

Nicolas Honvault  
Post Doc Unilasalle  
[nicolas.honvault@unilasalle.fr](mailto:nicolas.honvault@unilasalle.fr)  
En ligne, le 18/03/2021

Directeurs:  
Faucon Michel-Pierre  
Houben David

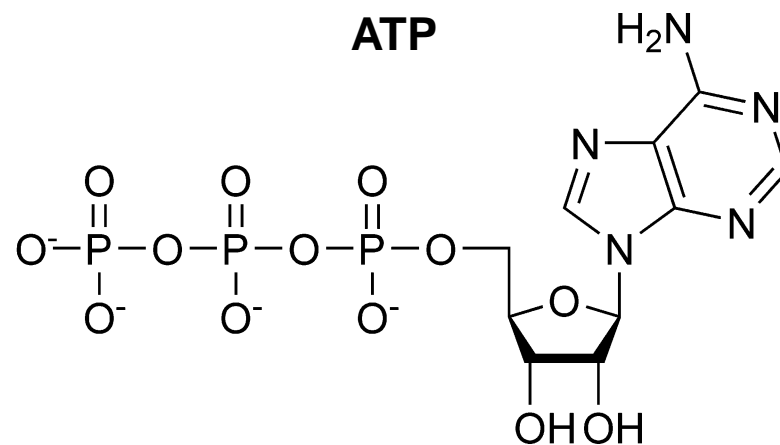


# Rôle des stratégies des plantes d'interculture dans la disponibilité du phosphore au sein des agrosystèmes



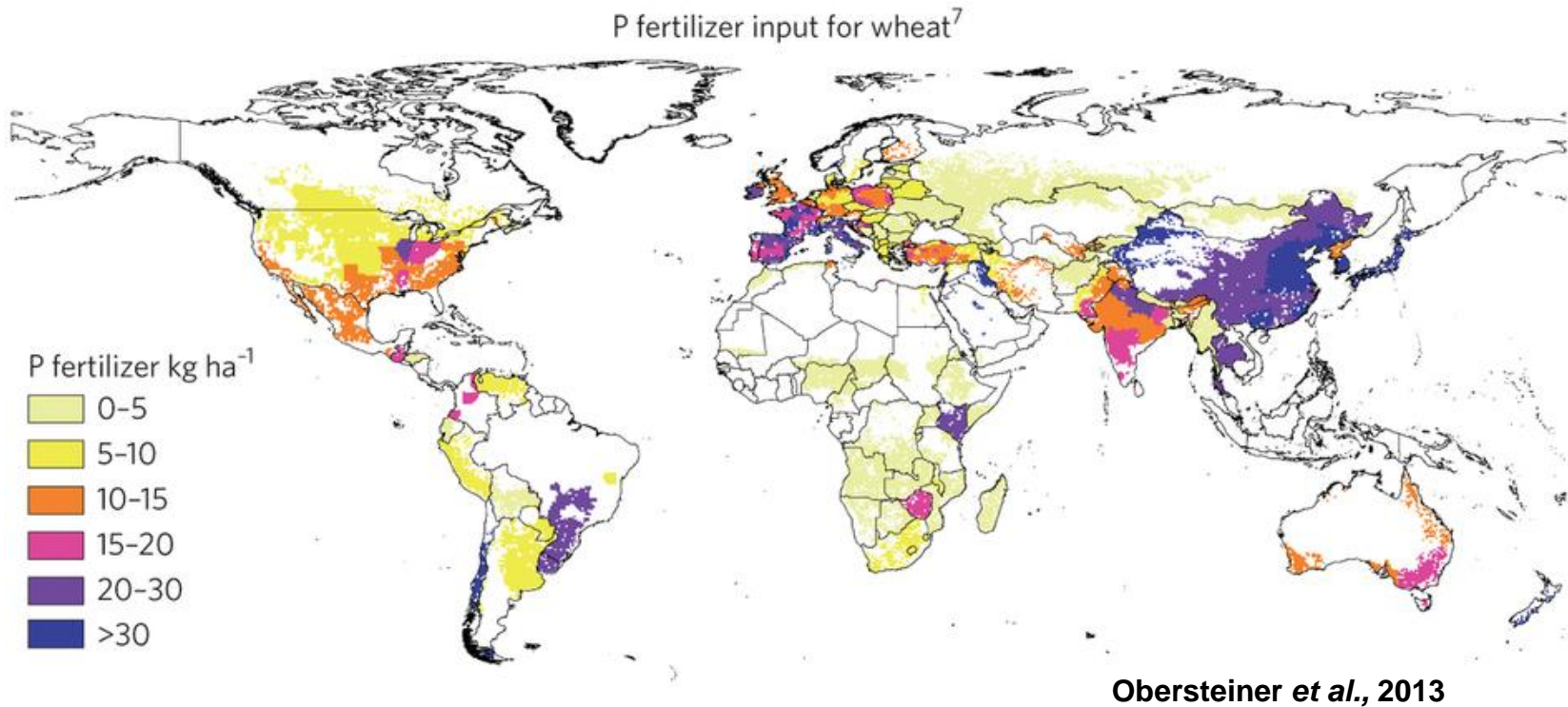
# Le phosphore: Un élément clef

Impliqué dans la production d'énergie, l'ADN, les membranes....



**Limitant dans 70 %  
des sols**

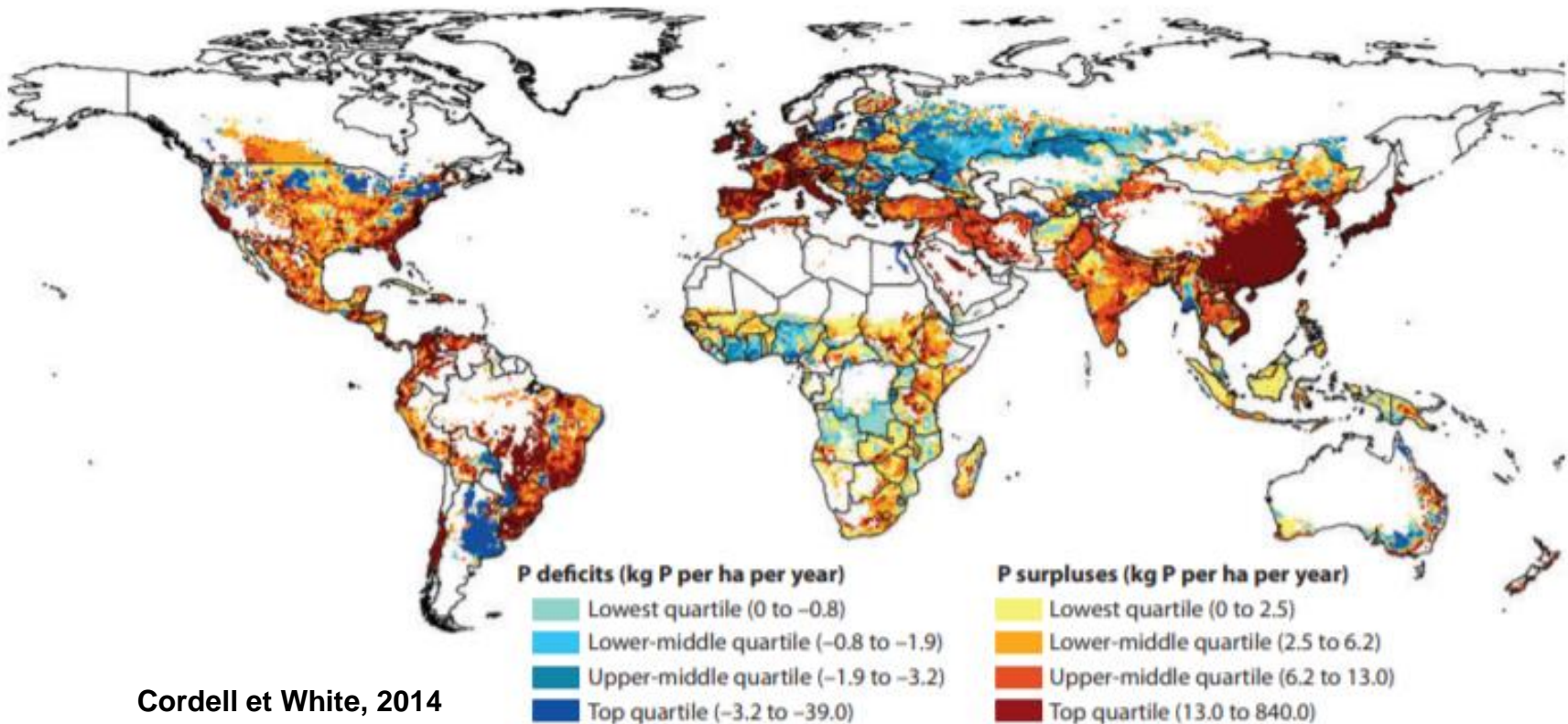
# Surmonter les carences en phosphore



- Pour faire face aux carences en phosphore des engrais minéraux sont apportés :**
- Une ressource non renouvelable et en déclin
  - Avec des impacts environnementaux parfois importants

# Le défi phosphore : Utilisation efficace

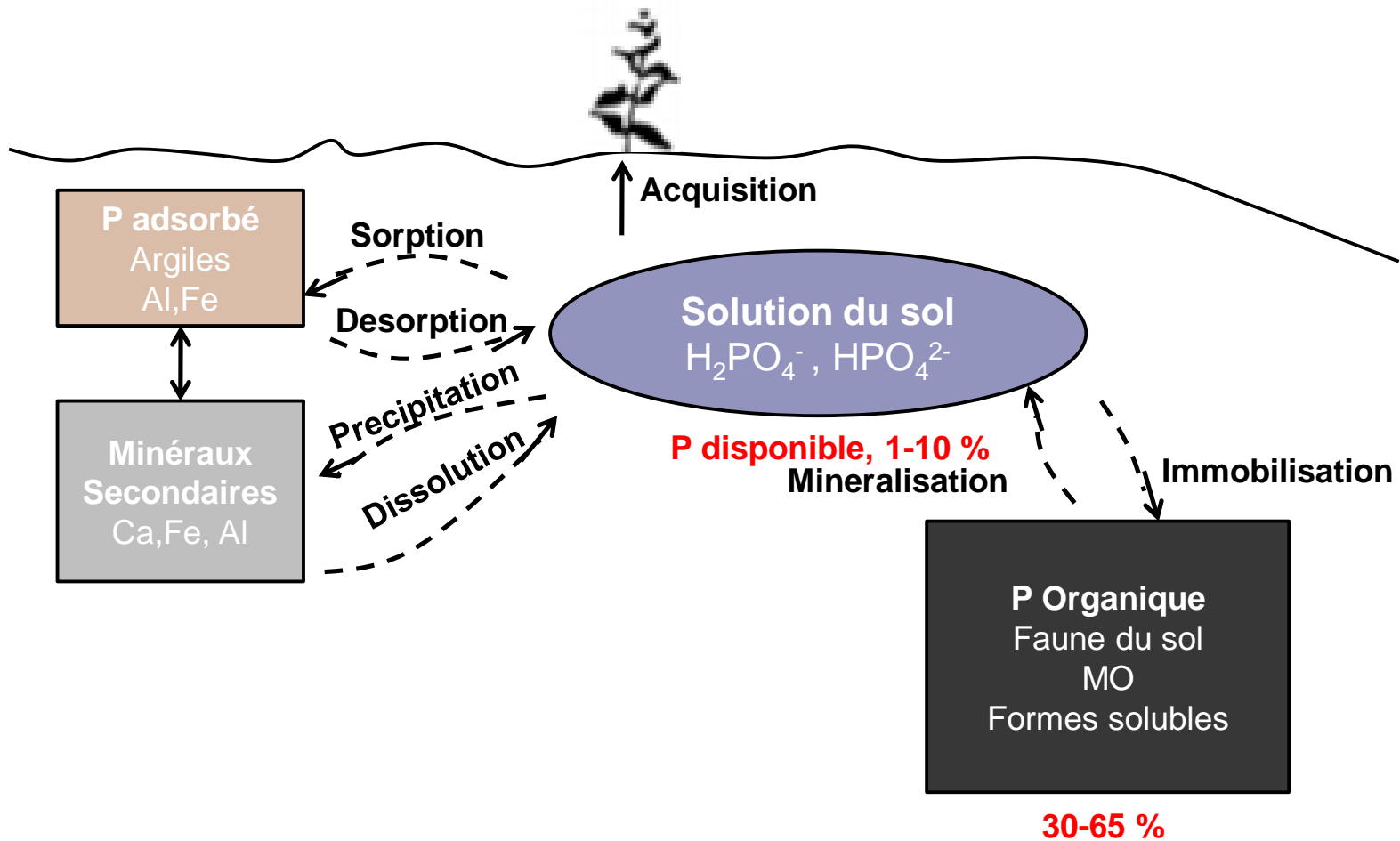
**Efficacité d'utilisation faible, menant à l'accumulation dans les sols**



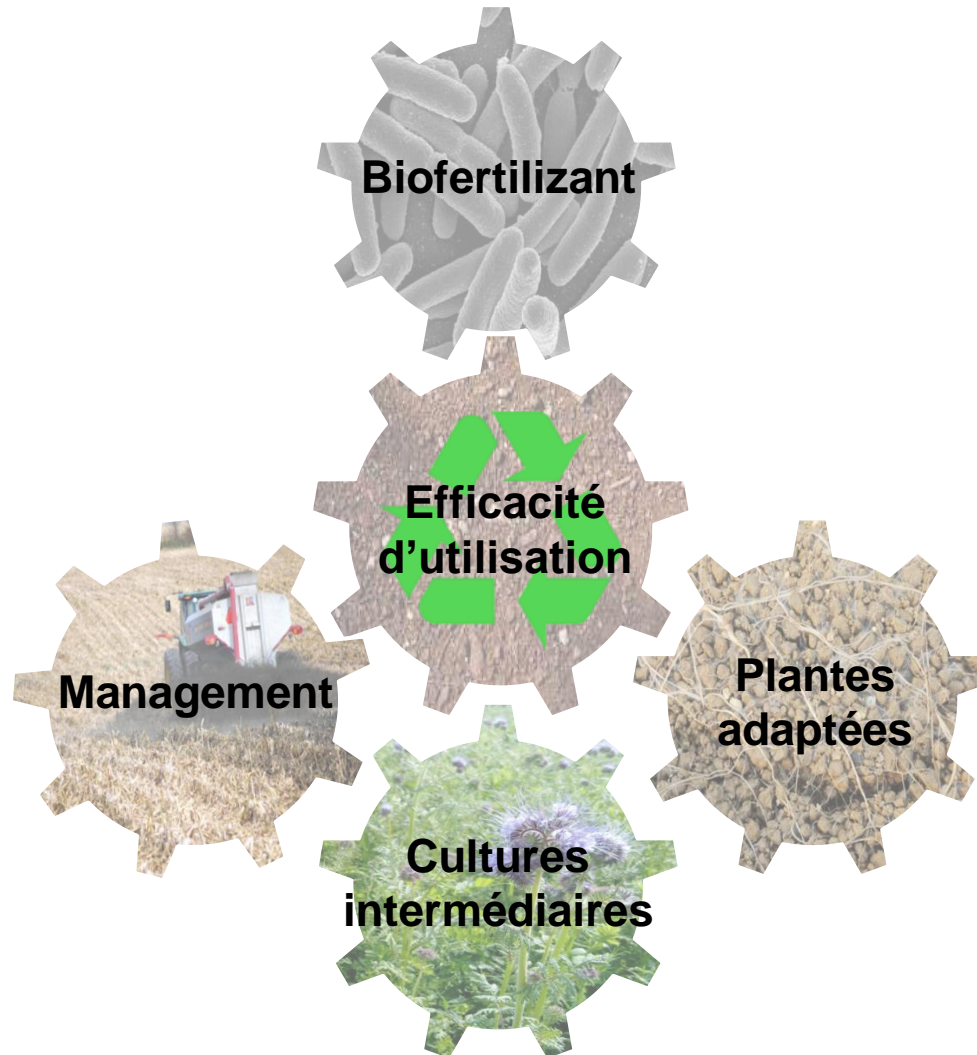
**En 2000, sur 21 Mt P appliquées aux sols cultivés, 9 Mt accumulées dans les sols (Bouwman *et al.*, 2009)**

# Disponibilité du phosphore dans les sols

Très réactif dans les sols, menant à une faible disponibilité



# Stratégies pour augmenter l'efficacité d'utilisation

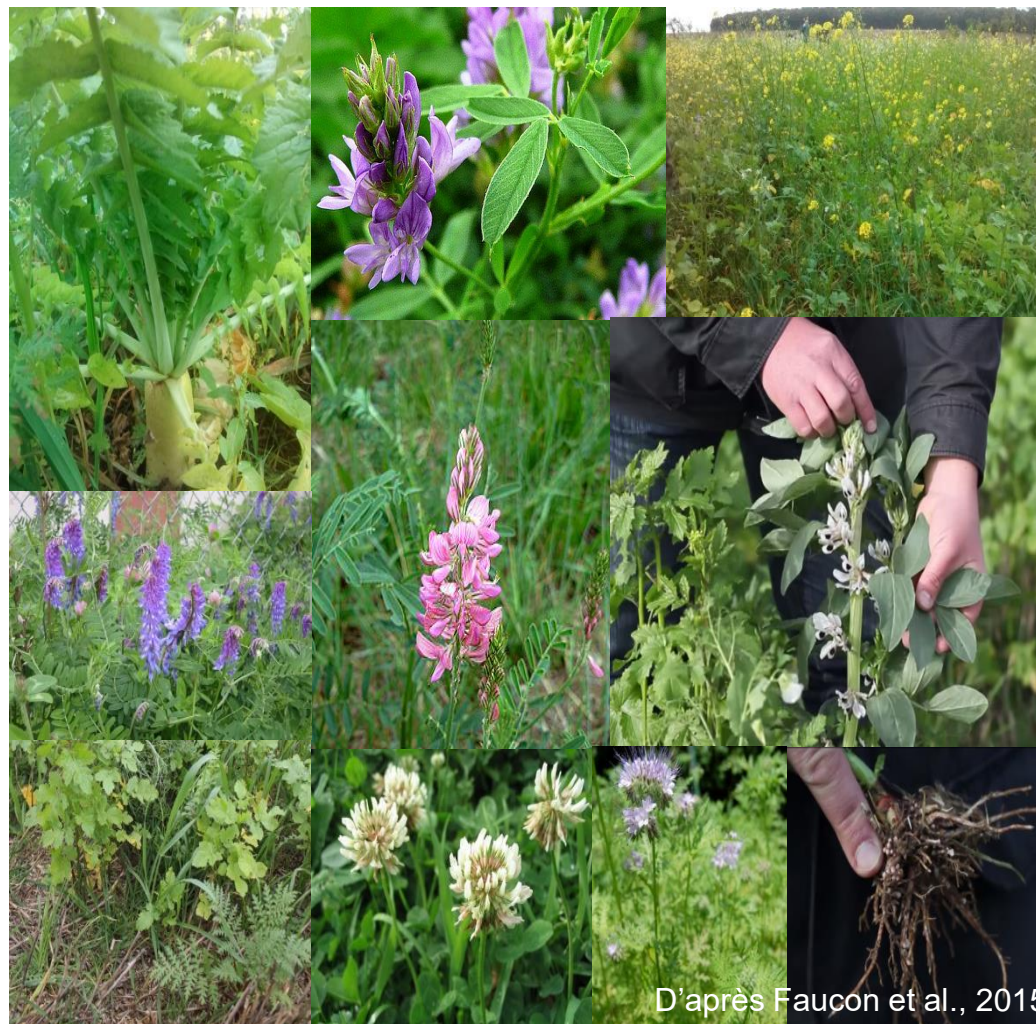


# Les cultures intermédiaires : Un levier agronomique

- Protéger les sols
- Limiter la lixiviation

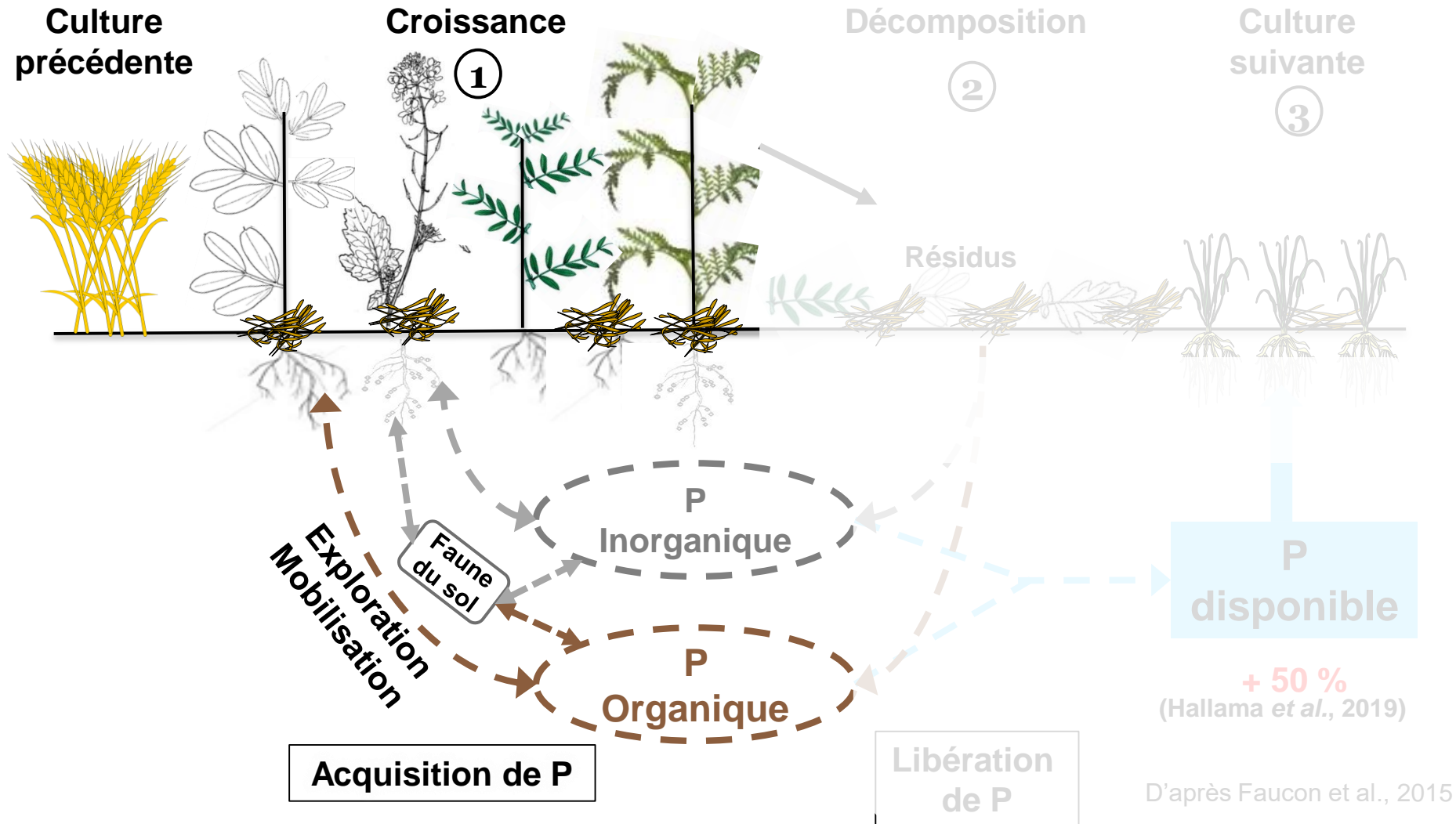
Fournit de nombreux services écosystémiques (fertilité, compaction,...)

Augmenter la disponibilité du phosphore ?



D'après Faucon et al., 2015

# Mécanismes impliqués dans la disponibilité du phosphore



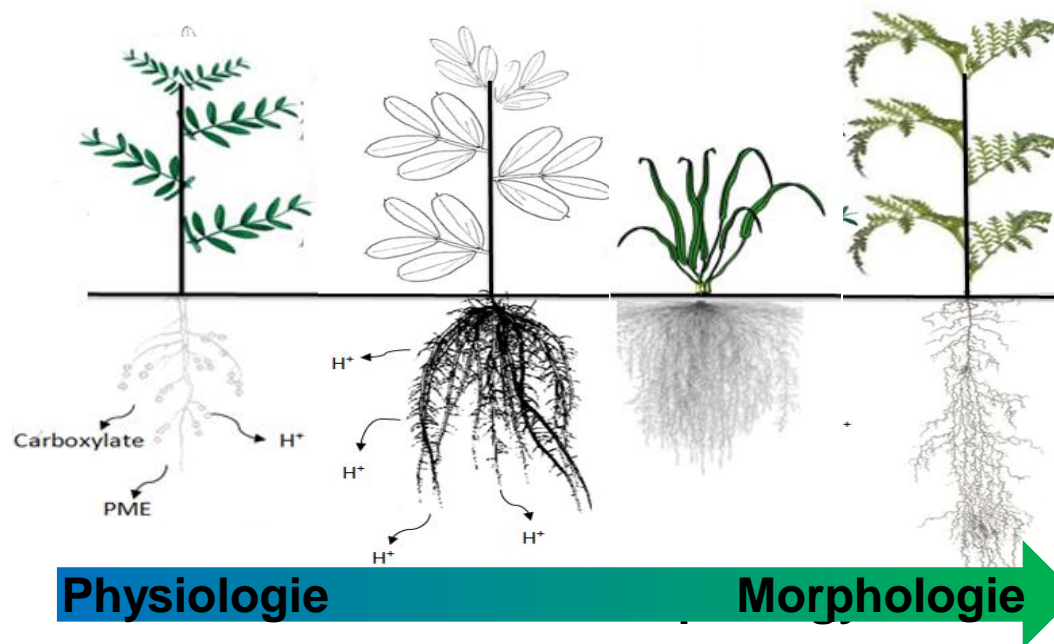
Quels facteurs influencent la disponibilité du P dans les agrosystèmes ?



# De multiples traits pour accéder aux formes variées de P

Stratégies d'acquisition de P par association et compromis entre traits  
Peu documentées, particulièrement au sein des cultures intermédiaires

## Compromis et coordination racinaires



**Quelles sont les principales stratégies d'acquisition de phosphore au sein des cultures intermédiaires ?**

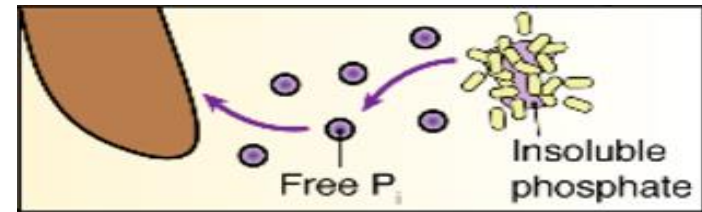
# Rôle des interactions plantes-microbes pour l'acquisition de P

Les cultures intermédiaires impactent fortement les communautés du sol  
 Les traits impliqués et leurs effets pour la disponibilité du P restent méconnus

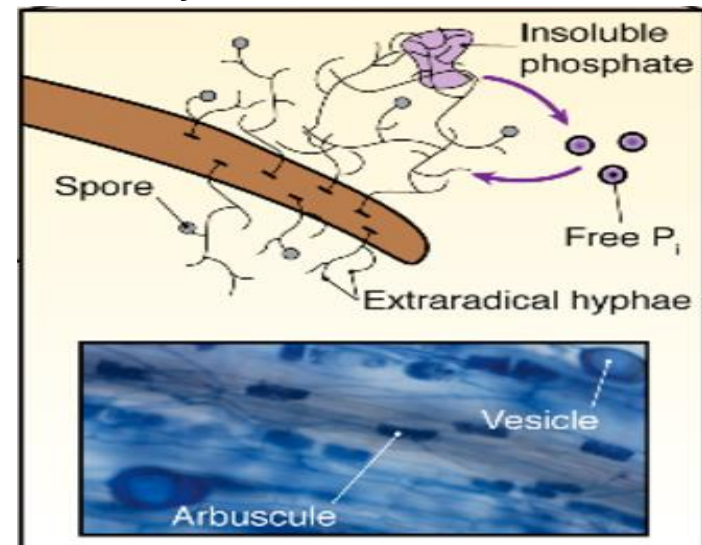
## Champignons mycorhiziens arbusculaires



## Organismes solubilisateurs de P

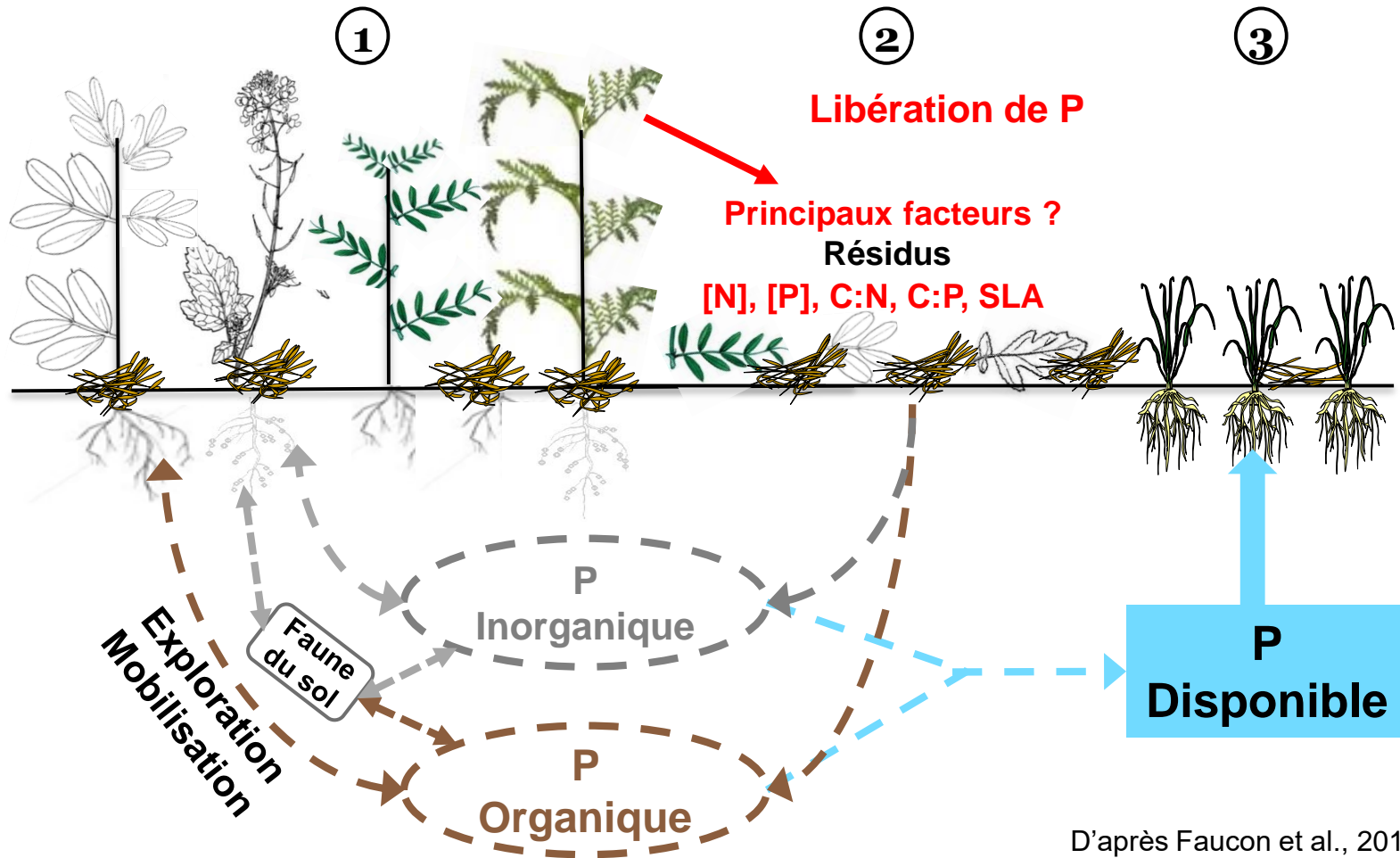


## Mycorhizes arbusculaires



**Quel rôle jouent les interactions plantes-microorganismes dans l'acquisition de phosphore ?**

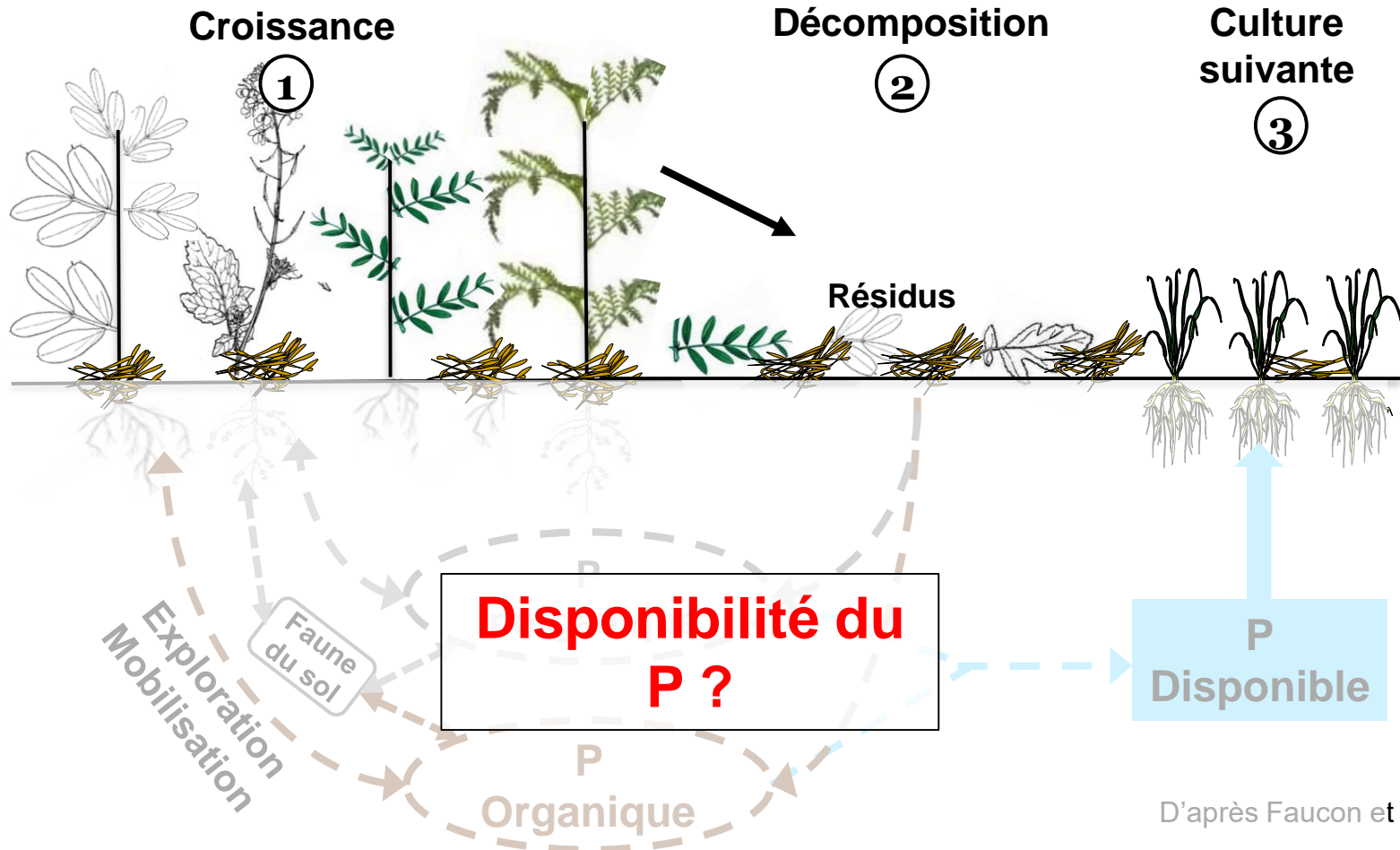
# Dynamique de libération du phosphore acquis



**Quels traits influencent la dynamique de libération de phosphore et son impact sur la disponibilité du phosphore ?**

# Influence du contexte pédoclimatique

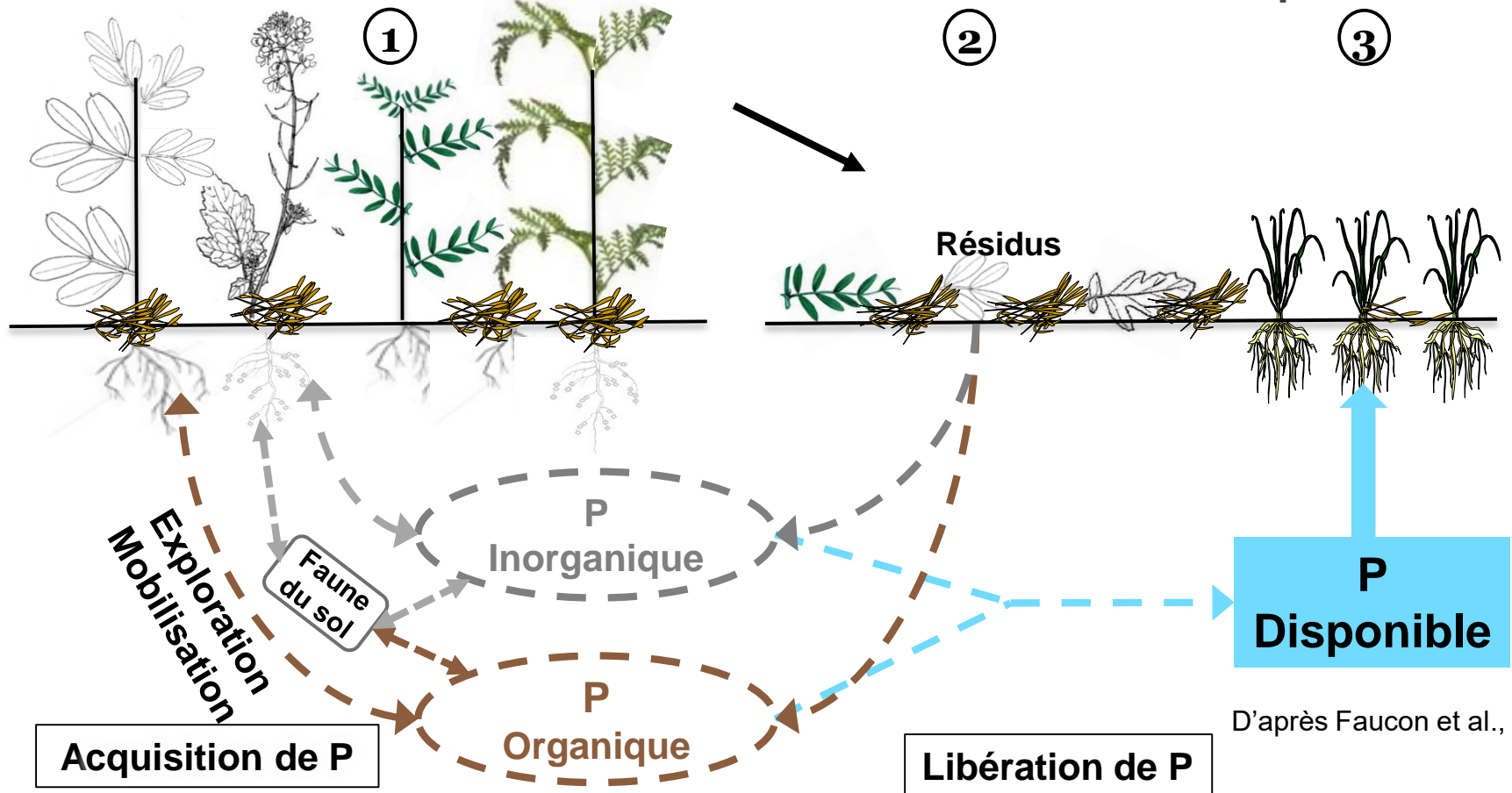
Effets incertains et inégaux en fonction du contexte



**Comment la disponibilité initiale en phosphore influence l'effet des cultures intermédiaires ?**

# OBJECTIFS

## Examiner le rôles des traits des cultures intermédiaires dans la disponibilité du P



(1) Mettre en évidence les stratégies d'acquisition de phosphore

(2) Examiner le rôle des interactions plants-microbes

(3) Identifier l'influence des traits des plantes sur la libération de P

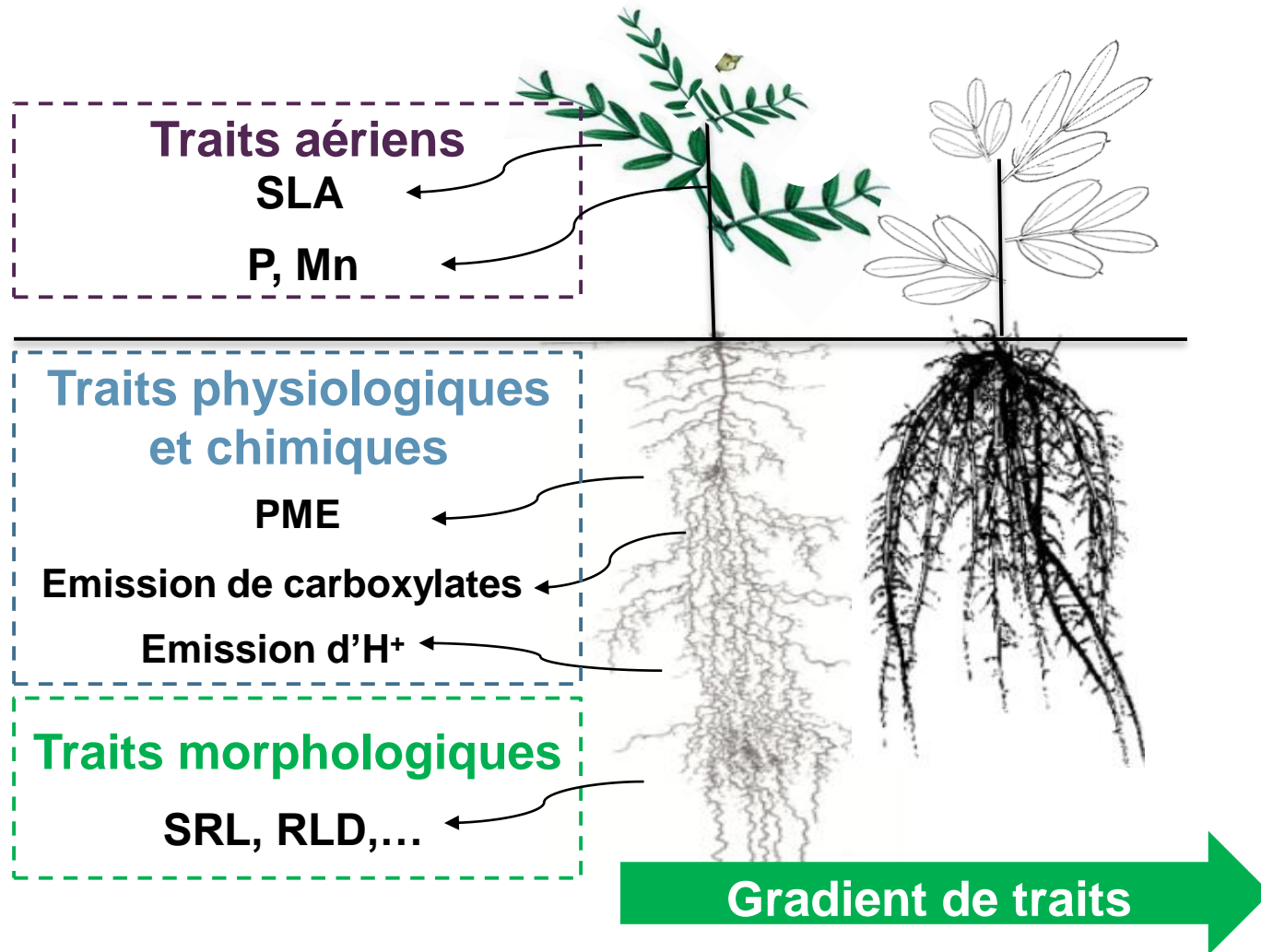
(4) Investiguer l'influence de la disponibilité initiale du phosphore sur les effets des cultures intermédiaires

# 1) Stratégies d'acquisition



# Approche

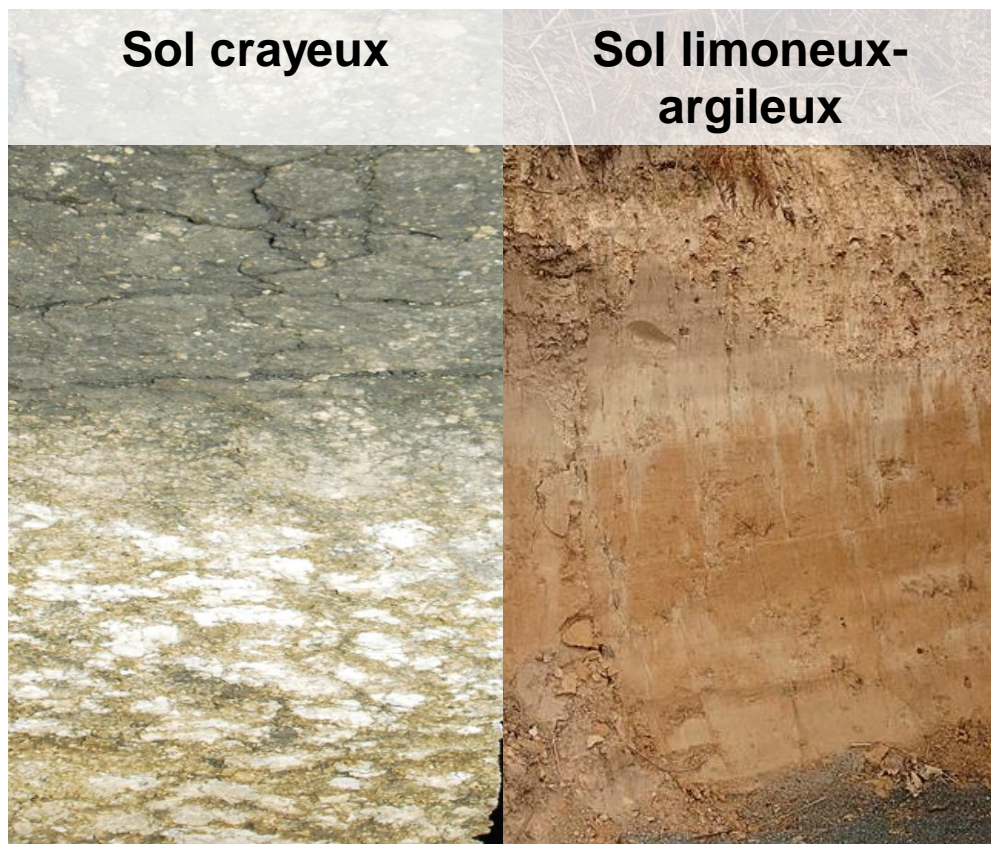
## Treize espèces de cultures intermédiaires





# Approche

## Deux sols représentatifs



P < 20 mg kg<sup>-1</sup> P Olsen

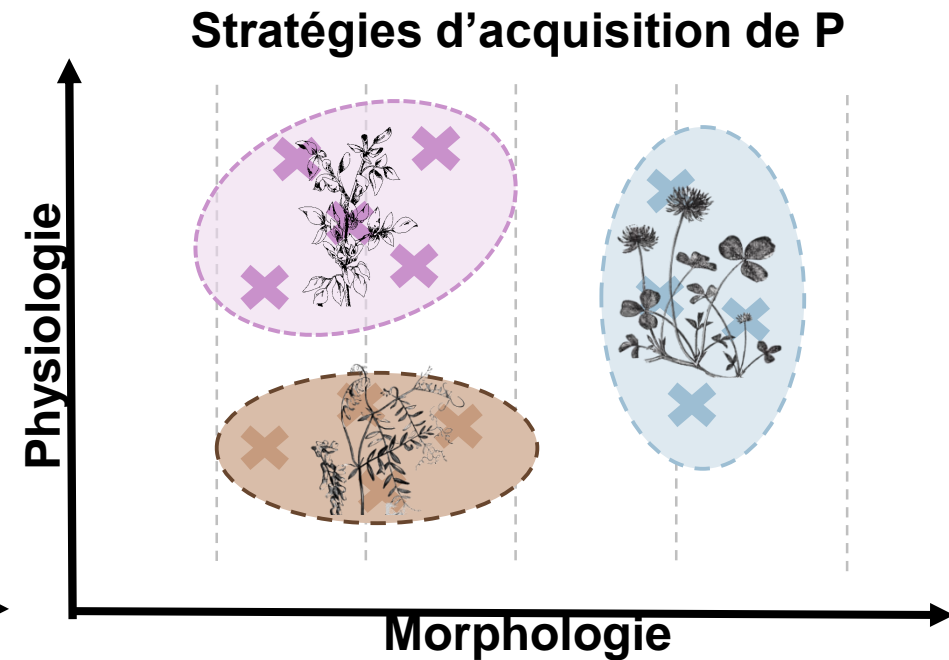
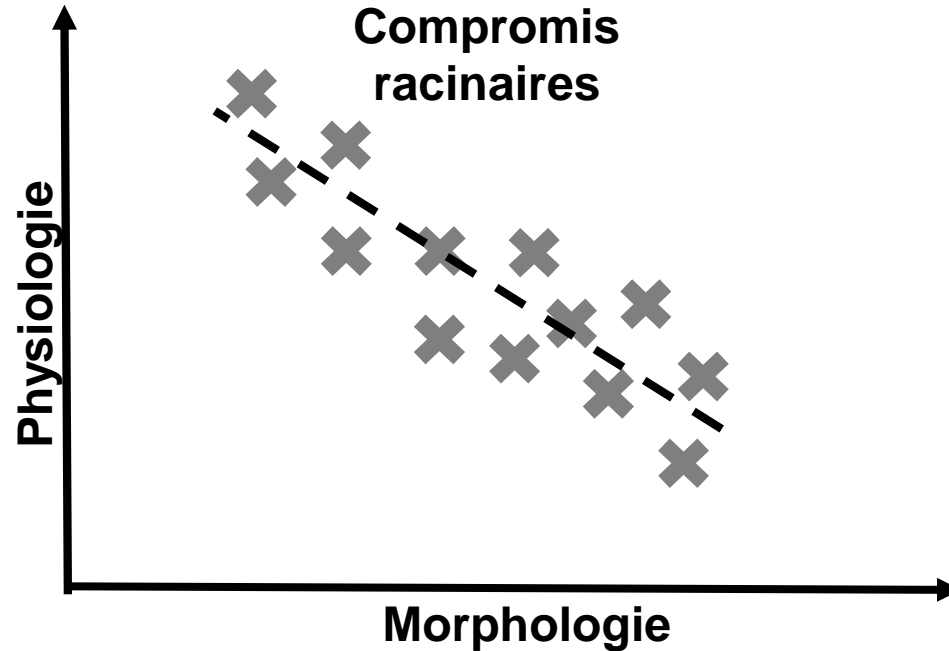
<b>Poaceae</b>
<i>Avena nuda</i>
<i>Avena strigosa</i>
<b>Fabaceae</b>
<i>Lens culinaris</i>
<i>Pisum sativum</i> subsp. <i>arvense</i>
<i>Trifolium alexandrinum</i>
<i>Vicia faba</i>
<i>Vicia sativa</i>
<i>Vicia villosa</i>
<b>Brassicaceae</b>
<i>Brassica carinata</i>
<i>Raphanus sativus</i>
<i>Sinapis alba</i>
<b>Hydrophyllaceae</b>
<i>Phacelia tanacetifolia</i>
<b>Polygonaceae</b>
<i>Fagopyrum esculentum</i>

## Approche

13 espèces x 4 répliques x 2 sols = 104 conditions

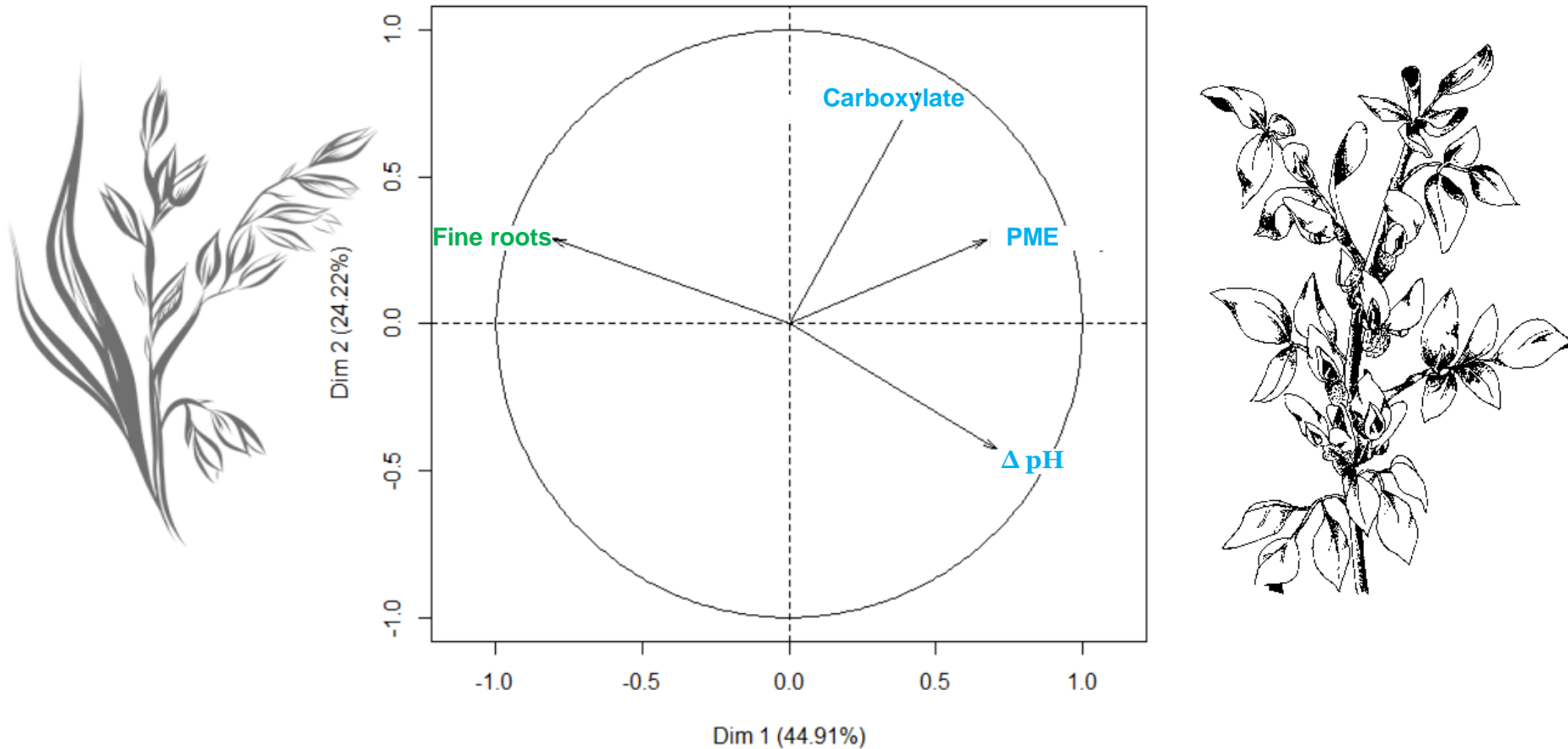
10 à 15 Traits d'acquisition de P

Approche multivariée



# Compromis racinaires

Compromis entre traits d'**exploration du sol** et traits de **mobilisation**

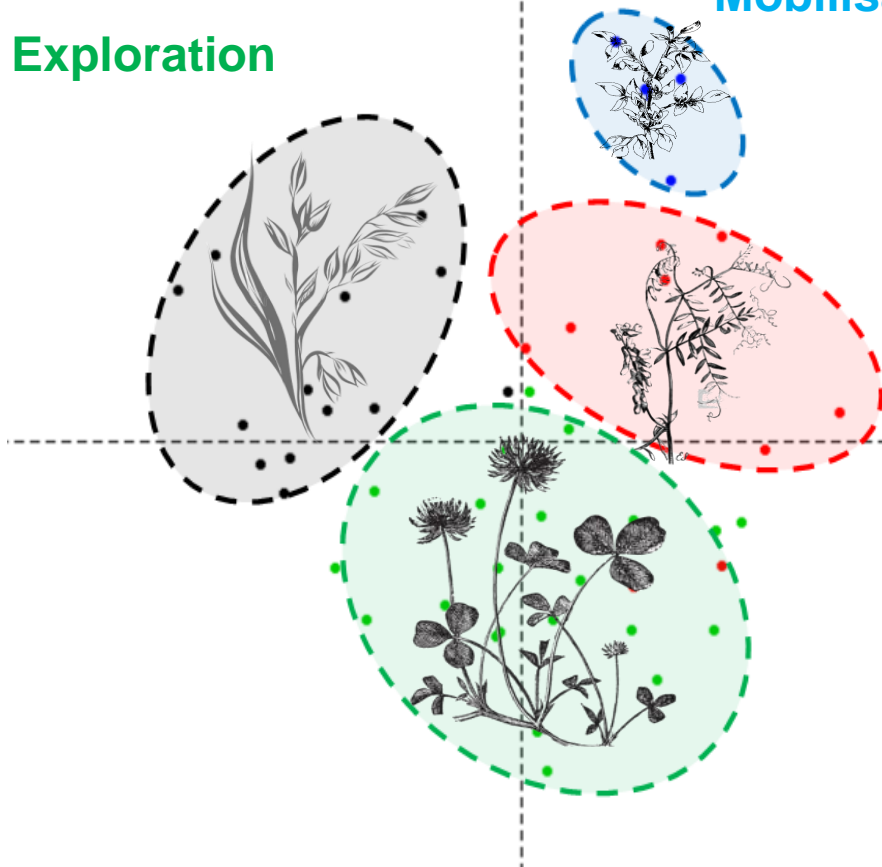


## Des stratégies diverses réparties le long de compromis centraux

### Sol crayeux

Exploration

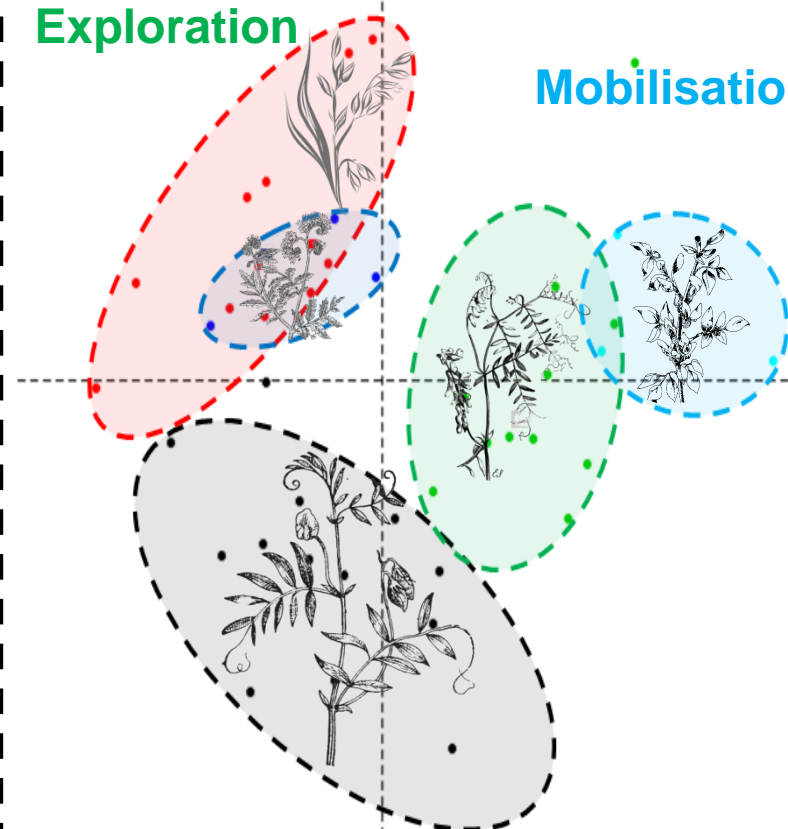
Mobilisation



### Sol limoneux-argileux

Exploration

Mobilisation



Honvault *et al.*, 2020

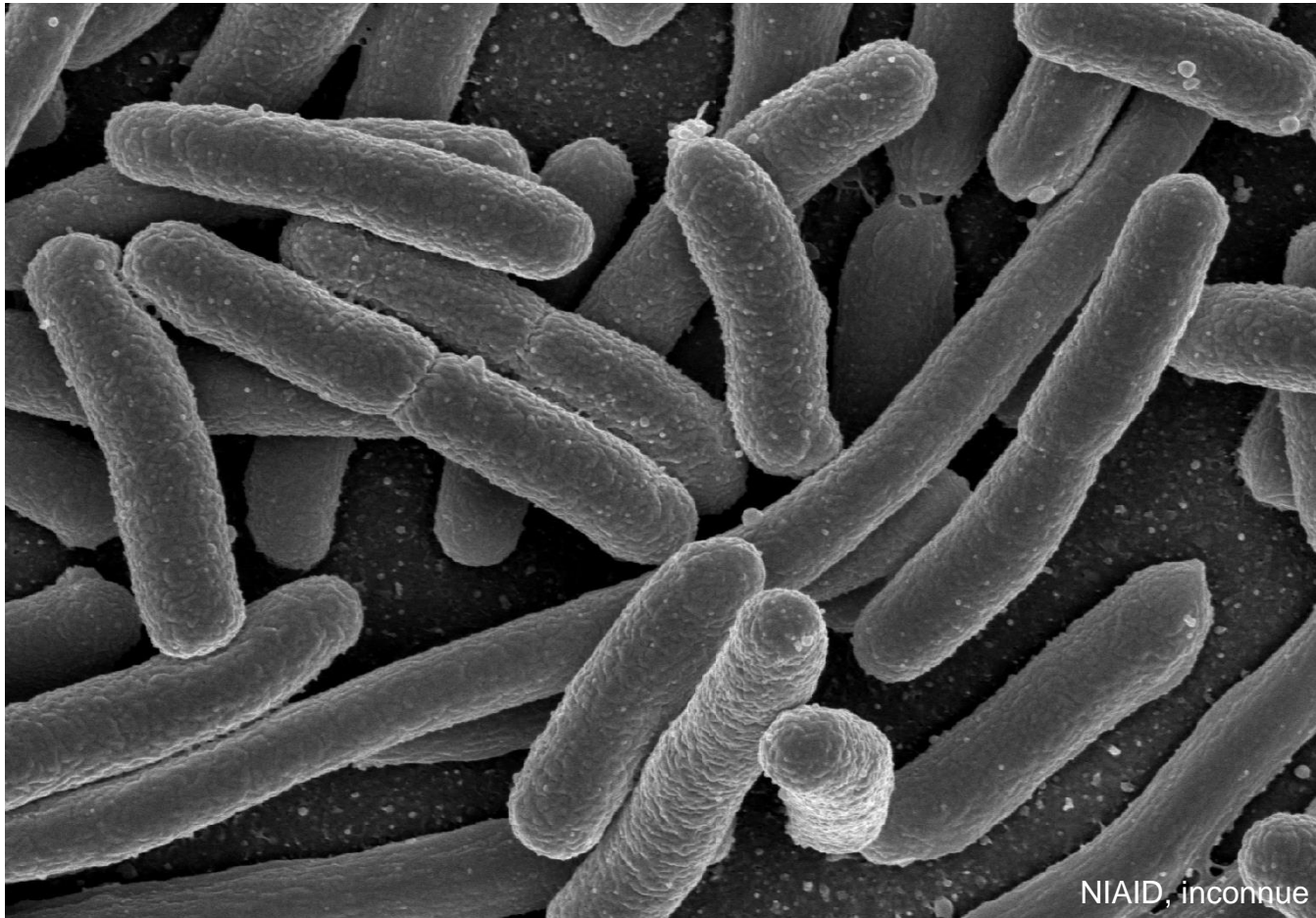
Quatre à cinq stratégies exploitant les diverses formes de P

## Synthèse

- Compromis entre exploration et mobilisation pour l'acquisition de P
- Stratégies multiples exploitant les diverses formes de P
  - Complémentarité en mélanges ?



# Comment ces stratégies interagissent avec les microorganismes pour l'acquisition de phosphore ?

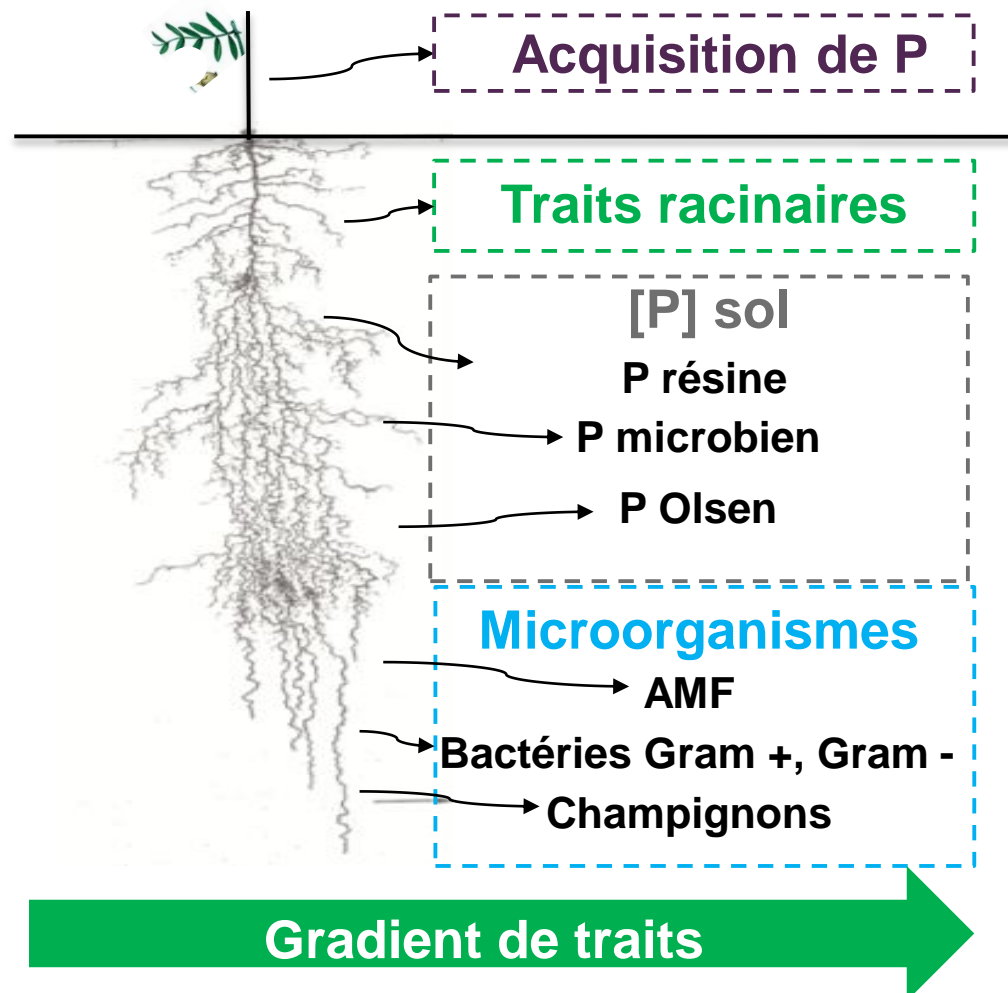


## 2) Interactions plantes-microbes



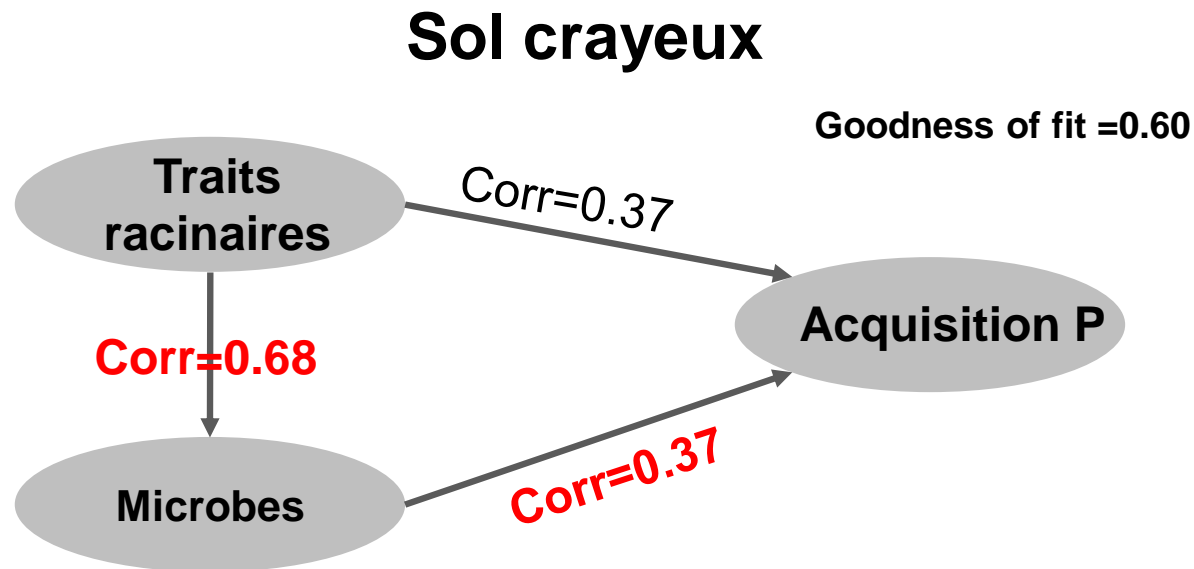
# Approche

Huit espèces avec des stratégies variées  
Brassicaceae et Fabaceae  
Deux sols contrastés





## Contribution des interactions plantes-microbes à l'acquisition de P

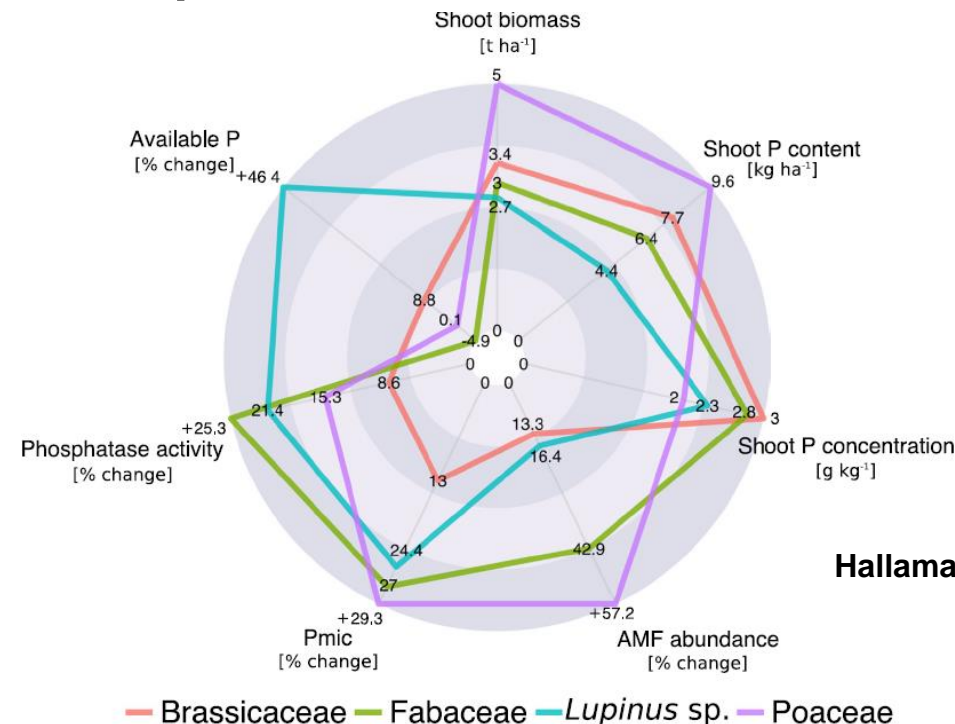


Indicateurs microbiologiques fortement liés à l'acquisition, autant que les traits racinaires.

Traits racinaires et en particulier l'émission de carboxylates très liés aux communautés microbiologiques du sol avec des conséquences indirectes pour l'acquisition de P.

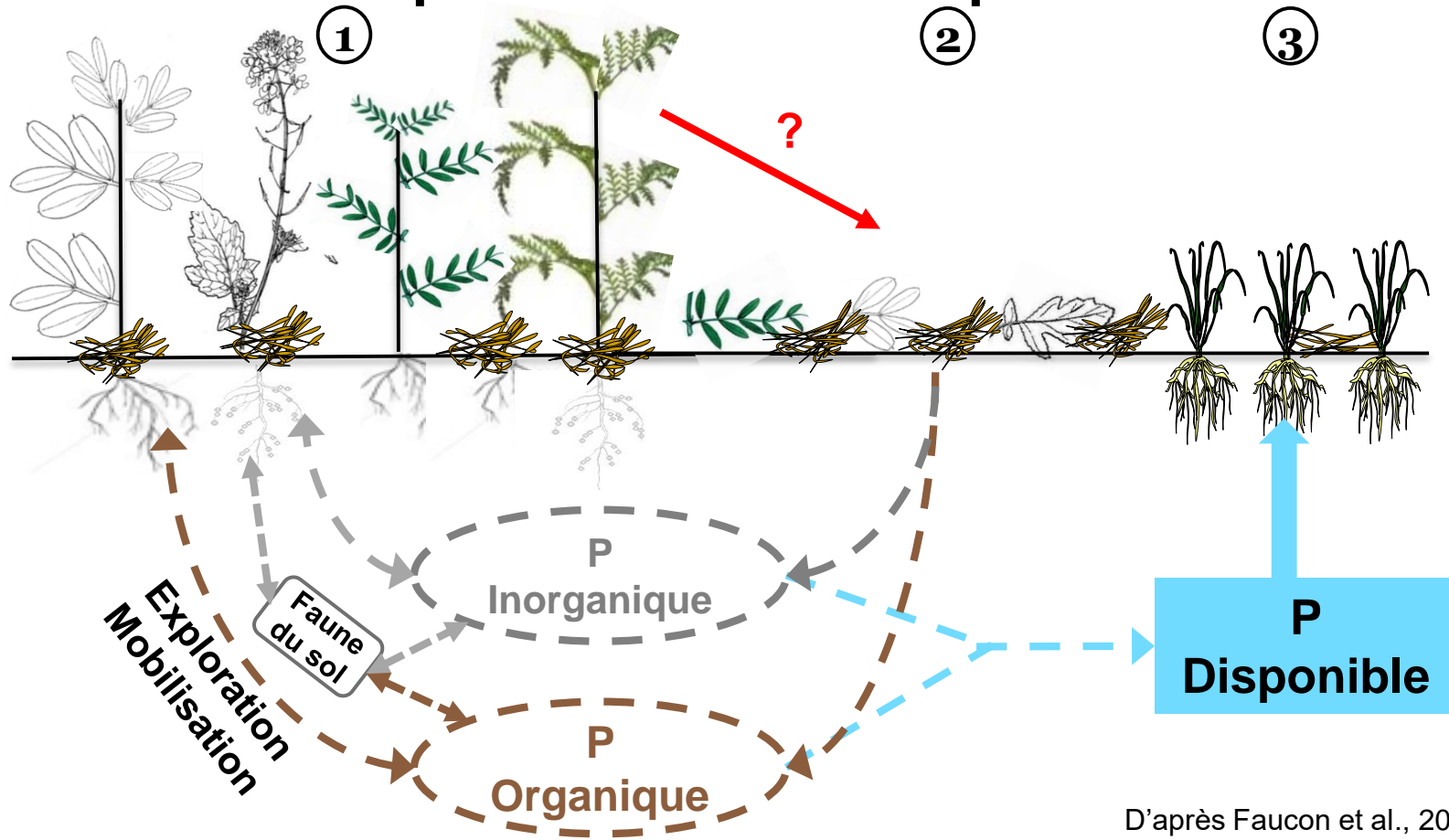
# Synthèse

- Les cultures intermédiaires interagissent avec les communautés du sol par l'émission d'exsudats et en particulier de carboxylates
- Ces interactions ont une influence considérable pour l'acquisition de P
- Par la sélection de communautés favorables elles pourraient influencer l'acquisition de P par les cultures suivantes en rotation ?



Hallama *et al.*, 2019

# Comment le P acquis par les cultures intermédiaires est-il libéré pendant leur décomposition ?



### 3) Dynamique de libération



# Approche

Résidus de six espèces  
[C], [N], [P], C:N, C:P, SLA



*Lens culinaris*



*Vicia faba*



*Vicia villosa*



*Brassica carinata*



*Phacelia tanacetifolia*



*Fagopyrum esculentum*

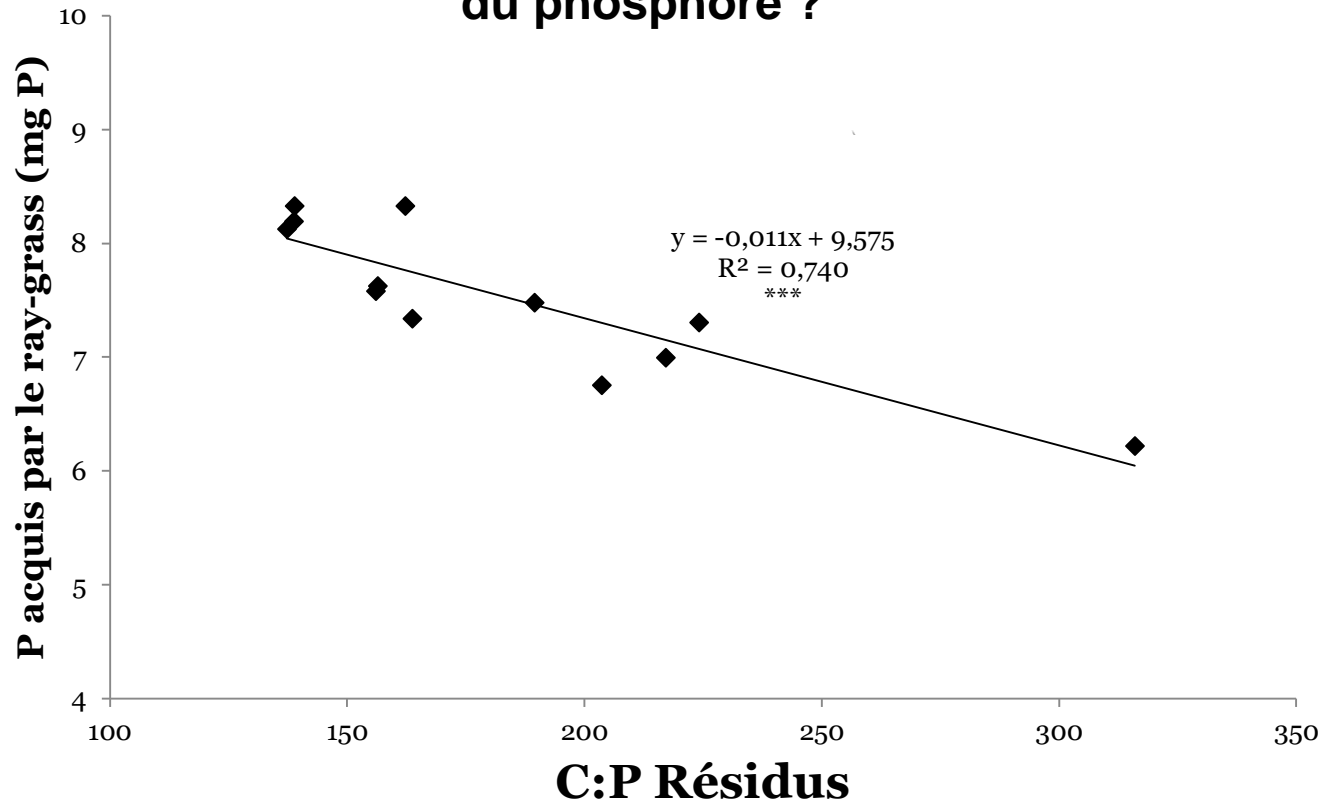
Marquage isotopique



Expérience en serre

# Relation entre la disponibilité du P et les traits des résidus

Quels facteurs sont impliqués dans ces effets contrastés sur la disponibilité du phosphore ?



Ratio C:P des résidus lié à la disponibilité du P jusqu'à 70 jours après ajout

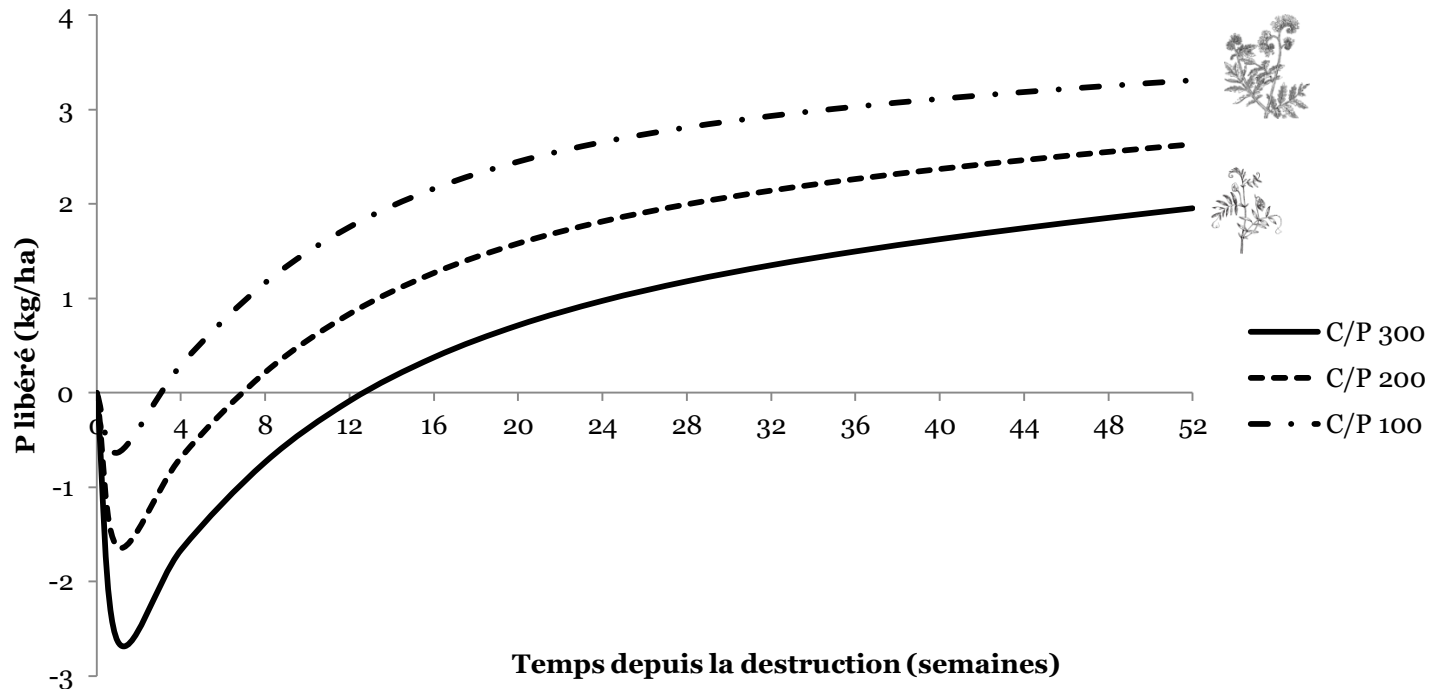
Pas de corrélation avec les autres traits sauf la concentration en P

# Synthèse

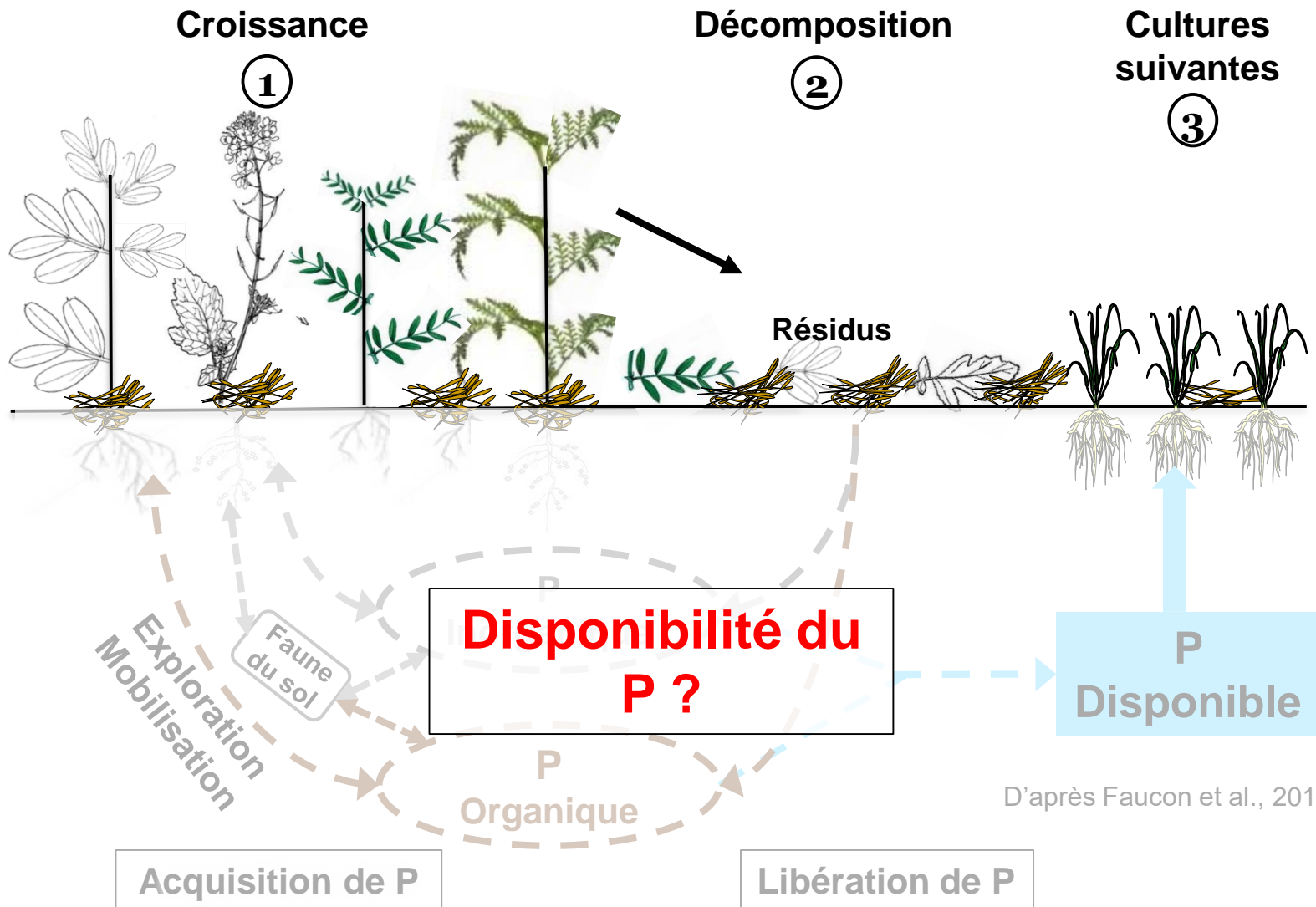
-Rôle clef du ratio C:P dans la dynamique de libération de P

-L'immobilisation microbienne du phosphore domine ces effets

- C:P facteur central à manager ?

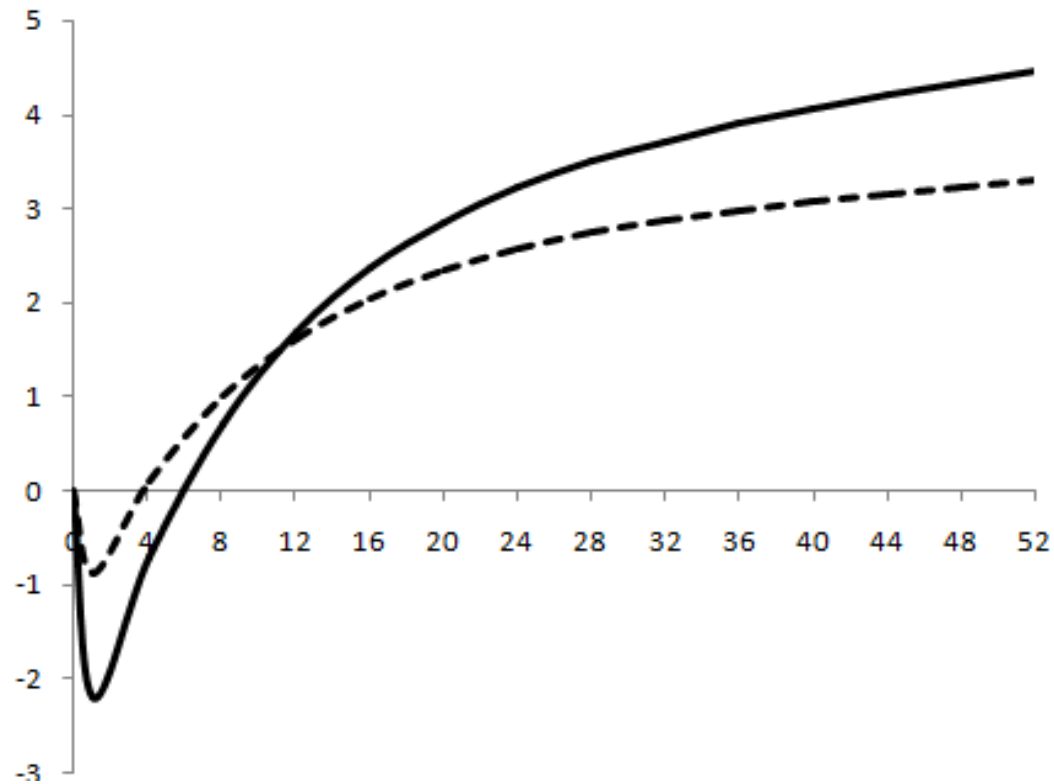


# Comment le contexte affecte l'effet des cultures intermédiaires ?





## 4) Effets de rétroaction de la disponibilité initiale du phosphore

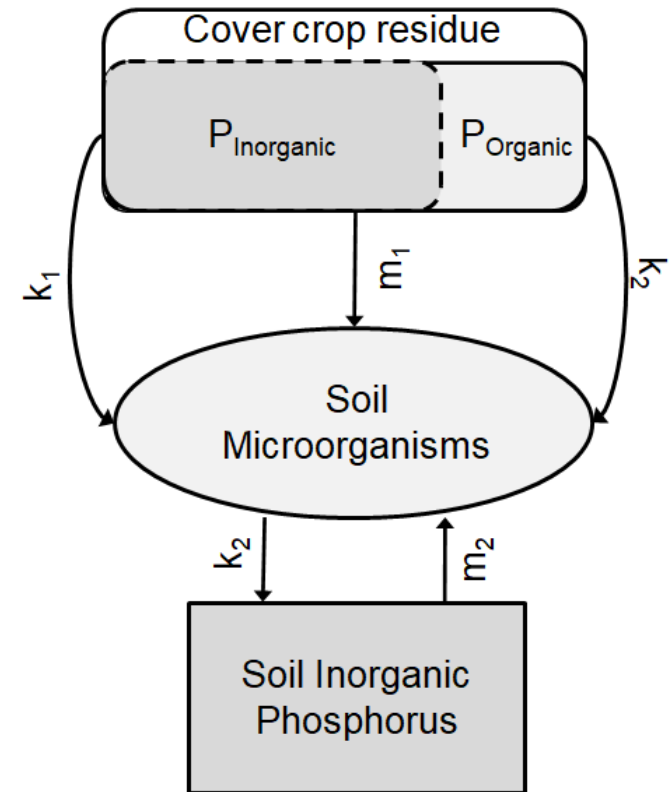


## Approche

**Modèle exponentiel à deux composants**

**Immobilisation microbienne projetée**

**Approche simplifiée adaptée de Damon *et al.*, 2014, exploitant des données issues de la littérature**



**Structure du modèle**

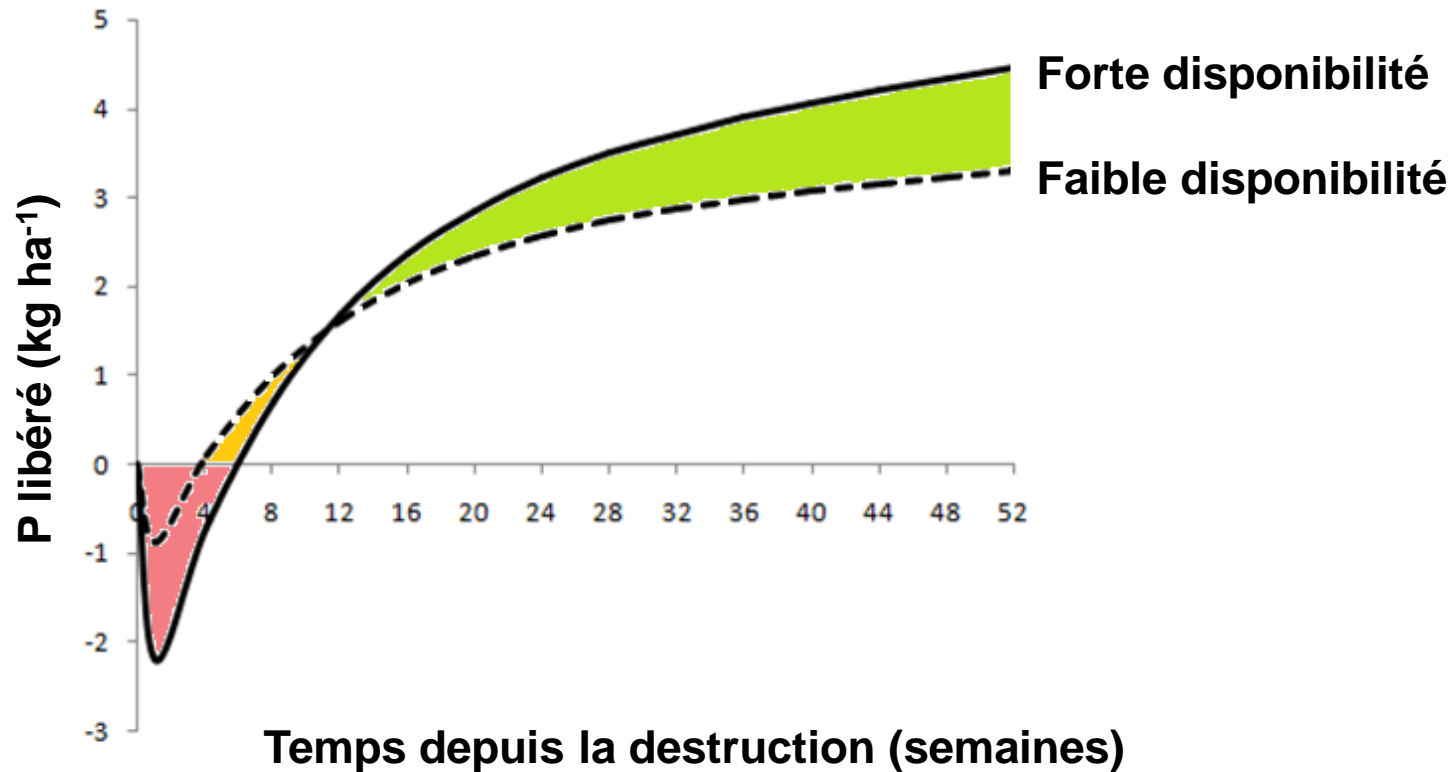
## Approche

**Deux scénarios issus de la littérature correspondant à des résidus issus de:**

- Sols riches en P: 8 kg P ha<sup>-1</sup>, 3.1 t MS ha<sup>-1</sup> (n=14)**
- Sols pauvres en P: 5 kg P ha<sup>-1</sup>, 1.4 t MS ha<sup>-1</sup> (n=20)**

**Données issues de  
Hallama *et al.*, 2019, Aronsson *et al.*, 2016**

## Effets plus prononcés dans les contextes à forte disponibilité

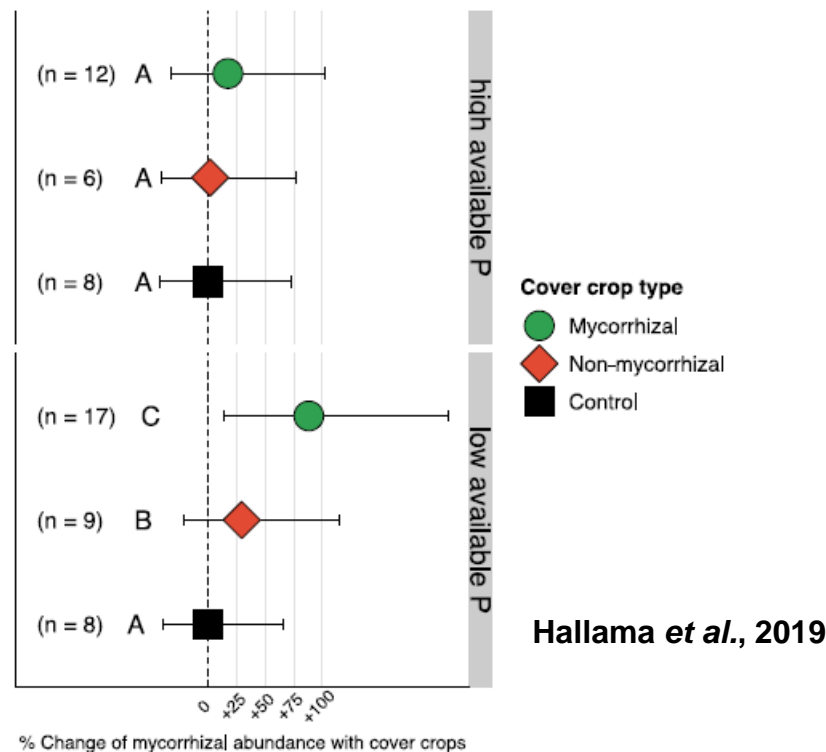


**Effets négatifs** dus à l'immobilisation microbienne jusqu'à 1.5 mois après destruction

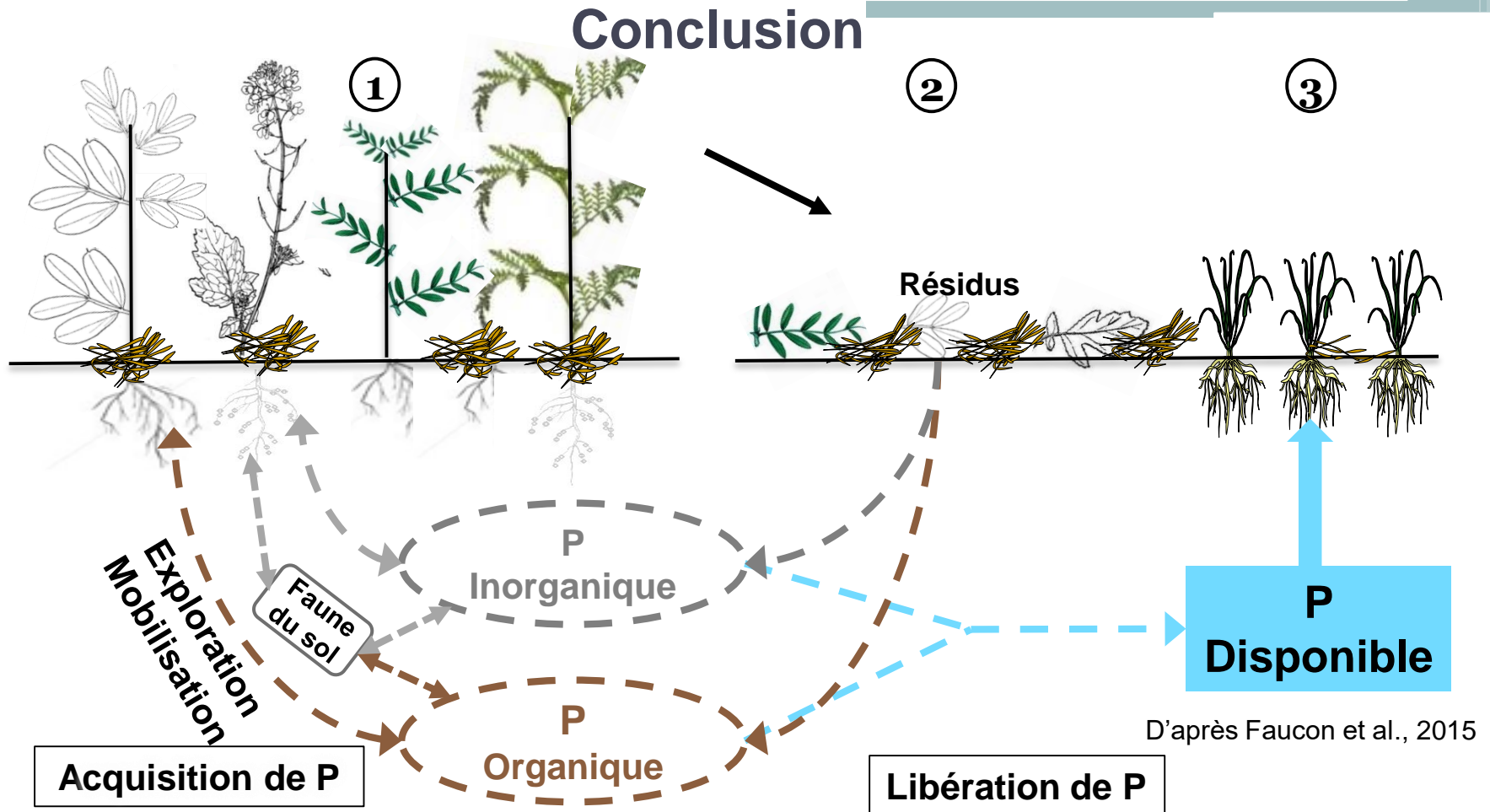
**Libération plus importante** dans les contextes riches en P mais après un délai important à cause de l'immobilisation microbienne du P

## Synthèse

- Effets de rétroactions important de la disponibilité initiale en phosphore, dominés par les dynamiques microbiennes
- Design optimal a adapter selon la disponibilité initiale du P ?



# CONCLUSION



(1) Spectre de stratégies d'acquisition

(2) Influence considérable des interactions plantes-microbes

(3) C:P facteur clef de la dynamique de libération de P

(4) Effets de rétroactions importants de la disponibilité initiale du P

## Conclusion

**Mis en évidence les facteurs principaux impliqués dans le rôle des cultures intermédiaires dans la disponibilité du P**

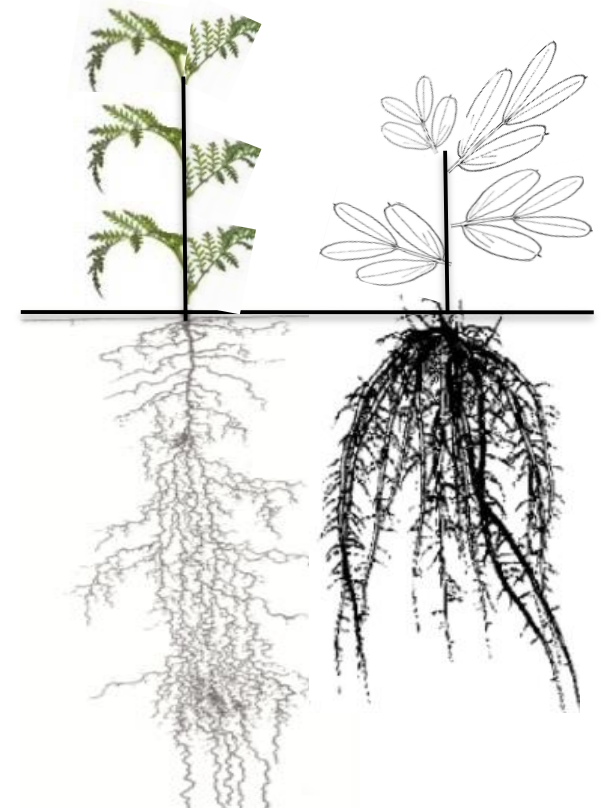
**Depuis les interactions racinaires impliquées dans l'acquisition de P...**

**... jusqu'aux facteurs influant la disponibilité du P suite à leur destruction**



## Perspectives: Synergies et effets de la diversité ?

**Les multiples stratégies identifiées pourraient potentiellement être complémentaires dans leur utilisation des formes de P du sol**



## Perspectives : Implications pour le management

- **Les stratégies diverses identifiées pourraient permettre d'adapter le design aux objectifs et au contexte**
- **L'influence observée du ratio C:P et ses effets importants dans le cadre du modèle développé offrent des perspectives de management :**
  - Adapter la date de destruction pour limiter le C:P ?
  - Adapter le délai de retour ?

## Perspectives: Intégration des résultats dans OAD

### Projet d'OAD pour concrétiser les résultats du projet

#### Objectifs :

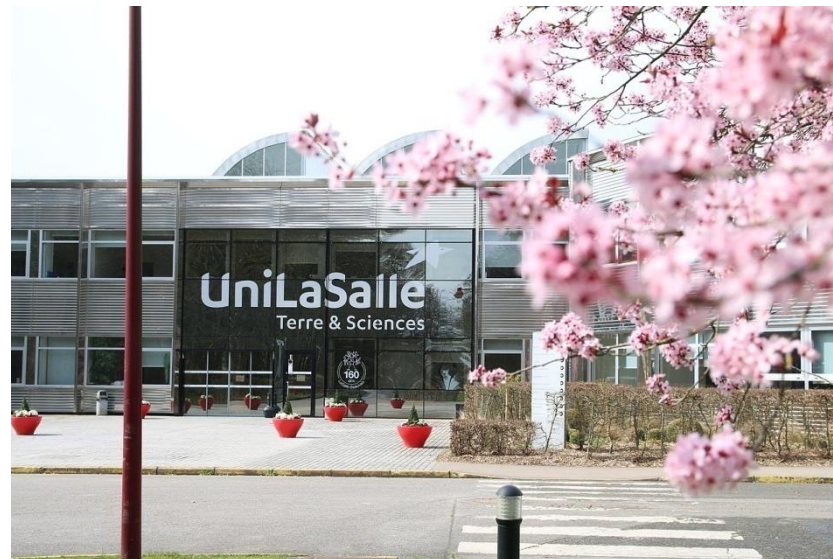
- **Guider les choix des espèces pour un design optimal**
- **Estimer l'impact des cultures intermédiaires sur la disponibilité du P**



## Perspectives scientifiques

### Plusieurs thématiques à approfondir

- Les probables synergies par association de stratégies d'acquisition de P complémentaires
- La contribution des effets sur la microbiologie du sol à l'acquisition de P des cultures en rotation



## Remerciements

- **L'unité Aghyle**
  - **L'équipe Vivescia**
  - **L'équipe à l'ETH**
- 
- **Allain Mollier, Hans Lambers**



**ETH** zürich

# Références

- Condrón LM, Frossard E, Tiessen H, et al (1990) Chemical nature of organic phosphorus in cultivated and uncultivated soils under different environmental conditions. *Journal of Soil Science* 41:41–50. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1990.tb00043.x>
- Cordell D, White S (2014) Life's bottleneck: sustaining the world's phosphorus for a food secure future. *Annual Review of Environment and Resources* 39:161–188
- Daneshgar S, Callegari A, Capodaglio A, Vaccari D (2018) The Potential Phosphorus Crisis: Resource Conservation and Possible Escape Technologies: A Review. *Resources* 7:37. <https://doi.org/10.3390/resources7020037>
- Hallama M, Pekrun C, Lambers H, Kandeler E (2019) Hidden miners – the roles of cover crops and soil microorganisms in phosphorus cycling through agroecosystems. *Plant Soil* 434:7–45. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3810-7>
- Honvault N, Houben D, Nobile C, et al (2020) Tradeoffs among phosphorus-acquisition root traits of crop species for agroecological intensification. *Plant Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04584-3>
- Jacoby R, Peukert M, Succurro A, et al (2017) The Role of Soil Microorganisms in Plant Mineral Nutrition—Current Knowledge and Future Directions. *Front Plant Sci* 8:1617. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617>
- Kafle A, Cope K, Raths R, et al (2019) Harnessing Soil Microbes to Improve Plant Phosphate Efficiency in Cropping Systems. *Agronomy* 9:127. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030127>
- Li L, Tilman D, Lambers H, Zhang F-S (2014) Plant diversity and overyielding: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. *New Phytol* 203:63–69. <https://doi.org/10.1111/nph.12778>
- Menezes-Blackburn D, Giles C, Darch T, et al (2018) Opportunities for mobilizing recalcitrant phosphorus from agricultural soils: a review. *Plant Soil* 427:5–16. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3362-2>
- Mengel K, Kirkby EA, Kosegarten H, Appel T (2001) Phosphorus. In: Mengel K, Kirkby EA, Kosegarten H, Appel T (eds) *Principles of Plant Nutrition*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 453–479
- Obersteiner M, Peñuelas J, Ciais P, et al (2013) The phosphorus trilemma. *Nature Geoscience* 6:897–898. <https://doi.org/10.1038/ngeo1990>

# Merci pour votre attention!

