

Interactions Sol-Rhizosphère-Systèmes racinaires : Quelles relations avec le statut hydrique des sols

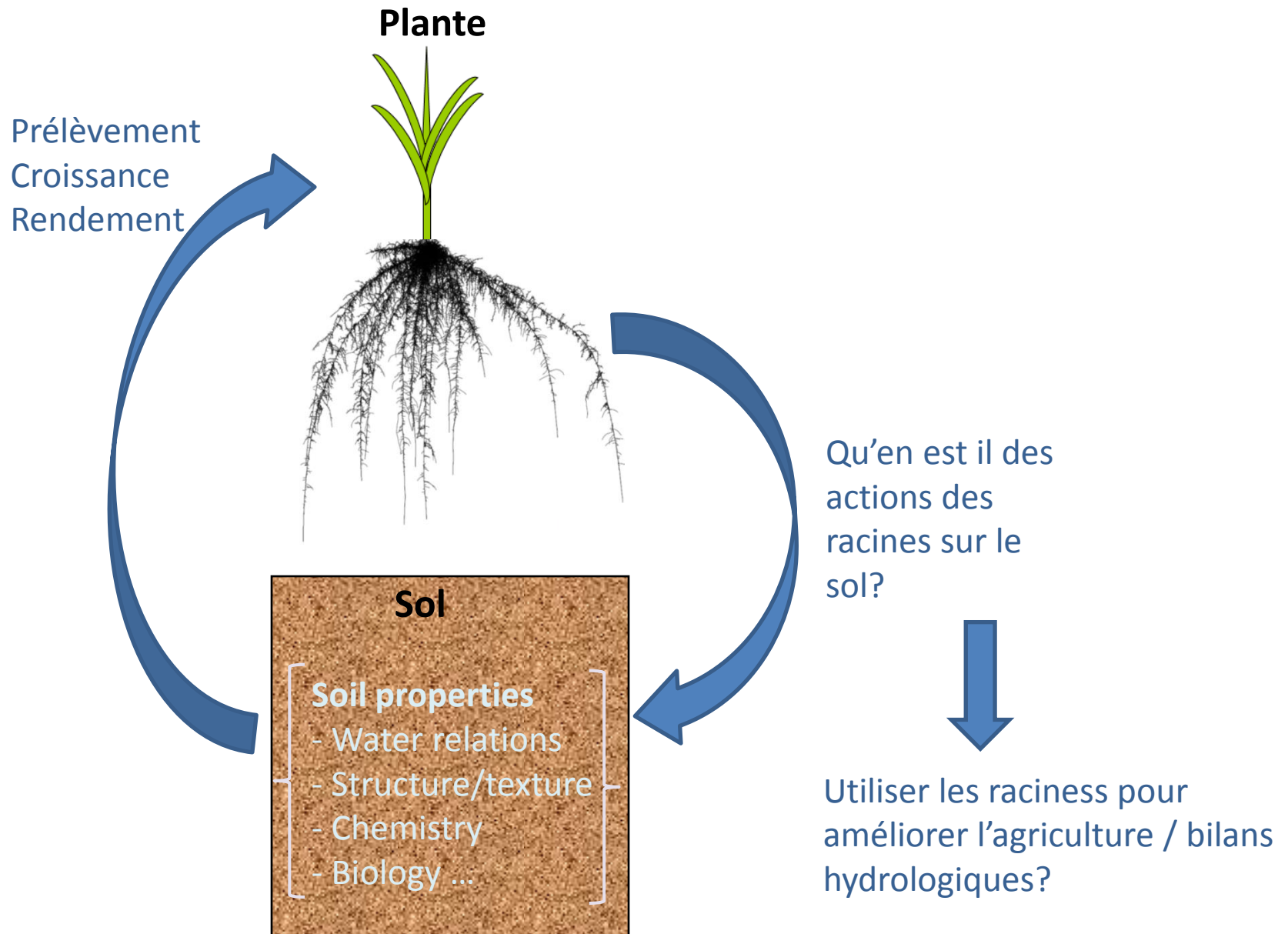
Claude Doussan



Environnement **M**éditerranéen et
Modélisation des **A**gro-**H**ydrosystèmes



Plantes et sols interagissent...



Végétation et bilan hydrique

- La végétation est un facteur essentiel dans le bilan hydrologique global) :
=> Transpiration ~40% Pluie (ETR ~ 60%, mais E/T influencé par CC)

Transpiration = capture eau par racines, qui représentent ~2% du volume de sol

Après le transfert dans la rhizosphère (~1mm)

=> temps de résidence eau de ~2h à 2j

=> volume rhizosphère ~47% (surface) à 1% (profondeur)

- 40% de la Pluie => rétention ou transfert / recharge nappe

Végétation et bilan hydrique

- La végétation est un facteur essentiel dans le bilan hydrologique global) :
=> Transpiration ~40% Pluie (ETR ~ 60%, mais E/T influencé par CC)

Transpiration = capture eau par racines, qui représentent ~2% du volume de sol

↳ Efficience de capture (+/- 40% Pluie) dépend du sol et des caractéristiques du système racinaire (que 2% du vol. de sol)

1/ architecture et prélèvement hydrique

- Après le transfert dans la rhizosphère (~1mm)
=> temps de résidence eau de ~2h à 2j
=> volume rhizosphère ~47% (surface) à 1% (profondeur)

↳ Importance de la zone rhizosphérique et de ses propriétés pour les flux

2/ Interactions sol/rhizosphère/racines et propriétés hydriques

- 40% de la Pluie => rétention ou transfert / recharge nappe

↳ Influencé par structure et macroporosité du sol => action de la biologie

3/ Interactions végétation / succession culturales et propriétés hydriques



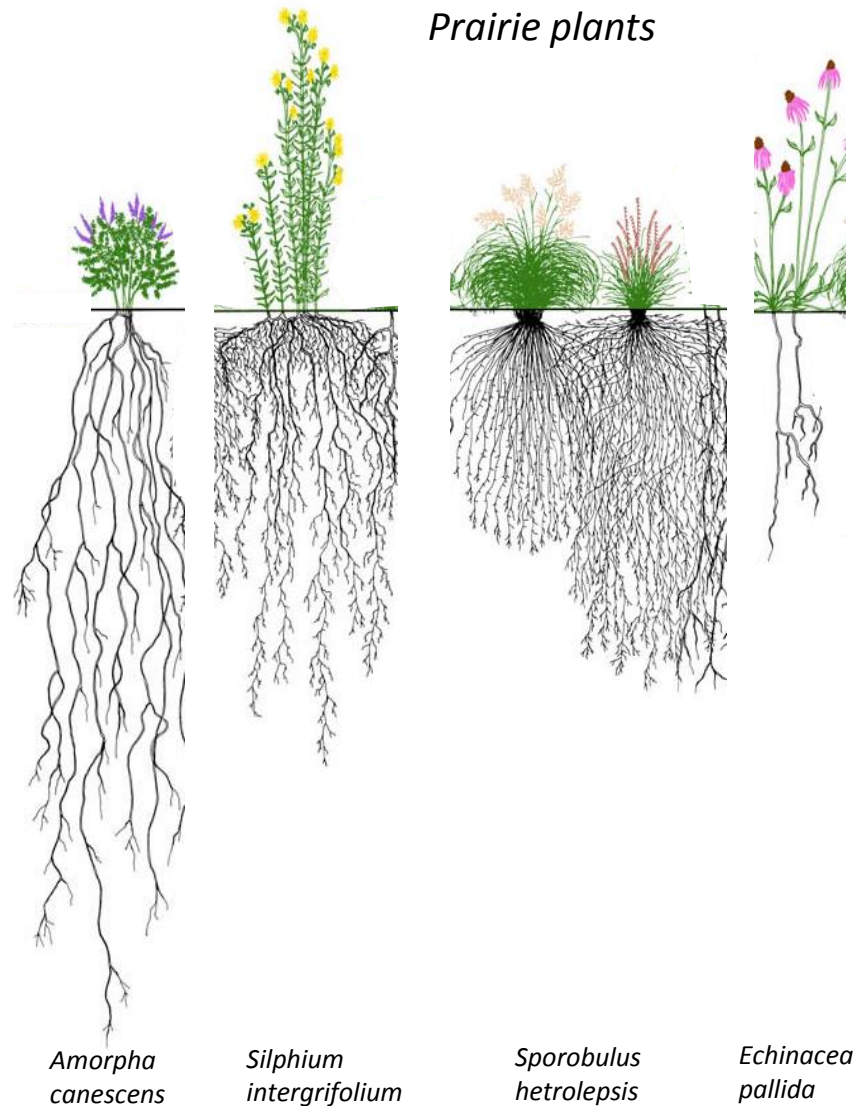
Architecture racinaire fonctionnelle et absorption hydrique

La capture de la ressource

Background

Les systèmes racinaires présentent de fortes variations d'architecture ou de traits morphologiques :

- Entre espèces:

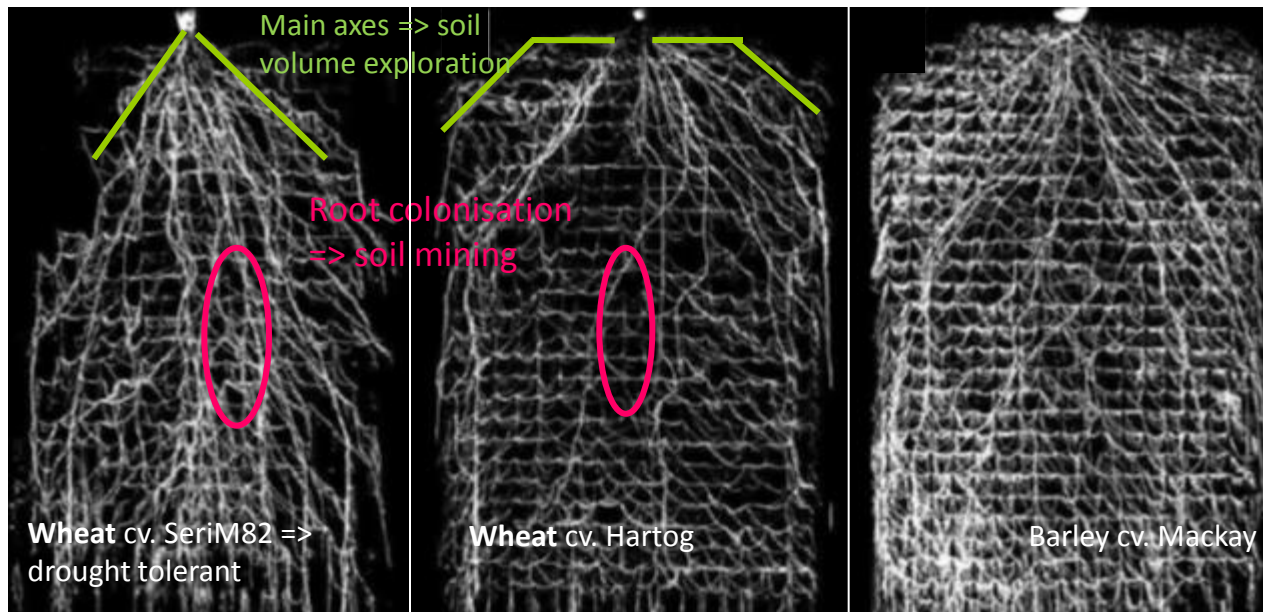


Background

Les systèmes racinaires présentent de fortes variations d'architecture ou de traits morphologiques :

- Intra-spécifique:

Wheat (and barley) root systems for contrasted cultivars



From Manschadi et al., 2008, Plant and Soil

Background

Les systèmes racinaires présentent de fortes variations d'architecture ou de traits morphologiques :

- Qui déterminent :
- Le volume de sol exploré
 - L'exploitation de ce volume de sol
 - Le timing acquisition des ressources (croissance)
 - L'efficacité du prélèvement de la ressource



Prévoir l'efficacité de géotypes variant en traits racinaires, en interaction avec le sol, nécessite un couplage entre:

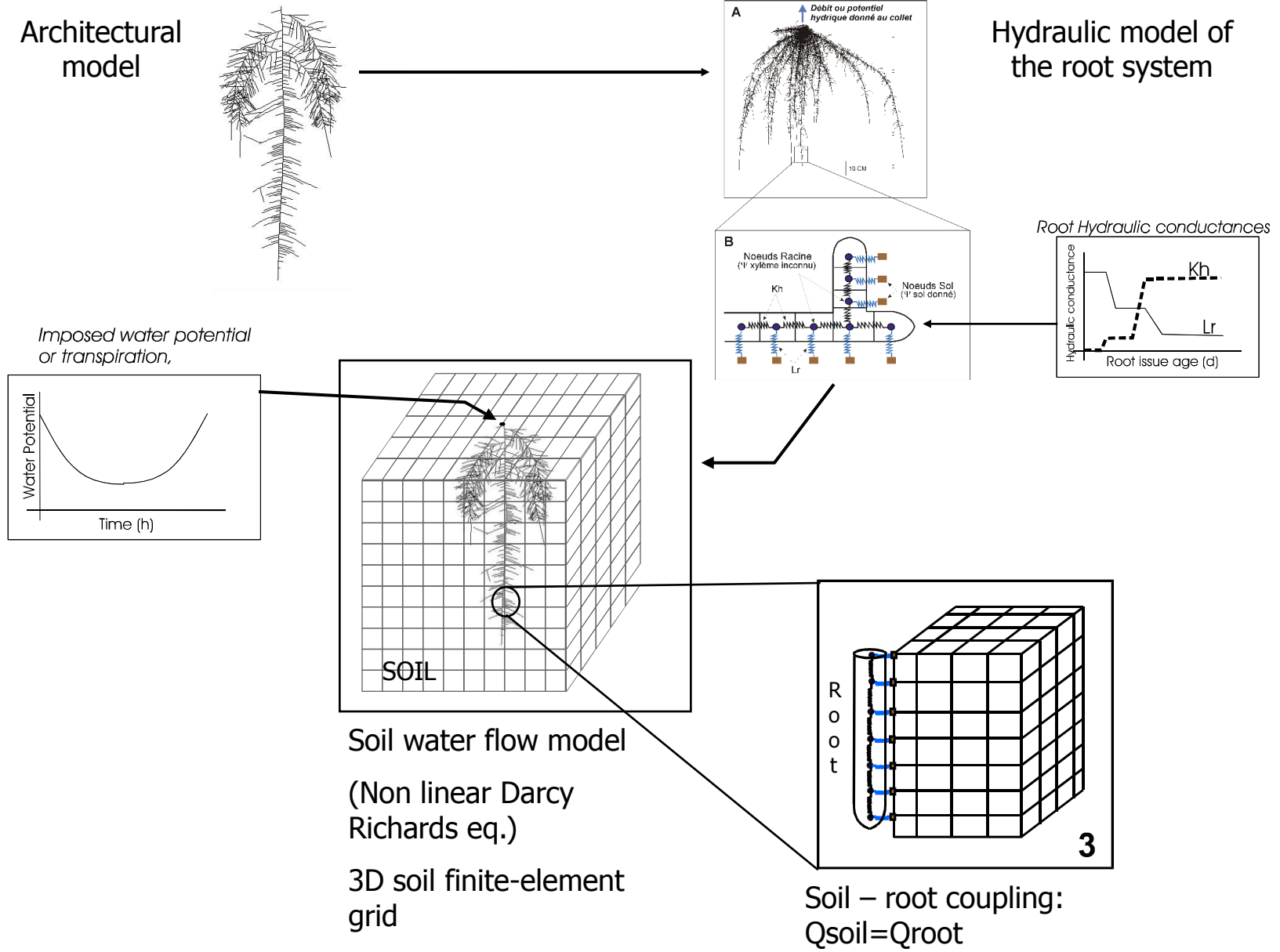
- L'architecture racinaire (croissance, topologie)
- Les processus plante du prélèvement
- Les propriétés de transfert (et chimie) des sols
- Des données !



[Modélisation fonctionnelle-architecturale sol-
racines
Phénotypage racinaire

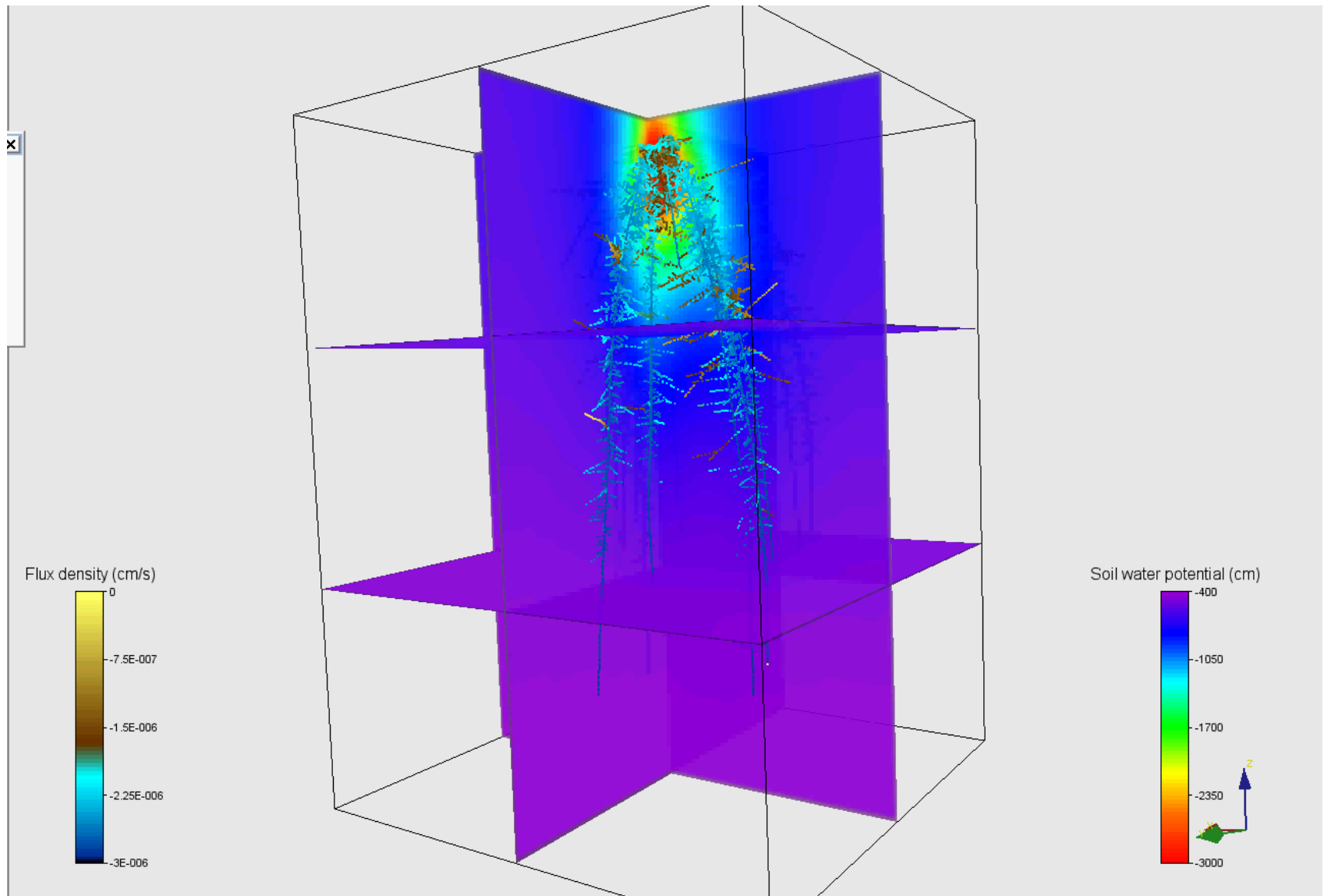
Modélisation fonctionnelle des systèmes racinaires dans le sol

Couplage transfert sol avec prélèvement et transport dans les racines



Modélisation fonctionnelle des systèmes racinaires dans le sol

Couplage transfert sol avec prélèvement et transport dans les racines



Exemple sur le riz (UE Euroot)

Rice cultivars (40)

ARIAS	IRAT 13
ARROZ CEBADA	IRAT 177
AZUCENA	IRAT 2
BENGALY VAKARINA	IRAT 112
CAAWA/FORTUNA 6	IRAT 257
CHUAN 4	IRAT 364
CICIH BETON	JIMBRUK JOLOWORO
CIRAD 394	KETAN KONIR
CIRAD 409	KETAN LUMBU
CT13582-15-5-M	MOROBEREKAN
CUBA 65	NABESHI
DANGREY	PACHOLINHA
FOHISOMOTRA	IRAT 177
GOMPA 2	CIRAD 409
HAWM OM	IRAT 112
IDSA 77	POENOET HITAM
IR47684-05-1-B	REKET MAUN
IR64	WAB 56-50
IR65907-206-4-B	
IR66421-096-2-1-1	
IR71525-19-1-1	
IRAT 112	

Expérience dans le Rhizoscope (CIRAD)

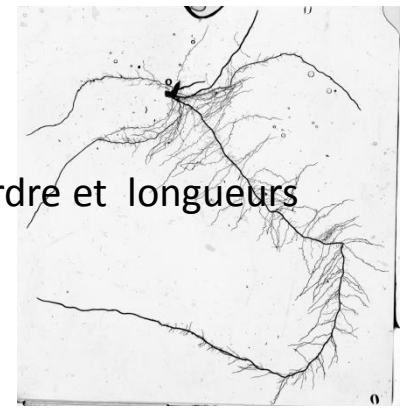
↳ Taux d'émission des racines nodales et croissance

Diversity of rice root systems (22 days)



+ Experiences en pots/scans (PSH)

↳ Densité latérales 1^{er} and 2nd ordre et longueurs



Exemple sur le riz (UE Euroot)

Root parameters variation range

Root trait	Min	Max
Seminal/nodal root emission rate (root/day)	0.7	1.4
Main axes growth rate (cm/day)	1.4	2.2
Main axes angle at shoot base - geotropism (°)	35	55
Main axes branching (lateral/cm)	5.5	20
1st order lateral length (cm)	0.8	10
1st order lateral growth rate (cm/day)	0.2 (higher for long laterals)	0.6
1st order lateral branching (lateral/cm)	2.5	10
2nd order laterals length (cm)	0.8	
2nd order lateral growth rate (cm/day)	0.2	

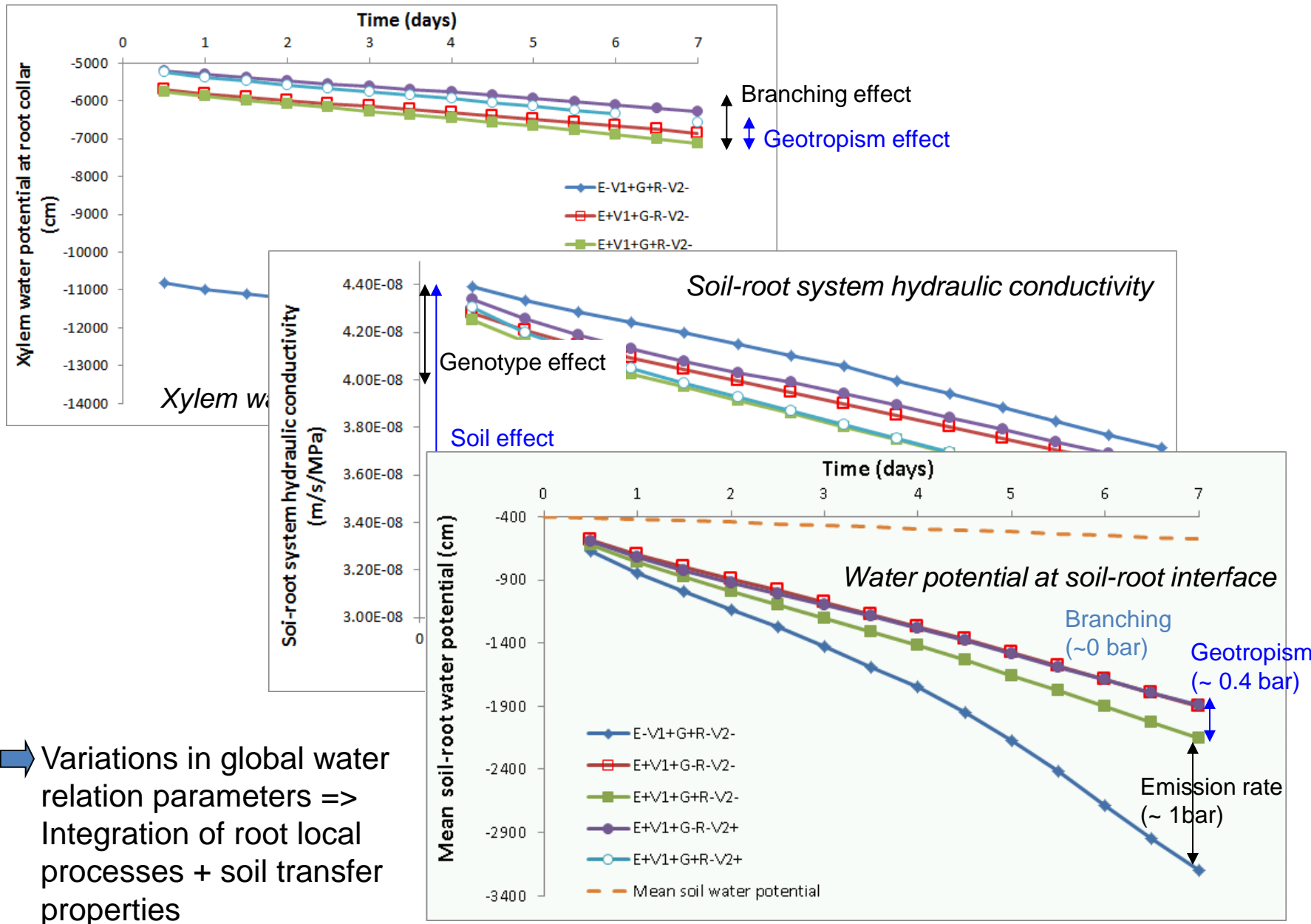
Root architecture models:
combinaison of min/max root traits

Adjustment of geotropism coef.

Variation in the log-normal distribution of root growth : same \bar{x} , different σ

Test de l'efficience de prélèvement différentes architectures sur un type de sol (limon)

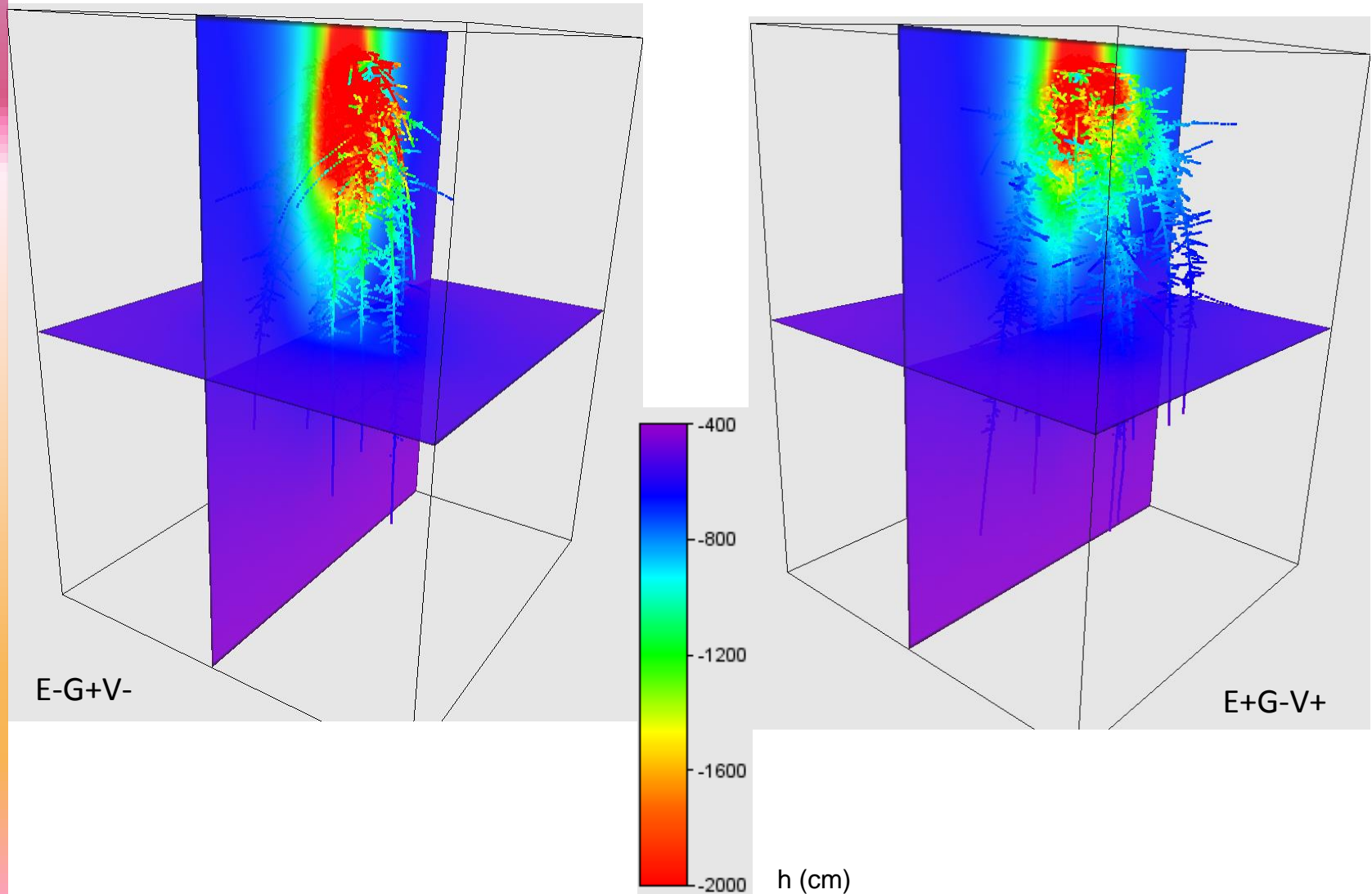
Conséquence sur prélèvement / Vision globale



Conséquence sur prélèvement / Vision locale

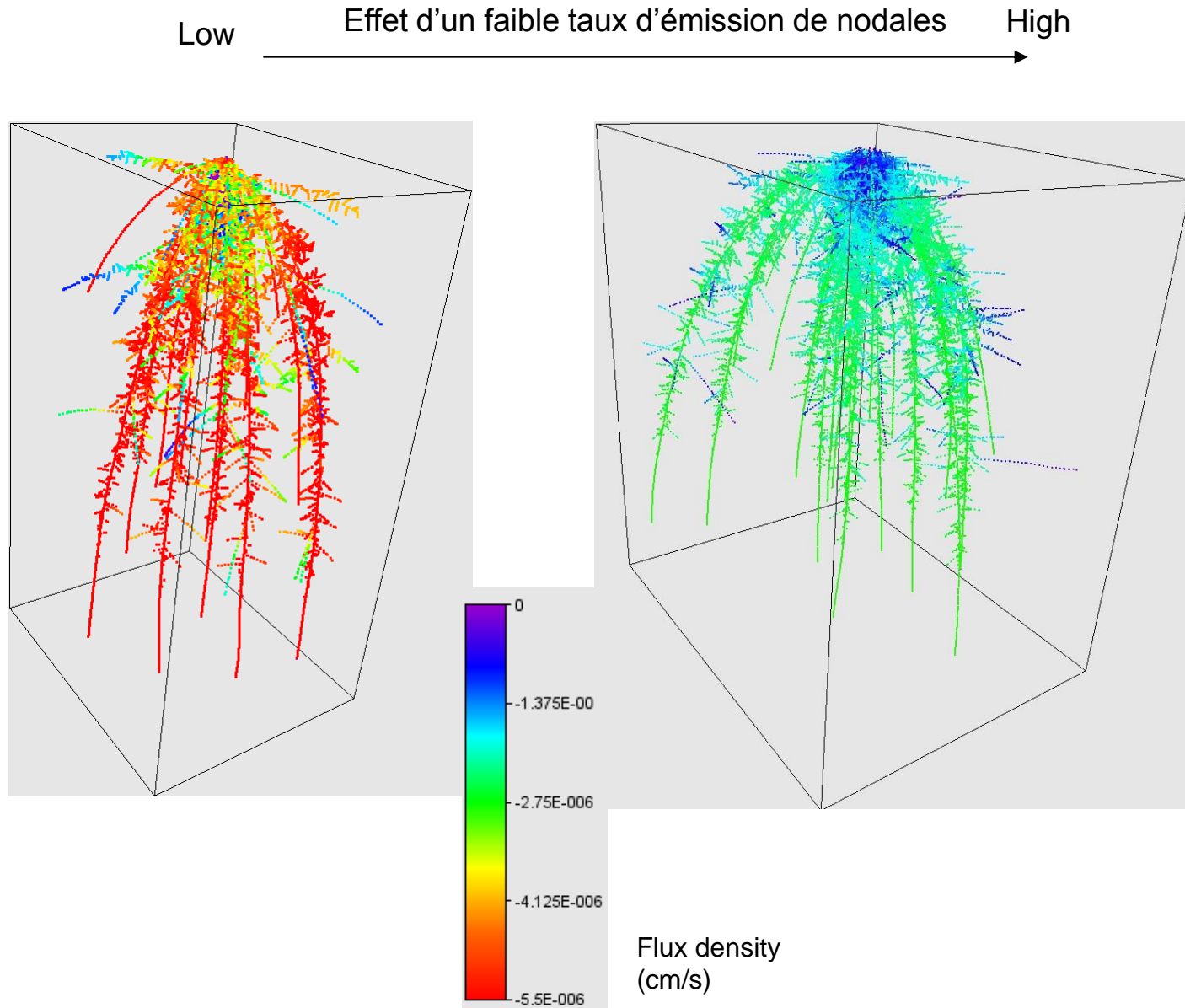
Potentiel hydrique dans le sol et à l'interface sol-racine (après 7 jours)

Low Effet d'un faible taux d'émission de nodales High
→



Conséquence sur prélèvement / Vision locale

Densité de flux d'eau entrant dans les racines (à 7 jours)



Couplage sol système racinaire

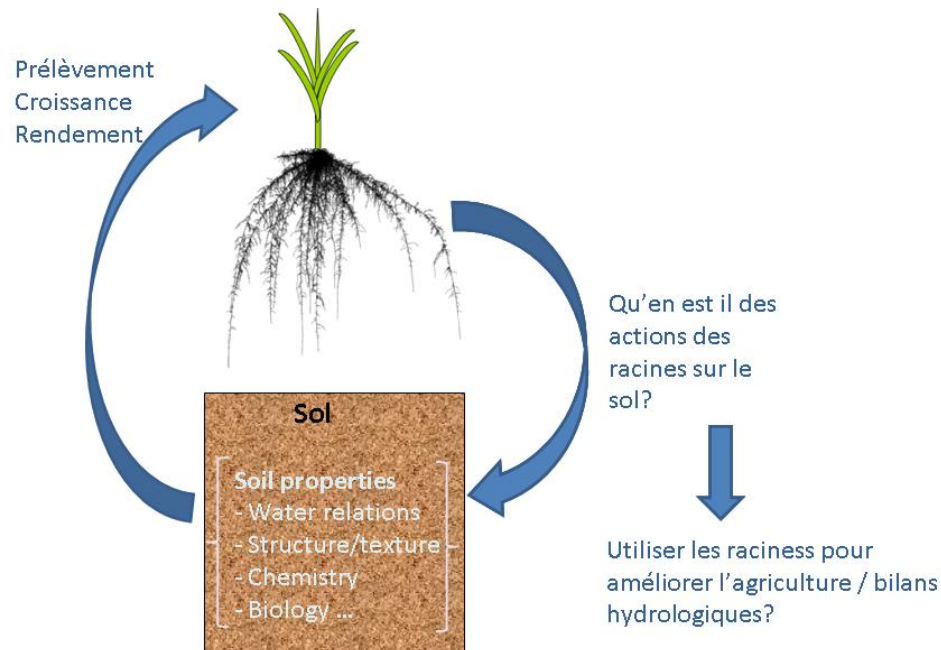
Utile pour étudier influence traits racinaires/plasticité sur prélèvements

.... Les effets de niche des associations

.... Mais aussi influence type sol en relation avec traits racinaires sur le prélèvement



Aide à la définition/test d'idéotypes racinaires en fonction scénarios (sol,climat)





Interactions sol/rhizosphère/racines et propriétés hydriques

Racines et propriétés hydriques de la rhizosphère



**actions indirecte
des racines sur le
sol**

- *Cycles humectation/dessication avec le prélèvement d'eau*
- *Rhizodeposition de C: exudation, EPS, cellule racines...*
- *Activité biogéochimique de la rhizosphère (dont EPS)*

Racines et propriétés hydriques de la rhizosphère

actions indirecte des racines sur le sol

- *Cycles humectation/dessication avec le prélèvement d'eau*
- *Rhizodeposition de C: exudation, EPS, cellule racines...*
- *Activité biogéochimique de la rhizosphère (dont EPS)*



- Aggrégation du sol

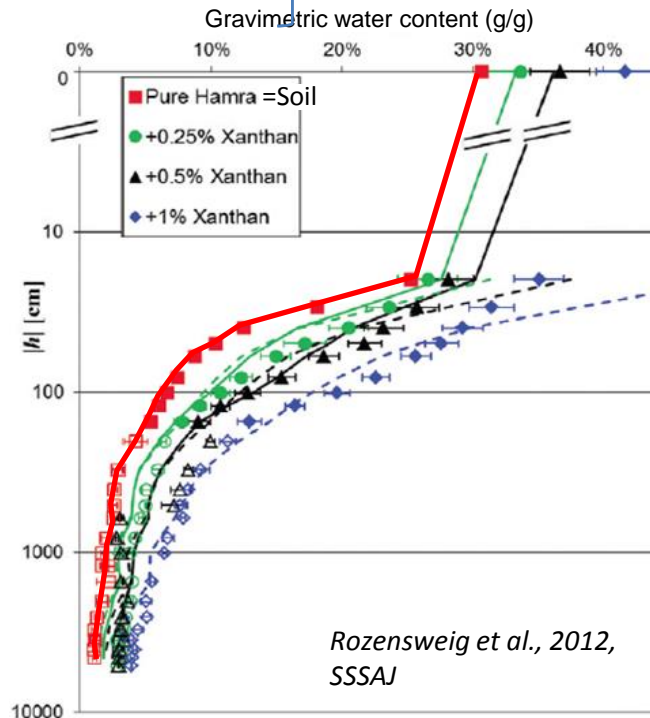


Racines et propriétés hydriques de la rhizosphère

- Cycles humectation/dessication avec le prélèvement d'eau
- Rhizodeposition de C: exudation, EPS, cellule racines...
- Activité biogéochimique de la rhizosphère (dont EPS)



- Aggrégation du sol
- Depot de composés organiques hydrophobes
- Depot de gels polymeriques hydrophiles (mucigels, EPS)



Modification de la rétention de l'eau du sol rhizosphère

Labo: Water retention of a sandy soil (Hamra) amended with Xanthan (EPS analog)

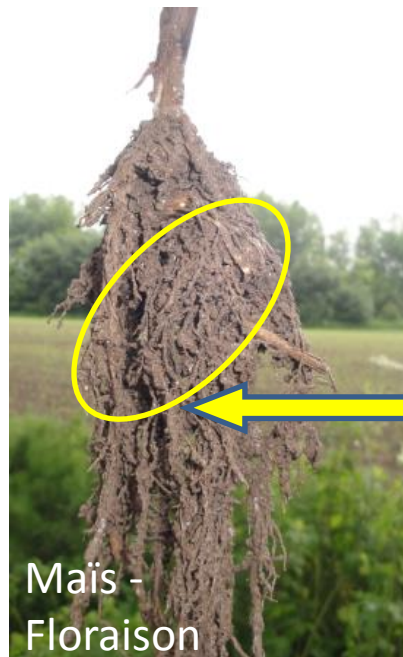
Rozensweig et al., 2012, SSSAJ

Racines et propriétés hydriques de la rhizosphère

- Cycles humectation/dessication avec le prélèvement d'eau
- Rhizodeposition de C: exudation, EPS, cellule racines...
- Activité biogéochimique de la rhizosphère (dont EPS)



- Aggrégation du sol
- Depot de composés organiques hydrophobes
- Depot de gels polymeriques hydrophiles (mucigels, EPS)
- Création d'une rhizosphère autour des racines avec des propriétés différentes du sol moyen



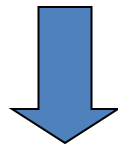
Maïs -
Floraison

Racines et propriétés hydriques de la rhizosphère

- Cycles humectation/dessiccation avec le prélèvement d'eau
- Rhizodeposition de C: exudation, EPS, cellule racines...
- Activité biogéochimique de la rhizosphère (dont EPS)

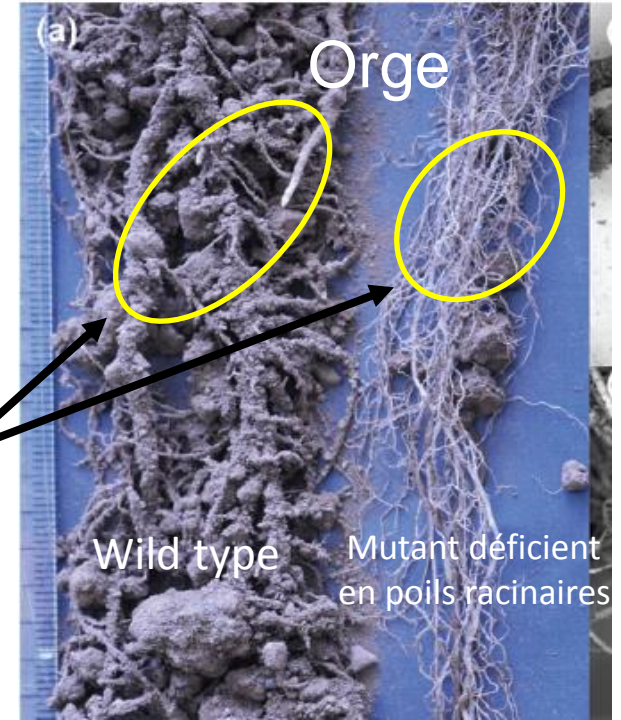


- Aggrégation du sol
- Depot de composés organiques hydrophobes
- Depot de gels polymeriques hydrophiles (mucigels, EPS)
- Création d'une rhizosphère autour des racines avec des propriétés différentes du sol moyen



Est que les variations possibles de propriétés hydriques de la rhizosphère seraient un levier sur problématique tolérance/résistance/ résilience déficit hydrique et nutriments, avec des traits liés aux espèces et génotypes... ?

(peu d'évidences au champ)

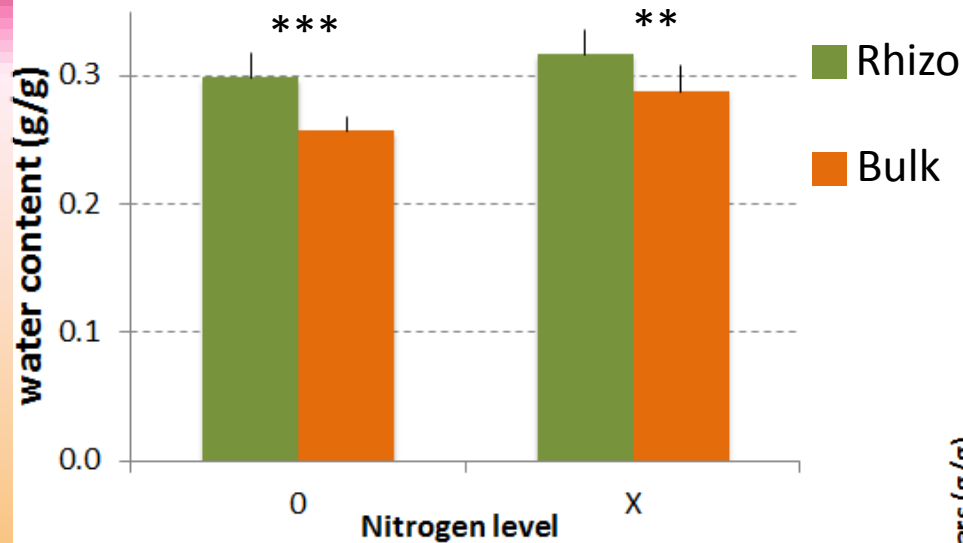


Racines et propriétés hydriques de la rhizosphère

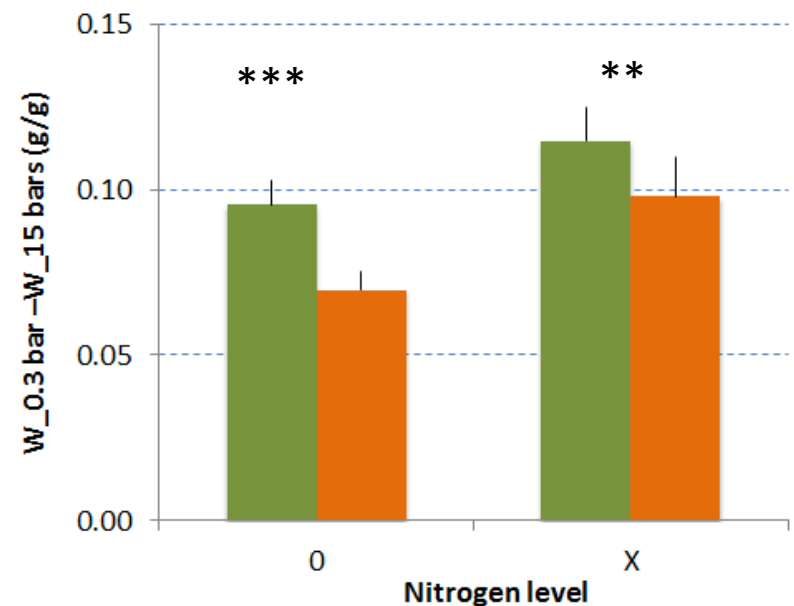
Au champ: Echelle de quelques mois (ANR Azodure)

A floraison

Sol moyen et rhizosphérique W a 0.3 bar



Difference W@0.3bar-W@15bar



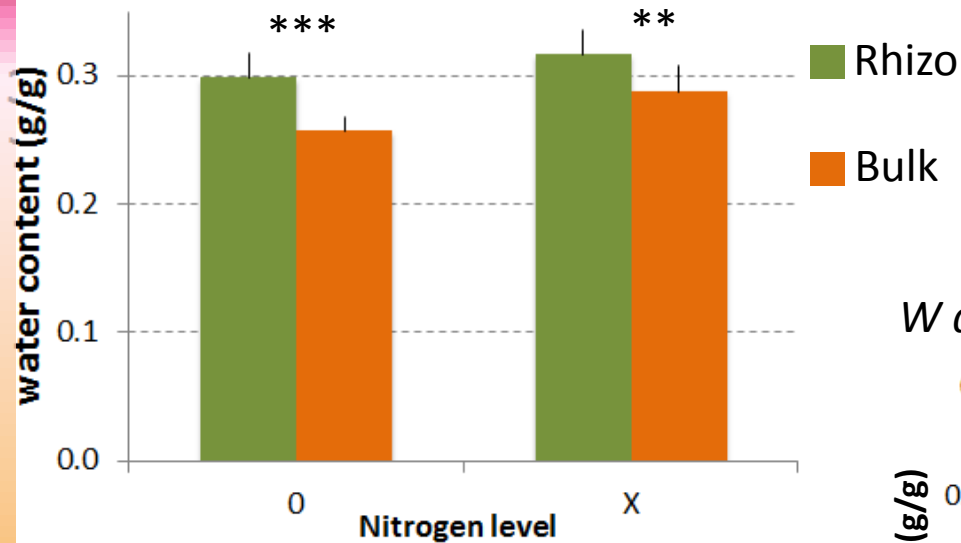
Racines et propriétés hydriques de la rhizosphère

Au champ: Echelle de quelques mois (ANR Azodure)

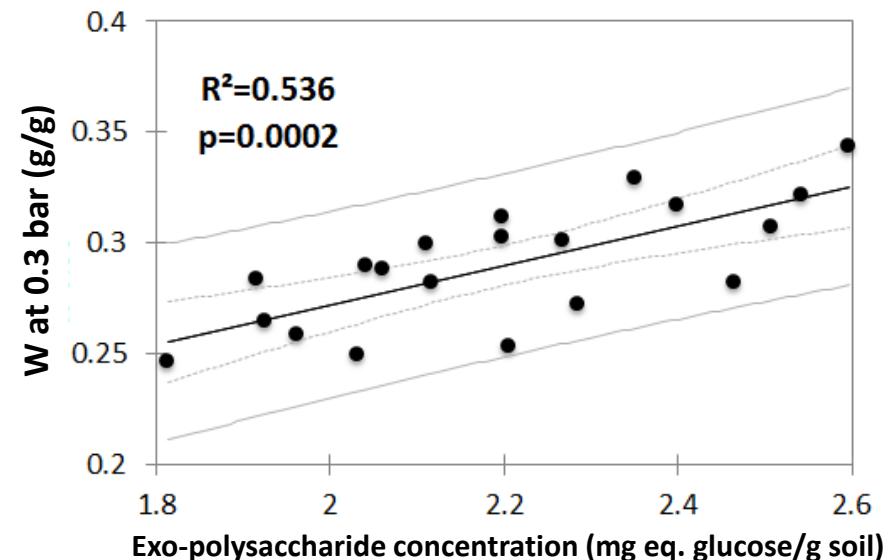
A floraison



Sol moyen et rhizosphérique W à 0.3 bar



W à 0.3 bar vs concentration en EPS



Racines et propriétés hydriques de la rhizosphère

Des observations préliminaires au champ (ANR Azodure, pari scientifique EA, Bacter-Blé+Ecoserv-GDEC/veatgrosup) faites sur différentes espèces (blé, maïs) dans des sols différents montrent:

1/ un effet du temps (stade): peu /pas d'effet sur rétention aux stades jeunes (4/5 feuilles, épi 1cm), mais un effet à floraison

2/ l'hypothèse - les effets devraient être plus marqués aux faibles succions (vers CC – influence de la structure) et moins au fortes succions (vers PFP - influence de la texture) – n'est pas vérifiée:

=> les modifications à PFP sont significatives et stables, elles le sont moins à CC ! (sur agrégats de sol)

3/ un effet des EPS sur ces variations de rétention, mais pas que...

4/ Augmentation de la résistance et résilience activité microbienne dans sol rhizosphérique

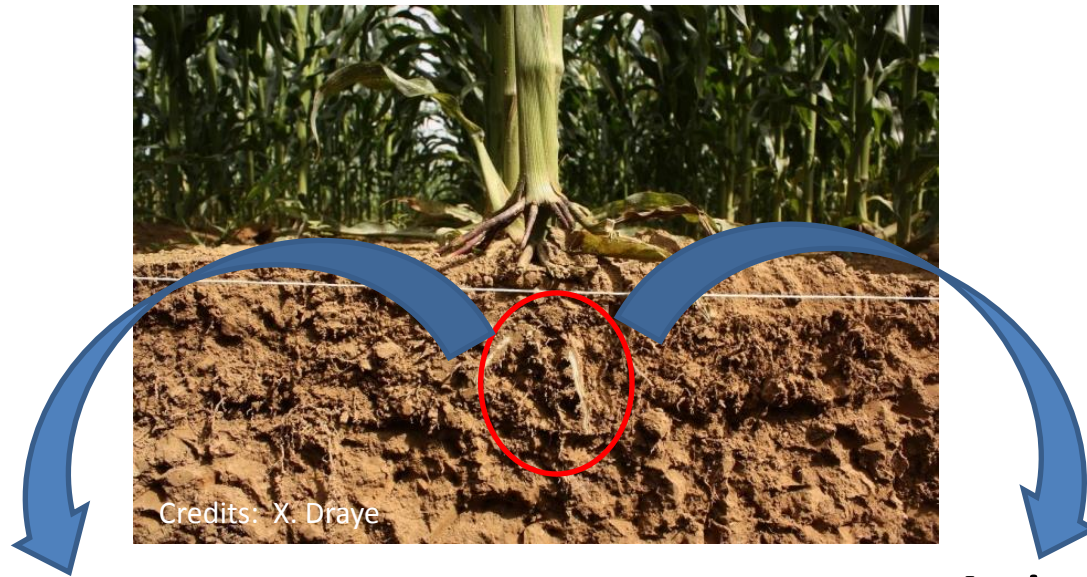


Nécessité de plus de connaissances combinant physique du sol, biologie de la plante, microbiologie



Interactions végétation / pratiques culturelles et propriétés hydriques

Racines et propriétés hydriques



Actions directes des racines sur le sol

- *Perforation du sol et création de pores*
- *Blocage de pores du sol*

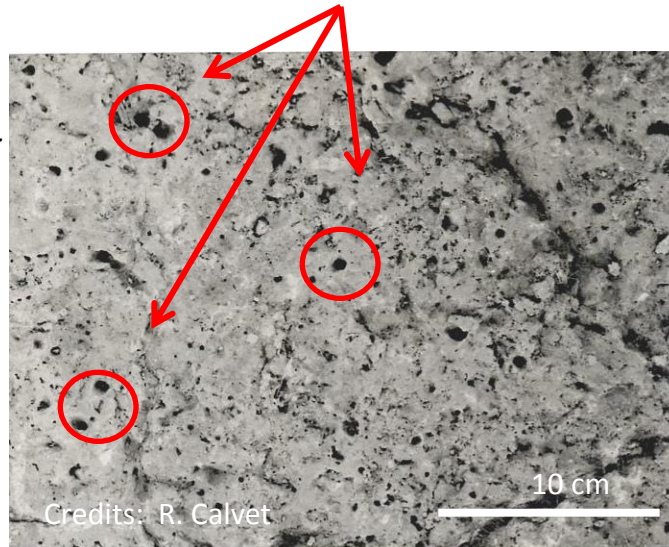
Actions indirecte des racines sur le sol

- *Cycles humectation/dessication avec le prélèvement d'eau*
- *Rhizodeposition de C: exudation, EPS, cellule racines...*
- *Activité biogéochimique de la rhizosphère (dont EPS)*

Racines et propriétés hydriques

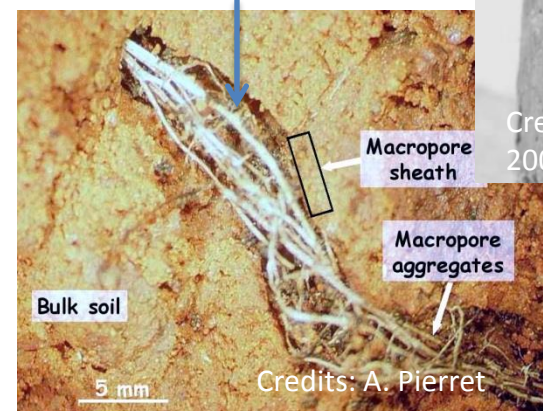


Perforation et création pores:
biopores rainaires dans un limon

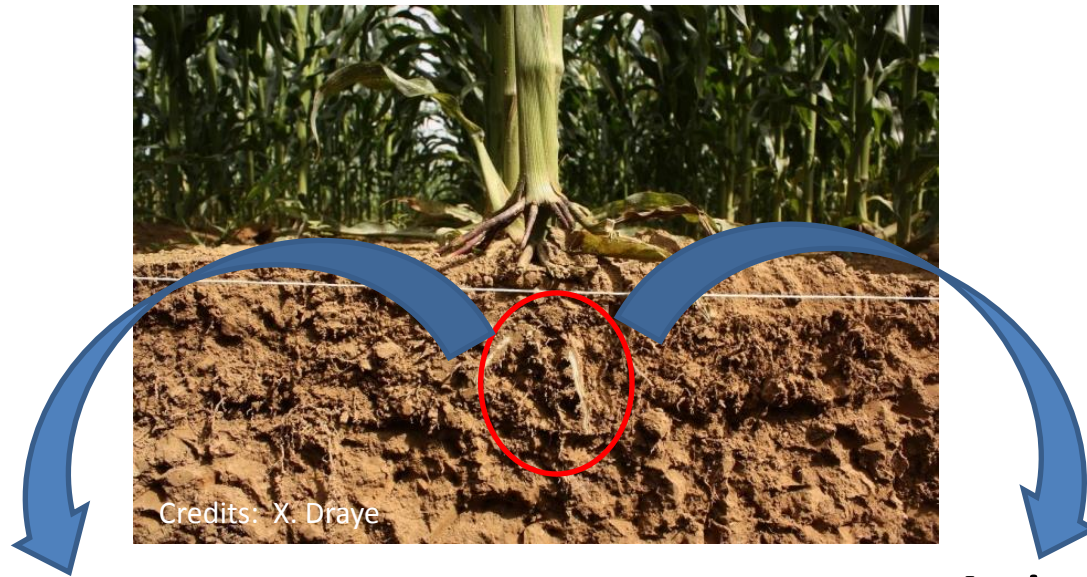


Blocage de pore:
Racine luzerne avant sénescence

Racine blé dans macropore



Racines et propriétés hydriques



Actions directes des racines sur le sol

- *Perforation du sol et création de pores*
- *Blocage de pores du sol*

Actions indirecte des racines sur le sol

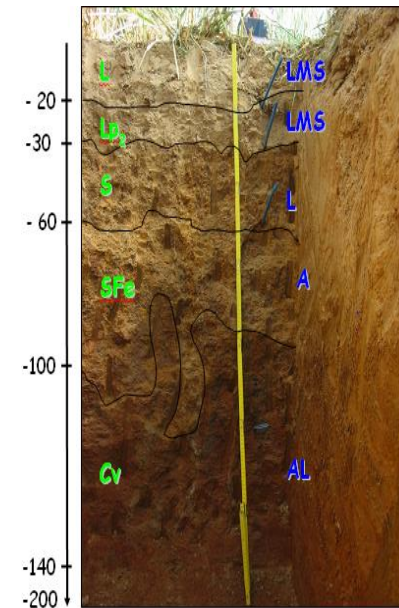
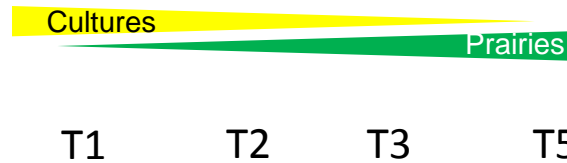
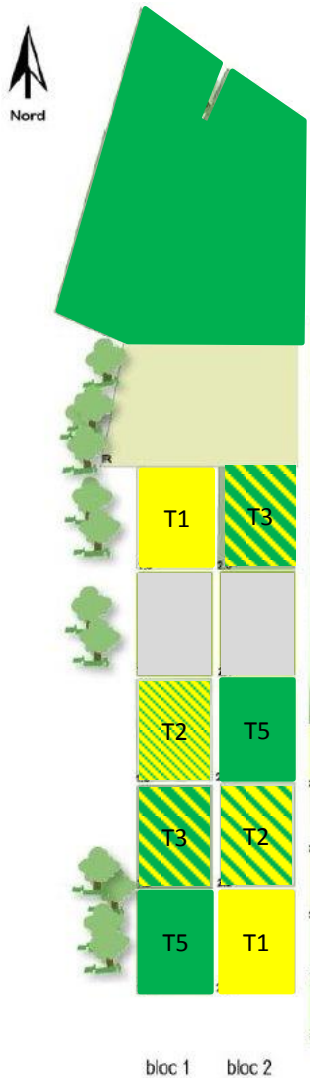
- *Cycles humectation/dessication avec le prélèvement d'eau*
- *Rhizodeposition de C: exudation, EPS, cellule racines...*
- *Activité biogéochimique de la rhizosphère (dont EPS)*



Quels effets globaux de la plante, en relation avec pratiques de culture sur le sol pour l'eau?

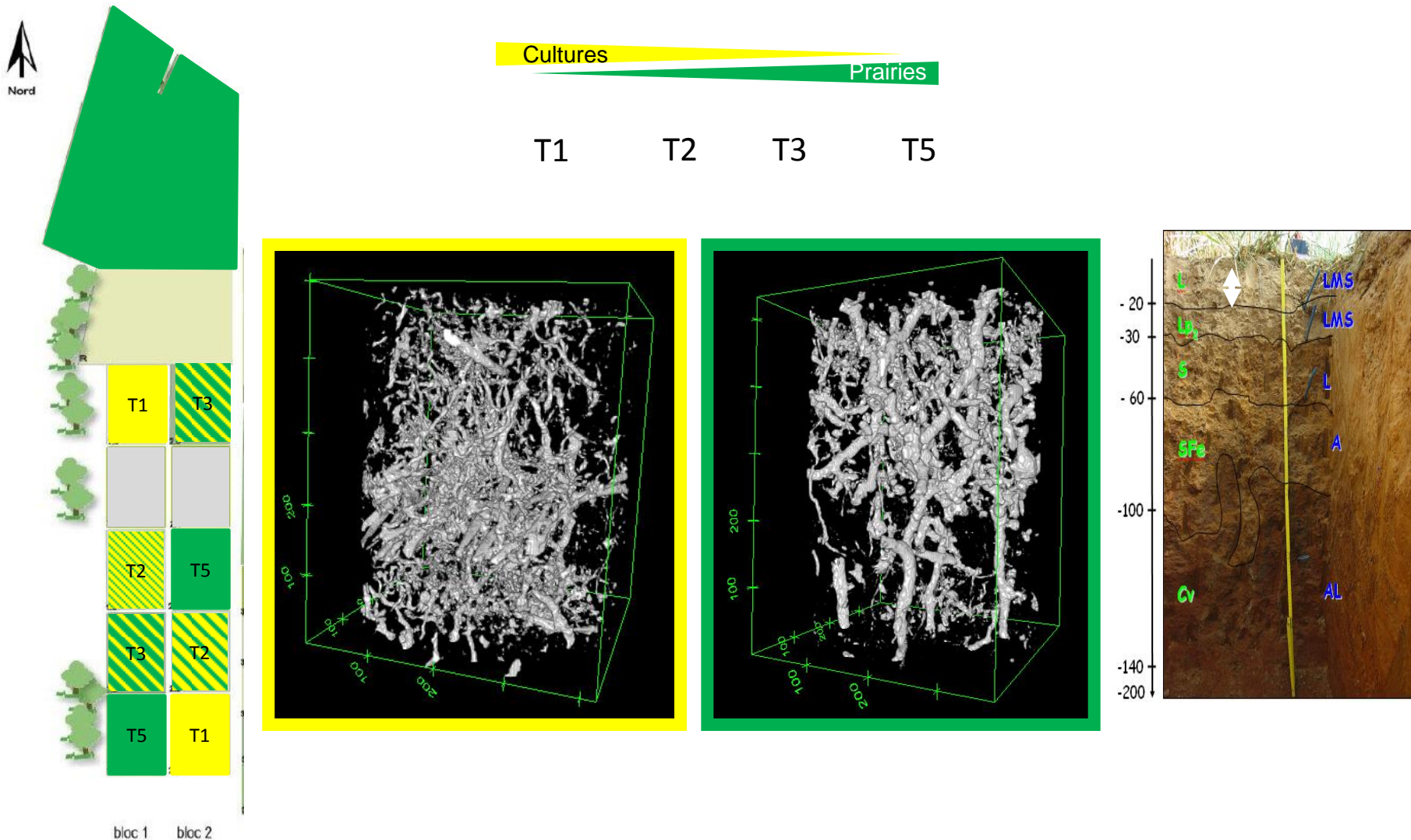
Rotations et conséquence sur la structure du sol et ses propriétés physiques (Pari scientifique, coll. UR Sols)

Caractérisation des sols du SOERE de LUSIGNAN



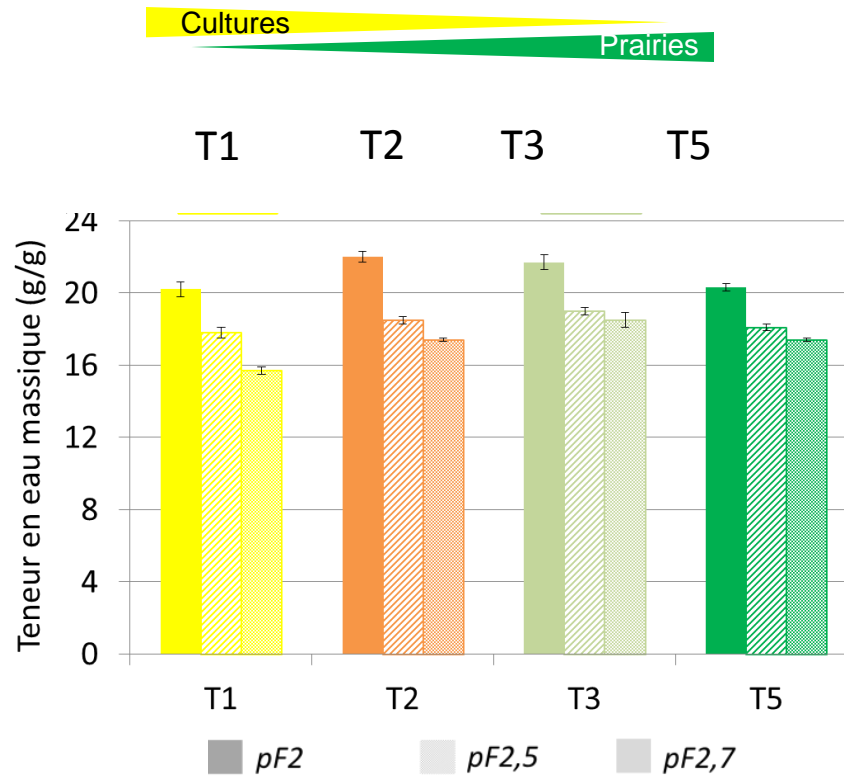
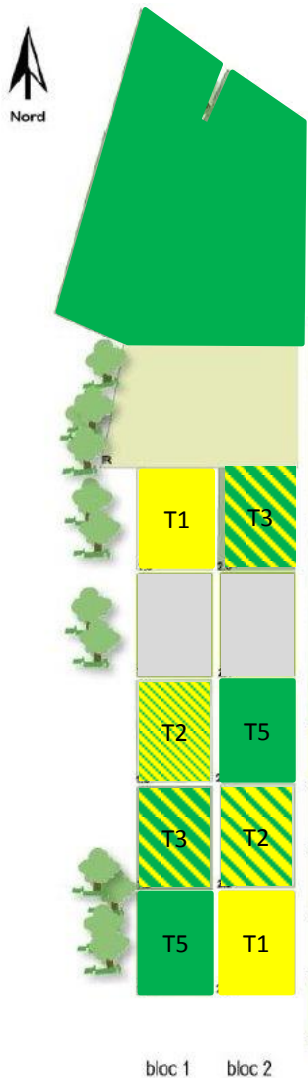
Fonctionnement végétal et conséquence sur la structure du sol et ses propriétés physiques

Caractérisation des sols du SOERE de LUSIGNAN

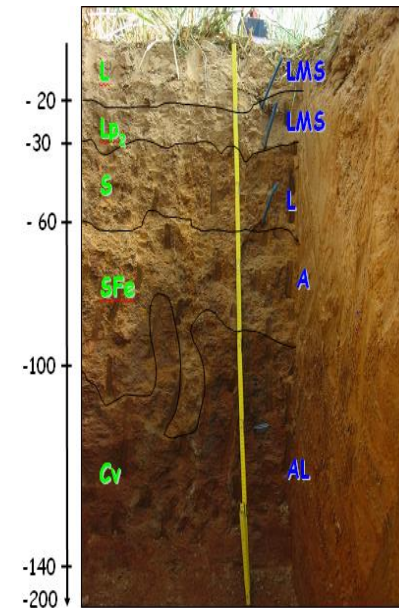


Fonctionnement végétal et conséquence sur la structure du sol et ses propriétés physiques

Caractérisation des sols du SOERE de LUSIGNAN

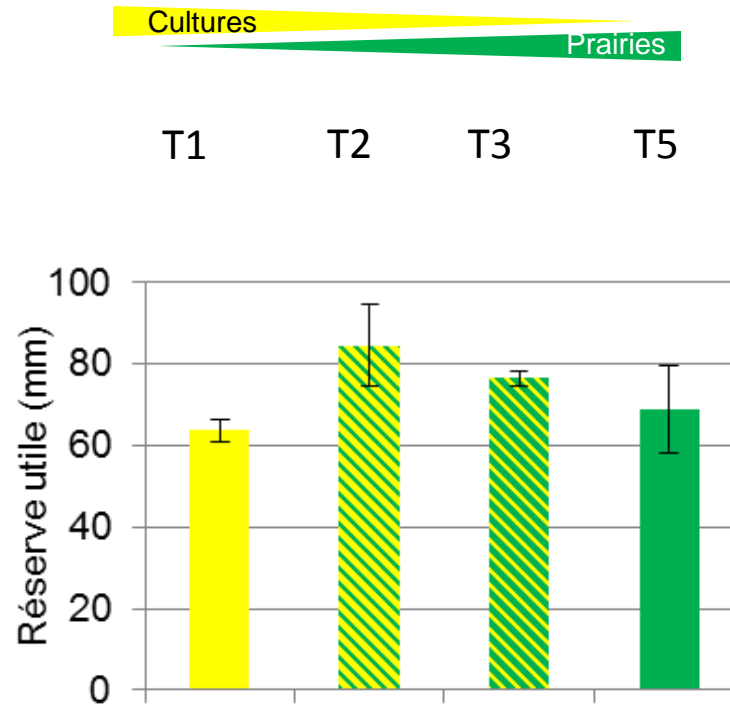
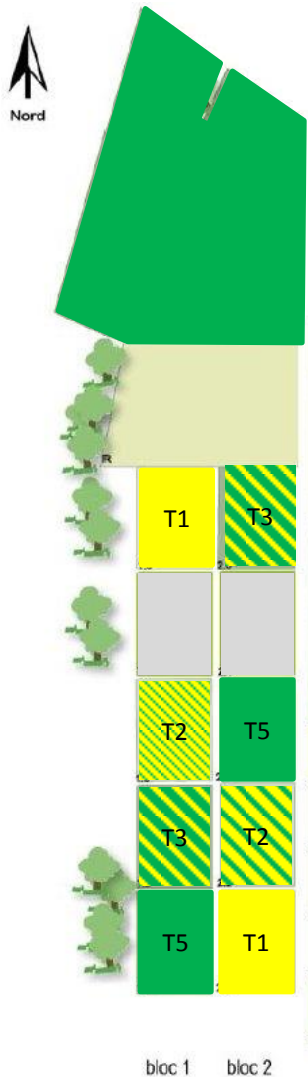


Variation de la teneur en eau à Capacité au Champ déterminée pour différentes suctions

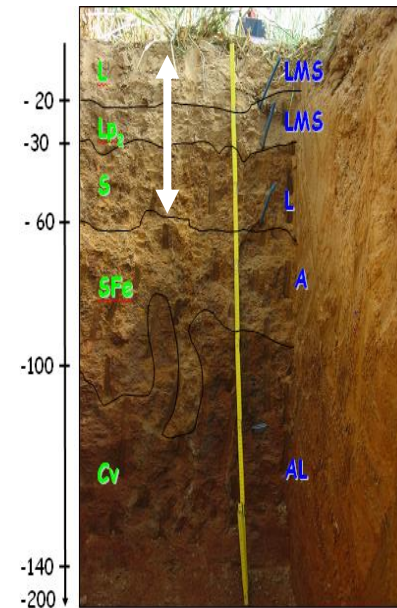


Fonctionnement végétal et conséquence sur la structure du sol et ses propriétés physiques

Caractérisation des sols du SOERE de LUSIGNAN



Evolution de la Réserve Utile dans les deux premiers horizons du sol



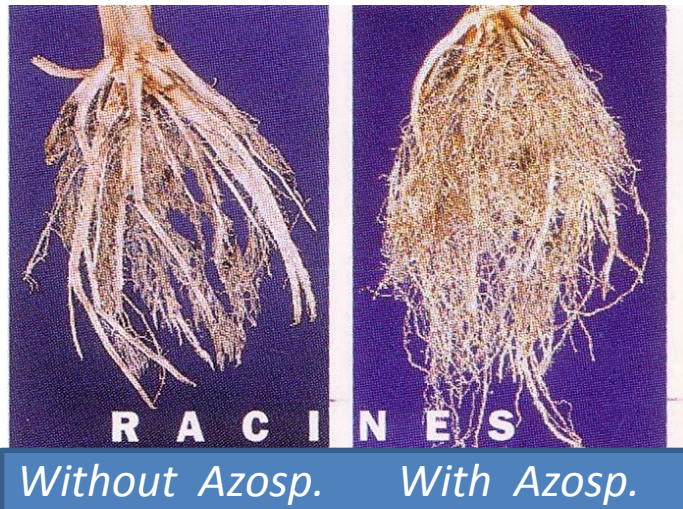
- Les successions culturales modifient, à *moyen terme*, la réserve en eau utile des sols

Effet des pratiques et propriétés sol : inoculation

Echelle de la parcelle (ANR Azodure)

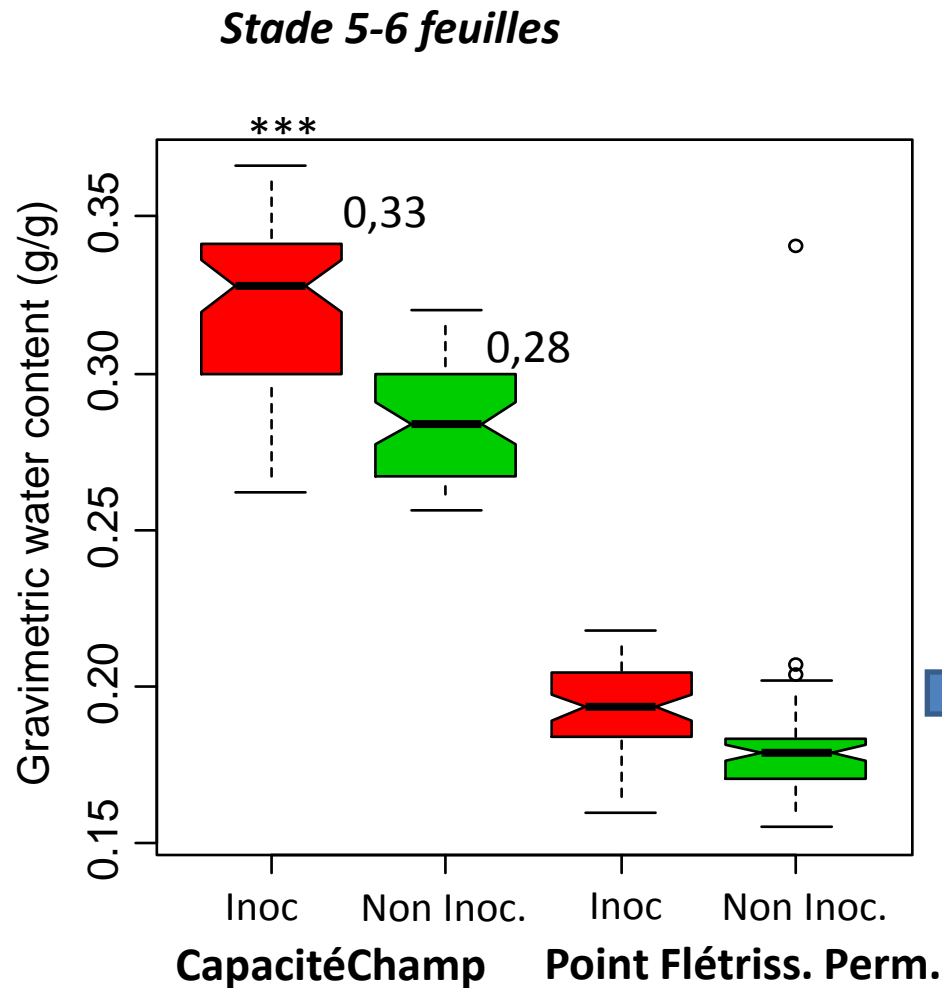
Maïs inoculé ou non avec *Azospirillum* spp (CRT1) => PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*)

Azospirillum modifies la morphologie racinaire et la composition des racines



Effet des pratiques et propriétés sol : inoculation

Echelle de la parcelle (ANR Azodure)



➡ Effet global de l'inoculation sur le sol ! (mais une année...)
=> Augmentation eau disponible (~30%)

Pas d'effets sol rhizo/moyen..

Effet création et blocage pore sur transferts

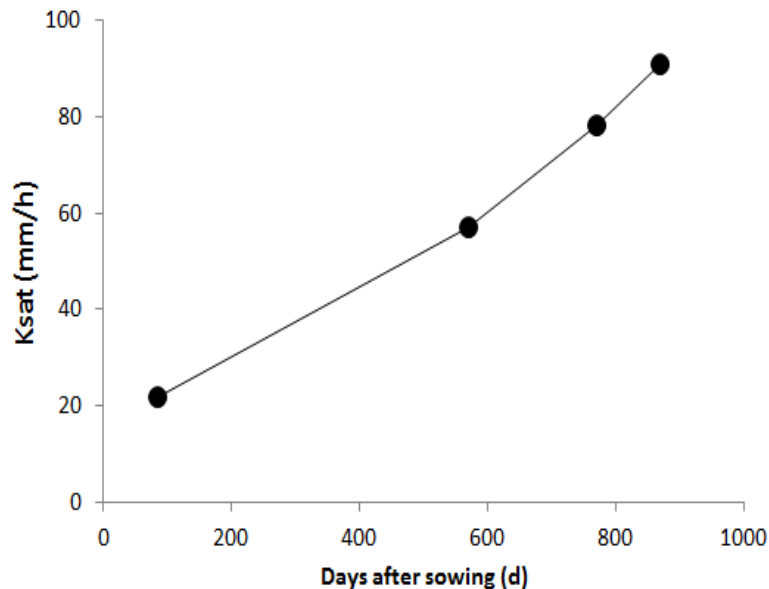
Effets actions directes racines

Création de porosité, macroporee + *blocage de pores*



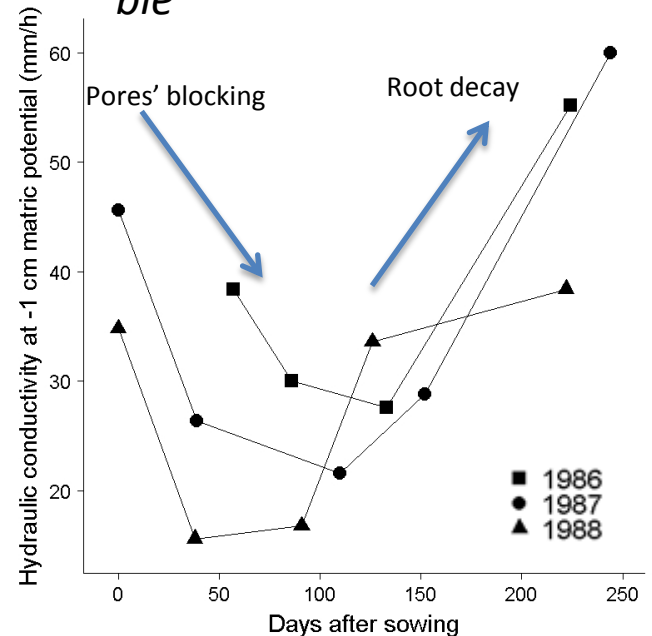
Exemple d'effect sur conductivité hydraulique du sol : $K_s = f(t) \Rightarrow$ infiltration

variation Ksat avec croissance luzerne



Meek et al., 1992, SSSAJ

K à -1cm succion avec croissance blé



Murphy et al., 1993, Aust J Soil Res

Effet des pratiques et propriétés sol

Type de culture:

Essai longue durée Rothamsted – effet sur macroporosité: Prairie > Cultures
> jachère nue (Grégory *et al.*, 2010)

Type de génotype:

Effet divers génotypes herbes (fétuques, ray grass) => nouveau croisement
Lolium per. X Festuca Pratensis=*Festulolium* –Effet sur ruissellement
(hydrologie) (MacLeod *et al.*, 2013)

Year	D																												2008											2009										
DoY	4	8	9	10	12	14	30	31	35	60	69	70	74	280	293	295	299	313	313	317	322	327	336	338	347	7	8	12	13	15	25	52	59																	
Event	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33																	
Lm	56.5	70.9	52.6	85.9	76.9	68.4	63.5	64.7	70.9	5.7	57.7	37.6	46.4	53.6	31.8	25.3	27.3	39.8	56.0	38.8	41.0	28.3	34.0	59.8	58.5	35.5	51.4	42.2	48.9	31.7	25.1	13.4	25.0																	
Fa	58.2	69.0	54.2	98.9	79.2	78.4	72.1	67.1	72.5	17.0	59.8	35.3	40.6	43.1	37.3	33.4	41.6	57.4	85.2	60.7	56.5	51.2	63.9	73.8	75.9	53.8	67.0	56.0	68.5	54.6	54.8	39.6	54.9																	
Lm xFa	48.2	52.2	37.3	64.4	32.3	66.5	53.3	42.2	41.8	7.7	62.8	53.5	50.0	30.7	30.4	19.9	27.6	45.2	62.0	30.2	37.9	32.0	36.7	61.0	61.1	47.8	66.4	53.3	70.6	52.4	39.3	38.3	59.9																	
Lp	62.7	75.3	57.0	85.9	84.0	79.9	77.4	73.7	85.4	21.1	60.5	63.6	53.6	49.2	37.5	49.9	32.7	60.5	79.0	52.9	50.6	42.0	50.6	79.0	75.2	52.5	70.8	57.5	75.3	53.6	49.9	36.4	58.2																	
Fp	43.7	74.5	52.3	82.6	65.3	78.3	63.1	72.4	68.3	10.3	65.0	48.9	54.3	44.2	36.0	32.1	36.9	51.6	68.1	37.2	24.8	27.5	35.8	66.1	69.5	49.5	66.2	51.2	67.5	56.0	42.4	28.7	57.3																	
Lp x Fp	22.9	23.5	26.5	58.8	29.4	49.6	32.4	34.2	31.9	0.9	52.0	14.6	27.3	21.6	19.8	2.1	12.1	34.5	46.9	5.2	3.6	15.5	24.1	43.9	52.5	39.9	49.9	24.6	46.5	48.4	24.4	13.7	46.1																	

Rank order of runoff/ rainfall (%) events

Highest runoff

<

Rank order
of runoff/
rainfall (%)
events

Highest
runoff



Festulolium

Plantes et sols interagissent...

