



Formation « Eau et Changement Climatique » - 15 et 29 septembre 2020

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Impacts du changement climatique sur le fonctionnement hydrique des sols agricoles

Lionel Alletto

INRAE UMR Agroécologie, Innovations, Territoires

lionel.alletto@inrae.fr

 @LionelAlletto

INRAE

Organisation de l'intervention

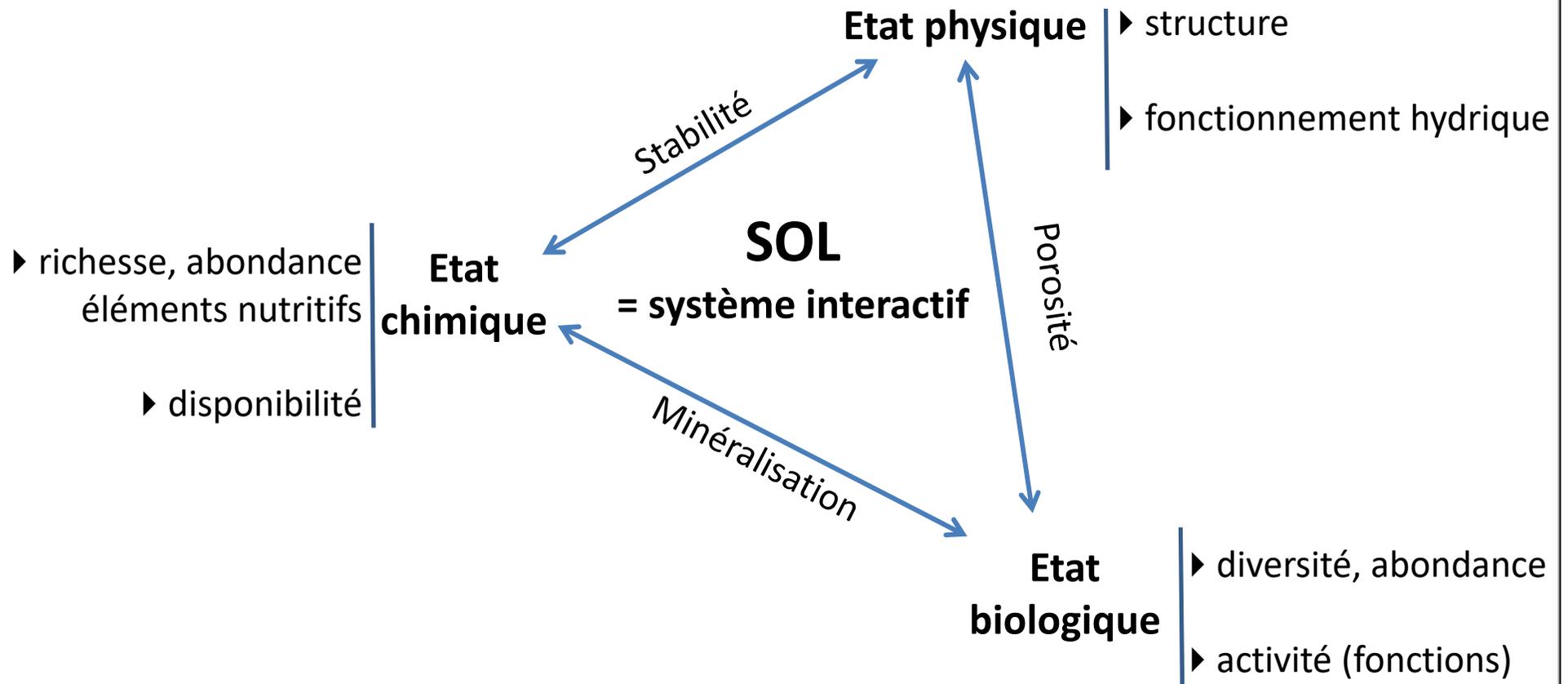
1- Quelques éléments généraux sur le fonctionnement hydrique des sols

2- Effets de pratiques agricoles sur fonctionnement hydrique des sols

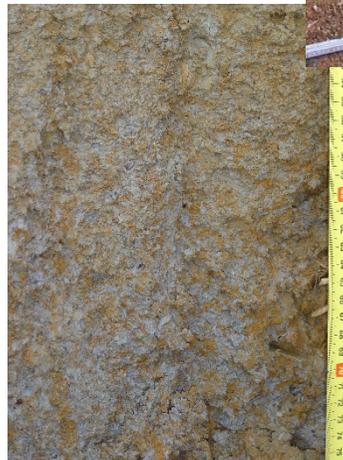
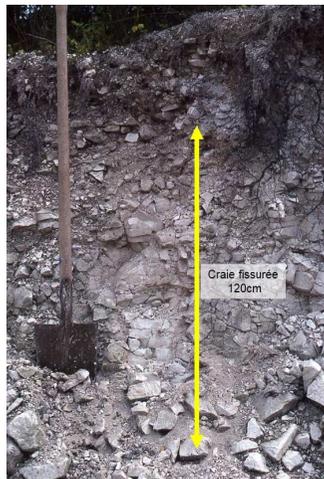
3- Enjeux liés au CC et perspectives de conseil sur la gestion de l'eau

Le sol : un système en interaction entre composantes physiques, chimiques et biologiques

CONSEIL SCIENTIFIQUE

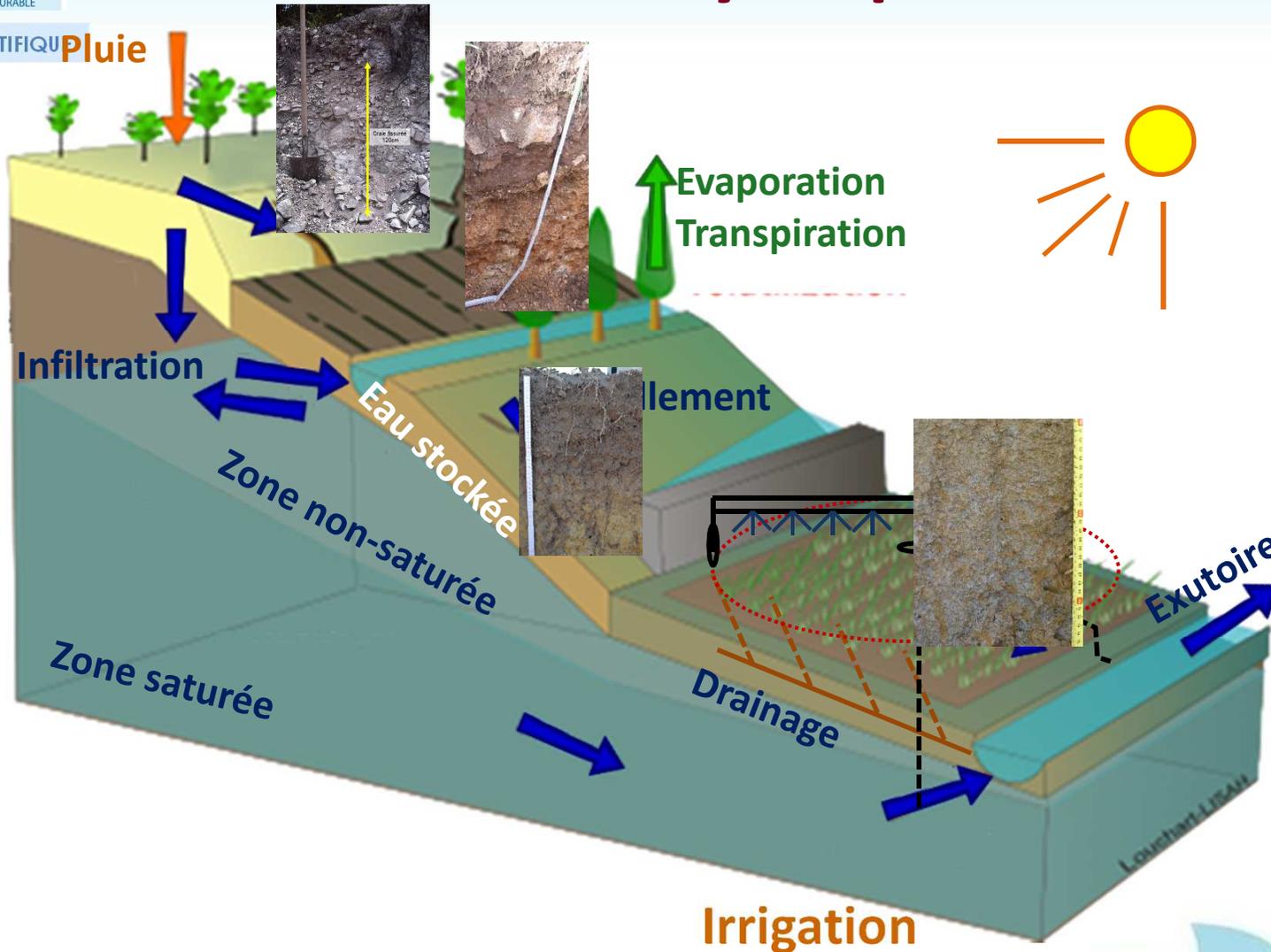


Le sol : une grande diversité mais des principes communs de fonctionnement



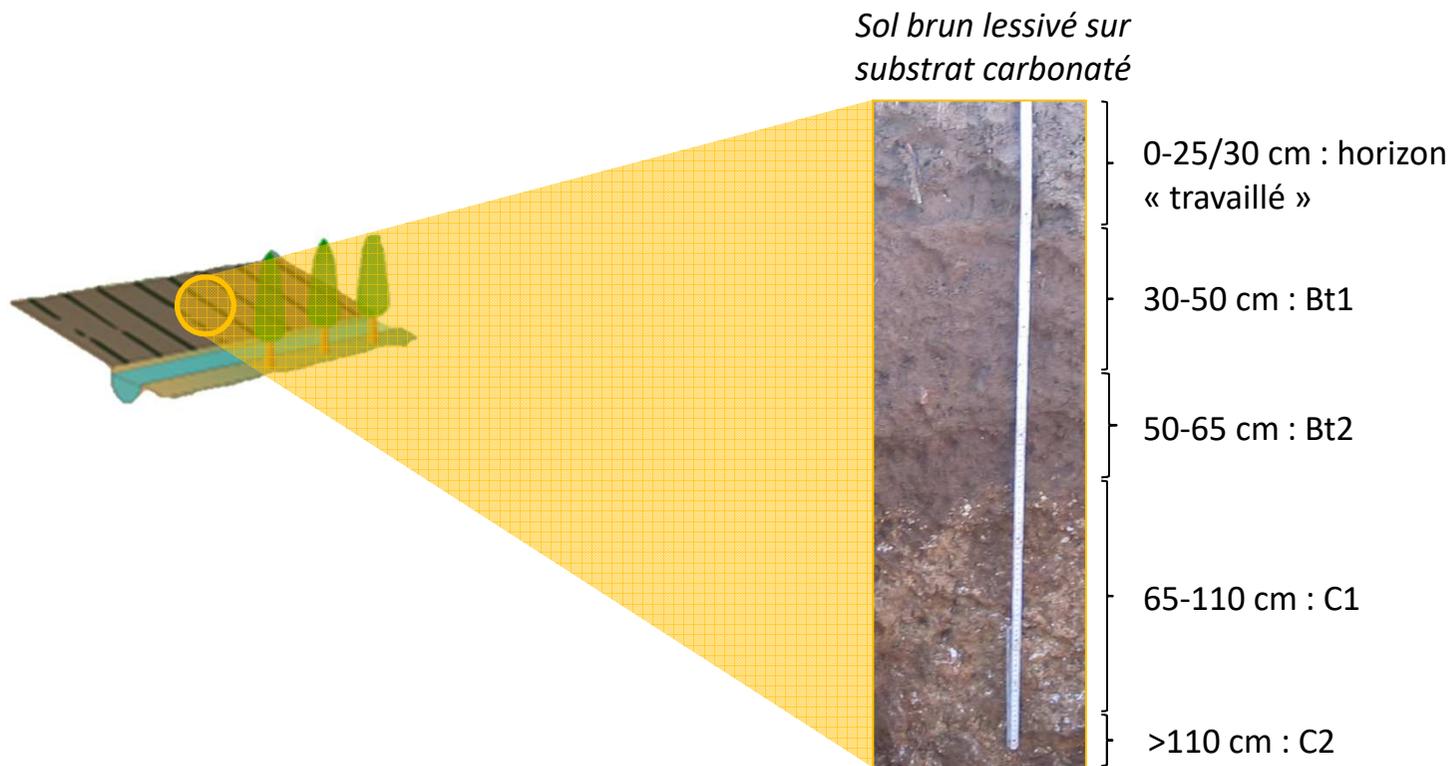
Principaux processus du fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE **Pluie**



1- Quelques éléments généraux sur le fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE



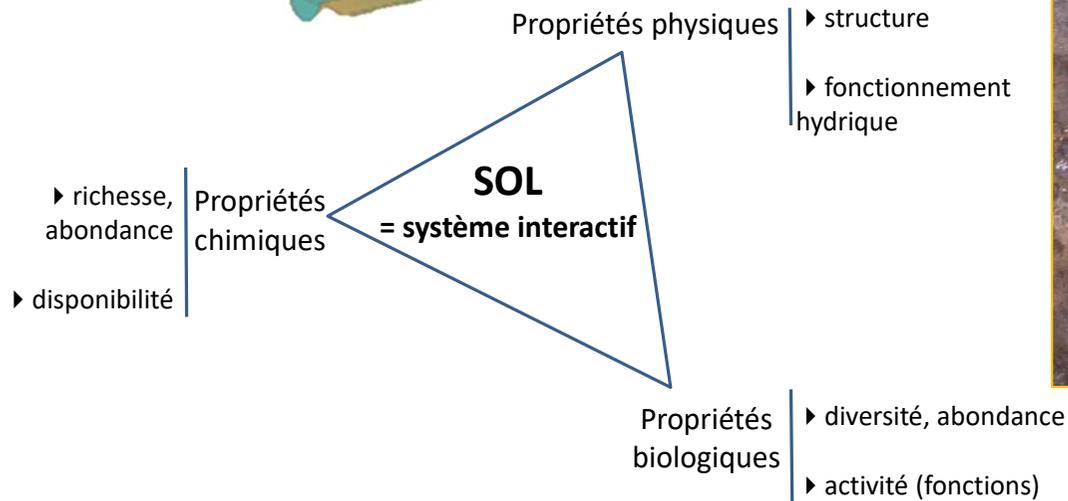
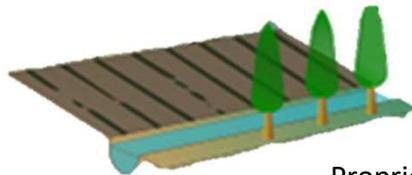
1- Quelques éléments généraux sur le fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE

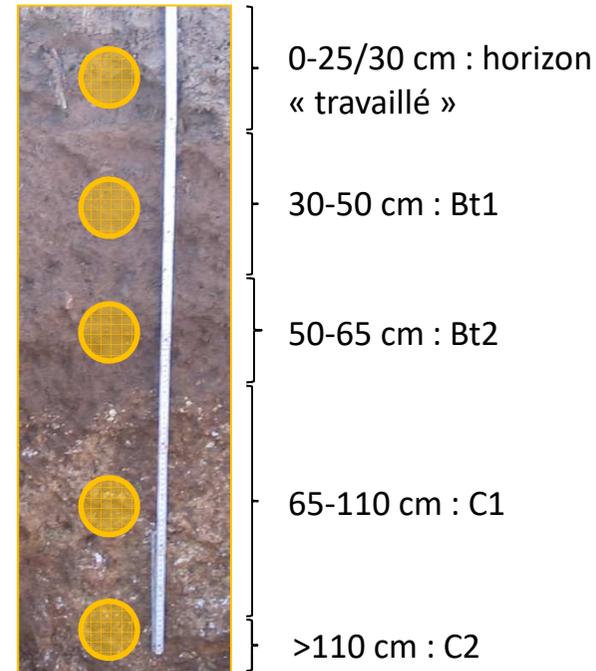


Propriétés hydriques

f (propriétés physiques, chimiques, biologiques)



Sol brun lessivé sur substrat carbonaté



1- Quelques éléments généraux sur le fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Propriétés hydriques

f (propriétés physiques, chimiques, biologiques)

Densité apparente

masse de terre (sèche) dans un volume donné

► Indicateur de la porosité totale du milieu : renseigne l'état de compaction du sol

Très utilisé comme proxy pour estimer d'autres variables « plus compliquées à mesurer » (ex. RU, Ksat)



1- Quelques éléments généraux sur le fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Propriétés hydriques

f (propriétés physiques, chimiques, biologiques)

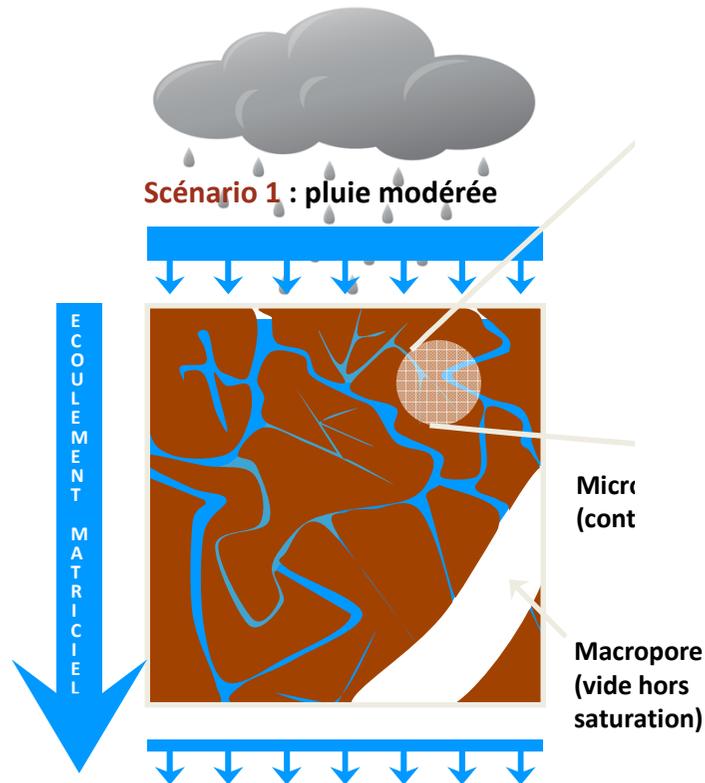
Capacité d'infiltration (conductivité hydraulique)

► Estimation de la **partition infiltration / ruissellement**

Très importante pour estimer les risques de refus d'infiltration (peut être associée à une estimation des risques érosifs)

1- Quelques éléments généraux sur le fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE

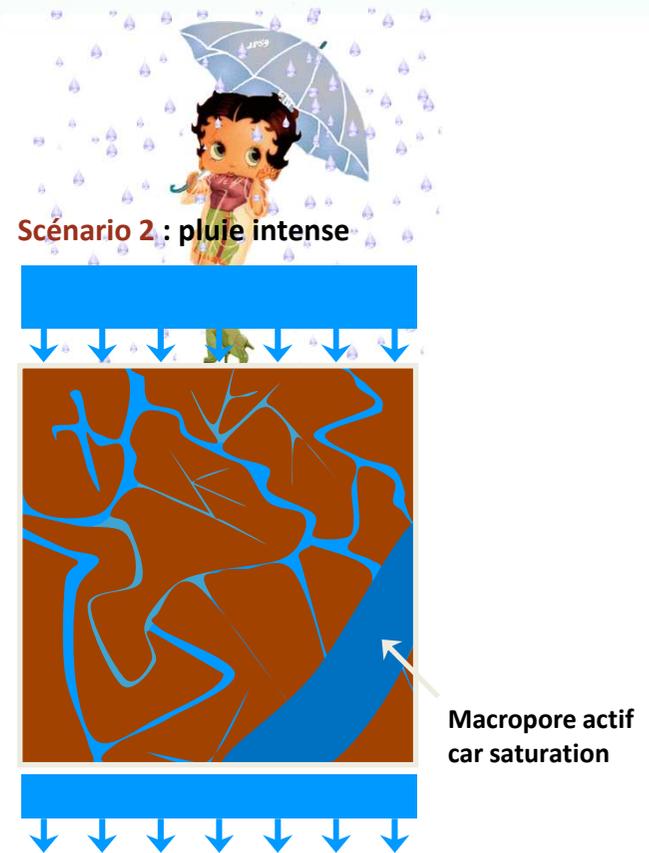


Conductivité du milieu **dépend de la teneur en eau initiale**

► $K(\theta)$ ou $K(h)$

Flux 3D « lent », peu important mais quasi-permanent

1- Quelques éléments généraux sur le fonctionnement hydrique des sols



Saturation (temporaire) du milieu => K_{sat}
Flux rapide, important mais transitoire
(écoulement gravitaire ► quasi 1D)

1- Quelques éléments généraux sur le fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Idée reçue n°1

les galeries de vers de terre font circuler l'eau dans les sols



Partiellement vrai :

- ▶ Occupées par de l'air durant 90 à 95 % d'une année...
- ▶ Circulation de l'eau lorsque le sol est saturé (ex. après une très forte pluie ou une période de pluie assez longue...)
- ▶ Pas de remontée capillaire possible...



Mais attention : si activés, les macropores génèrent des flux d'eau et de solutés importants !

1- Quelques éléments généraux sur le fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE



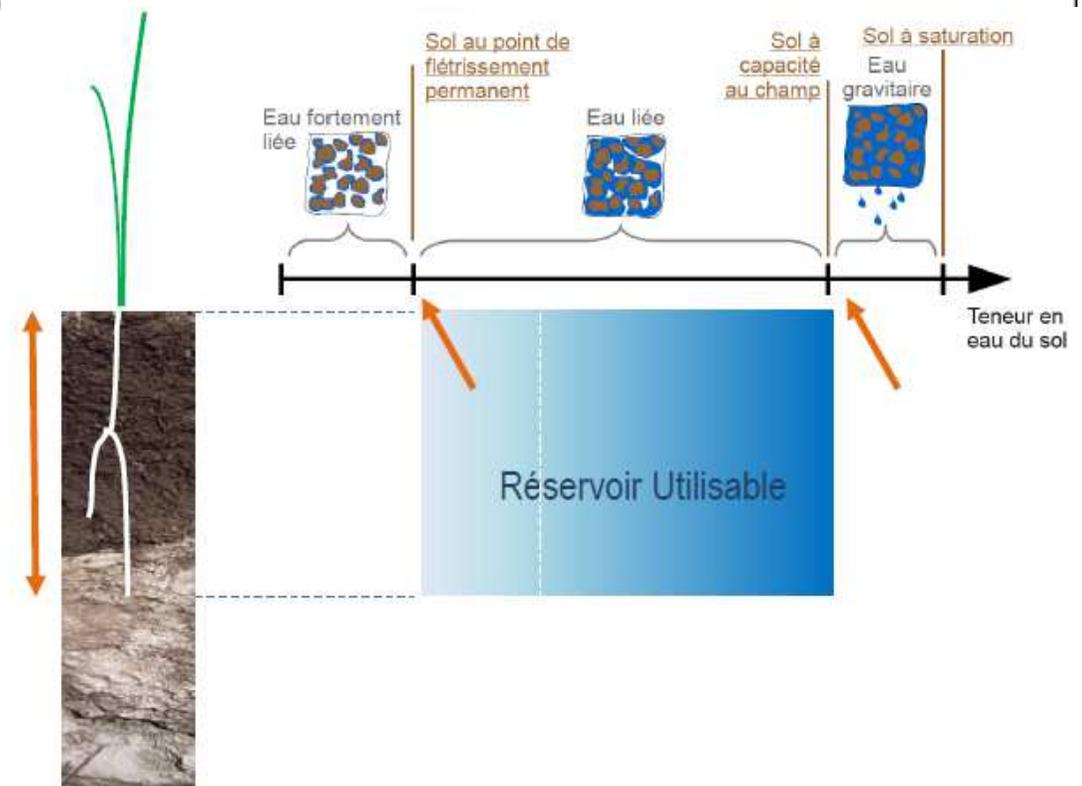
Propriétés hydriques

f (propriétés physiques, chimiques, biologiques)



Rétention en eau (réservoir utilisable)

- ▶ Quantité d'eau que le sol peut stocker et restituer aux plantes
- ▶ 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 ...)



1- Quelques éléments généraux sur le fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Propriétés hydriques

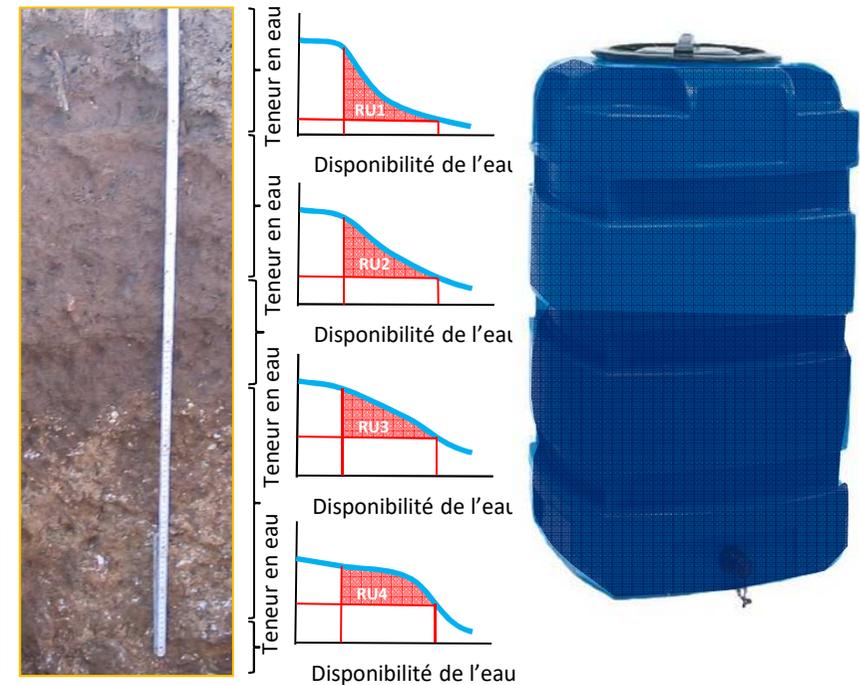
f (propriétés physiques, chimiques, biologiques)

Rétention en eau (réservoir utilisable)

- ▶ Quantité d'eau que le sol peut stocker et restituer aux plantes
- ▶ 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 ...)

Estimation du RU = prof. x d. app. x (qté eau à capacité de rétention – qté eau au PFP)

Sol brun lessivé sur substrat carbonaté



☞ *Disponibilité de l'eau = état énergétique de l'eau = potentiel hydrique*

1- Quelques éléments généraux sur le fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Propriétés hydriques

f (propriétés physiques, chimiques, biologiques)

Rétention en eau (réservoir utilisable)

- ▶ Quantité d'eau que le sol peut stocker et restituer aux plantes
- ▶ 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 ...)

▶ **Mesure** : longue et coûteuse

▶ **Estimation** : fonctions de pédotransfert

Continue

$$\theta(h) = a + (b * CI) + (c * Si) + (d * OC) + (e * rho) \quad (\text{Al Majou et al., 2007})$$

$$\theta(h) = a + (b * Sa) + (c * Si) + (d * CI) + (e * OM) + (f * rho) + (g * \theta_{330}) + (h * \theta_{15000}) \quad (\text{Rawls et al., 1982})$$

Discrète

$$\theta_{330} = 0.2449 - (0.1887 * \frac{1}{OC+1}) + (0.004527 * CI) + (0.001535 * Si)$$

$$+ (0.001442 * Si * \frac{1}{OC+1}) - (0.00005110 * Si * CI) + (0.0008676 * CI * \frac{1}{OC+1})$$

$$\theta_{15000} = 0.09878 + (0.002127 * CI) - (0.0008366 * Si) - (0.07670 * \frac{1}{OC+1}) +$$

$$(0.00003853 * Si * CI) + (0.002330 * CI * \frac{1}{OC+1}) + (0.0009498 * Si * \frac{1}{OC+1})$$

(Tóth et al., 2015)

1- Quelques éléments généraux sur le fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Idée reçue n°2

*les macropores permettent
d'améliorer le réservoir
utilisable des sols*



► **Faux** ou de façon très peu significative, par exemple *via* les MO recouvrant les parois des vers..., pas de remontées capillaires

D'où le dicton :

« un binage vaut deux arrosages »

2- Effets de pratiques agricoles sur fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE



Propriétés hydriques

f (propriétés physiques, chimiques, biologiques)



Densité apparente



Capacité d'infiltration



Rétention en eau (réservoir utilisable)

Influence majeure des pratiques agricoles



Travail / non-travail du sol



CIMS



Rotation des cultures

(en interaction avec les propriétés intrinsèques du milieu)



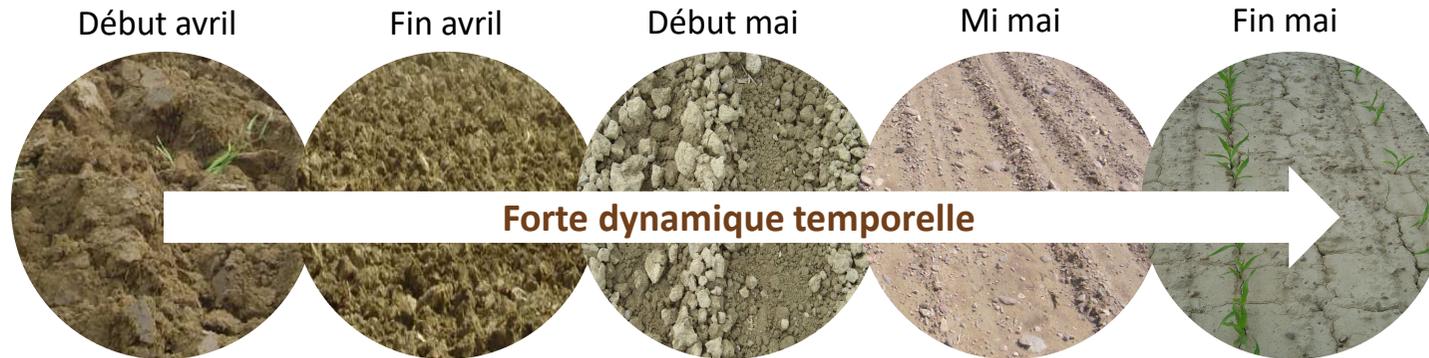
Temporelle



Spatiale

2- Effets de pratiques agricoles sur fonctionnement hydrique des sols

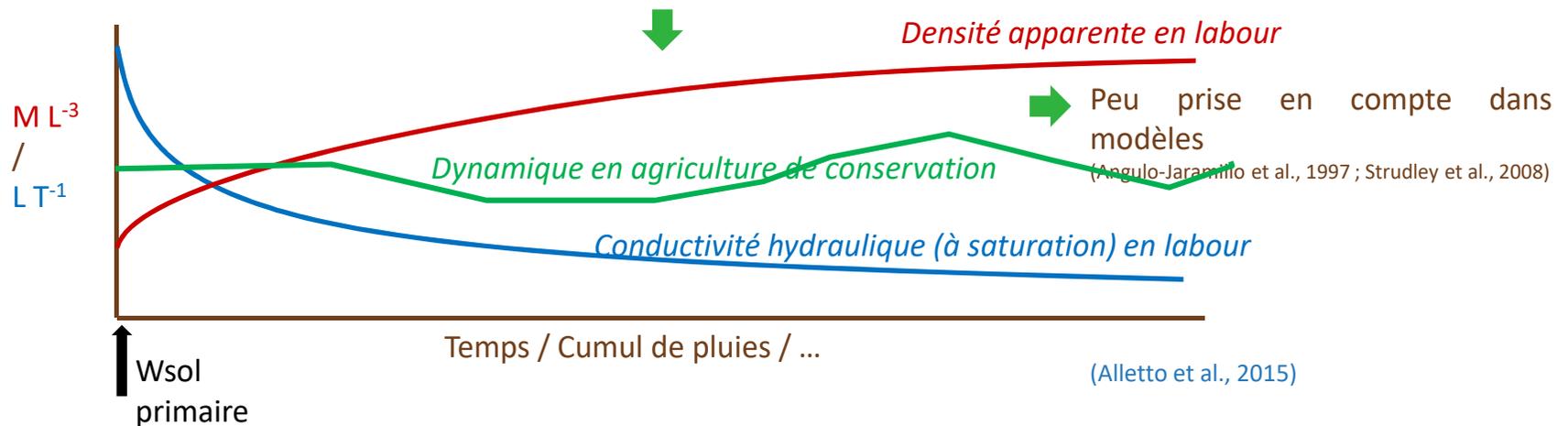
CONSEIL SCIENTIFIQUE



(Sauer et al. 1990 ; Green et al., 2003 ; Stange et Horn, 2005 ; Strudley et al., 2008)



Travail / non-travail du sol



► Diminution potentielle du RU sur un horizon labouré (25 cm) en 2 mois de 30 %

2- Effets de pratiques agricoles sur fonctionnement hydrique des sols



Travail / non-travail du sol

f (

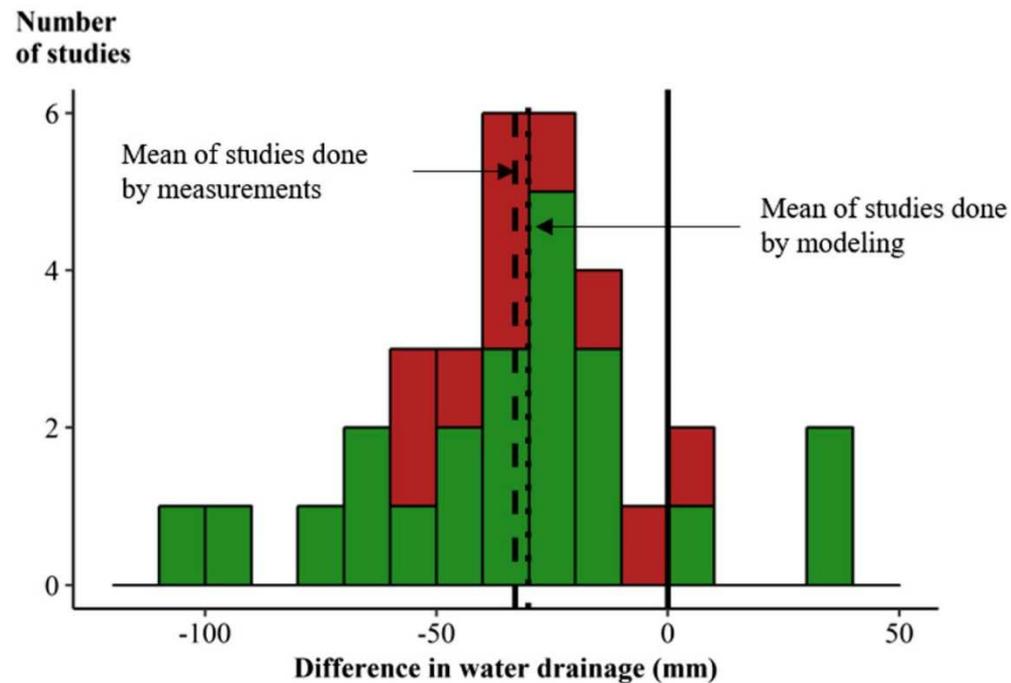


)

2- Effets de pratiques agricoles sur fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Histogram of mean water drainage under cover crops minus that under bare soil



(Meyer et al., 2019)



CIMS

Thèse de Nicolas Meyer (2017-2020)

► Réduction du drainage d'environ 30 mm après implantation d'une CIMS



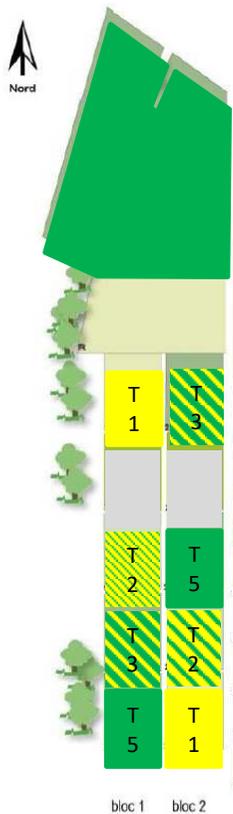
Stratégie d'irrigation potentiellement à repenser

2- Effets de pratiques agricoles sur fonctionnement hydrique des sols

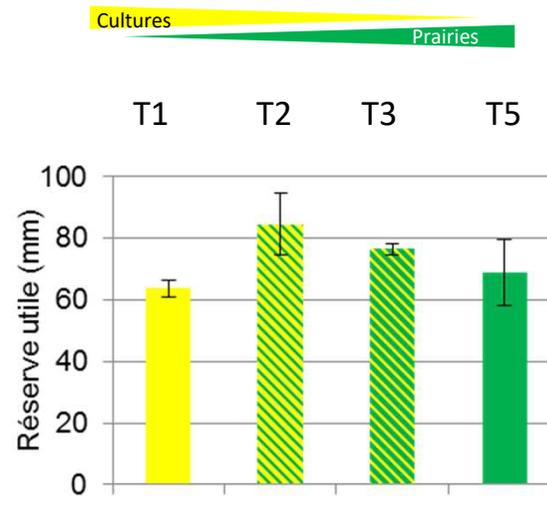


Rotation des cultures

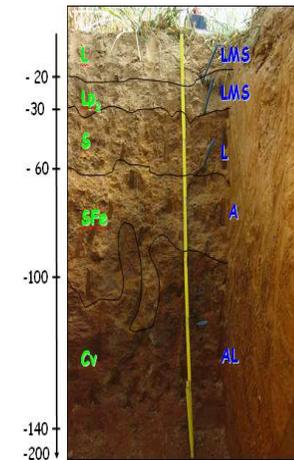
Effet d'une succession prairies/cultures sur le RU



Caractérisation des sols du SOERE de LUSIGNAN



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

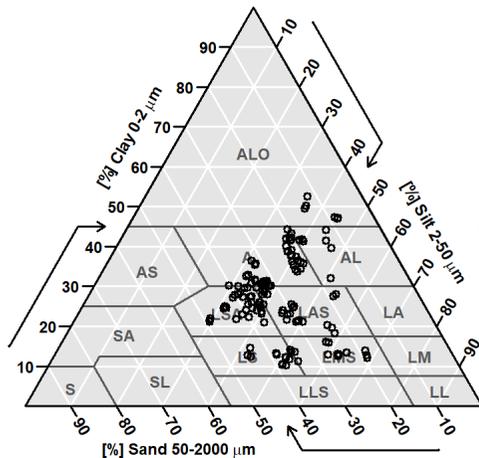


► Les successions culturales modifient, à *moyen terme*, le RU des sols

(Doussan et al., 2015)

2- Effets de pratiques agricoles sur fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE



CASDAR TTSI (2009-2012)



Thèse de Sixtine Cueff (2017-2020)

Données issues de 61 parcelles réparties entre 19 agriculteurs
Année de passage en TTSI: 1987-2003

Travail du sol	Nb
Semis direct	32
Non labour superficiel	21
Non labour profond	8



Couverts végétaux	Nb
Présence	46
Absence	15

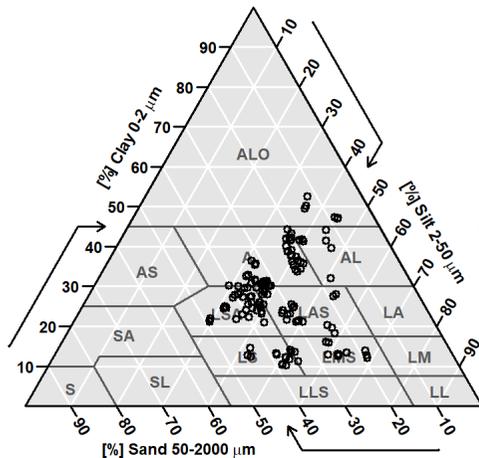


Rotation	Nb
> 4 ans	26
> 2 ans & ≤ 4 ans	19
≤ 2 ans	7
Non fixée	9

► **Effet significatif des interactions entre pratiques agricoles en ACS sur le réservoir utilisable (RU les plus élevés observés sur parcelles en SD avec couvert & rotation non fixée)**

2- Effets de pratiques agricoles sur fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE



CASDAR TTSI (2009-2012)



Thèse de Sixtine Cueff (2017-2020)

Données issues de 61 parcelles réparties entre 19 agriculteurs
Année de passage en TTSI: 1987-2003

Travail du sol	Nb
Semis direct	32
Non labour superficiel	21
Non labour profond	8



Couverts végétaux	Nb
Présence	46
Absence	15



Rotation	Nb
> 4 ans	26
> 2 ans & ≤ 4 ans	19
≤ 2 ans	7
Non fixée	9



► Utilisation de 29 Fonctions de Pédotransfert pour estimer le RU de parcelles en ACS



Résultats non satisfaisants !

Travail en cours pour intégrer des paramètres « agronomiques »
(traduisant d'une évolution de la structure du sol)

► vers des Fonctions d'AgroPédotransfert ??

2- Effets de pratiques agricoles sur fonctionnement hydrique des sols

Idée reçue n°3

*En ACS, le RU des sols est
fortement augmenté*

► **Partiellement vrai** : sur des sols initialement « dégradés », des effets positifs sur le RU sont observés en ACS mais demeurent peu importants



sur 0-60 cm : augmentation de 5 à 8 % du RU (soit 1 à 1,5 journée d'ETP)

Aucun effet sur le RU en revanche sur des sols « à fort potentiel » (ex. terres noires)



MAIS !

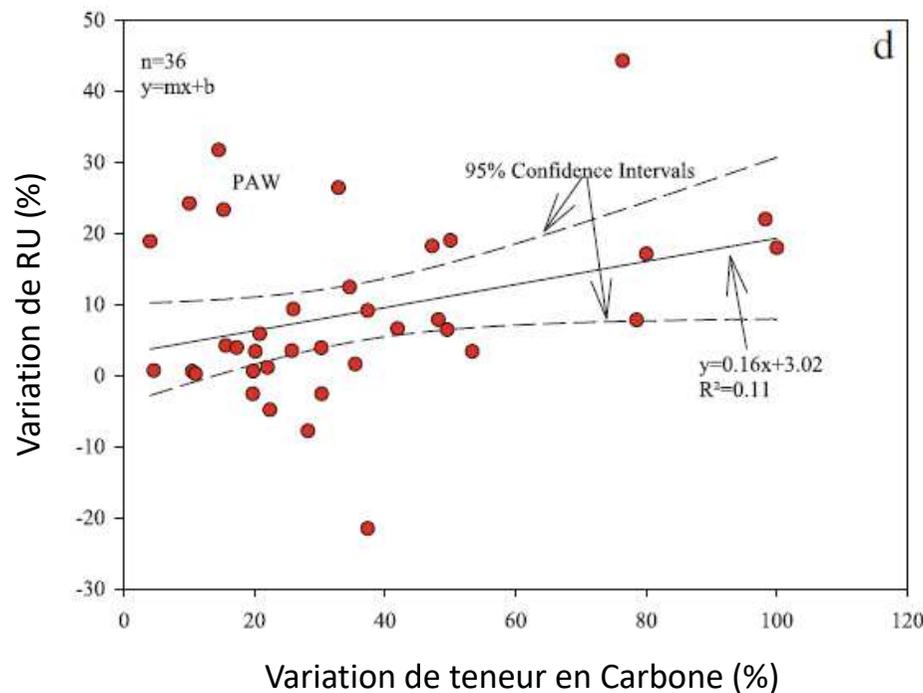
► **Modifications probables de la dynamique de vidange/remplissage du RU** : stabilité du volume, maintien des capacités d'infiltration (avec valeurs assez élevées...)
= piste à approfondir !! Sujet de thèse en cours de montage

2- Effets de pratiques agricoles sur fonctionnement hydrique des sols

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Que peut-on espérer comme amplitude d'effet ?

Méta-analyse de publications traitant des effets de l'ajout de Produits Résiduels Organiques sur le RU



(Eden et al., 2017)



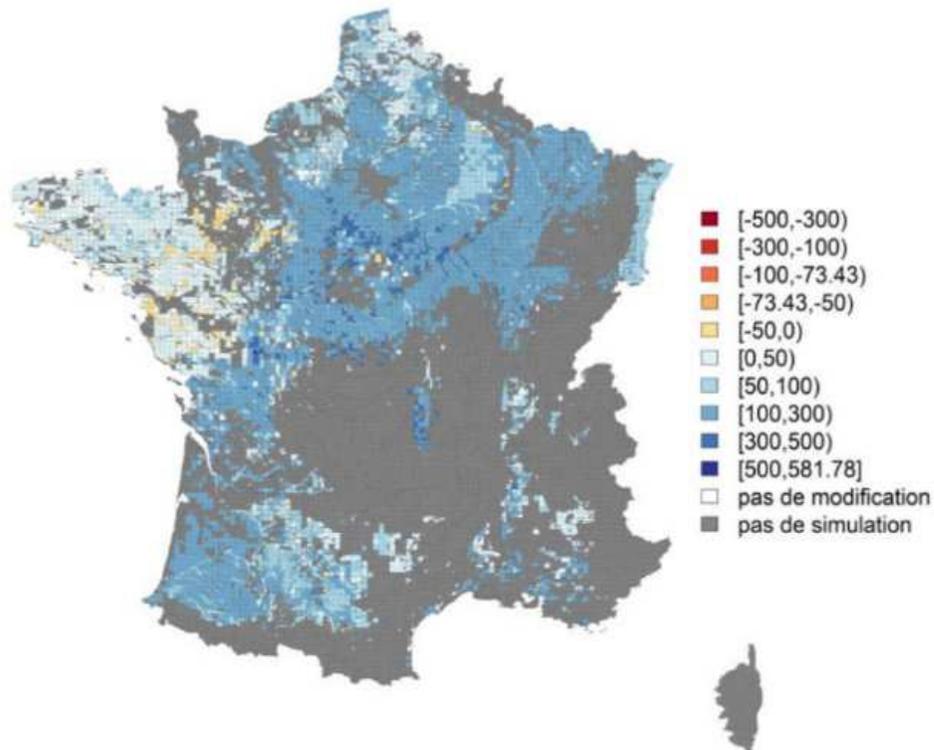
► **sur des sols initialement pauvres en MO :**

→ Augmentation des teneurs en C de 60 à 75 % en surface

→ Stock global de C accru d'au maximum 30 % sur 0-60 cm

► L'accroissement de RU de 5 à 8 % est cohérent

► Accroître les teneurs en C organique dans les horizons de surface des sols : que peut-on espérer ?



Sur le Bassin Adour-Garonne (BAG) :
50 à 300 kg C max /ha/an de stockage
additionnel (si refonte des systèmes de
culture)

Sols du BAG (0-30 cm) : 30 – 150 tC/ha

↗ de 0,03 à 2,0 % /an

Figure 7. Stockage additionnel absolu (kgC/ha/an) sur 0-30 cm avec le scénario "Insertion et allongement des cultures intermédiaires"

Pellerin et al., 2019

2- Effets de pratiques agricoles sur fonctionnement hydrique des sols Synthèse

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Travail du
sol intense



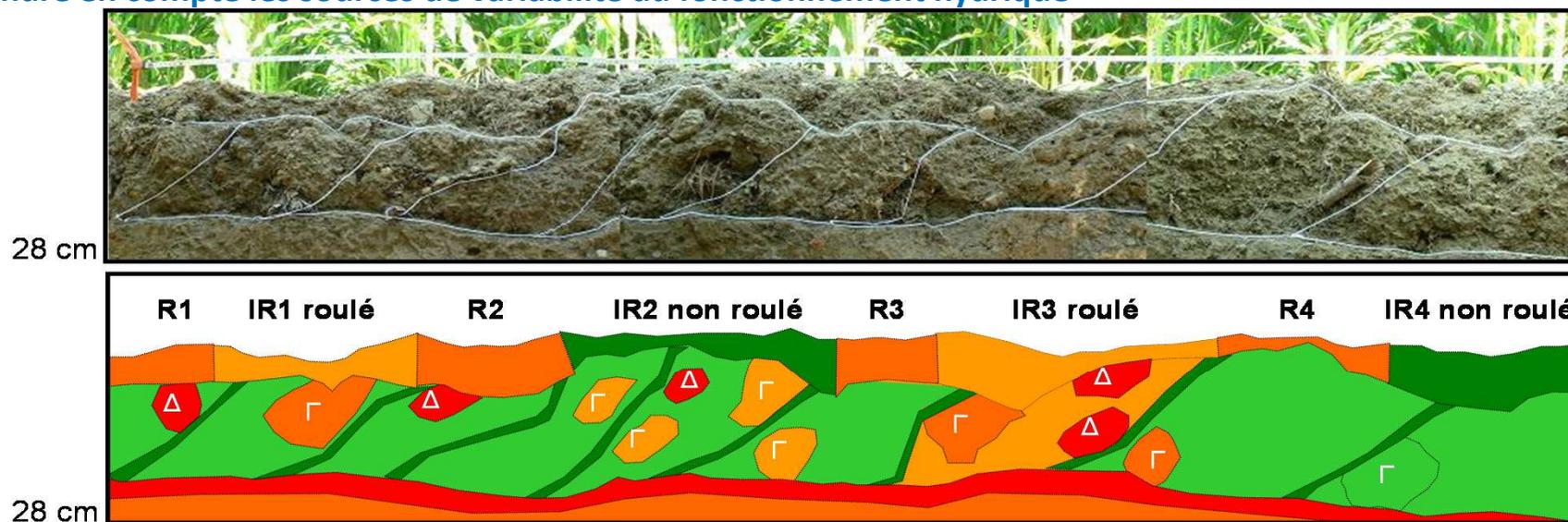
Agriculture
de
conservation



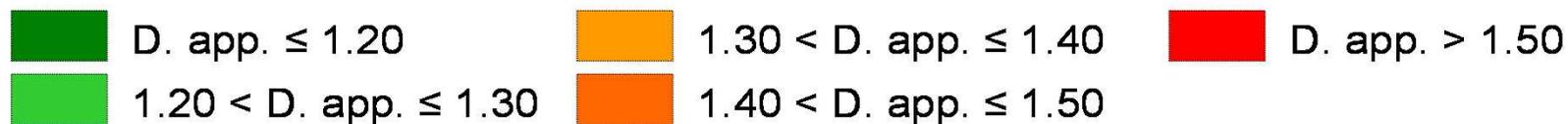
Stockage d'eau	Densité apparente	↘ (temporaire) ; création de macropores	Assez stable et élevée Connectivité des pores accrue
	Teneur en MO	Minéralisation assez rapide ; mélange sur horizon travaillé	↗ en surface (formation d'un gradient) Modification qualitative

► Enjeu 1 : à l'échelle de la parcelle agricole

Prendre en compte les sources de variabilité du fonctionnement hydrique



Valeurs de densité volumique apparente (g cm^{-3})





AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE

ÉTABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTÈRE
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

3- Enjeux liés au CC et perspectives de conseil sur la gestion de l'eau

Localisation de la fosse
ouverte sur la parcelle en
agriculture conservation



Localisation de la fosse
ouverte sur la parcelle
avec labour





AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE

ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTRE
DU DEVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

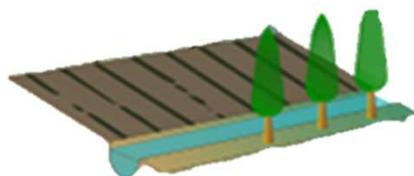
3- Enjeux liés au CC et perspectives de conseil sur la gestion de l'eau

A PRENDRE EN COMPTE SUR L'ENSEMBLE DU PROFIL DE SOL : RUISSELLEMENT HYPODERMIQUE



3- Enjeux liés au CC et perspectives de conseil sur la gestion de l'eau

► Enjeu 1 : à l'échelle de la parcelle agricole

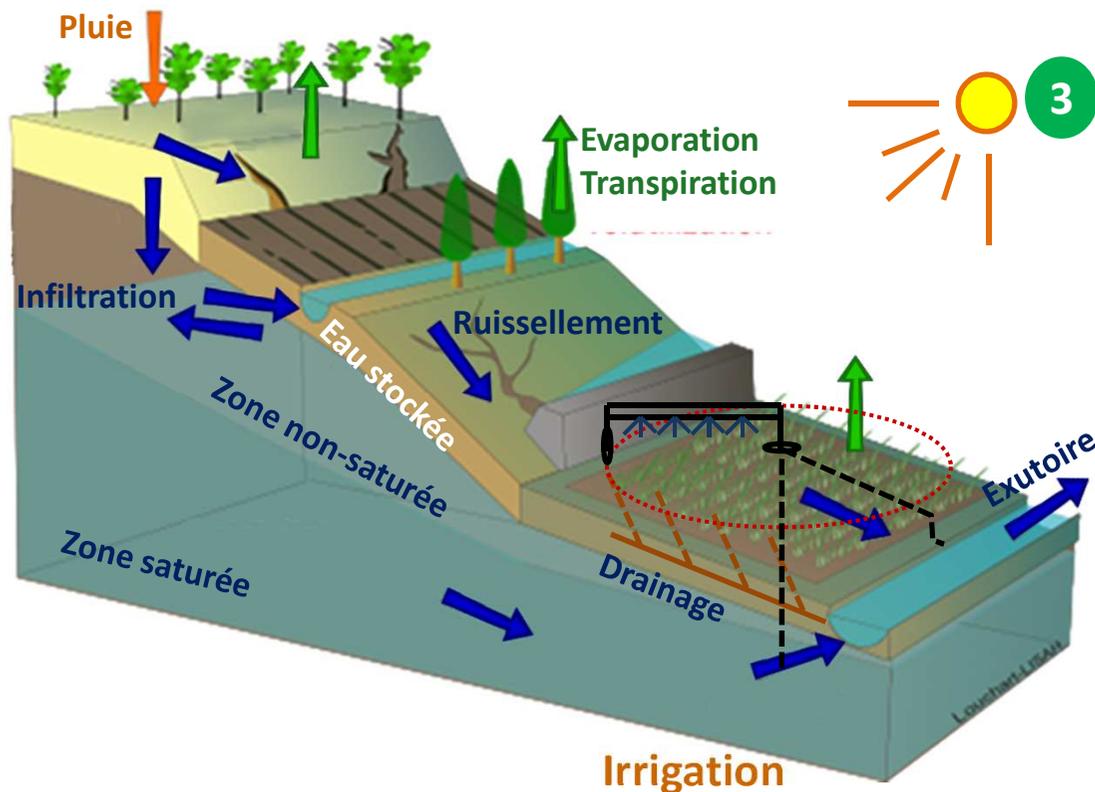


2 Envisager une segmentation du conseil agricole en fonction des systèmes de culture

- Les systèmes en agriculture de conservation favorisent (dans la majorité des cas) l'infiltration : la dynamique hydrique est alors fortement modifiée et les outils/modèles actuels restent encore très calés sur des systèmes labourés => cela renforce l'importance des outils *in situ*
- Dans ces systèmes, la stratégie de gestion de l'irrigation doit intégrer l'introduction des CIMS et le raisonnement des quantités d'eau apportées doit alors se faire à l'échelle du système de culture

3- Enjeux liés au CC et perspectives de conseil sur la gestion de l'eau

► Enjeu 2 : à l'échelle du bassin versant...



3 Développer une gestion spatialisée des systèmes de culture dans des BV

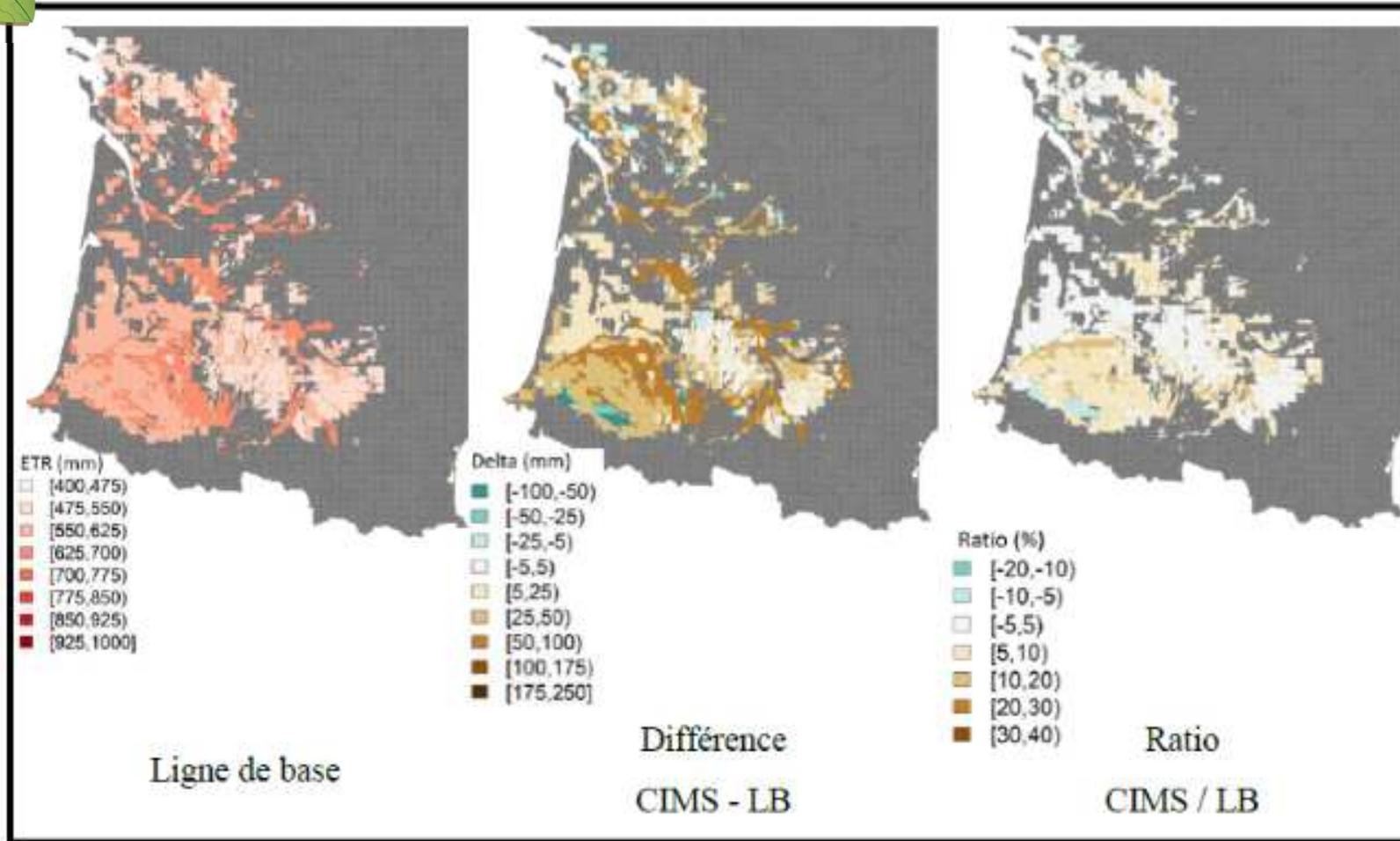
► Des outils existent / sont en cours de développement pour mieux intégrer la distribution de l'eau et le positionnement optimisé des Infrastructures AgroEcologiques ...

... pour bientôt !



Effet de l'implantation de CIMS sur le BAG

Climat 'actuel'

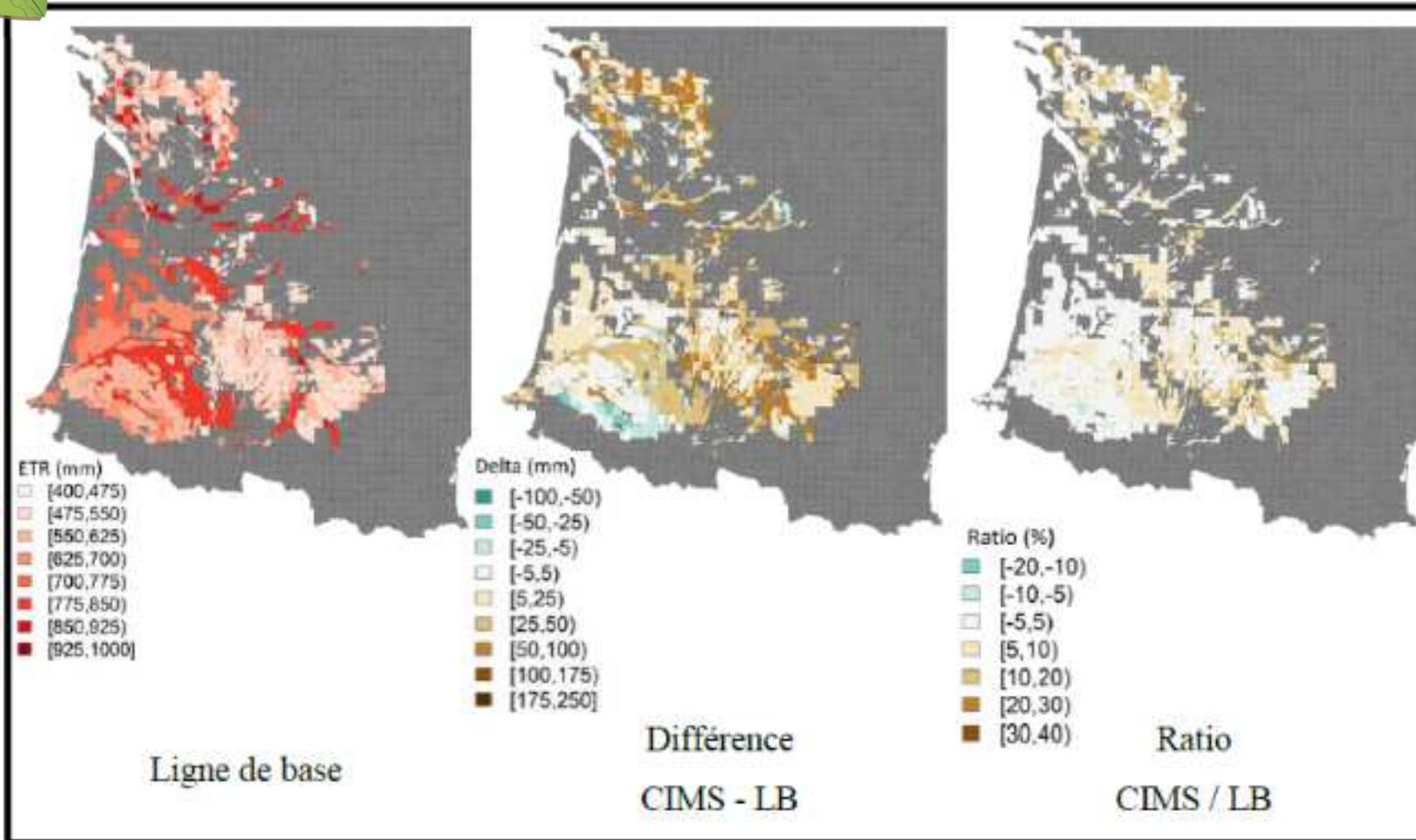


Meyer, 2020



Effet de l'implantation de CIMS sur le BAG

Climat 'sans politique
climatique 2030-2060'



Meyer, 2020



Franquin ©

Voilà, c'est fini !
Merci pour votre attention

lionel.alletto@inrae.fr

 [@LionelAlletto](https://twitter.com/LionelAlletto)