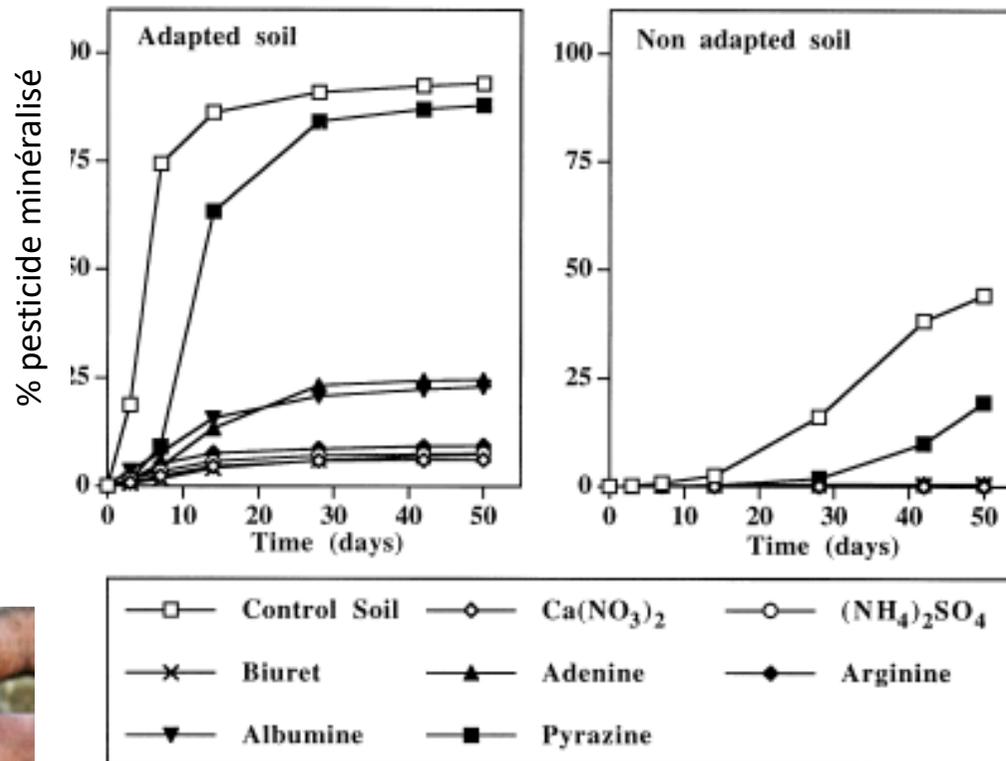


Biodégradation microbienne des pesticides

- 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.

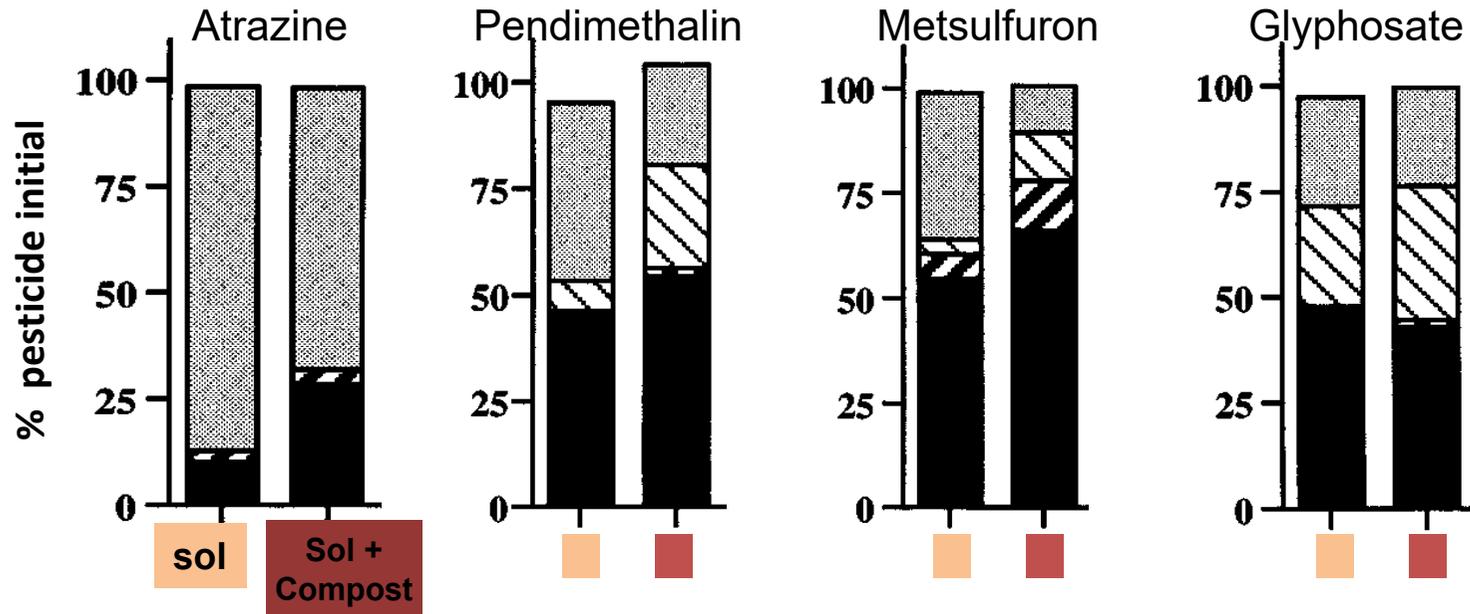
→ La disponibilité en N limite la dégradation de certains pesticides du fait de changements dans les métabolismes microbiens.



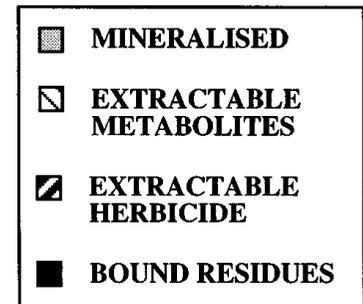
Biodégradation microbienne des pesticides

- Effets d'amendements et fertilisants

→ Amendements organiques

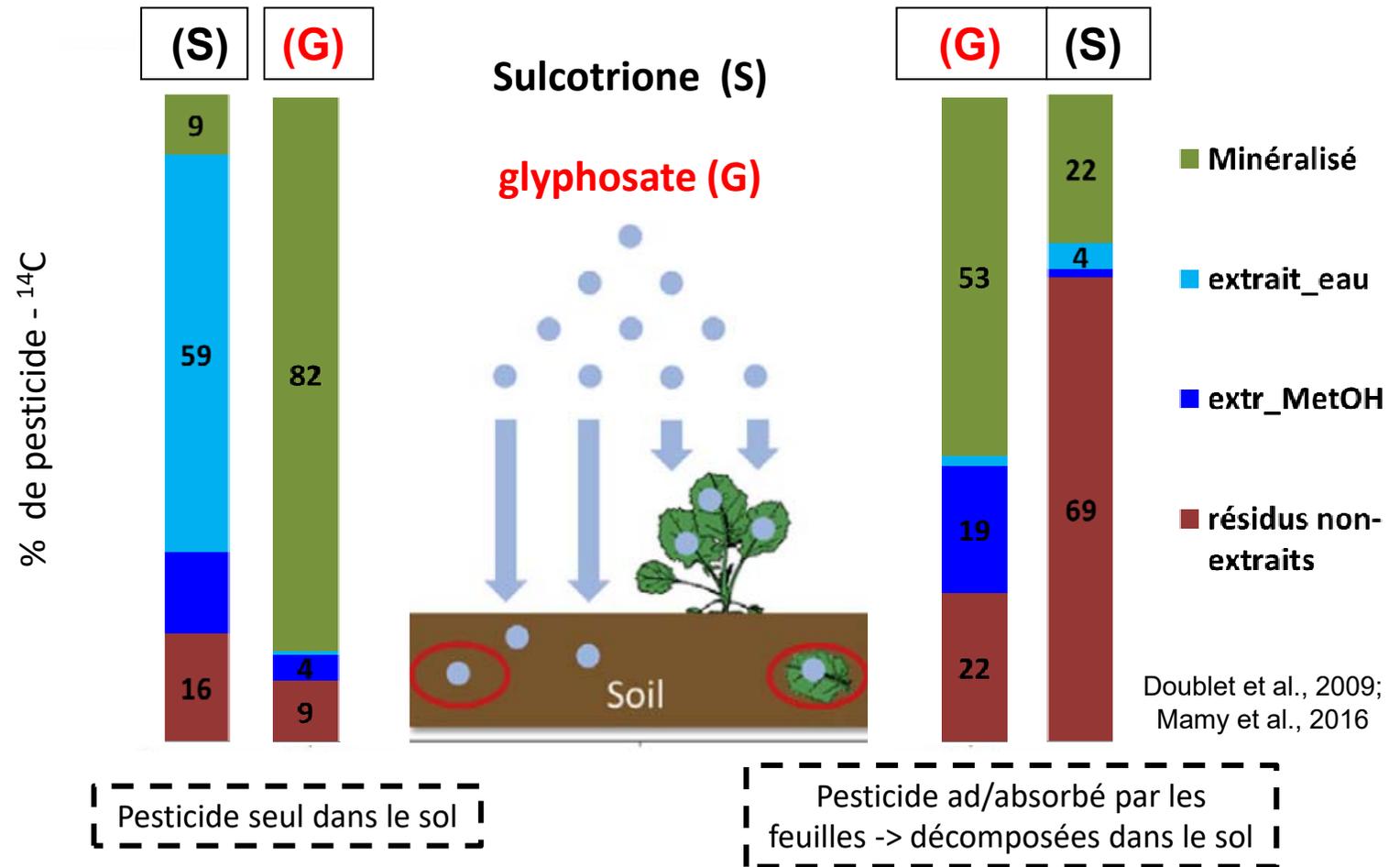


- Diminution de la fraction minéralisée et augmentation des résidus liés au sol (parfois + dégradation).
- L'adsorption des pesticides dans les sols (MO et argiles) diminue leur disponibilité pour la biodégradation.
- Parfois cas contraire ou les apports de MO stimulent la dégradation (cométabolisme)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

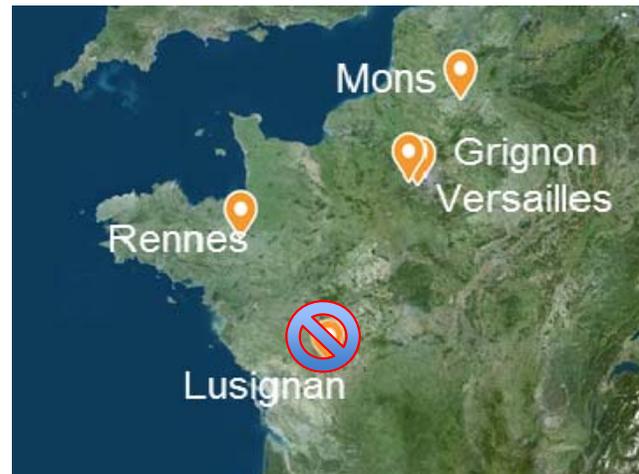
→ **Les pesticides ad- et absorbés par les plantes persistent plus longtemps**

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 _{org}	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



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}C

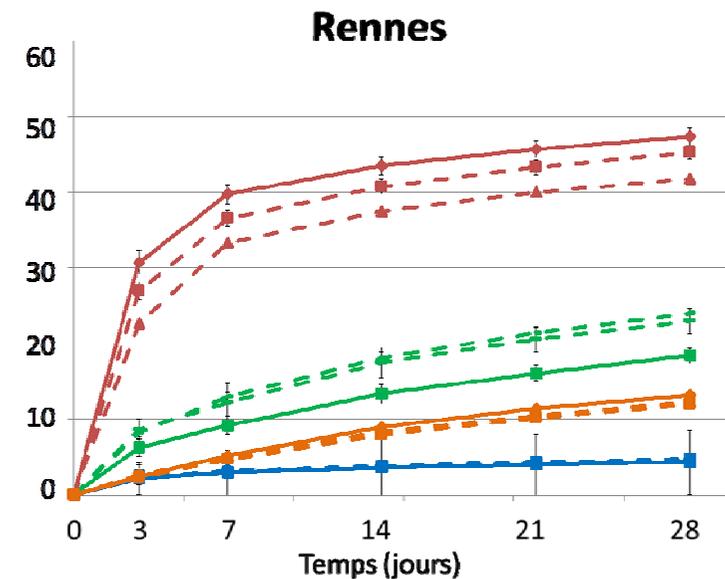
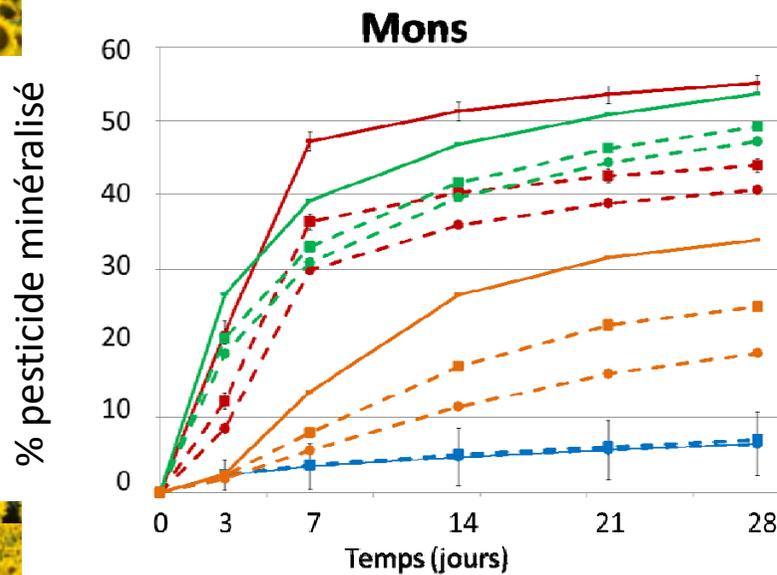
↳ *suivi de la biodégradation + devenir*



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)



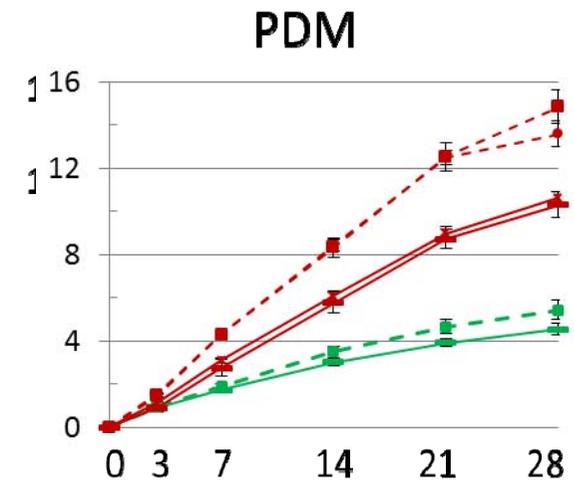
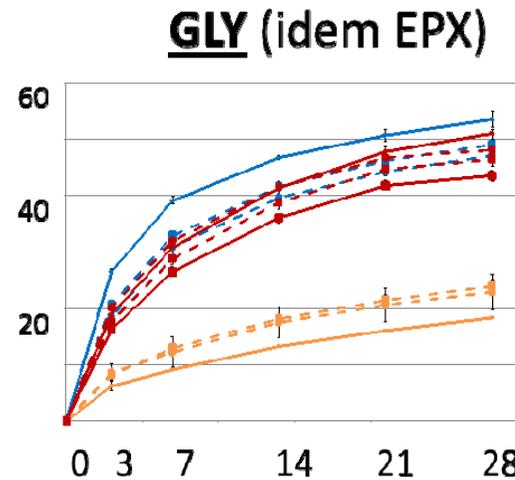
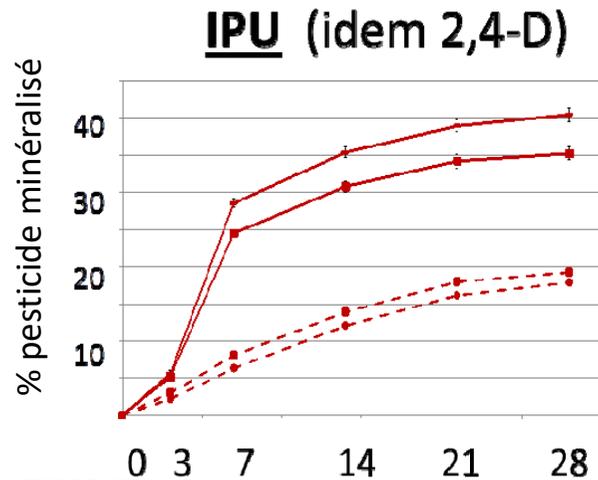
Biodégradation microbienne des pesticides

- Effets des systèmes de culture

→ Minéralisation : effet du SdC

Grignon
Versailles
Rennes
Mons

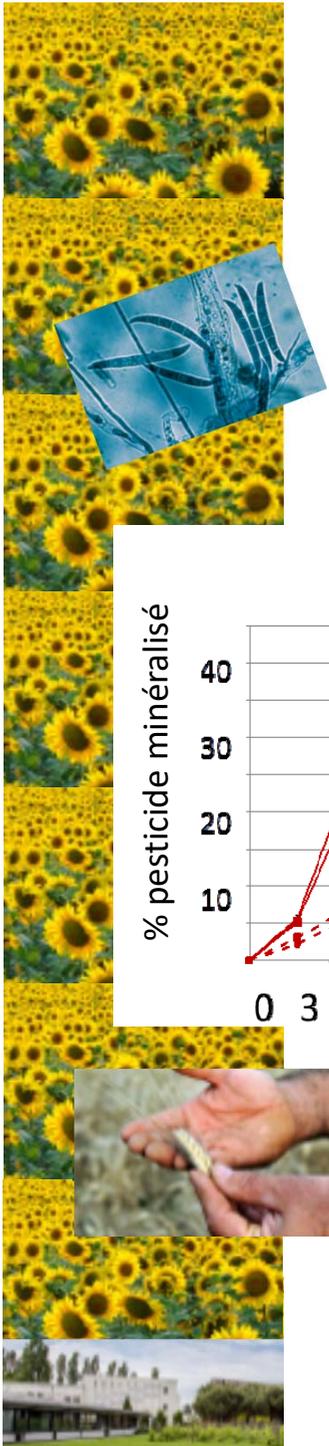
Conv
OPest



↪ 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:

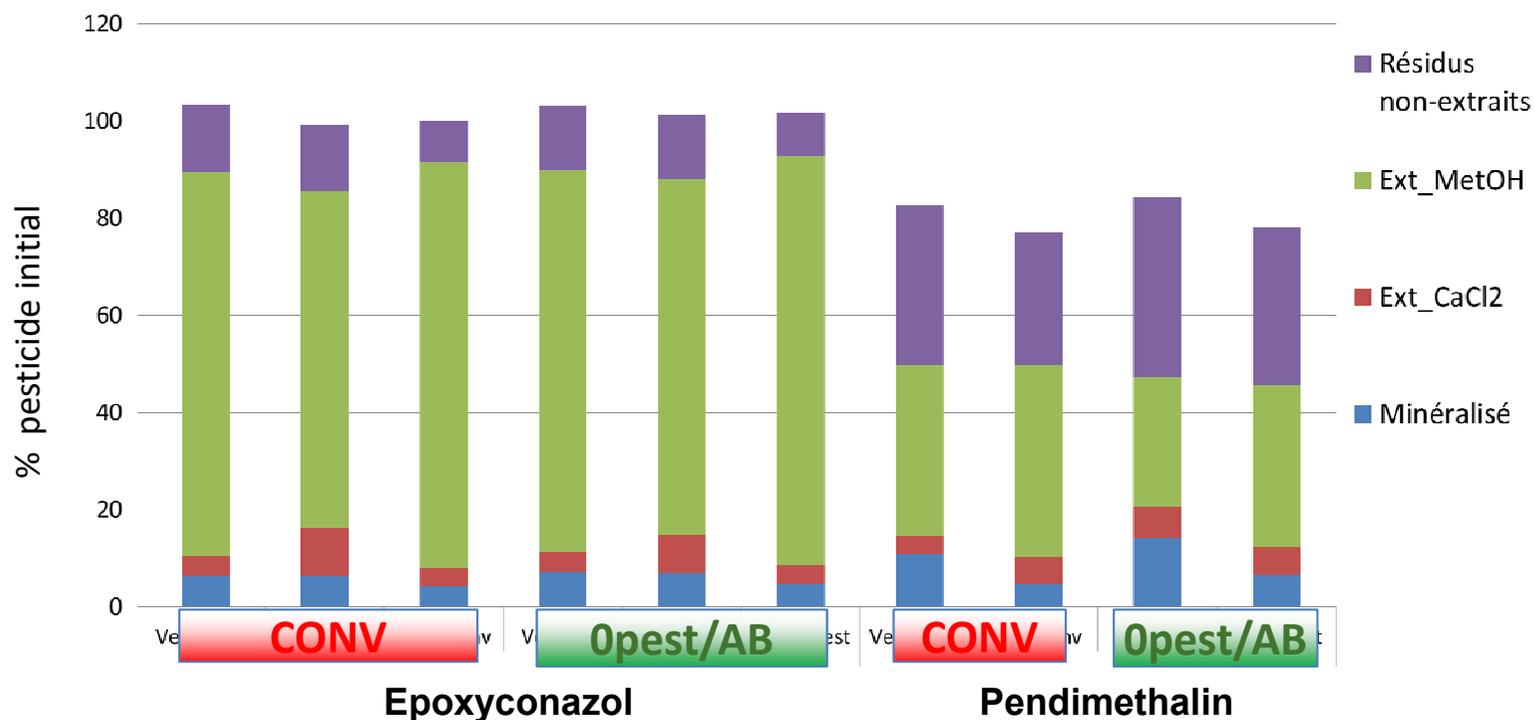
-> *maintien de souches microbiennes dégradantes en dormance ?*



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	0,62
GLY	0,01	-0,23	-0,42	0,07
PDM	-0,31	-0,43	-0,37	0,77
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

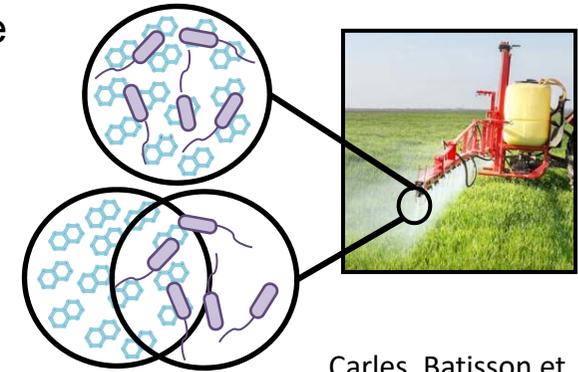
Perspectives de pilotage de la biodégradation ?

- Inoculation de microorganismes dégradants**

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



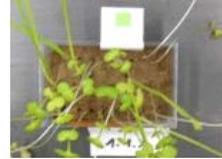
Développer une formulation associant le pesticide et les microorganismes dégradants



Carles, Batisson et al., 2016

→ Exemple avec l'herbicide 2,4D

sol seul (contrôle)



Sol + Bactérie



Sol + Herbicide



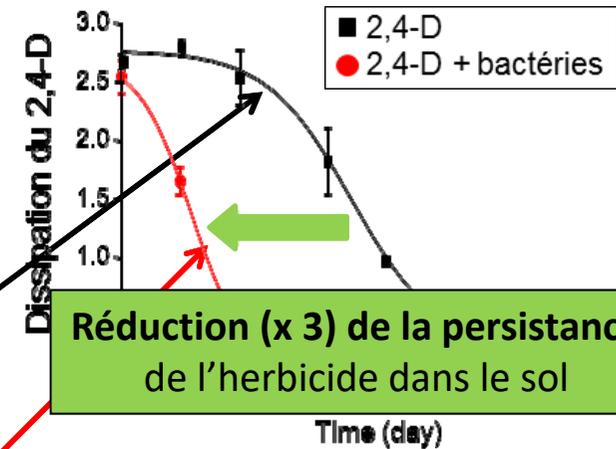
Sol + Herbicide + Bactérie (Bioprophylaxie)



T 0 j

T 15 j

Conservation de l'effet herbicide

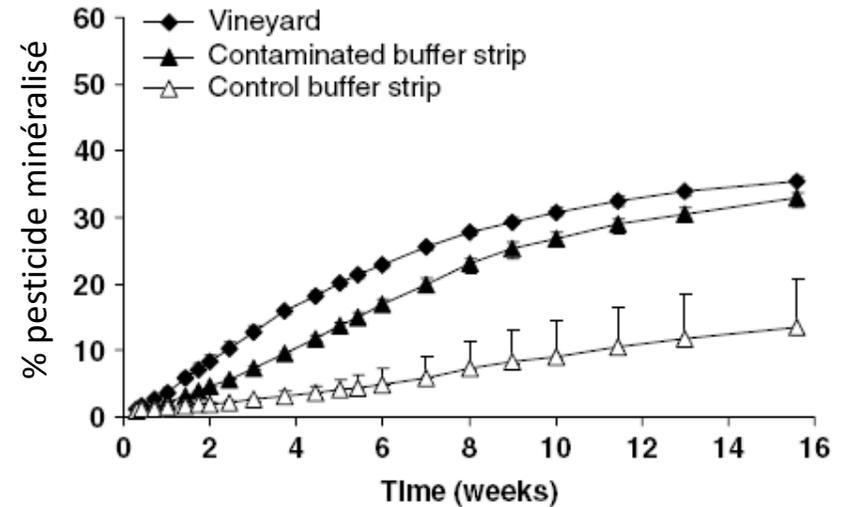
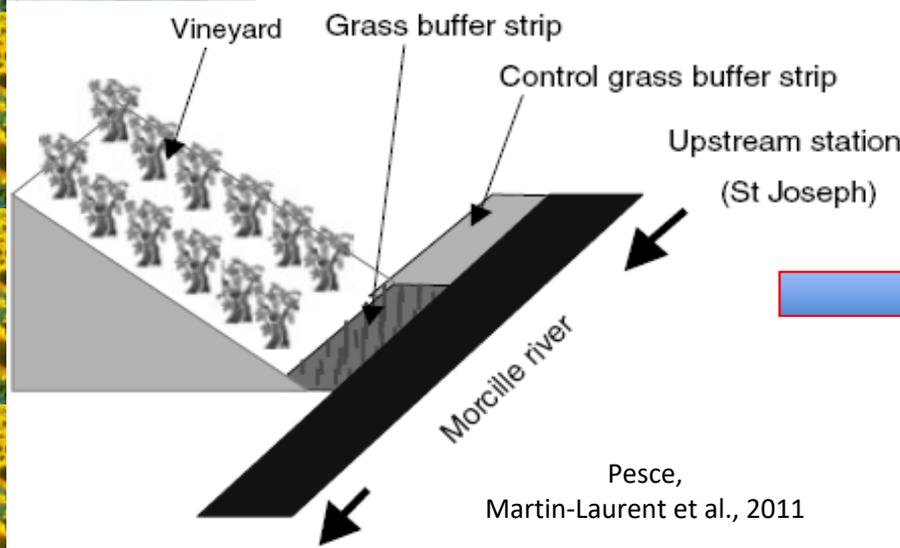


→ **Réduction de l'impact environnemental**

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)

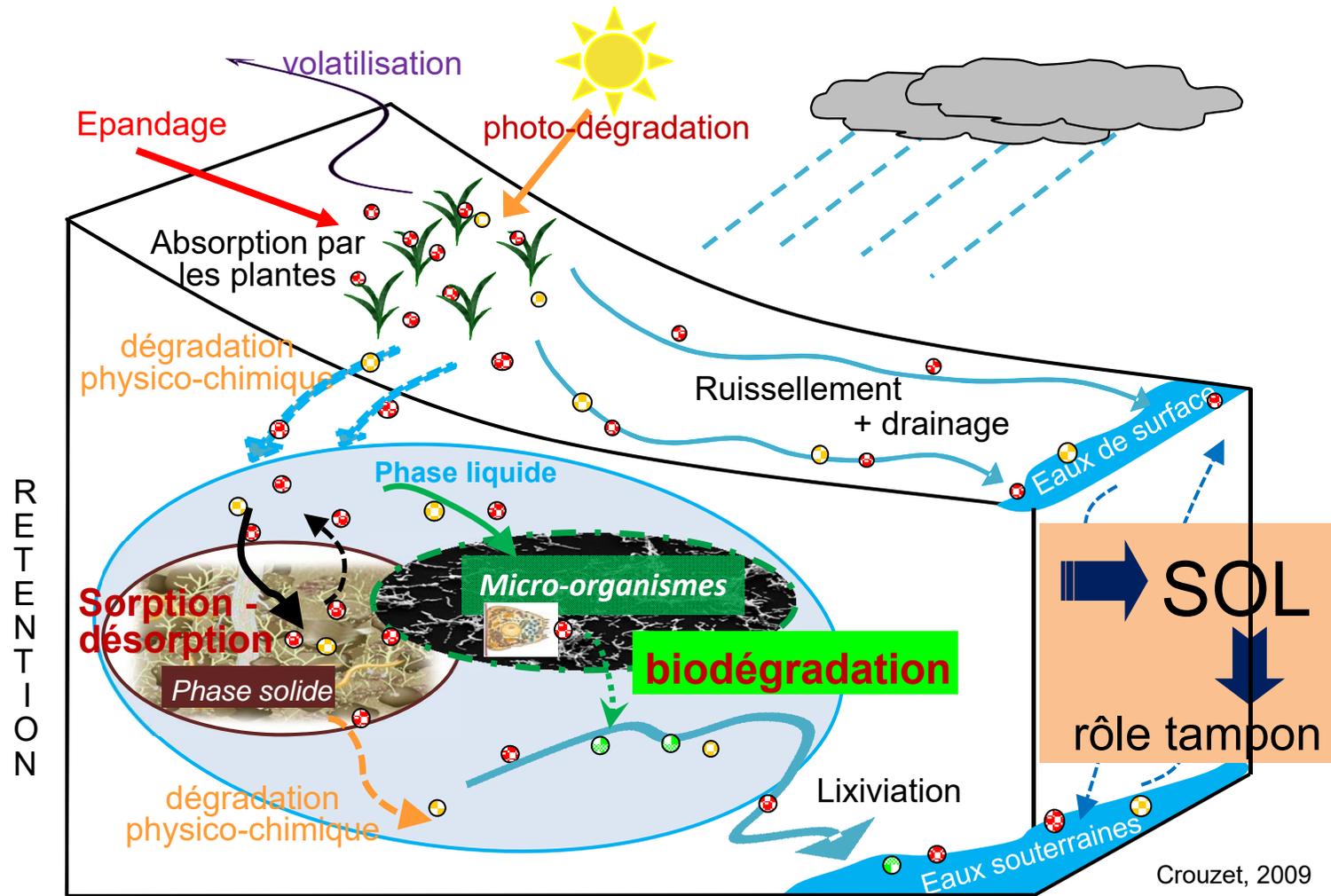
Guillaume Audebert (Lusignan)

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)

