

EVÈNEMENT DE CLÔTURE DU PROJET MICROSOILSYSTEM 28/02/2024

# PROJET SIDEROPHOSPHOR

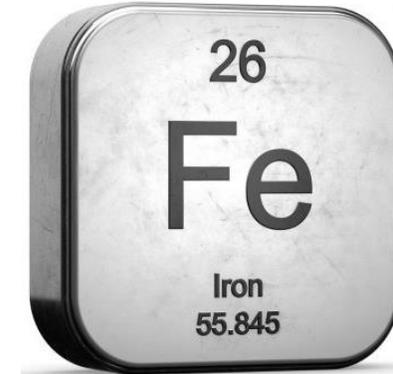
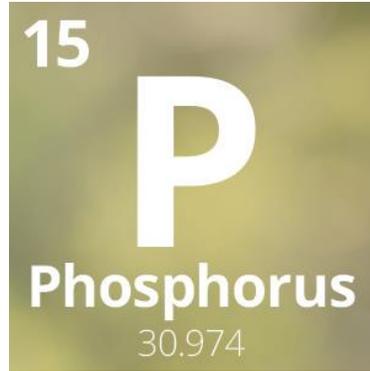
Effet des pyoverdines produites par les bactéries  
Pseudomonas sur la solubilisation du phosphore

Félicie GOUDOT

Promoteurs : Jean-Thomas CORNELIS, Philippe JACQUES, Ali SIAH

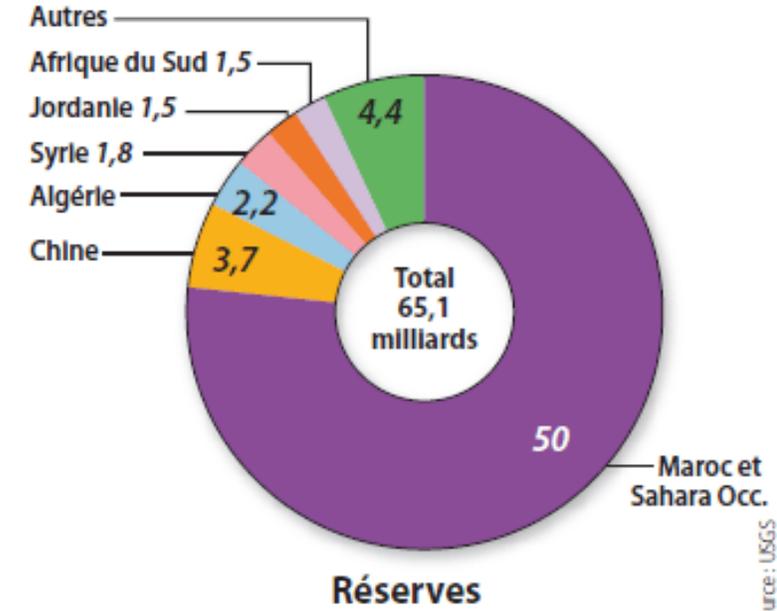
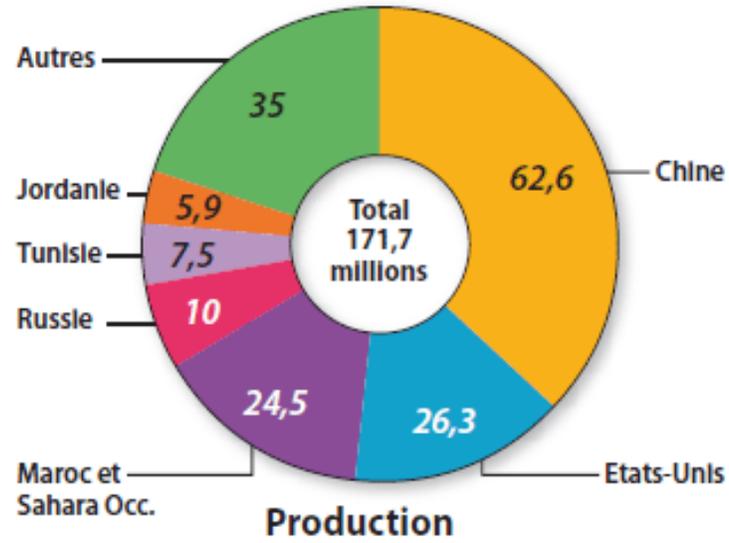


# - LE PHOSPHORE ET LE FER -

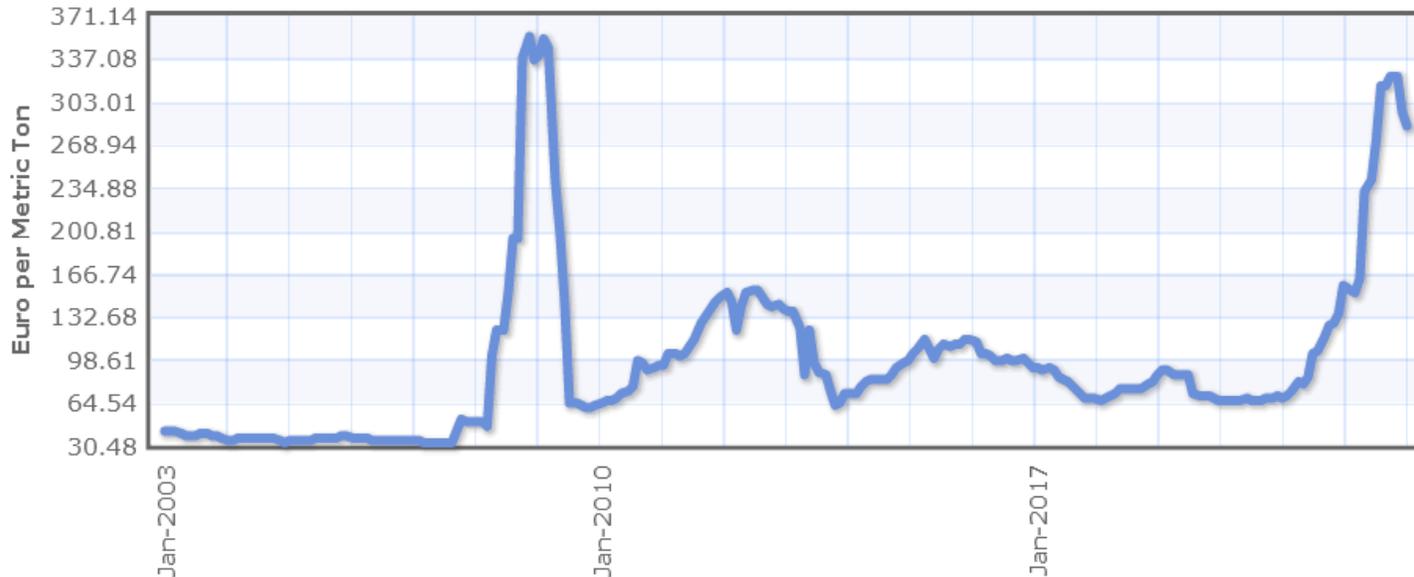


2 nutriments essentiels à la photosynthèse  
(ATP, ADN, ferrédoxine)

# - LES ENGRAIS PHOSPHATÉS -



Source : USGS



→ Prix volatil et élevé

# - LE PHOSPHORE ET LE FER DANS LES SOLS -





Les coupables ??



Les coupables ??

→ Les oxydes de fer

## - LES OXYDES DE FER -



Au pH communément trouvé dans les sols le **fer soluble précipite en oxydes de fer**

**Présents dans TOUS les sols**

**Quasiment insolubles**

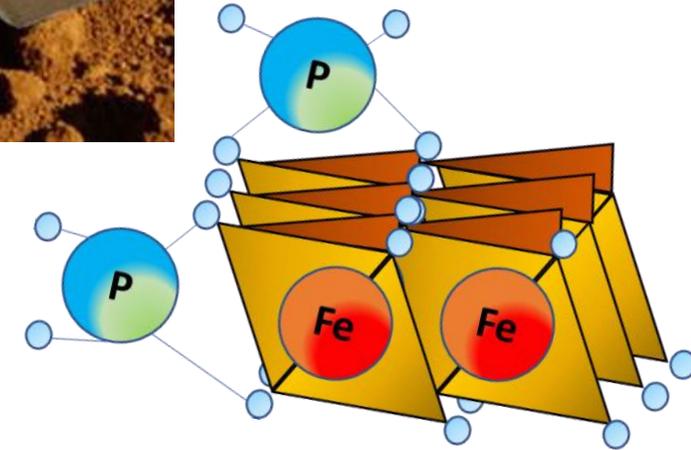
**Réagissent fortement avec les phosphates**

**De véritables pièges à phosphates**

## - LES OXYDES DE FER -



**P à la surface ou au sein des oxydes =  
25% phosphore indisponible**



Comment **mobiliser** cette **réserve** de Phosphore ?

Les **micro-organismes**, une solution biotechnologique ?

## - LES PSEUDOMONAS FLUORESCENTS -

→ Bactéries à haut potentiel agronomique

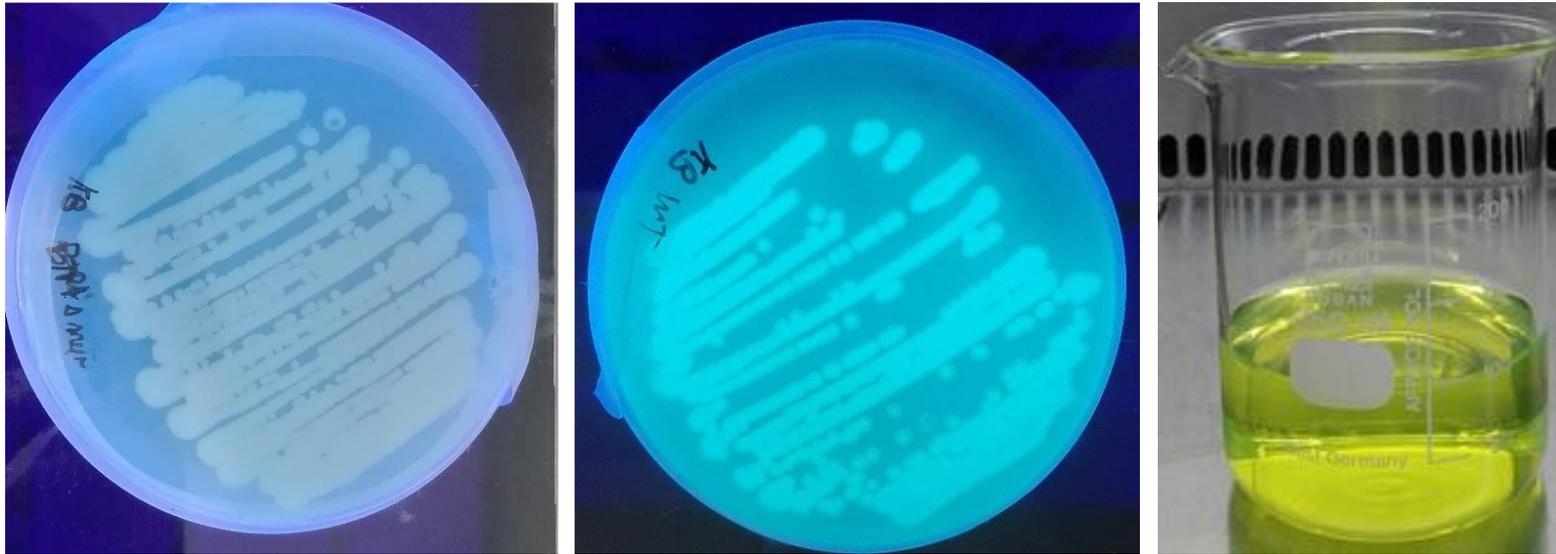


- Présentes dans la plupart des **sols**
- **Colonisent** facilement les **racines** des plantes
- **Production** de **nombreuses molécules d'intérêts** (antibiotiques)
- Stimulation des **défenses** de la plante
- Promotion de la **croissance** de la plante

(Whitelaw, 1999; Khan et al., 2007)

→ Produisent une molécule jaune et fluorescente = la **pyoverdine**

# - LES PSEUDOMONAS FLUORESCENTS -



Pseudomonas  
+ milieu riche en fer =  
**pas de pyoverdine**

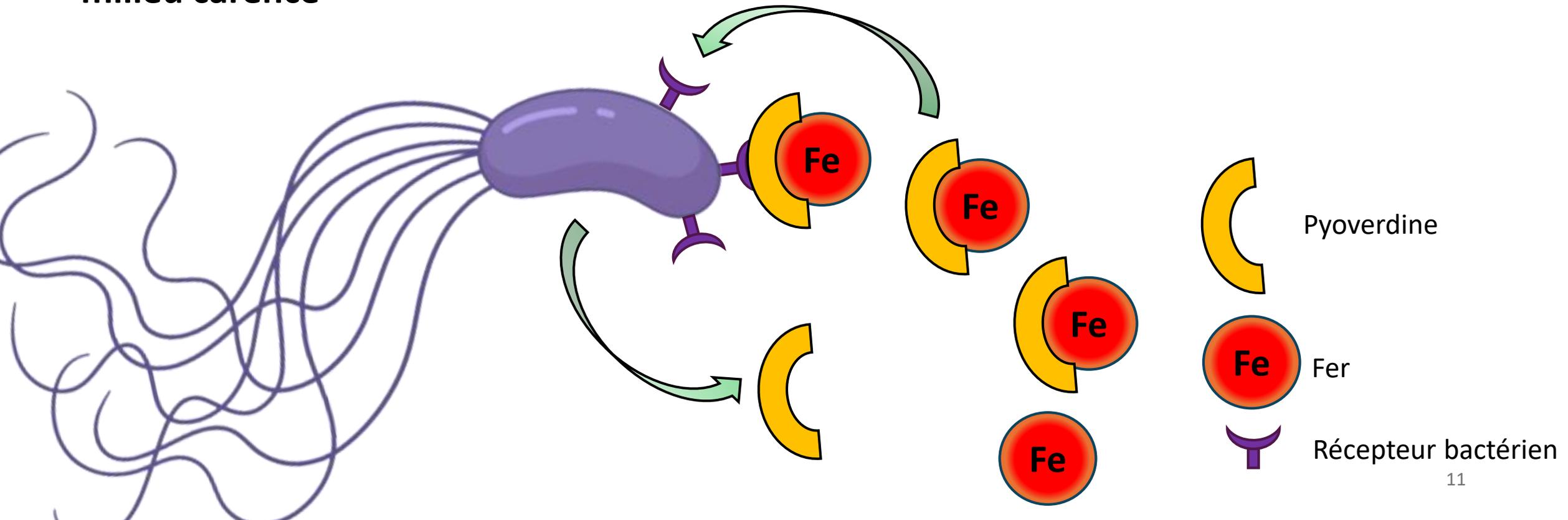
Pseudomonas  
+ milieu pauvre en fer =  
**pyoverdine**

**La pyoverdine**  
= molécule **jaune** et  
**fluorescente** produite en  
cas de **carence en fer**

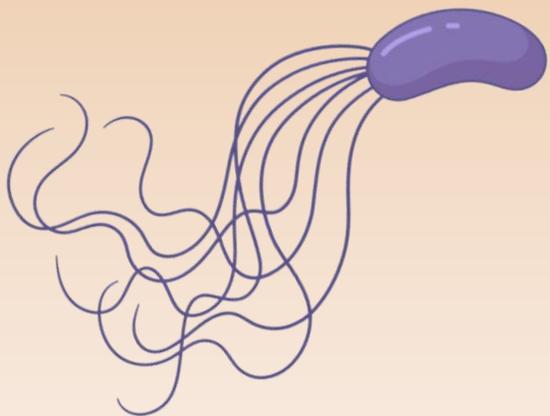
## - LA PYOVERDINE UN SIDÉROPHORE TRÈS PUISSANT -

La pyoverdine est un **sidérophore**

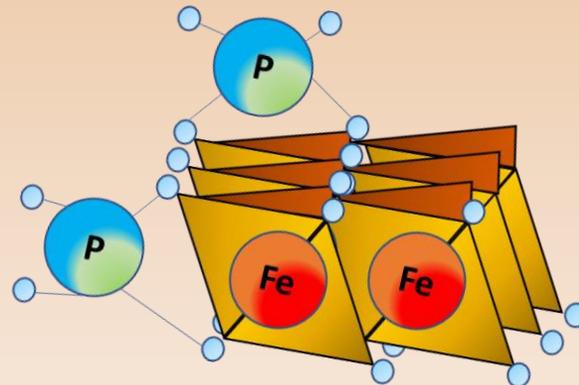
- **Système d'acquisition du fer très efficace**
- **Petite molécule** avec une **forte affinité** pour le **fer**
- Forme des **complexes** avec le fer
- Permet à la bactérie **d'internaliser** le **fer** nécessaire à son fonctionnement en **milieu carencé**



# - LA PYOVERDINE UN SIDÉROPHORE TRÈS PUISSANT -



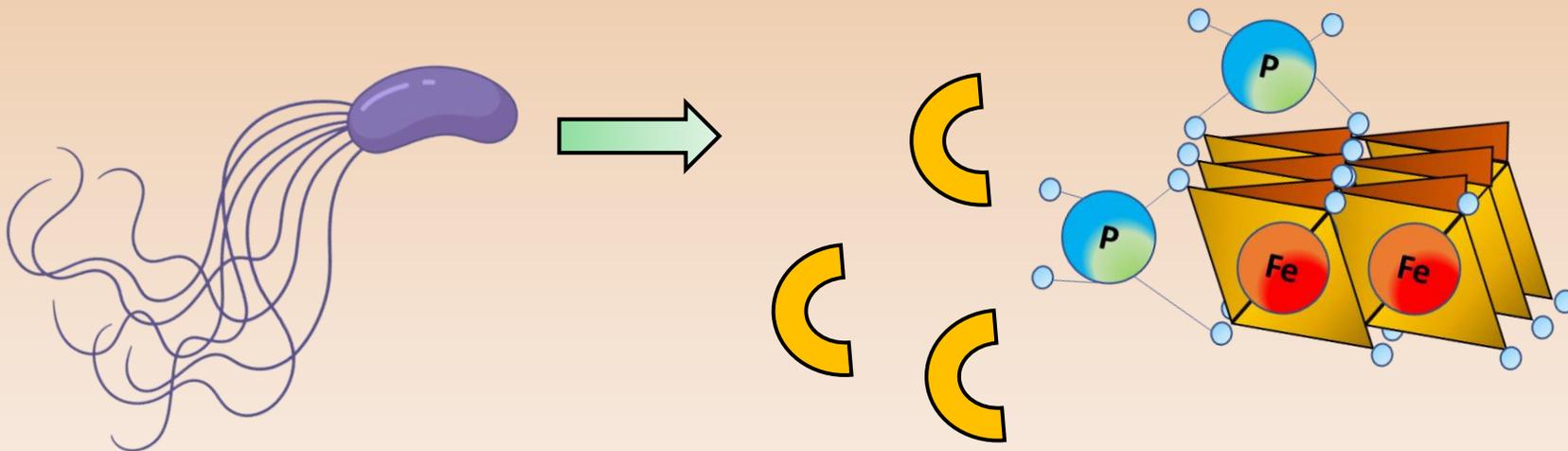
Oxydes de fer très peu solubles



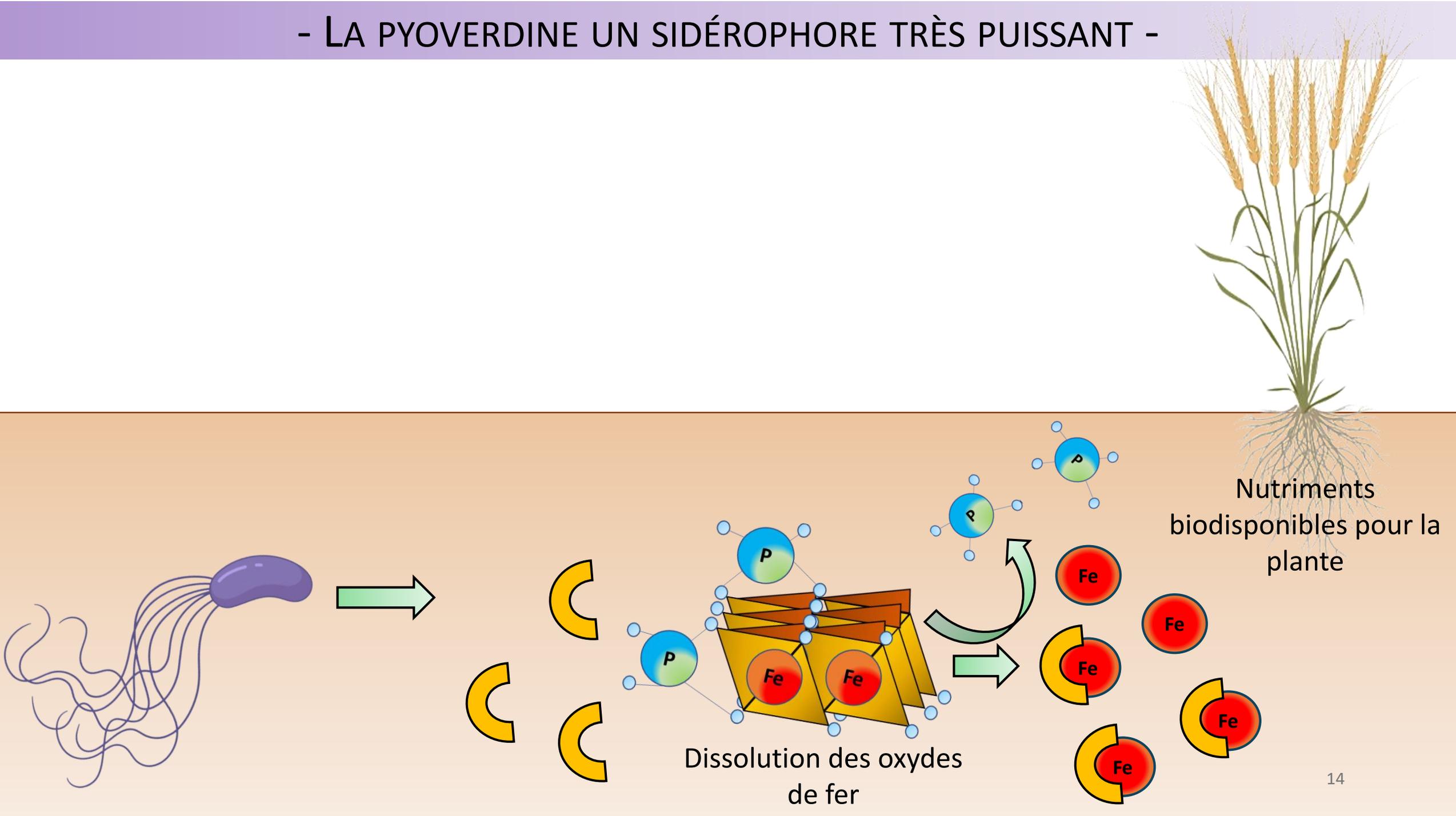
Peu de nutriments biodisponibles pour la plante



# - LA PYOVERDINE UN SIDÉROPHORE TRÈS PUISSANT -



# - LA PYOVERDINE UN SIDÉROPHORE TRÈS PUISSANT -

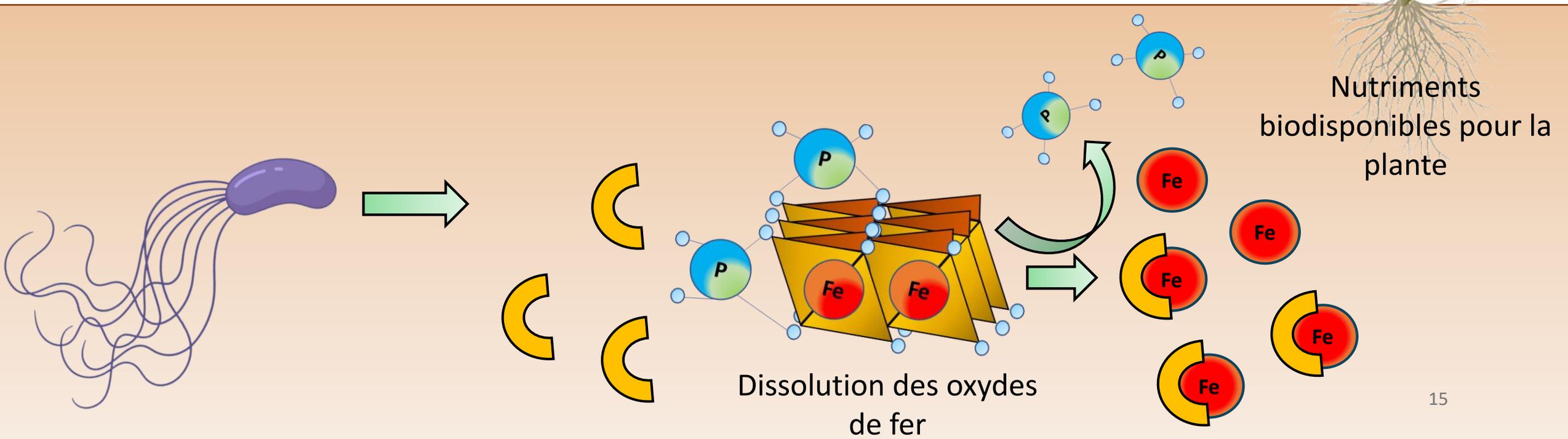
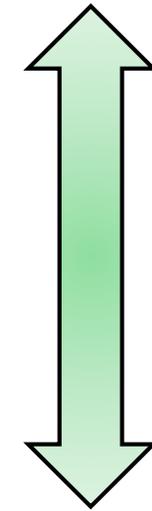


# - LA PYOVERDINE UN SIDÉROPHORE TRÈS PUISSANT -

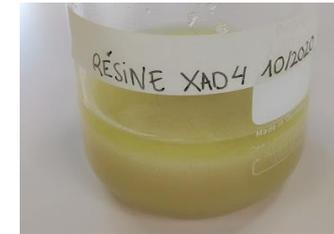
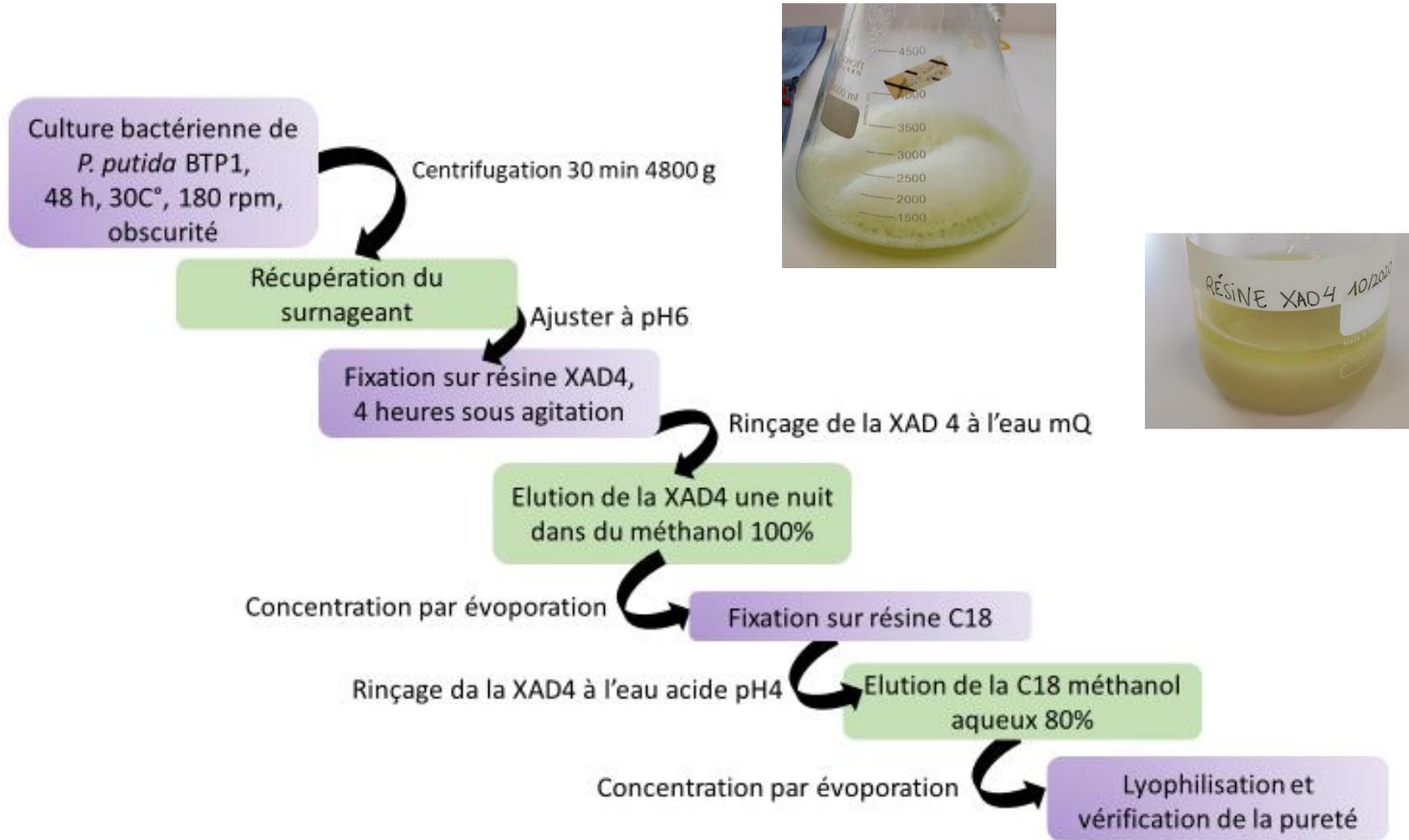
→ La pyoverdine capable de solubiliser le fer et le phosphore des oxydes ?

→ D'améliorer la nutrition des plantes ?

Biostimulation



# - PRODUCTION ET PURIFICATION DE LA PYOVERDINE DE *PSEUDOMONAS PUTIDA* BTP1 -



## Protocole :



Oxydes de fer  
phosphore  
adsorbé

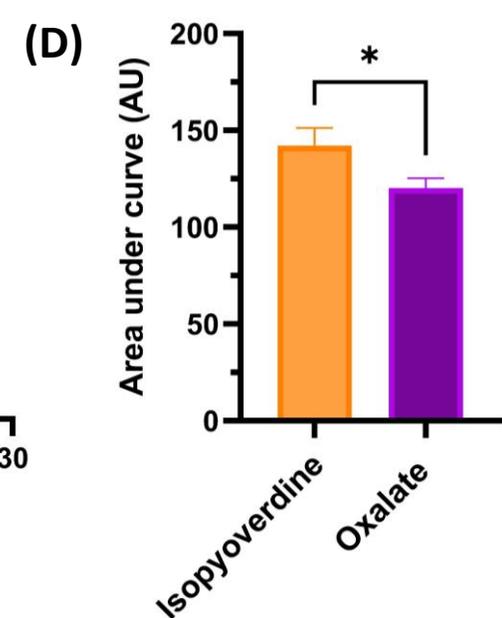
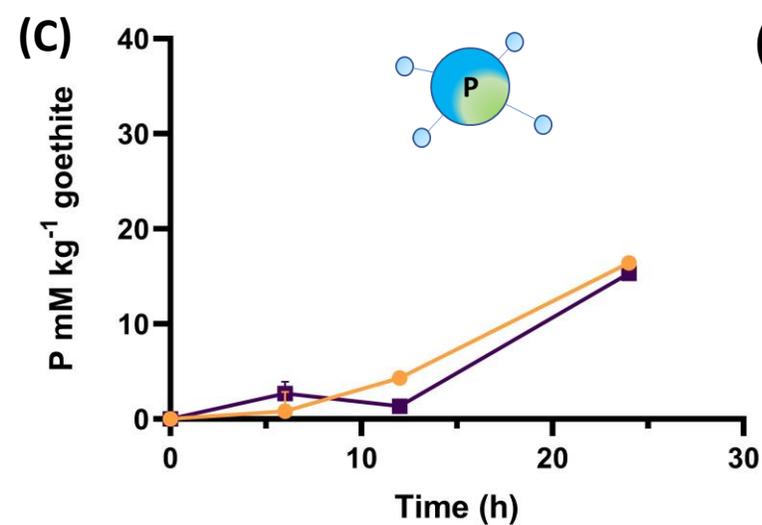
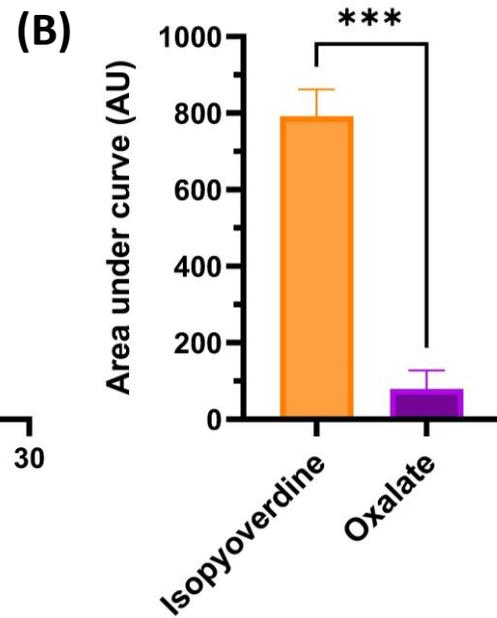
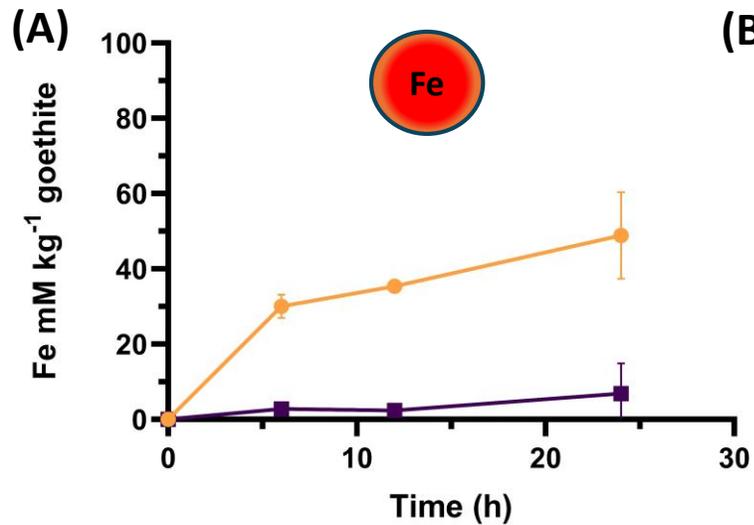
+ pyoverdine  
ou oxalate  
ou eau

Incubation à l'obscurité :  
6h, 12h, 24h,  
at 150 rpm, 20C°

Fe et P dissous  
→ ICP-OES

# - SOLUBILISATION DU FER ET DU PHOSPHORE DES OXYDES DE FER PAR LA PYOVERDINE -

—●— Isopyoverdine 0.5 mM    —■— Oxalate 0.5 mM



- A 24h, **7 fois plus de Fe** a été libéré dans la modalité avec sidérophore
  - **Même quantité de P** dissous avec l'oxalate et la pyoverdine

## Echantillons de **sols agricoles** de l'**essai centenaire** de **Gblx AgroBio-Tech**

Mis en place en **1896** par Schreiber et Journée

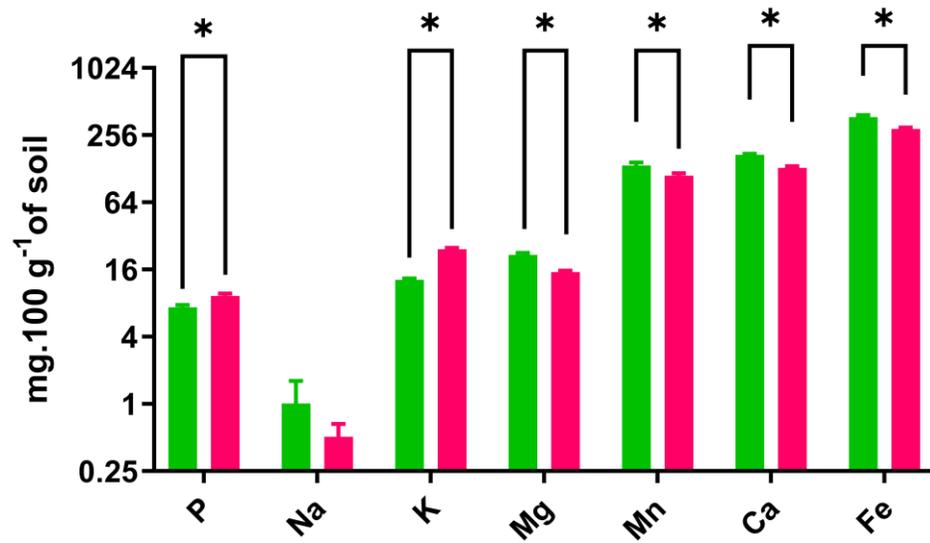


### 2 types de sol :

- **Sol NF** = aucune fertilisation
- **Sol F** = fertilisation **NPK**

Ensemencés avec du **froment**

- CO-SOLUBILISATION DU FER ET DU PHOSPHORE DANS LES **SOLS** PAR LA PYOVERDINE -



	<b>SOL NF</b> (mg/100g de sol)	<b>SOL F</b> (mg/100g de sol)
<b>Fer biodisponible</b>	369.85	290.56
<b>P biodisponible</b>	7.32	9.28

# - CO-SOLUBILISATION DU FER ET DU PHOSPHORE DANS LES SOLS PAR LA PYOVERDINE -

## Protocole :



Echantillons de  
sol



+ pyoverdine  
ou oxalate  
ou eau



Incubation à l'obscurité :  
6h, 12h, 24h,  
à 150 rpm, 20°C°

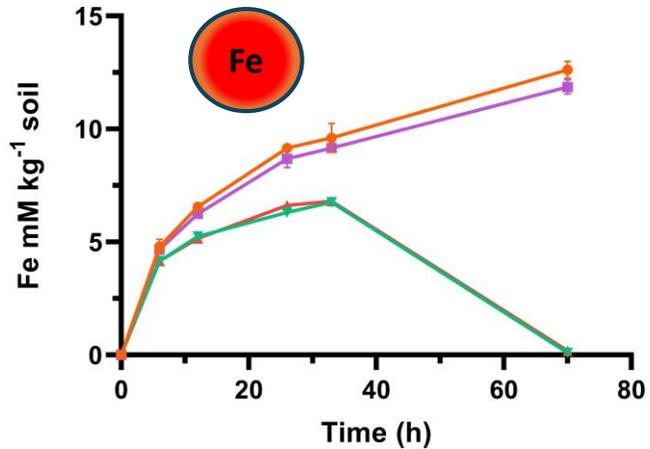


Fe et P dissous  
→ ICP-OES

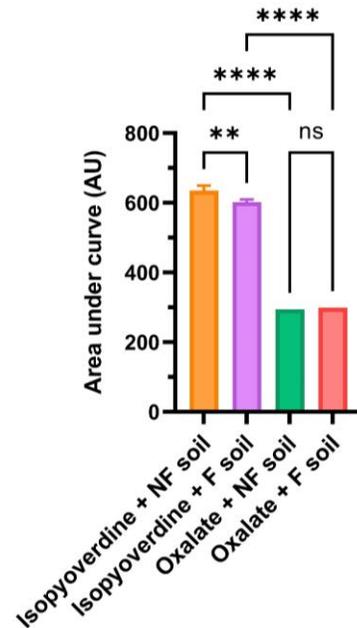
# - CO-SOLUBILISATION DU FER ET DU PHOSPHORE DANS LES SOLS PAR LA PYOVERDINE -

— Isopyoverdine 0.1 mM + NF soil — Isopyoverdine 0.1 mM + F soil — Oxalate 3 mM + NF soil — Oxalate 3 mM + F soil

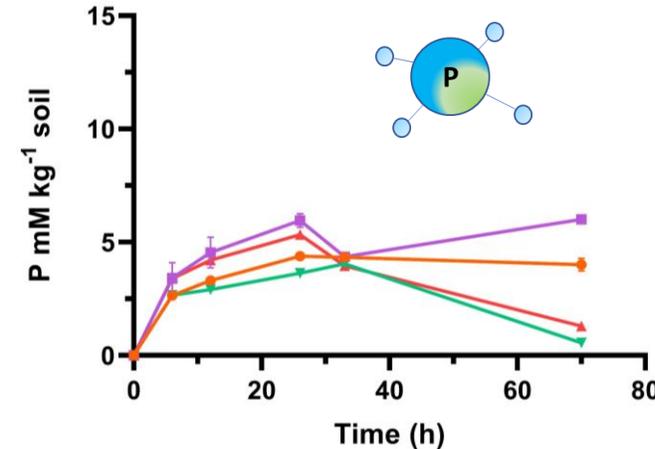
(A)



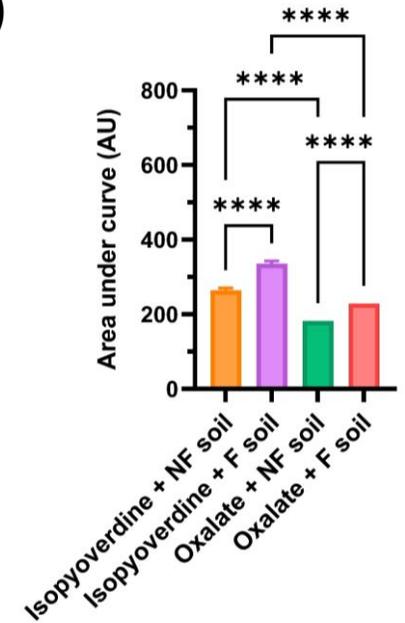
(B)



(C)



(D)

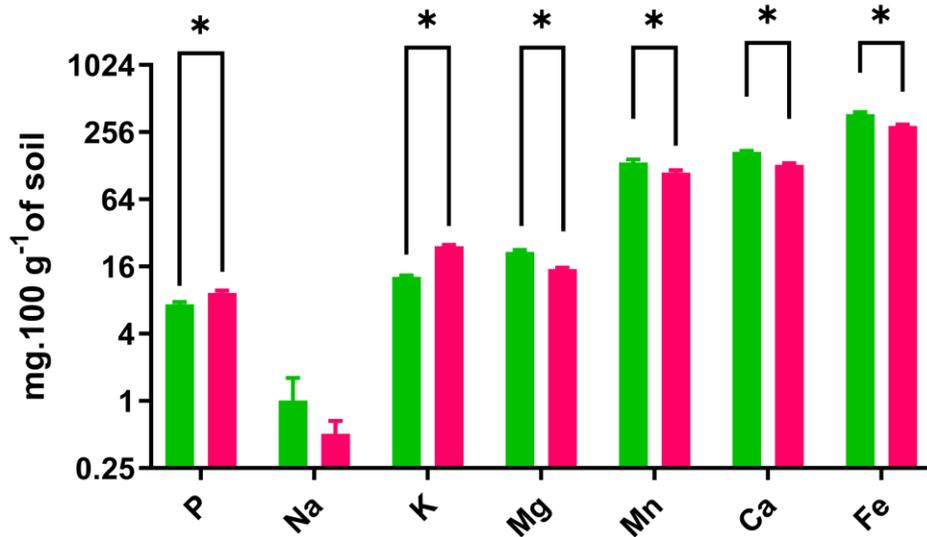


**La pyoverdine plus efficace que l'oxalate :**

- **2 fois** plus élevée pour la dissolution du **Fe**
- **1,4 fois** plus élevée pour la dissolution du **P**

Malgré une concentration en sidérophore **30 fois inférieure** que la solution d'oxalate

- CO-SOLUBILISATION DU FER ET DU PHOSPHORE DANS LES SOLS PAR LA PYOVERDINE -



	SOL NF (mg/100g de sol)	SOL F (mg/100g de sol)
Fer dissous sol NF + isopyoverdine	70.4	60.4
Fer biodisponible	369.85	290.56
P dissous sol F + isopyoverdine	13.6	18.3
P biodisponible	7.32	9.28

Application de pyoverdine =

- **Augmentation** d'environ **20 %** du **Fe biodisponible**
- **Augmentation** de **100 %** de la **proportion** de **P biodisponible**

Et sur la plante, quel est l'effet de la molécule ?

# — EFFET DE LA PYOVERDINE SUR LA NUTRITION ET LA SANTÉ DU BLÉ —

CONCENTRATION : ISOPYOVERDINE À 8,0 MICROMOL/L GOETHITE À 0,4 G/L

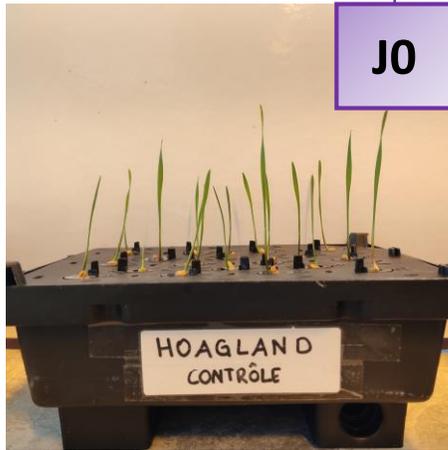
PRÉGERMINATION

J-6



1<sup>ER</sup> APPORT  
ISOPYOVERDINE

J0



2<sup>EME</sup> APPORT ISOPYOVERDINE

J7



3<sup>EME</sup> APPORT ISOPYOVERDINE

J14



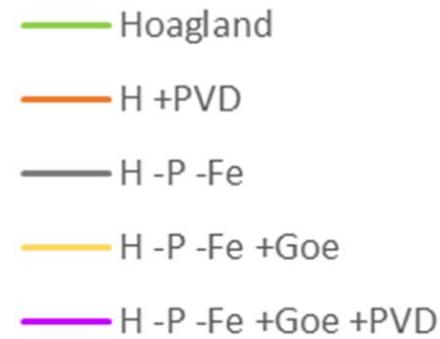
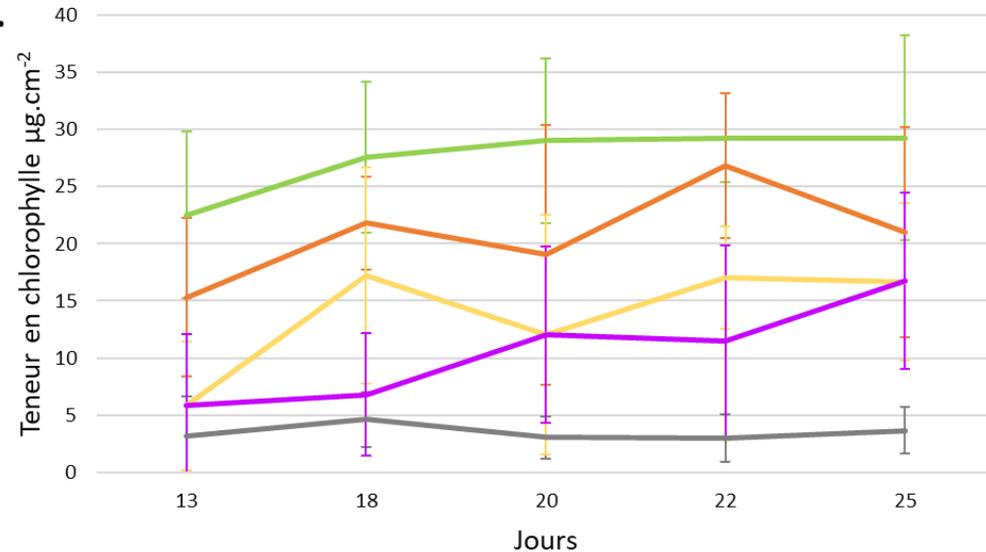
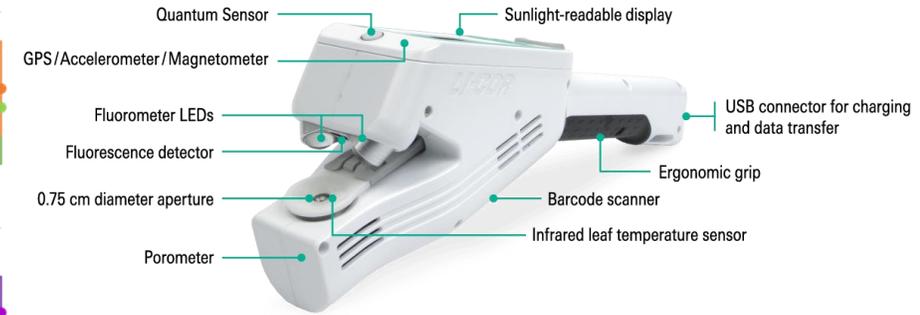
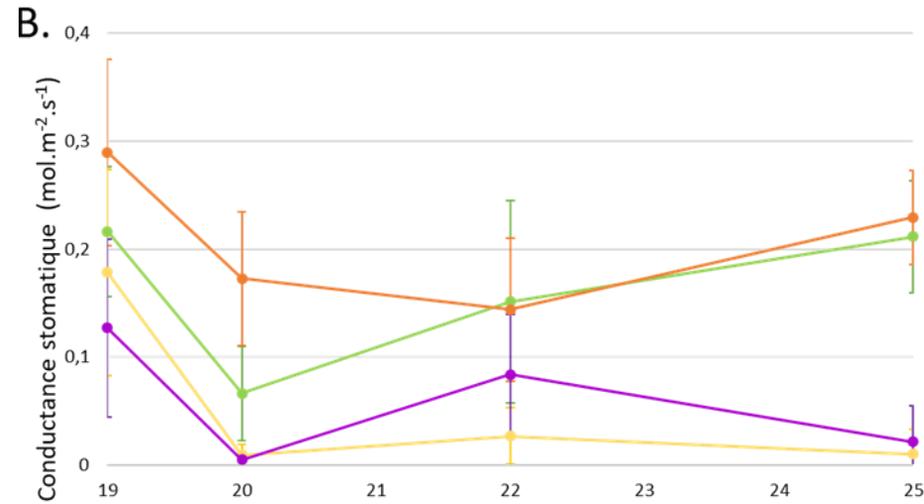
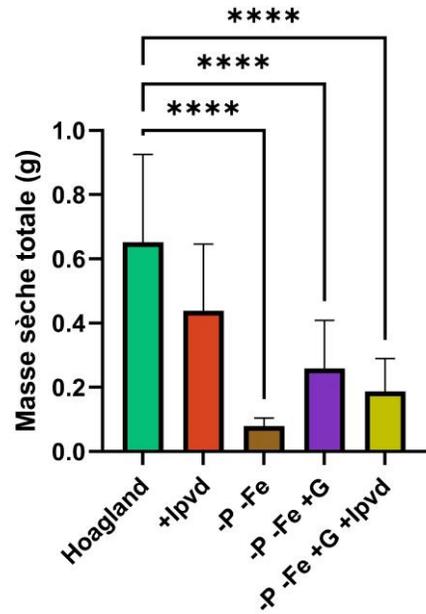
TAILLE  
BIOMASSE

FIN

J25



# – EFFET DE LA PYOVERDINE SUR LA NUTRITION ET LA SANTÉ DU BLÉ –



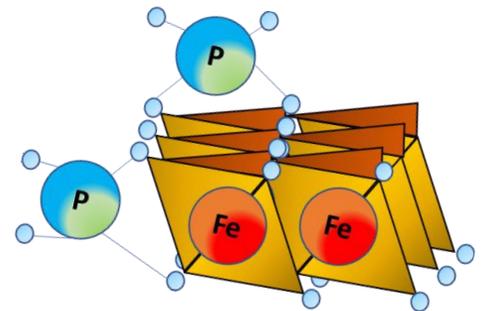
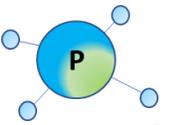
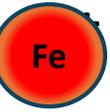
## - CONCLUSION -

### Résultats

- *In vitro*, la pyoverdine est capable de **libérer du fer** et du **phosphore** provenant d'**oxydes** de fer ou directement de particules du **sol**
- Augmentation de la **biodisponibilité** en **Fe** et **P** considérés comme **faiblement accessibles** par les **plantes**
- **Résultats innovants**, article rédigé, soumission à venir

### Perspectives

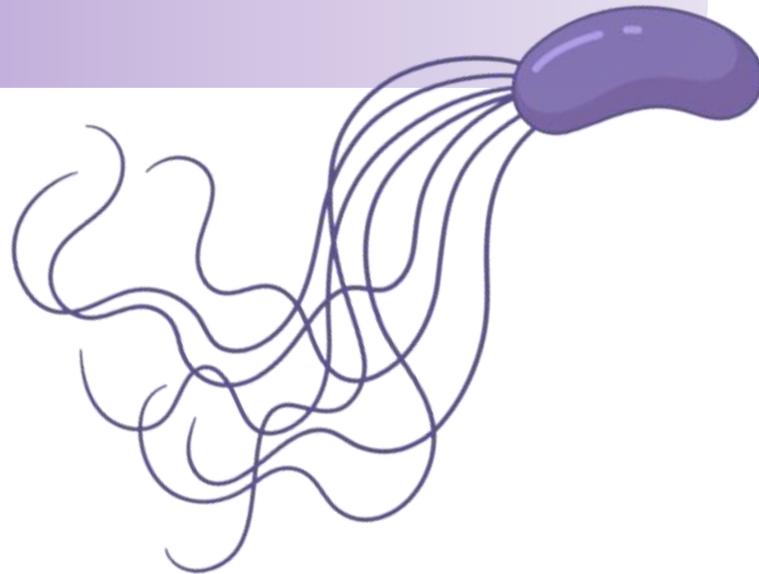
- Quel **impact** de la **pyoverdine** sur la **nutrition** et la **santé** du **blé** ?



# SIDEROPHOSPHOR - CLÔTURE DU PROJET MICROSOILSYSTEM 28/02/2024

**MERCI POUR VOTRE ATTENTION !**

**DES QUESTIONS ?**

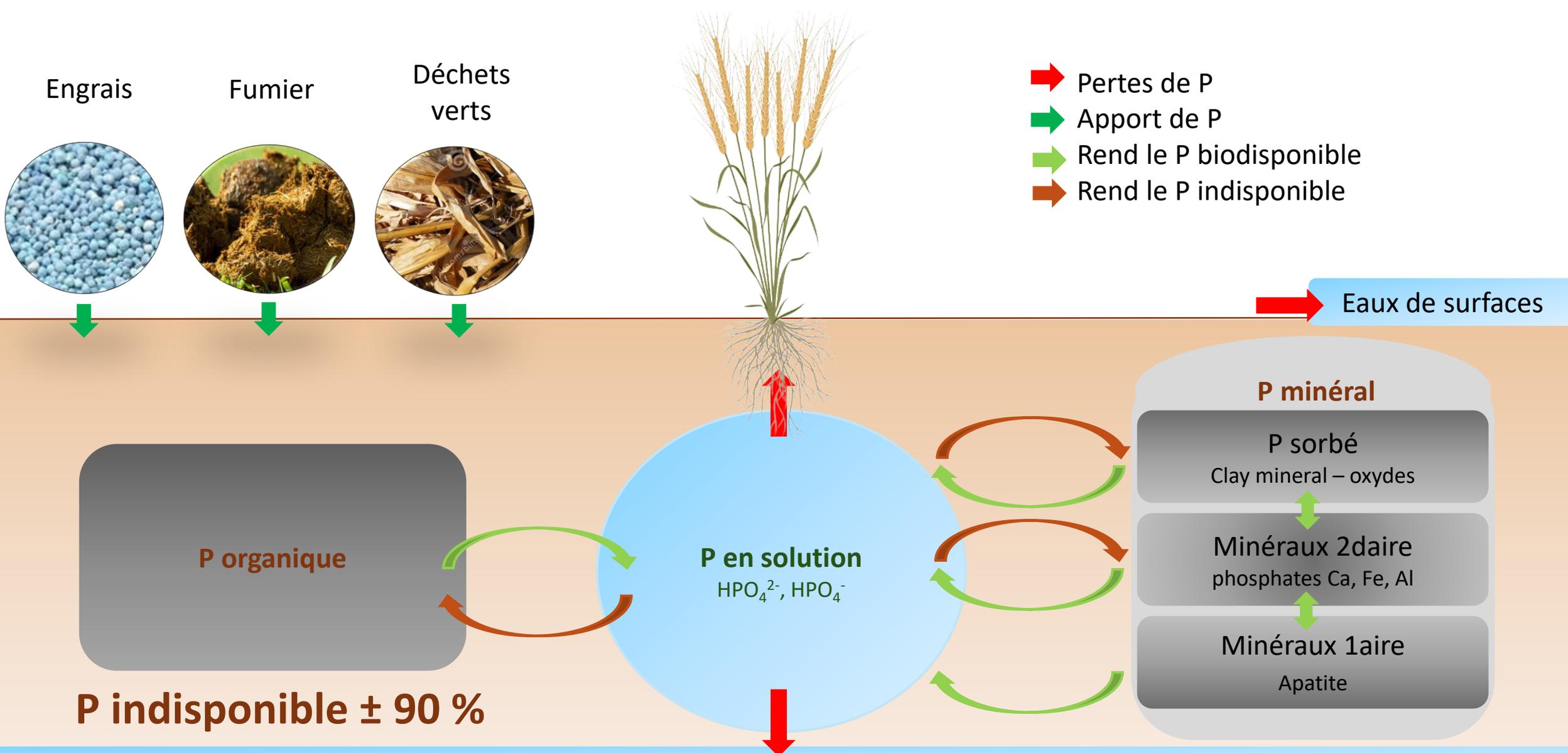


**CONTACT :**

Félicie GOUDOT

[felicie.goudot@junia.com](mailto:felicie.goudot@junia.com)

# - LE CYCLE DU PHOSPHORE -



Engrais

Fumier

Déchets  
verts

- ➔ Pertes de P
- ➔ Apport de P
- ➔ Rend le P biodisponible
- ➔ Rend le P indisponible

Eaux de surfaces

P organique

P en solution  
 $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{HPO}_4^-$

P minéral

P sorbé  
Clay mineral – oxydes

Minéraux 2daire  
phosphates Ca, Fe, Al

Minéraux 1aire  
Apatite

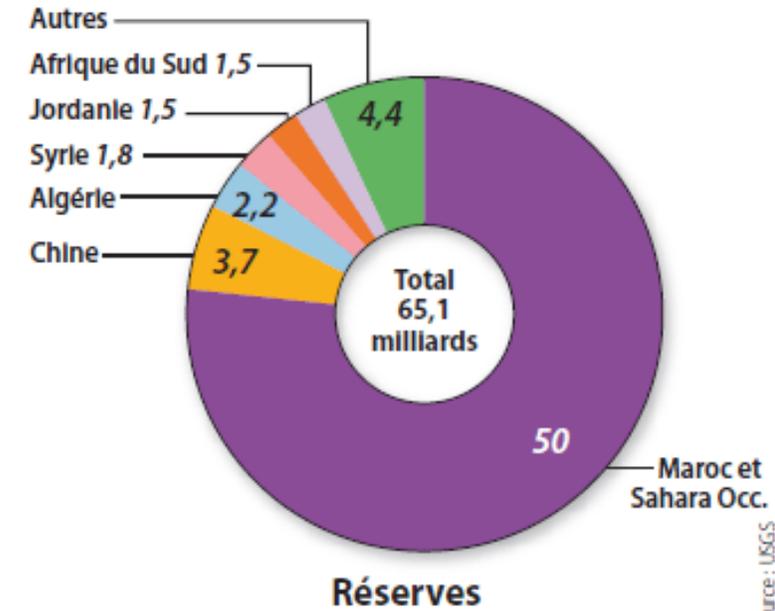
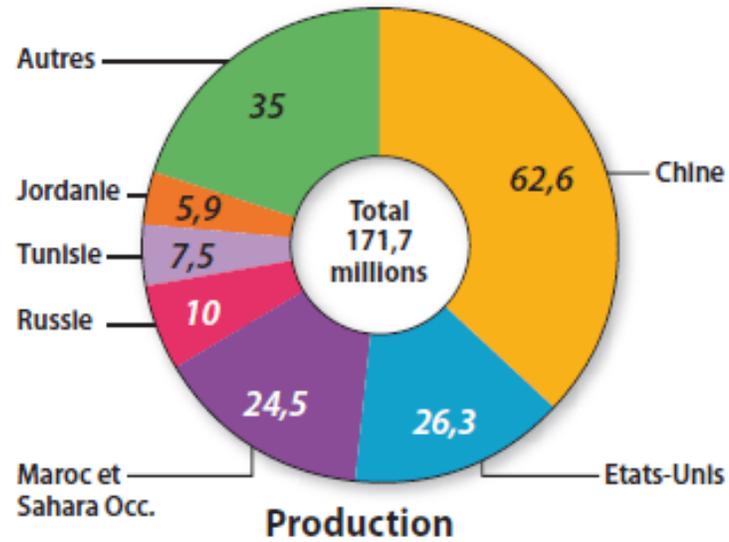
P indisponible ± 90 %

## - LES ENGRAIS PHOSPHATÉS -



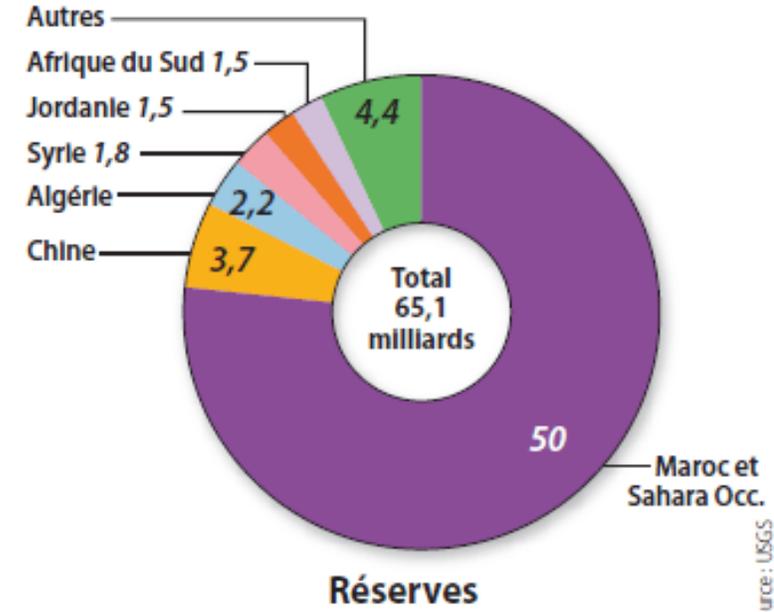
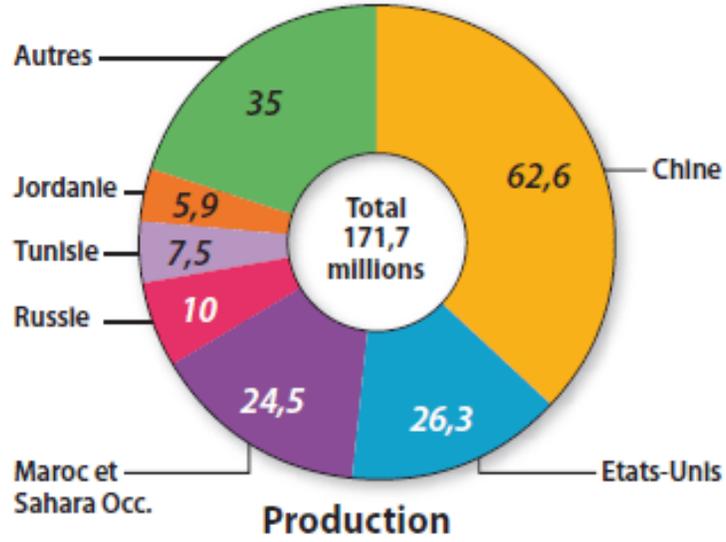
→ Issu des **roches phosphatées**

# - LES ENGRAIS PHOSPHATÉS -



→ Ressource **très** inégalement répartie  
→ Transformation **énergivore**

# - LES ENGRAIS PHOSPHATÉS -



Source : USGS

