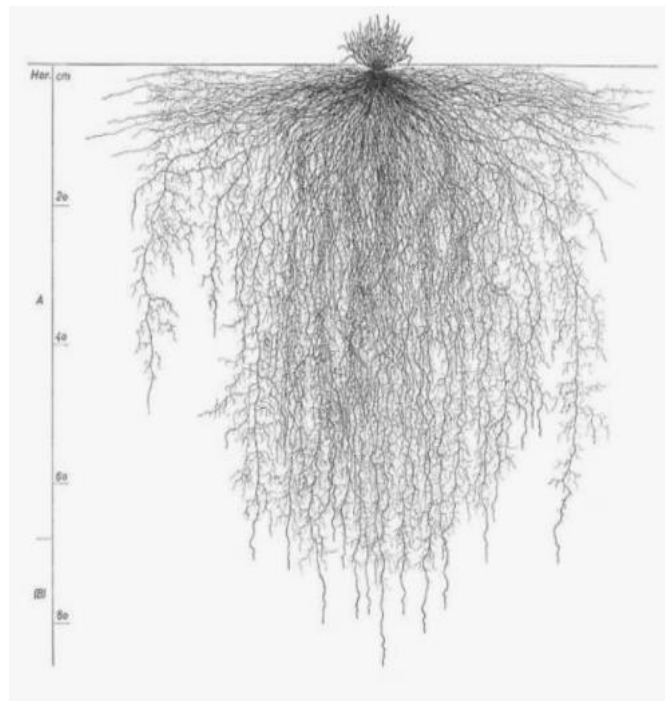


Adaptation de l'architecture racinaire aux contraintes nutritionnelles du sol: identification des mécanismes et exploitation de la variabilité génétique

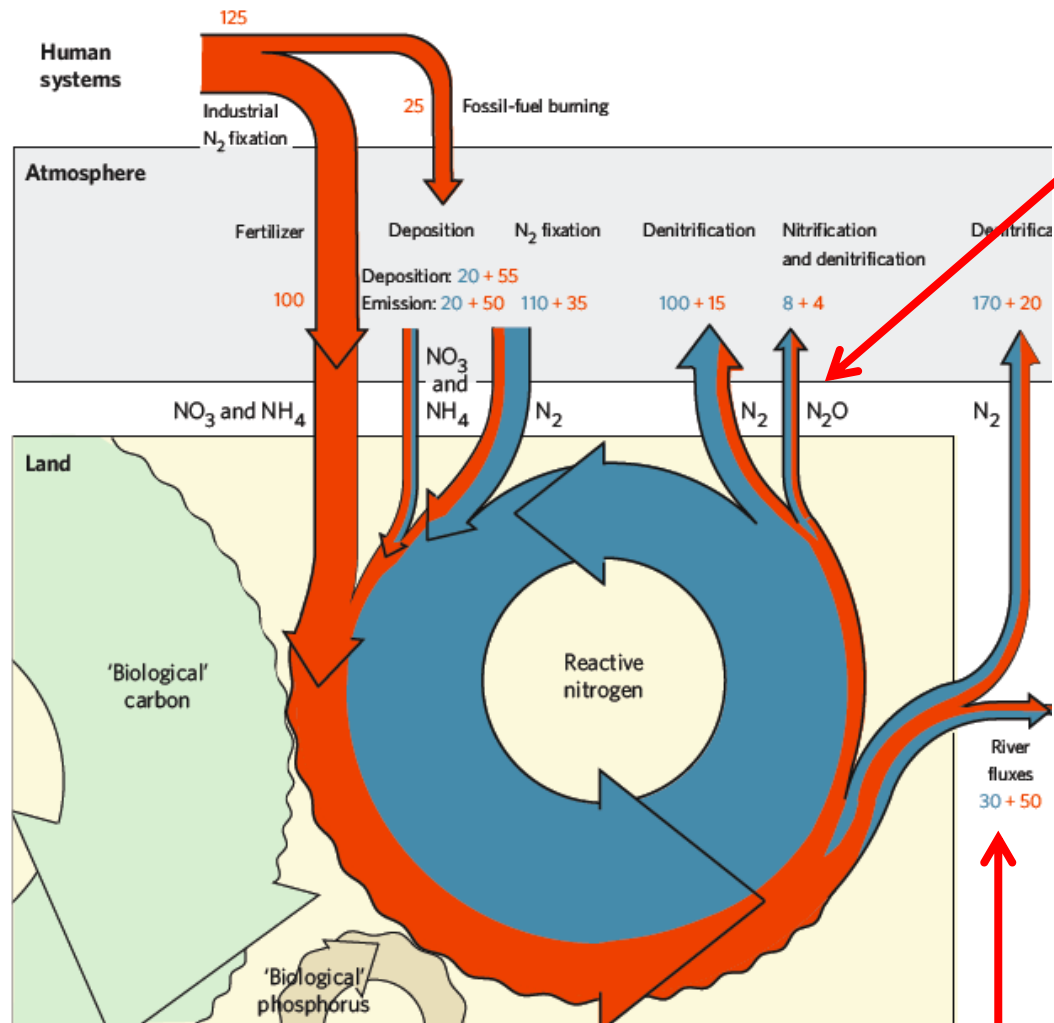


Alain GOJON

Institut des Sciences des Plantes de Montpellier

Pourquoi améliorer l'efficacité d'utilisation des ressources?

Cas de l'azote

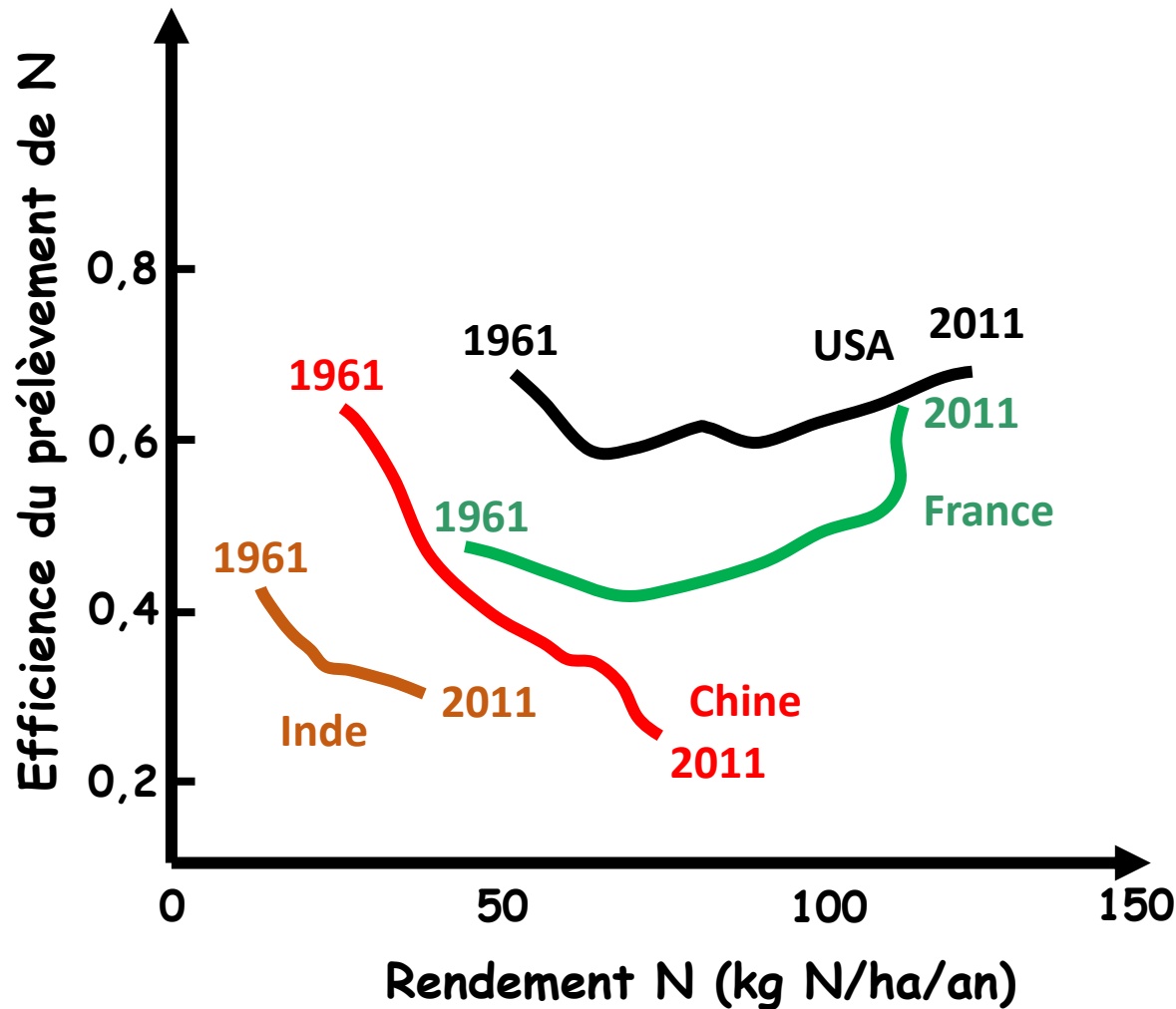


Emission de N_2O

Gruber et Galloway 2008 Nature

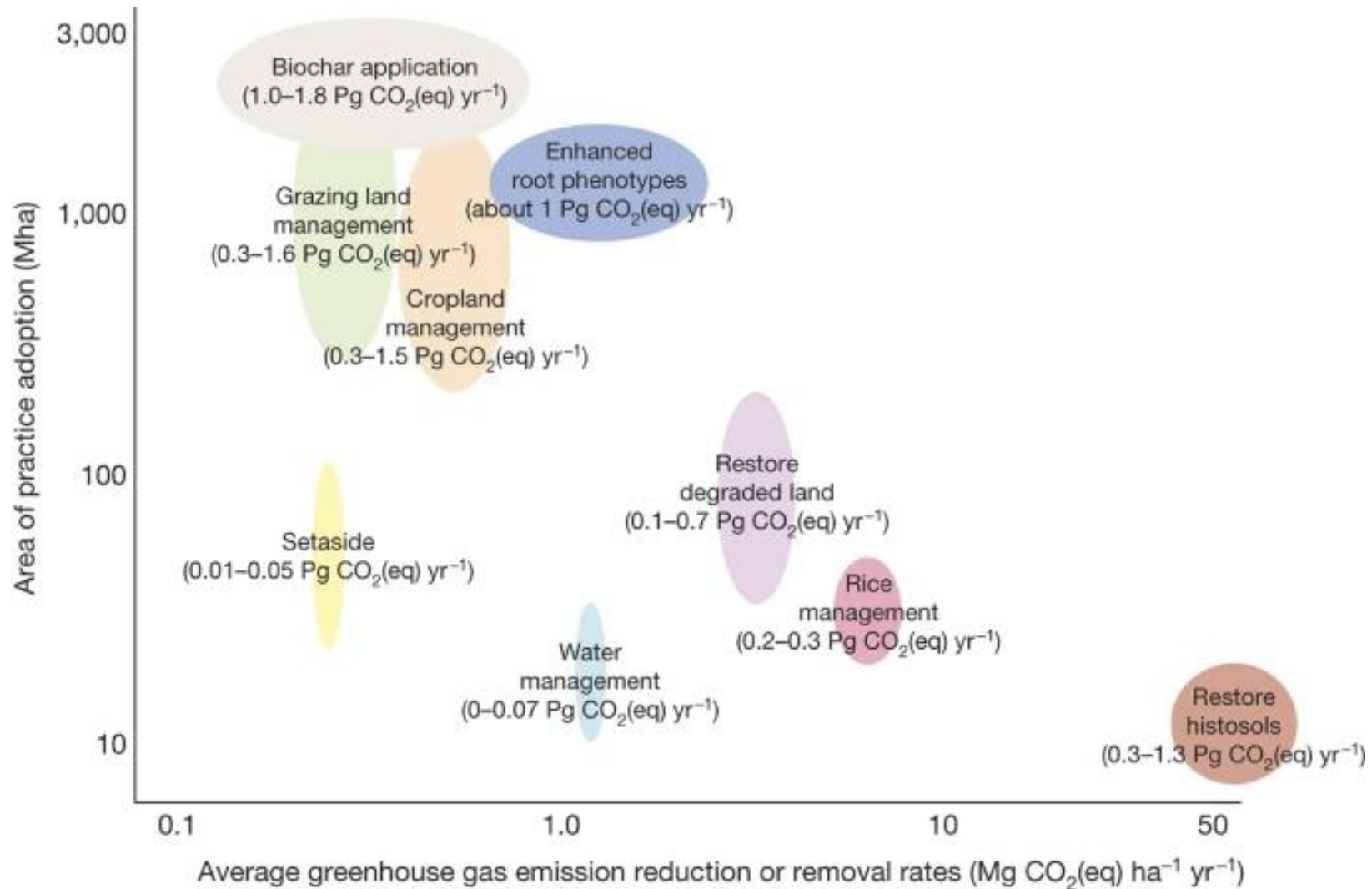
Pollution des eaux par le nitrate

Des progrès restent à faire pour améliorer l'efficacité d'utilisation des ressources du sol: cas de l'azote



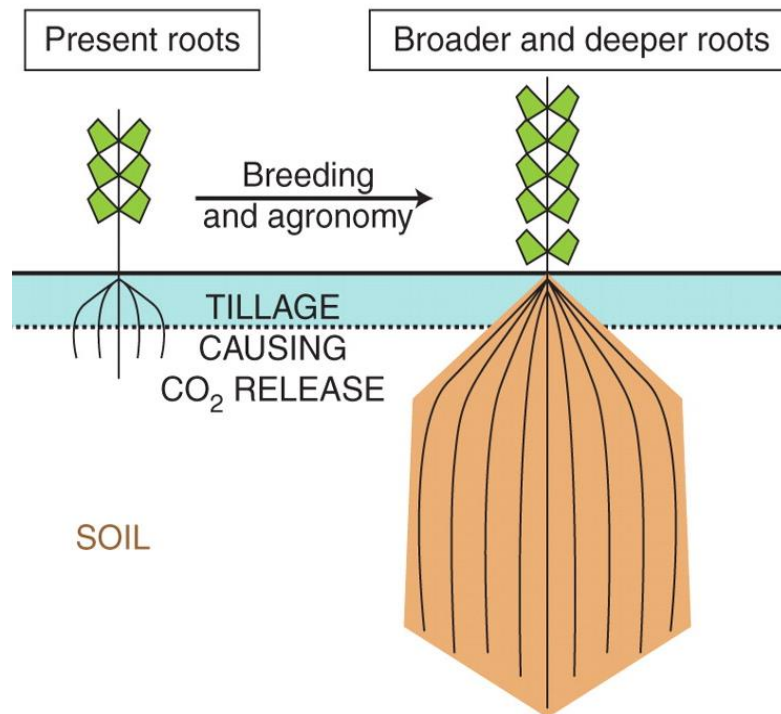
Zhang et al 2015 Nature

Potentiel des racines pour stocker le C dans le sol et combattre le changement climatique



Objectif: système racinaire plus développé avec une architecture optimisée:

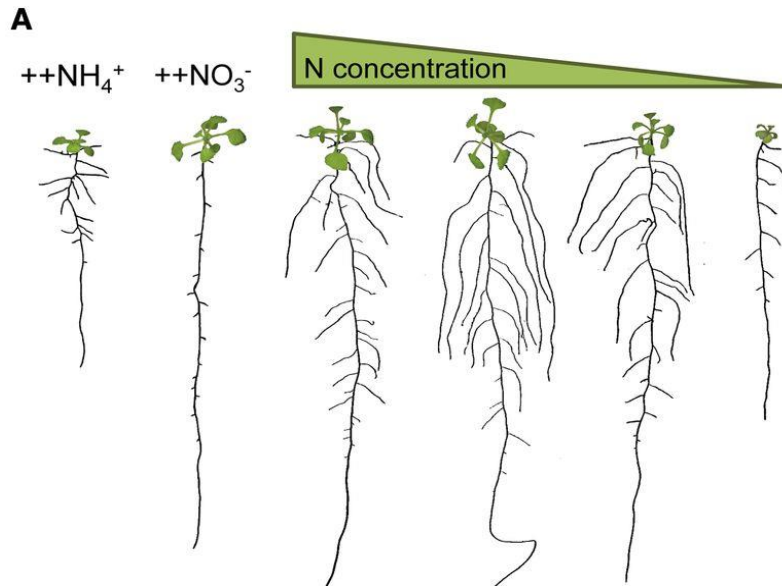
- Amélioration du prélèvement des minéraux et de l'eau
- Transfert accru du C dans le sol



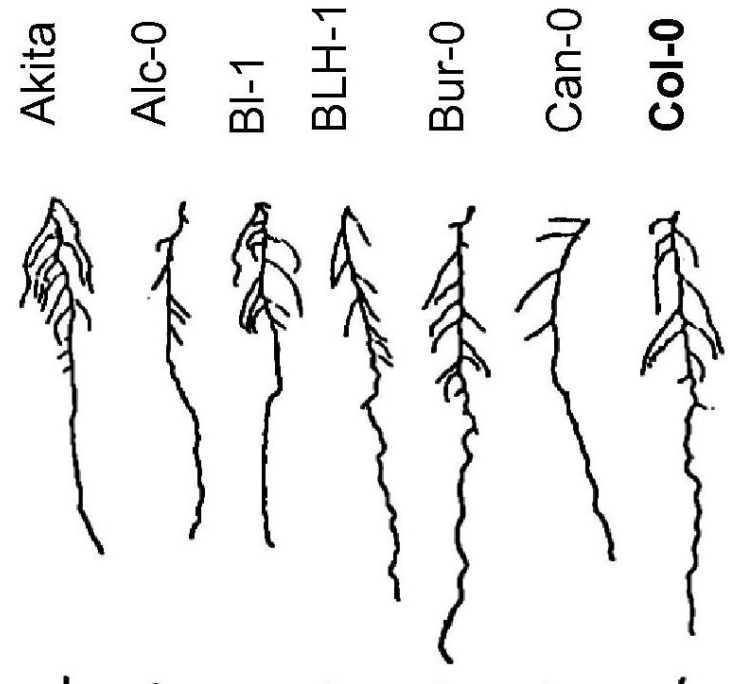
Much greater steady-state trapping of C, and also of nutrients and water, leading to improved drought- and flooding tolerance, greater biomass yields, and better soil structure and steady-state C sequestration

Plus que la taille, c'est l'architecture qui compte !

Très plastique en réponse à l'environnement et très variable génétiquement



Giehl et von Wirén 2014 *Plant Physiology*



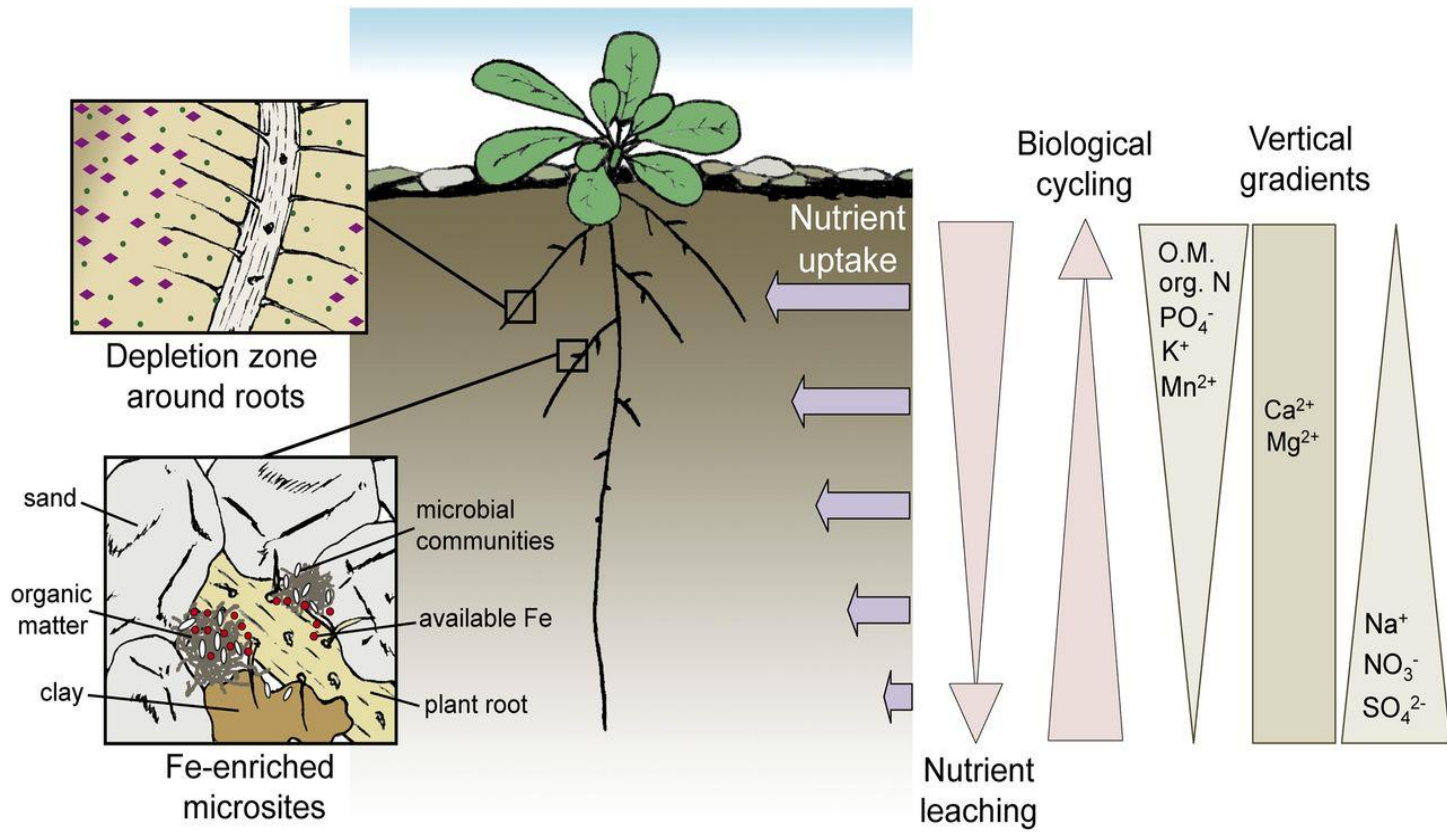
De Pessemier et al. 2013
Mechanisms of Development

Réponses spécifiques du nutriment

Focus sur la profondeur d'enracinement

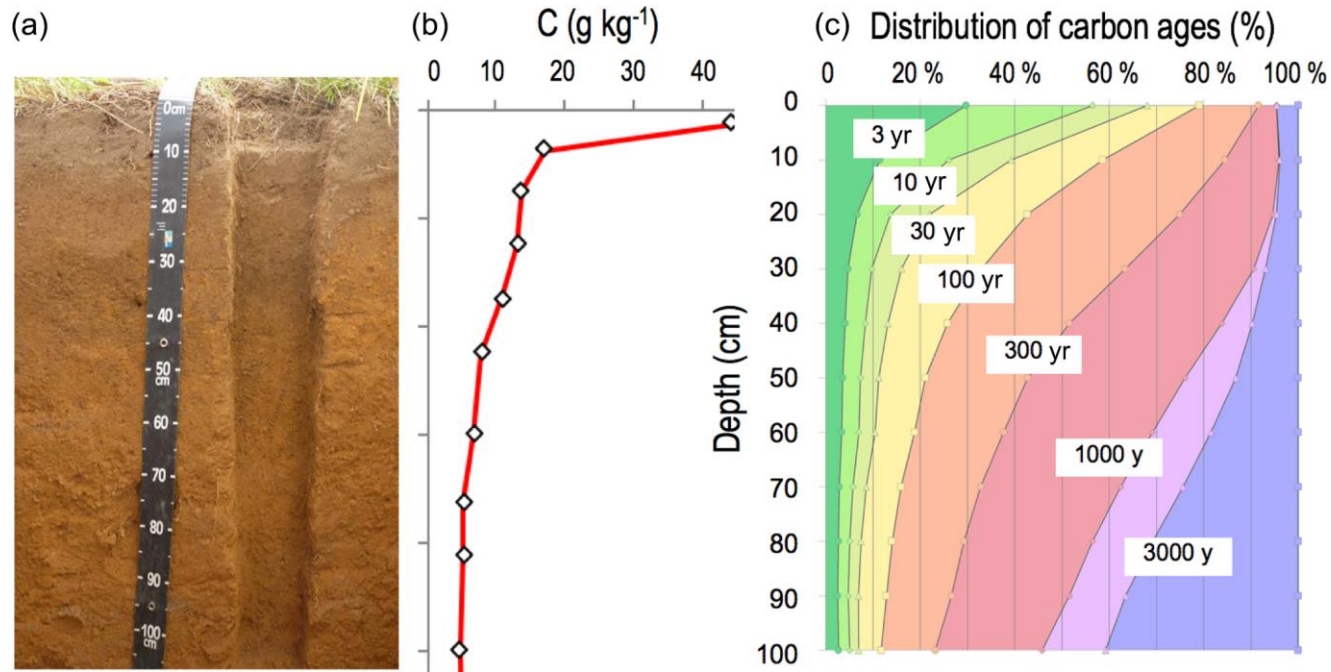
Pourquoi plus profond?

En fin de cycle cultural, l'eau et les nutriments mobiles tels que NO_3^- sont davantage disponibles en profondeur



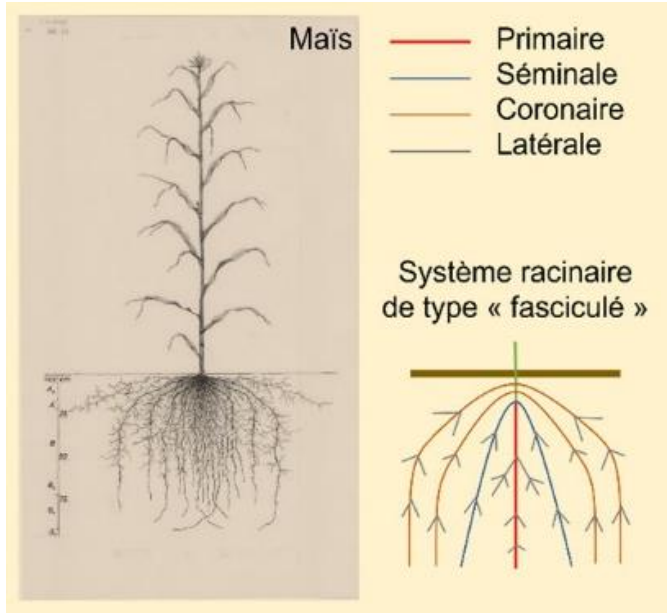
Pourquoi plus profond?

Les couches profondes du sol contiennent peu de C
Plus le C est stocké profondément dans le sol, plus il est stable



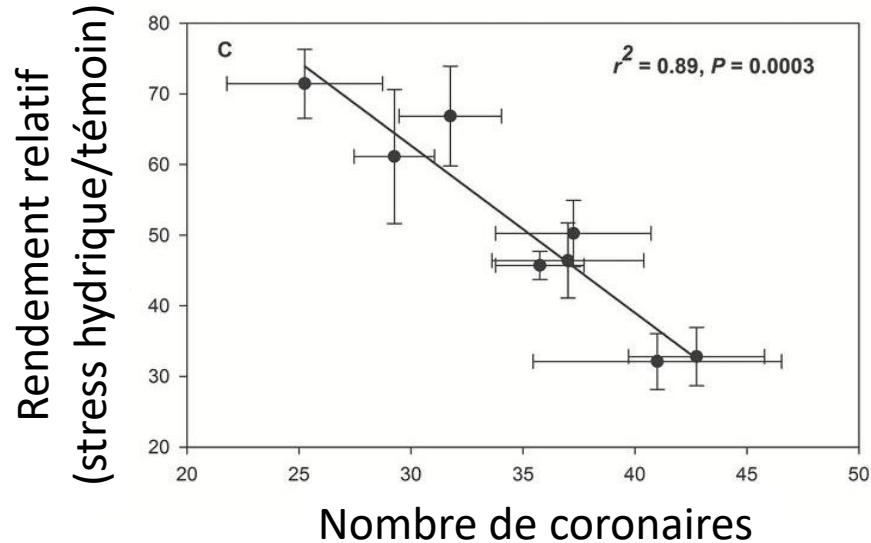
Le plus n'est pas forcément le mieux

<https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/racines-plantes/>

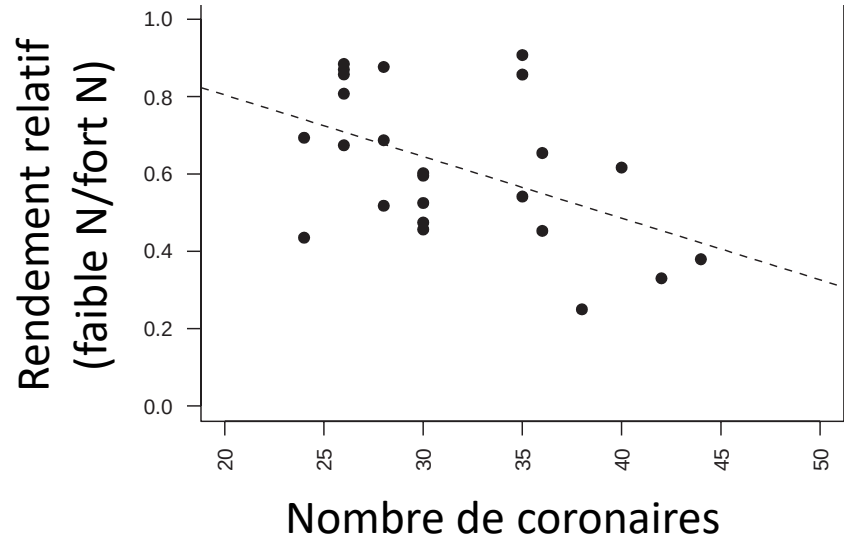


Analyse d'un panel de variétés de maïs différant par leur capacité à former des racines coronaires

Les génotypes de maïs ayant le plus faible nombre de racines coronaires sont ceux qui résistent le mieux à la sécheresse et à la carence en N !

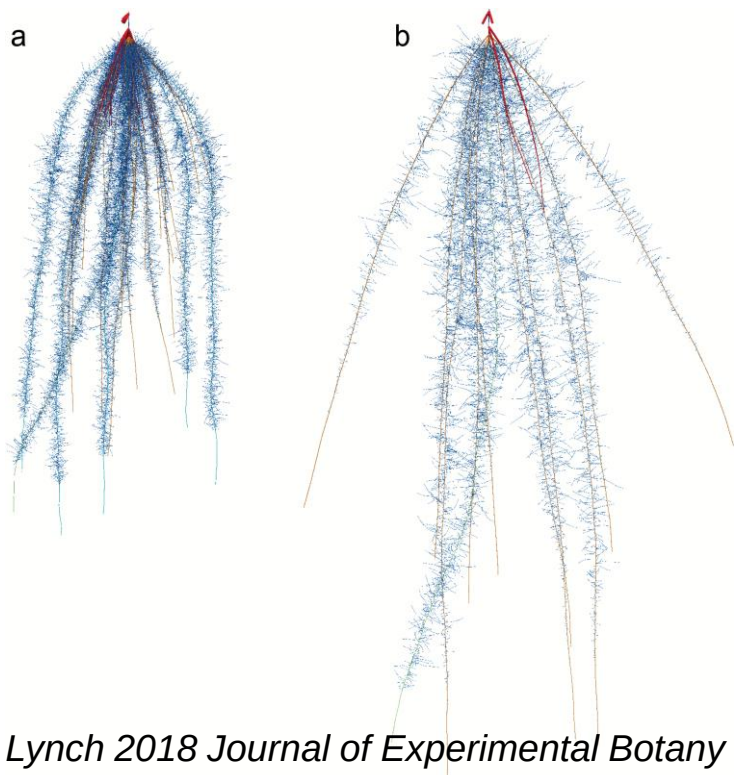


Gao et Lynch 2016 *Journal of Experimental Botany*

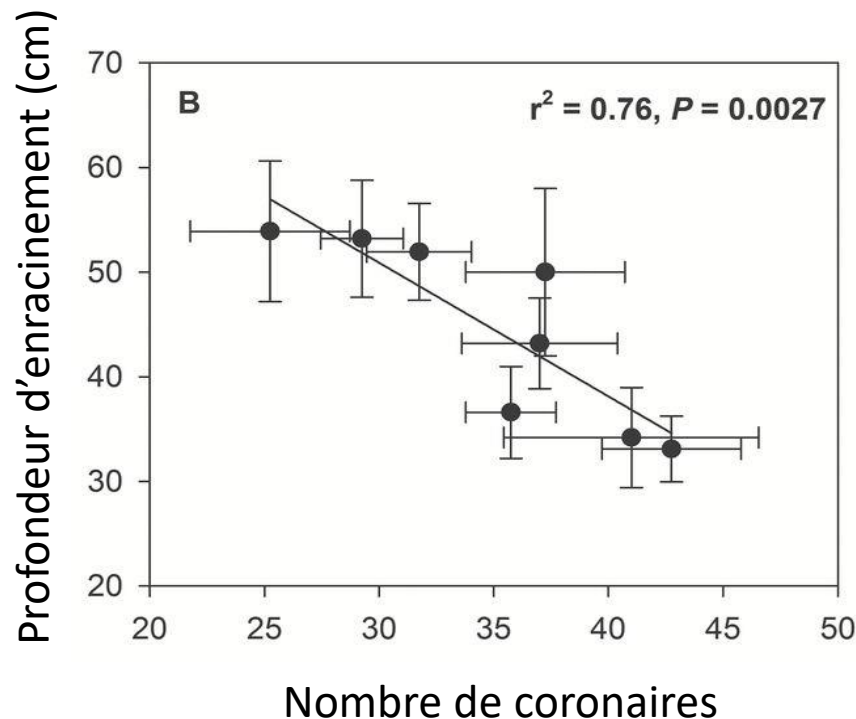


Lynch 2015 *Plant Cell and Environment*

Moins il y a de racines coronaires, plus elles vont profond



Lynch 2018 Journal of Experimental Botany



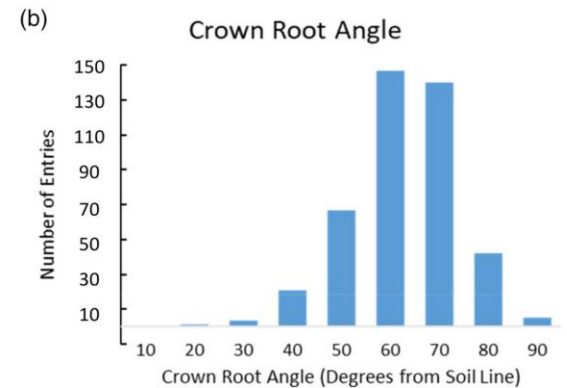
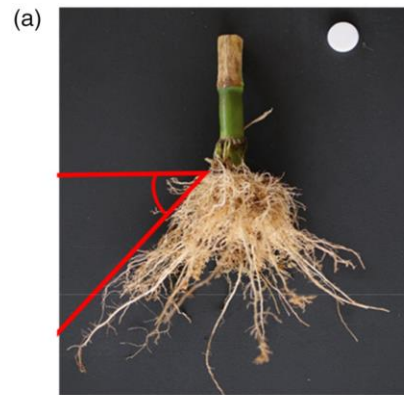
Gao et Lynch 2016 Journal of Experimental Botany

C'est la profondeur d'enracinement qui détermine la résistance à la sécheresse et à la carence en N.

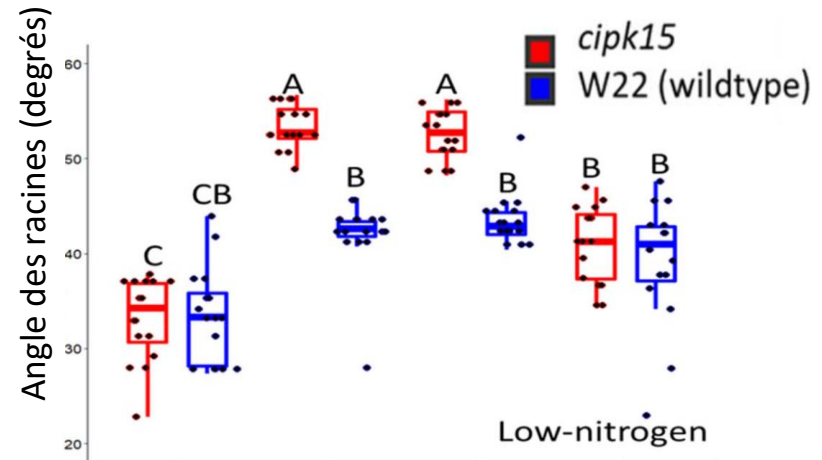
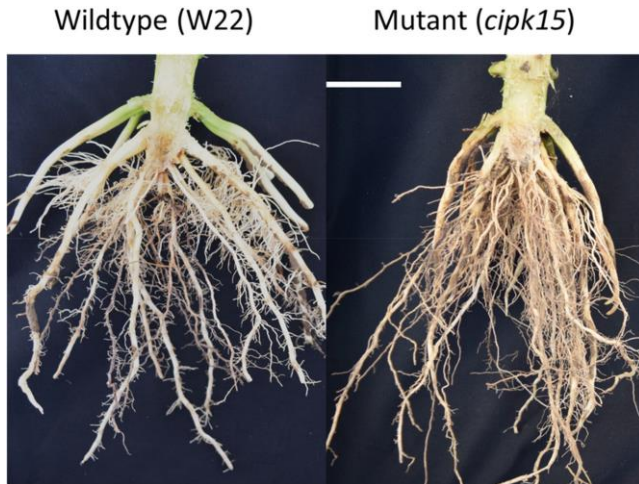
Densité de racines latérales: les variétés à faible densité se comportent mieux en réponse à la sécheresse, mais pas en réponse à la carence en N

Recherche des déterminants génétiques: l'angle de croissance des racines

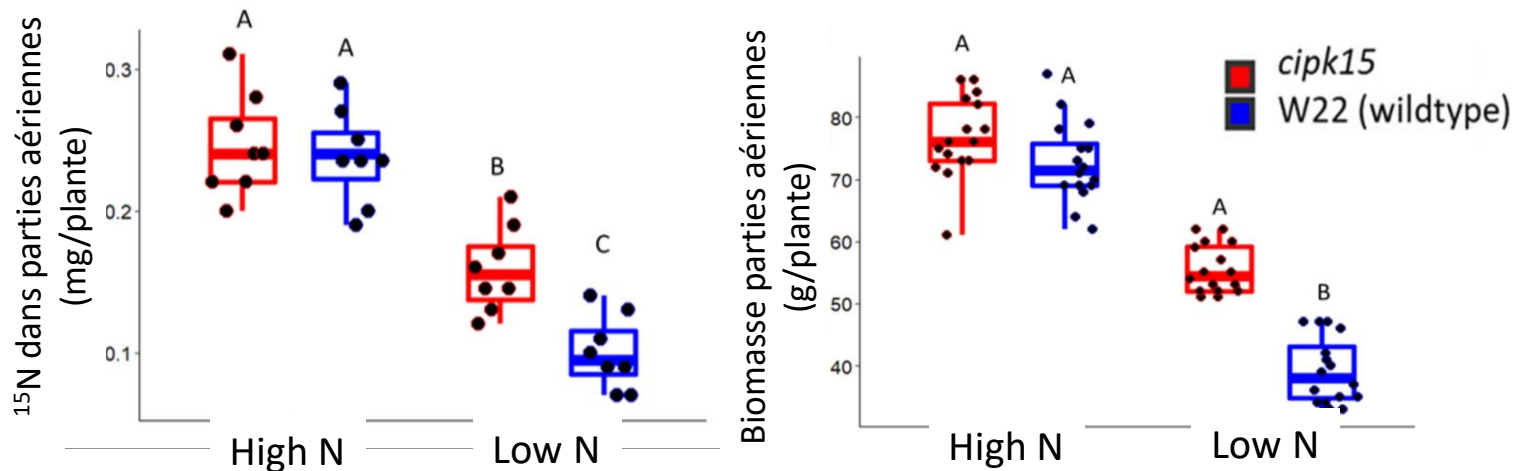
Analyse GWAS sur 481 variétés de maïs par « Shovelomics »



Le gène *CIPK15* explique une partie de la variabilité phénotypique de l'angle de croissance des racines: il favorise la croissance horizontale en faible apport de N



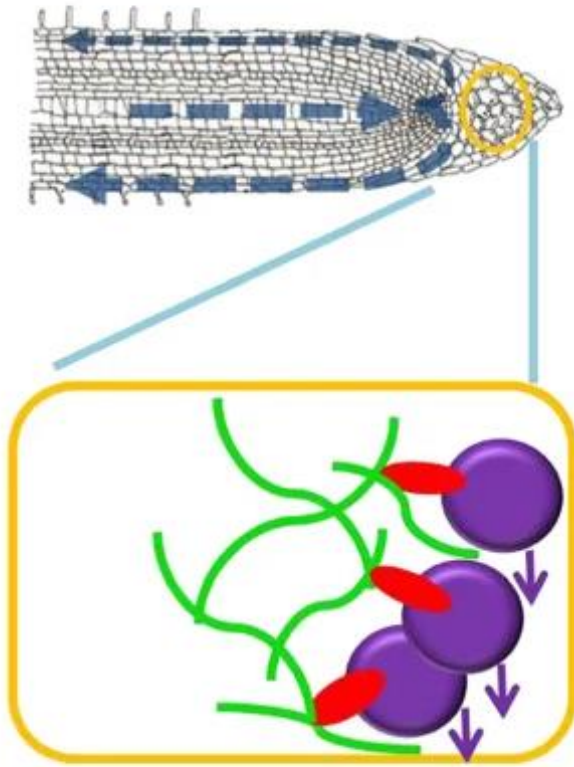
Le mutant dépourvu de *CIPK15* accumule davantage de N et de biomasse dans les parties aériennes en faible apport de N, peut-être parce que son système racinaire est plus profond.



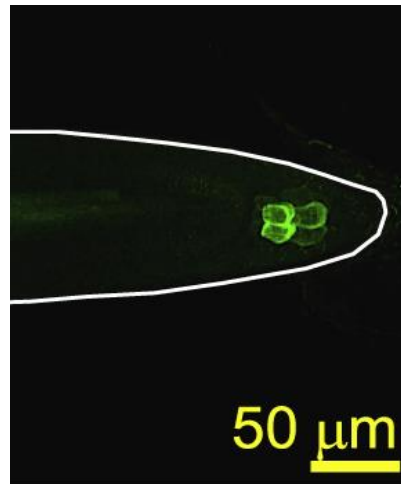
Quid des mécanismes ?

La perception gravitropique des racines oriente leur croissance vers le bas

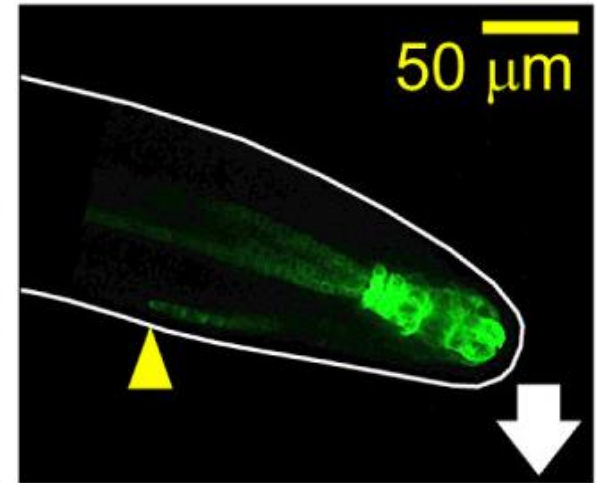
La sédimentation des statolithes dans la columelle induit une distribution asymétrique de l'auxine qui favorise l'élongation cellulaire dans la zone supérieure de la pointe racinaire



PIN4-GFP



DR5::GFP (auxine)



Huang et al 2018 Nature Communications

Ogura et al 2019 Cell

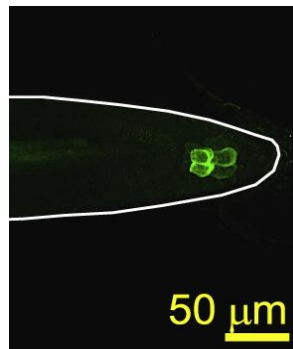
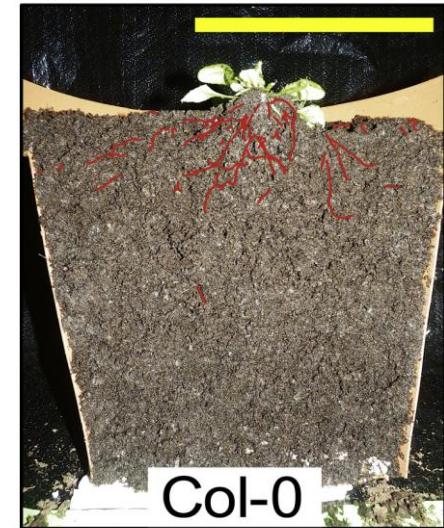
Chez *Arabidopsis*, le transporteur d'auxine PIN4 s'oppose à distribution asymétrique de l'auxine et favorise la croissance horizontale des racines

Analyse GWAS sur 215 accessions d'*Arabidopsis* par analyse d'images

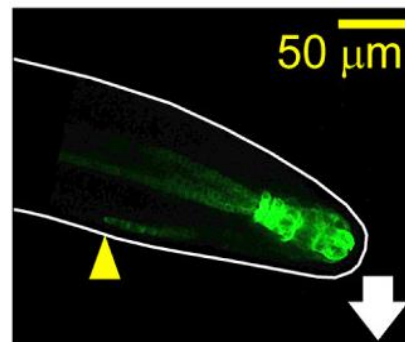
Identification du gène *EXO70A3* qui est un régulateur positif de PIN4.

La mutation d'*EXO70A3* empêche l'expression de PIN4 et se traduit par un système racinaire plus profond

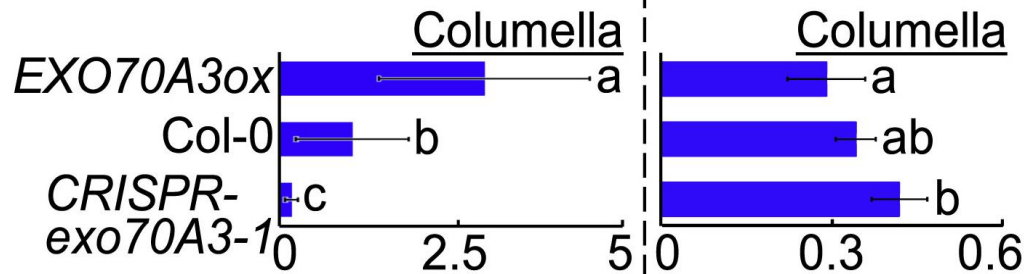
A



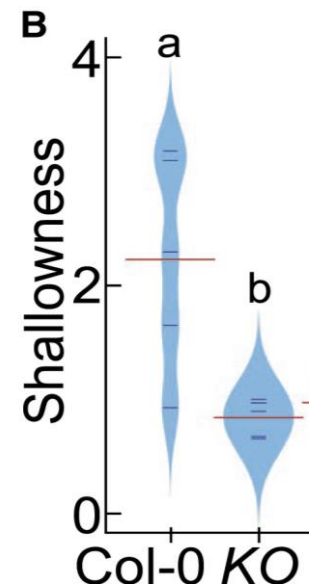
PIN4::GFP



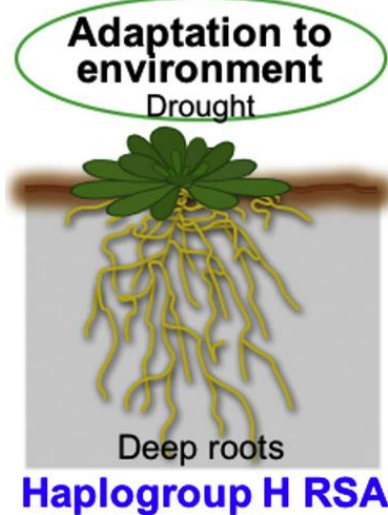
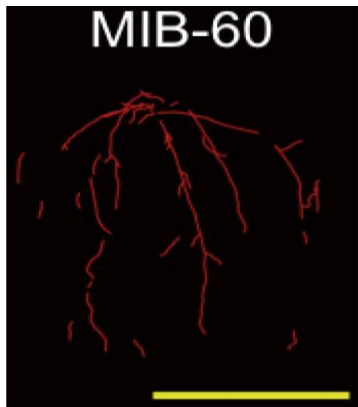
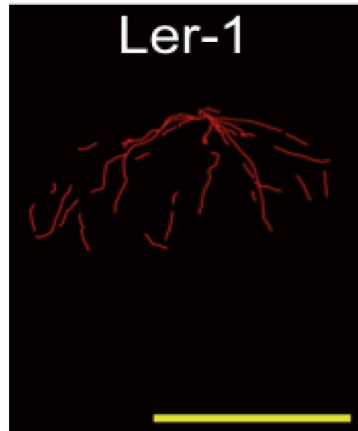
DR5::GFP



Ogura et al 2019 Cell

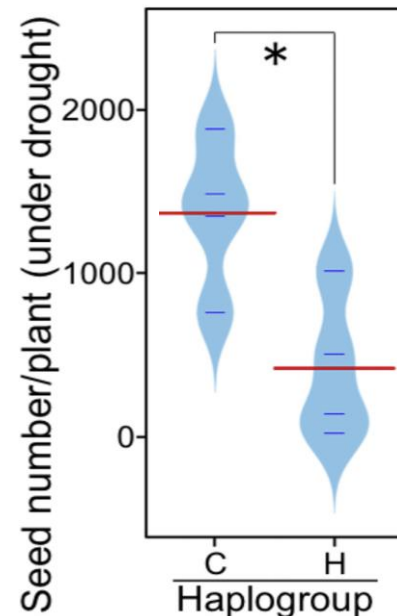


La variabilité génétique naturelle d'EXO70A3 se traduit par une variabilité phénotypique de l'architecture racinaire



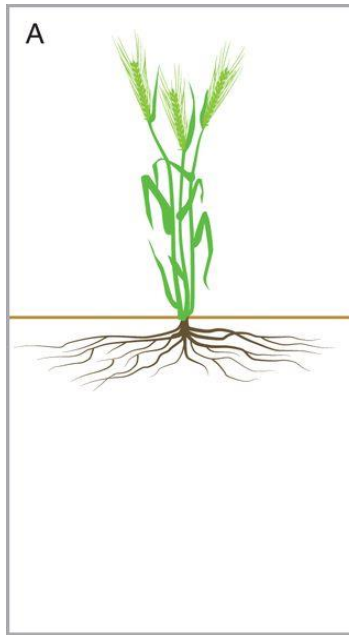
Les accessions portant la version « C » du gène EXO70A3 sont majoritairement originaires de zones arides, à pluviométrie faible mais régulière.

Elle résistent mieux à un stress hydrique lié à des apports d'eau insuffisants mais fréquents. Dans ce cas, c'est un système racinaire superficiel qui est avantageux !

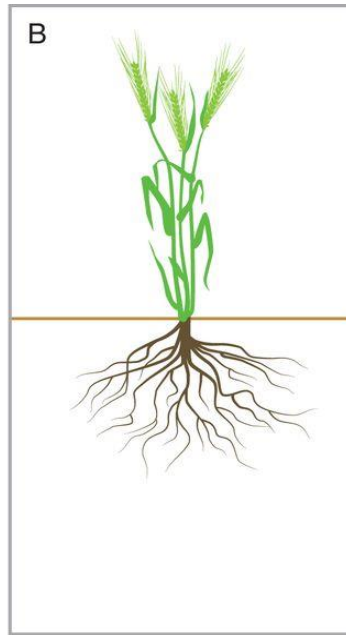


La plante idéale n'existe pas !

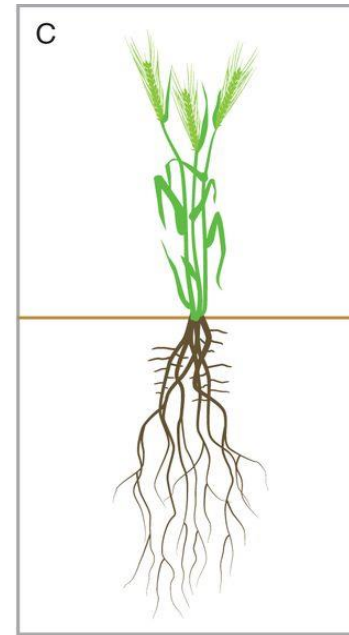
Diversité d'idéotypes racinaires adaptés à la diversité de scénarios pédoclimatiques



Topsoil foraging for P



Intermediate response for K



Steep, cheap and deep for N

*White et al 2013
Annals of Botany*

Quelle stratégie ?

- variétés hyper-spécialisées
- mélange de variétés
- phénotypes dymorphiques permis par photosynthèse accrue
- réponses adaptatives amplifiées

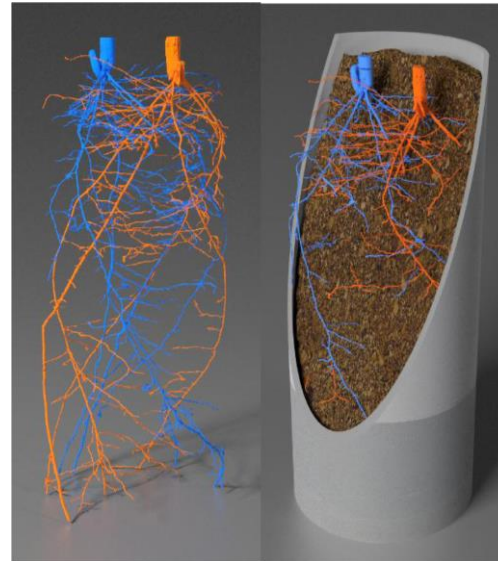
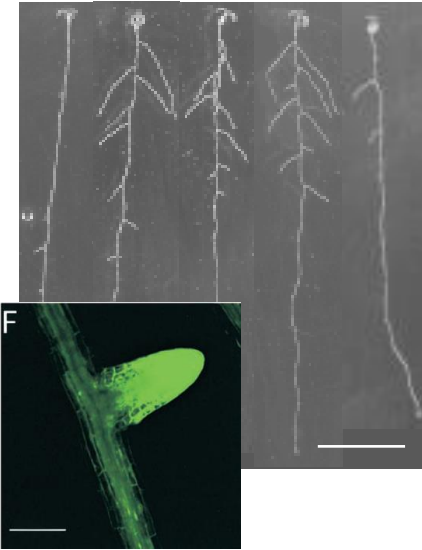
Le problème du phénotypage de l'architecture racinaire au champ et de la validation des gènes candidats

Boite de petri

Rhizotubes

Tomographie R-X

« Shovelomics »



Comparaison prédictions du laboratoire et données au champ

Distribution pédoclimatique des variants alléliques

Comprendre le mécanisme

Interroger les parties aériennes

Conclusions

- L'architecture du système racinaire, plus que sa taille, est un déterminant majeur de l'efficacité d'utilisation des ressources du sol.
- Cette architecture présente une forte variabilité génétique naturelle, exploitable en sélection, mais les conditions du milieu ont souvent un effet plus fort que le génotype.
- Un grand nombre de gènes contrôlant l'architecture racinaire ont été identifiés. De nombreuses ressources génétiques attendent d'être exploitées.
- La définition des idéotypes est complexe. C'est encore un sujet de débat.
- Le phénotypage du système racinaire en conditions agronomiques reste un sérieux verrou méthodologique.
- Pour l'architecture racinaire, il est urgent de coupler les études concernant l'amélioration de la nutrition hydro-minérale des plantes et celles concernant la séquestration du carbone dans les sols.

Merci pour votre attention

