

# Interaction des processus spatiaux et des **dynamiques microbiennes** dans la dégradation des pesticides dans les sols

**Alexandre COCHE**

*Directeurs de thèse*

- Jean-Raynald DE DREUZY
- Alain RAPAPORT

Tristan BABEY

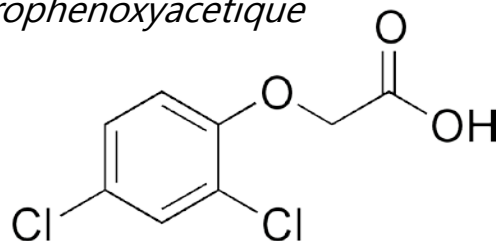
Laure VIEUBLÉ-GONOD

Patricia GARNIER

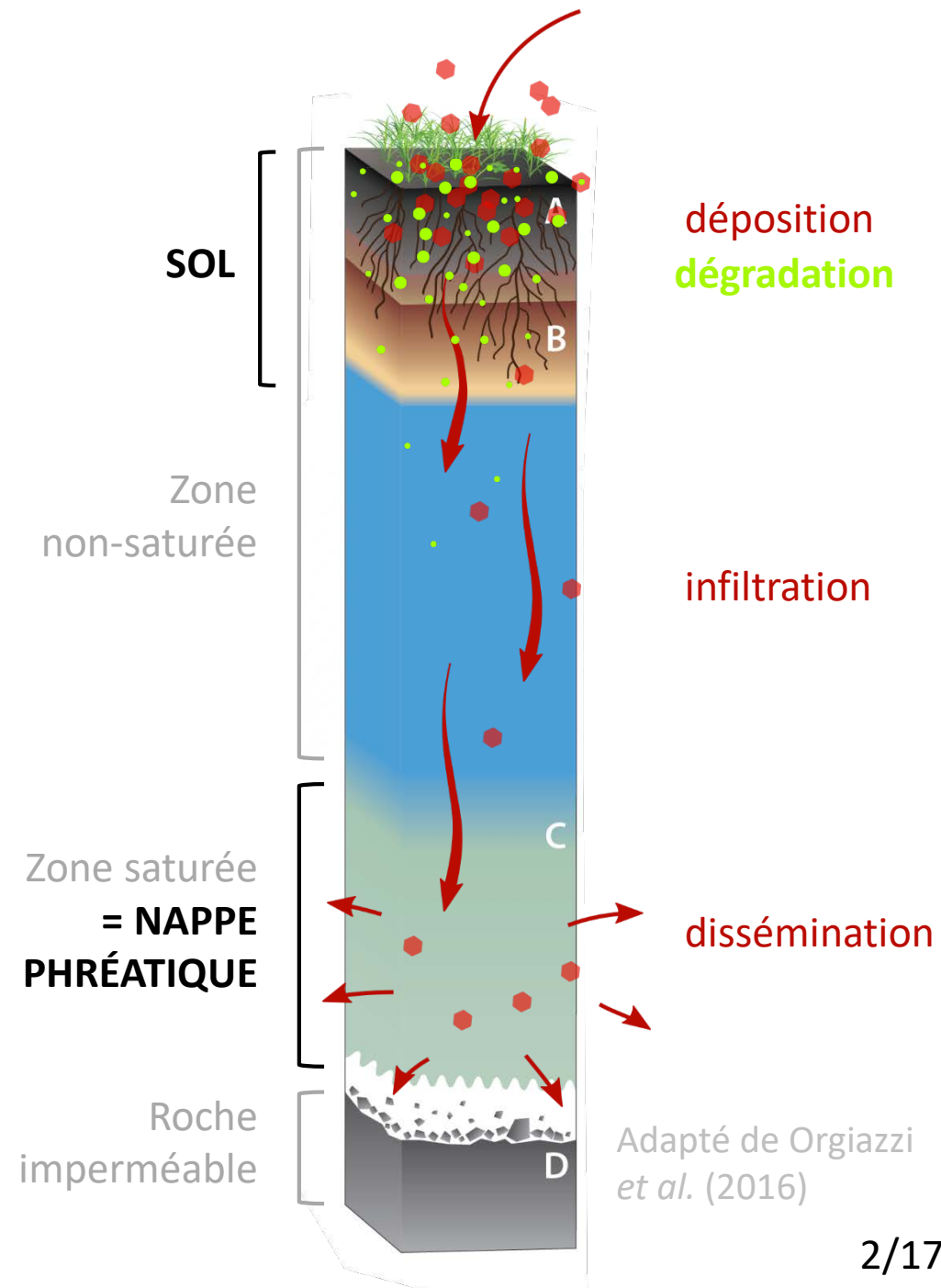
# Le rôle de « filtre » du sol

- Cas d'étude : **2,4-D**

*acide 2,4-dichlorophénoxyacétique*



- → pesticide fortement **mobile**



# Qu'est-ce qui contrôle cette fonction d'épuration ?

- A l'échelle de plusieurs années, la biodégradation est contrôlée par des processus micrométriques Chenu *et al.* (2017)
- Quels **facteurs explicatifs** ?
  - Nature du polluant (récalcitrance chimique)
  - Conditions physico-chimiques (pH, T°...)
  - Diversité microbienne Wertz *et al.* (2006)
  - **Accès au substrat**

« Comment intercepter un  $\mu$ -polluant quand on est un microbe ? »



# Comment intercepter un micropolluant quand on est un microbe ?

- $10^9 - 10^{10}$  microbes/g<sub>sol</sub>

$\sim \mu\text{m}^3$

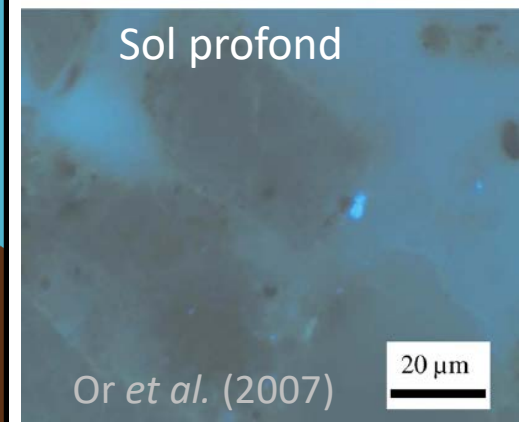
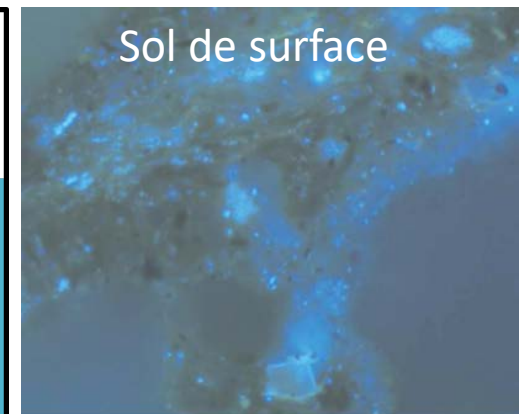
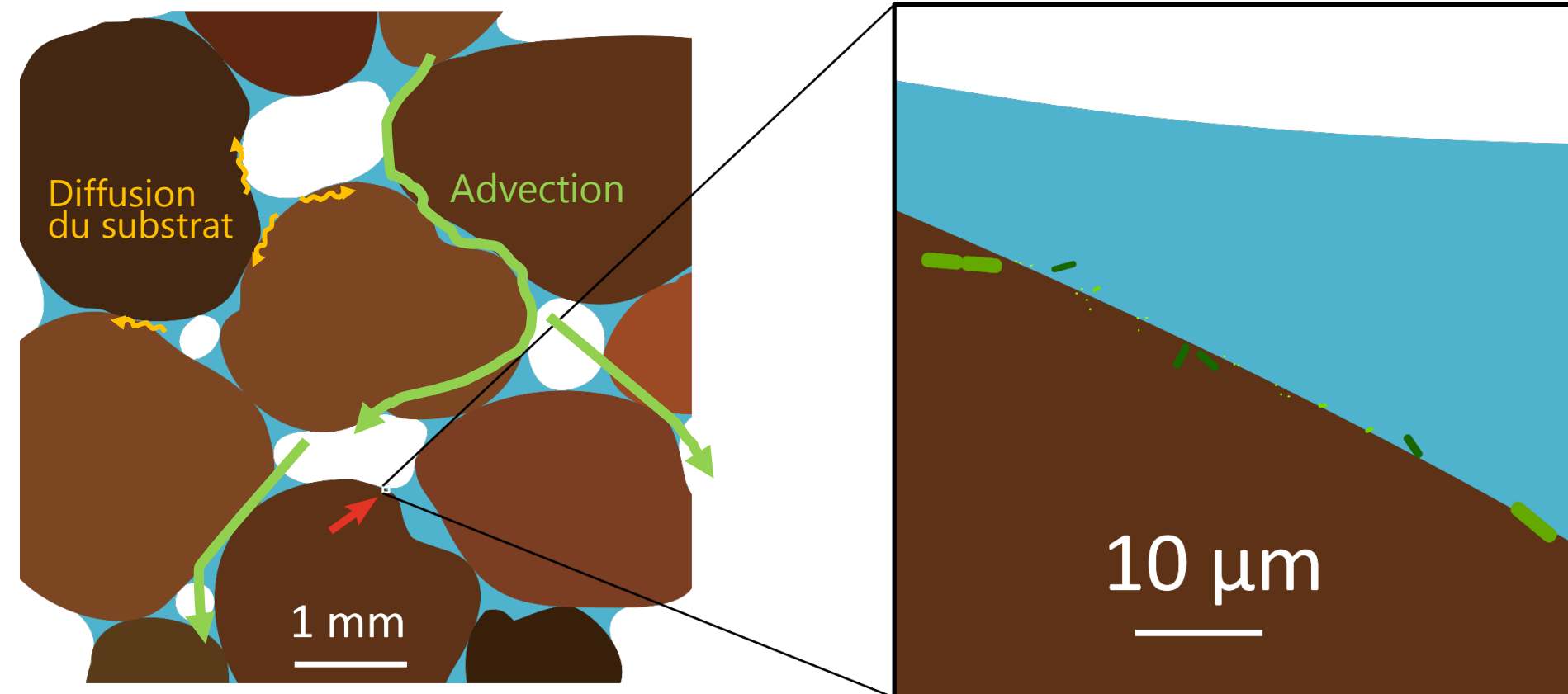
$\sim 2 - 5 \cdot 10^{11} \mu\text{m}^3$

→ occupent :

quelques % du volume poral

quelque millionièmes de % de la surface

Kuzyakov and  
Blagodatskaya  
(2015)

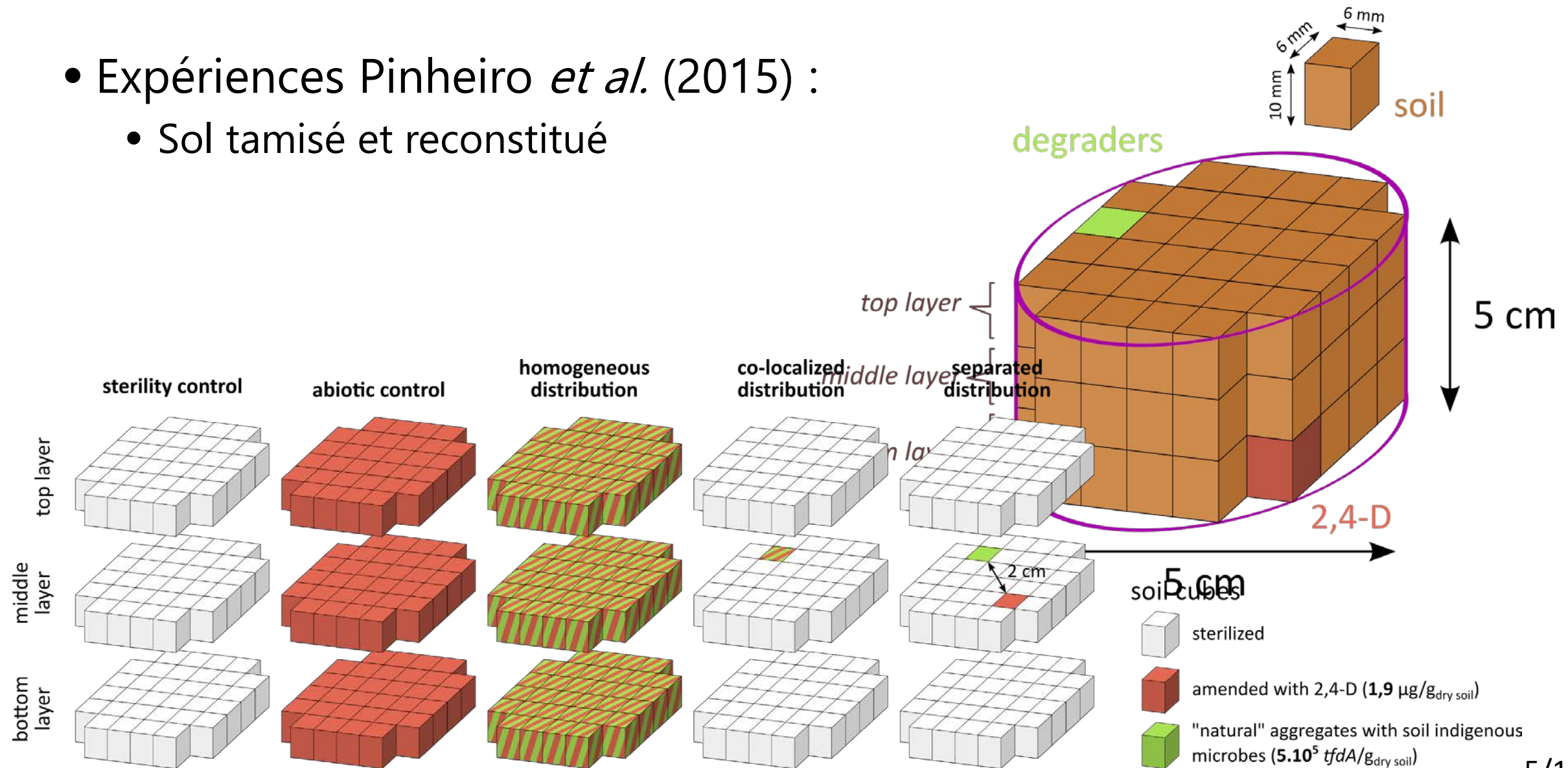


Or et al. (2007)

20 μm

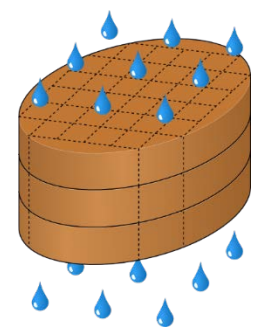
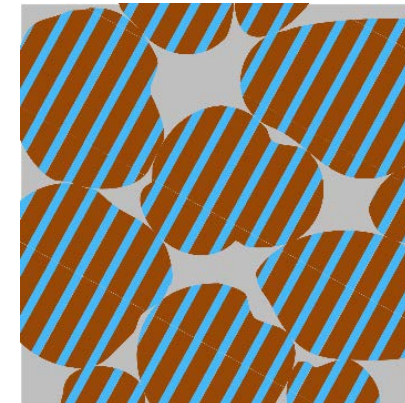
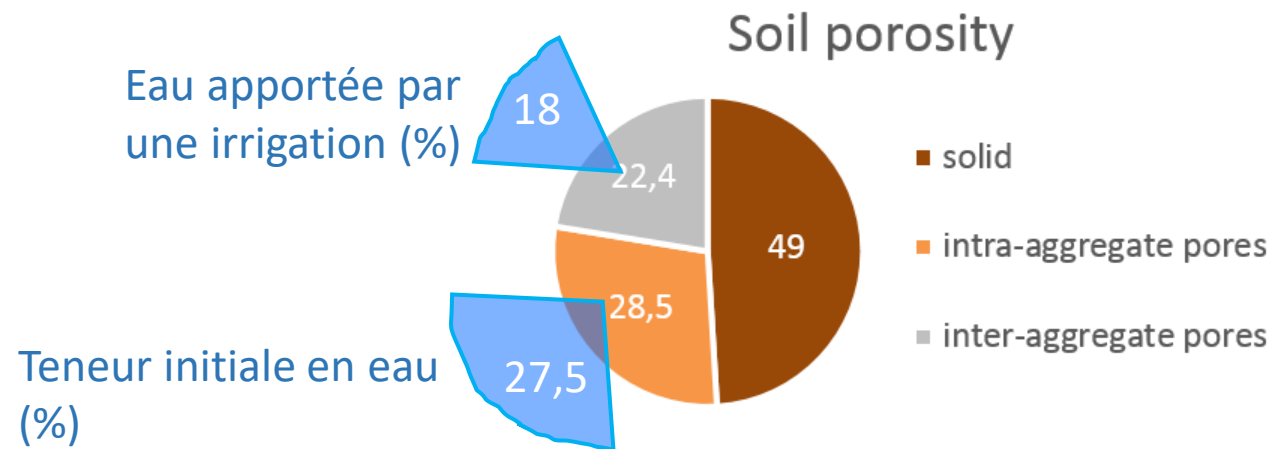
# Quel est le rôle de l'infiltration d'eau ?

- Expériences Pinheiro *et al.* (2015) :
  - Sol tamisé et reconstitué



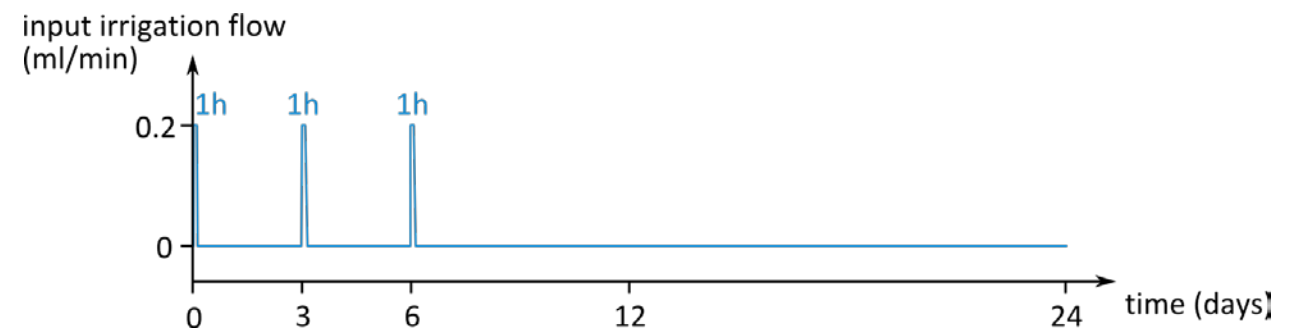
# Quel est le rôle de l'infiltration d'eau ?

- Pinheiro *et al.* (2015) et Pinheiro *et al.* (en préparation)
  - **Sans irrigation**



## • Avec irrigation

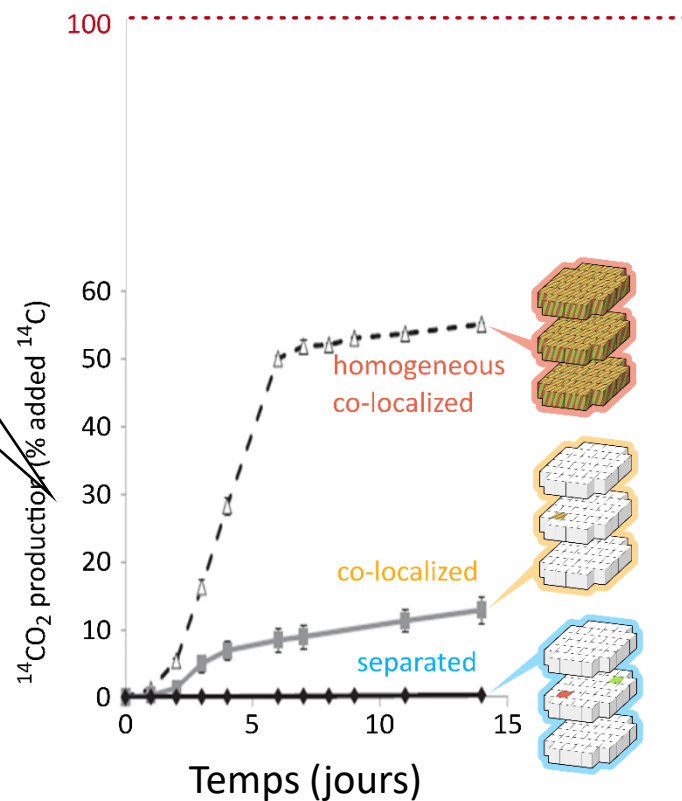
- 3 épisodes d'irrigation
- Flux volumique d'entrée :
  - **0.2 ml/min** pendant ~1 h



# L'irrigation favorise fortement la dégradation

- Dégradation très nettement améliorée pour les traitements « B et S séparés » et « B et S co-localisés »

## Sans irrigation



Dégradation du 2,4-D en CO<sub>2</sub>

Adapté de  
Pinheiro *et al.*  
(2015)

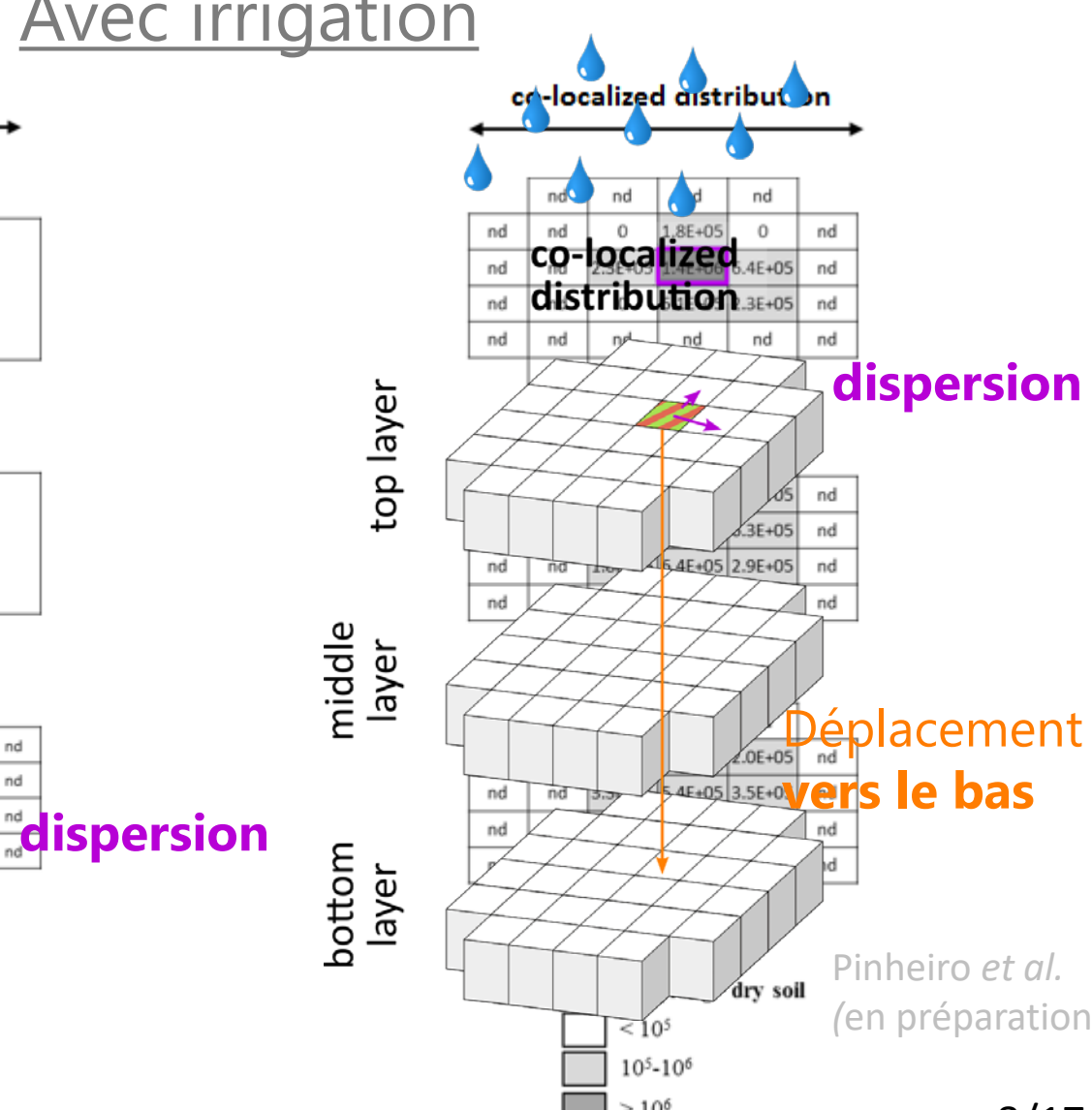
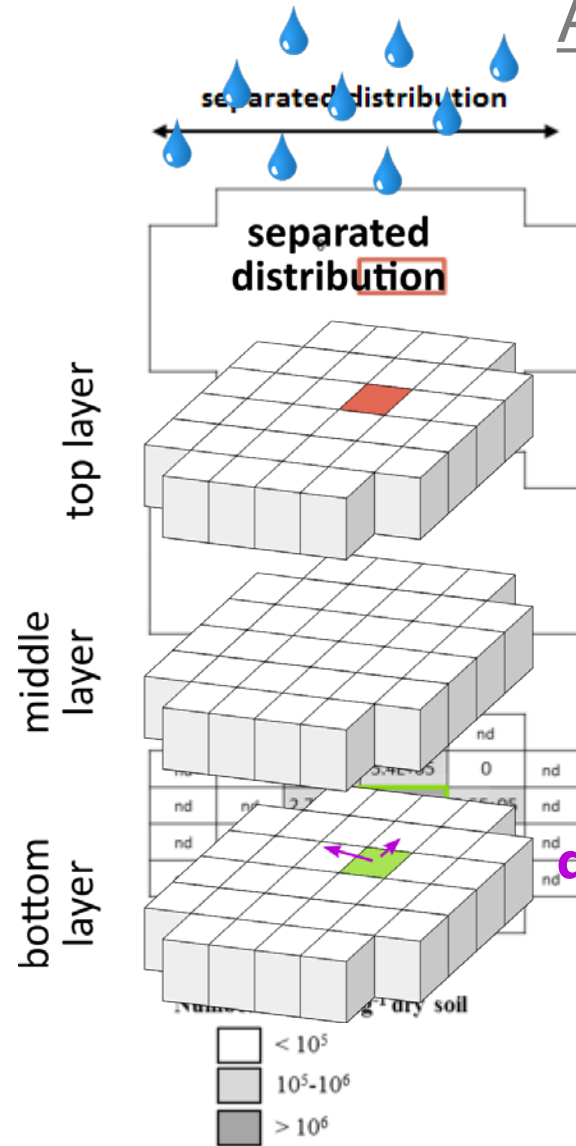
Adapté de  
Pinheiro *et al.*  
(en préparation)

# L'irrigation disperse les dégradés

Sans irrigation

Avec irrigation

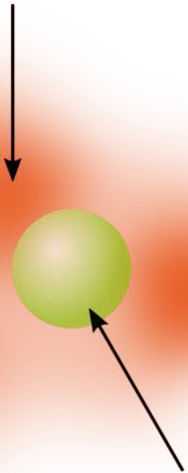
- **Aucun déplacement** des dégradés observé





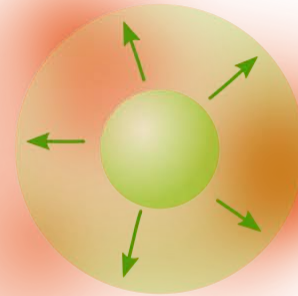
# Hypothèse : la dispersion des dégradeurs est avantageuse

substrat



cm-spot de  
dégradeurs

**advection**



dispersion des  
dégradeurs

= meilleure  
probabilité de  
contact



↑  
dégradation  
du substrat

# Modèle : Processus biochimiques

- **Sorbé réversible**

1<sup>er</sup> ordre

- **Sorbé irréversible**

1<sup>er</sup> ordre

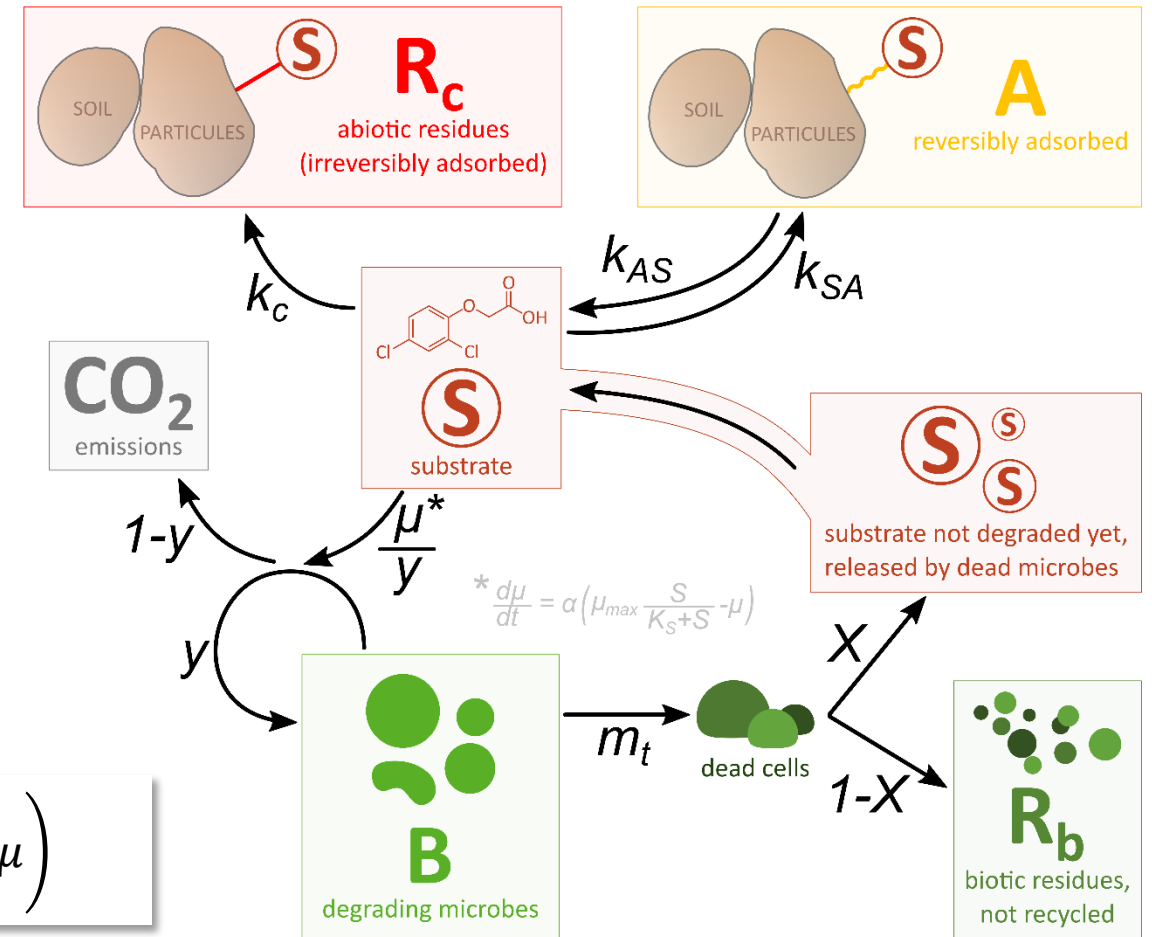
- **Dégradé**

Monod  
avec  
latence

$$\frac{\partial \mu(C_S)}{\partial t} = \alpha \left( \mu_{max} \frac{C_S}{C_S + \kappa_S} - \mu \right)$$

latence (retard)

saturation



Adapté de Babey  
et al. (2017)

# Modèle : Processus de transport

## • Diffusion Babey et al. (2017)

- Milieu considéré homogène, diffusion isotrope

$$\bullet \frac{\partial C_S}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C_S}{\partial x^2} + D \frac{\partial^2 C_S}{\partial y^2} + D \frac{\partial^2 C_S}{\partial z^2}$$

Proportionnel au gradient de concentrations local

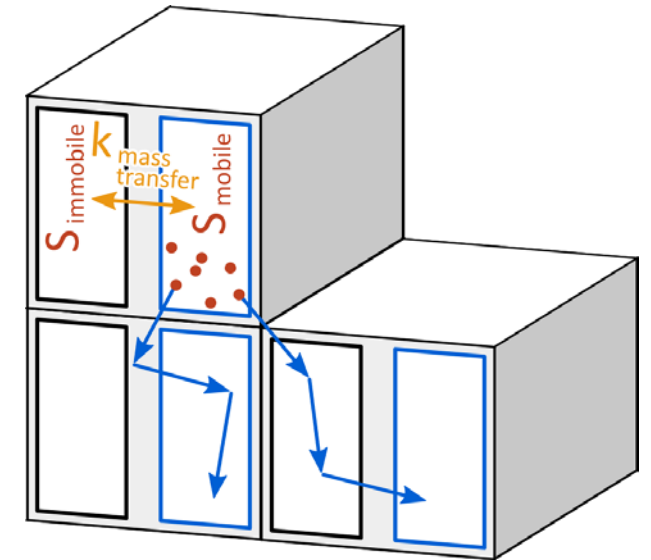
## • Advection-dispersion

$$\bullet \frac{\partial C_S}{\partial t} = -v \frac{\partial C_S}{\partial z} + \alpha_x v \frac{\partial^2 C_S}{\partial x^2} + \alpha_y v \frac{\partial^2 C_S}{\partial y^2} + \alpha_z v \frac{\partial^2 C_S}{\partial z^2}$$

vitesse verticale dans les pores

dispersion transversale

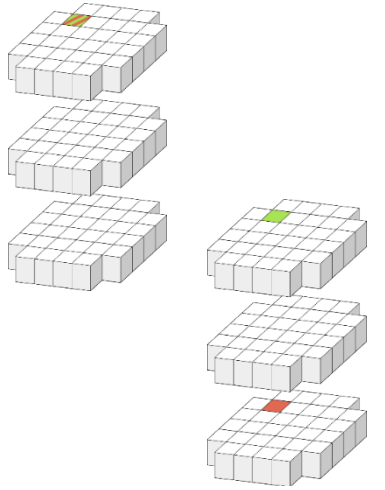
dispersion longitudinale



## Vocabulaire

- **S** = substrat
  - **C<sub>S</sub>** = **concentration** massique
  - **m<sub>S</sub>** = **masse**
- **B** = bactéries = dégradeurs
- Implicite :  $x = x(t, \{x, y, z\})$

# Résultats des simulations numériques



$$\frac{m_{S_{\text{consommé}}}}{m_{S_{t=0} \text{ non-lixivie}}}$$

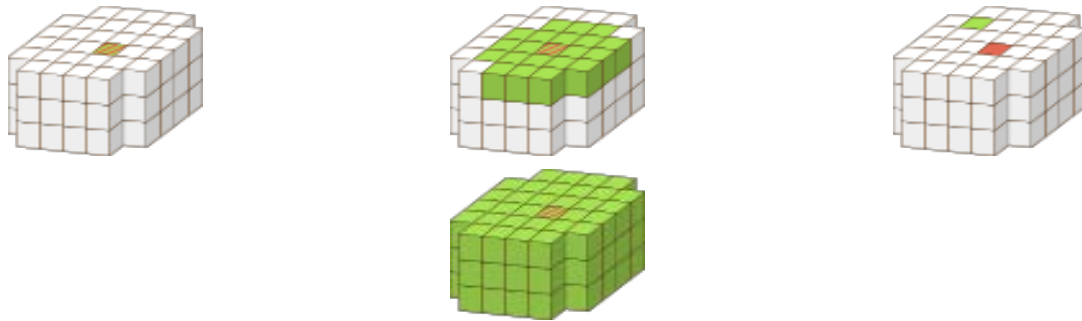
	Advection <del>X</del>		Advection ✓	
	expériences	modèle	expériences	modèle
S et B co-localisés	12,9 ± 1,9 %	13 %	<b>58,2 ± 8 %</b>	< <b>15 %</b>
S et B séparés	0,3 ± 0,1 %	0,2 %	<b>27,5 ± 7,8 %</b>	< <b>0,7 %</b>

Pinheiro *et al.* (2015)      Babey *et al.* (2017)      Pinheiro *et al.* (en préparation)

Ajout advection → **Distorsion** expériences-modèles

# Distorsion modèle-expériences : comment l'interpréter ?

- L'étalement par advection des dégradeurs **ne permet pas de rendre compte** de l'augmentation de la dégradation
  - co-localisé > étalé/homogène > séparé (à masses totales fixées)

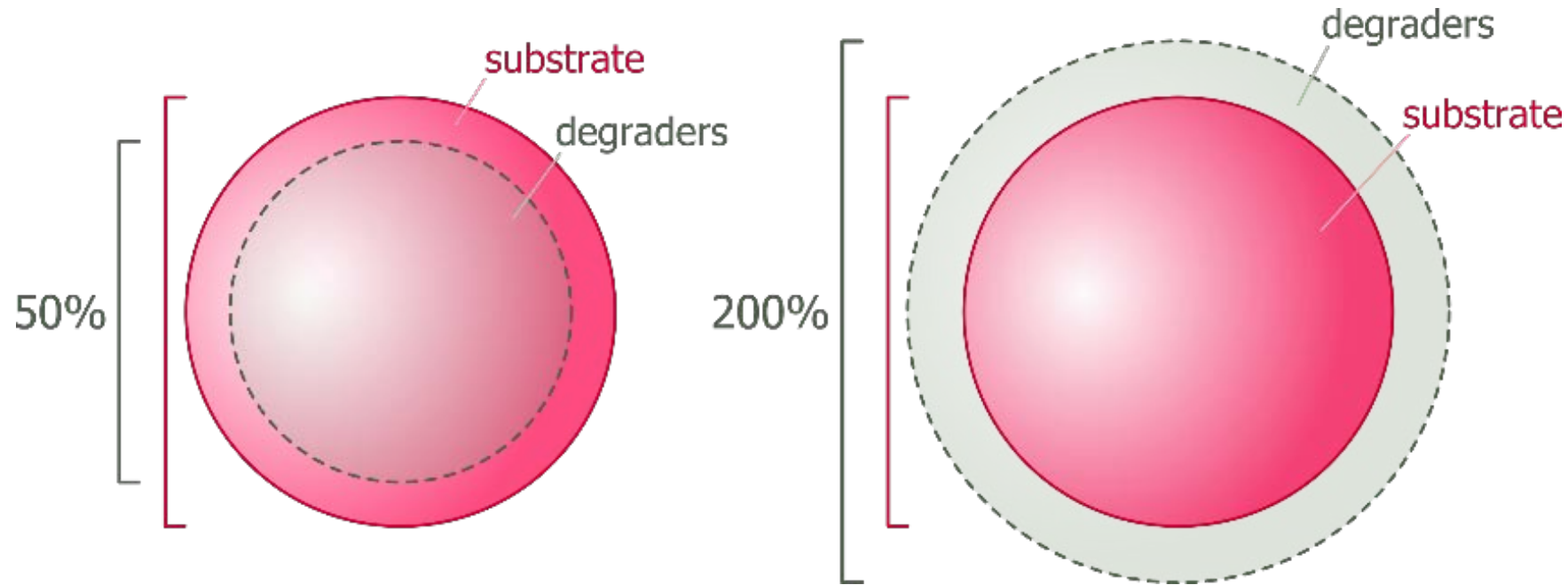


→ il y a donc un autre processus à l'œuvre

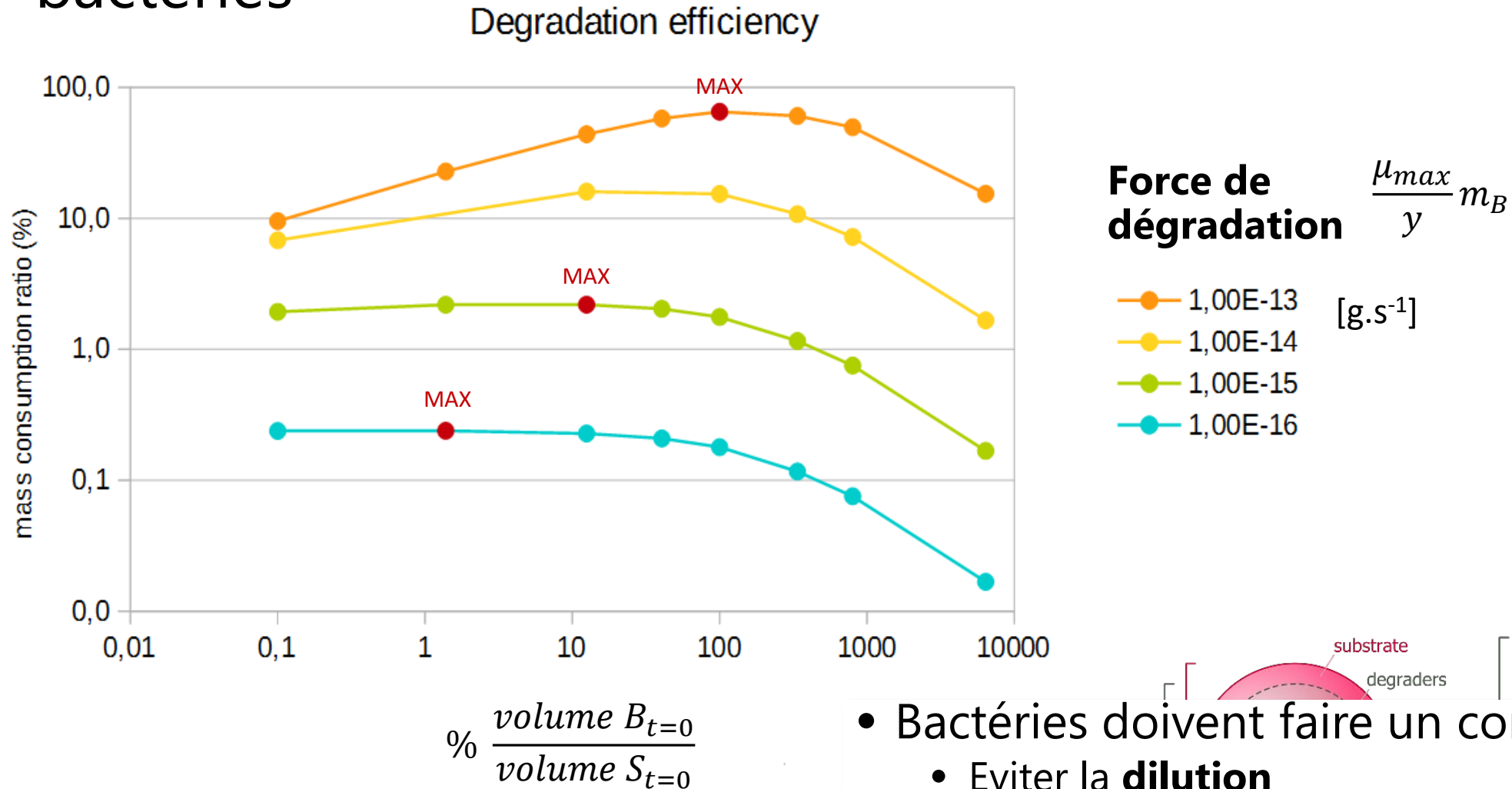
Pourquoi la dispersion passive des bactéries ne favorise pas nettement la dégradation ?

# Modèle simplifié théorique

Etude de l'impact des distributions spatiotemporelles



# Résultats : il existe un **optimum** de l'étalement des bactéries



- Bactéries doivent faire un compromis :
  - Eviter la **dilution**
  - Éviter la **compétition** pour le substrat



# Messages à retenir

- La **distribution spatiale** des micropolluants et de leurs dégradeurs microbiens dans les sol peut **fortement impacter** l'efficacité de dégradation
- Le rôle de l'apport d'eau ne **s'explique pas** par une advection classique des bactéries
- Les bactéries doivent faire un compromis entre éviter la **compétition** pour le substrat et éviter la **dilution**



# Index des références

- Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, J-L., De Deyn, G.B., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund, K., Jeffery, S., Johnson, N.C., Jones, A., Kandeler, E., Kaneko, N., Lavelle, P., Lemanceau, P., Miko, L., Montanarella, L., Moreira, F.M.S., Ramirez, K.S., Scheu, S., Singh, B.K., Six, J., van der Putten, W.H., Wall, D.H. (Eds.). **Global Soil Biodiversity Atlas**. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2016. 176 pp.
- Chenu C, Nunan N, Vieuble L, Garnier P, Pot V, Recous S. **Localisation des matières organiques et des activités microbiennes : conséquences pour le fonctionnement du Sol**. *Quae*. 2017 May. Chap. 2;26-36.
- Wertz S., Degrange V., Prosser J. I., Poly F., Commeaux C., Freitag T., Guillaumaud N., Le Roux X. **Maintenance of soil functioning following erosion of microbial diversity**. *Env. Microbiology*. 2006 July. p. 2162–2169.
- Kuzyakov Y., Blagodatskaya E. **Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review**. *Soil Biology & Biochemistry*. 2015 Feb. 83:184-199.
- Or D., Smets B.F., Wraith J.M., Dechesne A., Friedman S.P. **Physical constraints affecting bacterial habitats and activity in unsaturated porous media – a review**. *Adv in Water Res*. 2006 Sept. 30:1505-1527.
- Pinheiro M, Garnier P, Beguet J, Martin Laurent F, Vieublé Gonod L. **The millimetre-scale distribution of 2,4-D and its degraders drives the fate of 2,4-D at the soil core scale**. *Soil Biol Biochem*. 2015 Sep;88:90–100.
- Babey T, Vieublé-Gonod L, Rapaport A, Pinheiro M, Garnier P, de Dreuzy J-R. **Spatiotemporal simulations of 2,4-D pesticide degradation by microorganisms in 3D soil-core experiments**. *Ecol Model*. 2017 Jan;344:48–61.

# Merci pour votre attention !

## Remerciements

Jean-Raynald de Dreuzy (*Géosciences Rennes*)

Tristan Babey (*Géosciences Rennes*)

Alain Rapaport (*Mistea*)

Marc Pinheiro

Laure Vieublé-Gonod (*Ecosys*)

Patricia Garnier (*Ecosys*)

## Contact

Alexandre Coche

- alexandre.coche@univ-rennes1.fr
- *bât. 14B P209, campus Beaulieu  
Université de Rennes 1, 35000*

Pour les discussions très précieuses :

Naoise Nunan (*iEES*)

Xavier Raynaud (*iEES*)

Valérie Pot-Genty (*Ecosys*)

Claire Chenu (*Ecosys*)

Tanguy Le Borgne (*Géosciences Rennes*)

Jérôme Harmand (*LBE*)

Quentin Courtois (*Géosciences Rennes*)

Etienne Lavoine (*Géosciences Rennes*)

Jean Marçais (*Géosciences Rennes*)

Le personnel administratif de *Géosciences  
Rennes*

Thèse financée sur l'ANR Soil $\mu$ 3D

