Traveaux de thèse

Rôle des formes de phosphore organique dans la disponibilité et l'acquisition du phosphore par les plantes

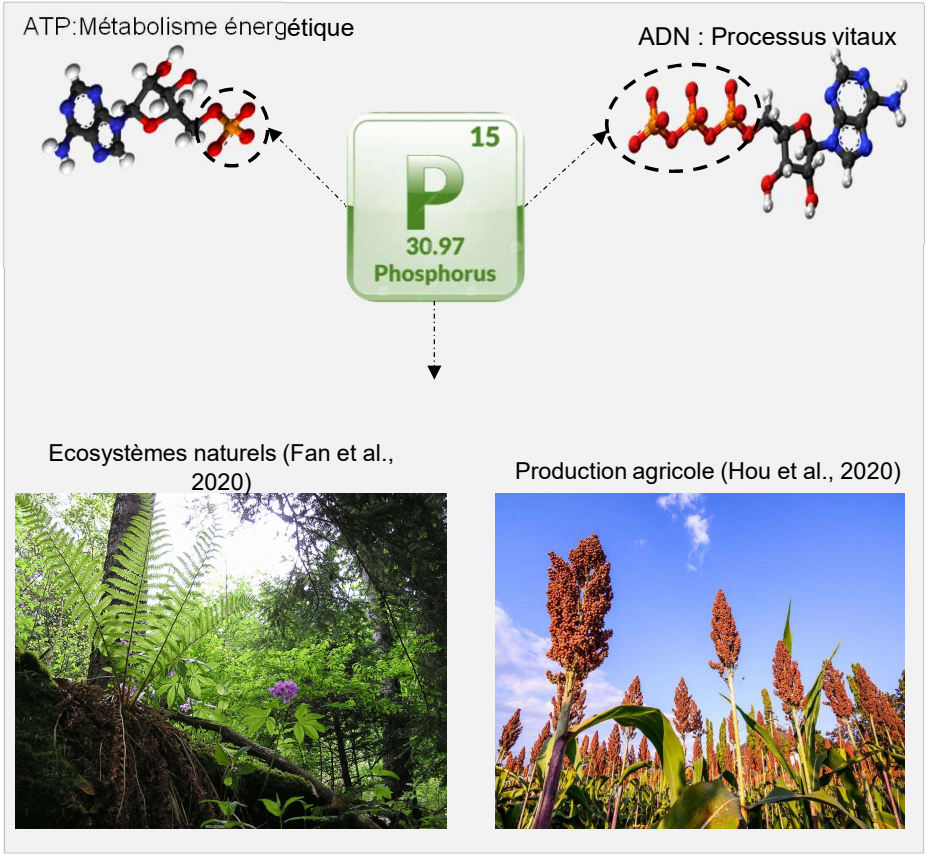
Issifou Amadou

Directeur de thèse : Michel-Pierre Faucon

Co-directeur de thèse : David Houben

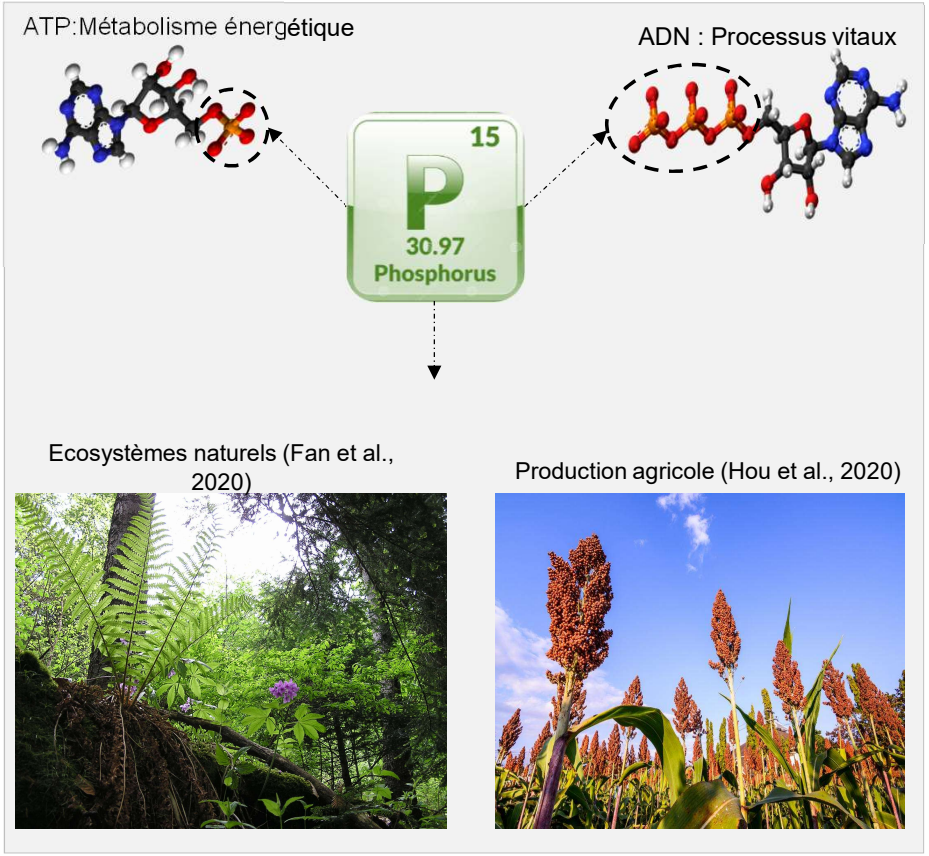
De l‘importance du phosphore….

Pas de production agricole sans phosphore

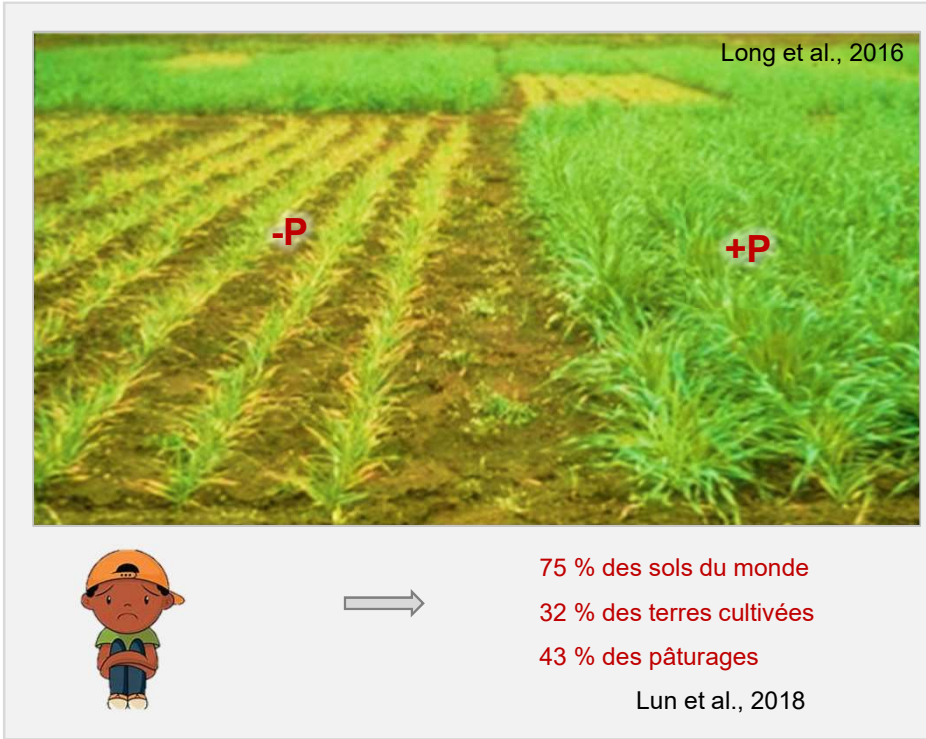


De l'importance du phosphore….

Pas de production agricole sans phosphore

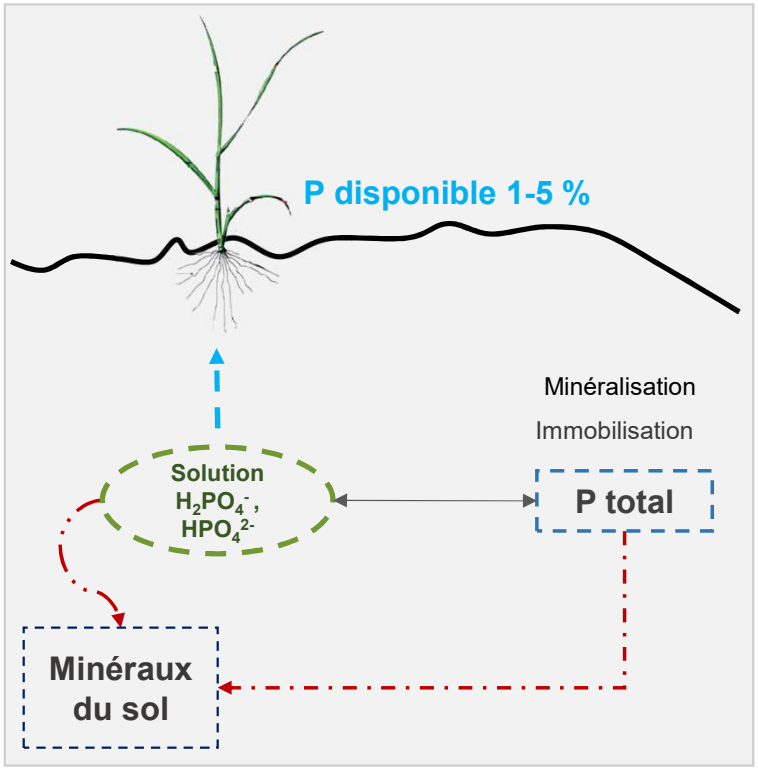


Mais il s'agit d'un facteur limitant majeur pour l'agriculture.



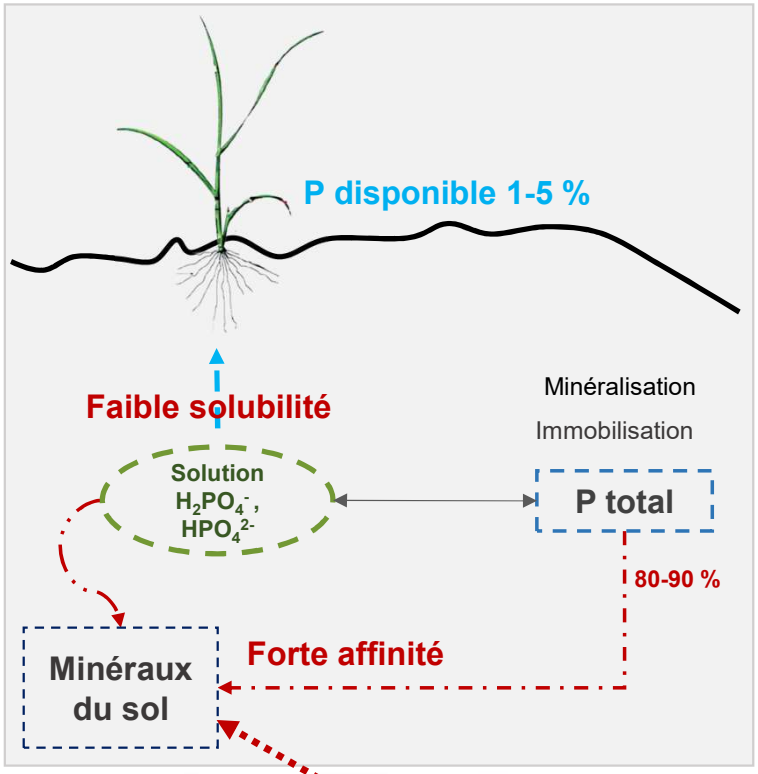
Cause de la limitation et principaux défis

Causes de la limitation en P ?



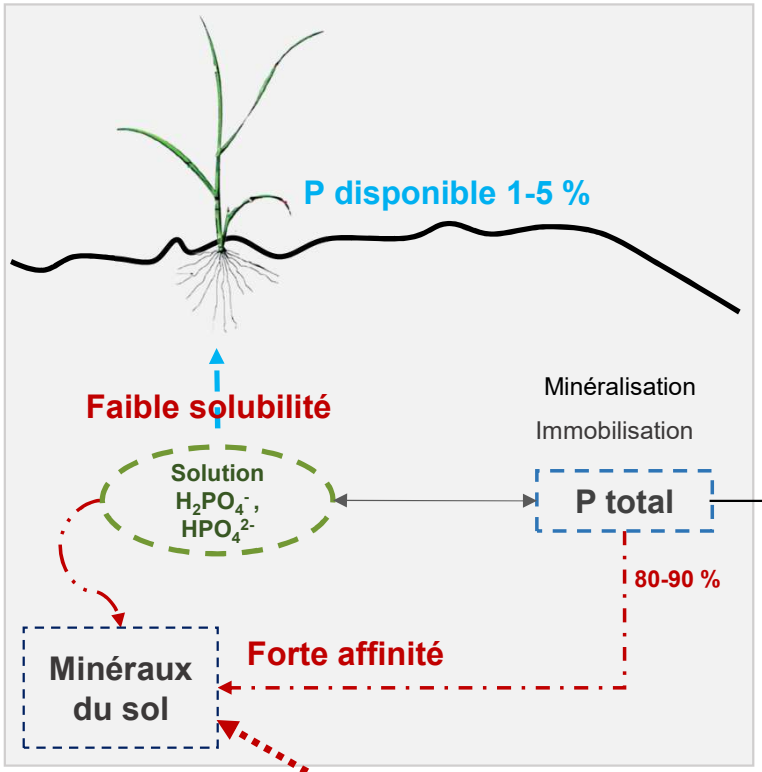
Cause de la limitation et principaux défis

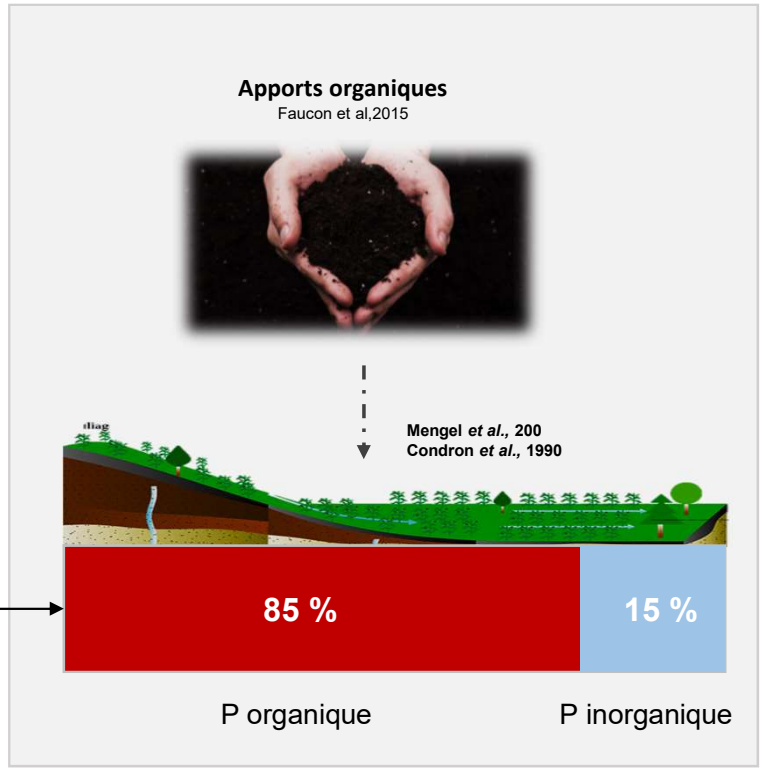
Causes de la limitation en P ?



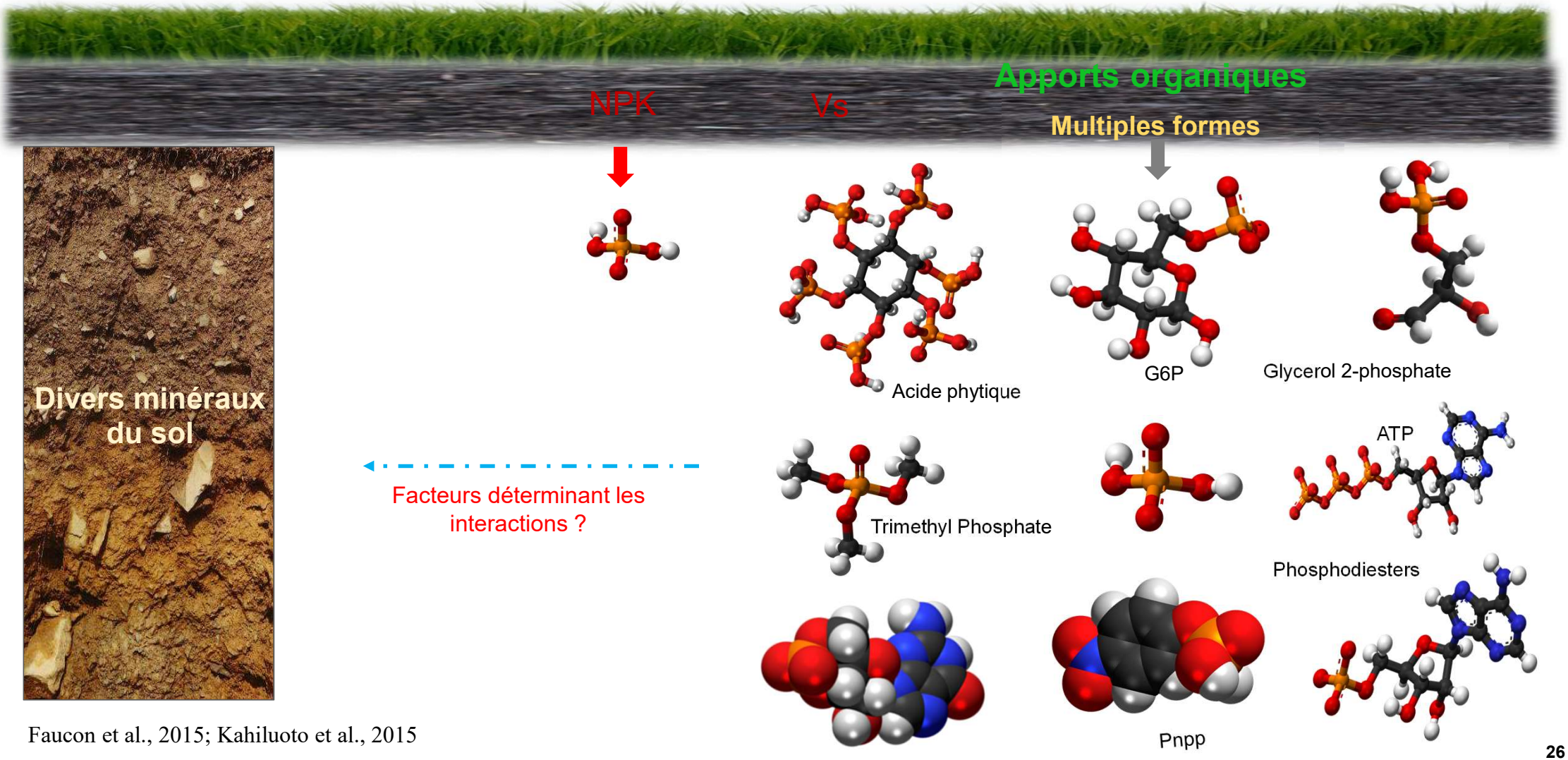
Cause de la limitation et principaux défis

Causes de la limitation en P ?





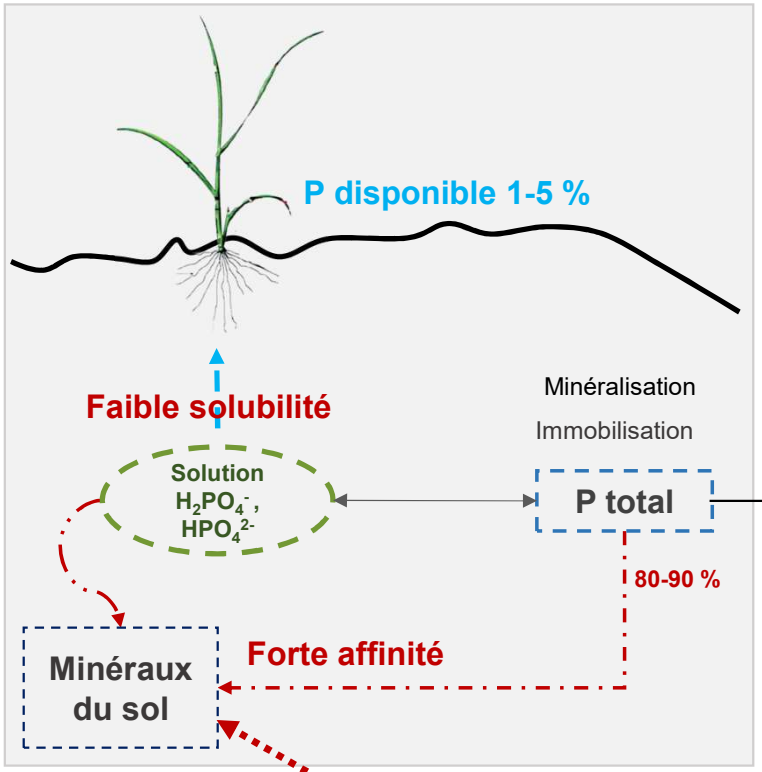
Diverses formes de P dans les apports organiques



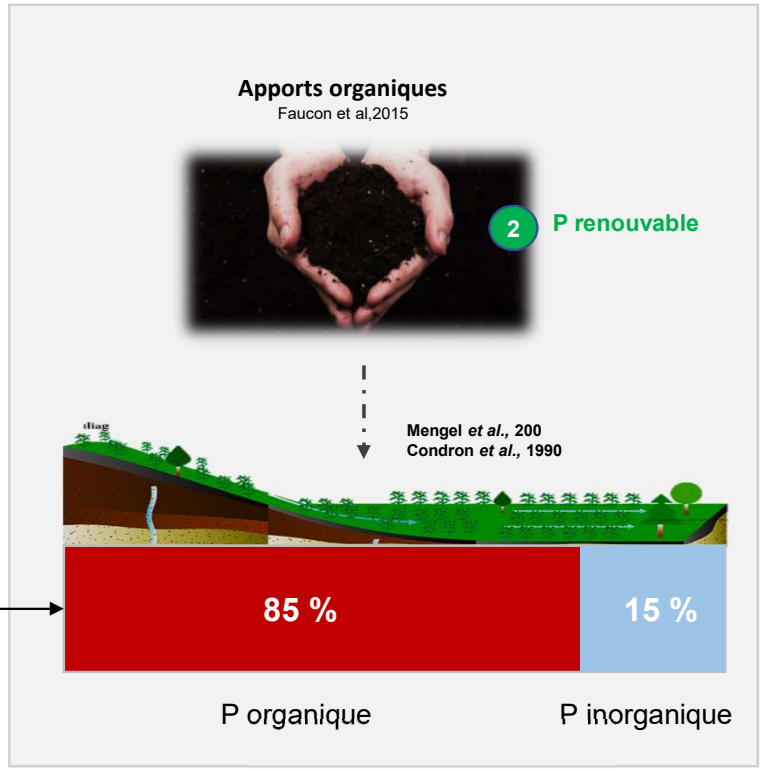
Faucon et al., 2015; Kahiluoto et al., 2015

Cause de la limitation et principaux défis

Causes de la limitation en P ?



Quels sont les défis ?

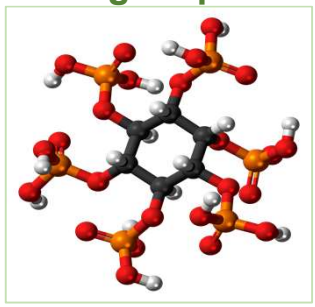


1 Recycler le P du sol
Elser and Bennett, 2011

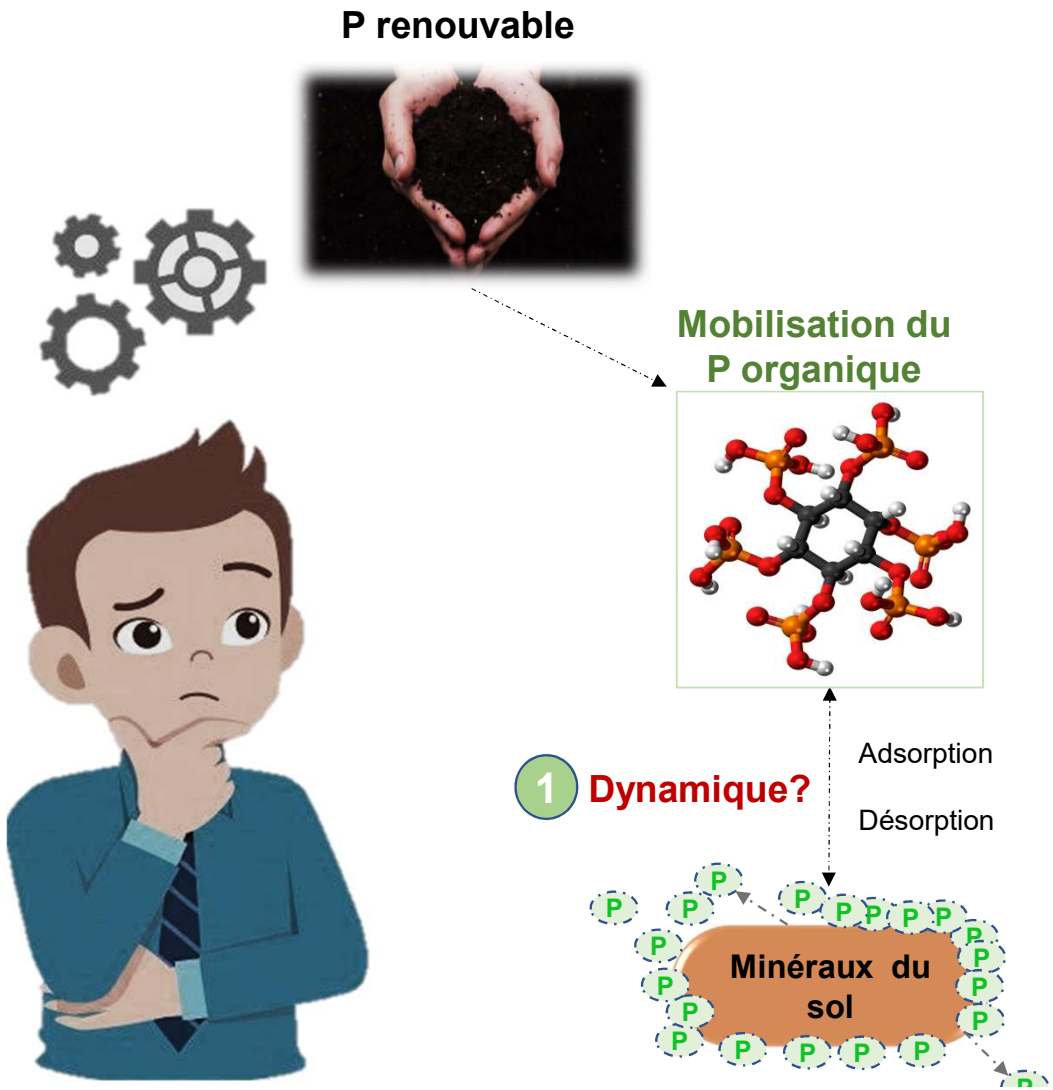
……. Et comment mobiliser ces réservoirs de P ?

P renouvable

Mobilisation du P organique



……. Et comment mobiliser ces réservoirs de P ?



……. Et comment mobiliser ces réservoirs de P ?

P renouvable

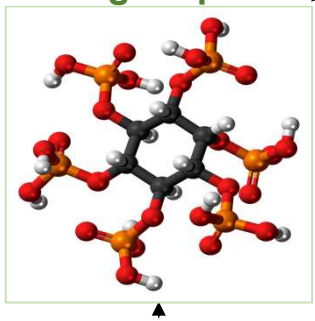
2 Interaction N-P organiques?

La disponibilité

Limitation/colimitation en P

Vitousek et al., 2010

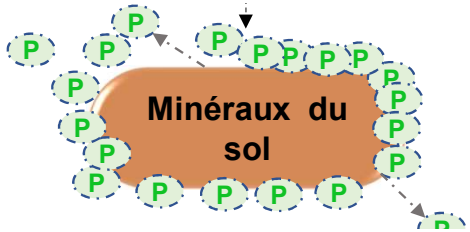
Mobilisation du P organique



1 Dynamique?

Adsorption

Désorption



……. Et comment mobiliser ces réservoirs de P ?

P renouvable

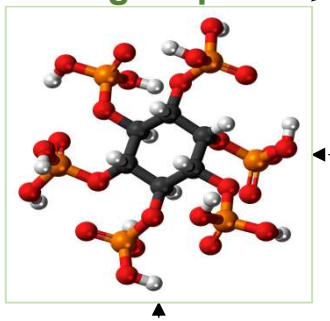
2 Interaction N-P organiques?

La disponibilité

Limitation/colimitation en P

Vitousek et al., 2010

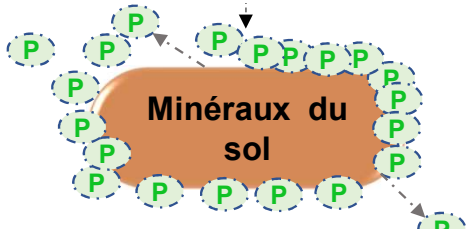
Mobilisation du P organique



1 Dynamique?

Adsorption

Désorption



3 Influence?

Traits morphologiques

Root length density (RLD)

Root surface area (RSA)

Fine root (FR)

Traits physiologiques

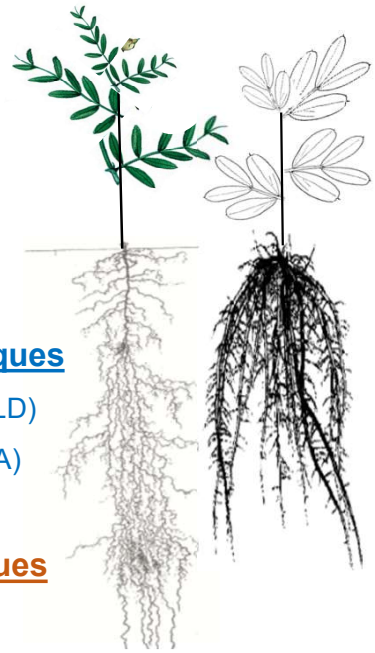
PME activity

Carboxylate release

H^+ release

Stratégie d'acquisition du P

Lynch, 2015;
Nielsen et al., 1998

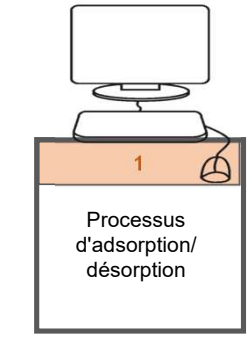


Méthodologie expérimentale

Complexité de la dynamique des OP dans le système sol-plante

P organique

Méthodologie expérimentale



Expériences de sorption

Complexité de la dynamique des OP dans le système sol-plante

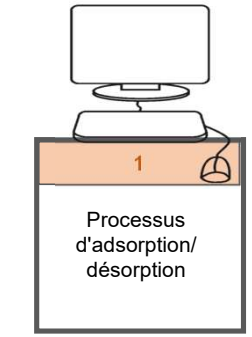
1

Adsorption?

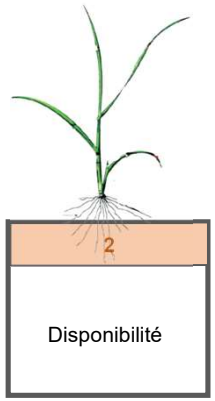
Désorption?

P organique

Méthodologie expérimentale



Expériences de sorption



Rhizotests/ Conditions contrôlées

Complexité de la dynamique des OP dans le système sol-plante

1

Adsorption?

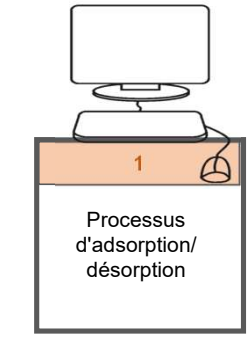
Désorption?

P organique

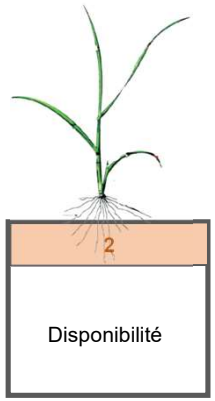
2

Disponibilité ?

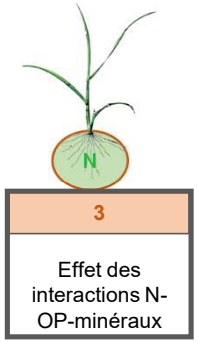
Méthodologie expérimentale



Expériences de sorption



Rhizotests/ Conditions contrôlées



Expérimentation en pots

Complexité de la dynamique des OP dans le système sol-plante

1

Adsorption?

Désorption?

P organique

3

Apports organiques

C N

Impacts des CN ?

2

Disponibilité ?

Méthodologie expérimentale

1
Processus d'adsorption/ désorption

Expériences de sorption

2
Disponibilité

Rhizotests/ Conditions contrôlées

3
Effet des interactions N-OP-minéraux

Expérimentation en pots

4
Impact des stratégies d'acquisition

Rhizoboxes

Complexité de la dynamique des OP dans le système sol-plante

1
Adsorption?

Désorption?

P organique

2
Disponibilité ?

3
Apports organiques

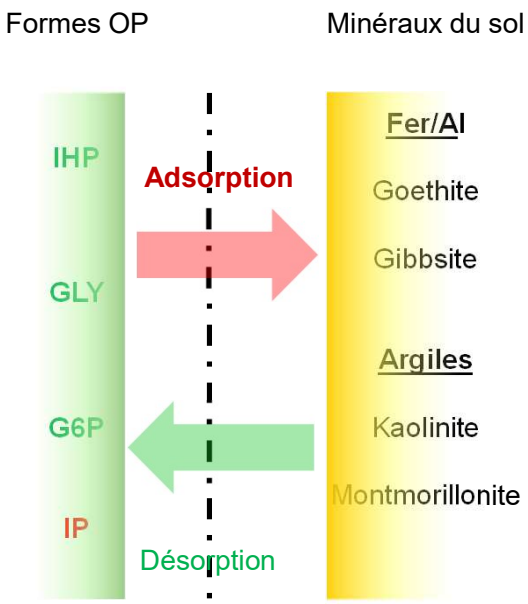
C N

Impacts des CN ?

Effet Stratégies des espèces ?

Traits morphologiques
Root length density (RLD)
Root surface area (RSA)
Fine root (FR)
Traits physiologiques
PME activity
Carboxylate release
H^+ release

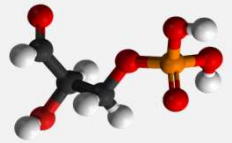
Dynamique d'adsorption/désorption des P organiques



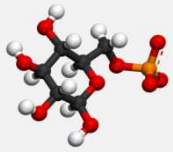
Isothermes d'adsorption/desorption à pH 5,5

Inositol hexakisphosphate (**IHP**)

Glycerol 2-phosphate (**GLY**)

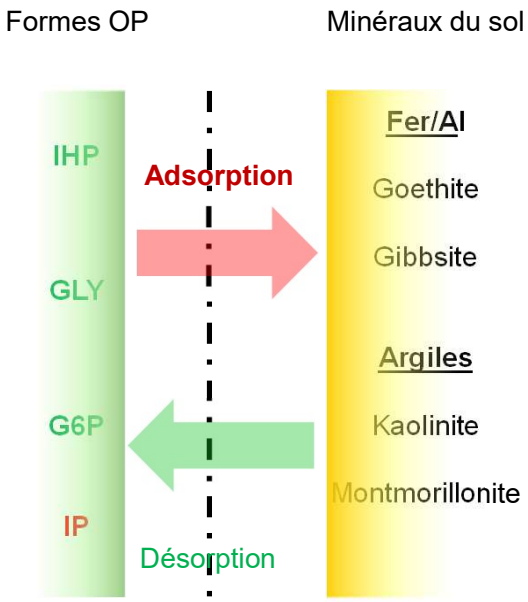


Glucopyranose-6-phosphate(**G6P**)



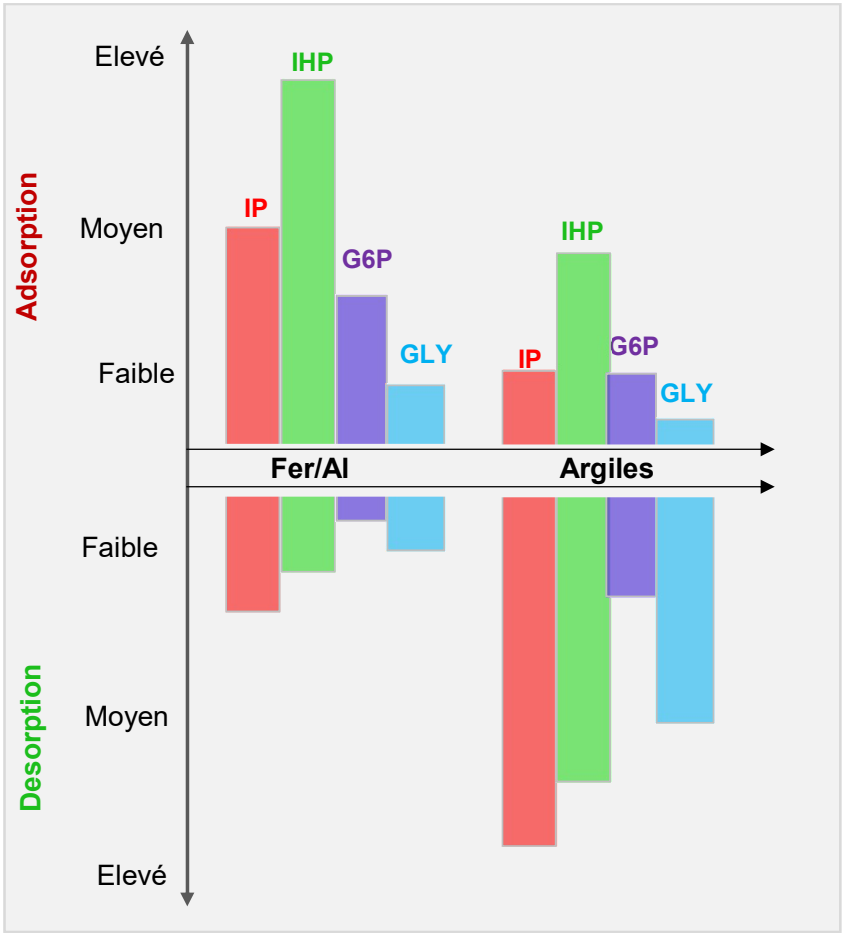
IP

Dynamique d'adsorption/désorption des P organiques

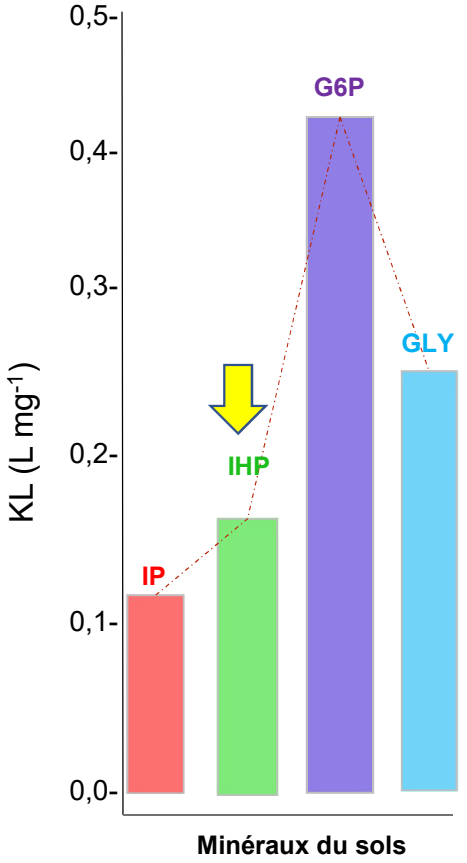


Isothermes d'adsorption/desorption à pH 5,5

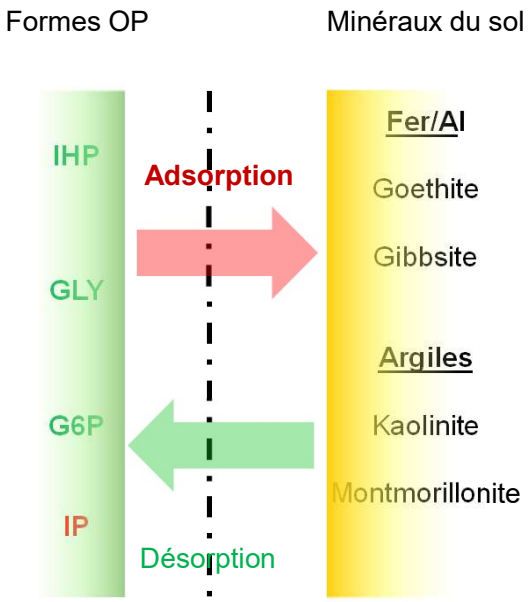
Adsorption/désorption contrastée des P org



Force de liaison P org > IP

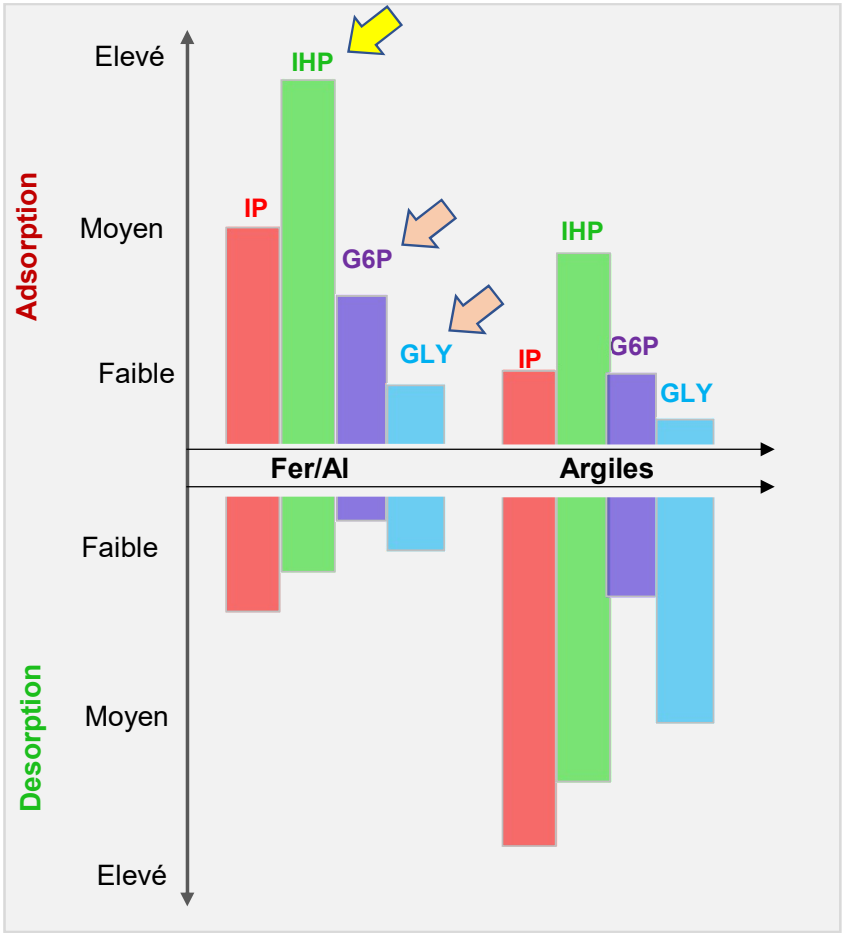


Dynamique d'adsorption/désorption des P organiques

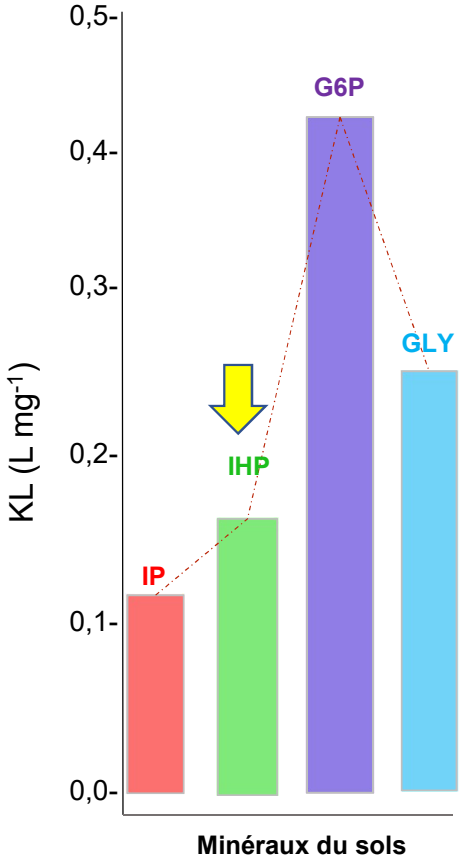


Isothermes d'adsorption/desorption à pH 5,5

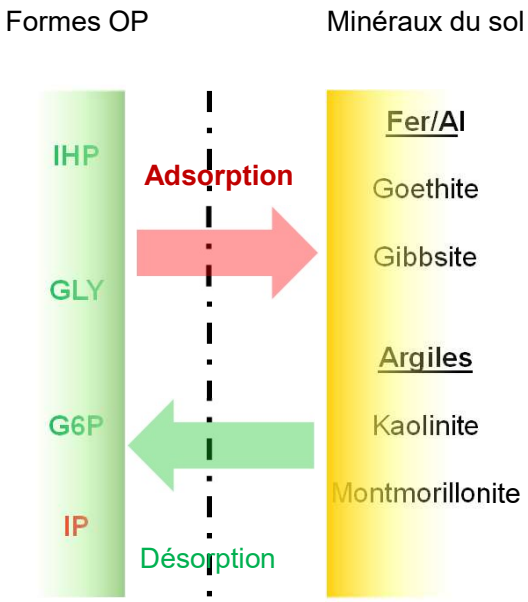
Adsorption/désorption contrastée des P org



Force de liaison P org > IP

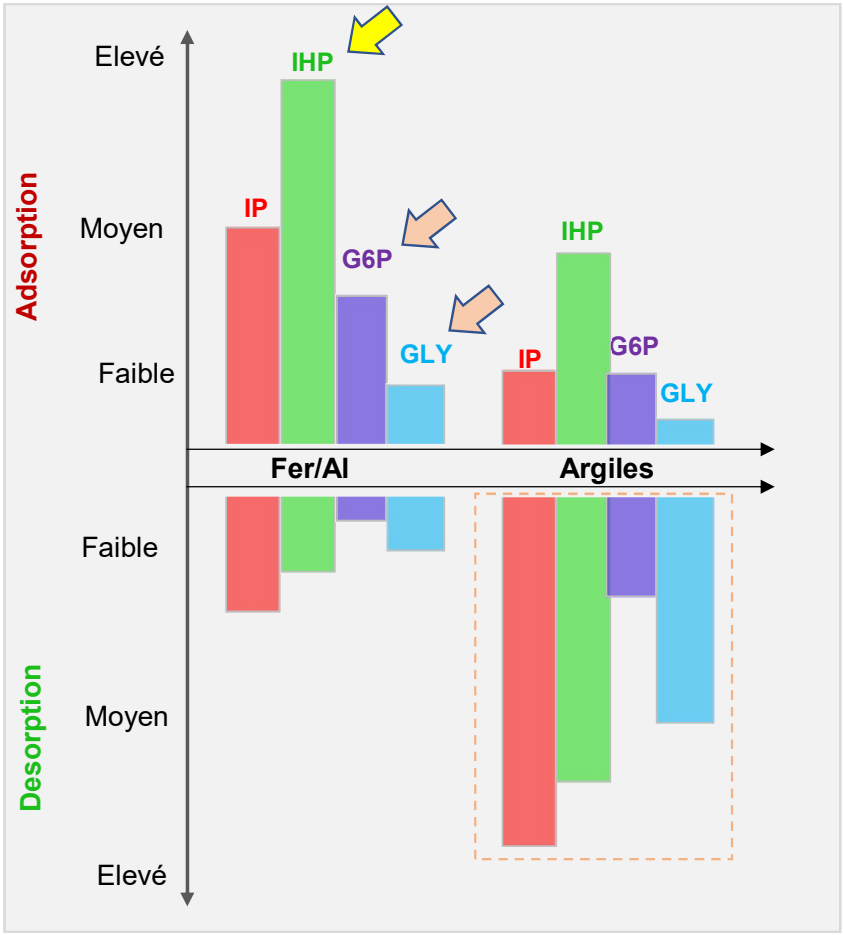


Dynamique d'adsorption/désorption des P organiques

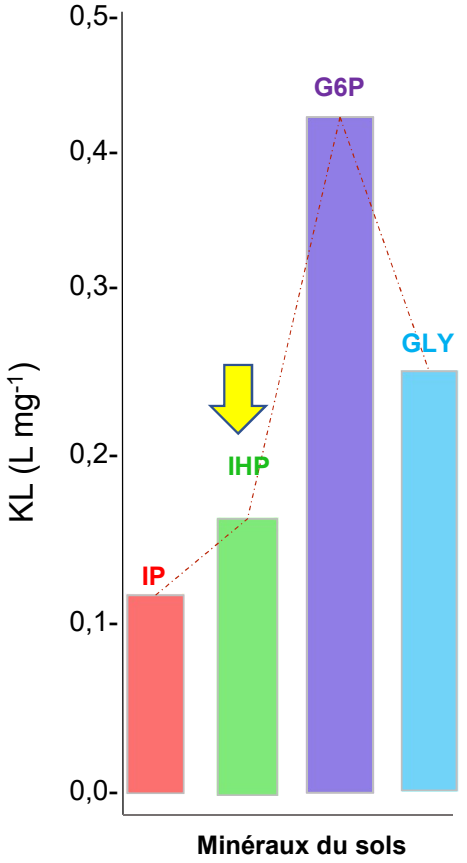


Isothermes d'adsorption/desorption à pH 5,5

Adsorption/désorption contrastée des P org

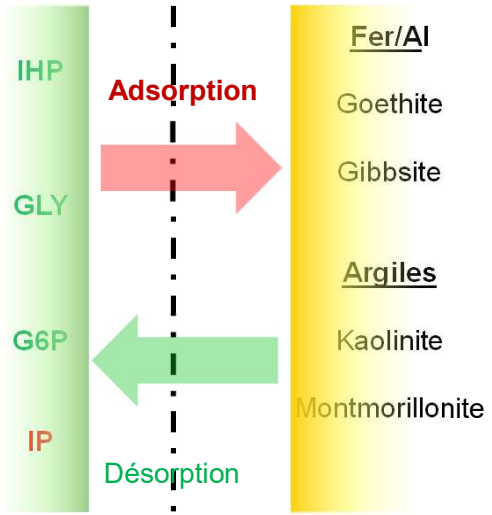


Force de liaison P org > IP



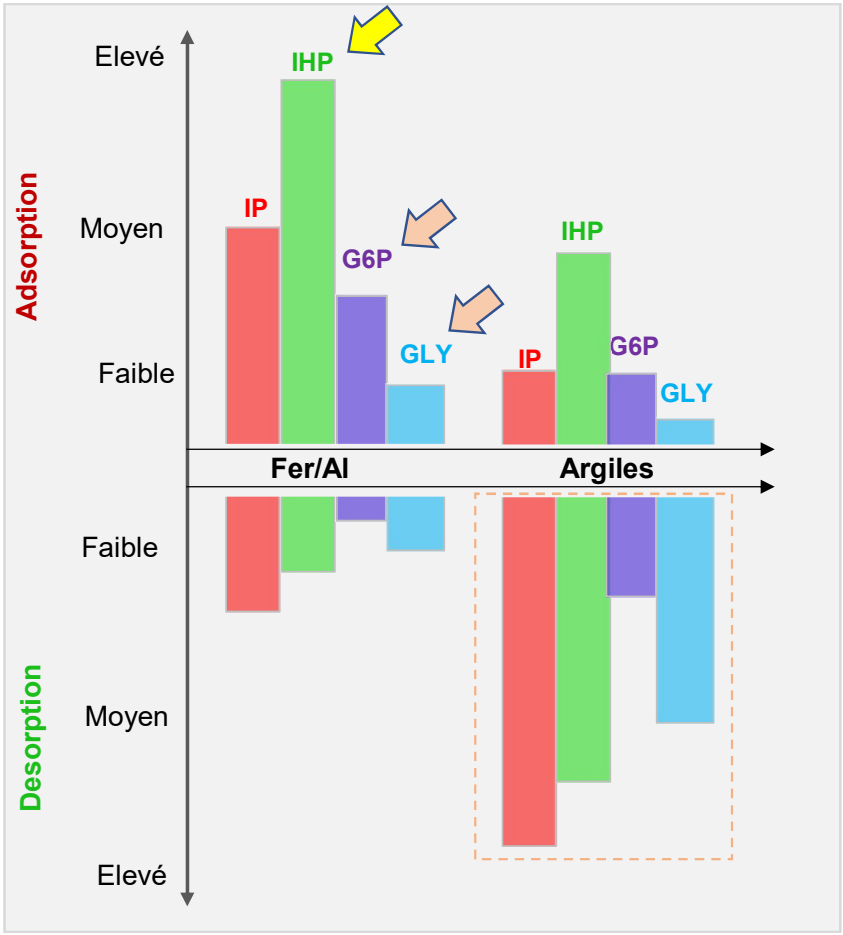
Dynamique d'adsorption/désorption des P organiques

Formes OP | Minéraux du sol

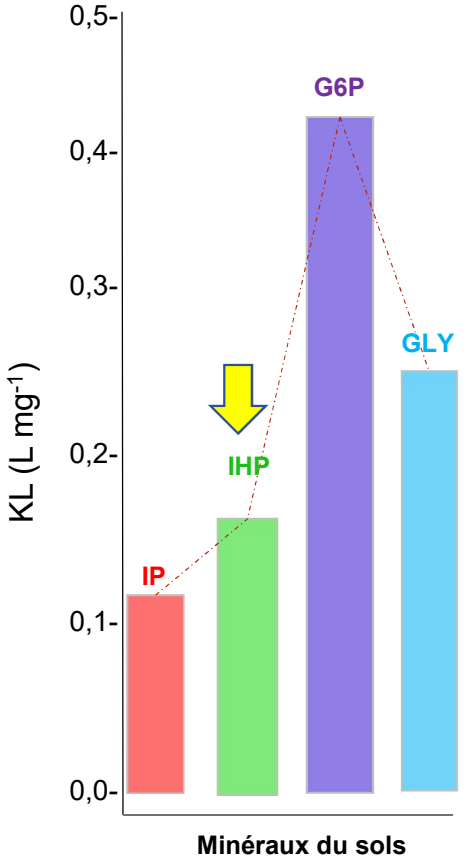


Isothermes d'adsorption/desorption à pH 5,5

Adsorption/désorption contrastée des P org

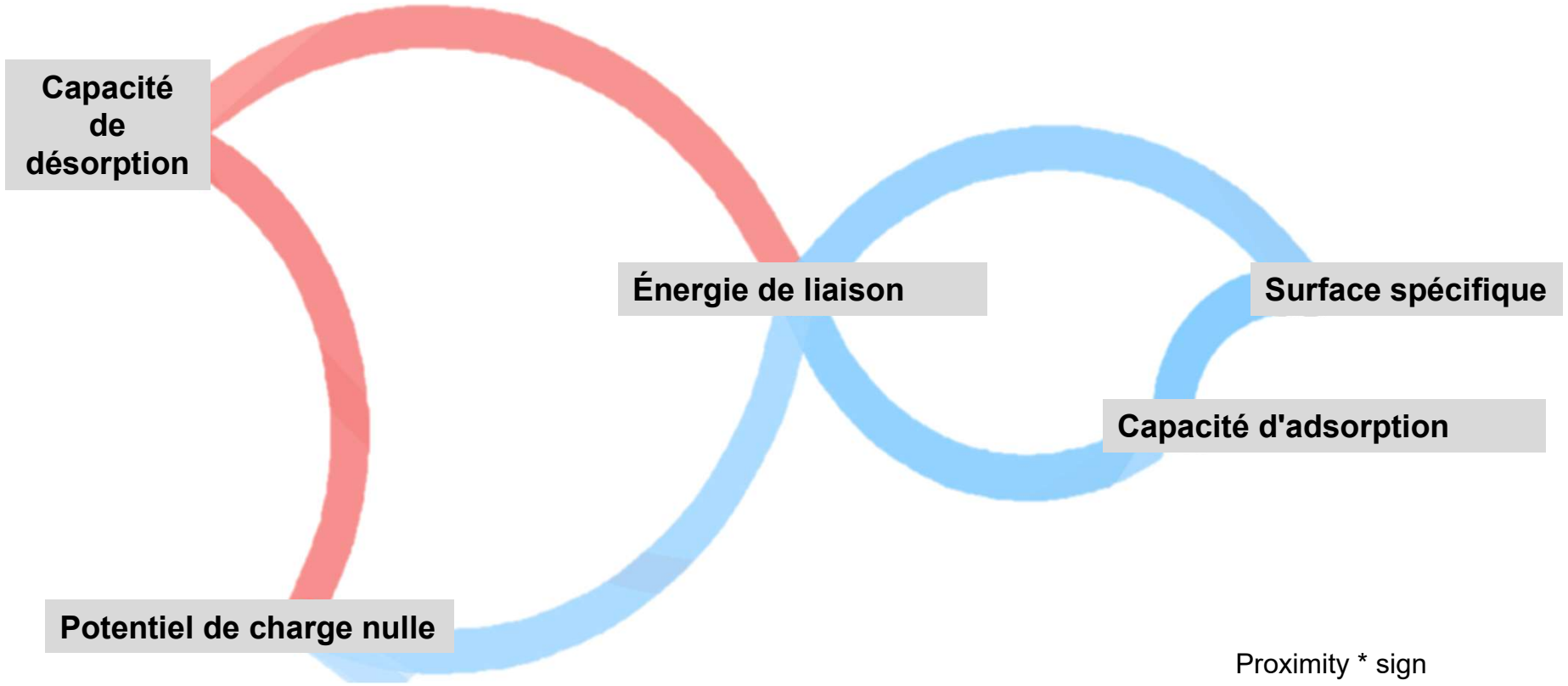


Force de liaison P org > IP



Quelles sont les propriétés impliquées ?

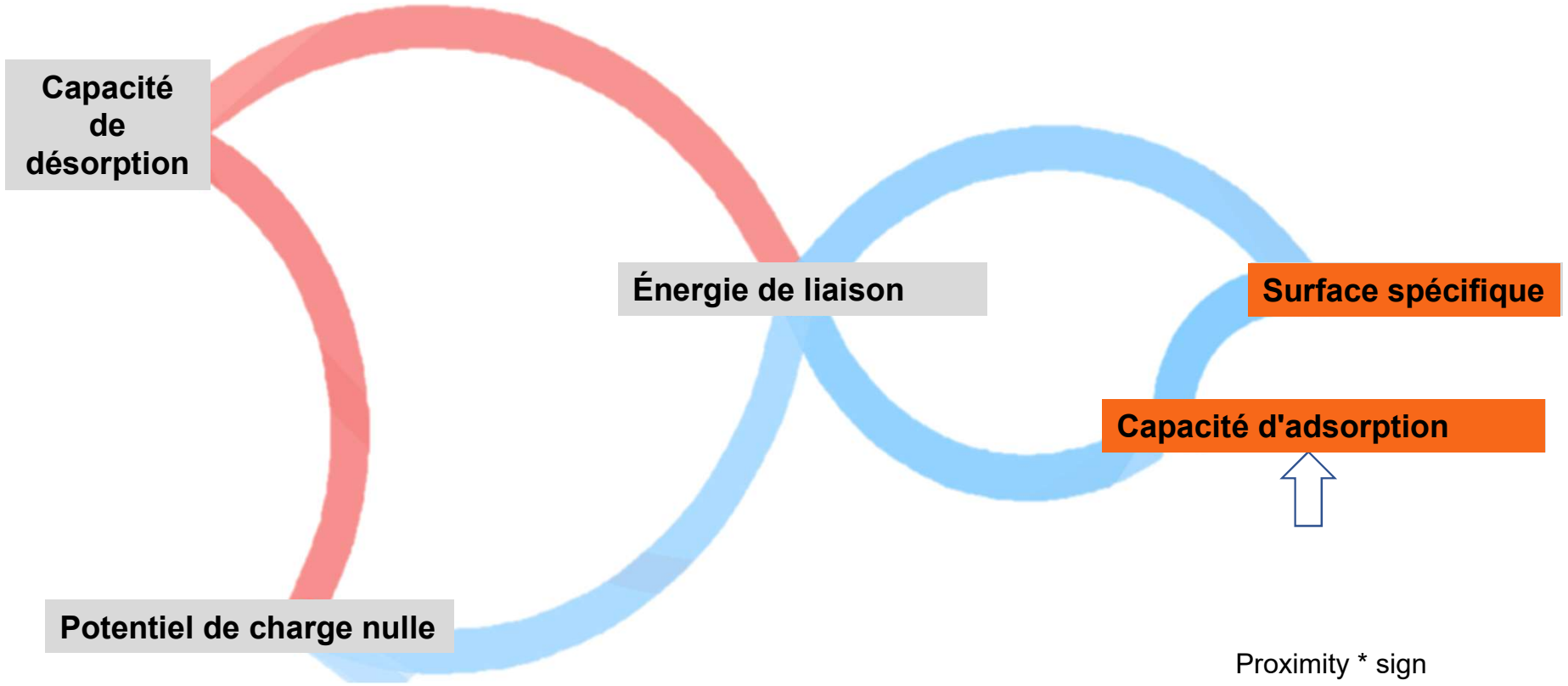
Lien entre les paramètres d'adsorption/désorption



Amadou et al., 2021

Quelles sont les propriétés impliquées ?

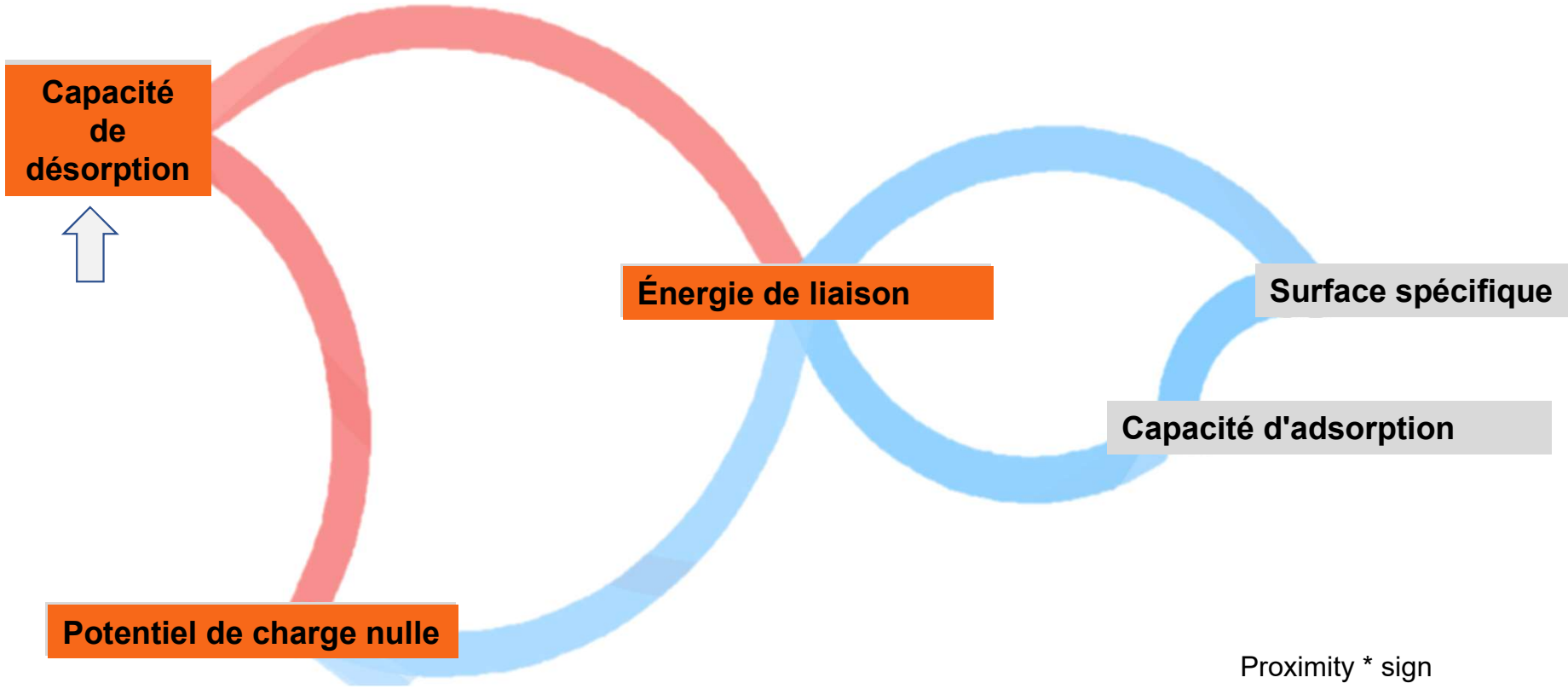
Lien entre les paramètres d'adsorption/désorption



Amadou et al., 2021

Quelles sont les propriétés impliquées ?

Lien entre les paramètres d'adsorption/désorption

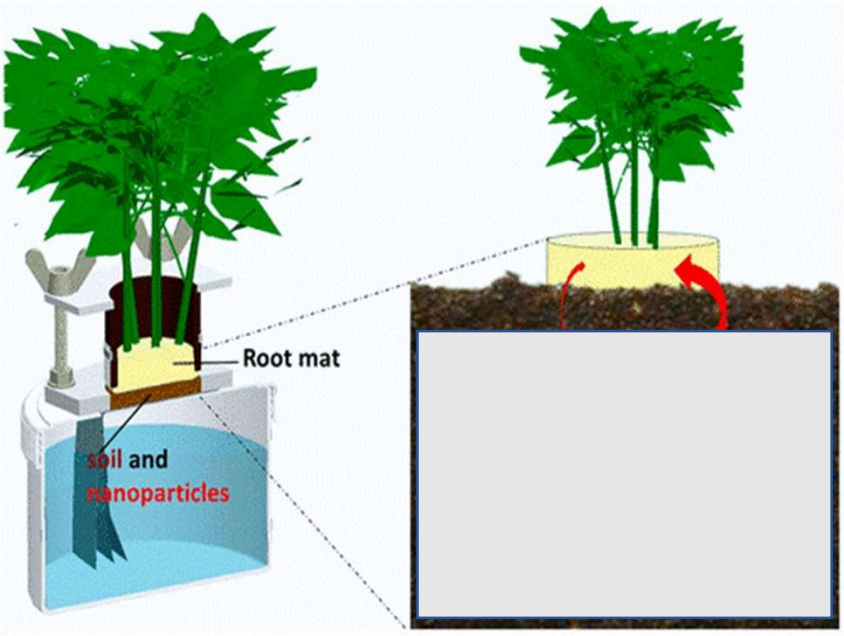


Amadou et al., 2021

Disponibilité des P organiques pour les plantes ?

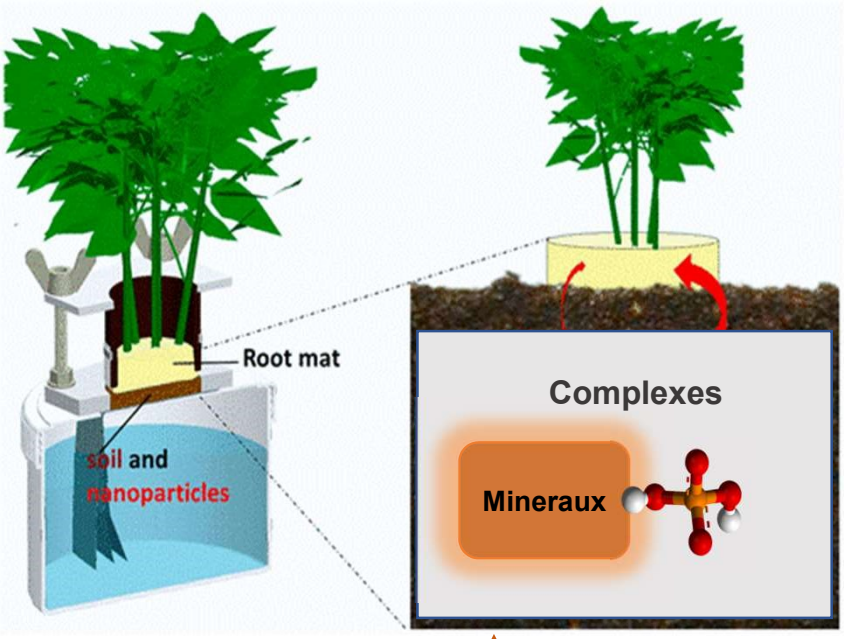
Amadou et al., 2021

Disponibilité des P organiques pour les plantes ?



Amadou et al., 2021

Disponibilité des P organiques pour les plantes ?

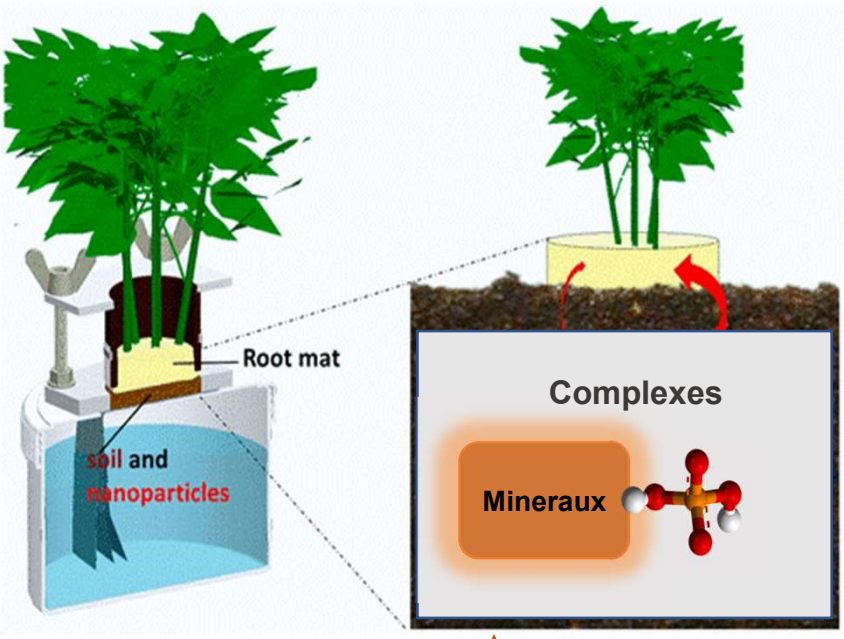


Goethite
Gibbsite
Kaolinite
Montmorillonite

IHP
G6P
GLY
IP

Amadou et al., 2021

Disponibilité des P organiques pour les plantes ?

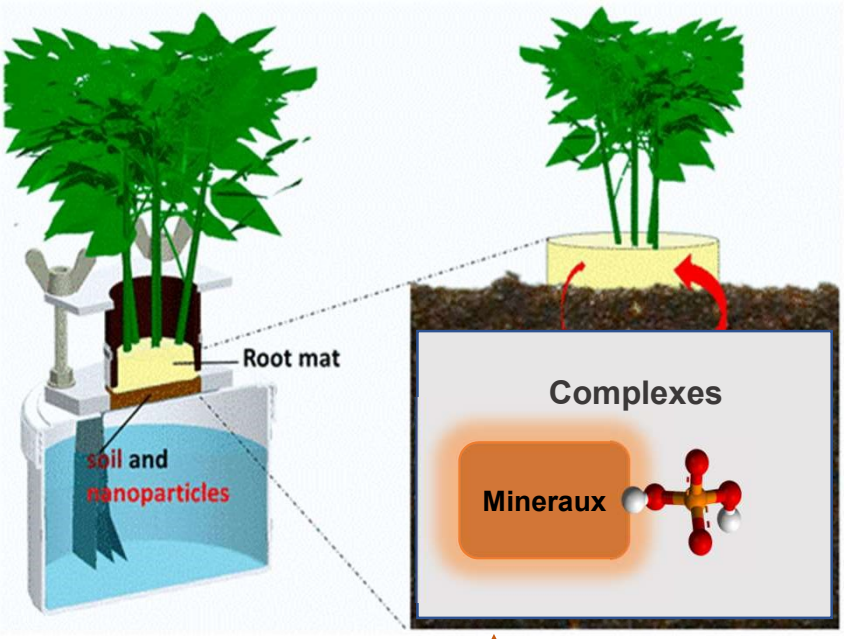


Goethite
Gibbsite
Kaolinite
Montmorillonite

IHP
G6P
GLY
IP

Amadou et al., 2021

Disponibilité des P organiques pour les plantes ?

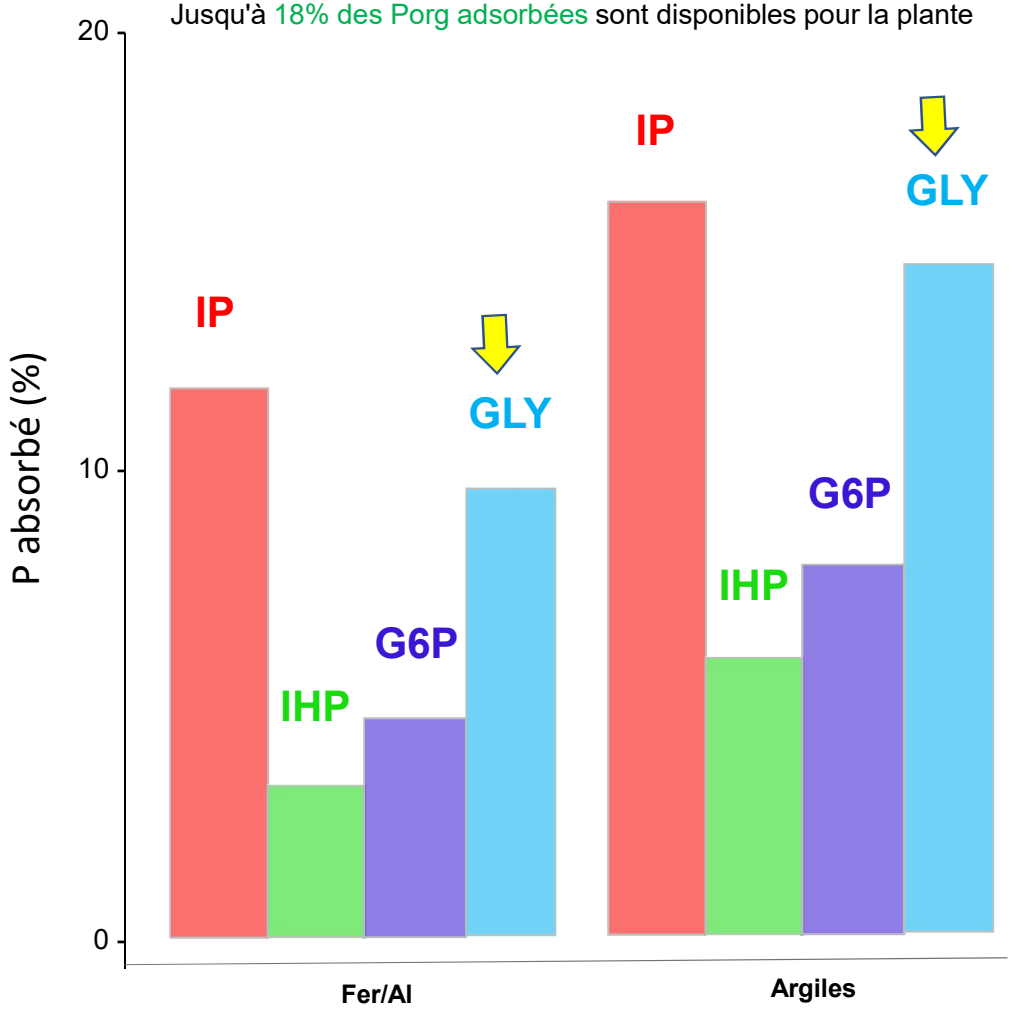


Goethite
Gibbsite
Kaolinite
Montmorillonite

IHP
G6P
GLY
IP

Amadou et al., 2021

Jusqu'à 18% des Porg adsorbées sont disponibles pour la plante



Interaction entre N et P dans la limitation du P dans les agrosystèmes

Effet des interactions sur la limitation de P ? et les conséquences sur la dispo de P ?

Complexes

Goethite

Kaolinite

IHP

IP

GLY

Ammonium (NH_4-N)

Nitrate (NO_3-N)

Interaction entre N et P dans la limitation du P dans les agrosystèmes

Effet des interactions sur la limitation de P ? et les conséquences sur la dispo de P ?

Complexes

Goethite

Kaolinite

IHP

IP

GLY

Ammonium (NH_4-N)

Nitrate (NO_3-N)

3 Interaction entre N et P dans la limitation du P dans les agrosystèmes

Effet des interactions sur la limitation de P ? et les conséquences sur la dispo de P ?

Complexes

IHP — Goethite, Kaolinite — IP

GLY

Ammonium (NH_4-N)

Nitrate (NO_3-N)

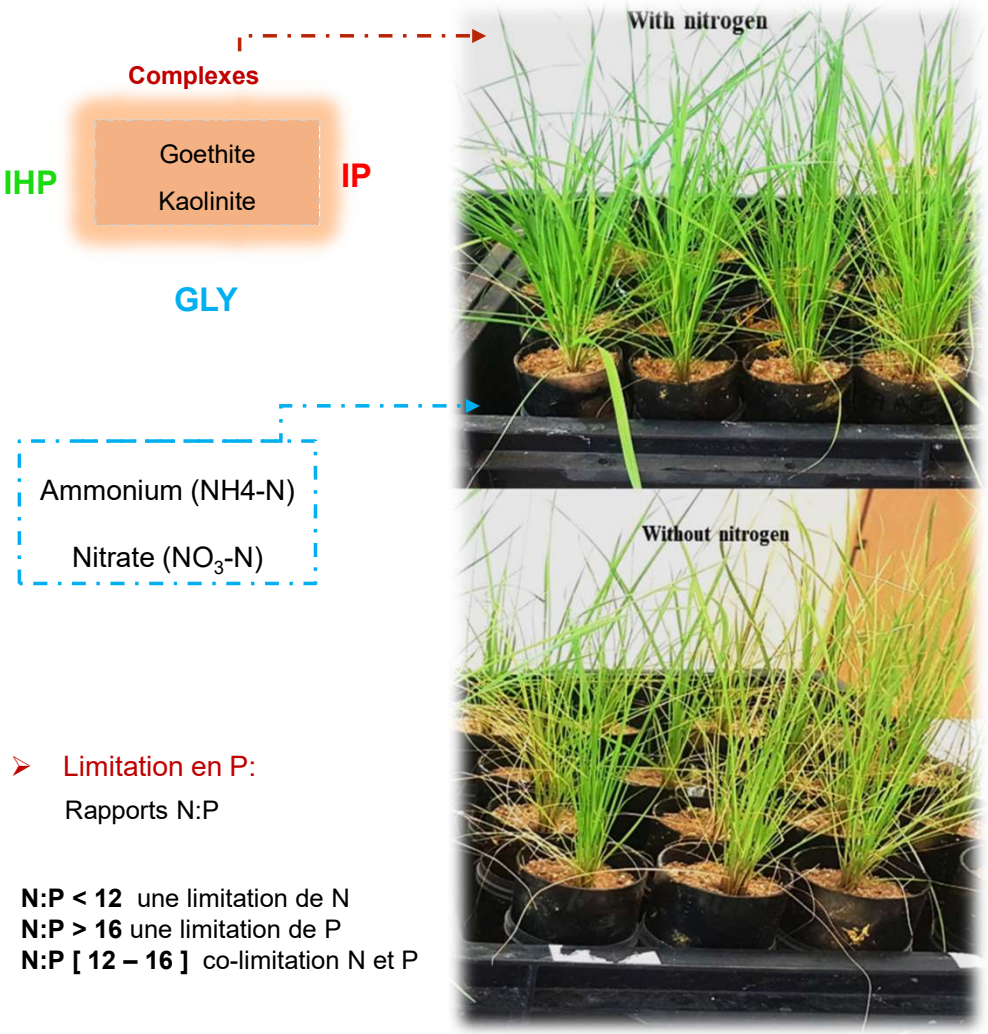
- Limitation en P:

  Rapports N:P

N:P < 12 une limitation de N
N:P > 16 une limitation de P
N:P [12 – 16] co-limitation N et P

Interaction entre N et P dans la limitation du P dans les agrosystèmes

Effet des interactions sur la limitation de P ? et les conséquences sur la dispo de P ?

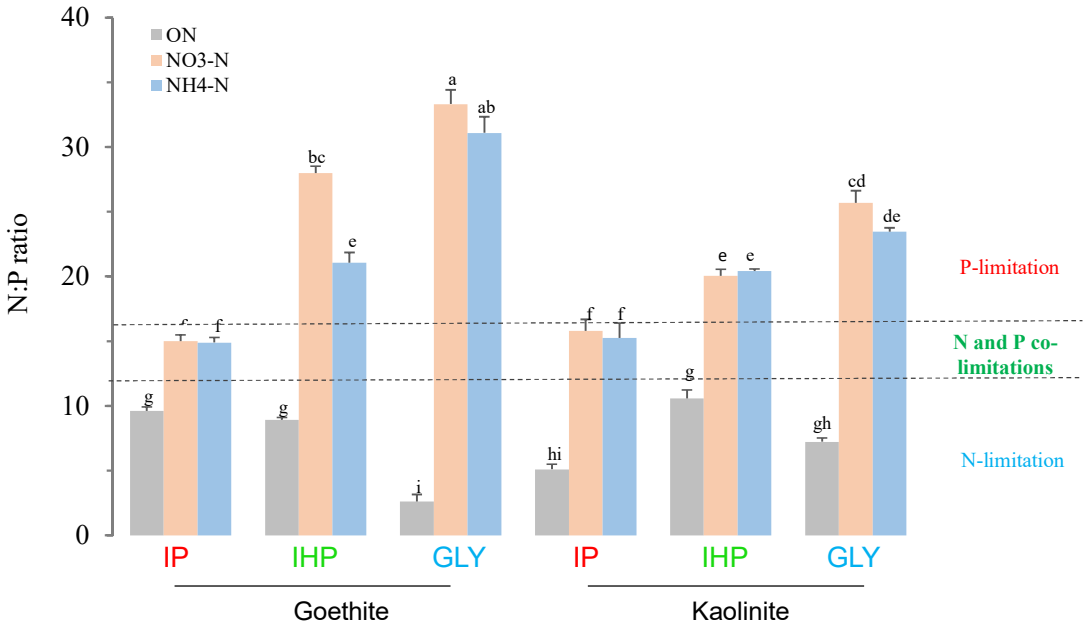


➢ Limitation en P:

Rapports N:P

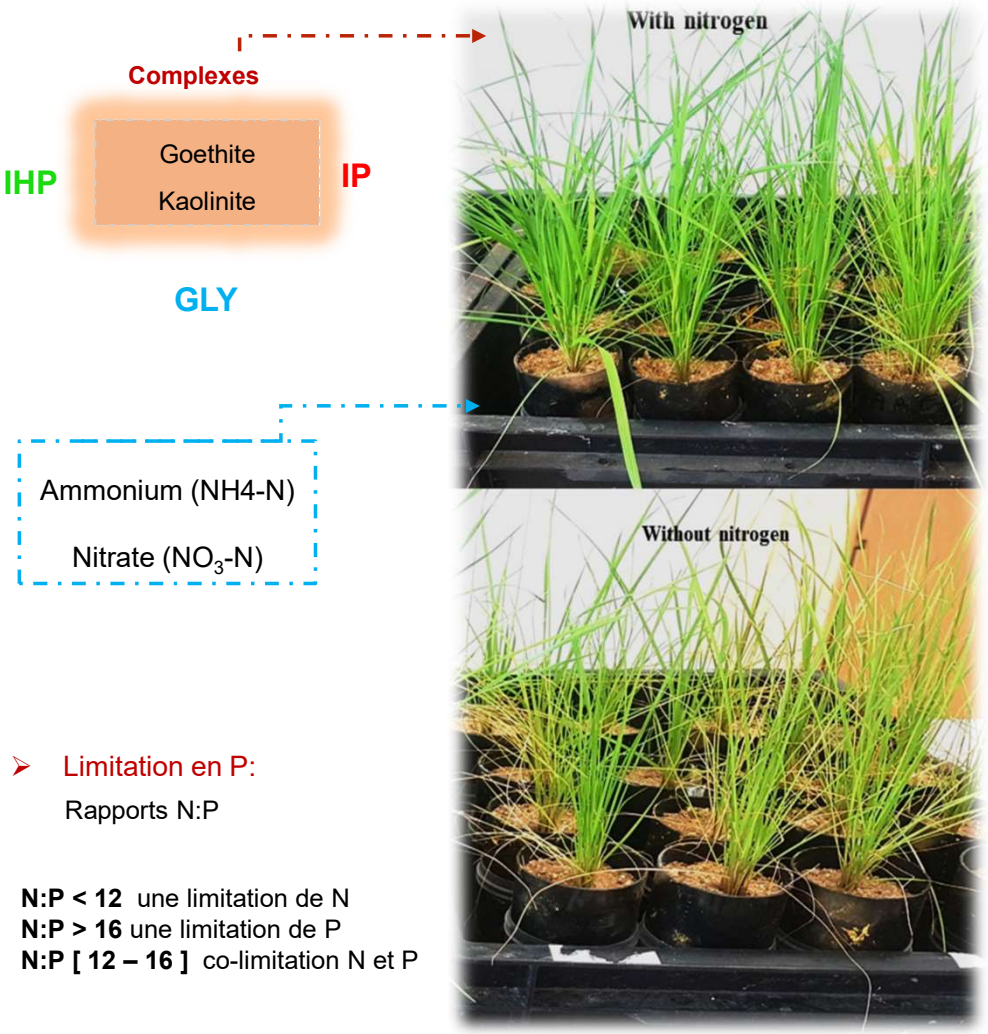
N:P < 12 une limitation de N
N:P > 16 une limitation de P
N:P [12 – 16] co-limitation N et P

La nature de P détermine le degré de limitation.



3 Interaction entre N et P dans la limitation du P dans les agrosystèmes

Effet des interactions sur la limitation de P ? et les conséquences sur la dispo de P ?

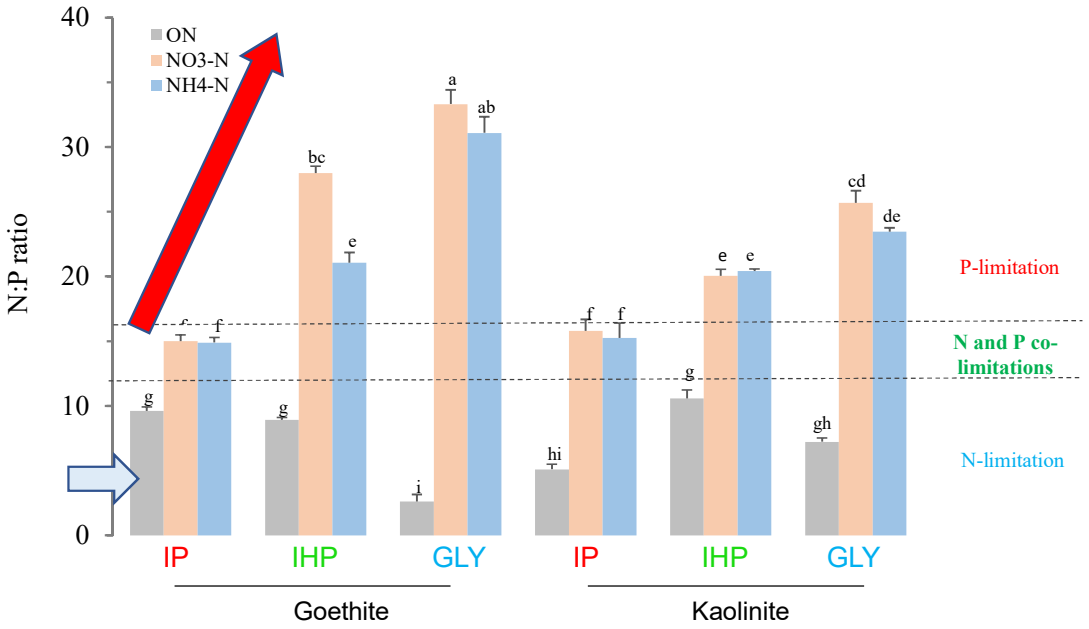


➢ Limitation en P:

Rapports N:P

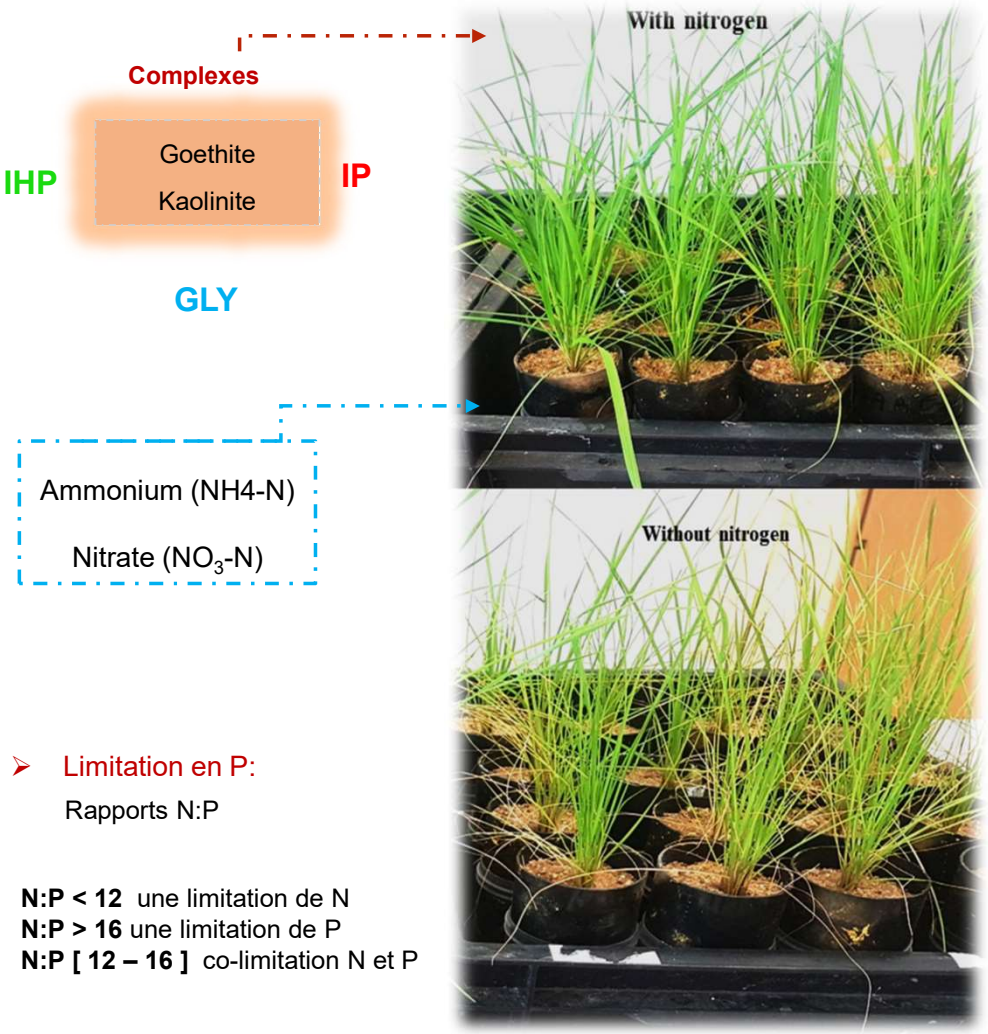
N:P < 12 une limitation de N
N:P > 16 une limitation de P
N:P [12 – 16] co-limitation N et P

La nature de P détermine le degré de limitation.



Interaction entre N et P dans la limitation du P dans les agrosystèmes

Effet des interactions sur la limitation de P ? et les conséquences sur la dispo de P ?

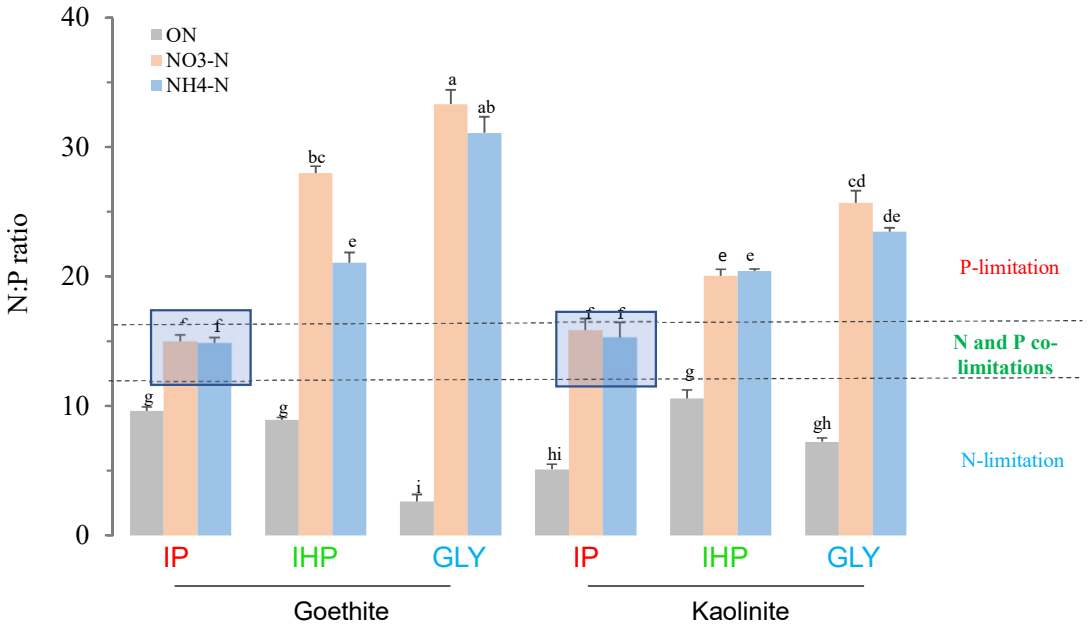


➢ Limitation en P:

Rapports N:P

N:P < 12 une limitation de N
N:P > 16 une limitation de P
N:P [12 – 16] co-limitation N et P

La nature de P détermine le degré de limitation.



3 Interaction entre N et P dans la limitation du P dans les agrosystèmes

Effet des interactions sur la limitation de P ? et les conséquences sur la dispo de P ?

Complexes

IHP — Goethite / Kaolinite — IP

GLY

Ammonium (NH_4-N)

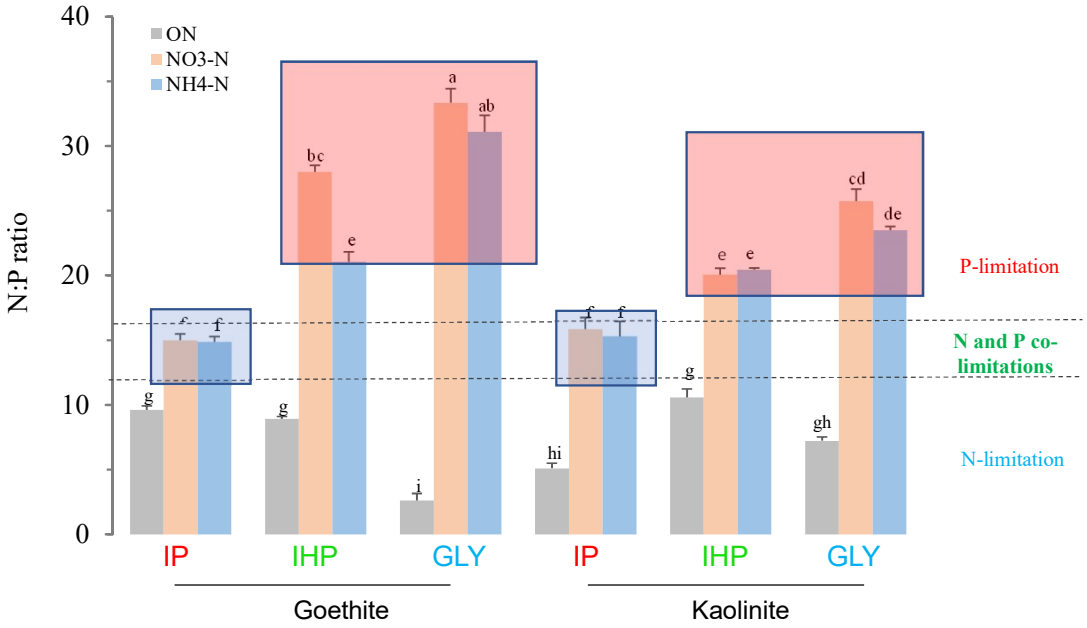
Nitrate (NO_3-N)

➢ Limitation en P:

Rapports N:P

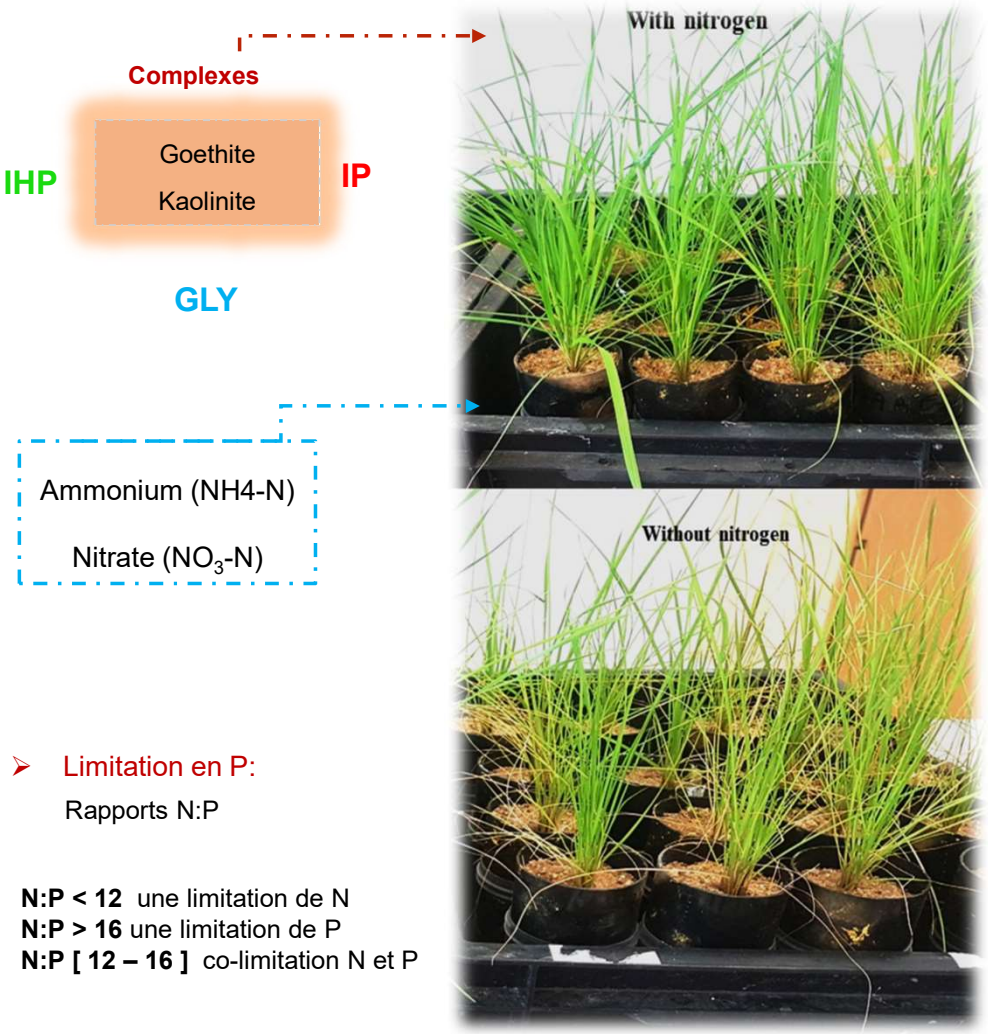
N:P < 12 une limitation de N
N:P > 16 une limitation de P
N:P [12 – 16] co-limitation N et P

La nature de P détermine le degré de limitation.



Interaction entre N et P dans la limitation du P dans les agrosystèmes

Effet des interactions sur la limitation de P ? et les conséquences sur la dispo de P ?

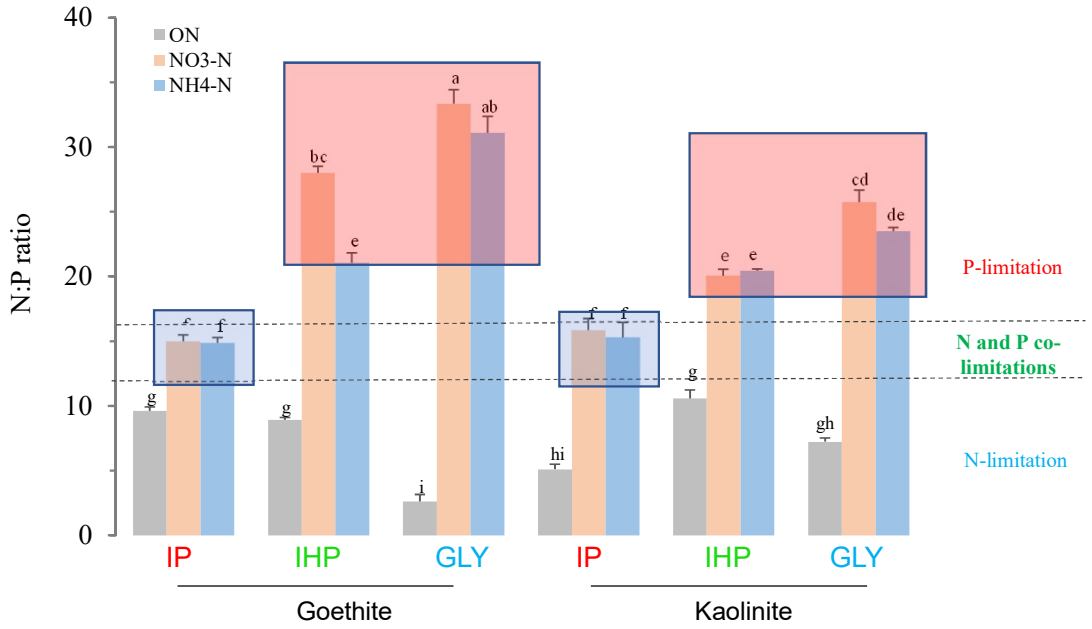


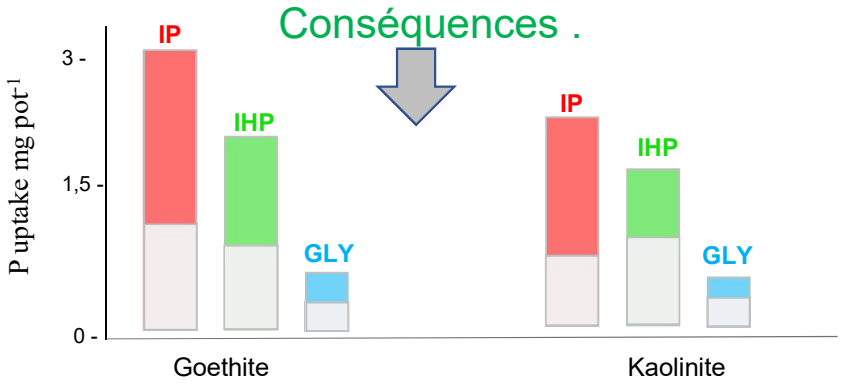
➢ Limitation en P:

Rapports N:P

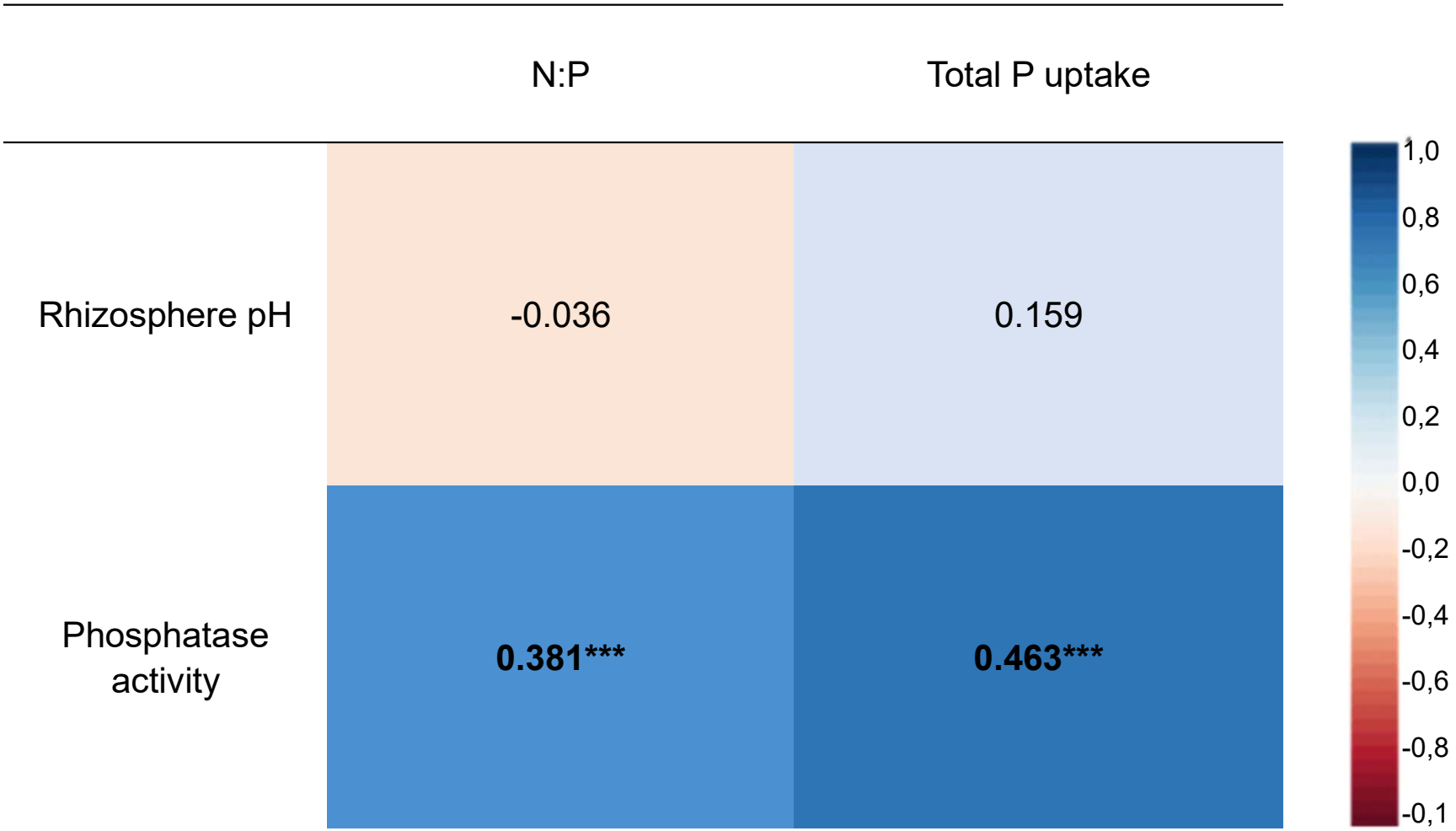
N:P < 12 une limitation de N
N:P > 16 une limitation de P
N:P [12 – 16] co-limitation N et P

La nature de P détermine le degré de limitation.

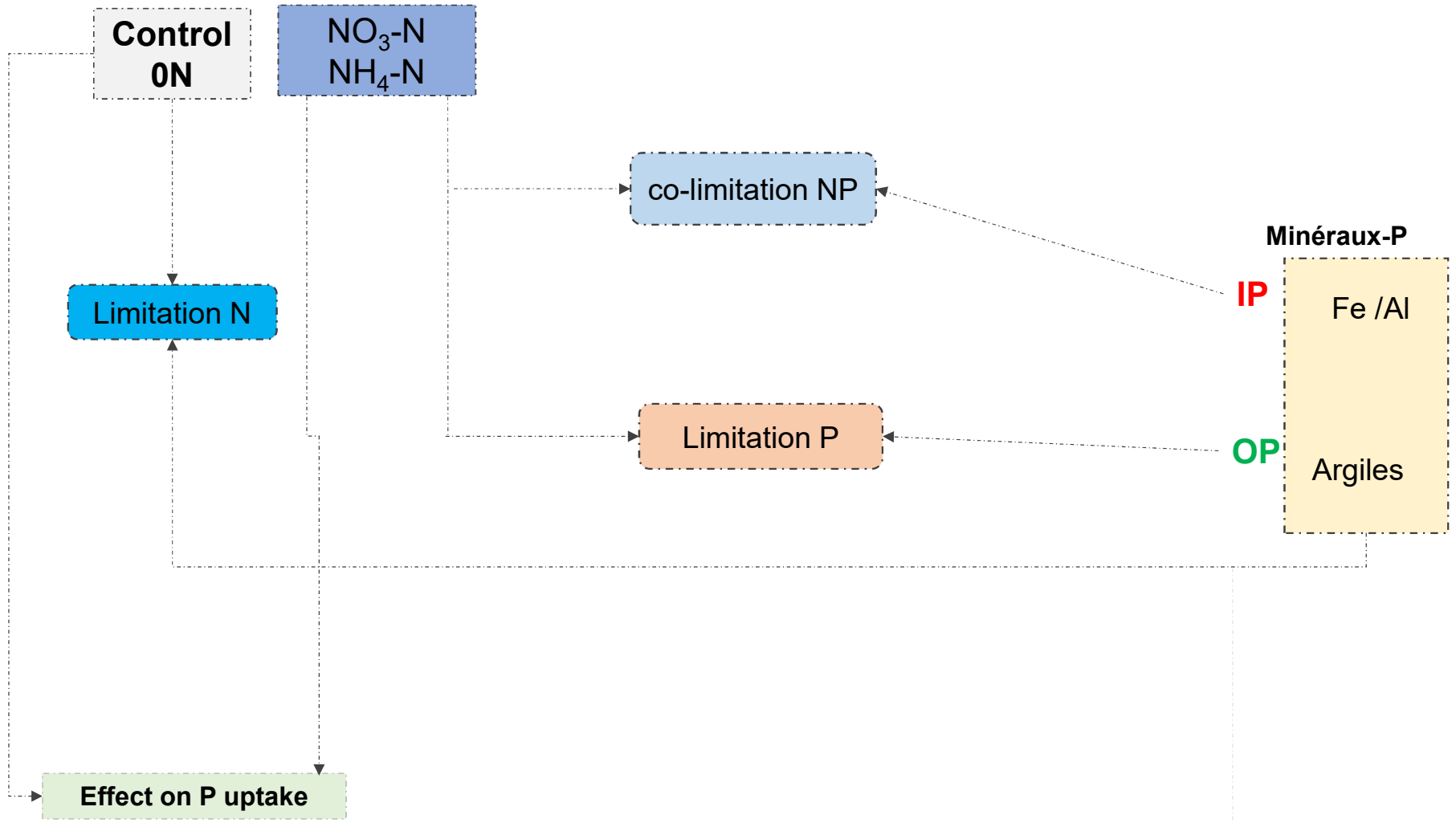




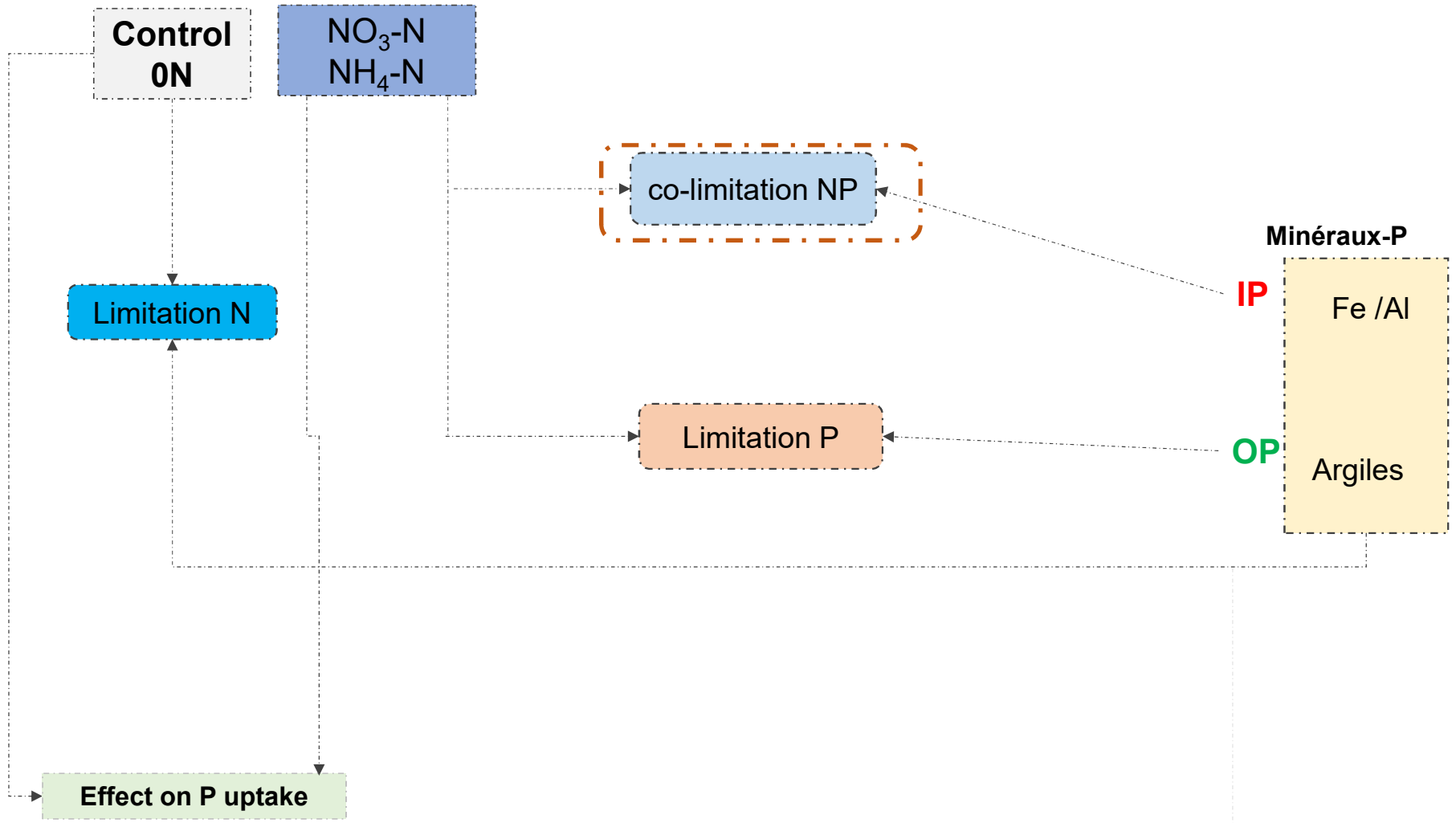
Qu'est-ce qui fait varier le rapport N:P ?



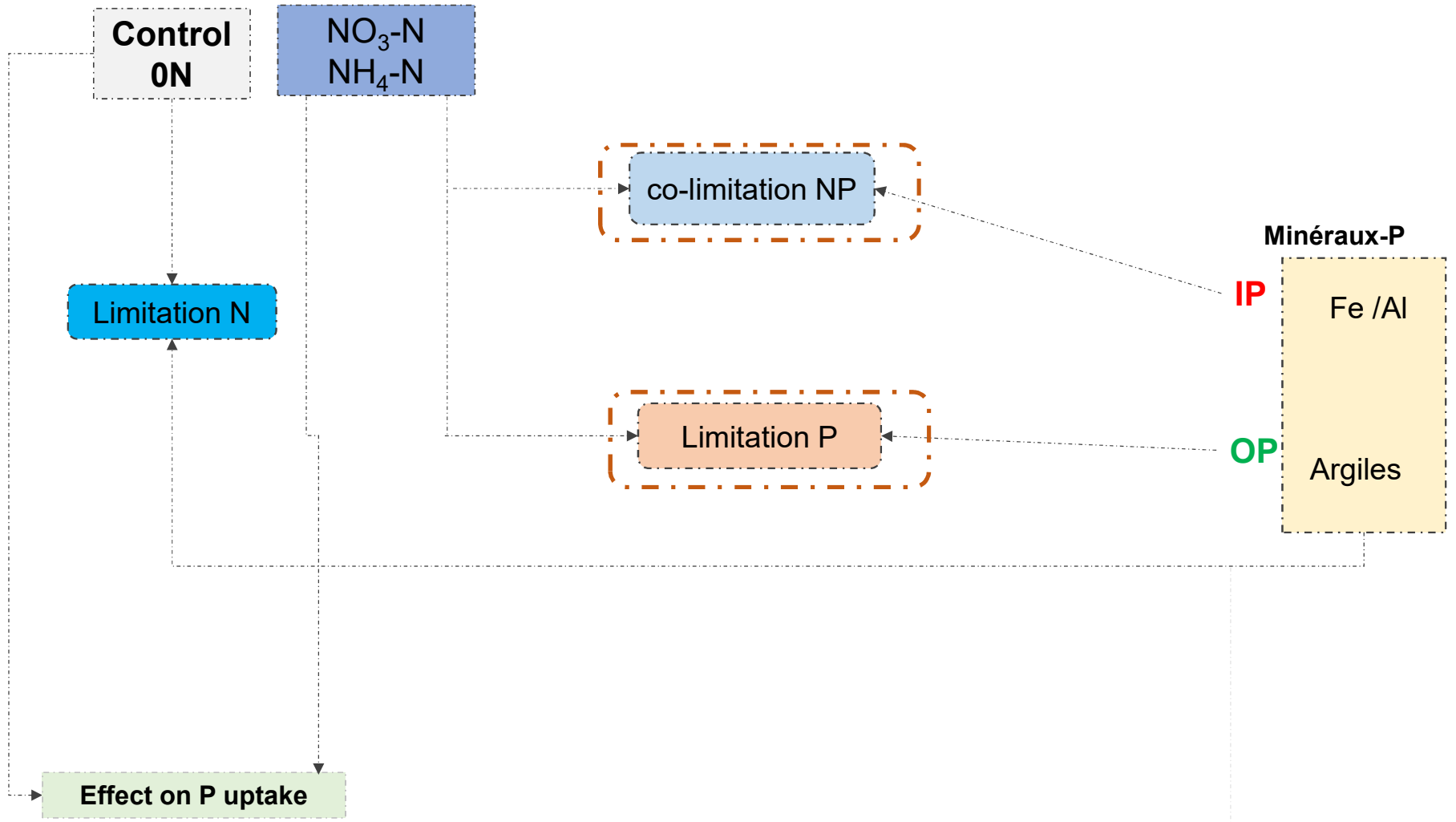
3 Les interactions N-P-minéraux déterminent l'absorption et la limitation du P



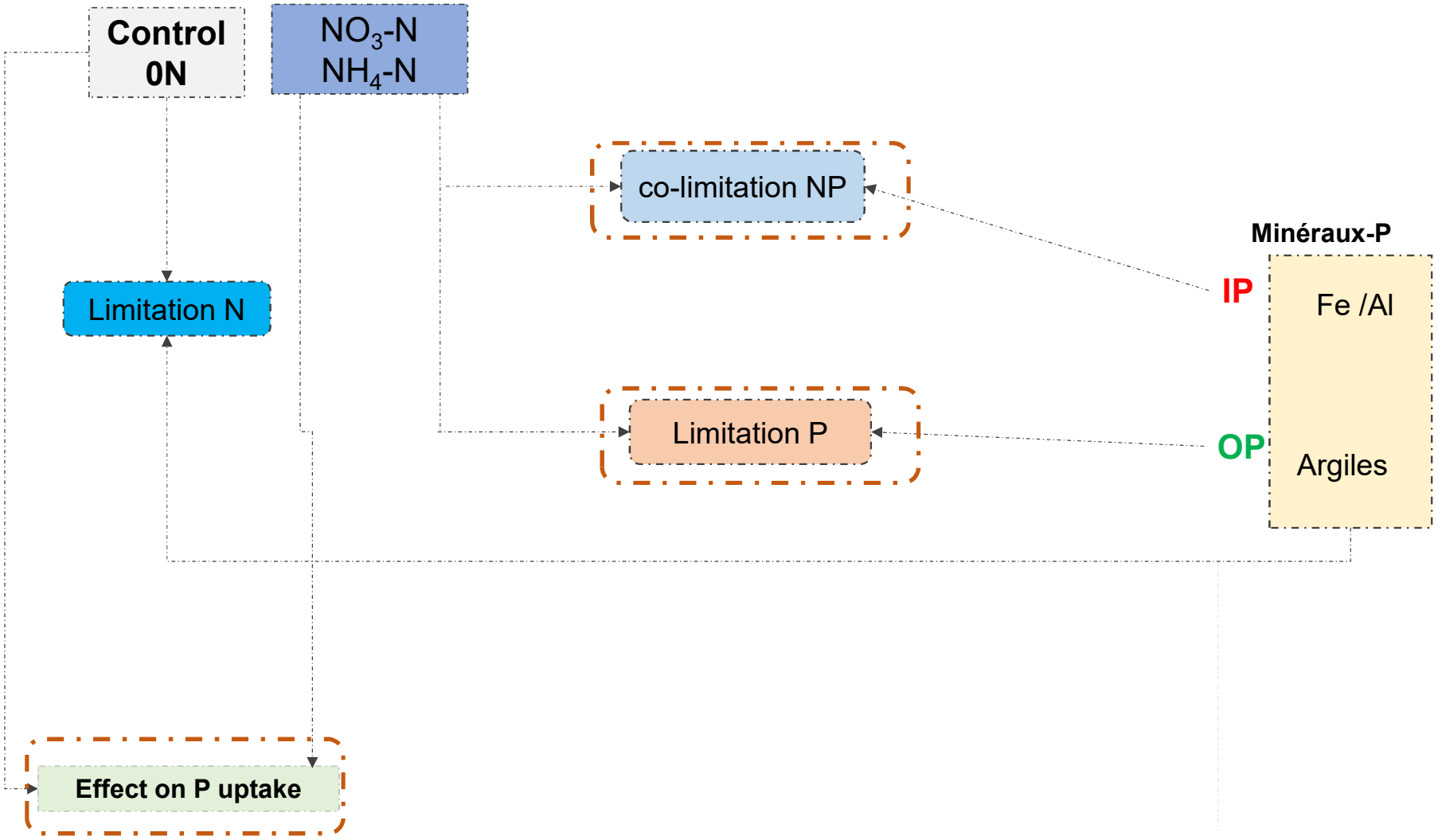
3 Les interactions N-P-minéraux déterminent l'absorption et la limitation du P



3 Les interactions N-P-minéraux déterminent l'absorption et la limitation du P

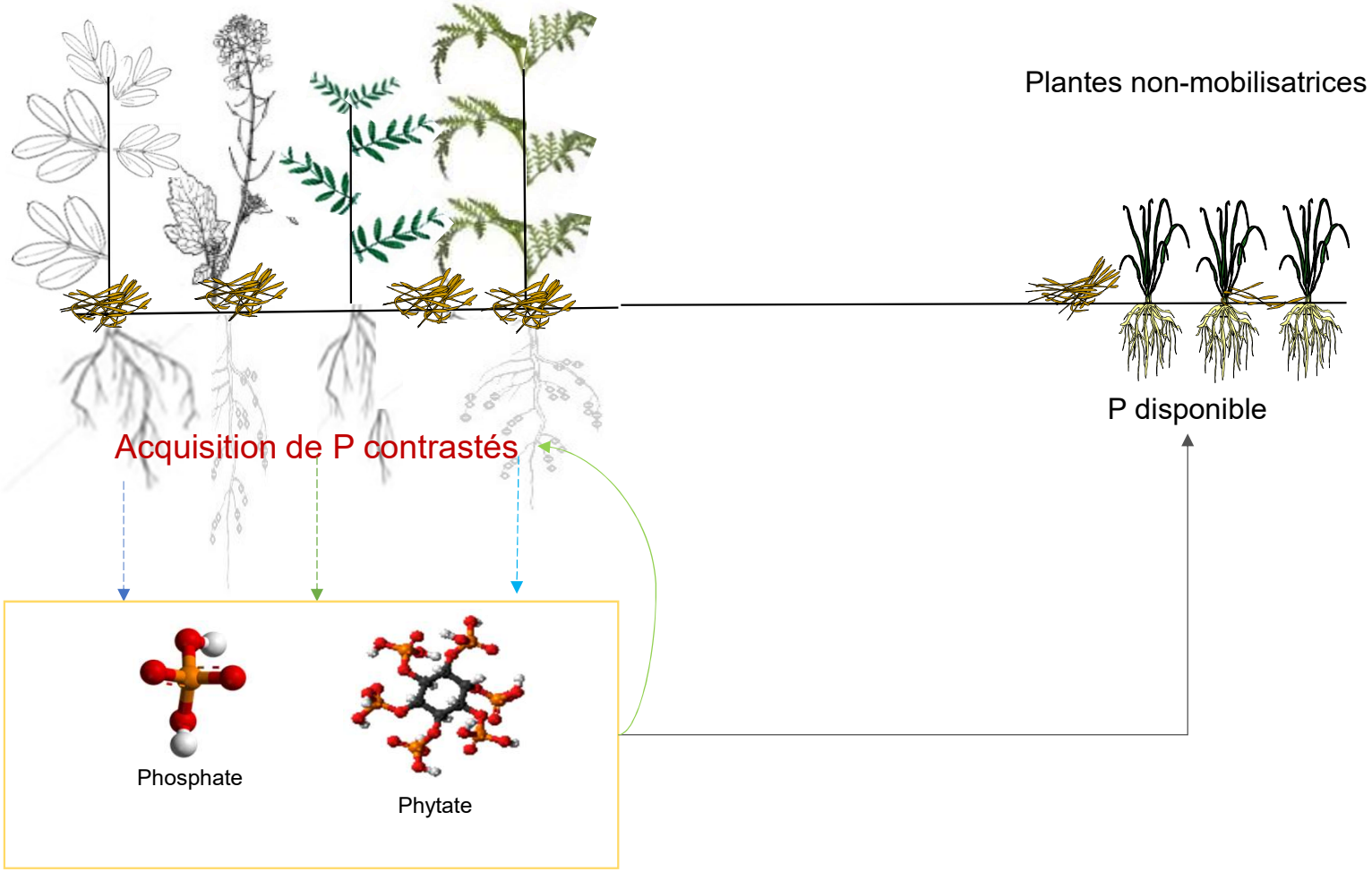


3 Les interactions N-P-minéraux déterminent l'absorption et la limitation du P



Influence des stratégies d'acquisition du P des espèces sur la disponibilité du P

Diversité d'espèces et de stratégies



4 Réponse et conséquences des stratégies des espèces sur la dynamique de P

Une diversité d'espèces pour des stratégies d'acquisition de P contrastés

Fabaceae → **Stratégie d'extraction**

Pisum sativum

Lens culinaris

Trifolium alexandrinum

Vicia faba

Lupinus albus

Stratégies présumées

Poaceae → **Stratégie exploratrice**

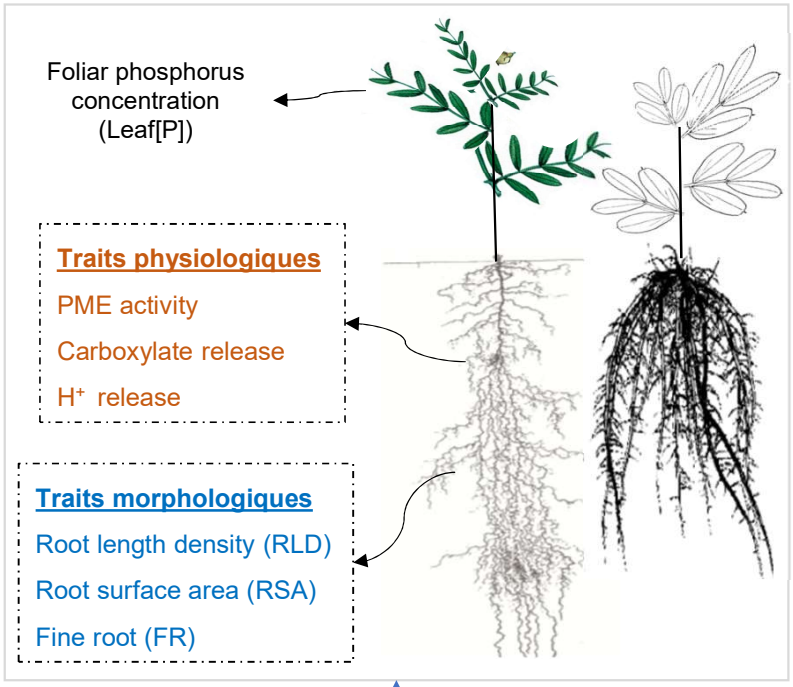
Lolium perenne

Hordeum vulgare

Hydrophyllaceae

Phacelia tanacetifolia

Mesure des traits d'acquisition du P



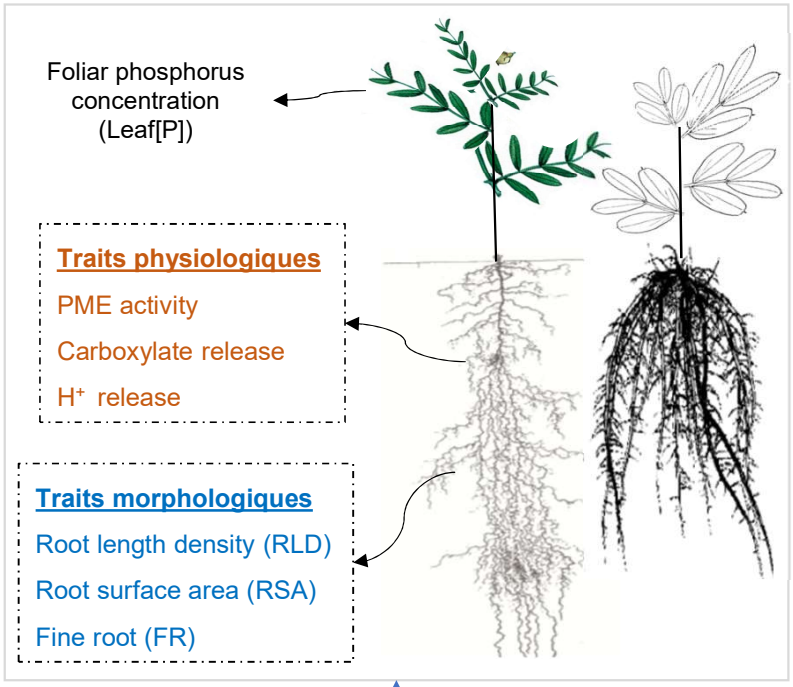
Complexes

IHP — Goethite, Kaolinite — IP

GLY

Réponse et conséquences des stratégies des espèces sur la dynamique de P

Mesure des traits d'acquisition du P



Complexes

IHP — Goethite, Kaolinite — IP

GLY

Strategie d'exploration

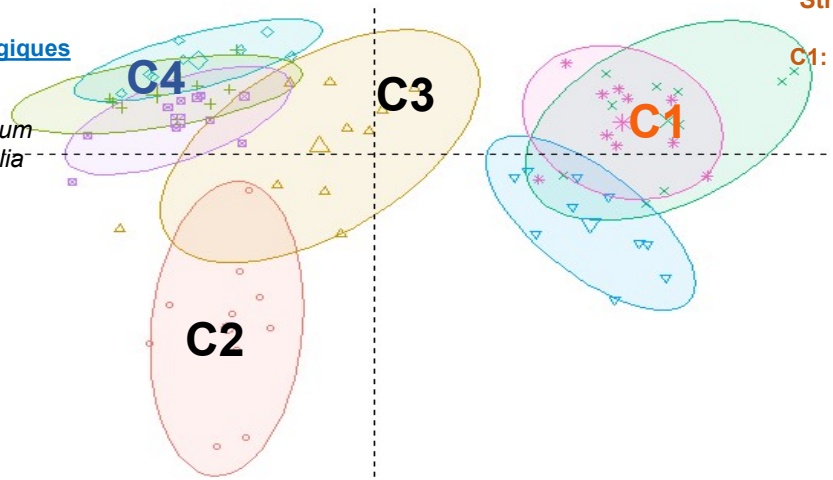
C4: Traits morphologiques

Lolium perenne
Trifolium alexandrinum
Phacelia tanacetifolia

Strategies d'extraction

C1: Traits physiologiques

Vicia faba,
Pisum sativum,
Lupinus albus



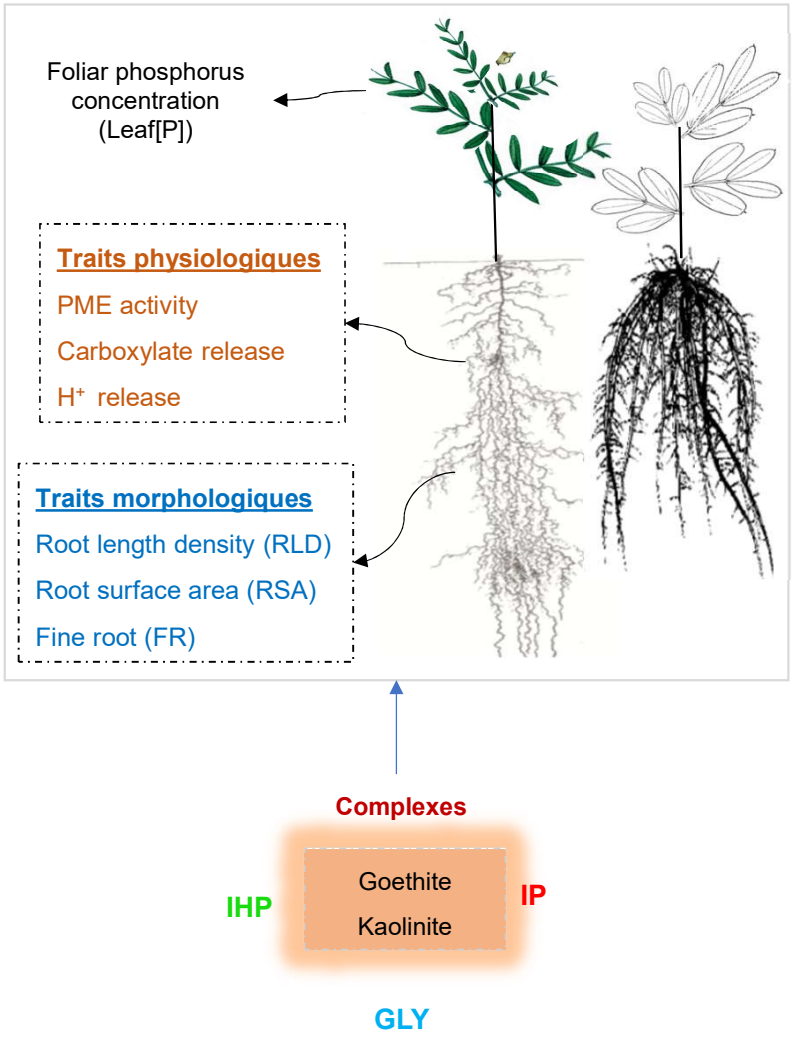
Strategies intermediaire

C2/C3

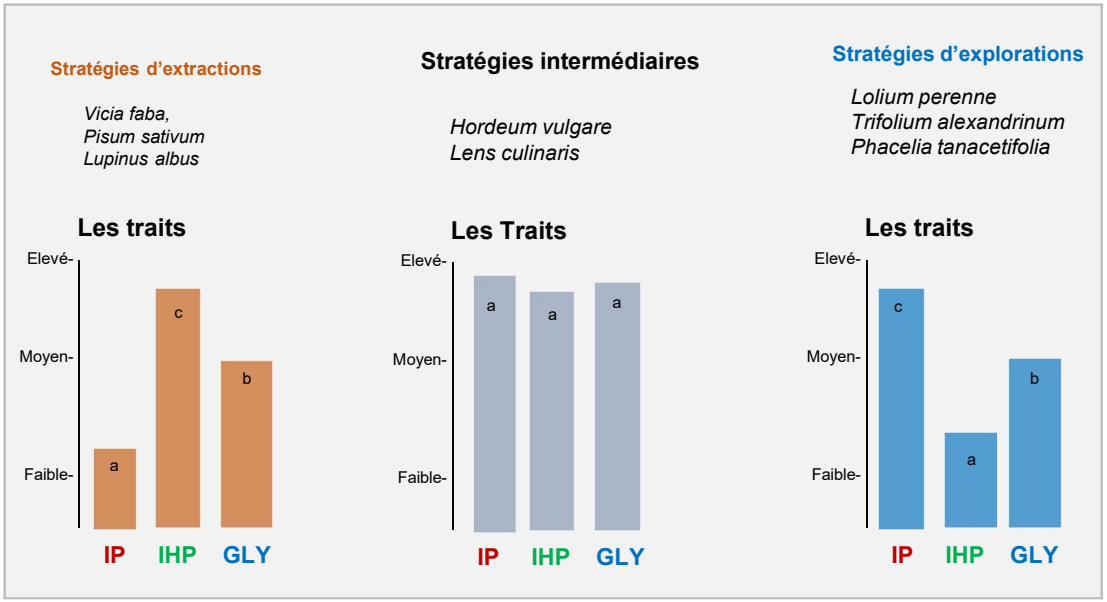
Hordeum vulgare
Lens culinaris

4 Réponse et conséquences des stratégies des espèces sur la dynamique de P

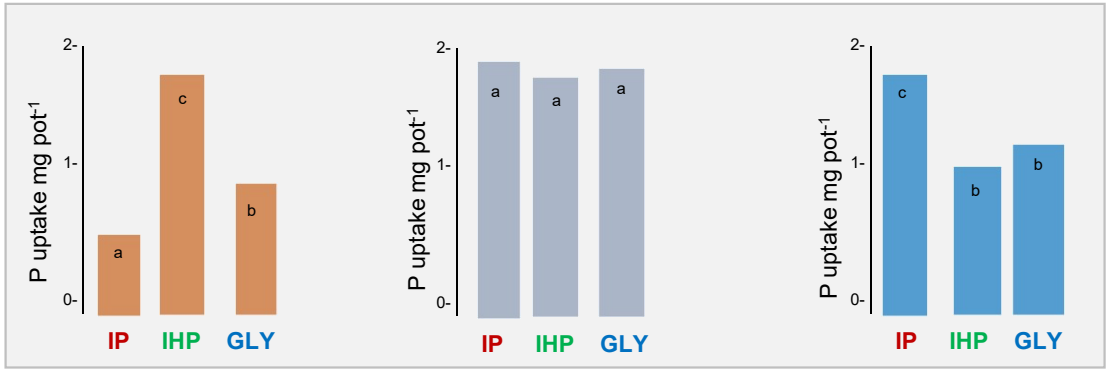
Mesure des traits d'acquisition du P



Quelle est la réponse des traits d'acquisition P ?

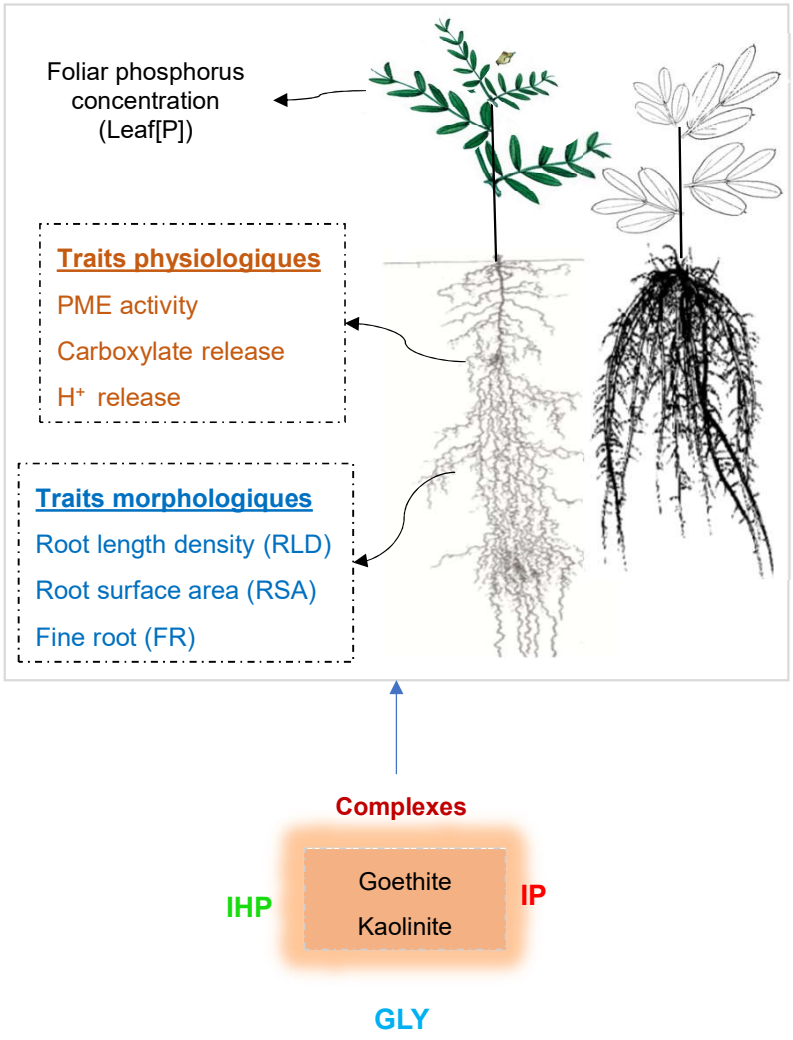


Quelle est la conséquence des traits d'acquisition P?

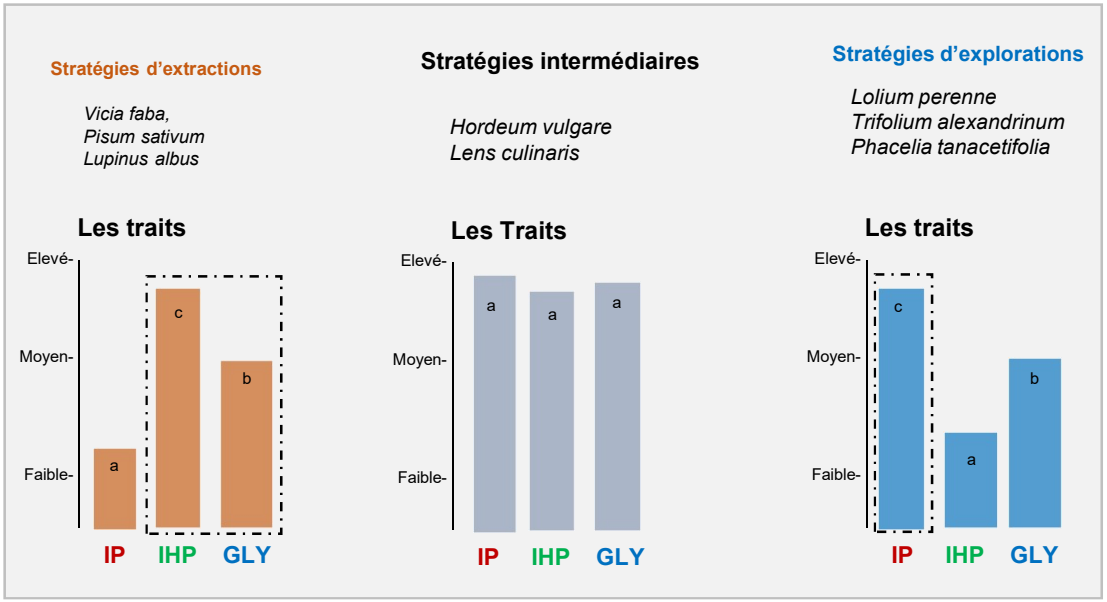


Réponse et conséquences des stratégies des espèces sur la dynamique de P

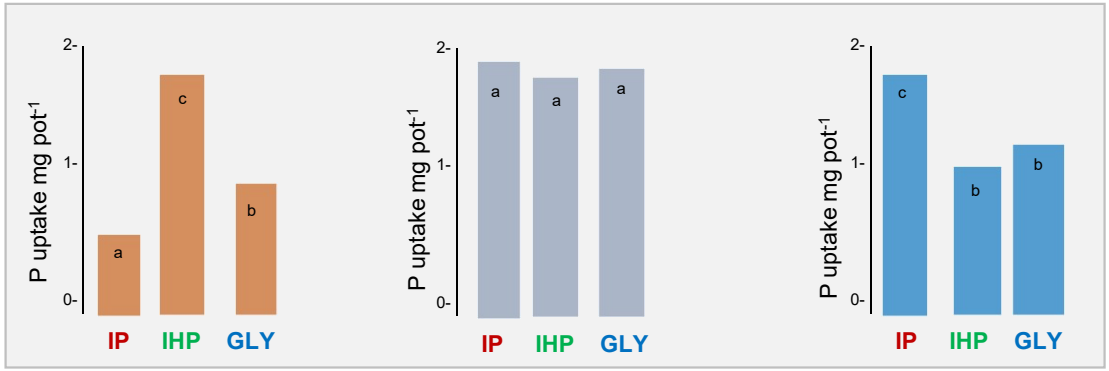
Mesure des traits d'acquisition du P



Quelle est la réponse des traits d'acquisition P ?

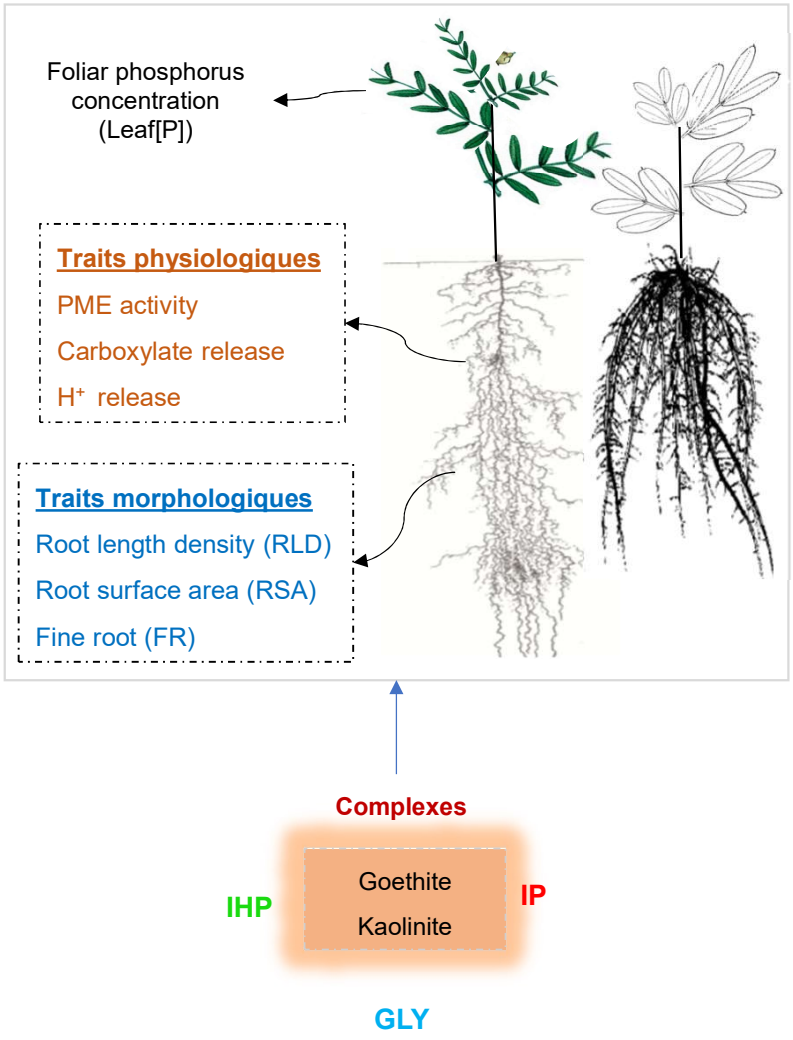


Quelle est la conséquence des traits d'acquisition P?

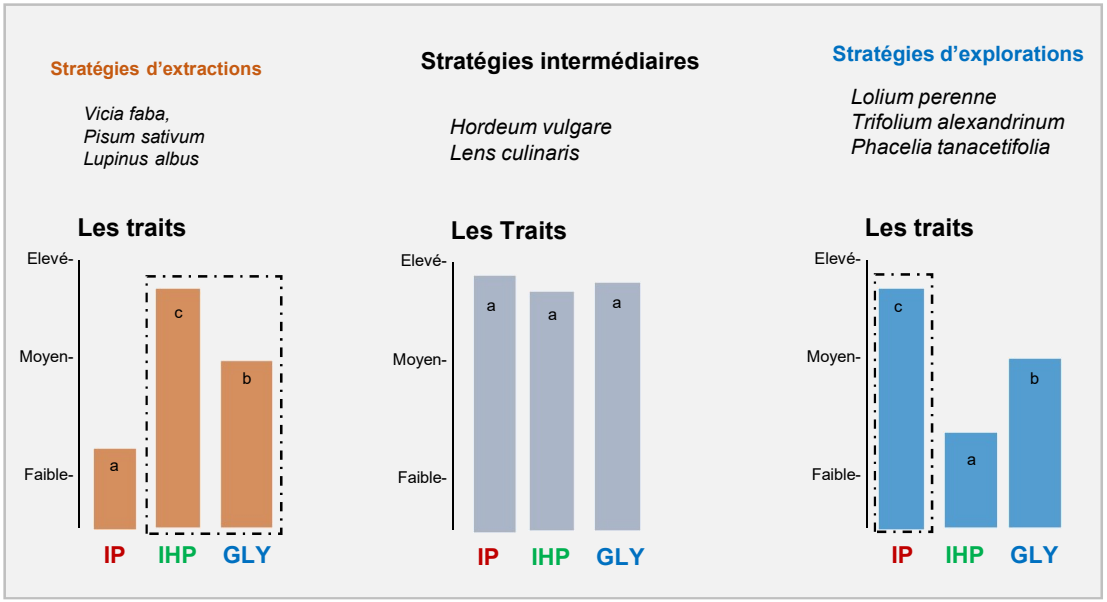


Réponse et conséquences des stratégies des espèces sur la dynamique de P

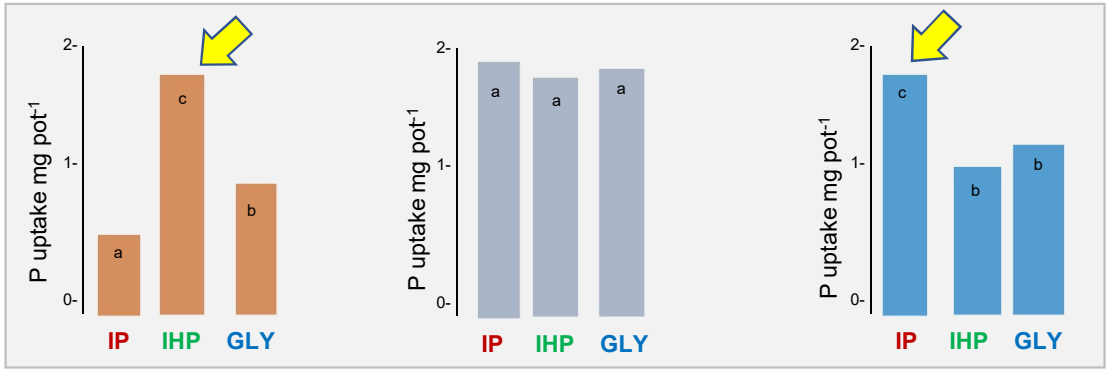
Mesure des traits d'acquisition du P



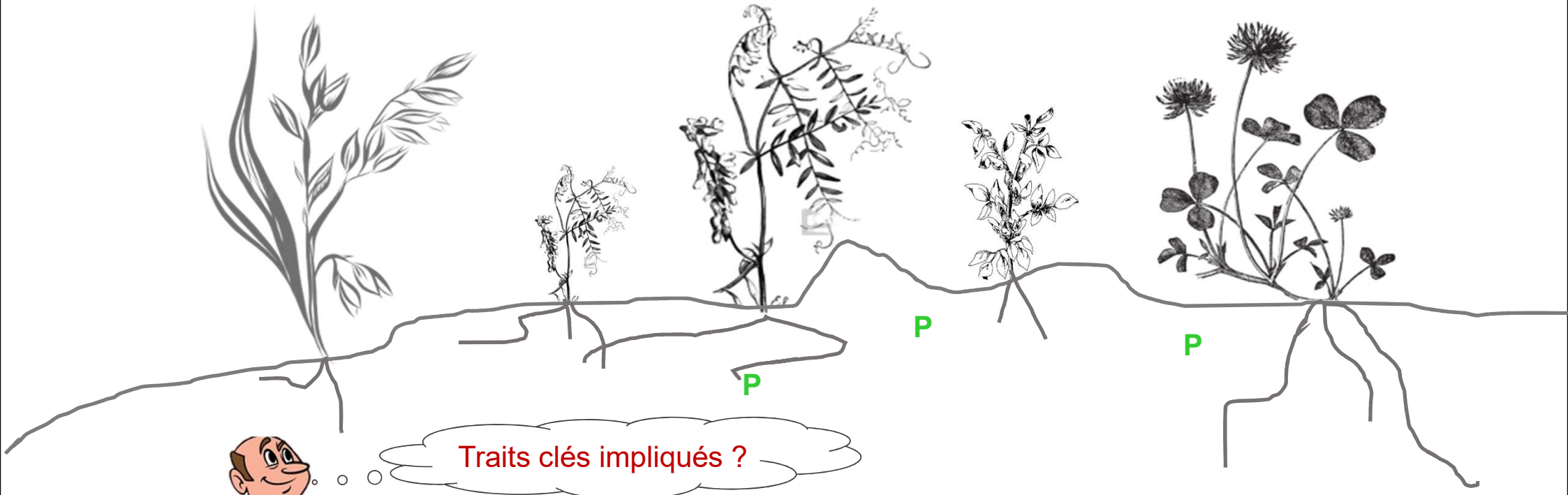
Quelle est la réponse des traits d'acquisition P ?



Quelle est la conséquence des traits d'acquisition P?



Quels sont les principaux traits impliqués?



Traits clés impliqués ?

Traits morphologiques

Root length density (RLD)
Root surface area (RSA)
Fine root (FR)

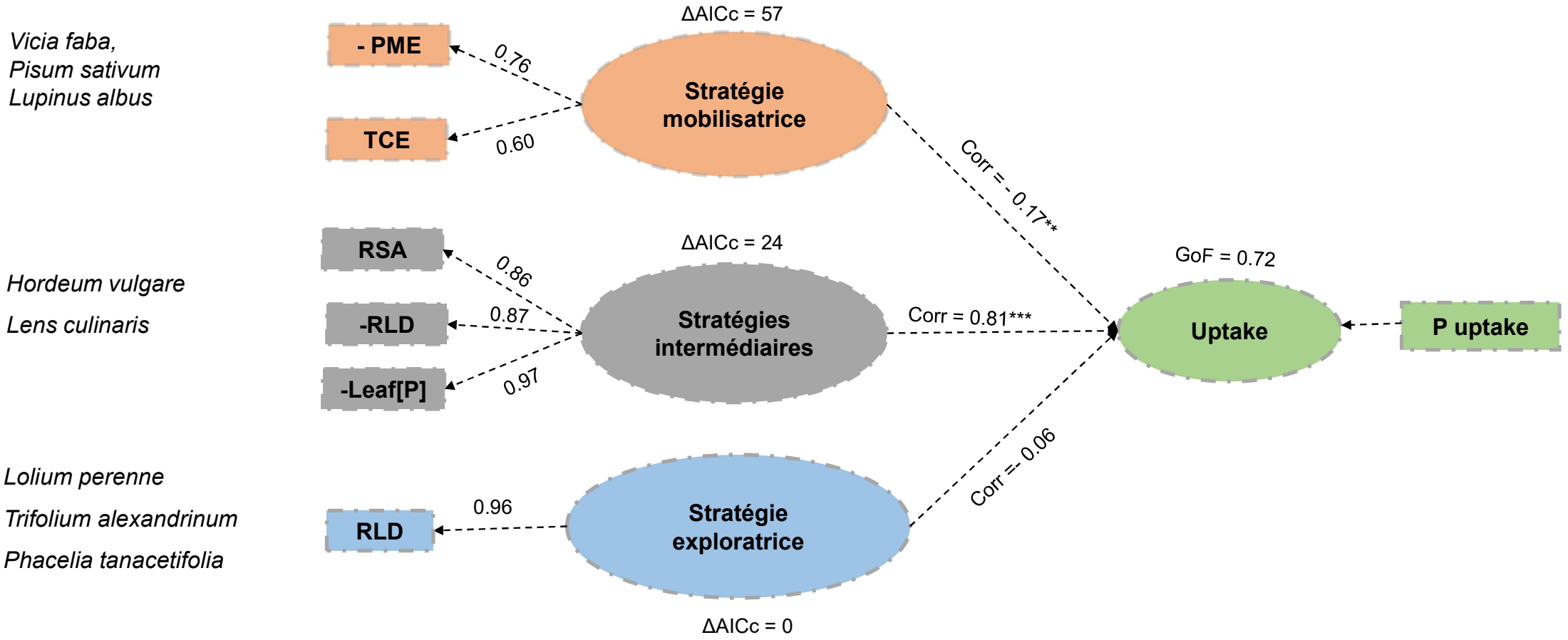
Traits physiologiques

PME activity
Carboxylate release
H^+ release

Minéraux du sol

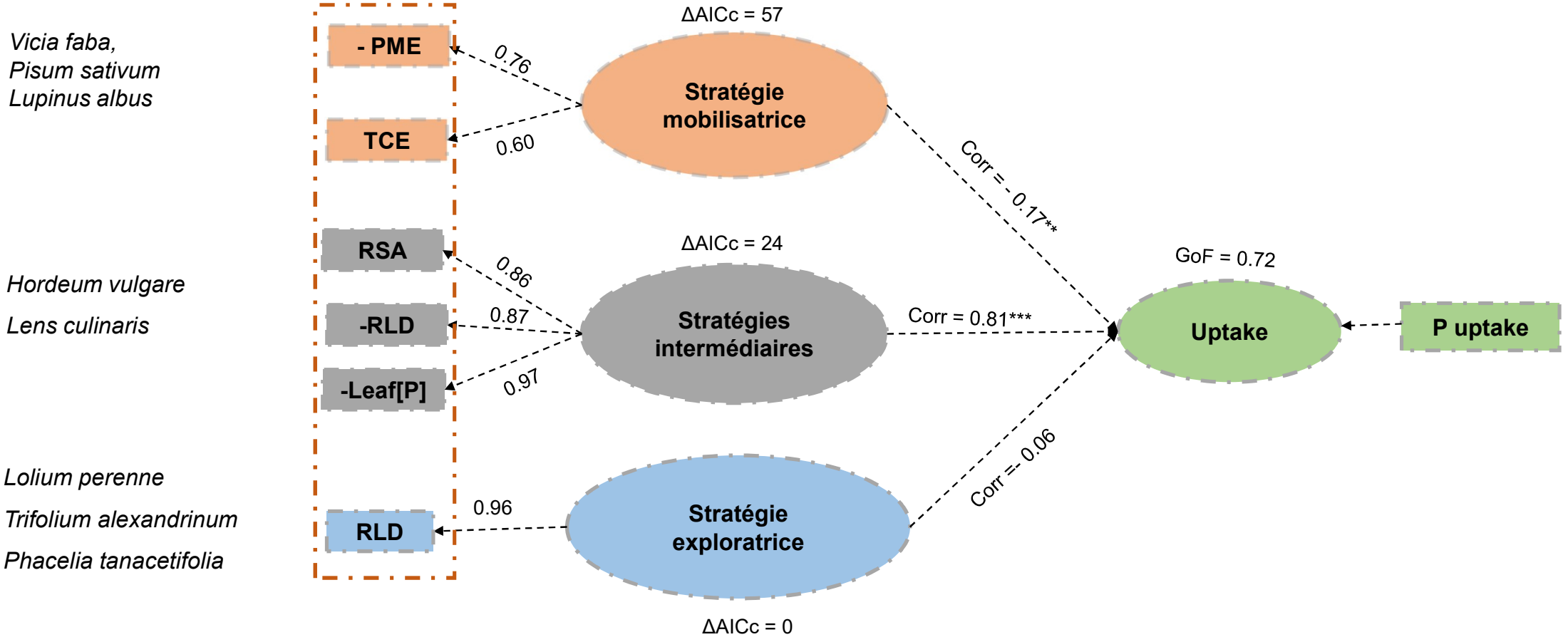
Quels sont les principaux traits impliqués?

GLM regression + PLS modelling



Quels sont les principaux traits impliqués?

GLM regression + PLS modelling



Quels sont les principaux traits impliqués?

GLM regression + PLS modelling

Vicia faba,
Pisum sativum
Lupinus albus

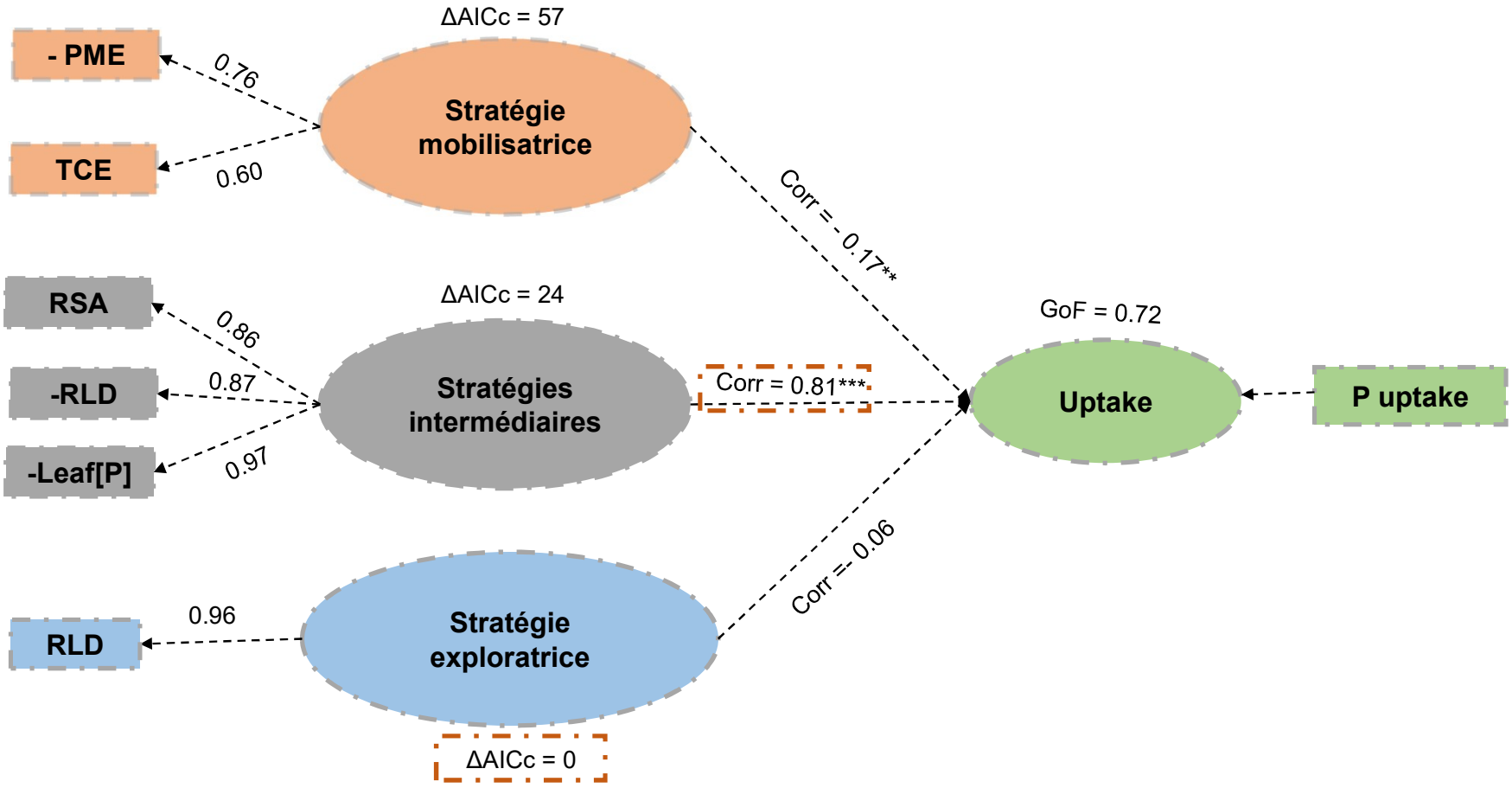
Hordeum vulgare

Lens culinaris

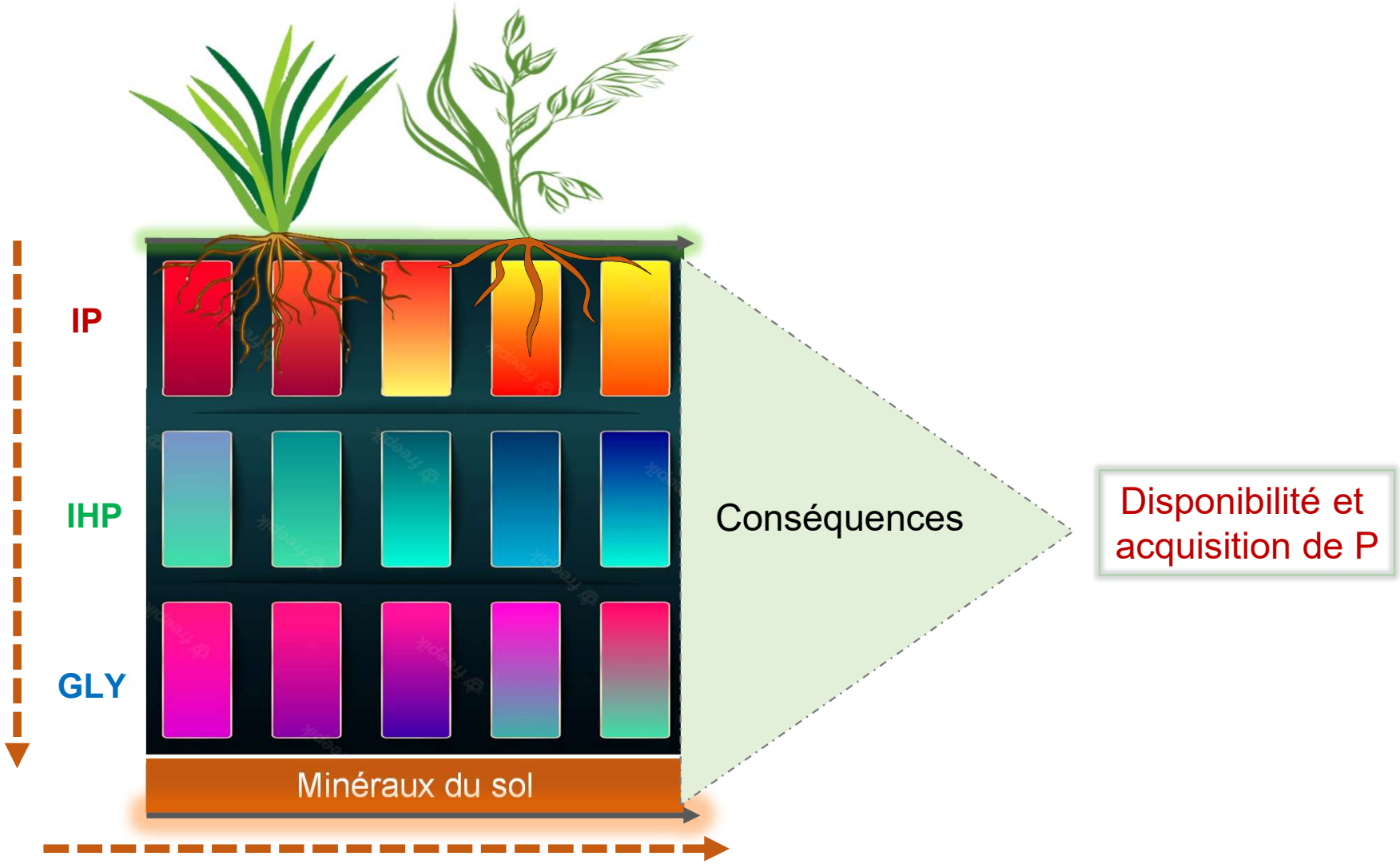
Lolium perenne

Trifolium alexandrinum

Phacelia tanacetifolia

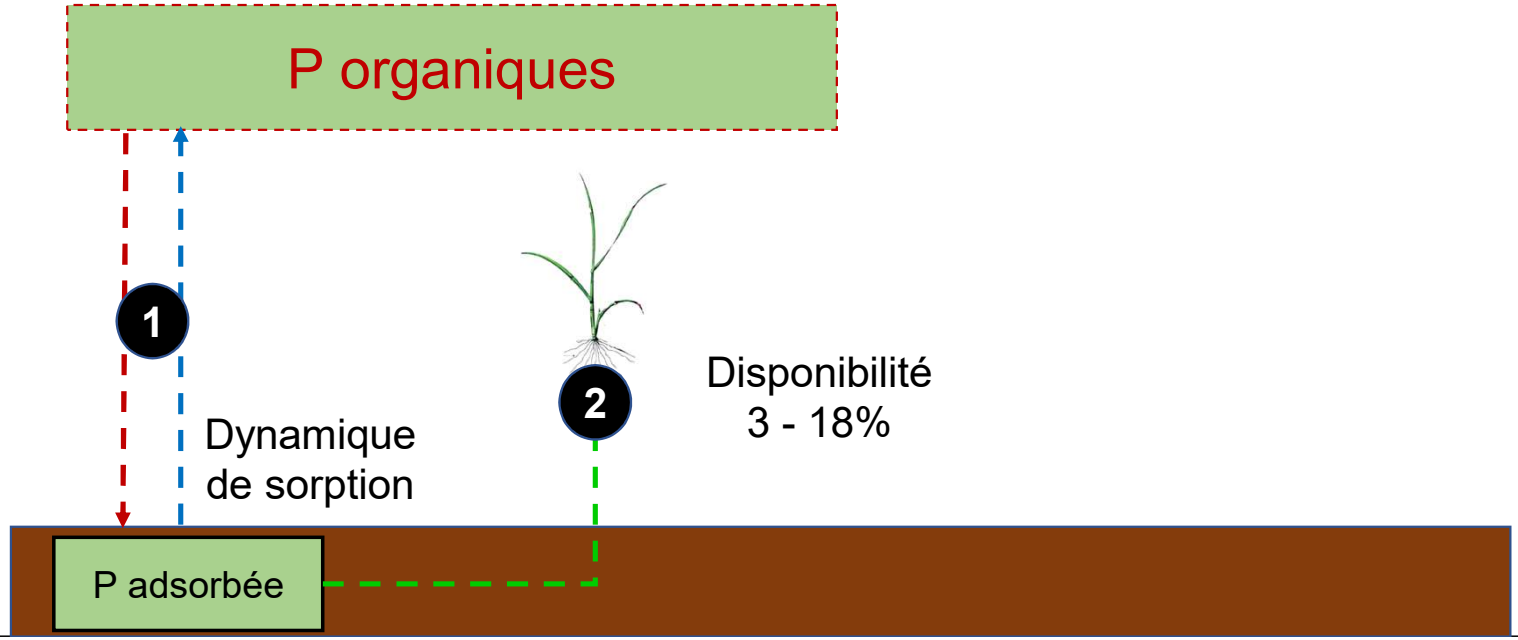


Plasticité des traits d ’acquisition du P

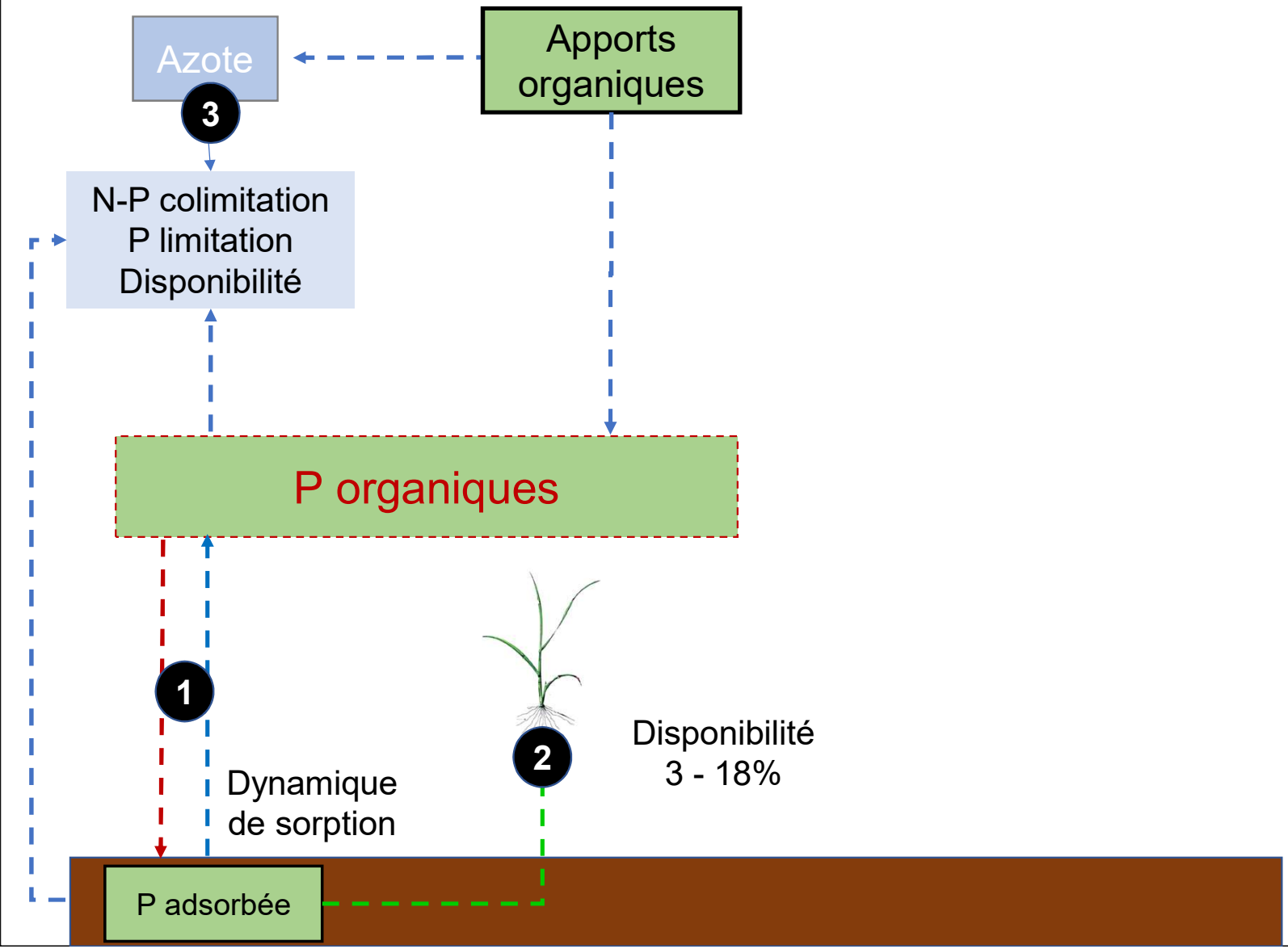


Conclusion

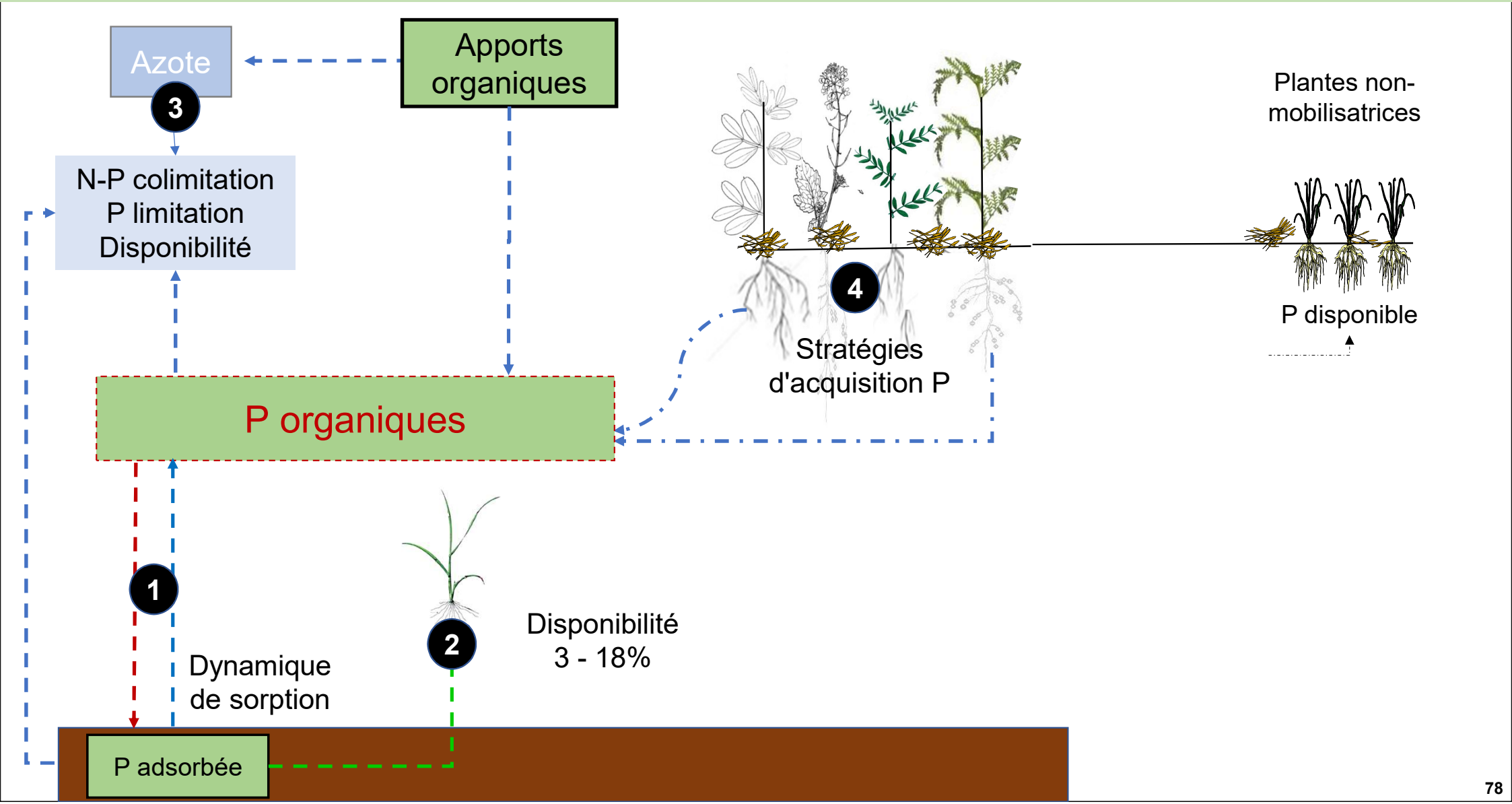
Conclusion


P organiques
1
Dynamique
de sorption
2
Disponibilité
3 - 18%
P adsorbée

Conclusion


Azote
Apports organiques
3
N-P colimitation
P limitation
Disponibilité
P organiques
1
2
Dynamique de sorption
Disponibilité 3 - 18%
P adsorbée

Conclusion


Azote
3
Apports organiques
N-P colimitation
P limitation
Disponibilité
P organiques
1
Dynamique de sorption
2
Disponibilité 3 - 18%
P adsorbée
4
Stratégies d'acquisition P
Plantes non-mobilisatrices
P disponible

4 Implications des résultats :

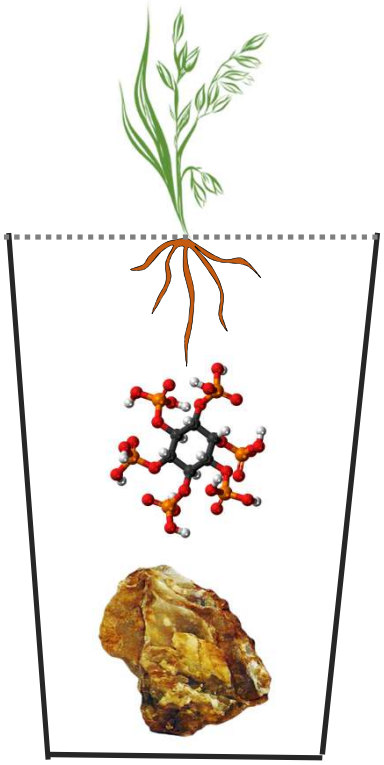
Améliorer la prédiction :
CASA-CNP,
DSSAT,
APSIM,
Daycent
CysP

Prévision de la limitation de P dans les agroécosystèmes en fonction des types de fertilisants.

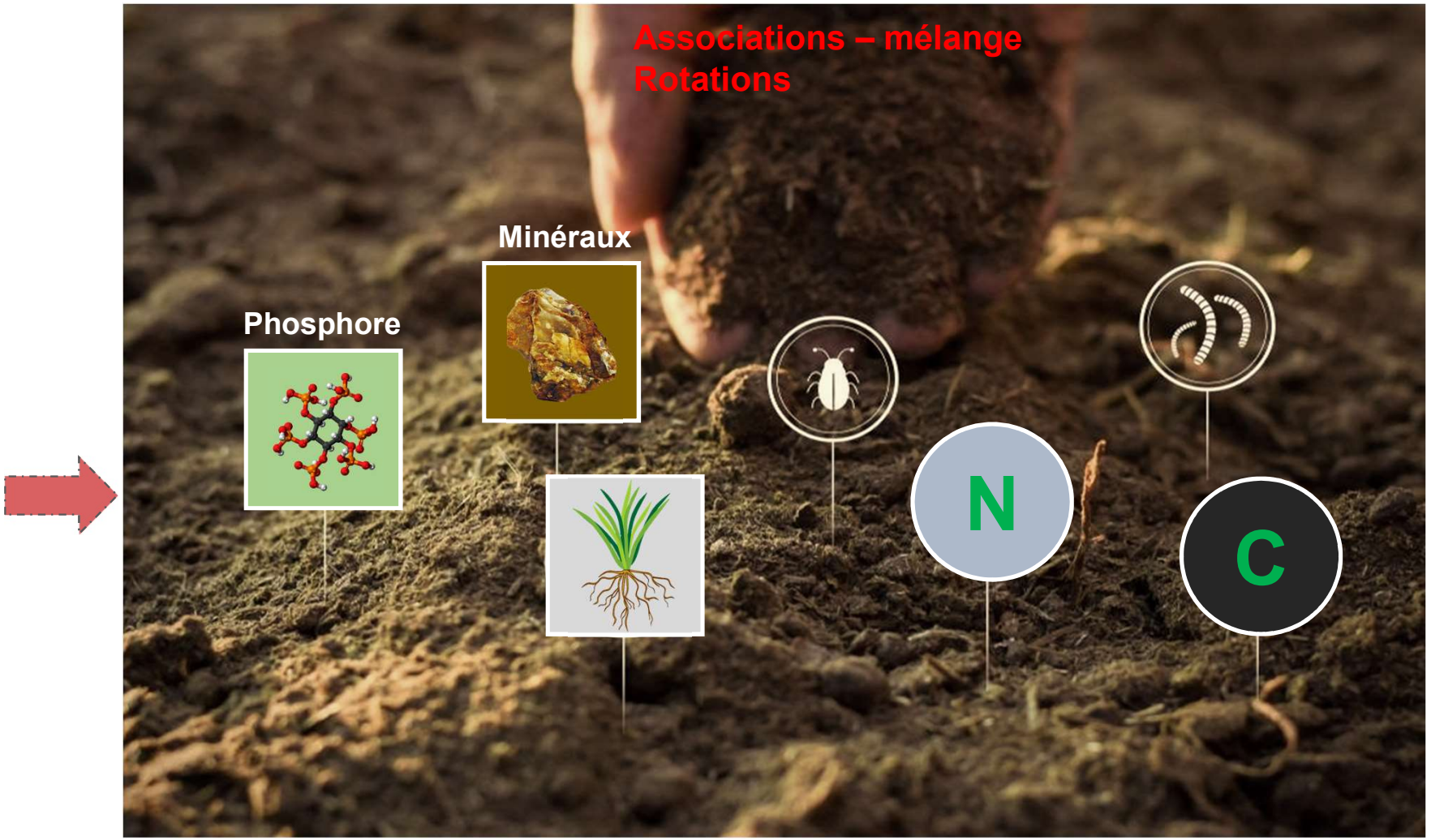
Niche écologique spécialisée dans la mobilisation des formes de P.

Perspectives

Échelle individuelle

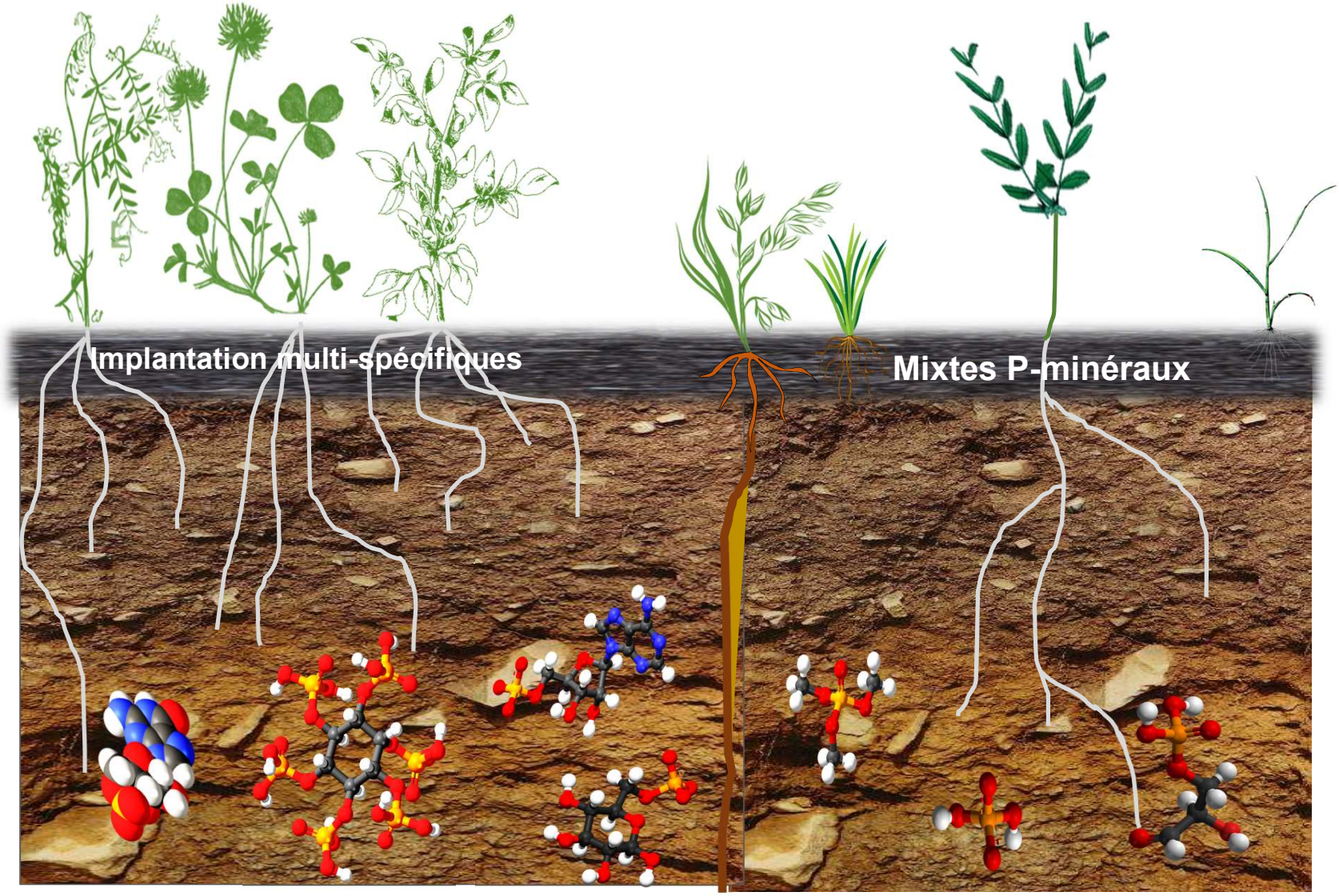


Perspectives



Perspectives ➢ Étudiez la complexité en condition réelle ➢ Modèle et expérimentation en champ

Cocktail minerals-P



Perspectives ➢ Étudiez la complexité en condition réelle ➢ Modèle et expérimentation en champ

Cocktail minerals-P