



**HAL**  
open science

## Le stockage d'eau dans les sols

Isabelle Cousin, Anne C Richer-De-Forges, Dominique Arrouays

► **To cite this version:**

Isabelle Cousin, Anne C Richer-De-Forges, Dominique Arrouays. Le stockage d'eau dans les sols. Commission de Planification de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, Agence de l'Eau Adour Garonne (AEAG). FRA., Jun 2017, Toulouse, France. hal-02785139

**HAL Id: hal-02785139**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02785139v1>**

Submitted on 4 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Commission de planification de  
l'Agence de l'Eau Adour-Garonne

8 juin 2017

Toulouse



## Le stockage d'eau dans les sols

Isabelle COUSIN<sup>1</sup>, Anne RICHER DE FORGES<sup>2</sup>, Dominique ARROUAYS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INRA, UR SOLS, Orléans

<sup>2</sup>INRA, US INFOSOL, Orléans



08/06/2017

# Cadre de l'exposé

## Stocker de l'eau dans les sols agricoles (et la restituer aux plantes)

Le sol est un **RESERVOIR**

- ❖ Quelle est sa taille ?
- ❖ Comment le modifier, l'entretenir ?

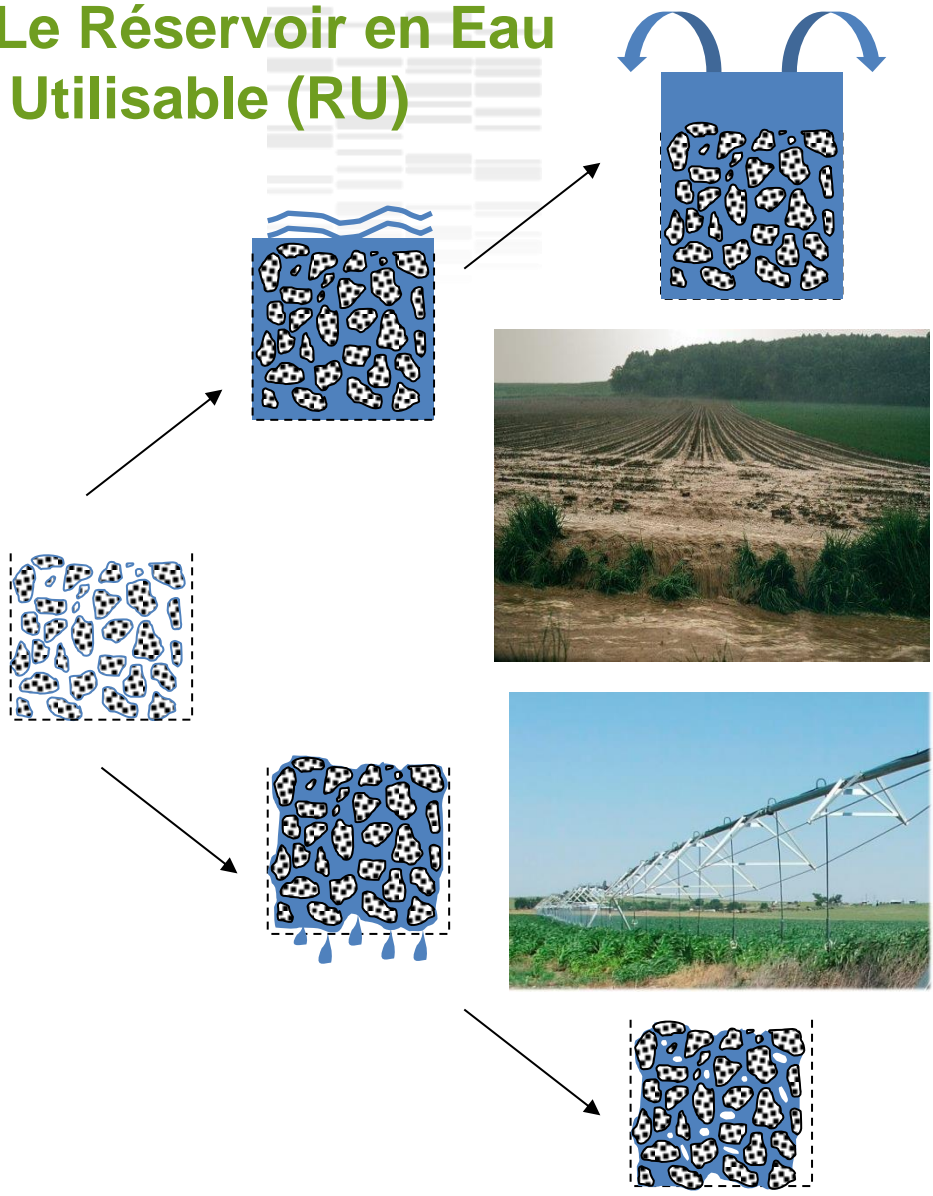
L'eau peut être **STOCKEE** dans le sol, puis **RESTITUEE** aux plantes

- ❖ Comment influencer sur la dynamique des échanges d'eau entre le sol, (l'atmosphère et les nappes), et les plantes ?

### PRATIQUES AGRICOLES

- Successions culturales
  - Présence de cultures intermédiaires
  - Semis sous couvert
- Gestion des résidus de cultures
- Apport de matières organiques (exogènes)
- Irrigation

# Le Réservoir en Eau Utilisable (RU)

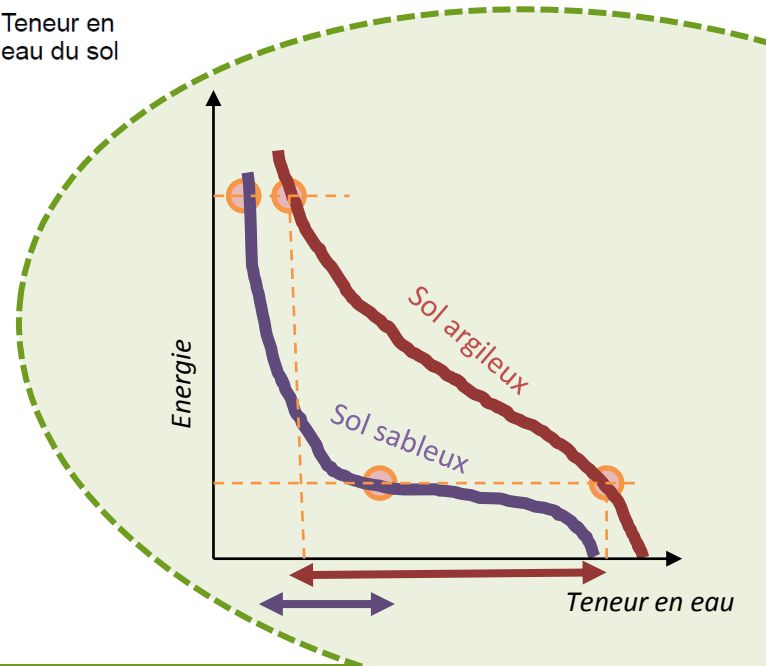
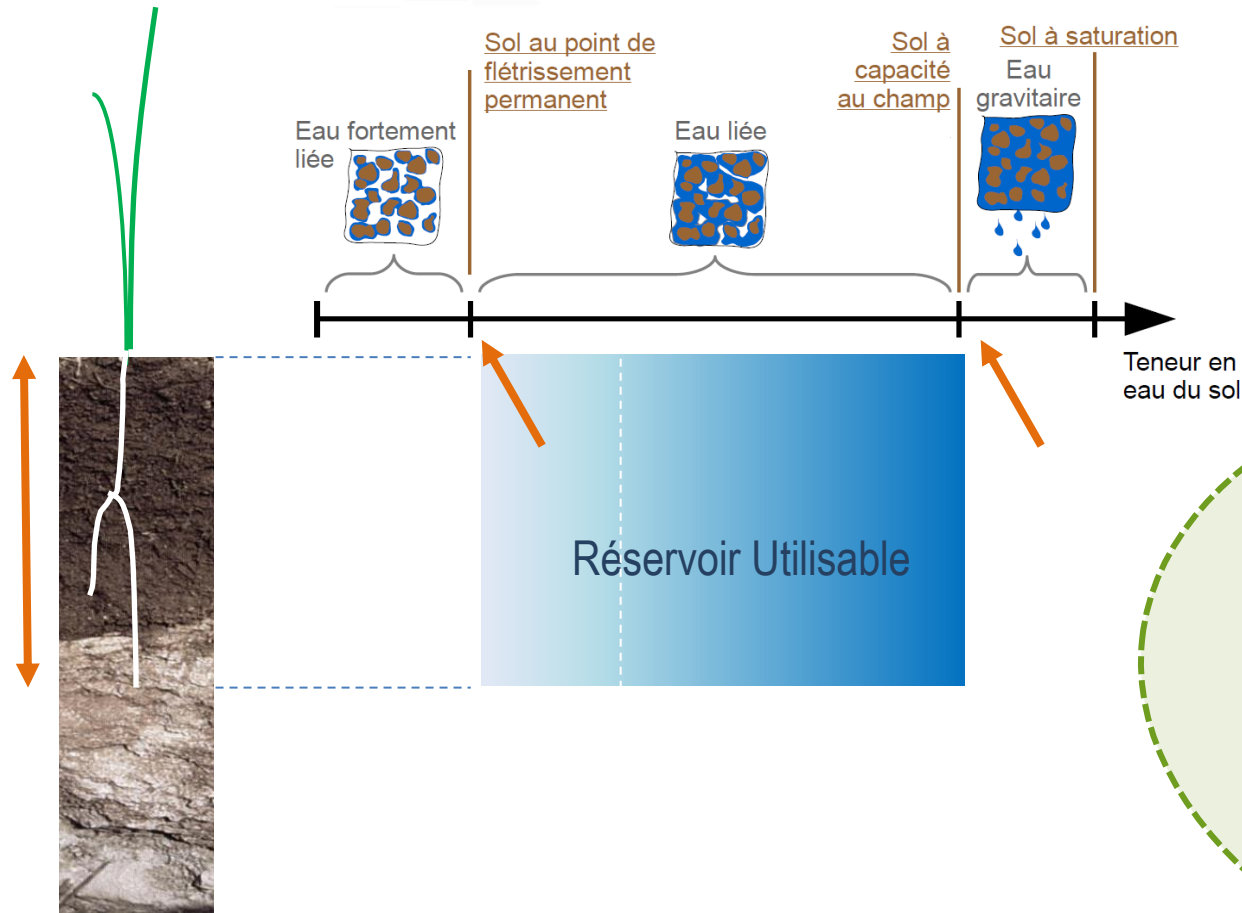


- Le RU, un paramètre utilisé
- dans des OAD agricoles (irrigation)
  - dans des outils d'aménagement ou d'évaluation des risques
  - dans des modèles de recherche (croissance des cultures, fonctionnement des sols, climat ...)

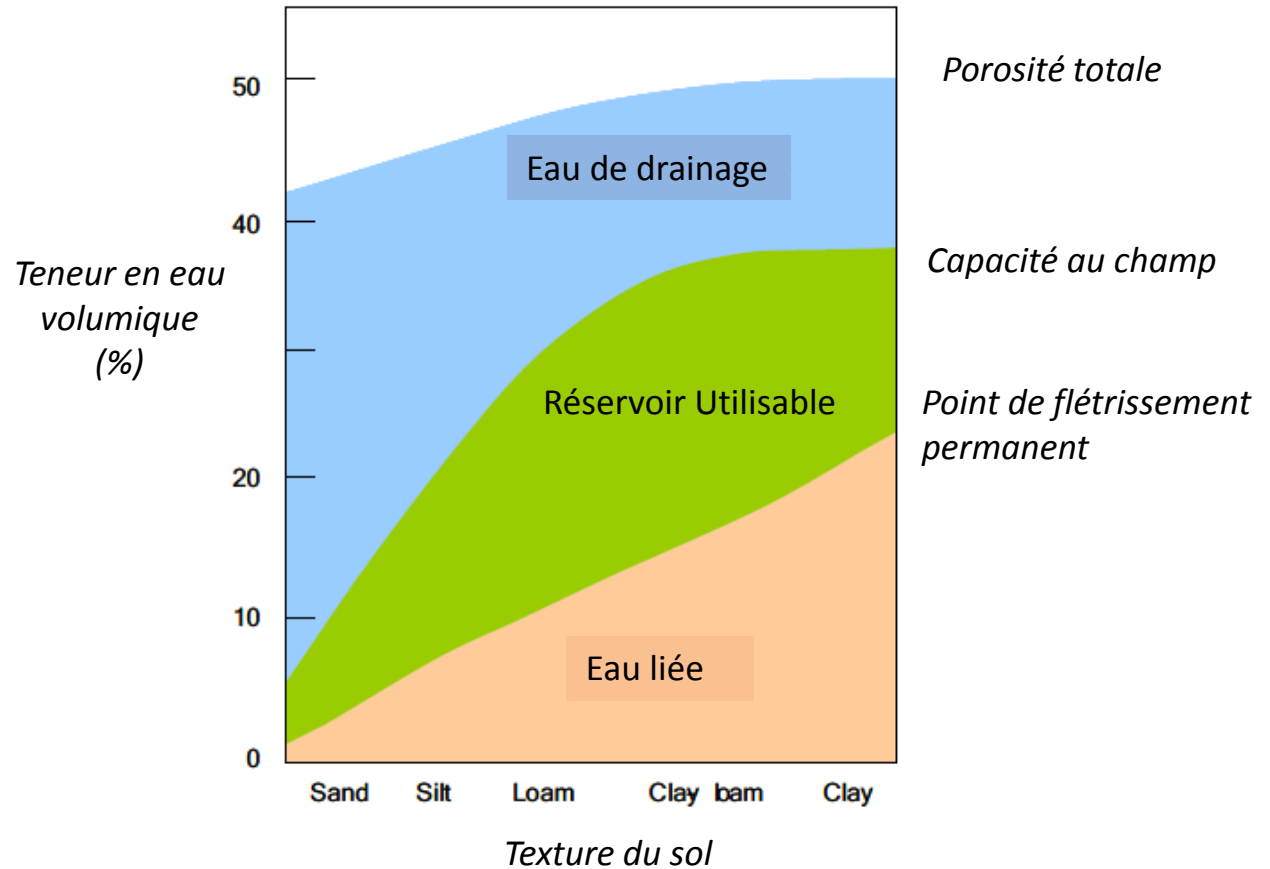
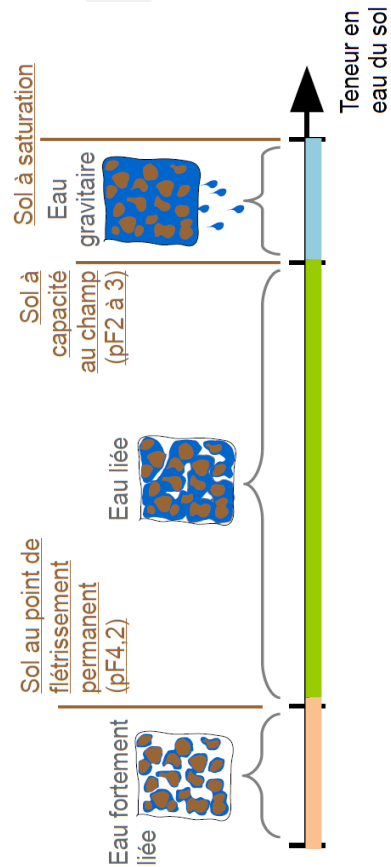
**Quantité d'eau que le sol peut stocker et restituer aux plantes (pour la croissance végétale)**



# RU : Le Réservoir en eau Utilisable (la Réserve en eau Utile)

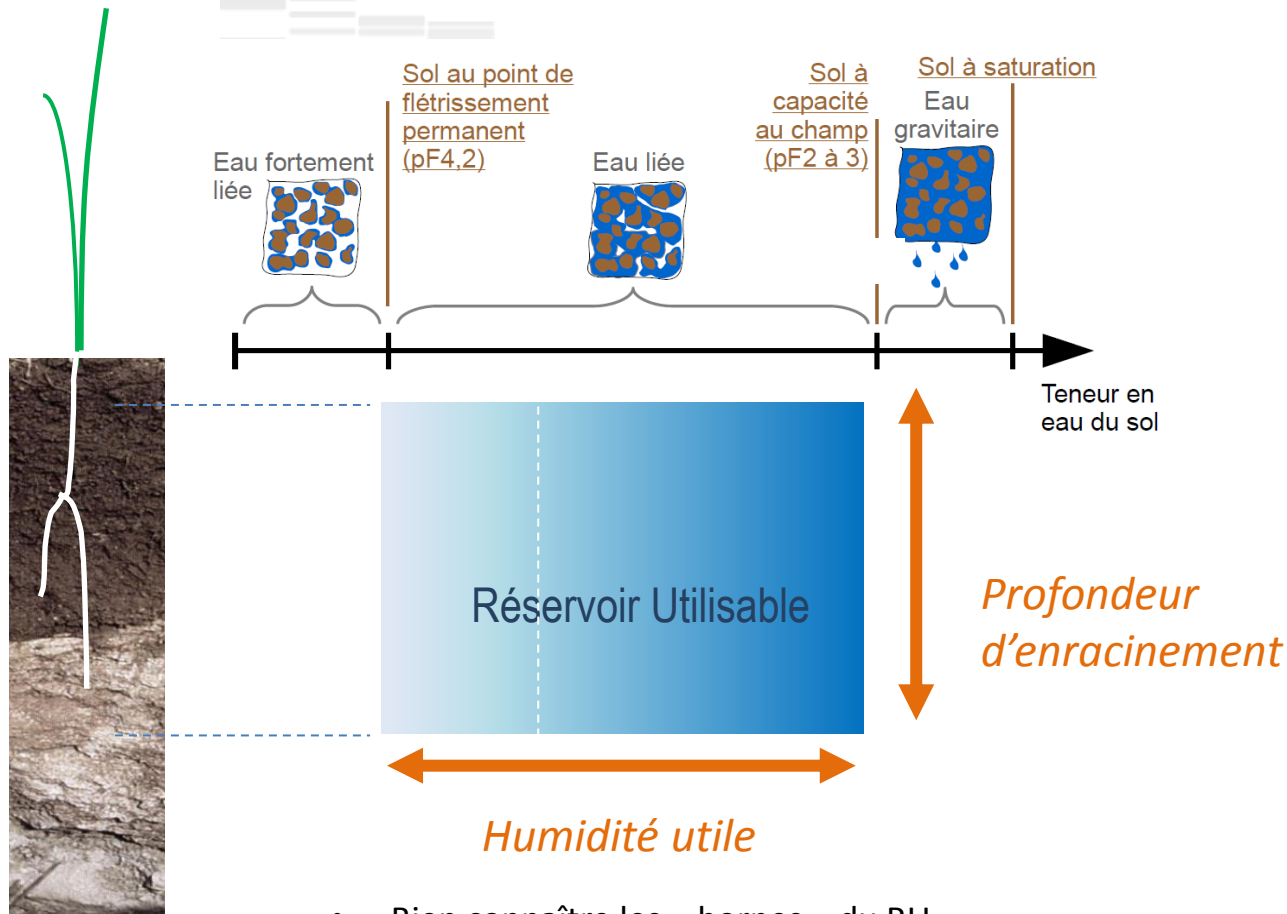


# Capacité au champ et point de flétrissement permanent



(Tunstall, Australie)

# Comment « augmenter » le RU ?



- Bien connaître les « bornes » du RU
- Valoriser le potentiel de toutes les phases, y.c. phase caillouteuse
- Ajouter de la Matière organique ?

# De l'eau dans les éléments grossiers du sol



Photo Arvalis

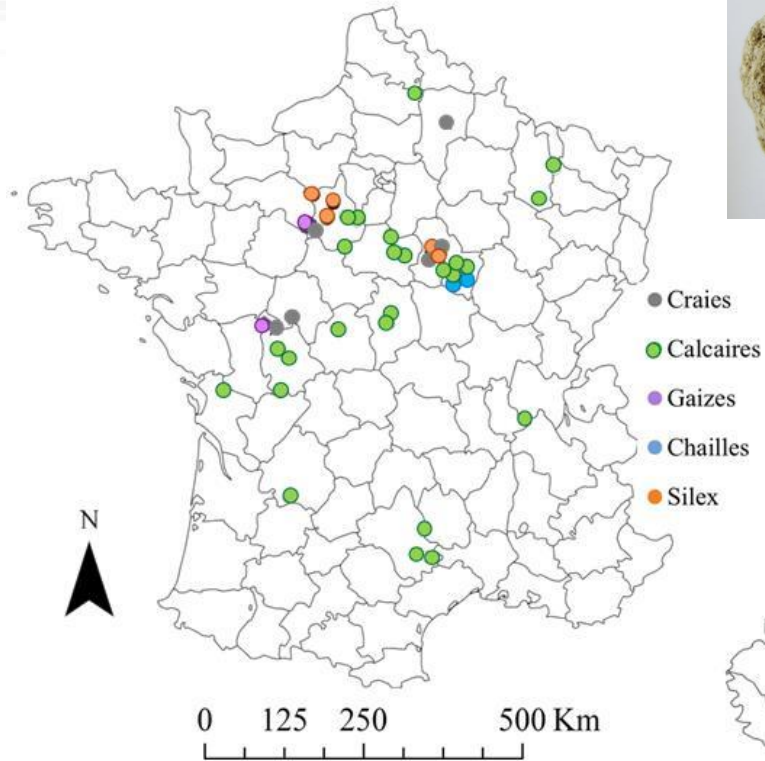


Photo INRA



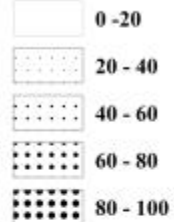
2 à 60% du volume de pores des cailloux  
peut retenir de l'eau

(Tetegan., 2011; Tetegan et al., 2011)

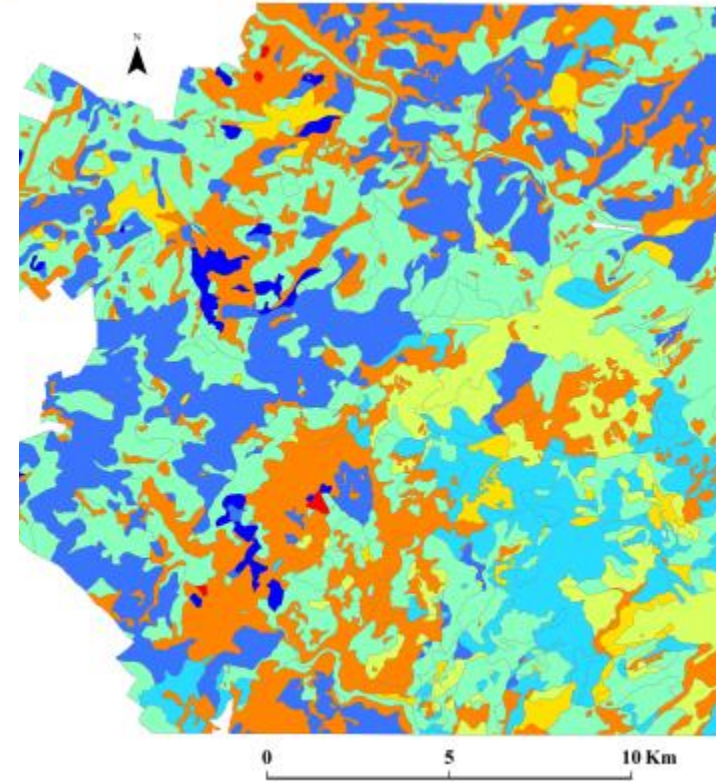
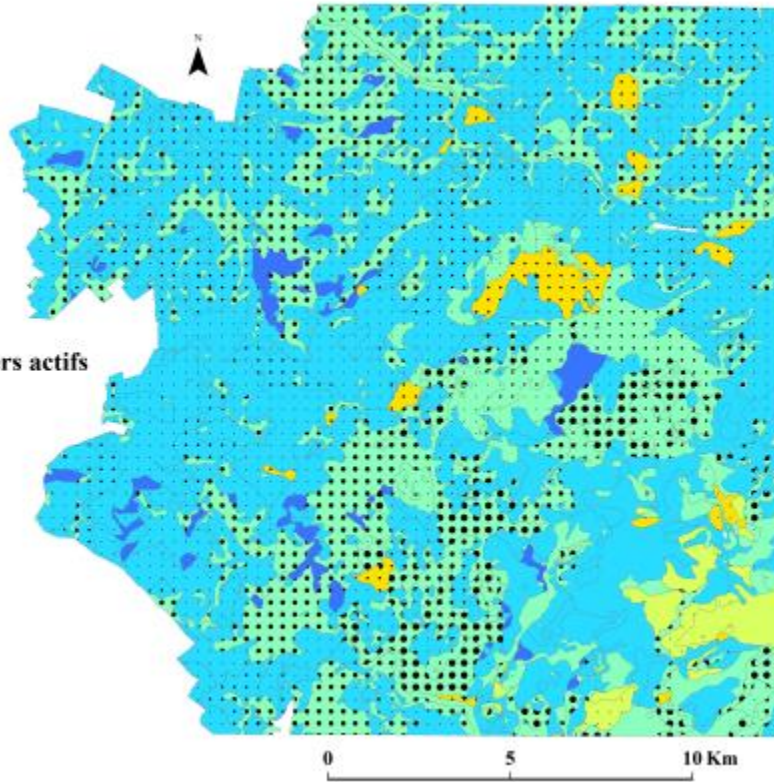
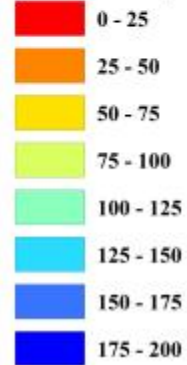


# Evaluation du RU sur un canton de 36000 ha (blé) (avec des sols caillouteux)

Pierrosité moyenne  
(en %)



Réserve utile  
terre fine et éléments grossiers actifs  
(en mm d'eau)



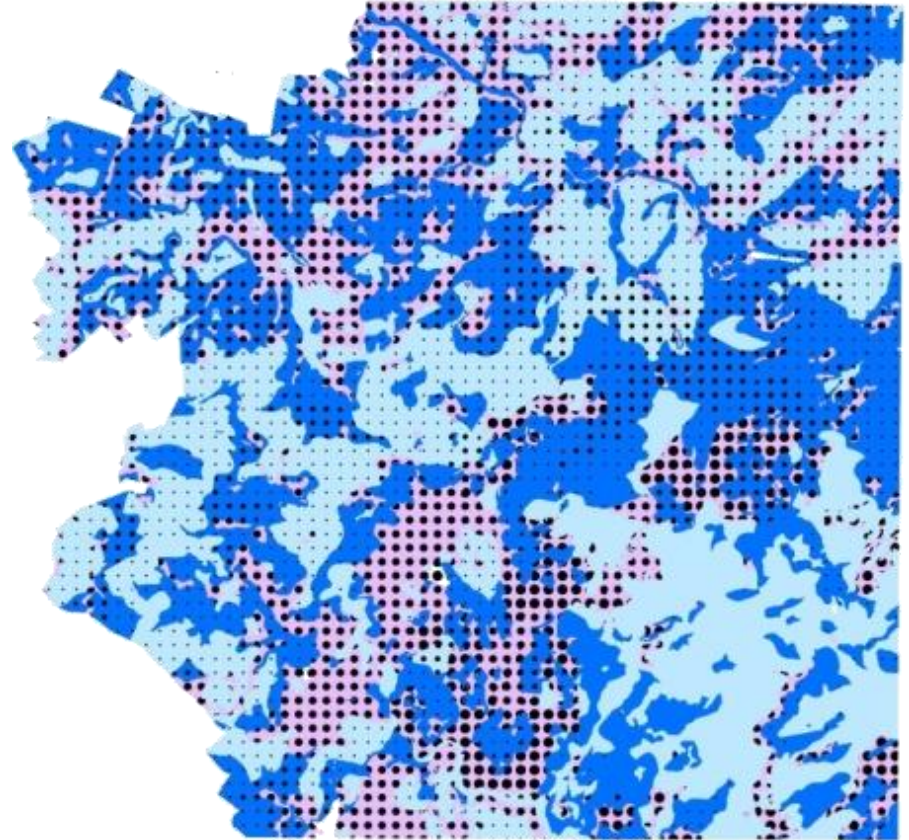
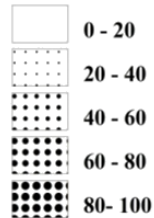
(Tetegon et al., 2015)

# Evaluation du RU sur un canton de 36000 ha (blé) (avec des sols caillouteux)

Erreur sur le calcul du déficit hydrique (%)



Pierrosité (%)



*Moyenne de la différence du déficit hydrique :*

**230 m<sup>3</sup>/ha**

↳ 23 mm

↳ 1 tour d'eau !

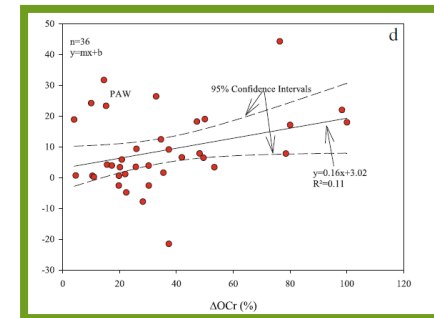
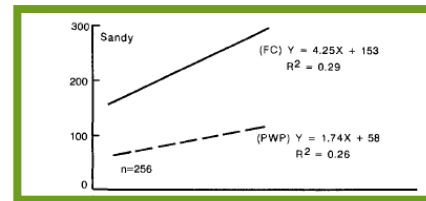
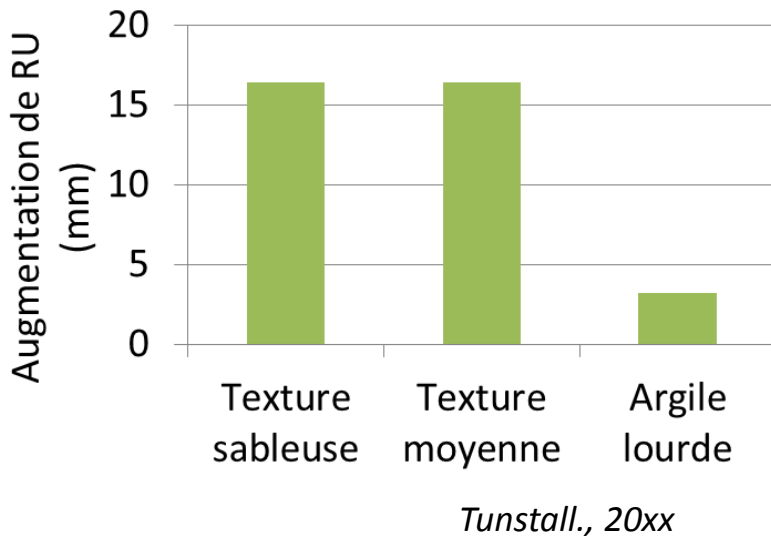
**Milieus sédimentaires !**

(Tetegon et al., 2015)

# Matière organique et stockage d'eau dans les sols

Incorporer de la MO a pour conséquence ...

- d'augmenter la porosité totale du sol
- de stimuler l'activité biologique
- d'améliorer, de façon générale les propriétés physiques du sol, dont la capacité du sol à laisser s'écouler l'eau
- Favorise l'infiltration et l'aération du milieu
- Limite l'anoxie
- de n'augmenter que de façon très limitée le RU



# Matière organique et RU

(Bauer & Black, SSSAJ, 1992  
Rawls et al., SSSAJ, 2003)

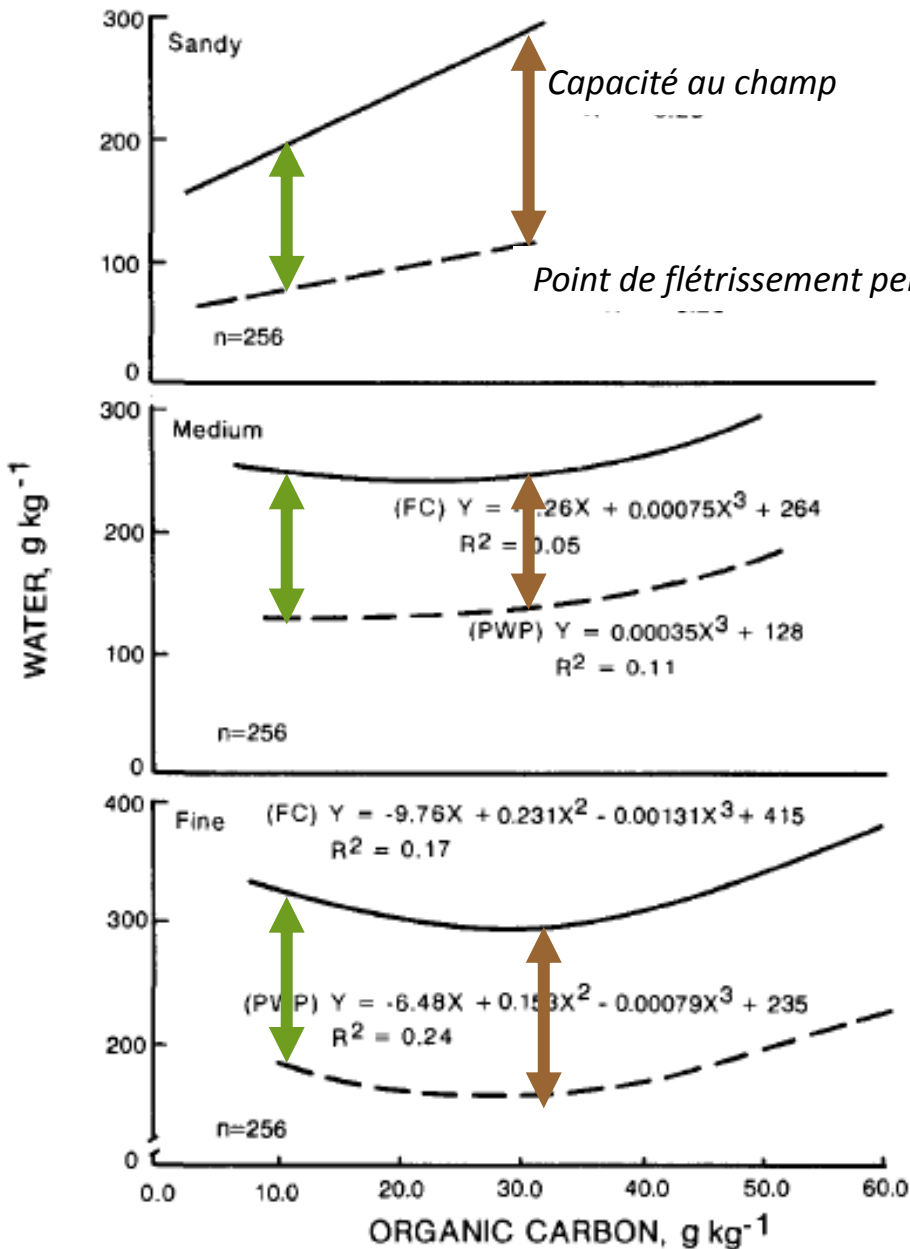
- « La relation entre teneur en Carbone et propriétés de rétention en eau est dépendante de la texture du sol »
- « La rétention de l'eau à la capacité au champ est plus affectée par la teneur en carbone que la rétention en eau au point de flétrissement permanent »
- A faible teneur en C, un apport de C augmente la RU en sols sableux mais pas en sols argileux; à forte teneur en C, un apport de C augmente la RU quelle que soit la texture**

(Rawls et al., 2003)

Texture  
sableuse

Texture  
moyenne

Texture  
argileuse

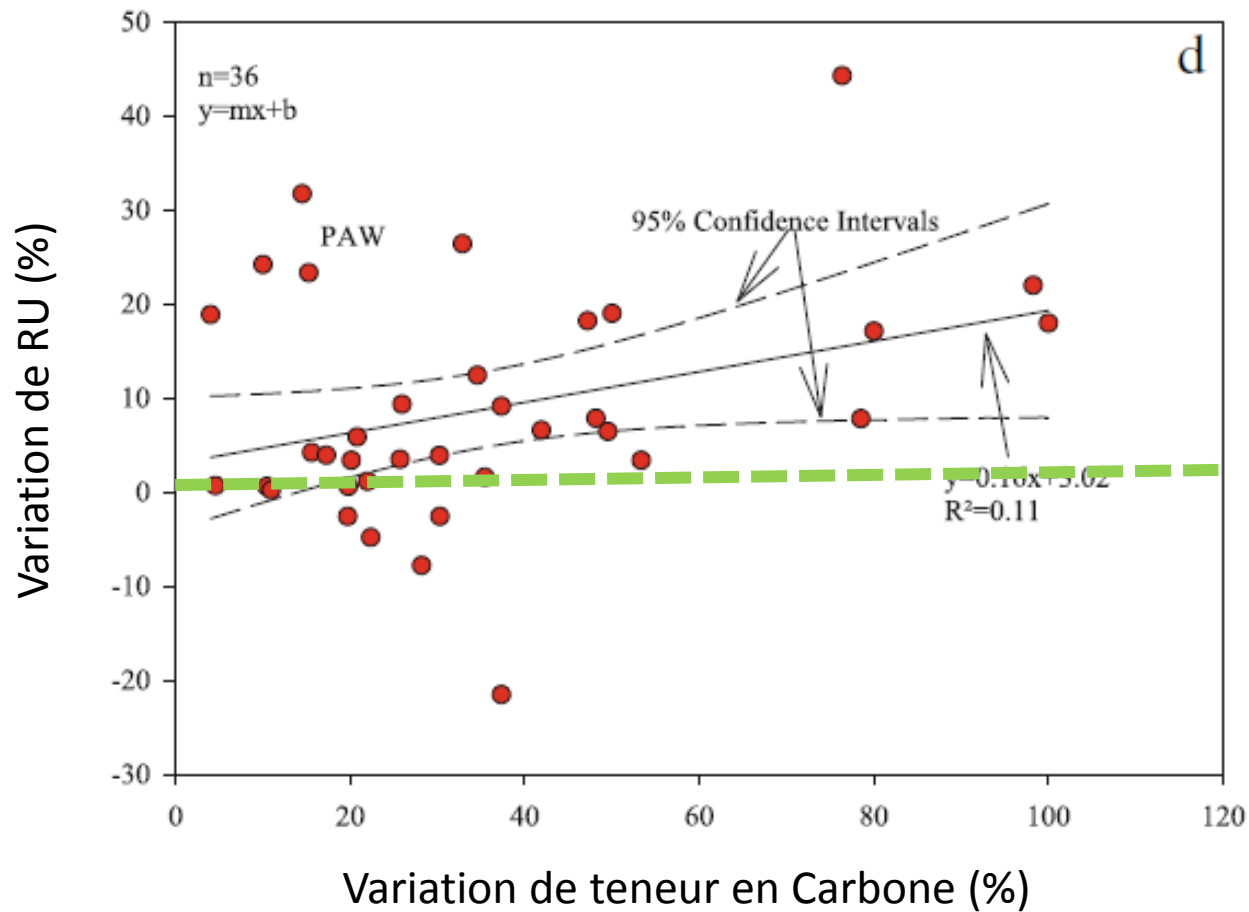


(Bauer & Black, 1992)

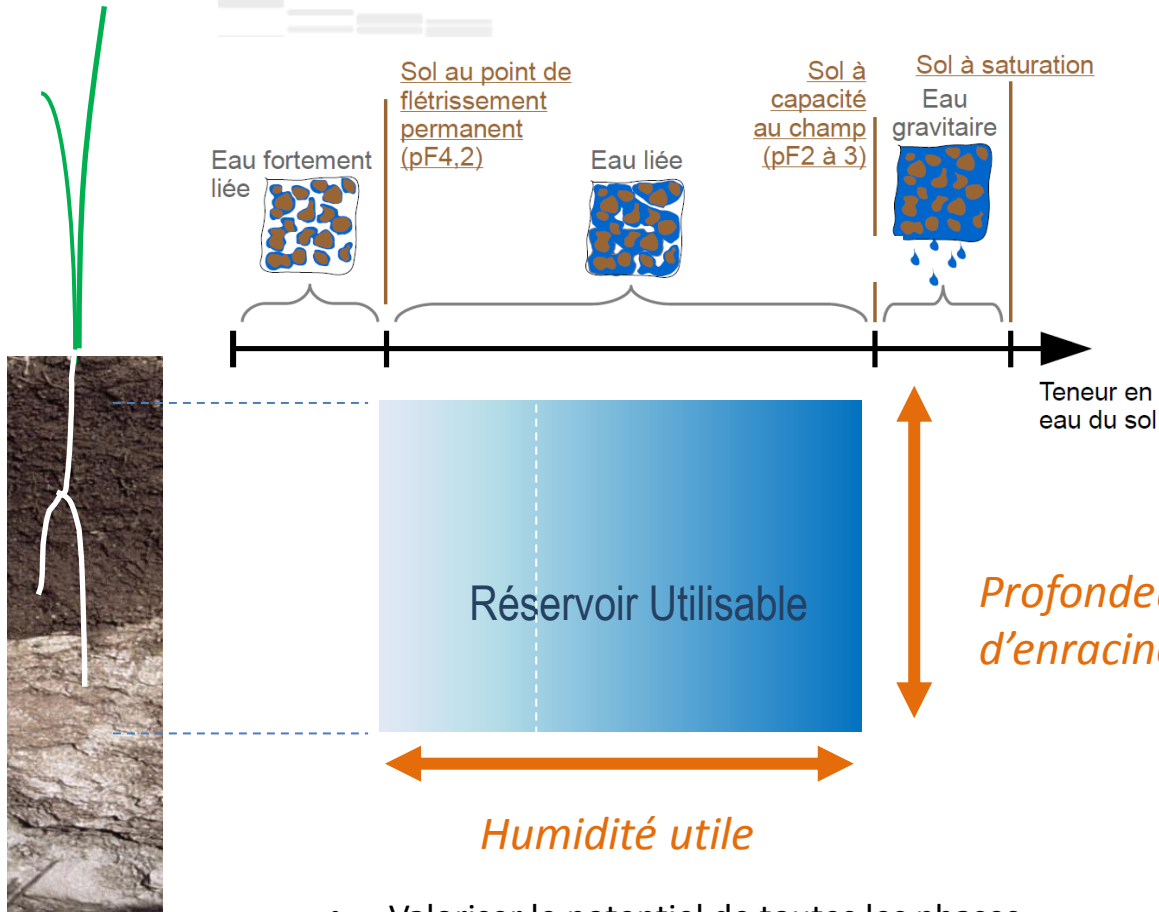
I. Cousin et al. / Stockage d'eau dans les sols

# Matière organique et RU (Eden et al., Agron. Sustain. Dev., 2017)

Meta-analyse de publications analysant l'effet de l'ajout de Produits Résiduels Organiques sur le RU



# Comment « augmenter » le RU ?

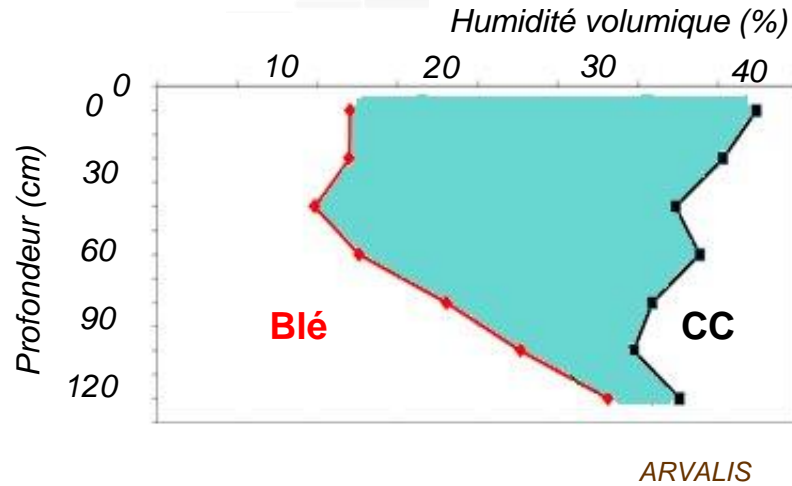


- Epaisseur du sol vs épaisseur d'enracinement
- Besoins en eau des cultures

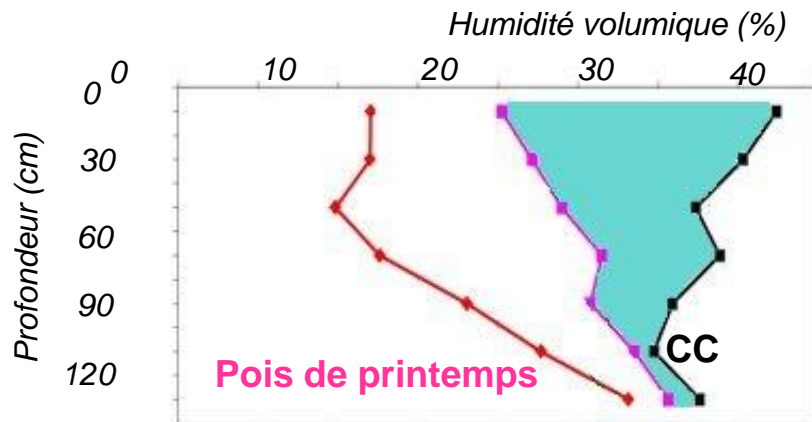
- Valoriser le potentiel de toutes les phases, y.c. phase caillouteuse
- Ajouter de la Matière organique ?

# Profondeur du sol et profondeur de l'enracinement

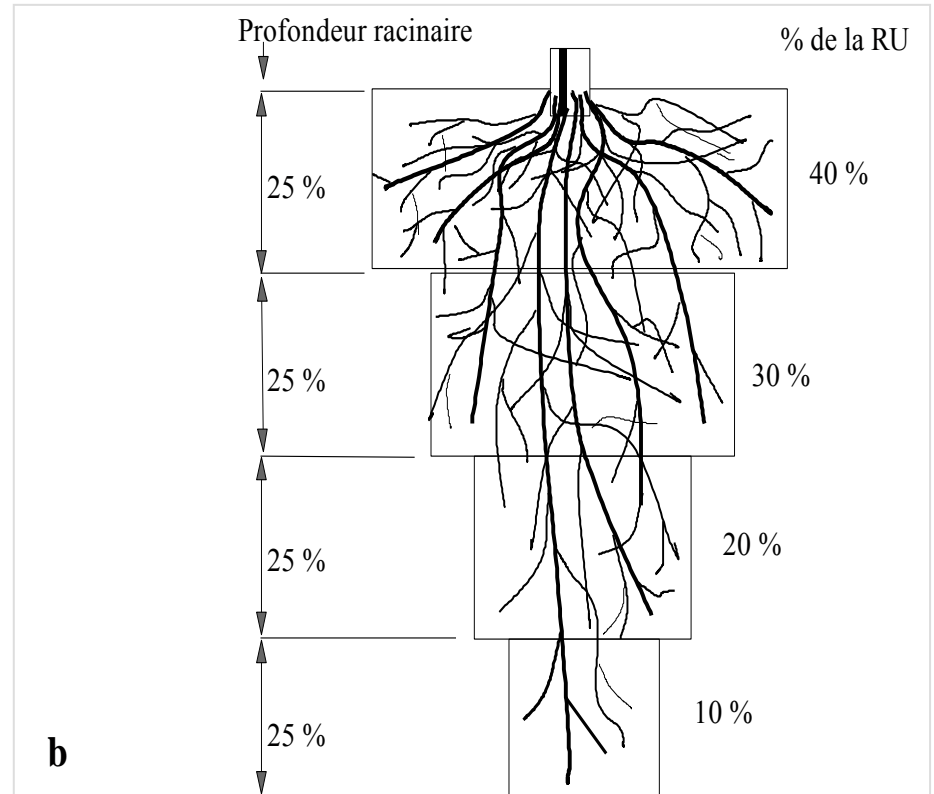
## RU et profondeur d'enracinement



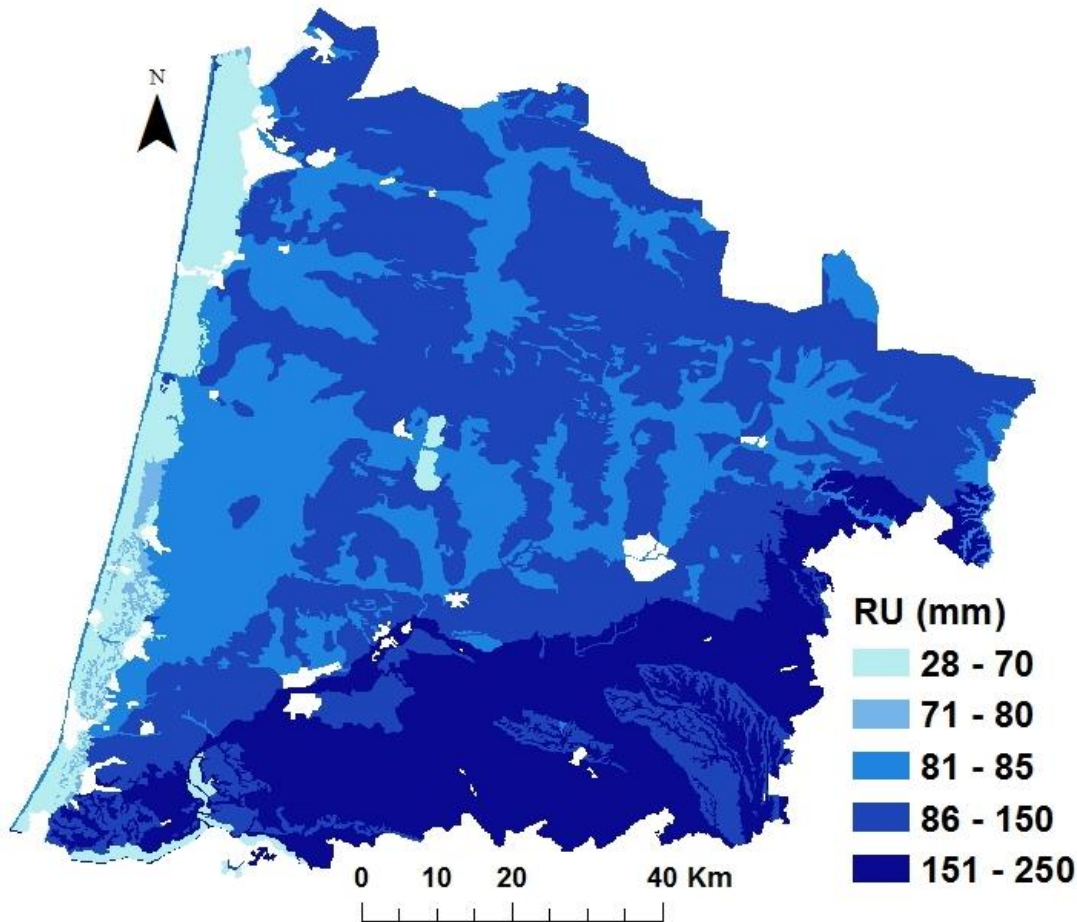
## Importance de l'espèce



## Rôle des racines dans le prélèvement d'eau



# Un exemple de carte de RU : les Landes



© Richer de Forges, INFOSOL, 2015

## *Méthode de réalisation*

- **Référentiel Régional Pédologique** au 1/250000<sup>ème</sup>
- **Fonction de pédotransfert** de Bruand et al. (2004), qui tient compte de la granulométrie des horizons du sol et de leur masse volumique

*Cette carte ne tient pas compte des remontées capillaires*



## Stocker de l'eau dans les sols agricoles (et la restituer aux plantes)

Le sol est un **RESERVOIR**

- ❖ Quelle est sa taille ?
- ❖ Comment le modifier, l'entretenir ?

L'eau peut être **STOCKEE** dans le sol, puis **RESTITUEE** aux plantes

- ❖ Comment influencer sur la dynamique des échanges d'eau entre le sol, (l'atmosphère et les nappes), et les plantes ?

### PRATIQUES AGRICOLES

- Successions culturales
  - Présence de cultures intermédiaires
  - Semis sous couvert
- Gestion des résidus de cultures
- Apport de matières organiques (exogènes)
- Irrigation

# Pour optimiser l'utilisation de l'eau par la culture, il faut ...

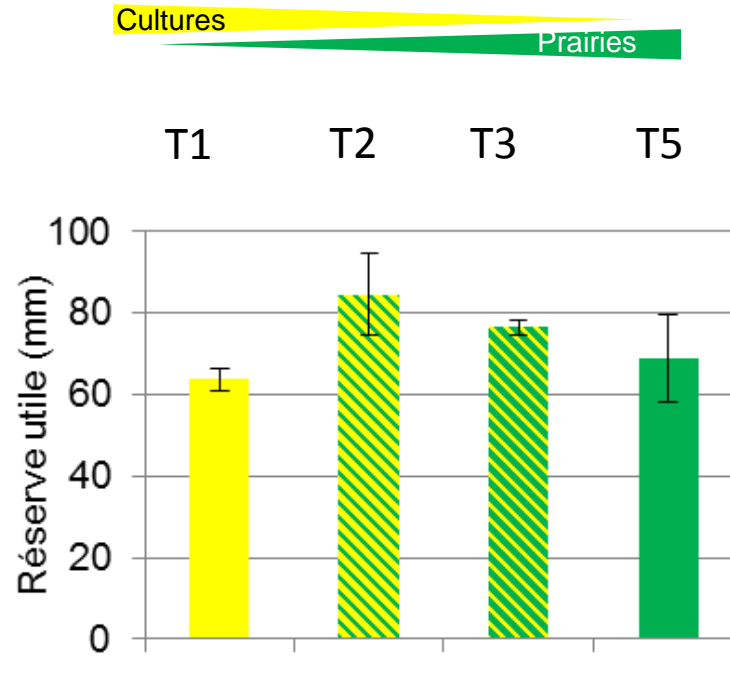
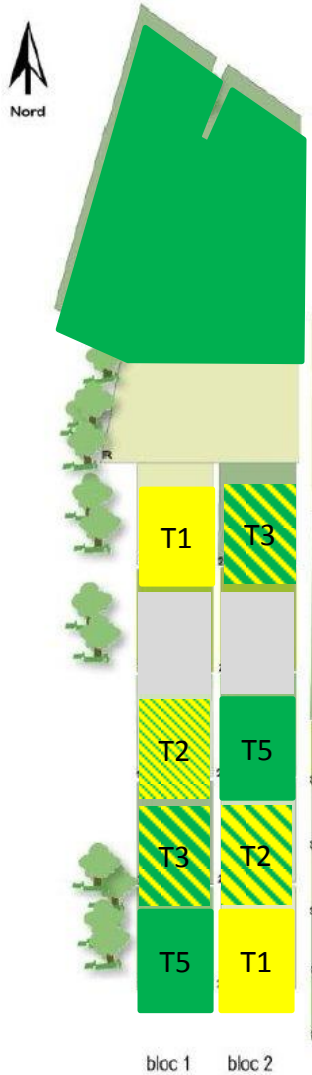
## 1. Favoriser un réservoir de « grande taille »

- ☛ (Apporter des Matières Organiques)
- ☛ Promouvoir des cultures qui favorisent la structuration du sol
- ☛ Favoriser (allonger ?) les rotations

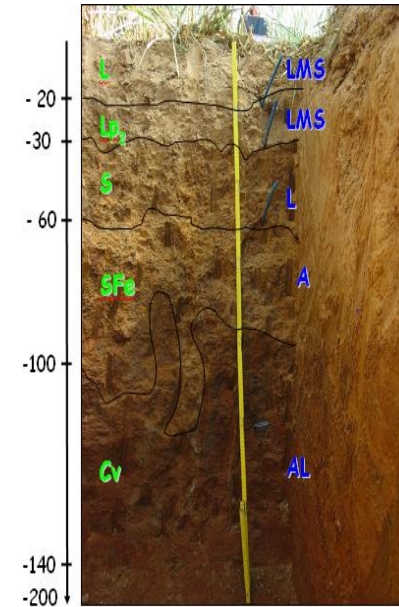


# Effet d'une succession prairies/cultures sur le RU

## Caractérisation des sols du SOERE de LUSIGNAN



Evolution du Réservoir Utilisable dans les deux premiers horizons du sol



- Les successions culturales modifient, à *moyen terme*, le Réservoir en eau Utilisable des sols

(Doussan et al., 2015)

# Pour optimiser l'utilisation de l'eau par la culture, il faut ...

## 1. Favoriser un réservoir de « grande taille »

- ☛ (Apporter des Matières Organiques)
- ☛ Promouvoir des cultures qui favorisent la structuration du sol
- ☛ Favoriser (allonger ?) les rotations

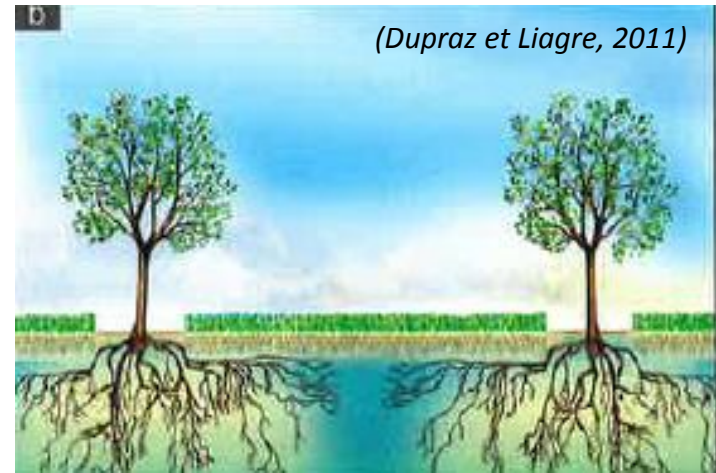
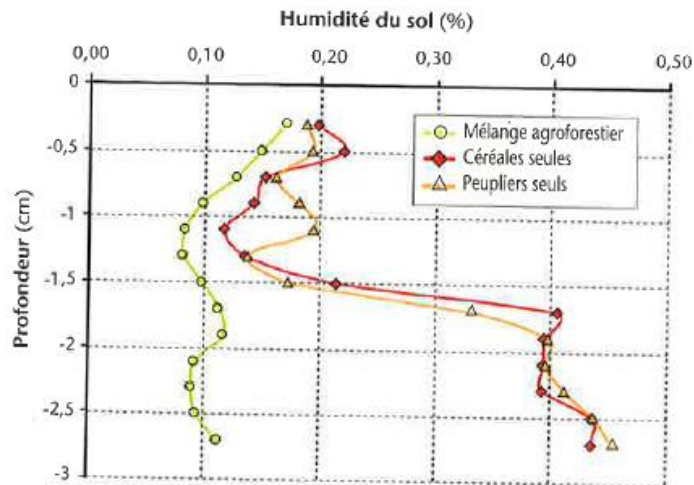
## 2. Valoriser l'utilisation de l'eau sur toute la profondeur du réservoir

- ☛ Tenir compte du potentiel des éléments grossiers
- ☛ Promouvoir des cultures à enracinement profond
- ☛ Réaliser des associations à enracinement différencié

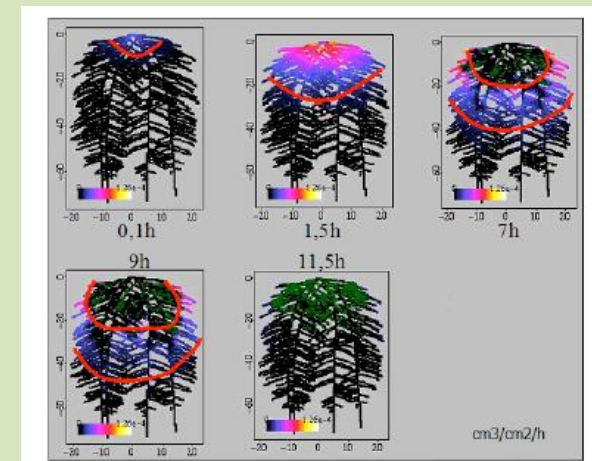


# Agroforesterie

- Les cultures d'hiver exploitent les ressources du sol bien avant les arbres
  - Les arbres en agroforesterie ont des enracinements plus profonds que les arbres en forêt
  - Les 2 cultures, si elles sont bien menées, ne sont pas en compétition
- Assèchement du profil de sol sur toute sa profondeur
  - La capacité de stockage en période automnale ou hivernale est améliorée



## Ascenseur hydraulique



- Jusqu'à 7% d'apport d'eau supplémentaire

(Doussan et al., 2005)

# Pour optimiser l'utilisation de l'eau par la culture, il faut ...

## 1. Favoriser un réservoir de « grande taille »

- ☛ (Apporter des Matières Organiques)
- ☛ Promouvoir des cultures qui favorisent la structuration du sol
- ☛ Favoriser (allonger ?) les rotations

## 2. Valoriser l'utilisation de l'eau sur toute la profondeur du réservoir

- ☛ Tenir compte du potentiel des éléments grossiers
- ☛ Promouvoir des cultures à enracinement profond
- ☛ Réaliser des associations à enracinement différencié

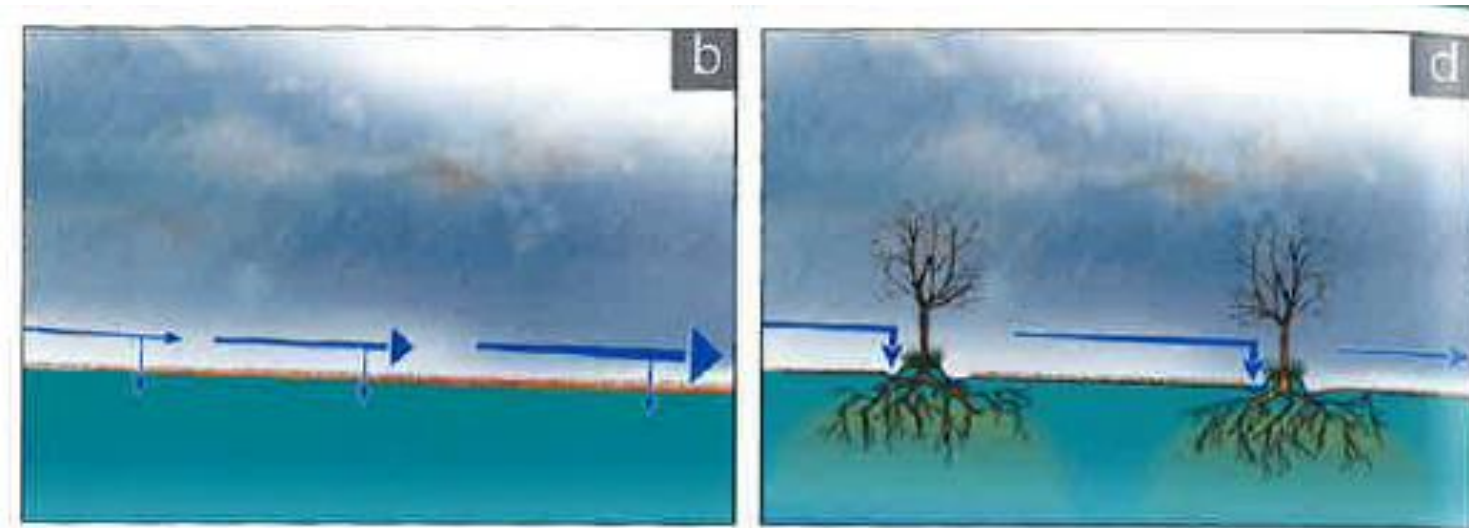
## 3. Favoriser le remplissage du réservoir

- ☛ Limiter le ruissellement
- ☛ Apporter de l'eau par irrigation, au bon moment
- ☛ Ne pas négliger les apports d'eau par la profondeur



# limiter le ruissellement

- Couverture végétale permanente
- Gestion des résidus de culture
- Agroforesterie



(Dupraz et Liagre, 2011)

# Irrigation et gestion de l'eau (1/2)

*Etude de l'effet de l'irrigation sur le rendement en maïs  
sur 2 sols différenciés de la région de Tursan*



- Etude de placettes sur les deux types de sol
- Maïs irrigué et non irrigué
- Analyse des rendements et de la phase post-floraison

## Sol argileux

-> Horizon de surface constitué de blocs tassés et quelques cavités structurales

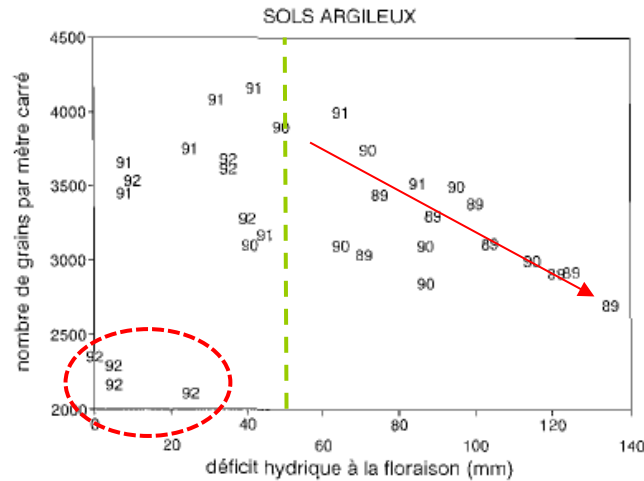
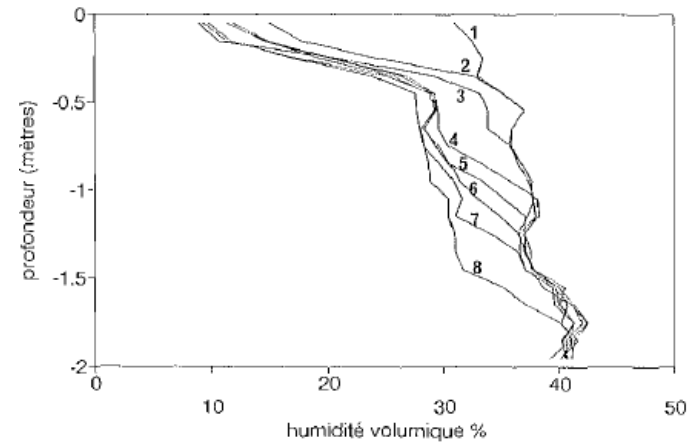
## Sol de « touya »

-> Terre fine et mottes centimétriques arrondies, porosité tout le long du profil  
-> Carbone organique sur toute la profondeur



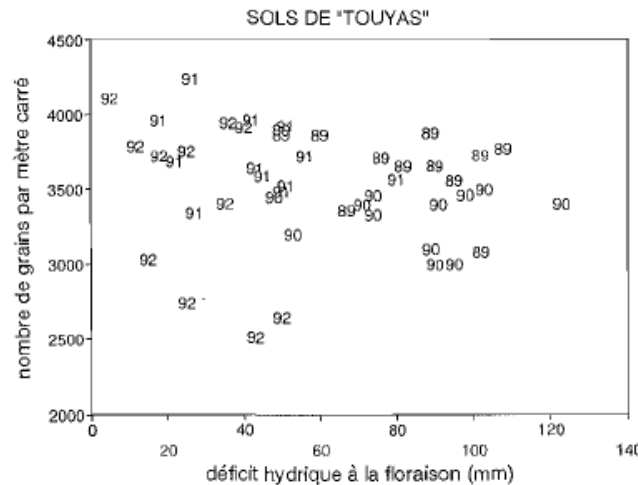
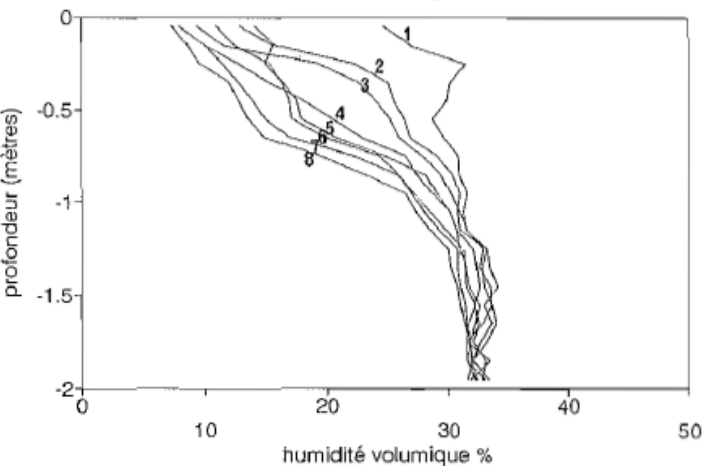
# Irrigation et gestion de l'eau (2/2)

Profils d'humidité neutronique 1991  
témoin sec argile 1



- Dessèchement important et quasi exclusif de la couche labourée
- Au-delà de 50 mm de déficit hydrique, décroissance systématique du nombre de grains
- Déficit de 30 mm -> faible rendement à cause de l'effet dépressif d'irrigations trop précoces

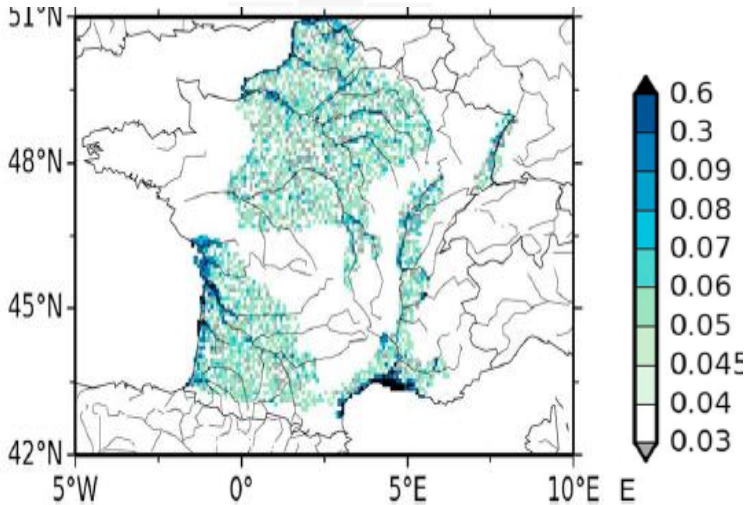
Profils d'humidité neutronique 1991  
témoin sec "touya" 2



- Profil de sol exploité d'emblée sur une plus grande profondeur, dessèchement plus progressif
- Pas d'effet du déficit hydrique sur le remplissage du nombre de grain -> possibilité de décaler l'irrigation sans risque de perte de rendement

# Nappes superficielles et remontées capillaires

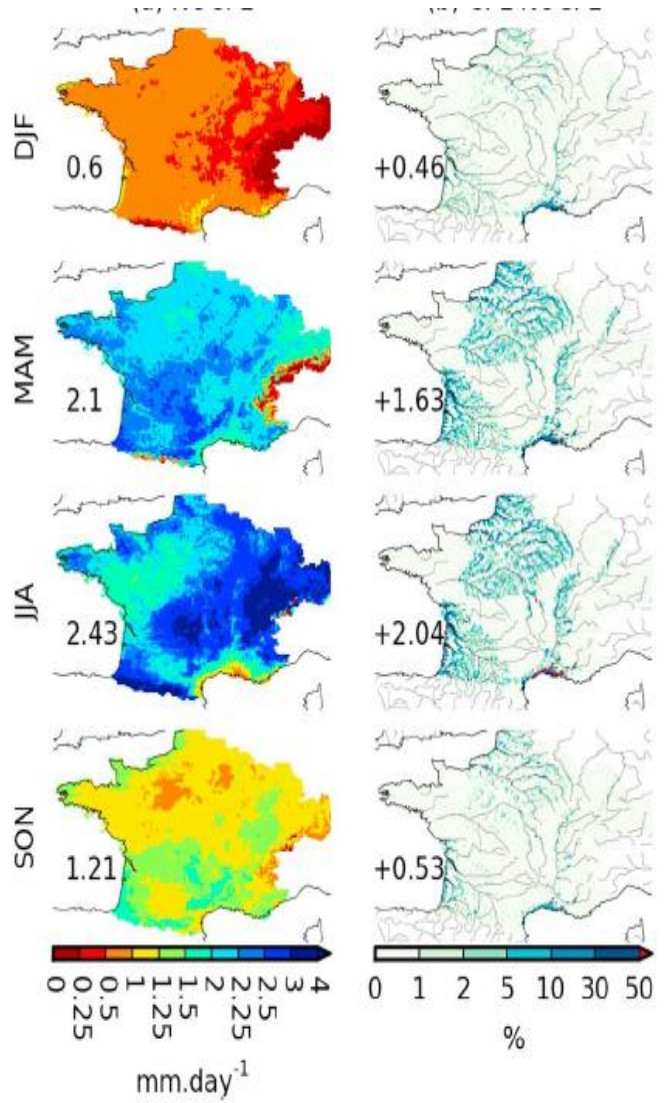
Evapotranspiration moyenne simulée pendant la période 1989-2009 (modèle de surface ISBA)



Contribution moyenne de la nappe à l'évapotranspiration

*Sans prise en compte des remontées capillaires (à gauche)*

*Différence (%) des simulations quand les remontées capillaires sont prises en compte (à droite)*



- Les écarts sur l'évaluation de l'évapotranspiration peuvent atteindre localement 30 à 50 %

(Vergnes et al., 2014)

# Pour optimiser l'utilisation de l'eau par la culture, il faut ...

## 1. Favoriser un réservoir de « grande taille »

- ☛ (Apporter des Matières Organiques)
- ☛ Promouvoir des cultures qui favorisent la structuration du sol
- ☛ Favoriser (allonger ?) les rotations

## 2. Valoriser l'utilisation de l'eau sur toute la profondeur du réservoir

- ☛ Tenir compte du potentiel des éléments grossiers
- ☛ Promouvoir des cultures à enracinement profond
- ☛ Réaliser des associations à enracinement différencié

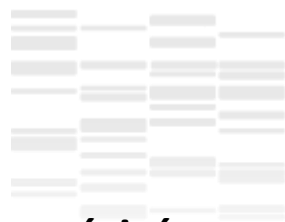
## 3. Favoriser le remplissage du réservoir

- ☛ Limiter le ruissellement
- ☛ Apporter de l'eau par irrigation, au bon moment
- ☛ Ne pas négliger les apports d'eau par la profondeur

## 4. Limiter les pertes en eau du réservoir

- ☛ Limiter l'évaporation
- ☛ (Limiter la transpiration ?)





## Eléments de conclusion

**Connaître précisément le RU sur un territoire**, c'est pouvoir estimer correctement les capacités du sol à alimenter les plantes

Augmenter le RU, ce n'est pas améliorer le stockage d'eau dans les sols, c'est **améliorer la possibilité de stocker** de l'eau dans les sols

On peut (doit) promouvoir des pratiques agricoles qui améliorent la structure du sol, moins pour leur capacité à augmenter la taille du RU que pour leur capacité à **limiter les pertes en eau** (évaporation, ruissellement) et **favoriser les échanges**

Dans un contexte de **changement climatique** et d'un besoin absolu de **sécuriser la production agricole** (alimentaire), on ne peut probablement pas se passer d'une agriculture irriguée; la **gestion (temporelle et spatiale) de l'irrigation** est primordiale

Le rôle des **couvertures végétales permanentes** et des semis sous couvert sur la gestion de l'eau est à approfondir (**compromis** eau verte / eau bleue)

# Liste des références

- Arrouays, D., Chossat, J.C., Houdusse, M., 1993. Dynamique de dessèchement des sols, gestion des eaux d'irrigation, et rendement du maïs grain (Zea Mays) sur deux sols du Tursan. *Science du Sol*, 31(3), 109-124,
- Bauer, A., Black, A.L., 1992. Organic Carbon effects on Available Water Capacity on three soil textural groups. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 248-254.
- Doussan, C., Pagès, L., Pierret, A., 2005. Soil exploration and resource acquisition by plant roots: an architectural point of view. *Agronomy*, 23, 419-431.
- Doussan, C., Seger, M., Chabbi, A., Charrier X., Giot, G., Renard, D., Cousin, I., 2015. RURac. Mise en évidence de l'évolution temporelle de la Réserve Utile des sols sous l'action des racines : Une première pierre dans une optique de gestion des propriétés hydriques du sol par gestion de la végétation et de son enracinement. *Pari Scientifique EA, Rapport final*, 20 pages.
- Dupraz, C., Liagre, F., 2011. *Agroforesterie. Des arbres et des cultures*. Editions la France Agricole, 432 p.
- Eden, M., Gerke, H., Houot, S., 2017. Organic waste recycling in agriculture and related effects on soil water retention and plant available water: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 11
- Rawls, W.J., Pachepsky, Y.A., Ritchie, J.C., Sobecki, T.M., Bloodworth, H., 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116, 61-76.
- Richer de Forges, A., 2015. Carte du RU du département des Landes. *Infosol*.
- Tétégan, M., 2011. Modélisation des propriétés de rétention en eau des sols caillouteux. Application à l'estimation spatialisée de la réserve utile, *Thèse Université d'Orléans*, 165 p.
- Tétégan M., Richer de Forges A.C., Verbèque B., Nicoullaud B., Desbourdes C., Bouthier A., Arrouays D., Cousin I., 2015. The effect of soil stoniness on the estimation of water retention properties of soils: A case study from central France. *Catena*, 129, 95-102. Tunstall
- Vergnes, J.P., Decharme, B., Habets, F., 2014. Introduction to capillary rises using subgrid spatial variabilité topographie into the ISBA land surface model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 11065.

Commission de planification de  
l'Agence de l'Eau Adour-Garonne

8 juin 2017

Toulouse

**Merci de votre attention !**



## Le stockage d'eau dans les sols

Isabelle COUSIN<sup>1</sup>, Anne RICHER DE FORGES<sup>2</sup>, Dominique ARROUAYS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INRA, UR SOLS, Orléans

<sup>2</sup>INRA, US INFOSOL, Orléans



08/06/2017