

université  
PARIS-SACLAY

INRAE

AgroParisTech

INSTITUT DES SCIENCES ET INDUSTRIES DU VIVANT ET DE L'ENVIRONNEMENT  
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY FOR LIFE, FOOD AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

île de France

ASTRÉA  
Agrosociétés • Territoires • Ecologie • Alimentation



# Impact sur le sol et les végétaux des microcystines contenues dans les eaux d'irrigation

Christian MOUGIN, Sylvain CORBEL *et al.*, UMR EcoSys – Palaiseau  
Noureddine BOUAICHA, UMR ESE – Gif sur Yvette

[christian.mougin@inrae.fr](mailto:christian.mougin@inrae.fr)

# Introduction

**Certaines eaux (mares, jardins...) utilisées pour l'irrigation contiennent des cyanotoxines**

**Le devenir et les impacts des cyanotoxines sur l'écosystème sol étaient (sont) méconnus**

**Nos questions :**

- **Quels sont les impacts écotoxicologiques et phytotoxiques des apports de cyanotoxines sur le système sol-plante ?**
- **Existe-t-il un transfert des cyanotoxines du sol vers la plante ?**
- **Existe-t-il un risque sanitaire pour le consommateur ?**

**> En conditions agro-environnementales réalistes (concentrations et apports, sol, modèles végétaux...)**

# Les cyanotoxines

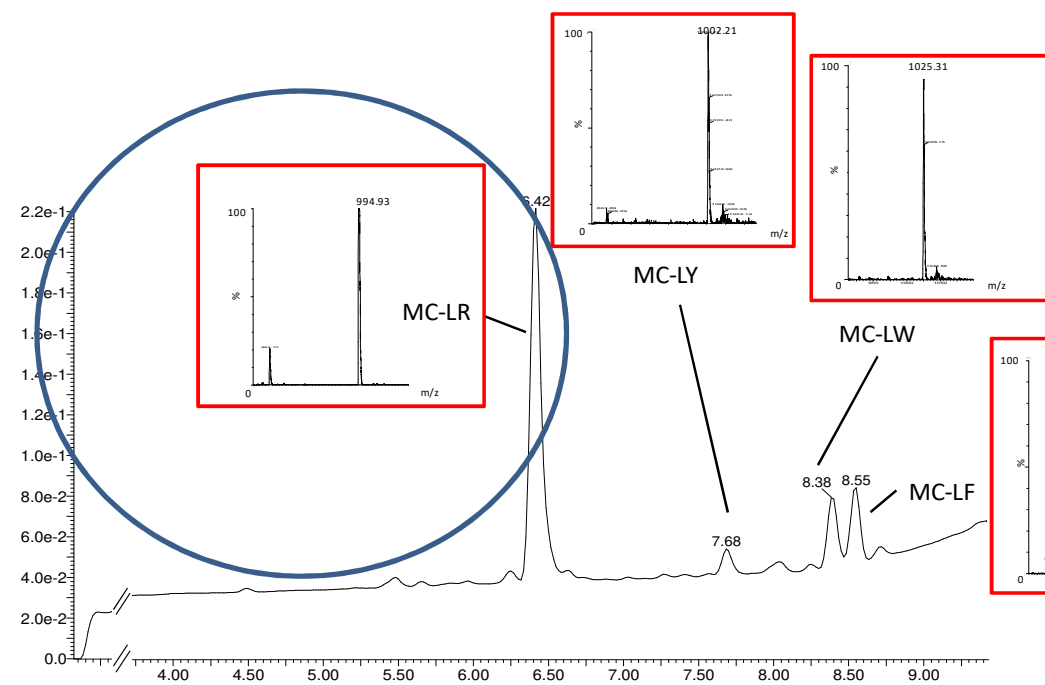
## Culture de cyanobactéries : *Microcystis aeruginosa* PCC 7820

- **Conditions de culture** : BG11 + NaNO<sub>3</sub> + NaHCO<sub>3</sub>, 3 semaines à 25 °C, intensité d'éclairage de 5-10 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> durant 16h sous agitation permanente
- **Extraction** des toxines (MeOH)
- **Quantification** par test d'inhibition de la protéine phosphatase de type 2A
- **Identification** des congénères par UPLC-MS

- **Biosynthèse** de <sup>14</sup>C-MC-LR

- **Effets**

- Aigus à 14 jours (≤ 20 mg équiv. MC-LR L<sup>-1</sup>)
- Chroniques à 90 jours (≤ 100 μg équiv. MC-LR L<sup>-1</sup>)



4 principales et 9 mineures

# Le sol

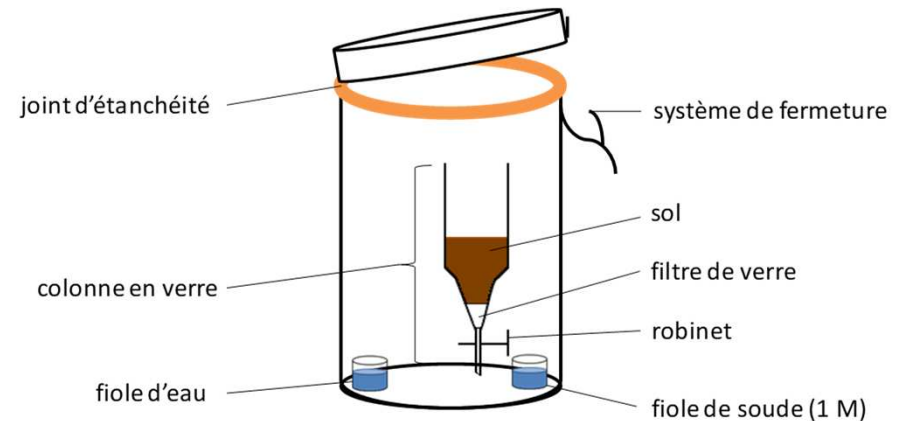
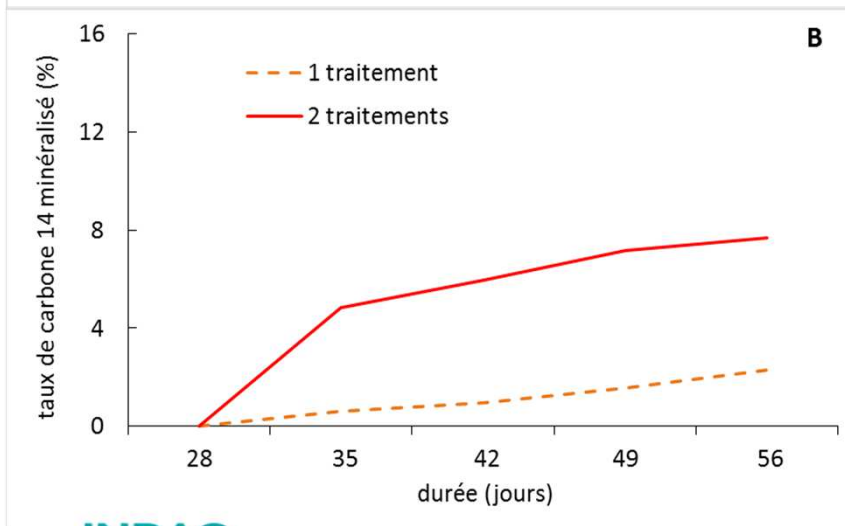
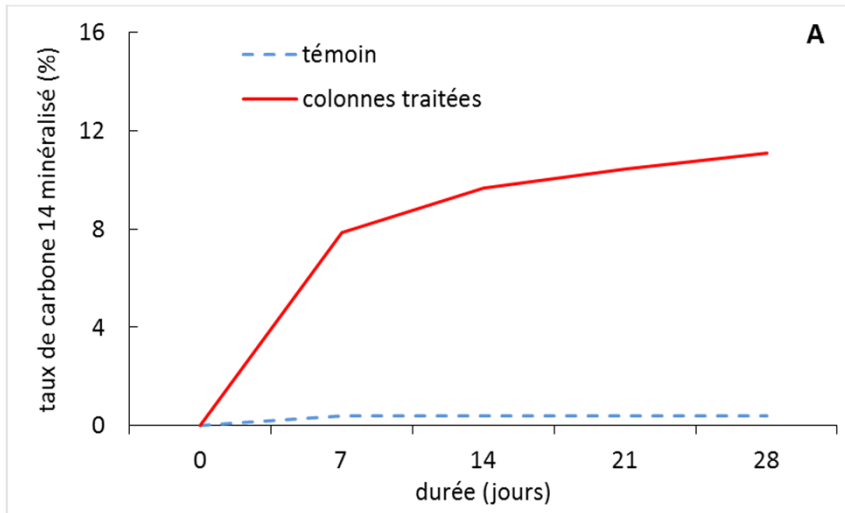
## Sol d'une prairie de Versailles : Pierre-Plate

- Sol séché à l'air libre puis tamisé (2 mm)
- Expérimentations en pots (350 g)
- Incubations (26°C/21°C, 16h/8h)
  - **Dynamique, transfert des toxines**
  - **Quantification d'ADN**
  - **Nitrification potentielle**
  - **Activités enzymatiques**

Caractéristiques de l'horizon de surface (0-15 cm)

|                         |             |
|-------------------------|-------------|
| Argile (%)              | 11          |
| Limon (%)               | 13          |
| Sable (%)               | <b>76</b>   |
| Carbone organique (‰)   | 21,9        |
| Azote total (‰)         | 1,2         |
| C/N ratio               | 17,5        |
| Matières organiques (‰) | <b>37,8</b> |
| pH                      | <b>5,6</b>  |
| CRE (%)                 | 35,5        |

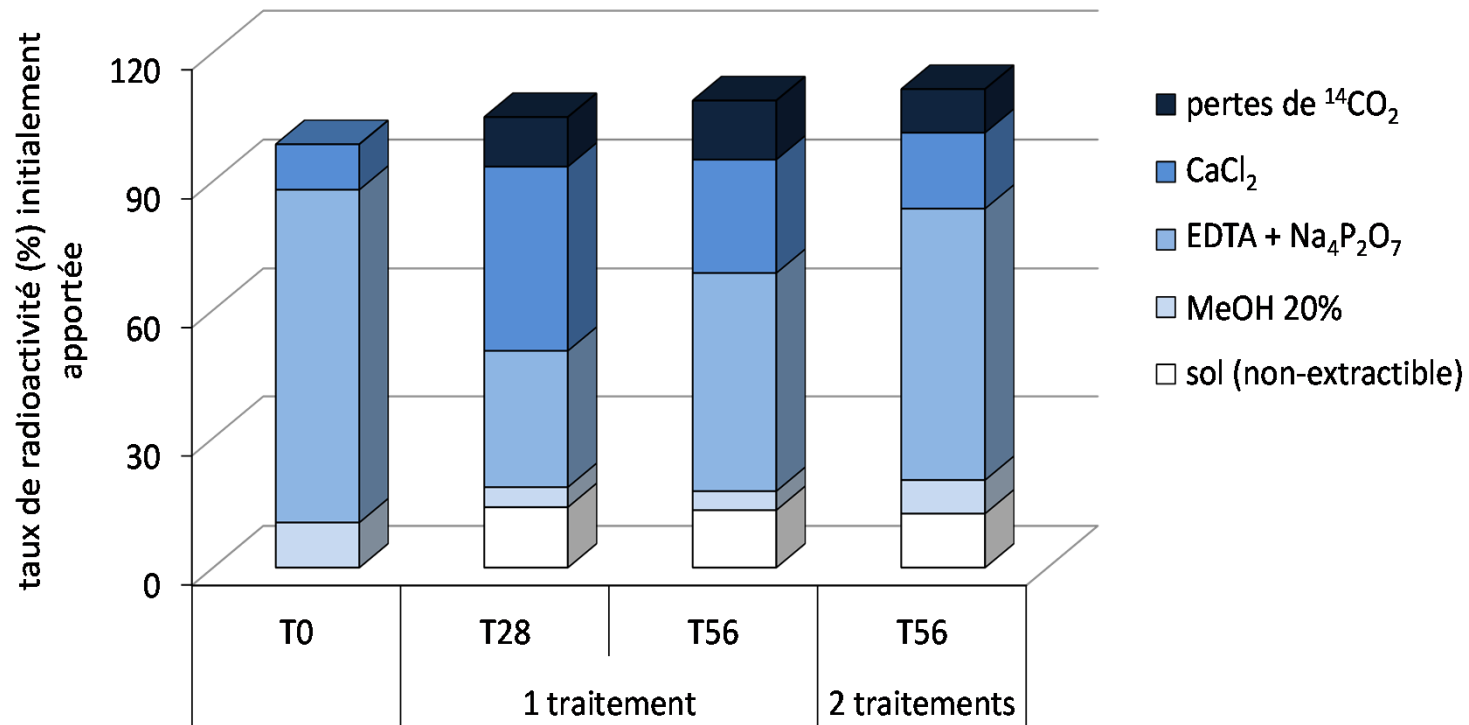
# Minéralisation de la $^{14}\text{C}$ -MC-LR (sol)



$29 \mu\text{g } ^{14}\text{C-MC-LR g}^{-1} \text{ sol sec}$

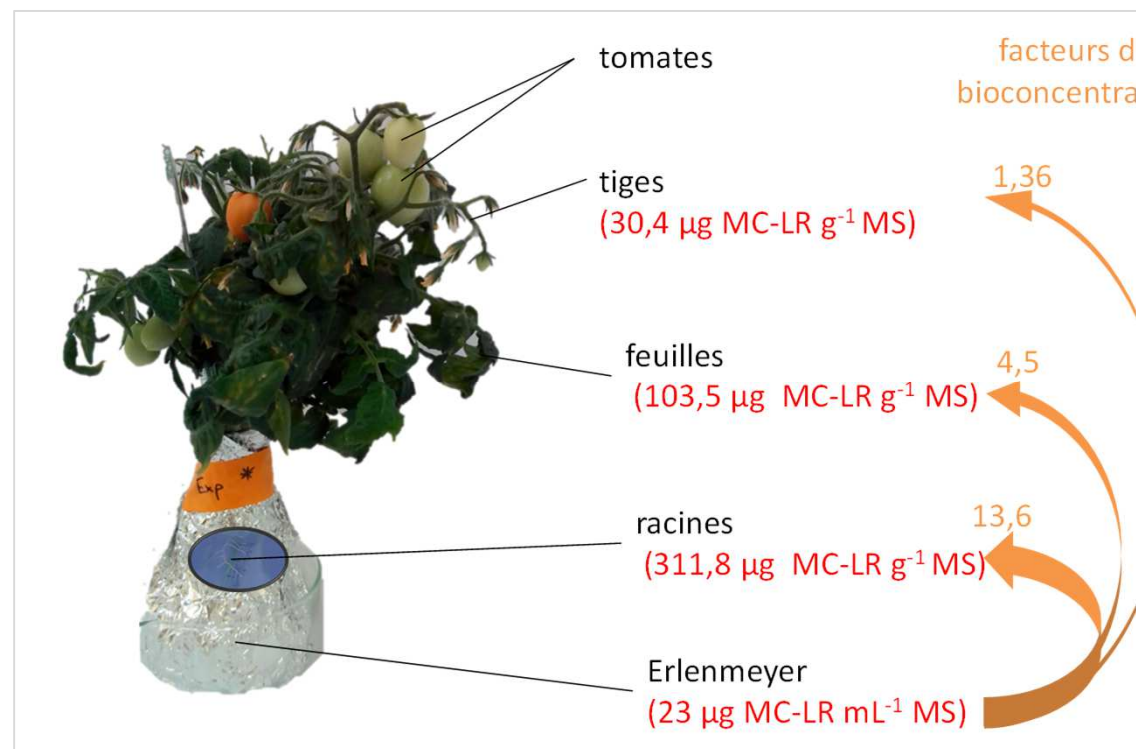
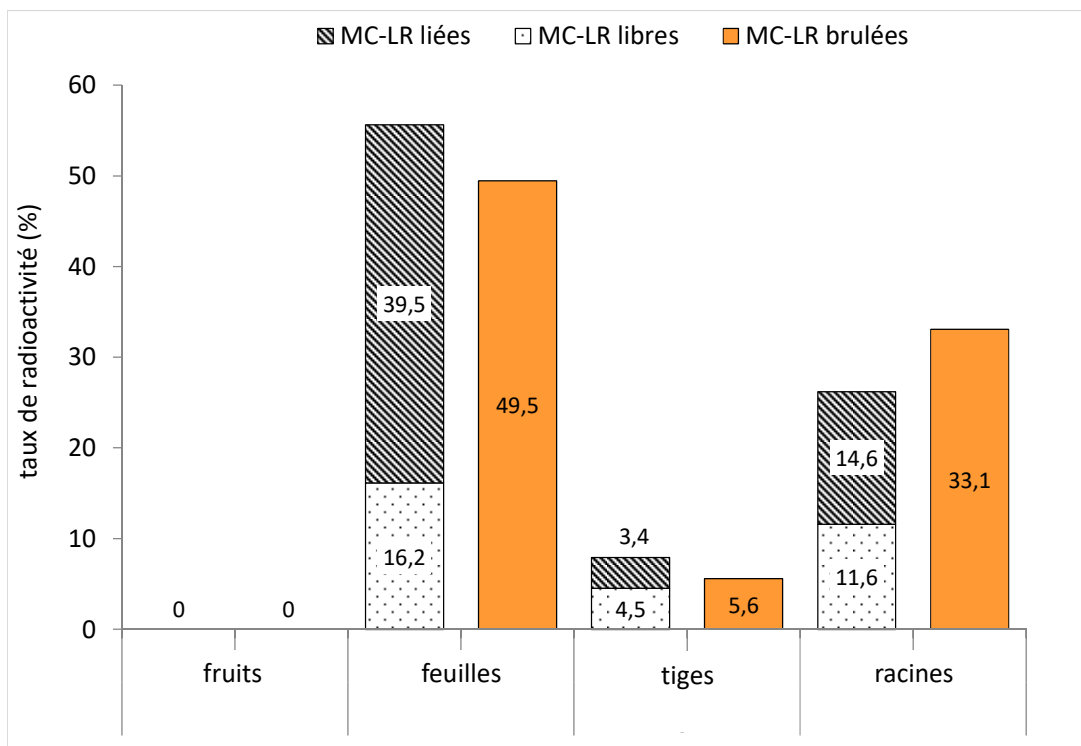
- 7,7% du carbone marqué apporté lors de la seconde exposition ont été minéralisés

# Répartition du $^{14}\text{C}$ (sol)



- Le  $^{14}\text{C}$  contenu dans le sol reste majoritairement extractible, et correspond pour partie à de la  $^{14}\text{C}$ -LC-MR et à un métabolite polaire

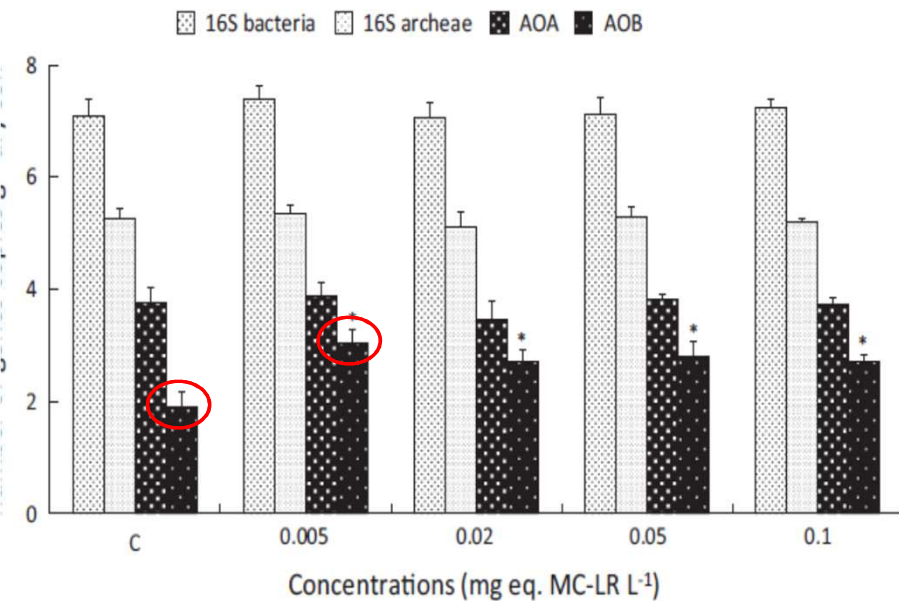
# Transfert sol/plante et translocation (hydroponie, 28h)



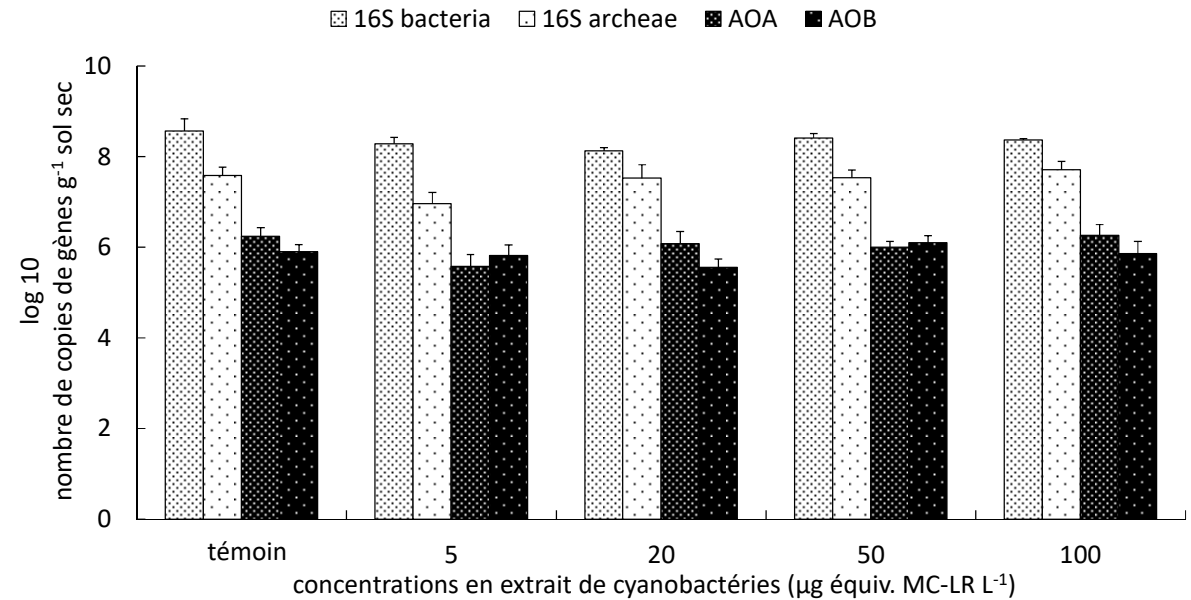
- Le <sup>14</sup>C contenu dans la tomate se répartit selon un gradient feuilles > racines > tiges, pas de translocation notée vers le fruit

# Biomasses microbiennes (sol)

14 jours



90 jours



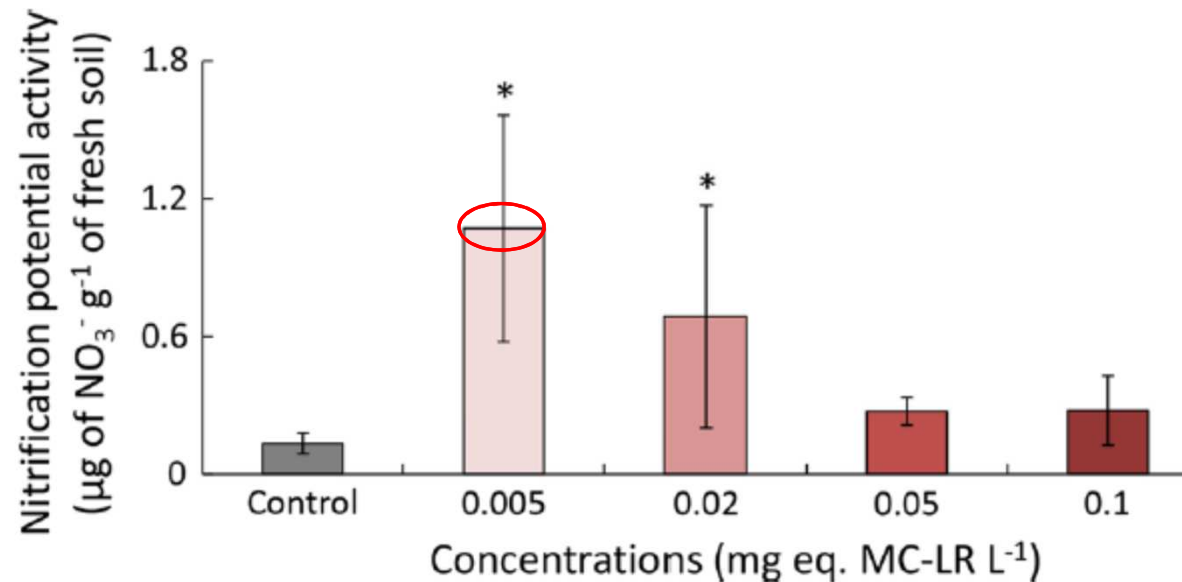
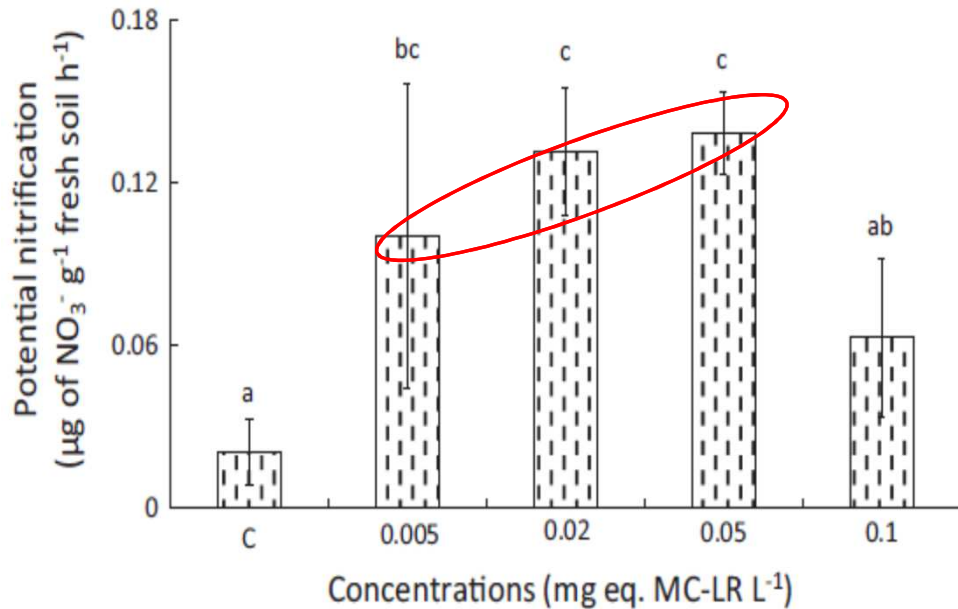
- Après 14 jours, pas d'effets majeurs sur les communautés d'archae nitrifiantes, un effet stimulateur sur les communautés bactériennes
- Après 90 jours, les effets s'estompent



# Potentiel de nitrification (sol)

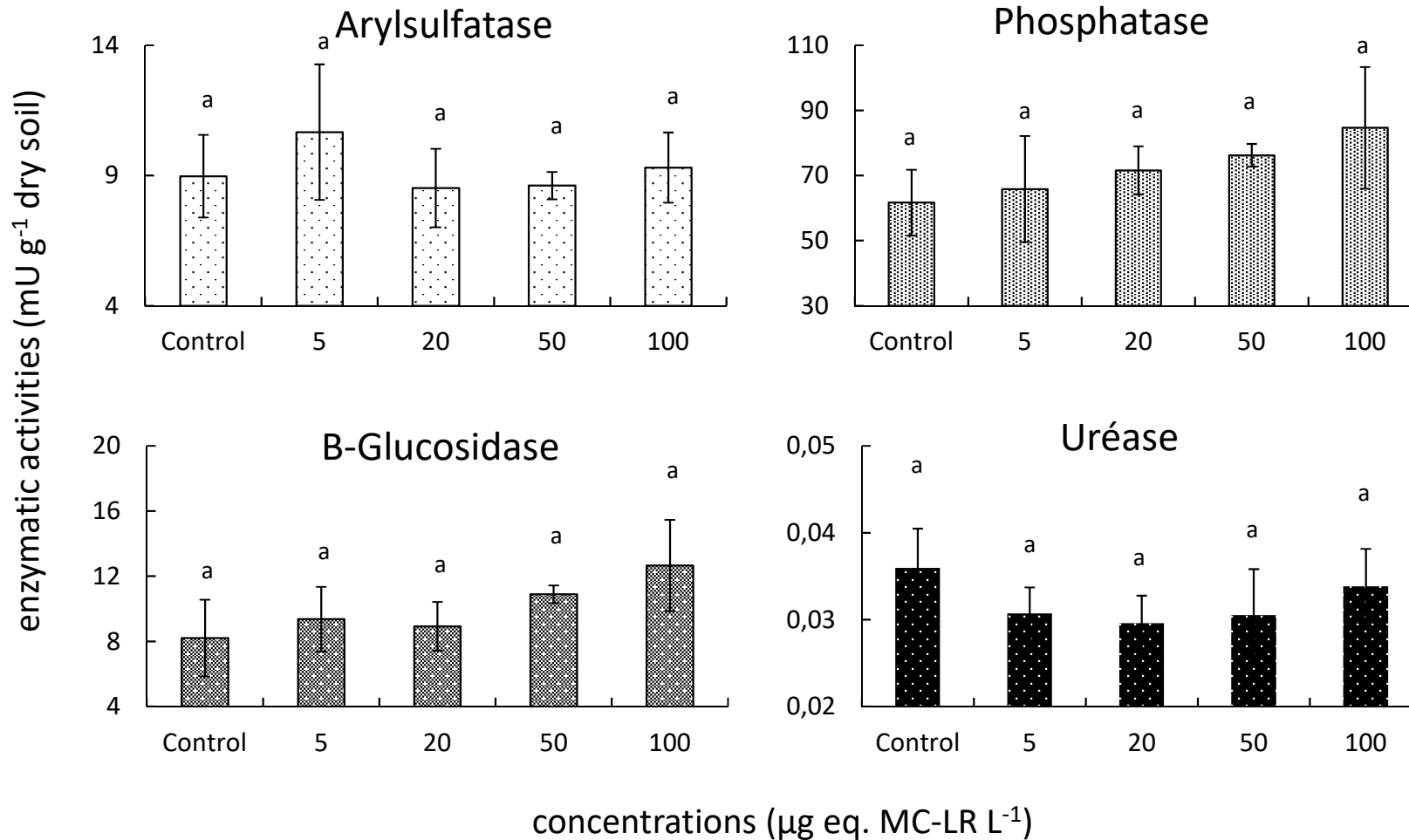
14 jours

90 jours



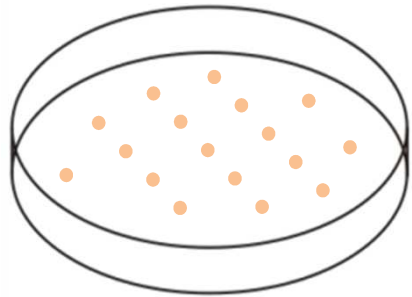
- Après 14 jours, l'activité nitrifiante augmente dès 50  $\mu\text{g}$  équiv. MC-LR  $\text{L}^{-1}$ , , puis elle diminue au dessus de 100  $\mu\text{g}$  équiv. MC-LR  $\text{L}^{-1}$
- Après 90 jours, l'effet stimulateur persiste à 50  $\mu\text{g}$  équiv. MC-LR  $\text{L}^{-1}$ , mais l'effet inhibiteur apparaît dès 20  $\mu\text{g}$  équiv. MC-LR  $\text{L}^{-1}$

# Activités enzymatiques (sol, 14 jours)



- Pas d'effet significatif sur les activités enzymatiques mesurées après une irrigation de 14 jours, ni après une irrigation de 90 jours (non montré)

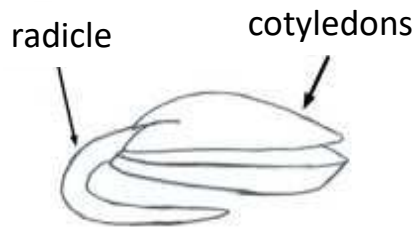
# Phytotoxicité (in vitro)



- *Solanum lycopersicum* var. MicroTom et Saint-Pierre
- *Lactuca sativa* var. *capitate*
- *Triticum aestivum* var. Bio Atlass

20 graines maintenues sur papier humide (AFNOR X31-201)

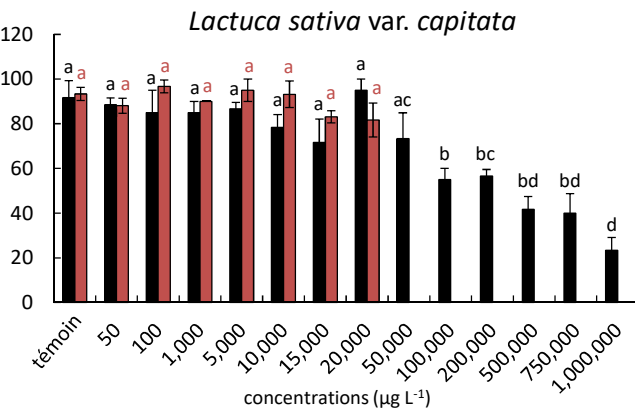
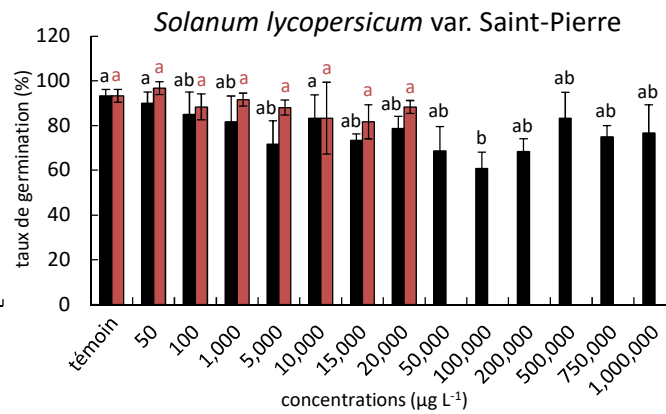
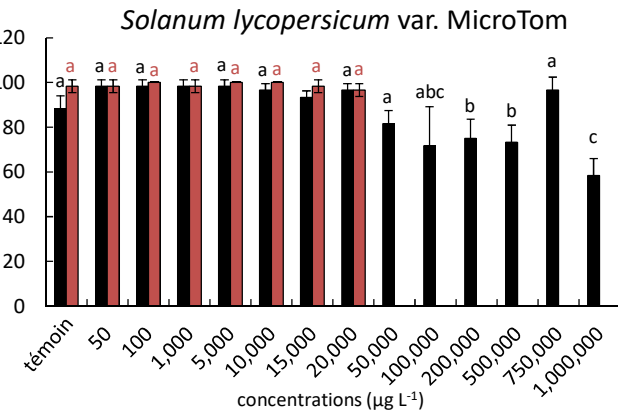
Obscurité (25 °C) avec 5 mL of d'extrait de culture (0-20 mg eq. MC-LR L<sup>-1</sup> ) ou C (0-1 g L<sup>-1</sup>)



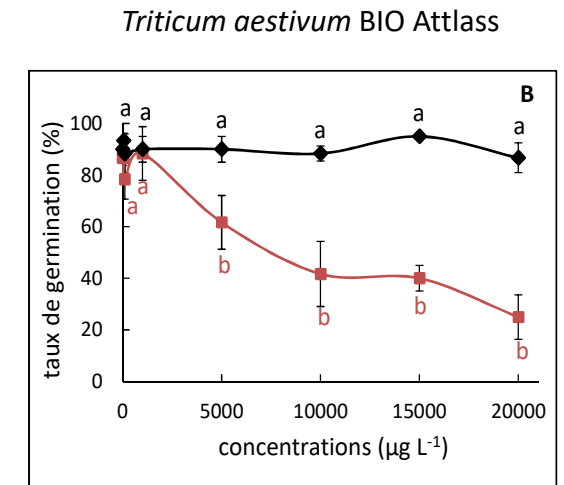
- **Germination des graines**
- **Croissance des plantules**
- **Developpement des plantes**



# Germination des graines (in vitro, 7 jours)

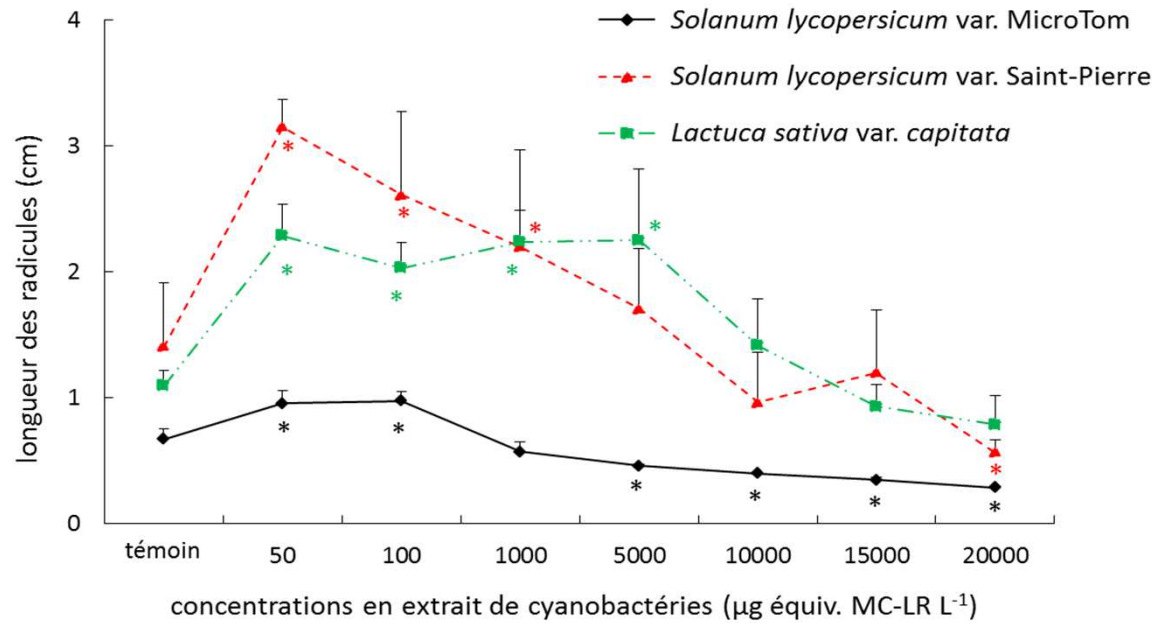


chlorure de cadmium  
 extrait de cyanobactéries dilué

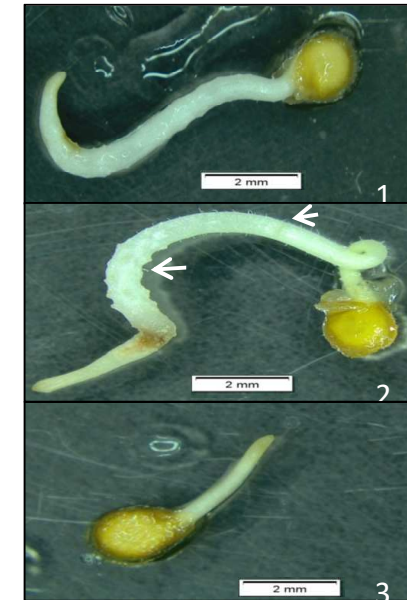


➤ Entre 0 et 20 mg équiv. MC-LR L<sup>-1</sup>, seul la germination du blé (*T. aestivum*) est diminuée avec une CI<sub>50</sub> de 11 mg équiv. MC-LR L<sup>-1</sup>

# Croissance des plantules (in vitro, 7 jours)



*Solanum lycopersicum* var. MicroTom



Témoin

100  $\mu\text{g}$  équiv. MC-LR

20 mg équiv. MC-LR

- Entre 0 et 50-100  $\mu\text{g}$  équiv. MC-LR  $\text{L}^{-1}$ , augmentation de la longueur des plantules, puis diminution à des concentrations supérieures

# Phytotoxicité (sol)

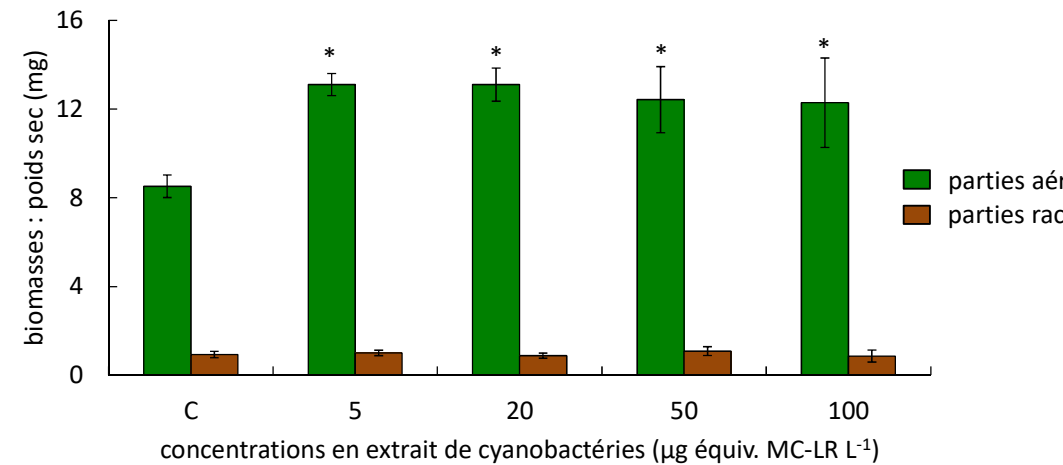
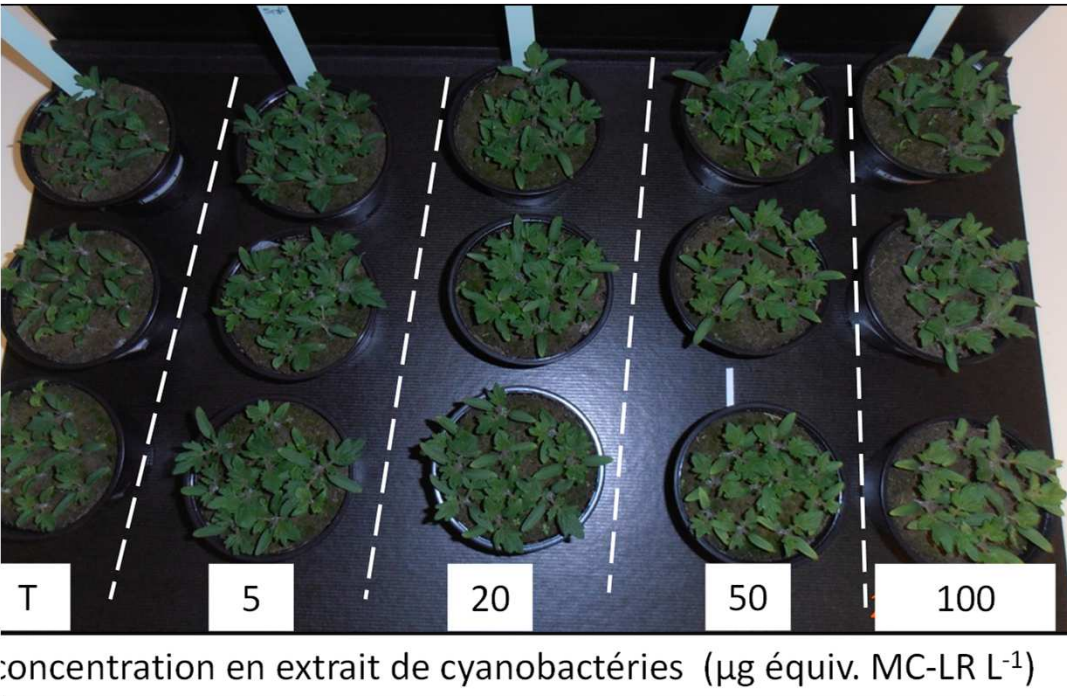
- *Solanum lycopersicum* var. MicroTom

16 heures lumière/8 heures obscurité (25 °C) avec extrait de culture (100 µg eq. MC-LR L<sup>-1</sup> )

- Développement des plantes
- Phénologie
- Chlorophylles / fluorescence
- Acides gras



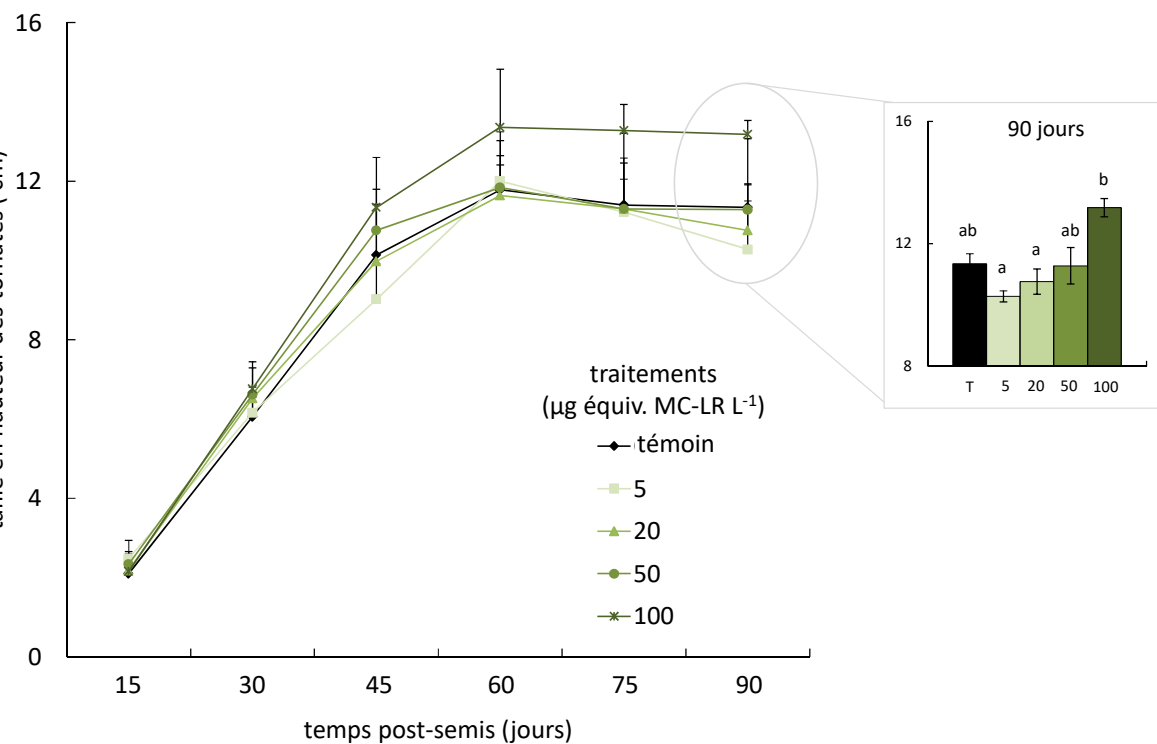
# Développement des plantes (sol, 14 jours)



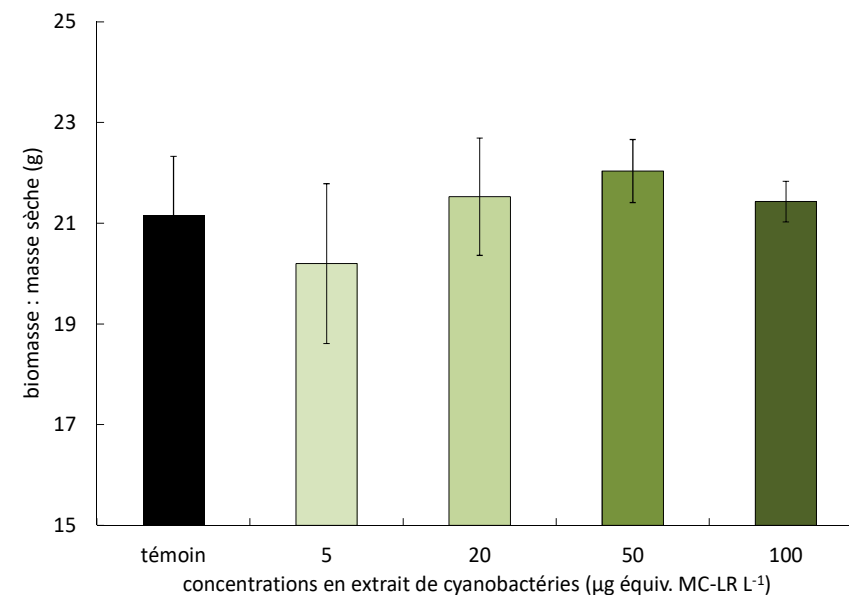
- Les plants des pots traités avec l'extrait de *M. aeruginosa* possèdent une surface foliaire totale plus importante que celle des plants des pots témoins, avec notamment les premières feuilles plus développées

# Développement des plantes (sol, 90 jours)

## Taille



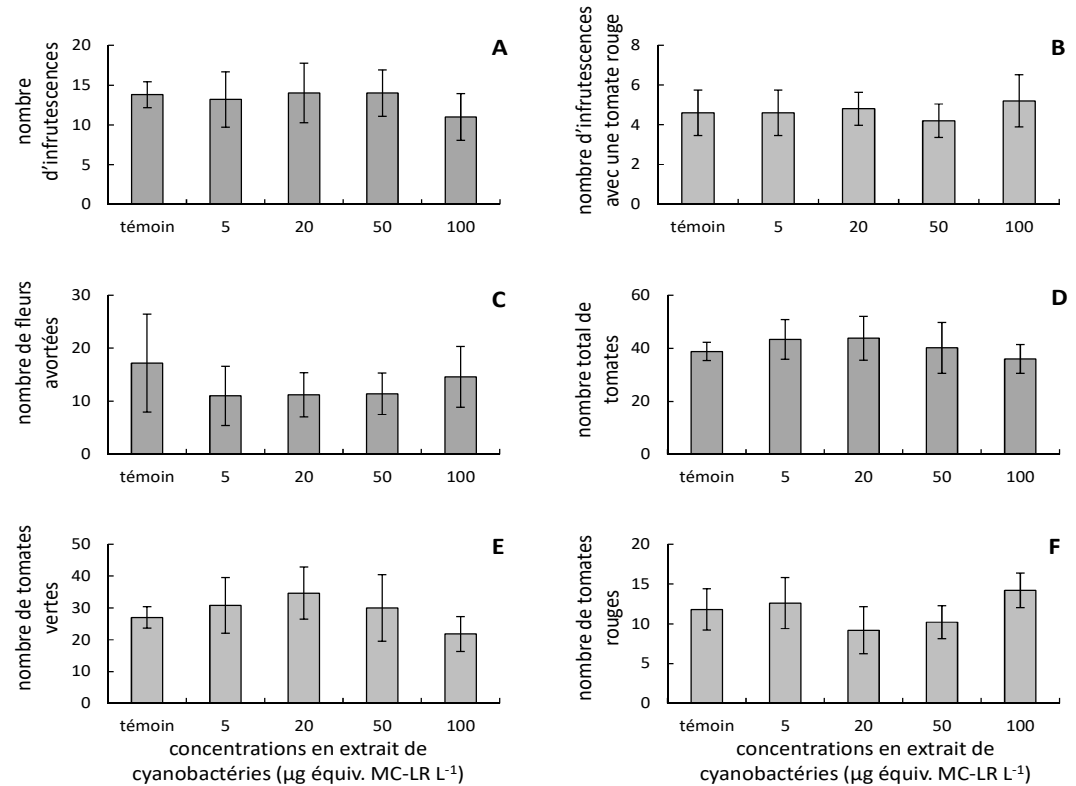
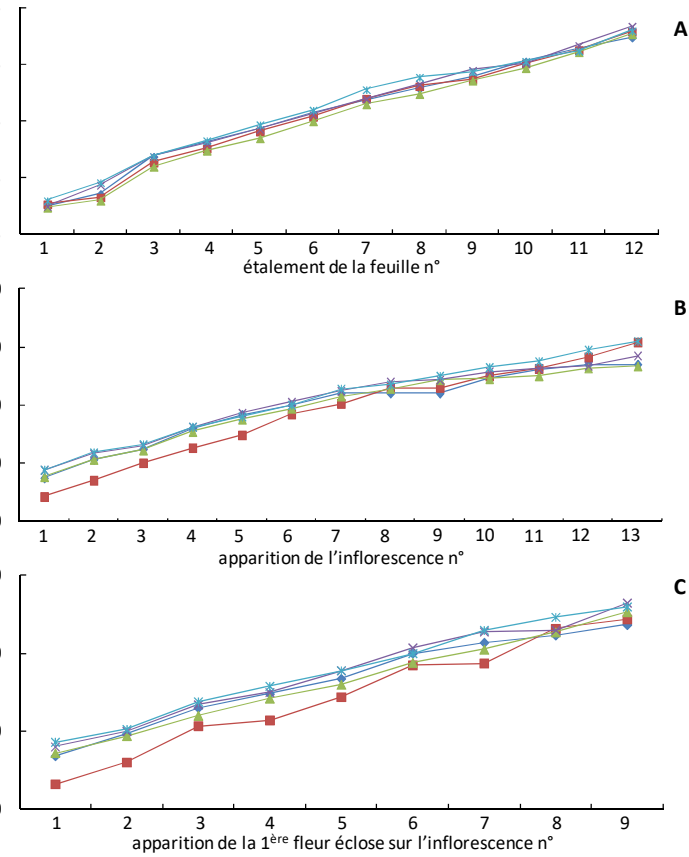
## Biomasse



- A 100 µg équiv. MC-LR L<sup>-1</sup>, augmentation de la taille des plantes
- Effets non significatifs sur la biomasse végétale

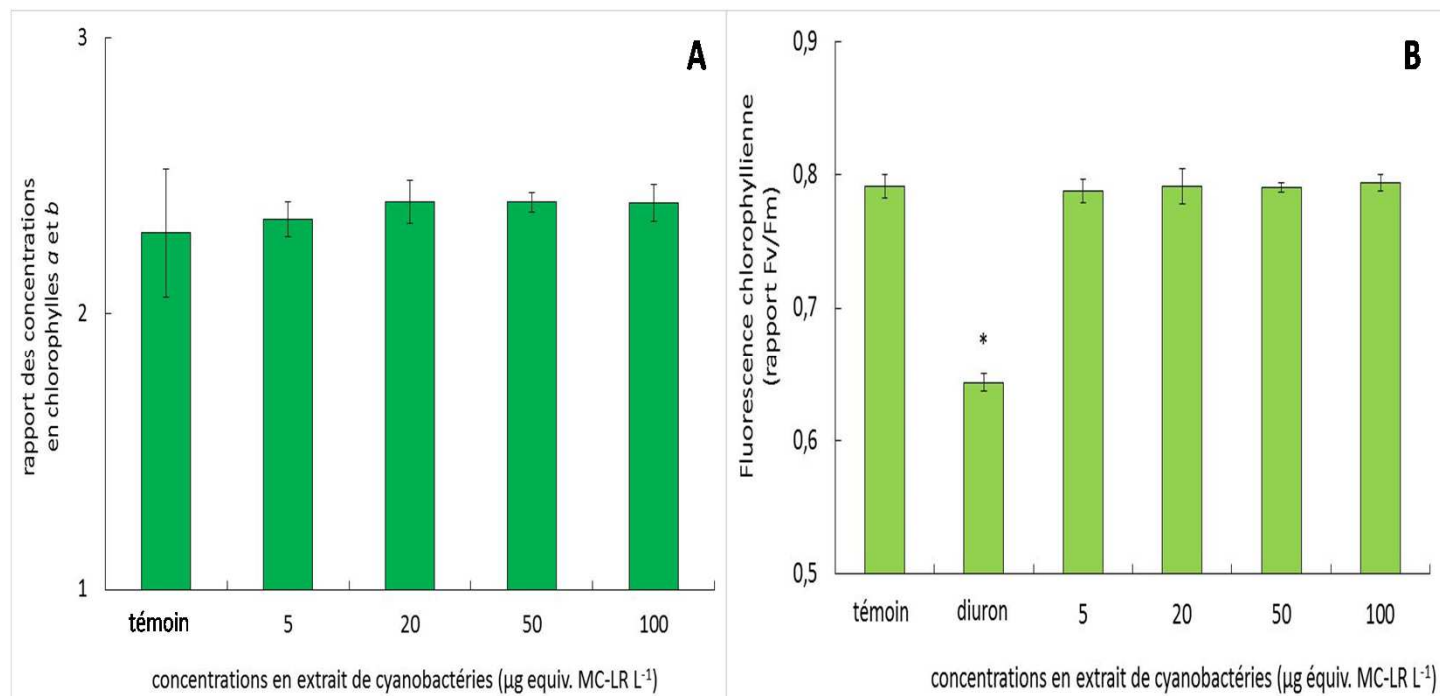


# Phénologie (sol, 90 jours)



- Effets non significatifs le développement de la plante
- Effets non significatifs sur le développement des fruits

# Chlorophylle / fluorescence (sol, 90 jours)



- Effets non significatifs sur le rapport chlorophylles a et b
- Effets non significatifs sur la fluorescence
- Pas d'effets sur les concentrations en acides gras foliaires (non montré)

# Conclusions

- Les cyanotoxines sont peu dégradées et persistent dans le sol ( $T_{1/2} > 56$  jours)
- Dans le sol (sableux), seule l'activité nitrifiante est modifiée, stimulée à de faibles concentrations
- Chez la plante :
  - In vitro, les effets sur la germination et la croissance dépendent de la variété considérée
  - Chez la tomate en sol, les cyanotoxines sont (faiblement) transférées dans les feuilles et les racines
  - La croissance est modifiée, mais pas les paramètres phénologiques ni physiologiques
- Le risque sanitaire lié à l'arrosage de la tomate par une eau contaminée est faible !
- Quel impact sur les invertébrés du sol ?



**Merci pour votre attention !**



INRAE

## Pour en savoir plus

- Corbel S., Mougin C., Bouaïcha N. 2014. Cyanobacterial toxins: modes of actions, fate in aquatic and soil ecosystems, phytotoxicity and bioaccumulation in agricultural crops - a review. *Chemosphere* 96:1-15. **(Synthèse bibliographique)**. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.07.056 - [hal-01687895](#)
- Corbel S., Bouaïcha N., Mougin C. 2014. Dynamics of the toxic cyanobacterial microcystin-leucine-arginine peptide in agricultural soil. *Env. Chem Letters* 12:535–541. DOI: 10.1007/s10311-014-0482-2 - [hal-01693174](#)
- Corbel S., Mougin C., Martin-Laurent F., Crouzet O., Bru D., Nélieu S., Bouaïcha N. 2015. Evaluation of phytotoxicity and ecotoxicity potentials of a cyanobacterial extract containing microcystins under realistic environmental concentrations and in a soil-plant system. *Chemosphere* 128:332-340. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.02.008 - [hal-01535215](#)
- Corbel S., Bouaïcha N., Nélieu S., Mougin C. 2015. Soil irrigation with water and toxic cyanobacteria microcystins accelerates tomato development. *Env. Chem. Letters* 13:447–452. DOI: 10.1007/s10311-015-0518-2 - [hal-01628853](#)
- Corbel S., Bouaïcha N., Martin-Laurent F., Crouzet O., Mougin C. 2015. Soil irrigation with toxic cyanobacteria microcystins increases soil nitrification potential. *Env. Chem. Letters* 13:459-463. DOI: 10.1007/s10311-015-0520-8 - [hal-01628854](#)
- Corbel S., Mougin C., Nélieu S., Delarue G., Bouaïcha N. 2016. Evaluation of the transfer and the accumulation of microcystins in tomato (*Solanum lycopersicum* cultivar MicroTom) tissues by using a cyanobacterial extract containing microcystins and the radiolabeled microcystin-LR (<sup>14</sup>C-MC-LR). *Sci. Total. Environ.* 541:1052-1058. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.10.004 - [hal-01532509](#)

