

Séance du 19 mars 2025

Processus écophysiologicals impliqués dans la résilience de la légumineuse à graine lors d'épisodes de déficit hydrique du sol

Marion PRUDENT

Mégane COUCHOUD, Maé GUINET, Cécile JACQUES, Pierre-Alain MARON,
Christophe SALON, Aude TIXIER, Vanessa VERNOUD

INRAE



Agroécologie
Dijon
Unité de Recherche

La nutrition azotée des légumineuses

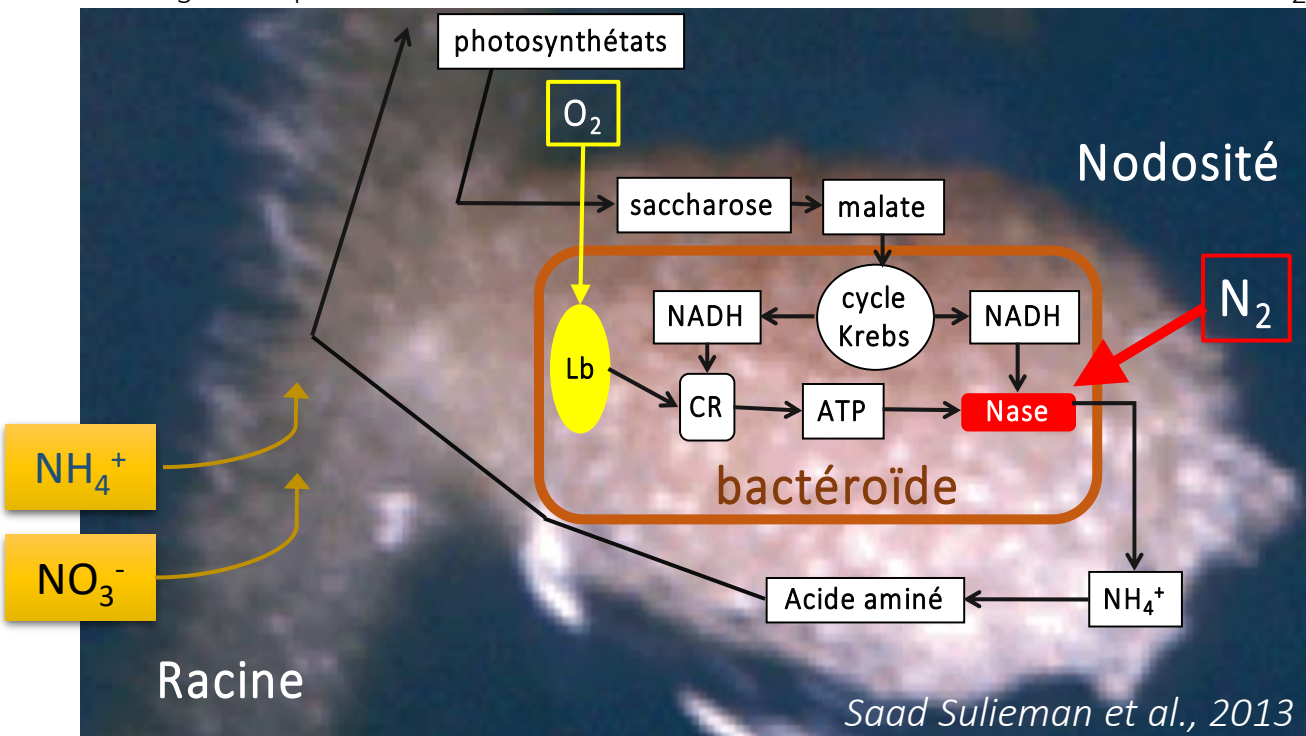
📌 Deux modes de nutrition azotée : Nutrition minérale et Fixation de N_2

📍 Au sein de deux organes

Racines

(NO_3^- , NH_4^+)

Nodosités en symbiose
avec Rhizobium
(Fixation de N_2)



Saad Sulieman et al., 2013

La nutrition azotée des légumineuses

📌 Deux modes de nutrition azotée : Nutrition minérale et Fixation de N_2

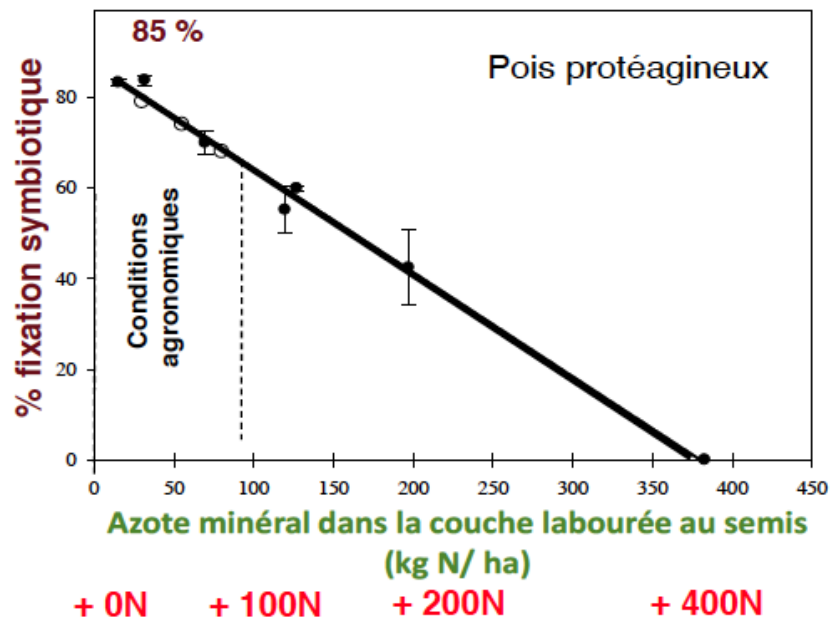
👉 Au sein de deux organes...

Racines

(NO_3^- , NH_4^+)

Nodosités en symbiose
avec Rhizobium
(Fixation de N_2)

👉 Complémentaires pour l'acquisition de N



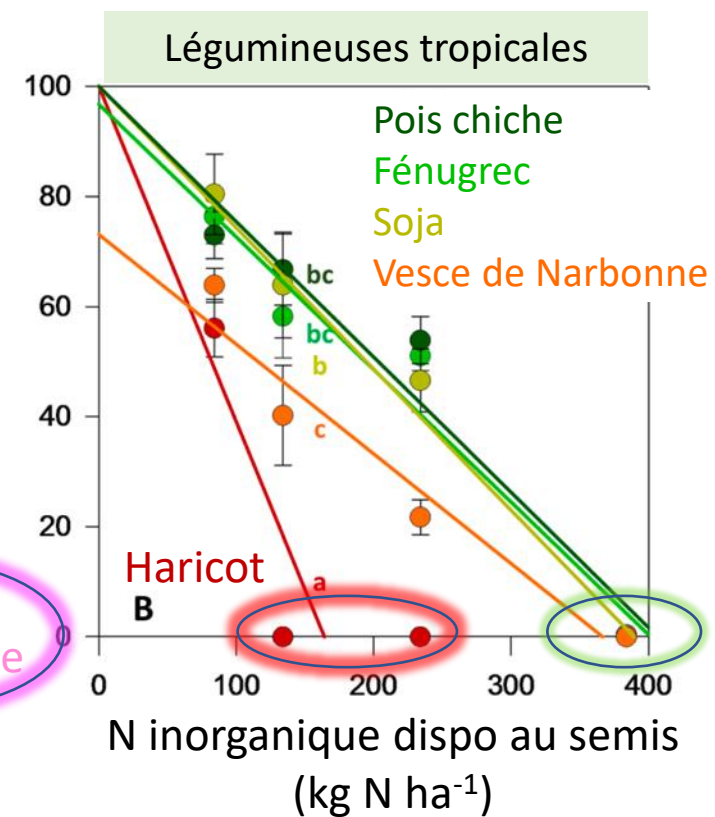
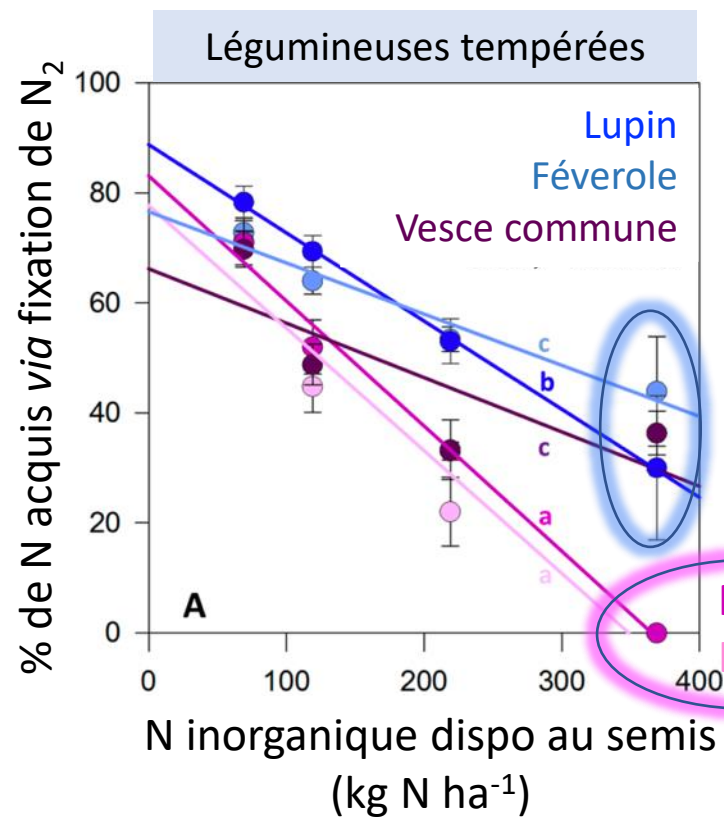
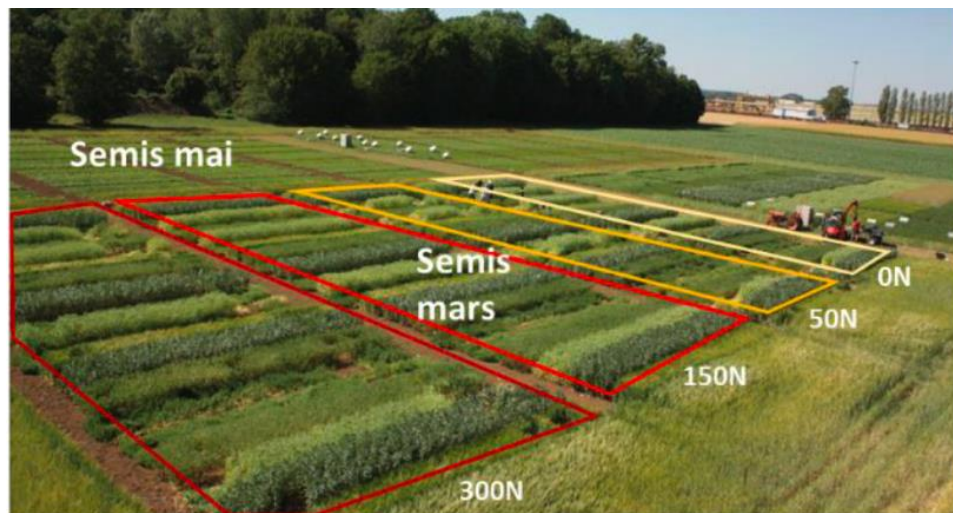
Voisin et al., 2002



Même comportement chez
d'autres espèces de
légumineuses ?

Caractérisation de la fixation symbiotique de N₂ : diversité inter-spécifique

Des niveaux variables d'inhibition de la fixation de N₂ par de fortes teneurs en N minéral du sol suivant l'espèce de légumineuse.



La nutrition azotée des légumineuses



Deux modes de nutrition azotée : Nutrition minérale et Fixation de N_2

☞ Au sein de deux organes...

☞ En compétition pour le C

La fixation symbiotique est associée à un **coût en C pour la plante**

4-6 g de C pour 1g de N_2 fixé

- développement des nodosités
- leur croissance
- leur fonctionnement

*Warembourg, 1983
Cannel & Thorney, 2000*

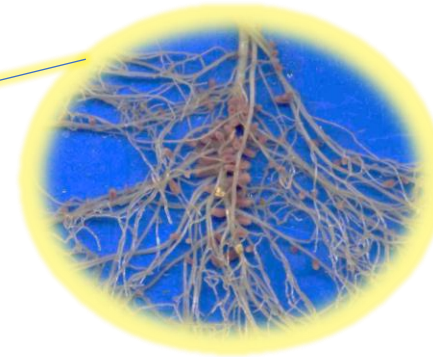
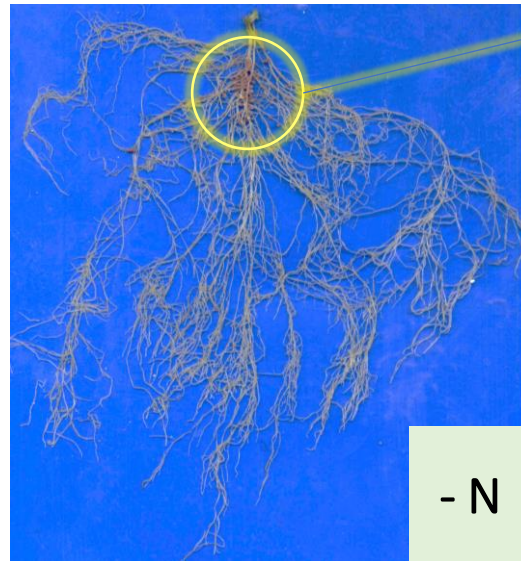
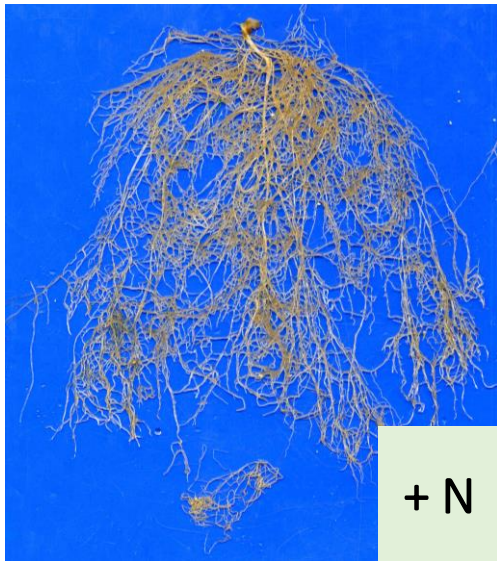
La nutrition azotée des légumineuses

📌 Deux modes de nutrition azotée : Nutrition minérale et Fixation de N_2

☞ Au sein de deux organes...

☞ En compétition pour le C

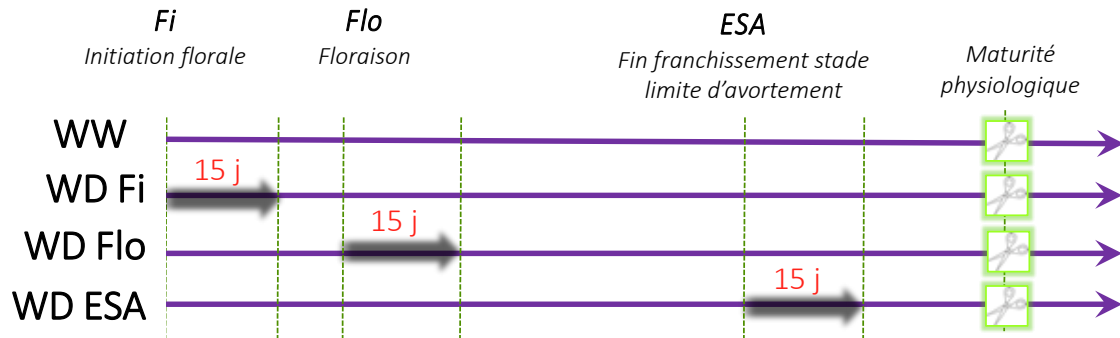
☞ Qui modulent l'architecture racinaire nodulée



Une interaction entre mode de nutrition azotée, stade phénologique et déficit hydrique chez le Pois

EXPÉRIMENTATION EN CONDITIONS CONTRÔLÉES

POIS, var Kayanne ↔ *Rhizobium leguminosarum* P221



2 conditions hydriques

2 modes de nutrition N

WW contrôle
WD déficit hydrique

Sans N_{min}

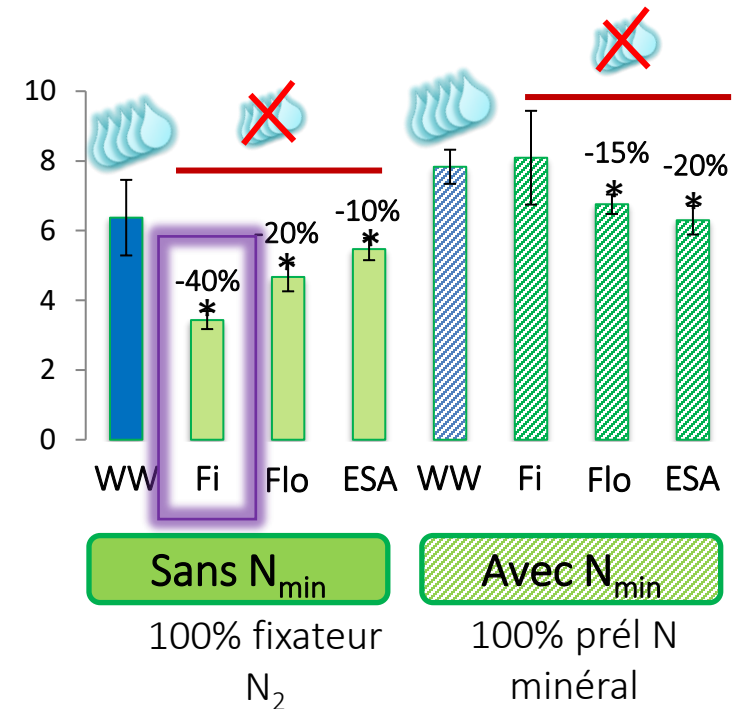
Avec N_{min}

100% fixateur
N₂

100% pré N
minéral

3 stades d'application du déficit hydrique

Biomasse de graines (g)



Des enjeux :

- En période végétative
- Avec un mode de nutrition azotée basée à 100% sur la fixation de N₂

Une régulation complexe de la fixation de N₂ lors d'un déficit hydrique

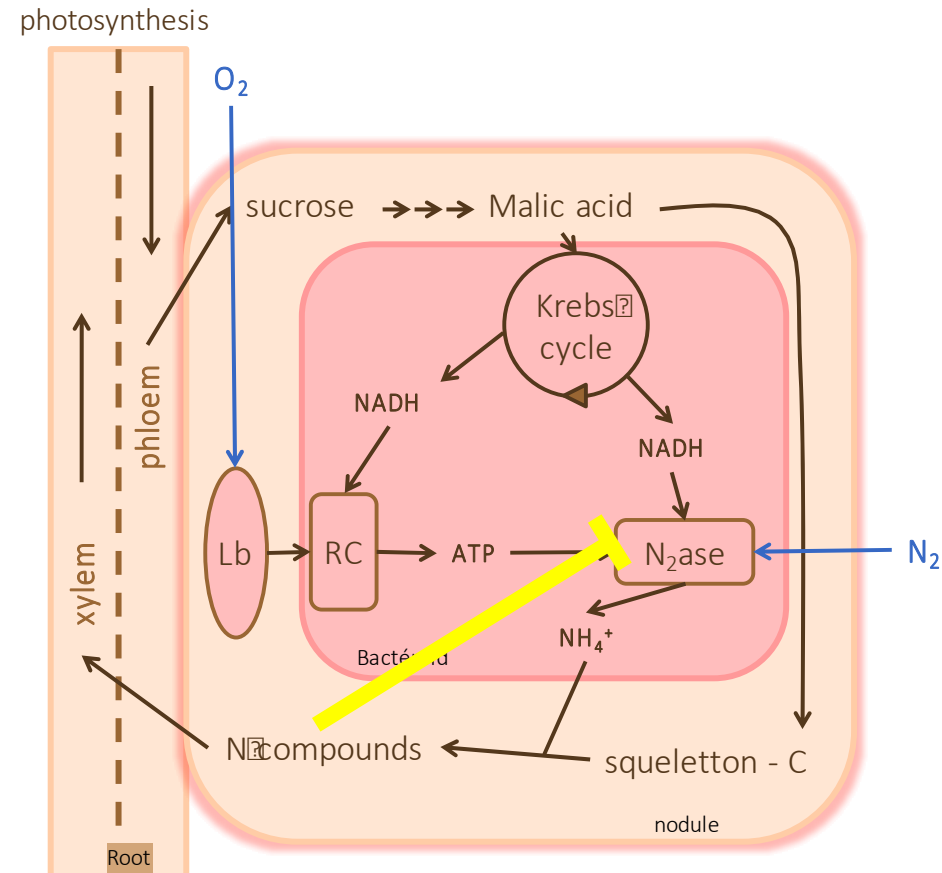


Trois hypothèses sur les mécanismes entraînant la diminution de l'activité de fixation de N₂

⇒ 1 Feedback négatif *via* des composés azotés (amides, uréides...)

→ inhibition de la nitrogénase

(King and Purcell, 2001; Neo and Layzell, 1997; Serraj et al., 1999, 2001)



Une régulation complexe de la fixation de N₂ lors d'un déficit hydrique



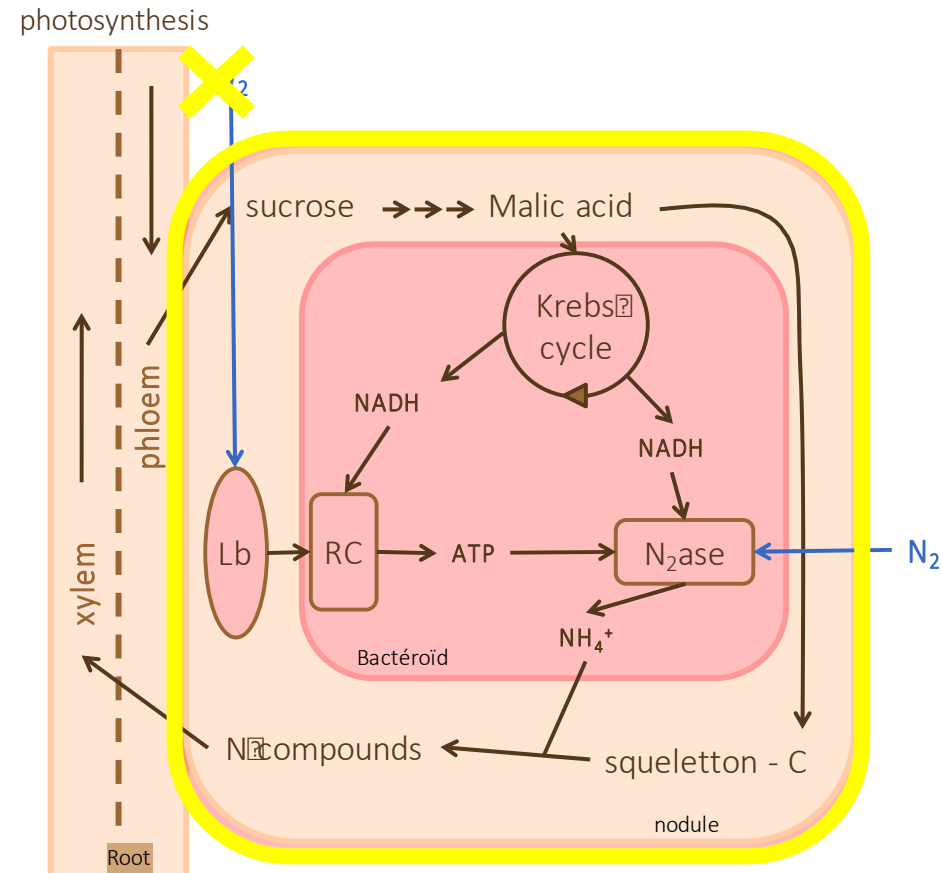
Trois hypothèses sur les mécanismes entraînant la diminution de l'activité de fixation de N₂

1 Feedback négatif *via* des composés azotés (amides, uréides...)

2 Diminution de la perméabilité des nodosités à l'O₂

➤ résistance de la barrière de diffusion à l'O₂

(King and Purcell, 2001; Kunert et al., 2016; Nasr Esfahani et al., 2014; Naya et al., 2007; Neo and Layzell, 1997; Serraj et al., 1999)



Une régulation complexe de la fixation de N₂ lors d'un déficit hydrique



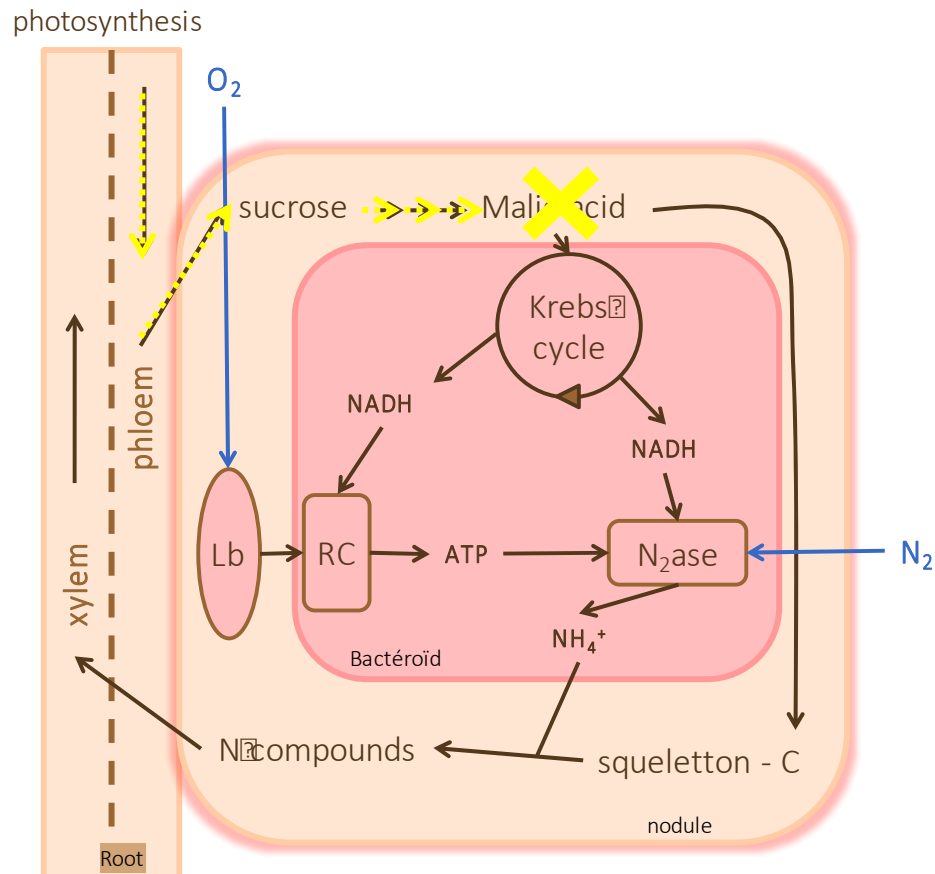
Trois hypothèses sur les mécanismes entraînant la diminution de l'activité de fixation de N₂

1 Feedback négatif *via* des composés azotés (amides, uréides...)

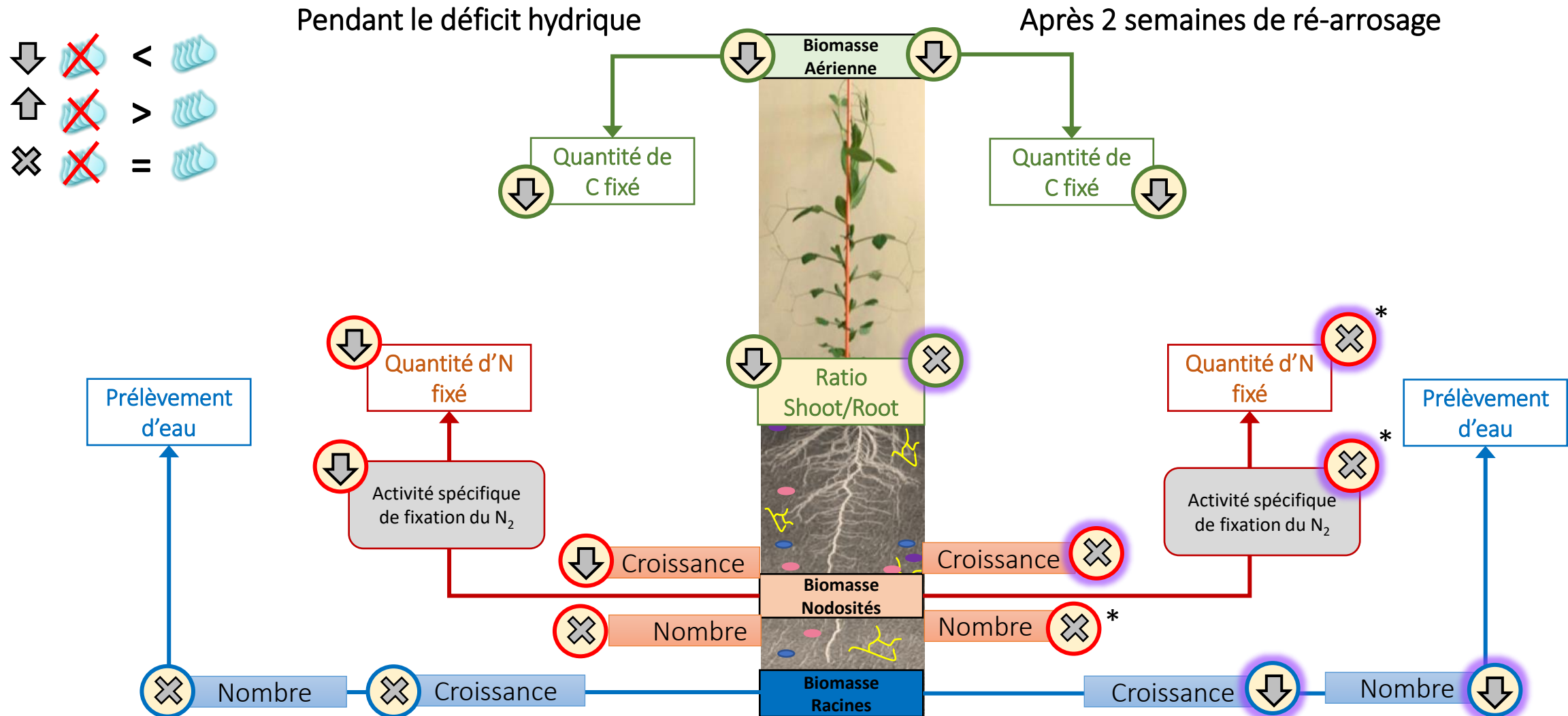
2 Diminution de la perméabilité des nodosités à l'O₂

3 Diminution de l'allocation des photosynthétats (malate) aux nodosités

(Kunert et al., 2016; Naya et al., 2007; Serraj et al., 1999)



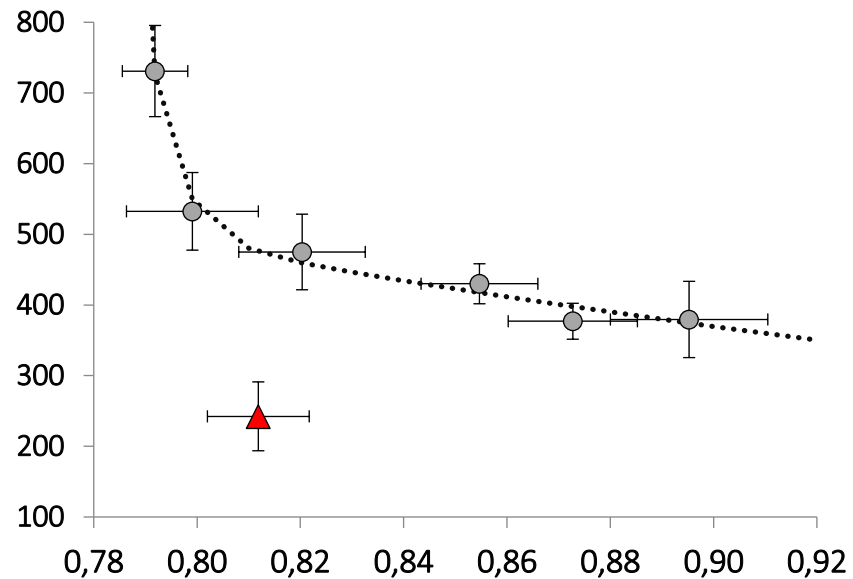
Fonctionnement de la légumineuse, pendant et après déficit hydrique



Intensité des effets croissante avec l’intensité du déficit hydrique

Lors du réarrosage, nodulation dépendante de l'INN

Nombre de nodosités après ré-arrosage



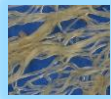
Indice de nutrition azotée (INN)
à la fin de la période de déficit hydrique

➤ La mise en place des nouvelles nodosités pendant le ré-arrosage dépend du statut azoté de la plante à la fin du déficit hydrique

Une dynamique de réponse différente entre racines et nodosités

Nombre de gènes différentiellement exprimés

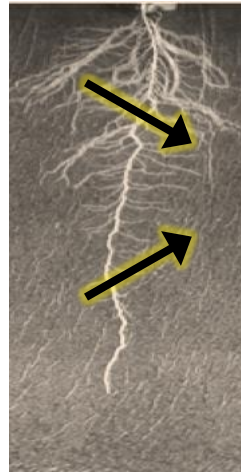
Pendant le déficit hydrique



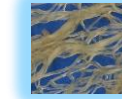
≈ 400 gènes



≈ 400 gènes



Après 7 jours de ré-arrosage



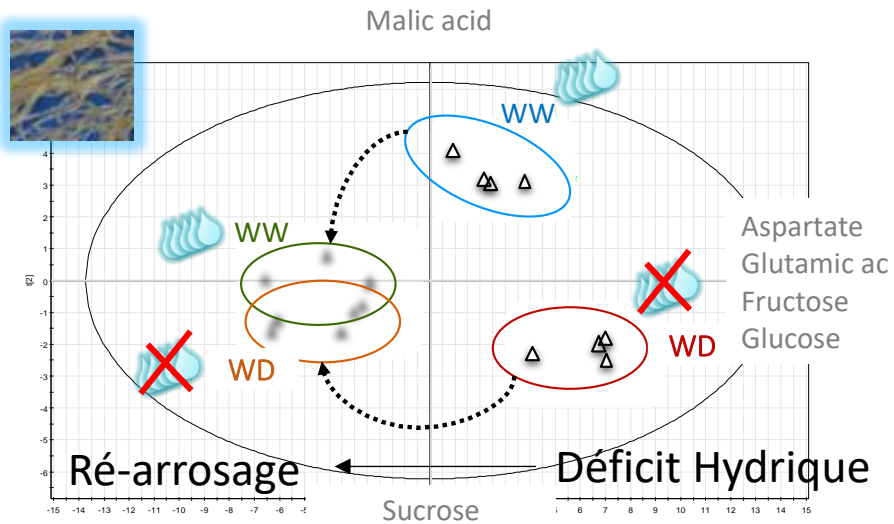
≈ 20 gènes



≈ 3000 gènes

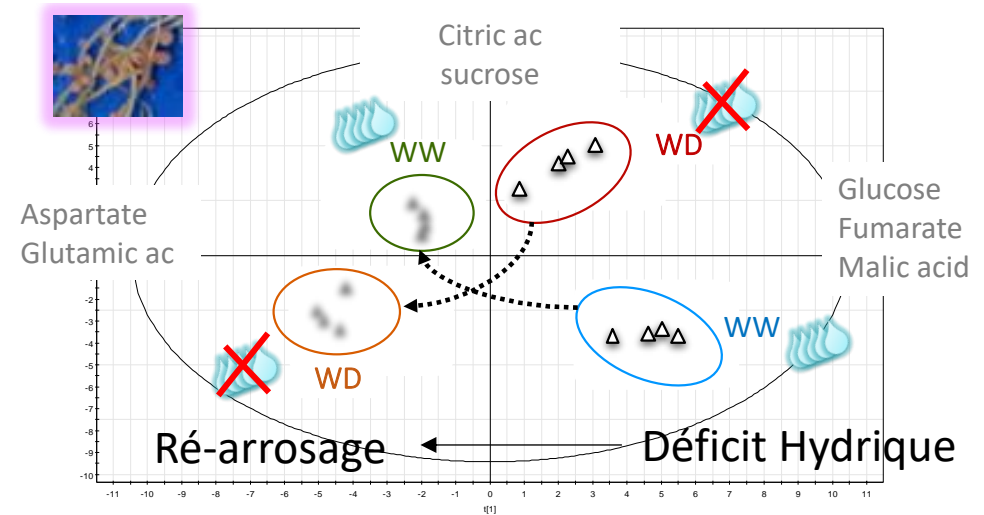
Transcriptomique

Récupération totale dans les racines de la composition métabolique



Métabolomique

Pas de récupération dans les nodosités de la composition métabolique



Le contrôle du statut azoté permet une meilleure résilience

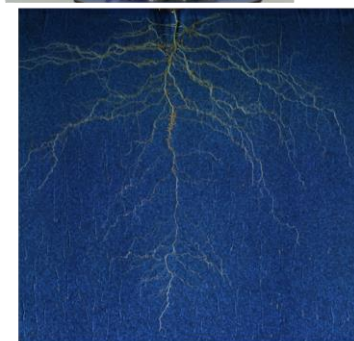
Deux géotypes contrastés

+ Résilient

Kayanne

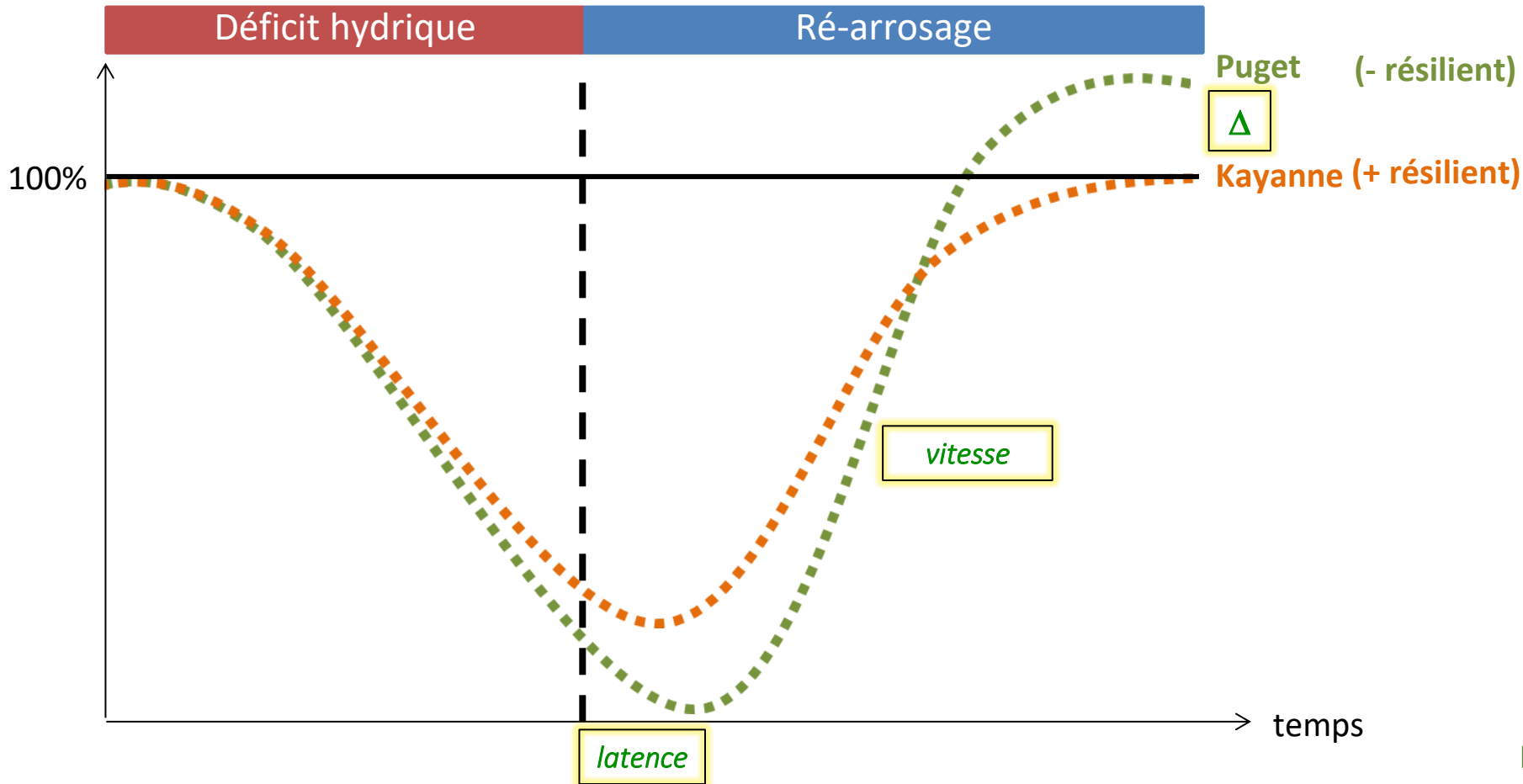
- Résilient

Puget

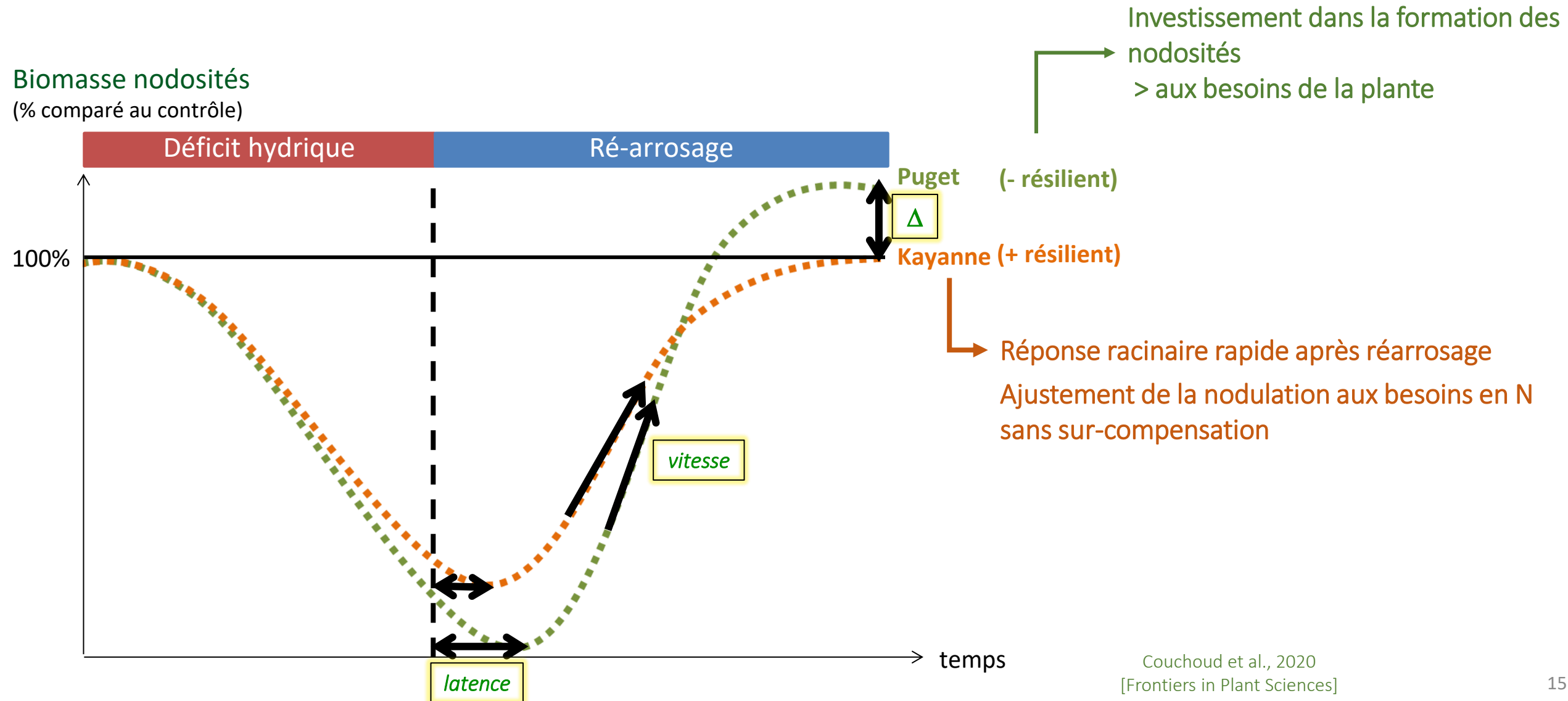


Couchoud et al., 2020
[Frontiers in Plant Sciences]

Biomasse nodosités
(% comparé au contrôle)



Le contrôle du statut azoté permet une meilleure résilience



La dynamique de récupération post stress

☞ Une meilleure récupération post-stress s'explique par:

- Un temps de latence court avant la reprise de l'activité
- La capacité à ajuster la nodulation aux besoins en N de la plante



Côté micro-organismes, quid de l'influence de la souche de Rhizobia sur cette récupération post-stress ?

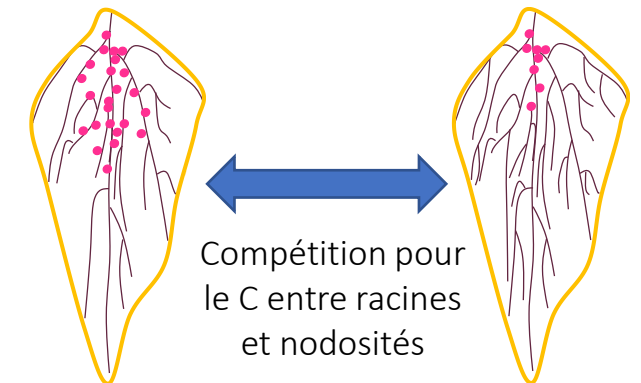
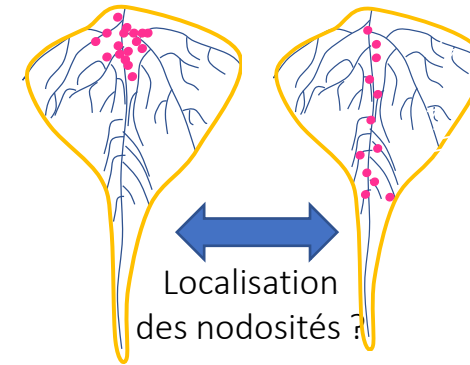
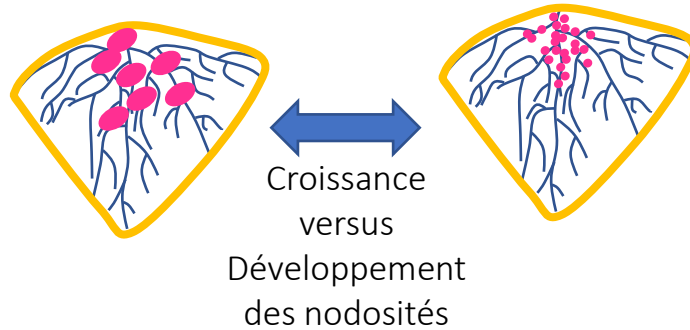
À suivre dans France2030- OPTILEG

Vers l'identification de combinaison de traits racinaires favorisant la résilience

1- Capacité de prospection racinaire vers les zones les moins sèches

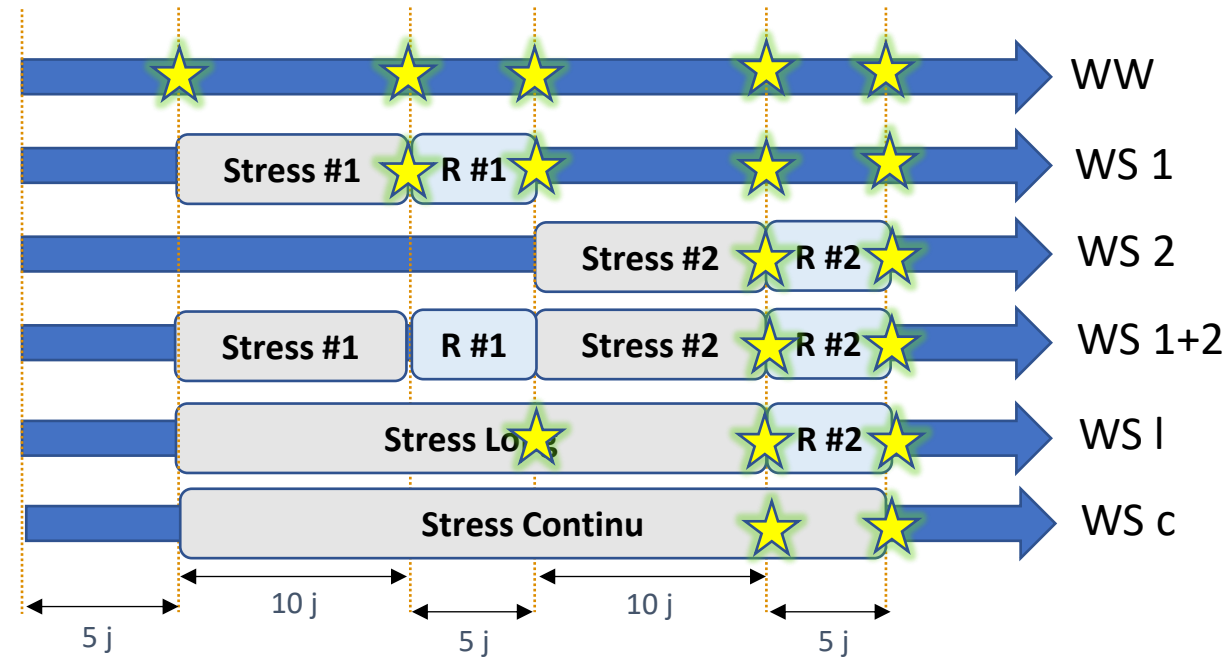
2- Initiation et la localisation des nodosités sur le système racinaire

3- Compromis entre développement/croissance des racines et des nodosités permettant un prélèvement hydrominéral à moindre coût en C



Caractérisation de la variabilité génétique de la réponse à différents scénarii de déficits hydriques

EXPÉRIMENTATION EN CONDITIONS CONTRÔLÉES



5 géotypes :

Astronaute

Kayanne

Mowgli

Mythic

Safran

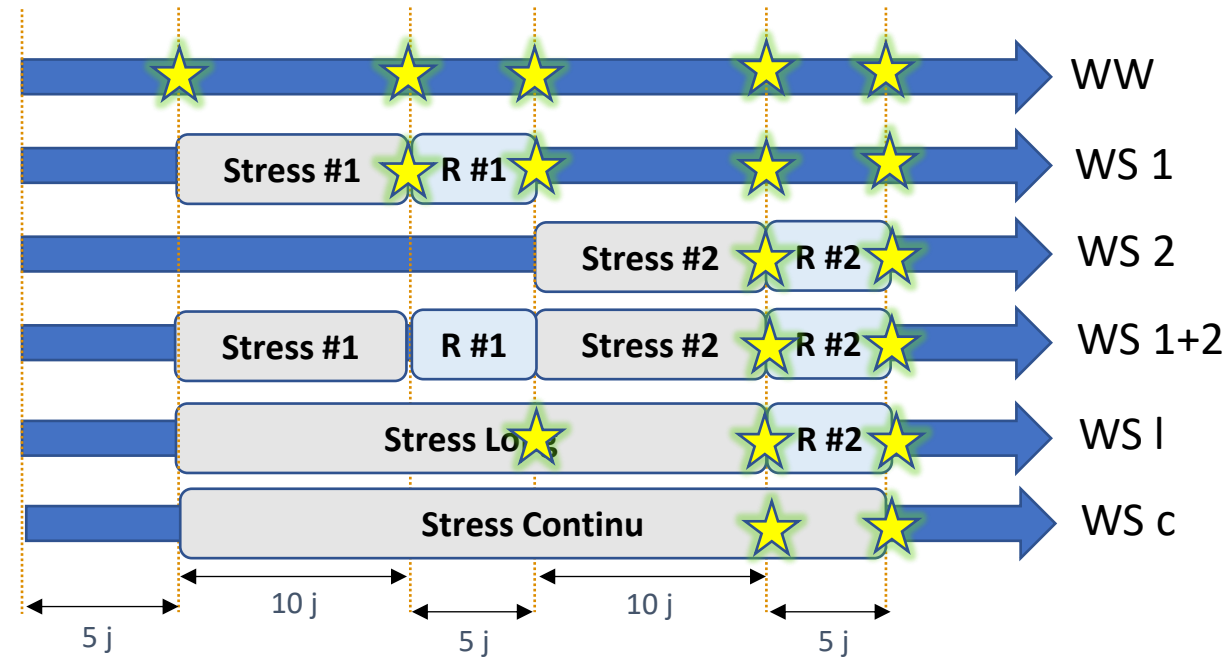
6 modalités hydriques :

- Alimentation hydrique optimale
- Stress hydrique transitoire précoce
- Stress hydrique transitoire pré-floraison
- Stress hydrique récurrent
- Stress hydrique long
- Stress hydrique continu



Caractérisation de la variabilité génétique de la réponse à différents scénarii de déficits hydriques

EXPÉRIMENTATION EN CONDITIONS CONTRÔLÉES



5 géotypes :

Astronaute

Kayanne

Mowgli

Mythic

Safran



Mowgli / Mythic : les – résilients

Safran : mobilise l'effet mémoire des stress

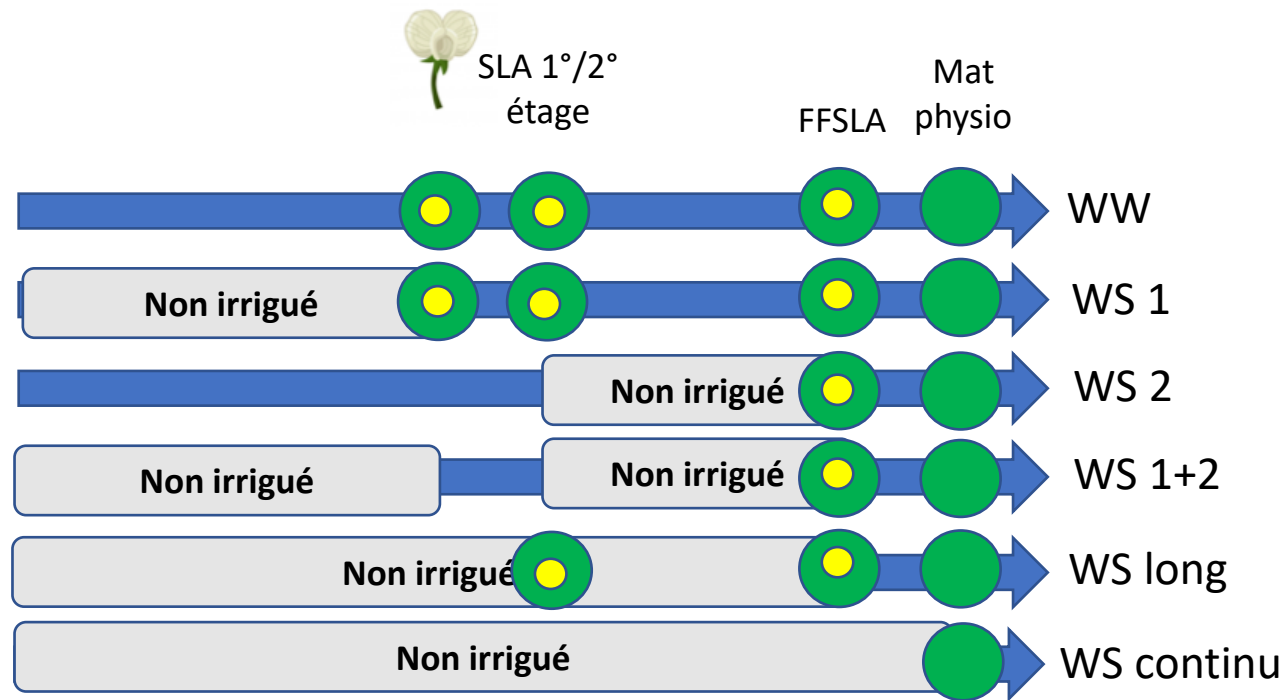
Astronaute : le + résilient

*Faible allocation de C aux nodosités
Enracinement rapide en profondeur*

Caractérisation de la variabilité génétique de la réponse à différents scénarii de déficits hydriques



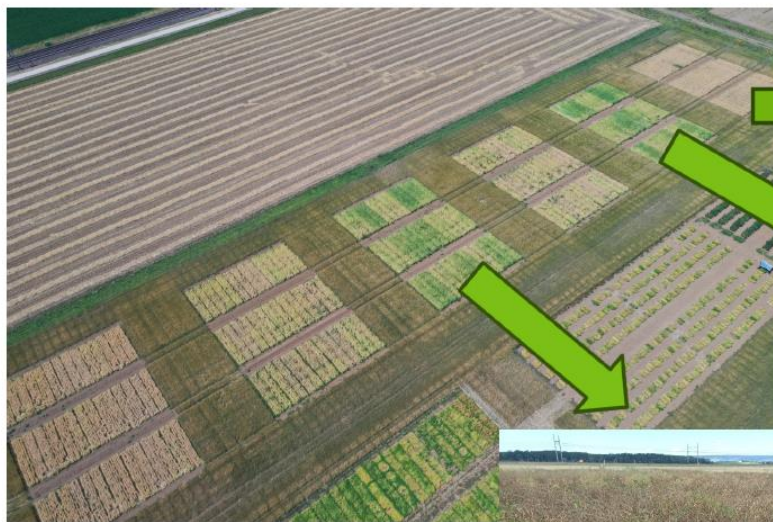
EXPÉRIMENTATION AU CHAMP



Caractérisation de la variabilité génétique de la réponse à différents scénarii de déficits hydriques



Même classement des variétés qu'en conditions contrôlées !



Stress hydrique continu



Effet bénéfique d'une irrigation précoce sur RENDEMENT (+10q/ha) et TENEUR EN PROTEINES (+2-3%)



Contrôle irrigué

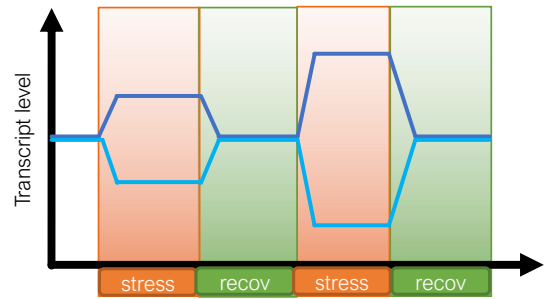


Irrigation précoce

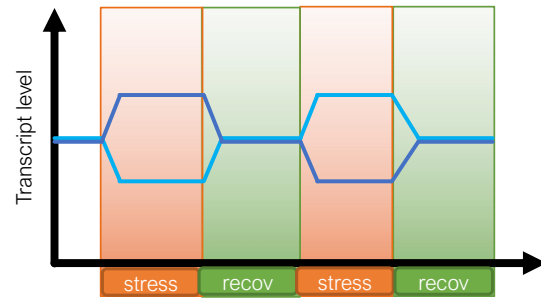


Stress hydriques récurrents et mémoire des stress

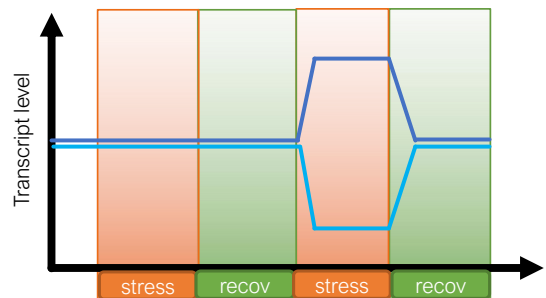
➔ Identification de gènes candidats de mémoire des stress



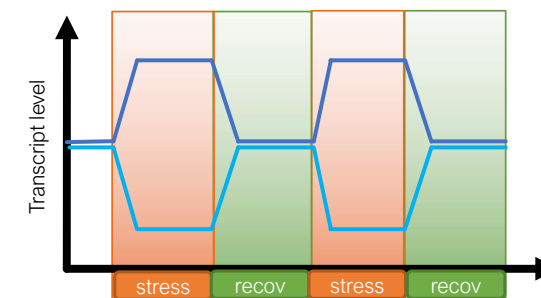
a) [+ / +] and [- / -] memory genes



b) [+ / -] and [- / +] memory genes



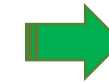
c) [= / +] and [= / -] memory genes



d) [+ / =] and [- / =] non-memory genes

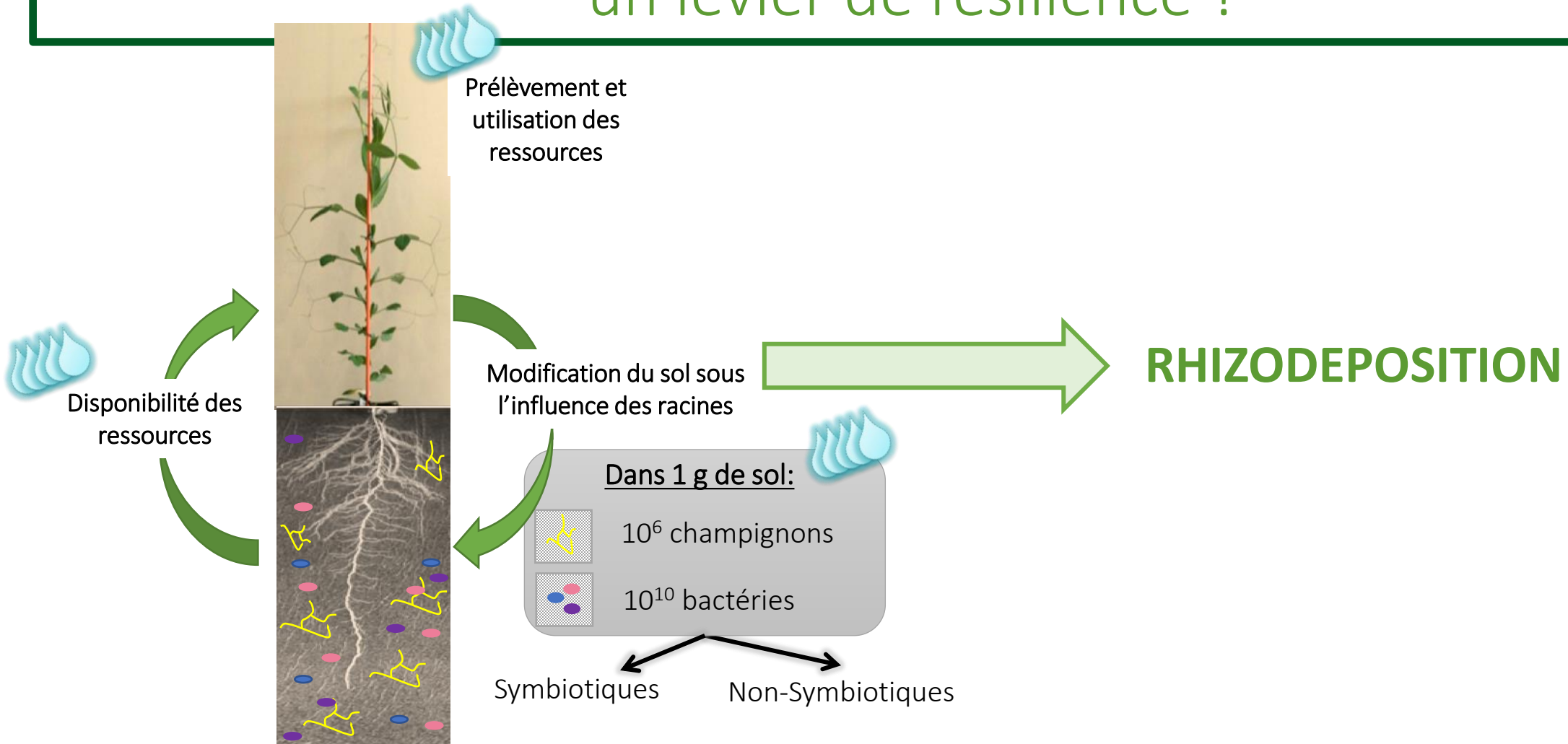
Parmi les 40 gènes candidats :

5 gènes ont une variation de leur niveau d'expression en lien avec le niveau de résilience du génotype

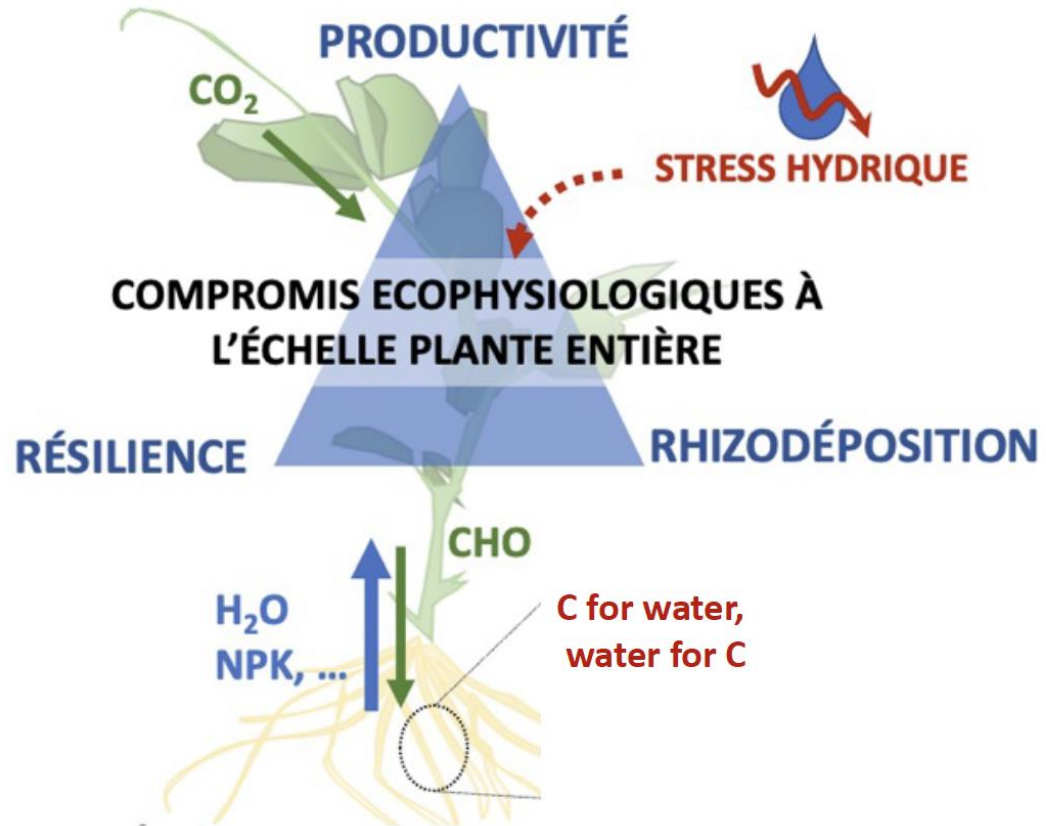


Potentiels biomarqueurs de résilience

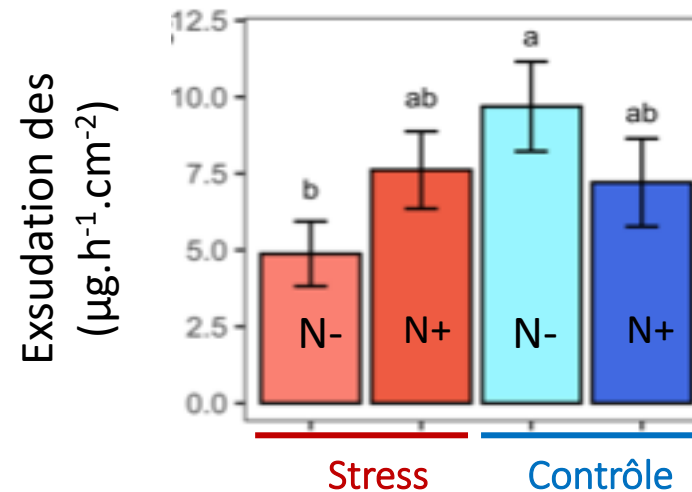
Interaction entre plante et microorganismes telluriques : un levier de résilience ?



La rhizodéposition : un puits en C à prendre en compte en condition de déficit hydrique

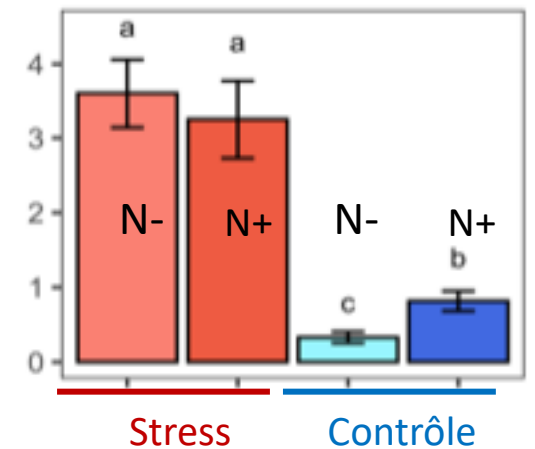


SUCRES solubles



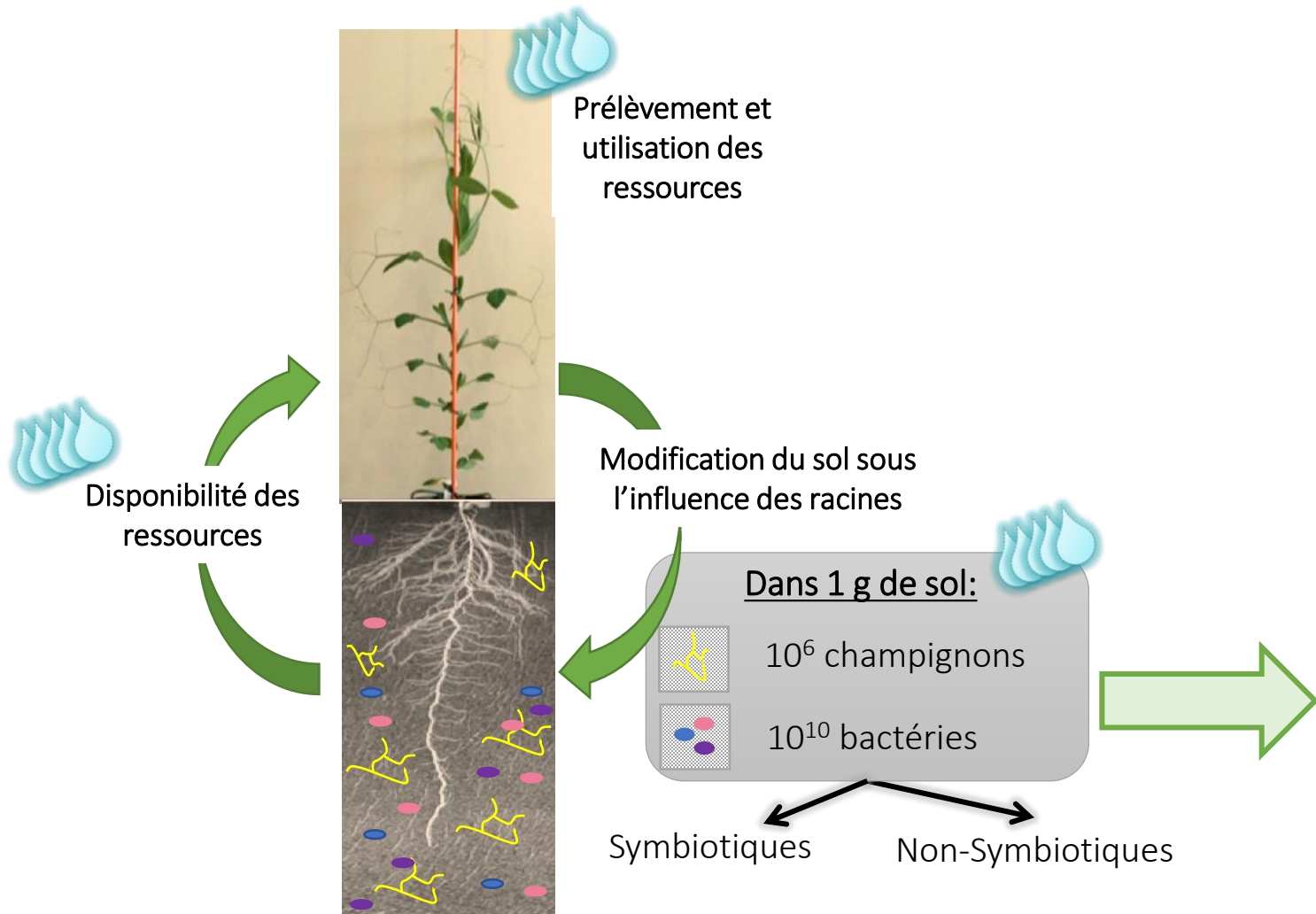
☞ Le Stress Hydrique module peu l'exsudation des Sucres

ACIDES AMINES



☞ Le Stress Hydrique augmente l'exsudation des Acides Aminés

Les communautés microbiennes: un levier pour la résilience ?



☞ Est-ce que le pois tolère mieux un stress hydrique lorsqu'il y a une forte diversité des communautés microbiennes du sol ?

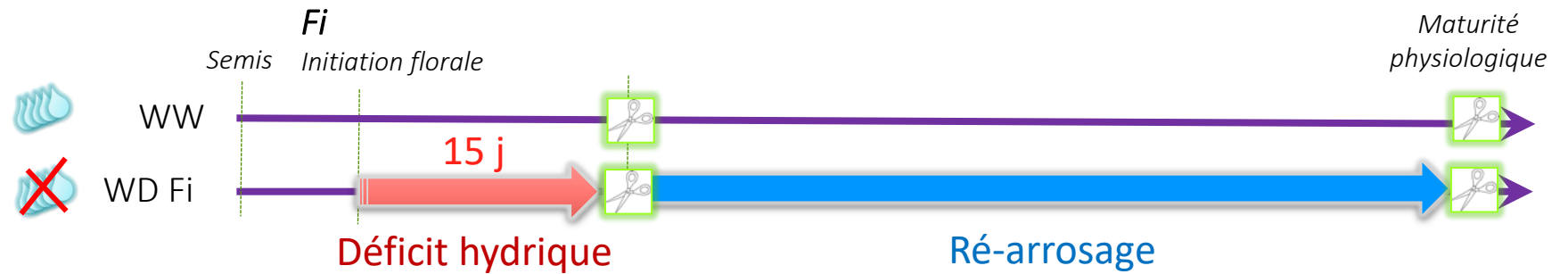
☞ Quel est le poids des symbioses ?

☞ Un intérêt de s'intéresser aux communautés microbiennes minoritaires ?

Quel effet du niveau de diversité microbienne sur la résilience du pois au déficit hydrique ?



Culture en terre, 4PMI



3 niveaux de diversité microbienne



2 géotypes

Wild type Frisson (*myc +*, *nod +*)

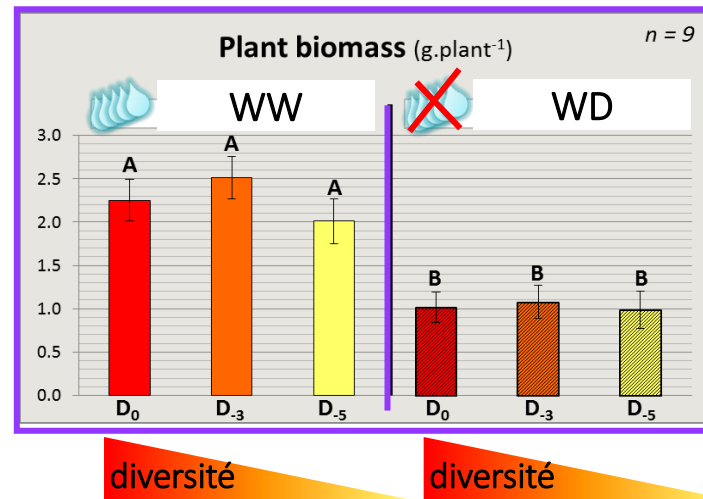
Mutant FP2 (*myc -*, *nod -*)

2 traitements hydriques

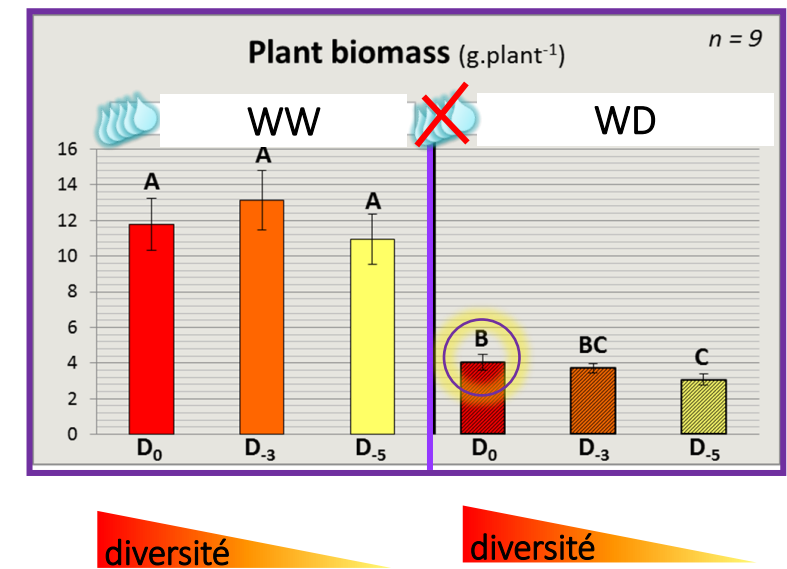
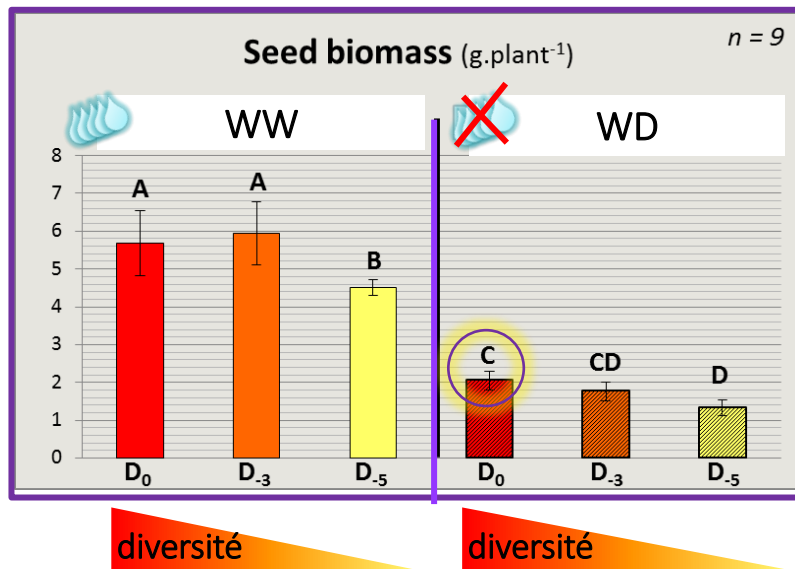
WW : bien arrosé

WD : déficit hydrique

Pas d'impact du niveau de diversité microbienne sur la résistance au déficit hydrique



Effet bénéfique de la diversité microbienne sur la récupération post déficit hydrique



Les communautés microbiennes: un levier pour la résilience ?

Une plus forte diversité des communautés microbiennes confère une meilleure résilience après un stress hydrique :

☞ Les espèces microbiennes minoritaires peuvent avoir une haute valeur ajoutée dans les agrosystèmes !

Résultats similaires chez le sauvage et chez mutant sans symbiose :

☞ Du sens de regarder les communautés microbiennes, même chez les espèces établissant des symbioses !

Conclusion

- Le compartiment racinaire nodulé : au cœur des réponses au déficit hydrique
- Dynamique des stress à prendre en compte
- Interactions avec microorganismes : symbiotiques ET non symbiotiques
- Variabilité génétique à exploiter (vitesse de récupération, mémoire des stress...)
- Diversité des espèces de légumineuses à exploiter

Merci aux financeurs



FUI EAUPTIC



SERVIR L'AVENIR

RÉGION BOURGOGNE FRANCHE COMTE



anr