

Gestion durable des services écosystémiques des sols

Illustrations d'effets de pratiques agricoles...

Lionel Alletto

Chambre régionale d'agriculture Occitanie
Chercheur associé INRA UMR Agroécologies,
Innovations, Territoires

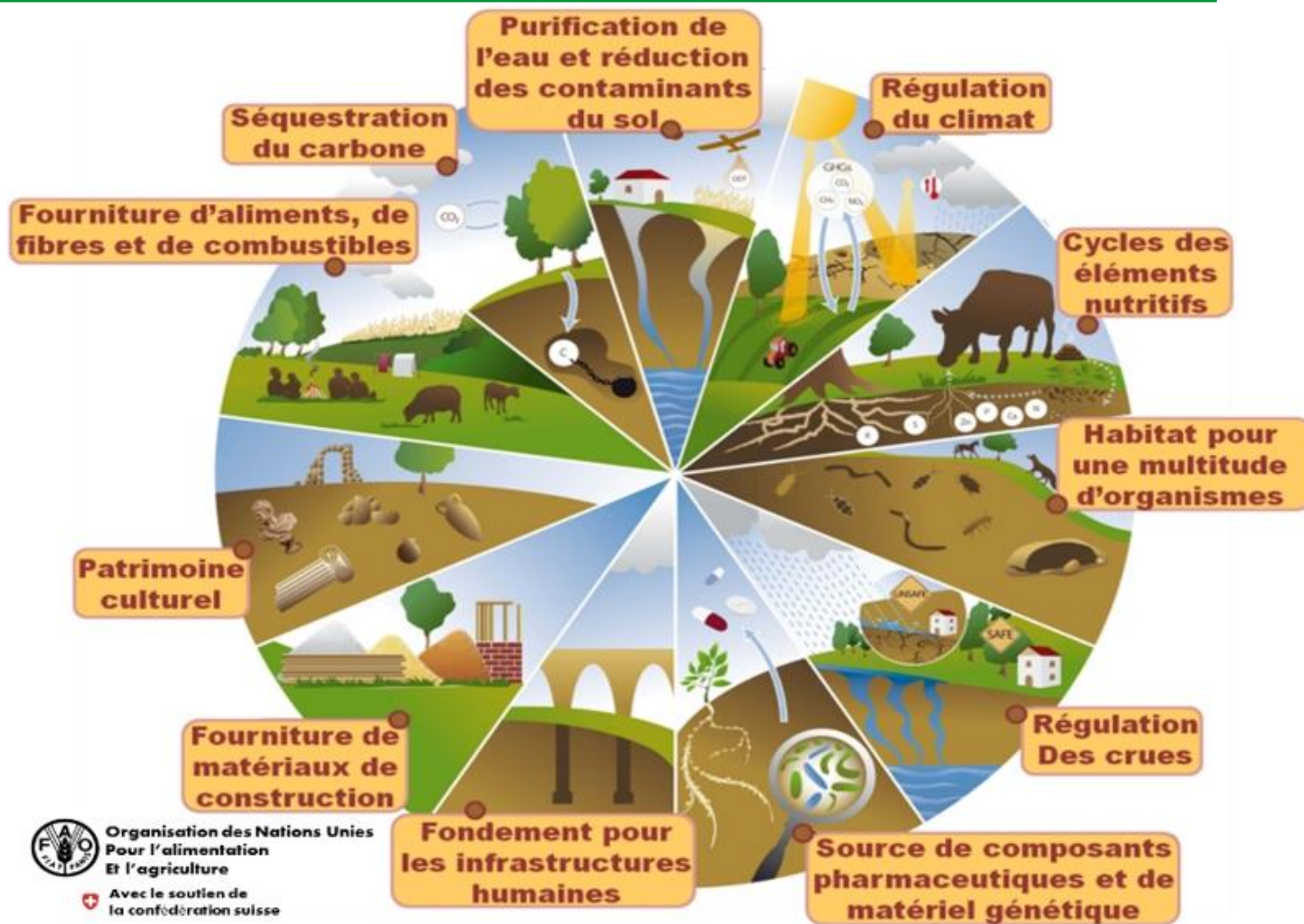
lionel.alletto@occitanie.chambagri.fr

**aGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRE D'AGRICULTURE
OCCITANIE

TERRES d'**a**VENIR

La MO des Sols : clé de voute de l'agriculture de demain ?

Le sol : compartiment aux multiples fonctions



Organisation des Nations Unies
Pour l'alimentation
Et l'agriculture
Avec le soutien de
la confédération suisse

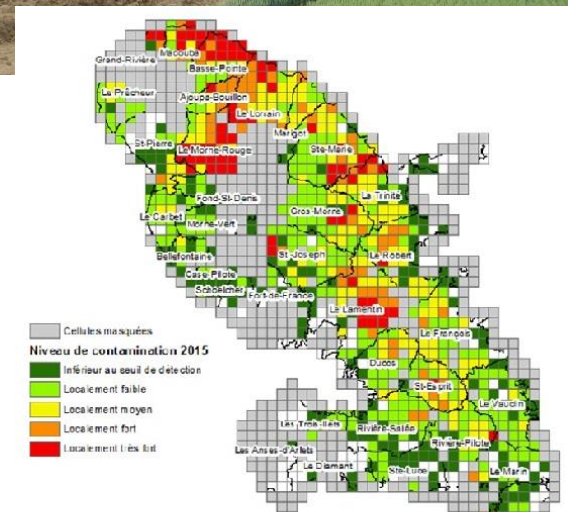
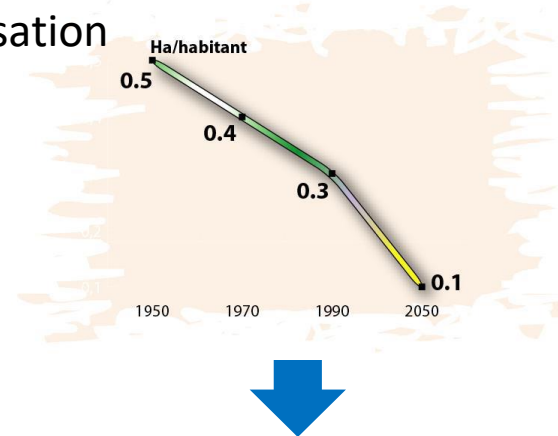
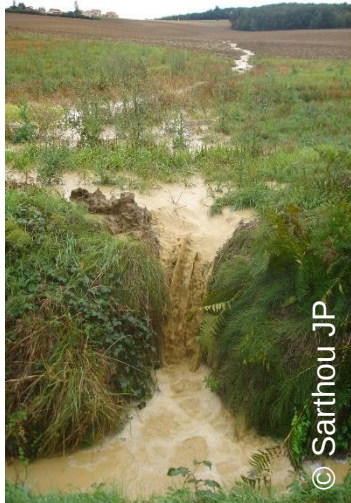
Gestion durable des services écosystémiques du sol



Le Sol : ressource non renouvelable à l'échelle d'une génération...

=> *De nombreuses causes de dégradation :*

- Salinisations
- Erosion
- Contamination
- Perte en matière organique
- Perte de biodiversité
- Compaction
- Imperméabilisation
- Inondations

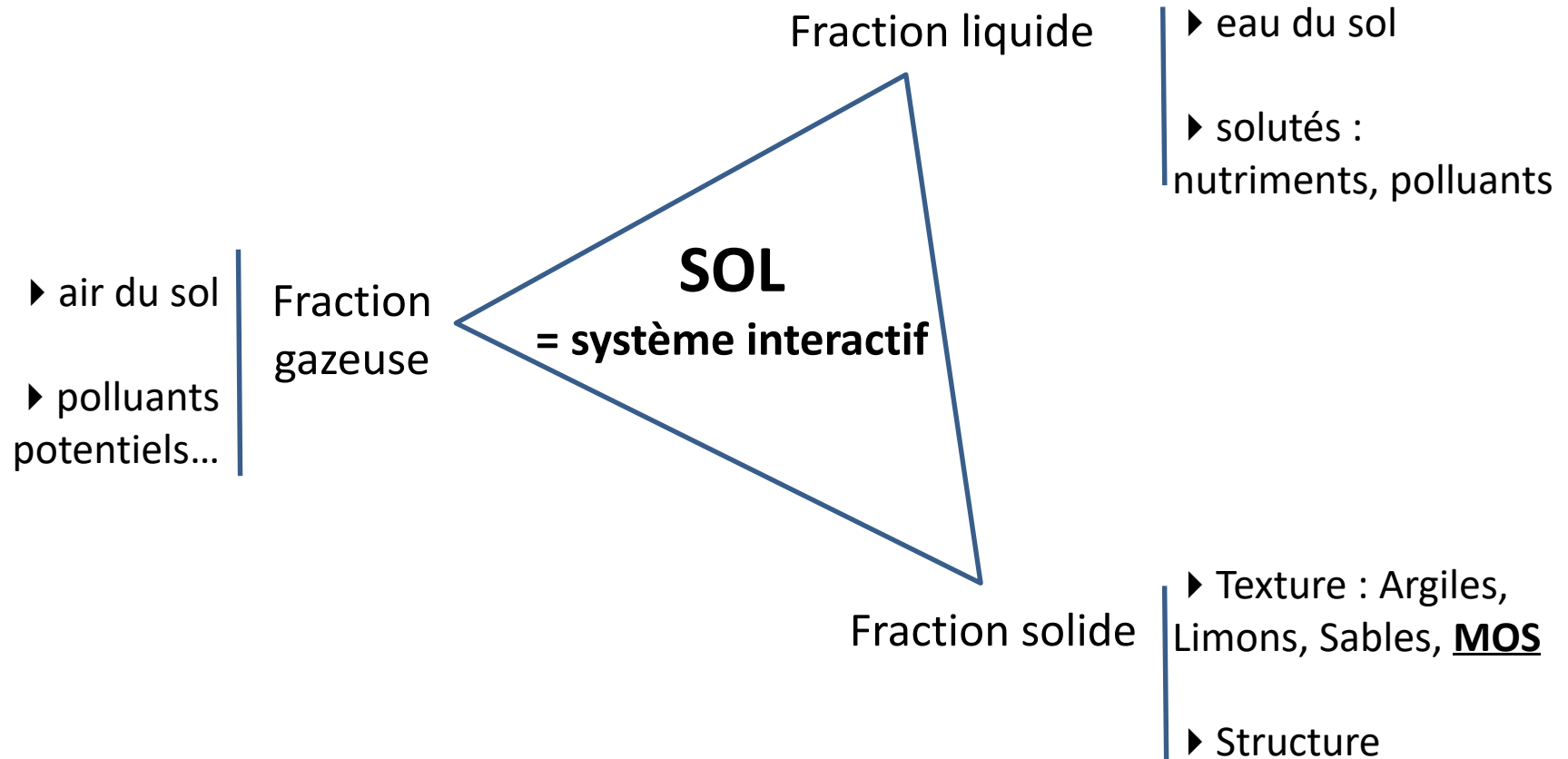


Rôle majeur des MOS pour répondre à ces problèmes

Gestion durable des services écosystémiques du sol



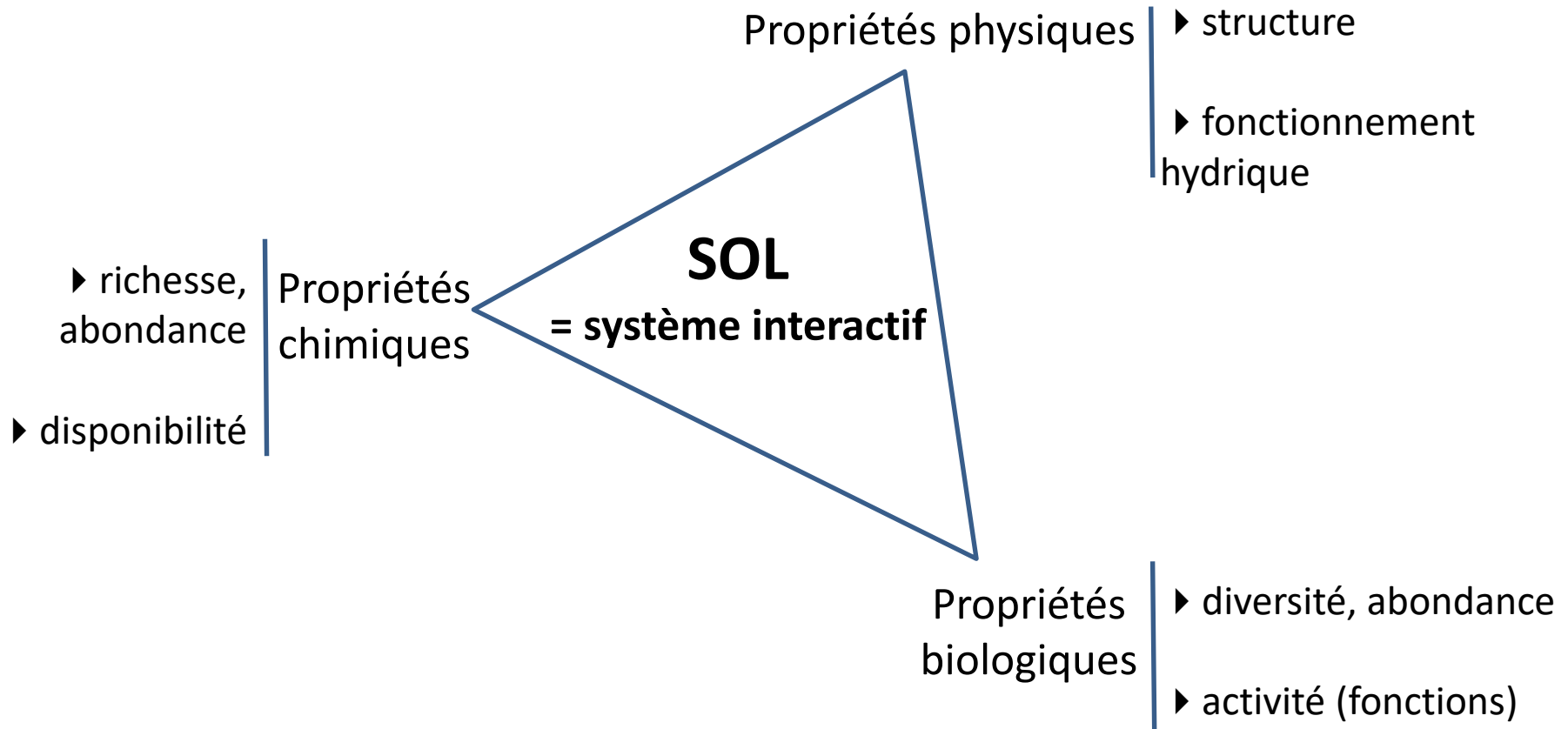
Un sol qui rend des services est un sol qui évolue, qui vit



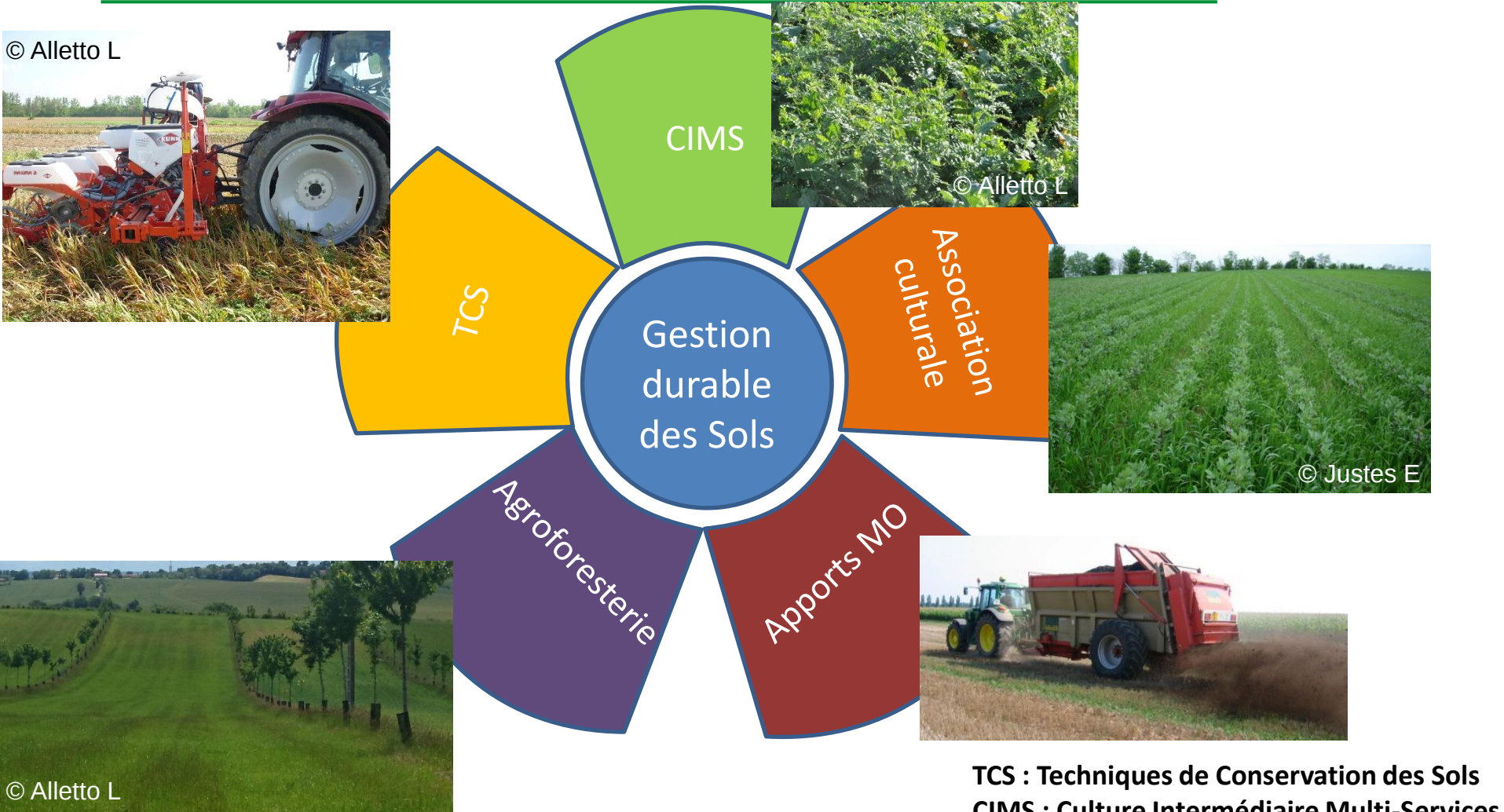
Gestion durable des services écosystémiques du sol



Un sol qui rend des services est un sol qui évolue, qui vit



Gestion durable des services écosystémiques du sol : « Pratiques améliorantes »



Gestion durable des services écosystémiques du sol : TCS : techniques de conservation des sols

Toute technique culturale visant à maintenir :

- plus de 30 % de la surface du sol couverte après le semis pour lutter contre l'érosion hydrique,
- plus de 1.1 t ha⁻¹ de résidus en surface après le semis pour lutter contre l'érosion éolienne (Gebhardt et al., 1985)

► *Un gradient de pratiques répondant à ces exigences...*



Travailler ou ne pas travailler le sol ???

Pratique « conventionnelle » : le labour



< 10 % des surfaces en cultures d'hiver

> 60 % des surfaces en cultures de printemps



Travailler ou ne pas travailler le sol ???

Travail superficiel maintenu sur toute la surface



Objectif principal :
conserver le sol en place



Travailler ou ne pas travailler le sol ???

*Suppression du travail du sol et utilisation de
plantes de service : SCV (semis sous couvert vivant)*



Objectif principal :
conserver le sol en place

osystèmes du sol: tal (vivant)





Technique conventionnelle



Technique de conservation

19 juillet 2005
270 mm de pluie

Gestion durable des services écosystémiques du sol : Production alimentaire



Le Sol : réserve de nourriture pour les plantes (cultivées) et la faune et flore



- la taille de la réserve dépend :
 - de la texture (MO, argiles notamment)
 - de la structure (porosité)



- la richesse (taux de saturation) et la diversité des éléments nutritifs dépendent :

- des prélèvements / pertes
- des restitutions
- du pH du sol

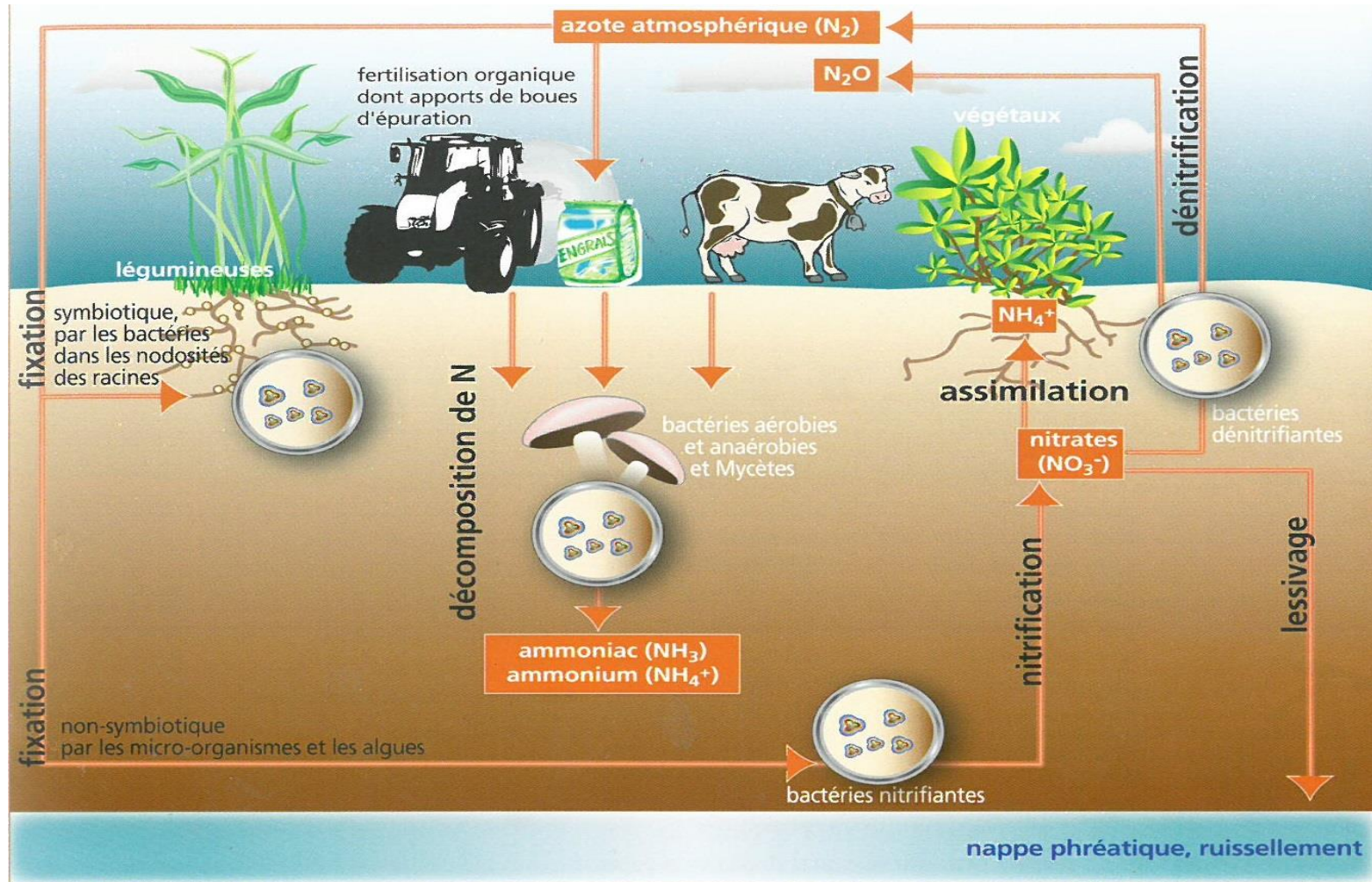


Sol acide : perte de diversité (Al^{3+})

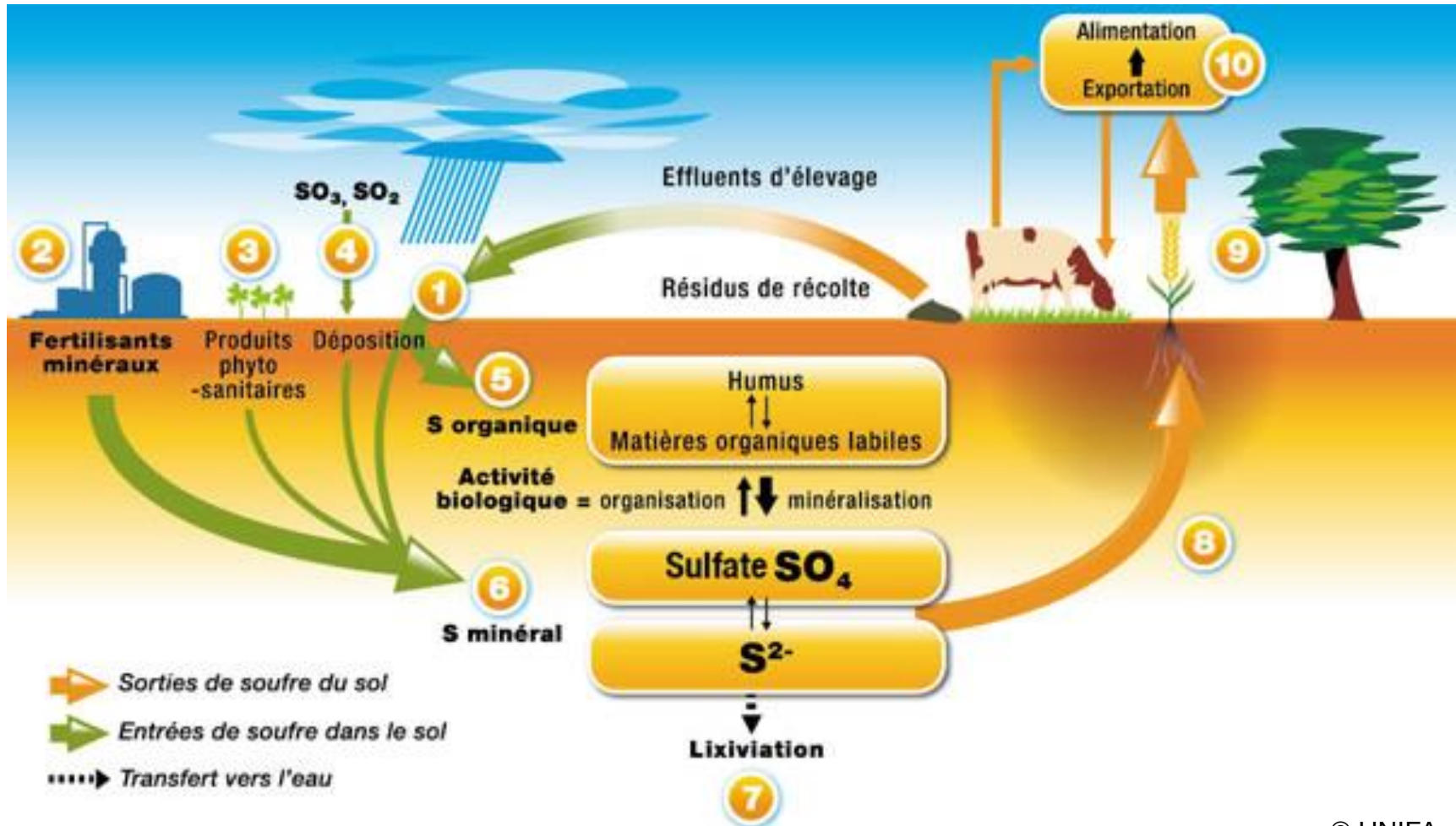


Rôle majeur de l'Homme sur ce service notamment au travers de la gestion des MOS (en interaction avec le pH)

Gestion durable des services écosystémiques du sol : Production alimentaire : cycle N

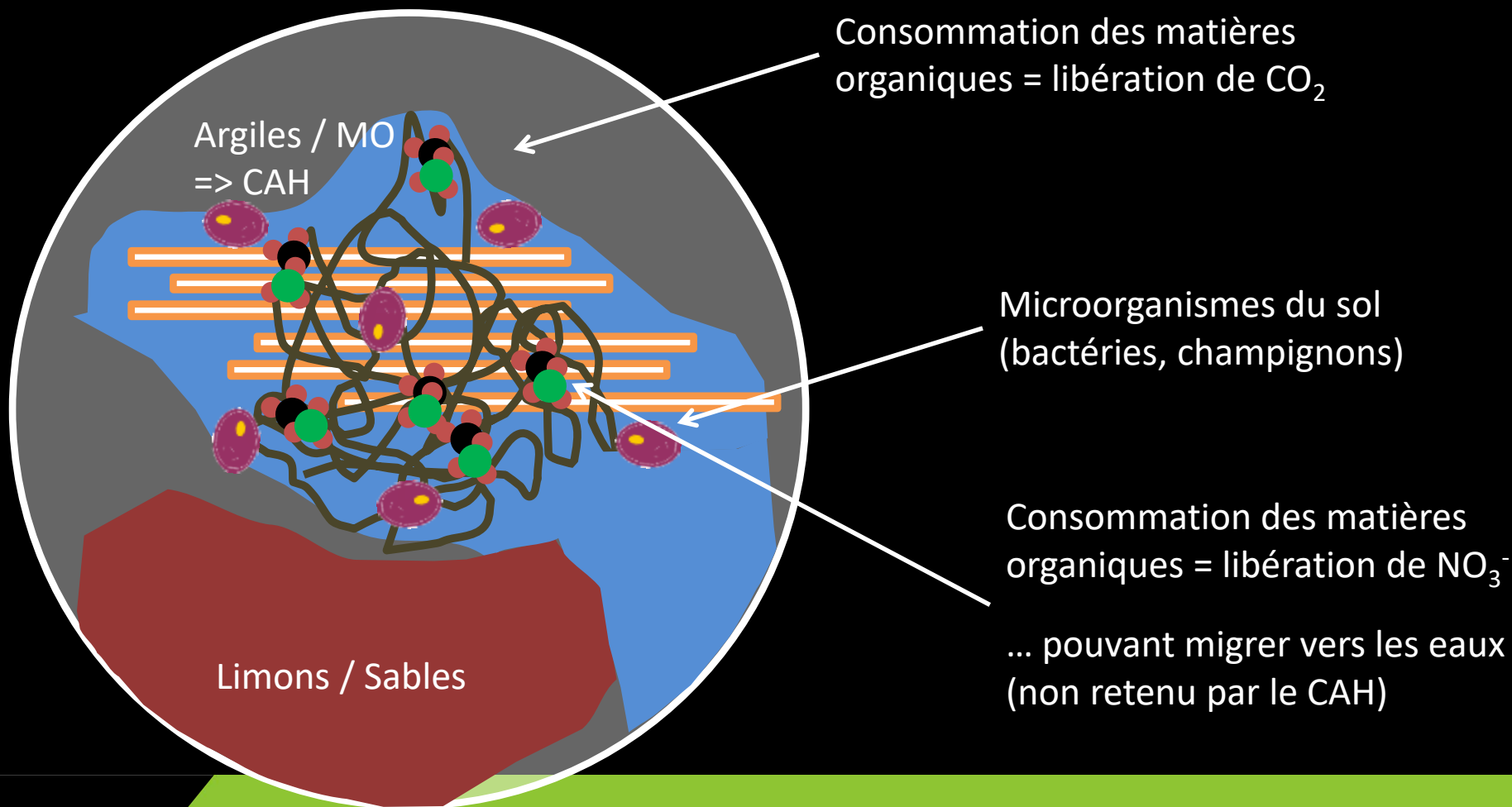


Gestion durable des services écosystémiques du sol : Production alimentaire : cycle S

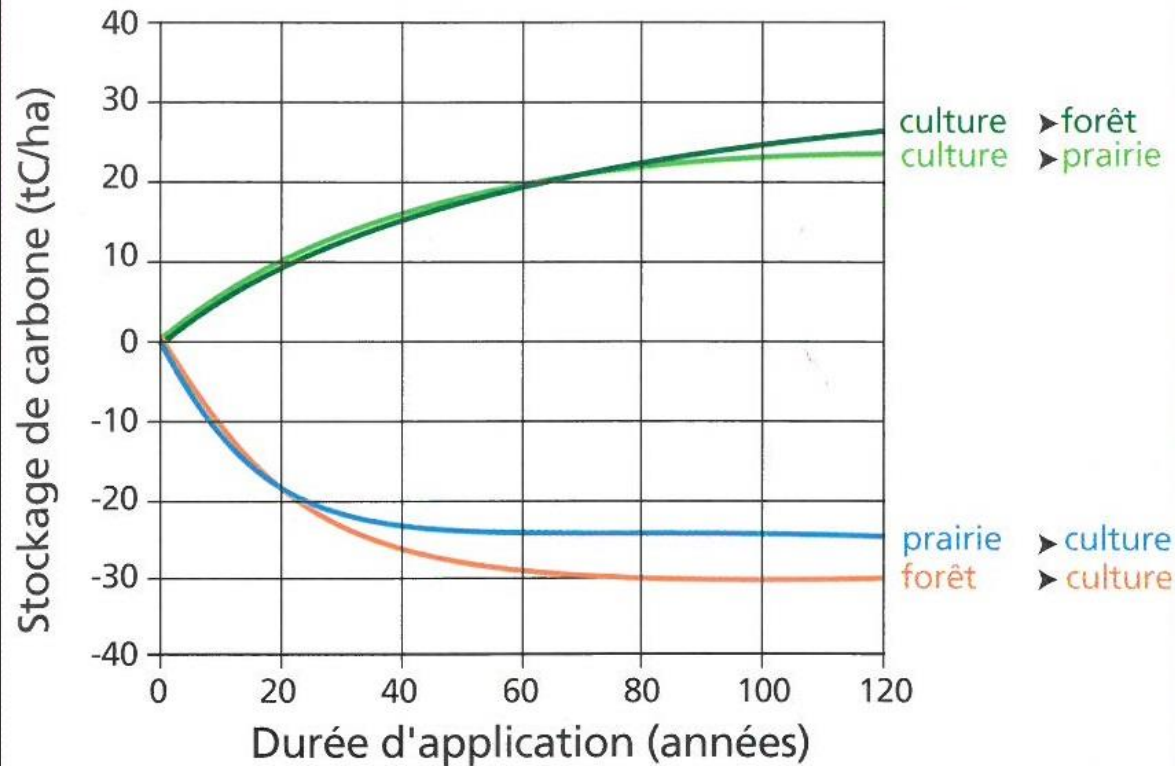
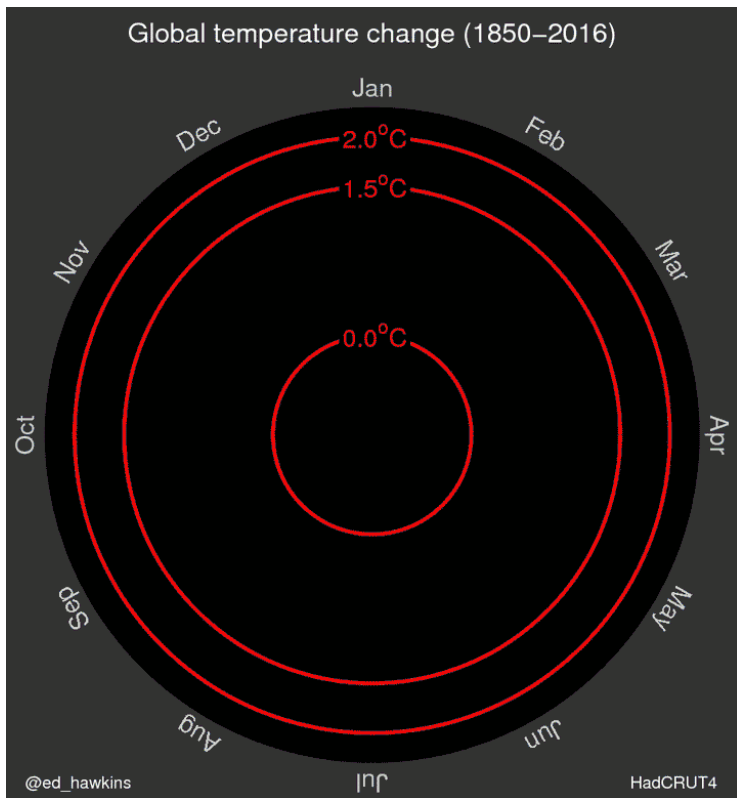


© UNIFA

Gestion durable des services écosystémiques du sol : Production alimentaire : cycle N, S, ...



Gestion durable des services écosystémiques du sol : Stockage de C - Effet sur le climat



Évolutions du stock de carbone dans le sol associées aux changements d'usage des terres provoquant les stockages (0,5 tC/ha/an durant les 20 premières années) ou les déstockages (1 tC/ha/an) extrêmes.

INRA, 2009

Gestion durable des services écosystémiques du sol : Stockage de C - Effet sur le climat

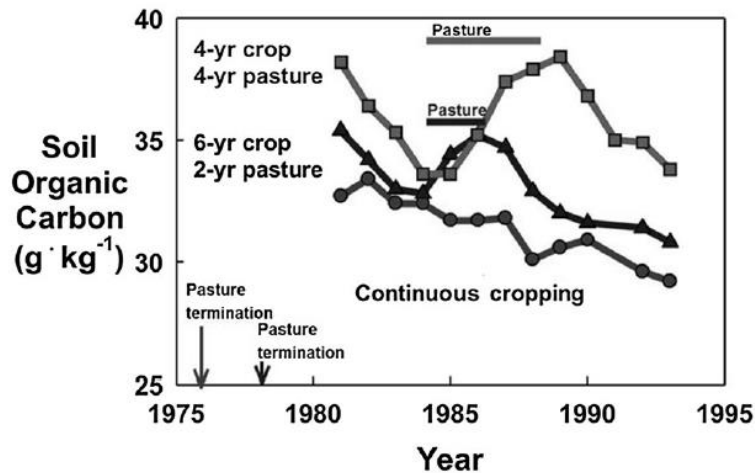


Fig. 1 Effect of long-term cropping and grass-crop rotation sequences on soil organic C in Argentina. Data from Studder (1997)

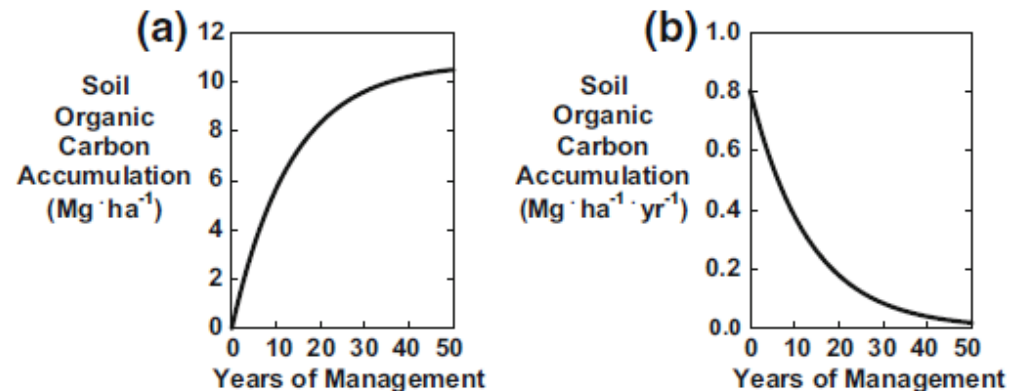


Fig. 2 Soil organic carbon accumulation (a) and rate of accumulation under pasture management (b). Reprinted from Franzluebbers et al. (2012)

Gestion durable des services écosystémiques du sol : Influences de pratiques agricoles sur cycles C, N, S, ...



Idée reçue n°1

« passer en semis direct (ou non-labour) permet d'augmenter les stocks de C du sol »

-> Faux : effet faible sur stockage de C : relocalisation en surface des MOS avec gradient décroissant avec la profondeur

Gestion durable des services écosystémiques du sol : Influences de pratiques agricoles sur cycles C, N, S, ...



Au niveau des dynamiques de libération des éléments nutritifs :

- **Ralentissement de la minéralisation** des MOS (explique en partie l'accumulation en surface) mais du coup moindre libération de N & co
- En « agriculture conventionnelle » : souvent fertilisation plus élevée les 1ères années, en « bio », nécessité d'introduire des légumineuses lorsque arrêt du labour
- Effets positifs sur stockage de C **SI** combinaison « réduction travail du sol » x « introduction de Cultures intermédiaires »

Gestion durable des services écosystémiques du sol : Influences de pratiques agricoles sur cycles C, N, S, ...



Quelques éléments sur la qualité des matières organiques...

- En Semis Direct : tendance à une augmentation de la stabilité des MOS (molécules plus « aromatiques »)
- Effets des couverts végétaux : dépend du choix des couverts (famille, voire espèce...) et des dates de destruction (évolution du C/N)

Gestion durable des services écosystémiques du sol : Influences de pratiques agricoles sur cycles C, N, S, ...



D₀

D₇

D₂₈

D₅₆

Avoine



Maïs

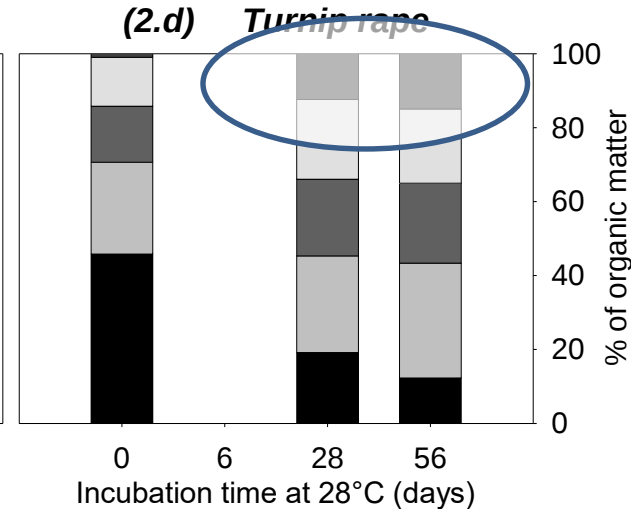
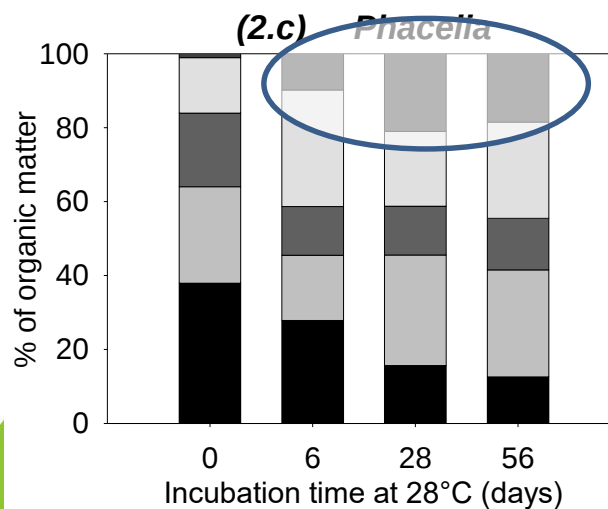
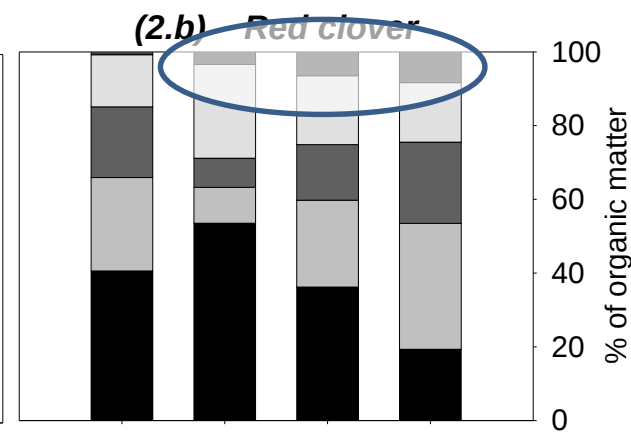
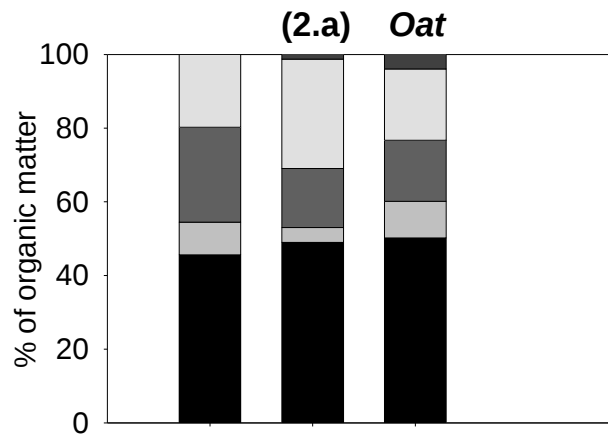
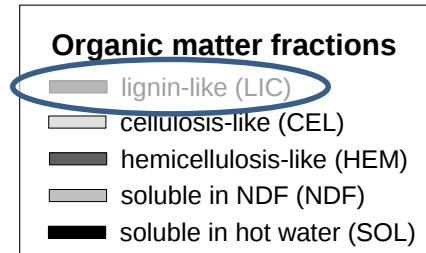
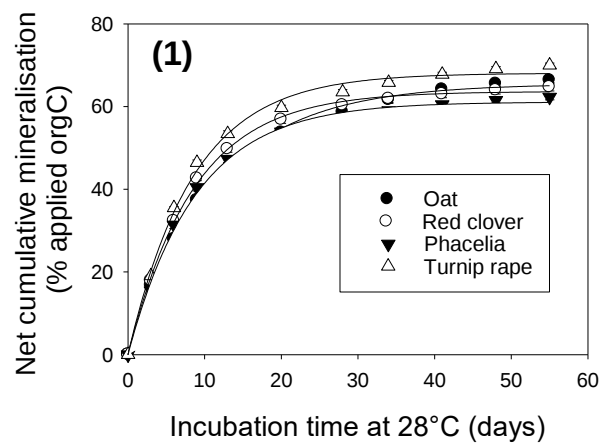


Trèfle inc.



Phacélie





Gestion durable des services écosystémiques du sol : Influences de pratiques agricoles sur cycles C, N, S, ...



Idée reçue n°2

« *les légumineuses ne piègent pas le nitrate* »

Agriculture, Ecosystems and Environment 254 (2018) 50–59

-> Faux



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Agriculture, Ecosystems and Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agee



Cover crop crucifer-legume mixtures provide effective nitrate catch crop and nitrogen green manure ecosystem services

Antoine Couëdel^{a,*}, Lionel Alletto^{a,b}, Hélène Tribouillois^a, Éric Justes^{a,c}

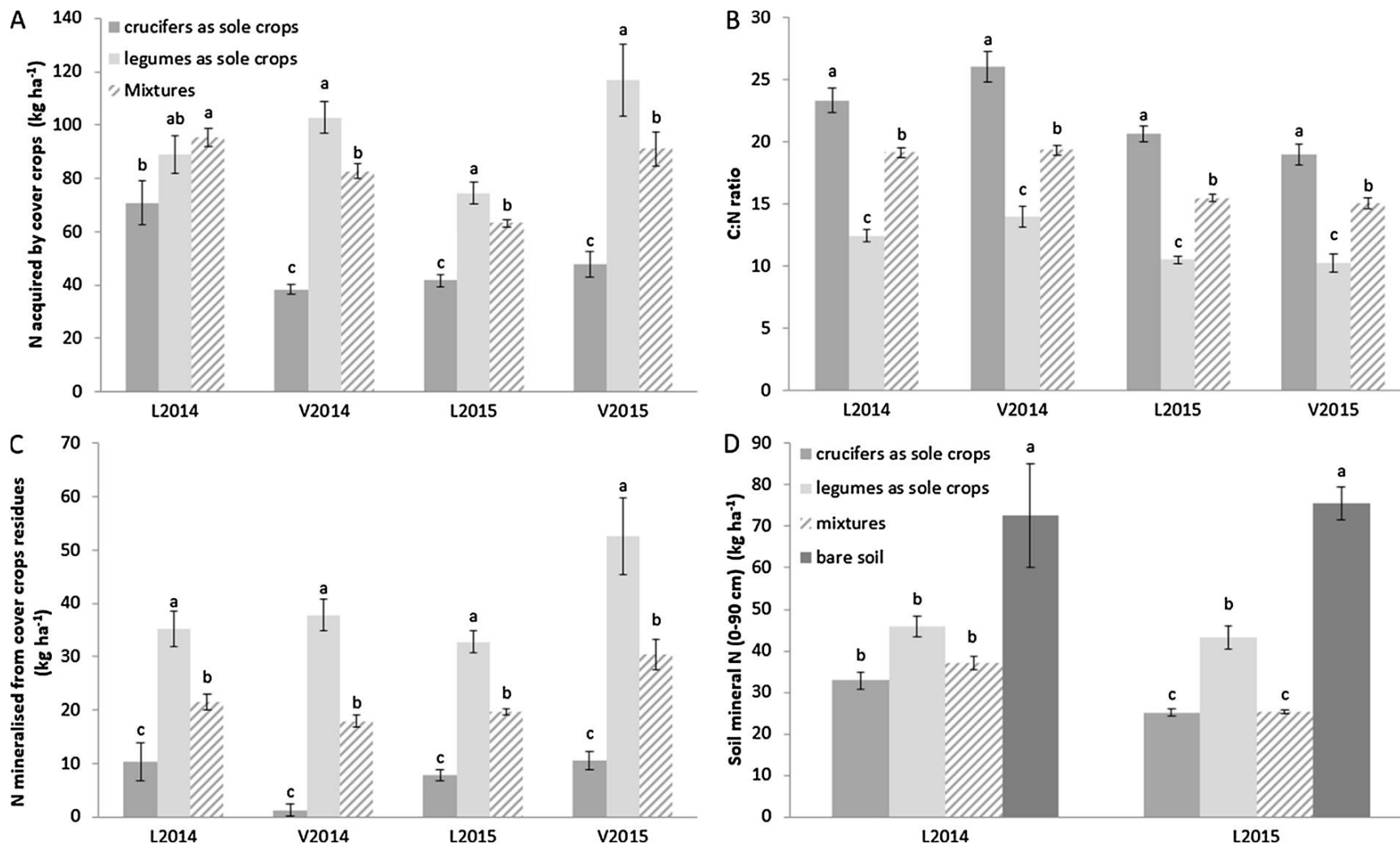
^a AGIR, Université de Toulouse, INRA, INPT, INP-EI PURPAN, Castanet-Tolosan, France

^b Chambre Régionale d'Agriculture Occitanie, Castanet-Tolosan, 31321, France

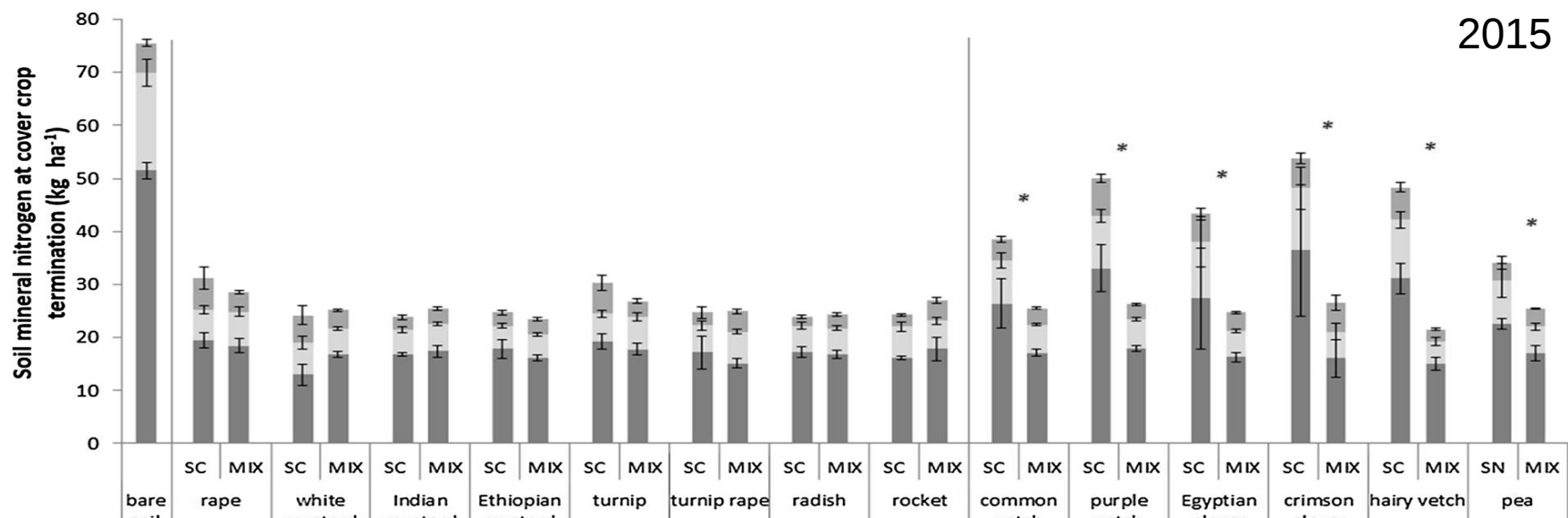
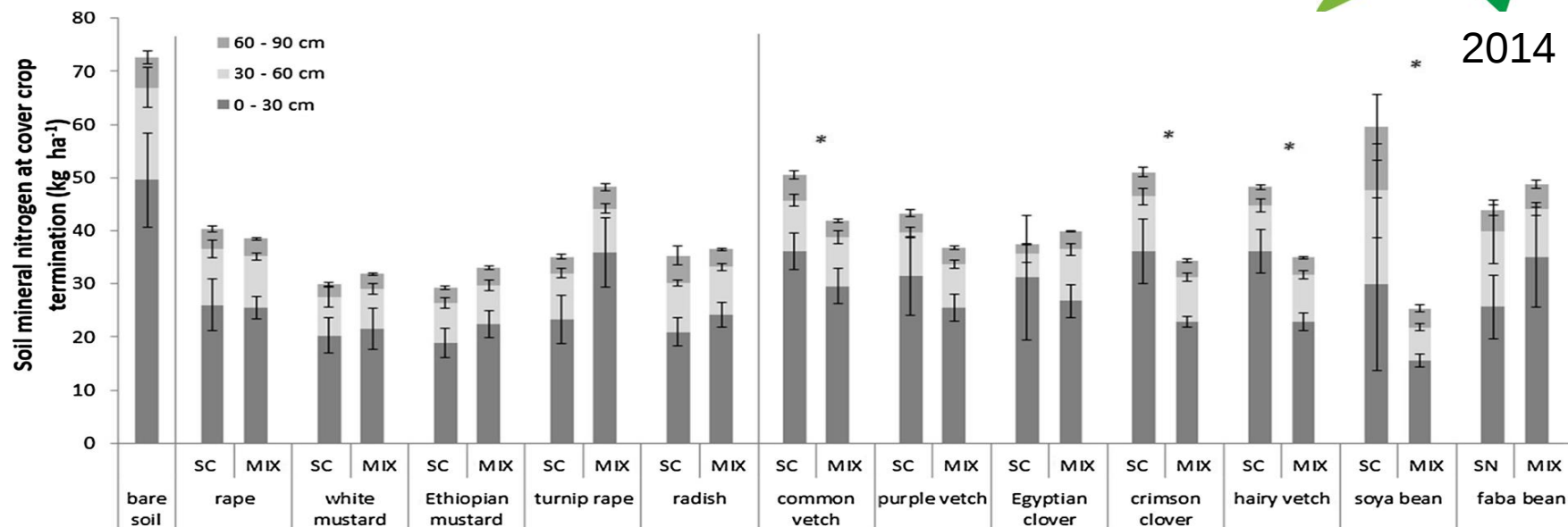
^c CIRAD, UMR SYSTEM Univ. Montpellier, CIHEAM-IAMM, CIRAD, INRA, Montpellier SupAgro, 34980 Montpellier, France



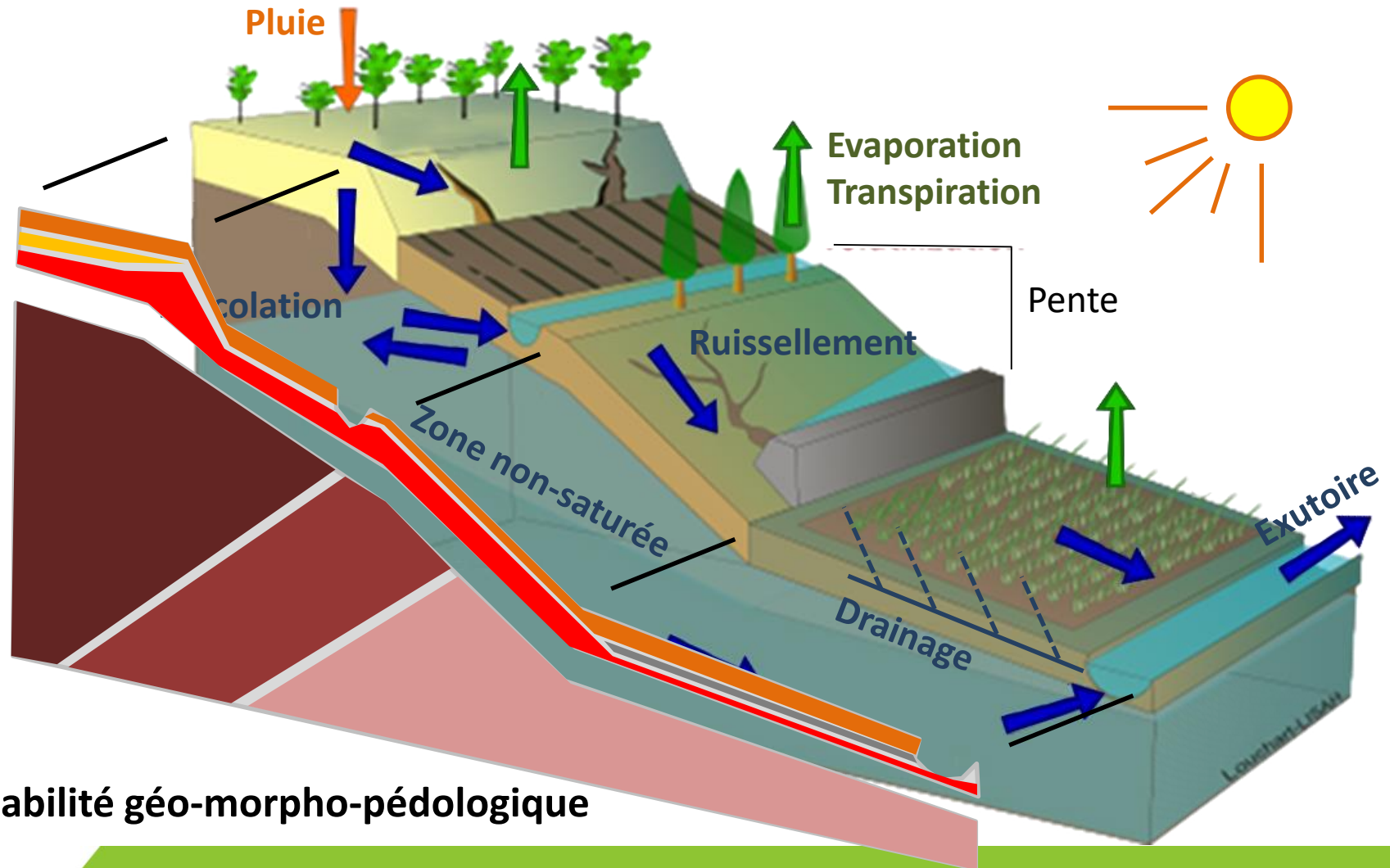
Gestion durable des services écosystémiques du sol : Influences de pratiques agricoles sur cycles C, N, S, ...



Gestion durable des services écosystémiques du sol : Influences de pratiques agricoles sur cycles C, N, S, ...



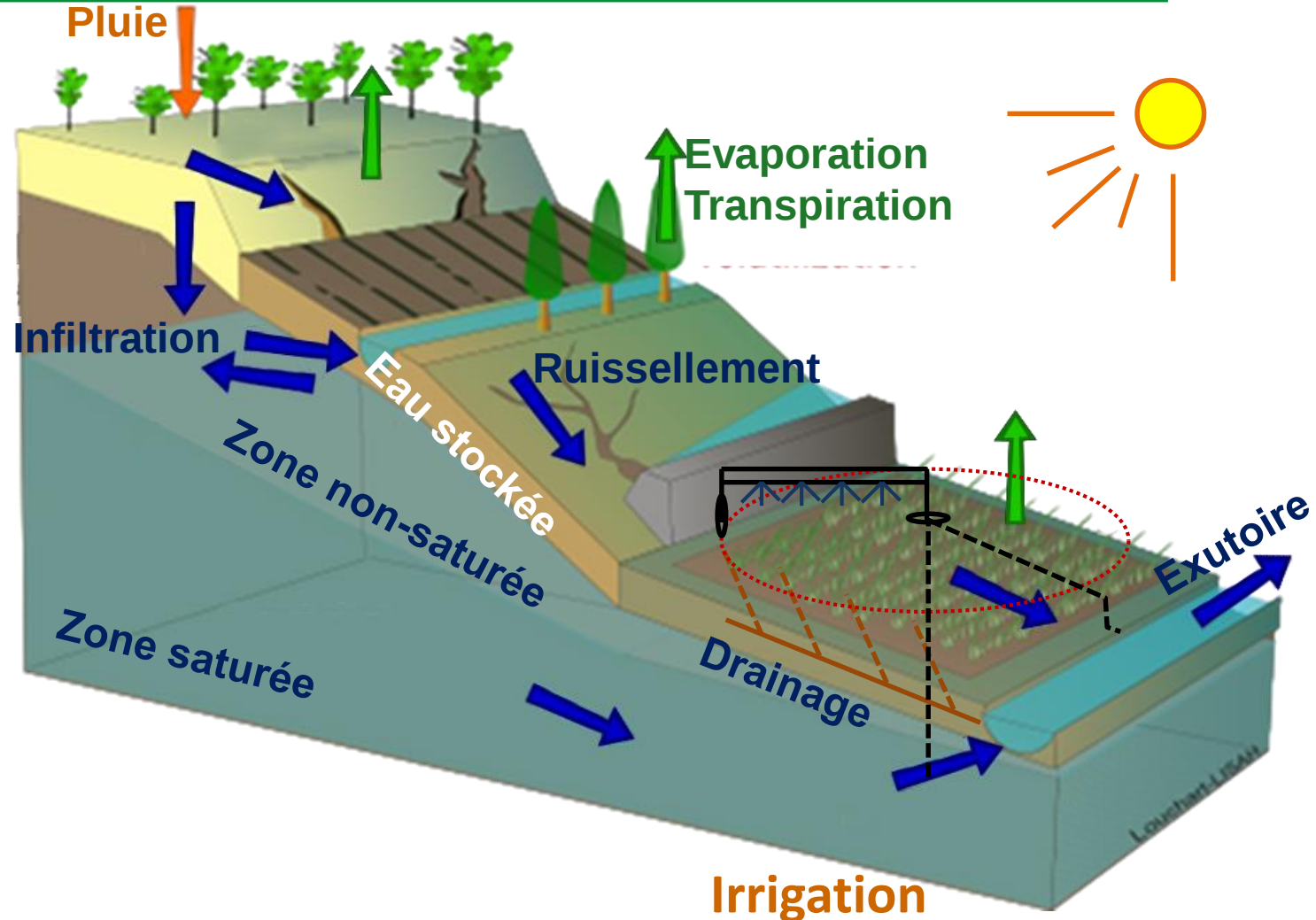
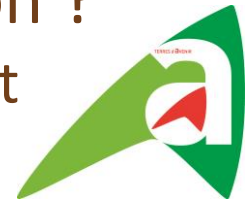
Gestion durable des services écosystémiques du sol : Réservoir et filtre à eau



Variabilité géo-morpho-pédologique

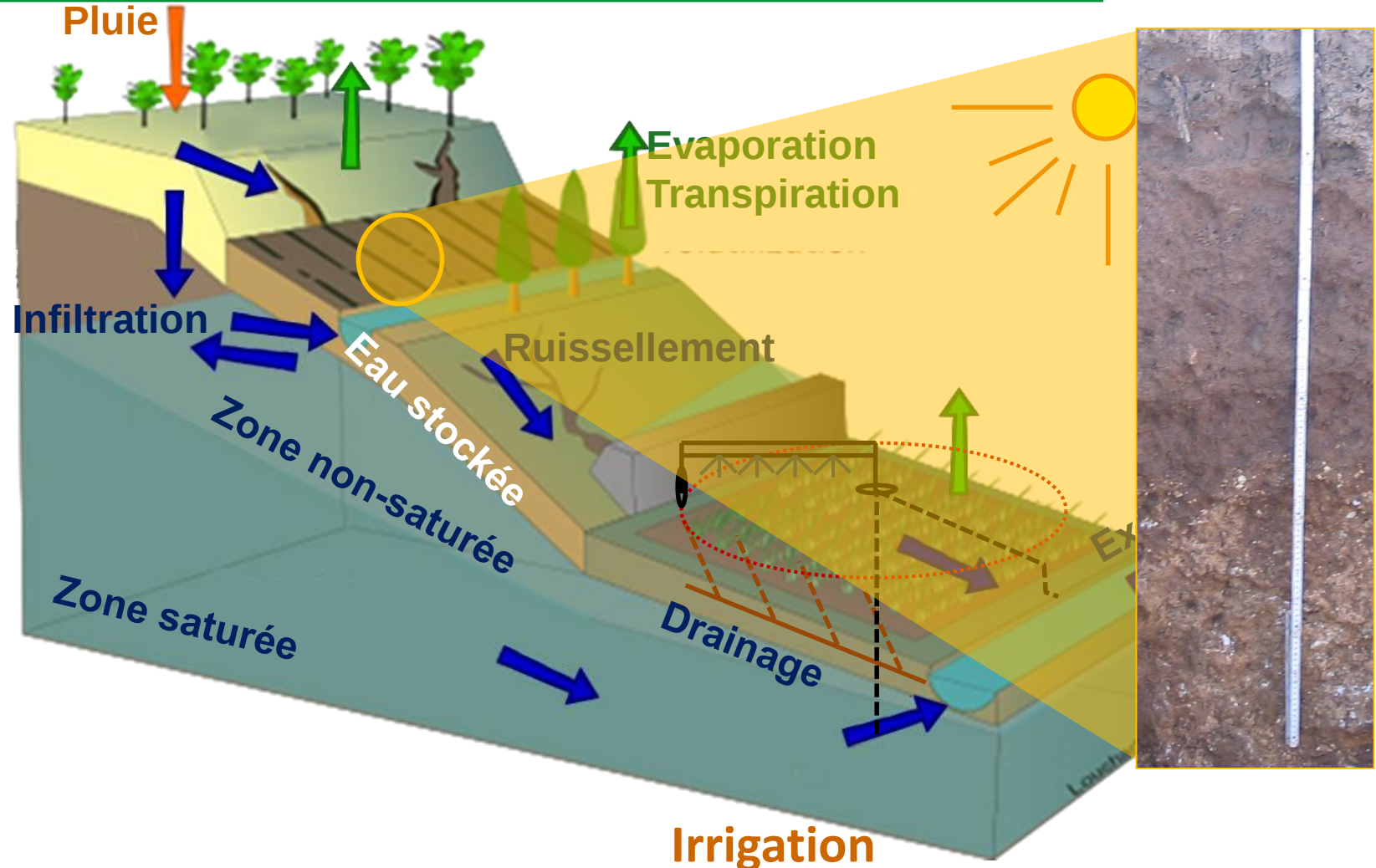
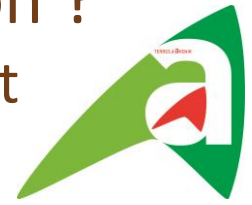
Réservoir et filtre à eau : A quoi s'intéresse-t-on ?

Des processus hydrologiques distribués spatialement et aux multiples sources de variabilité...

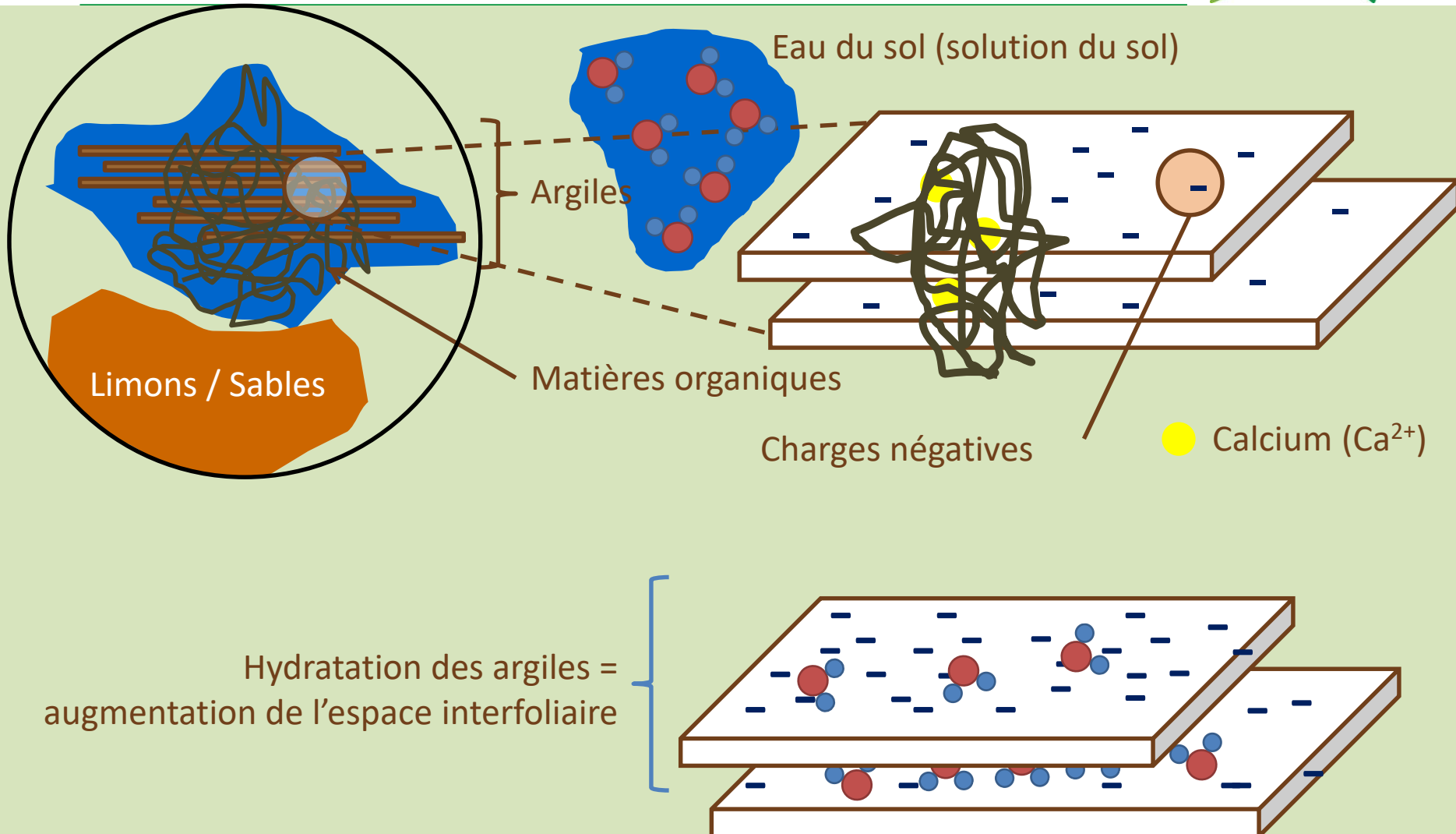


Réservoir et filtre à eau : A quoi s'intéresse-t-on ?

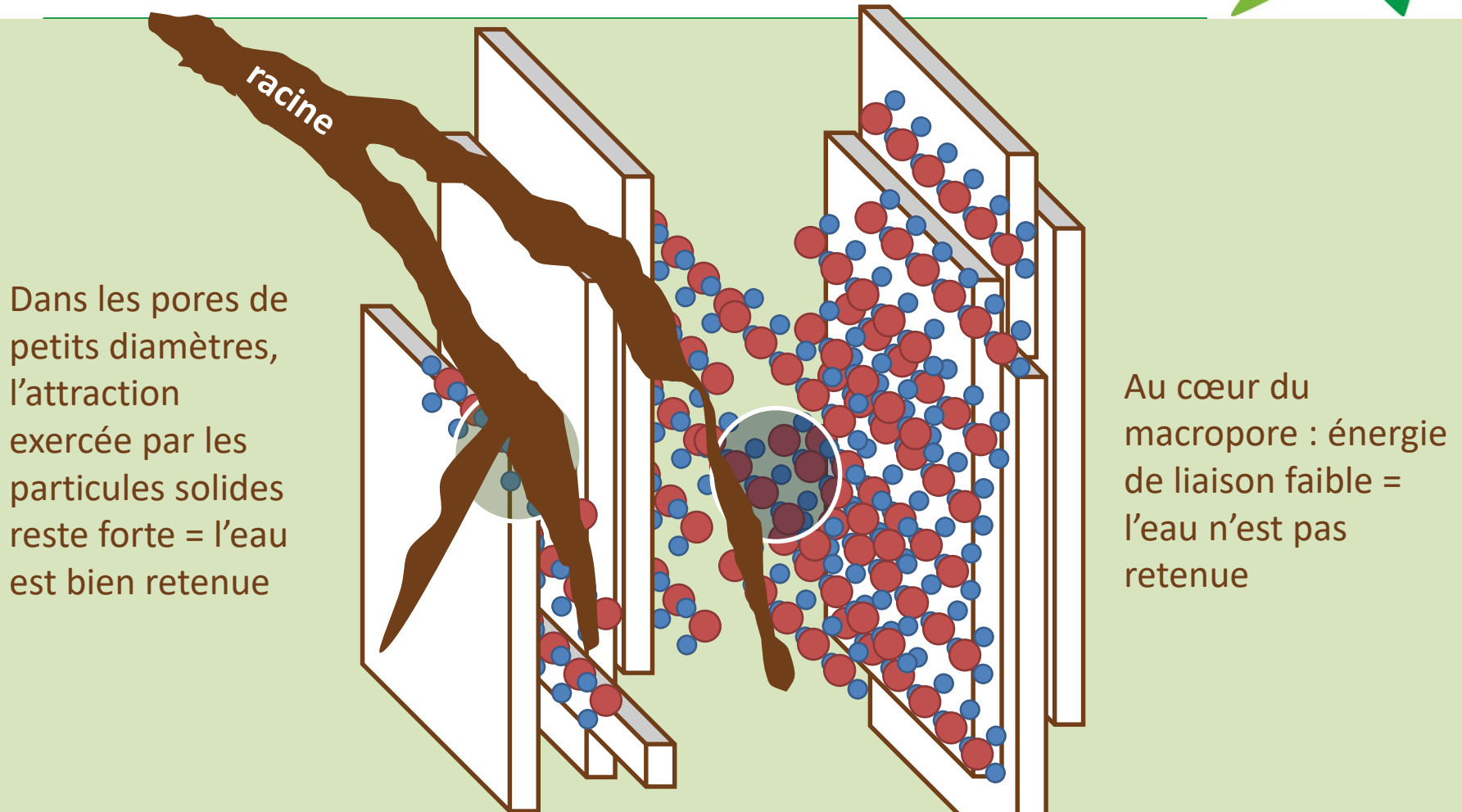
Des processus hydrologiques distribués spatialement et aux multiples sources de variabilité...



Fonctionnement hydrique des sols : éléments généraux



Fonctionnement hydrique des sols : éléments généraux



➤ **Potentiel hydrique = état énergétique de l'eau dans le sol**

➤ **Explication des remontées capillaires**

Gestion durable des services écosystémiques du sol : Réservoir et filtre à eau



Idée reçue n°3

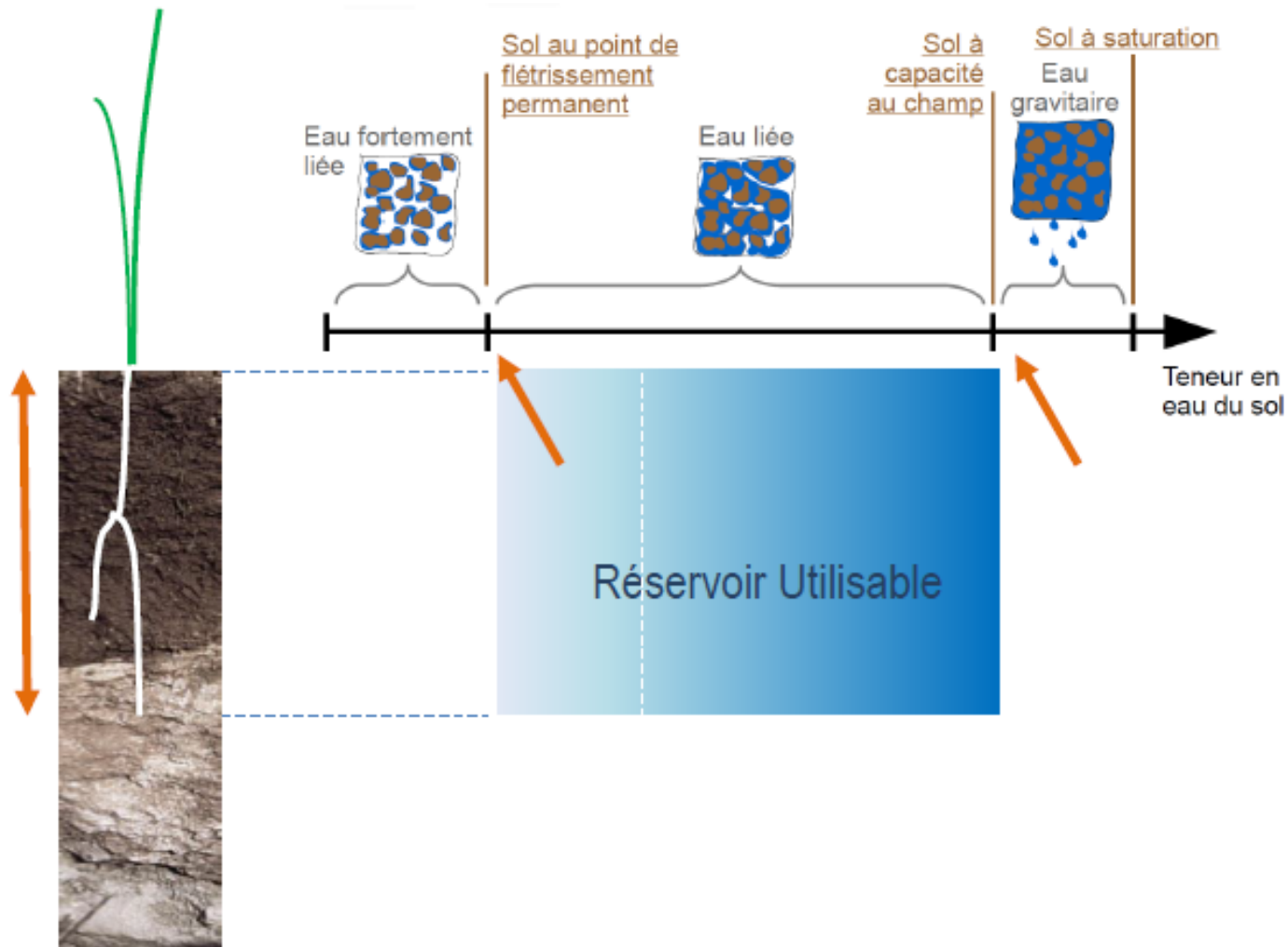
« les galeries de vers de terre permettent de faire circuler l'eau »

-> Partiellement vrai : circulation de l'eau lorsque le sol est saturé (ex. après une très forte pluie ou une période de pluie assez longue...)

***« les macropores permettent d'améliorer le réservoir utilisable »
ou « les macropores favorisent les remontées capillaires »***

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

Fonctionnement hydrique des sols : éléments généraux



Réservoir Utilisable = prof. x d. app. x (qté eau à capacité de rétention – qté eau au PFP)



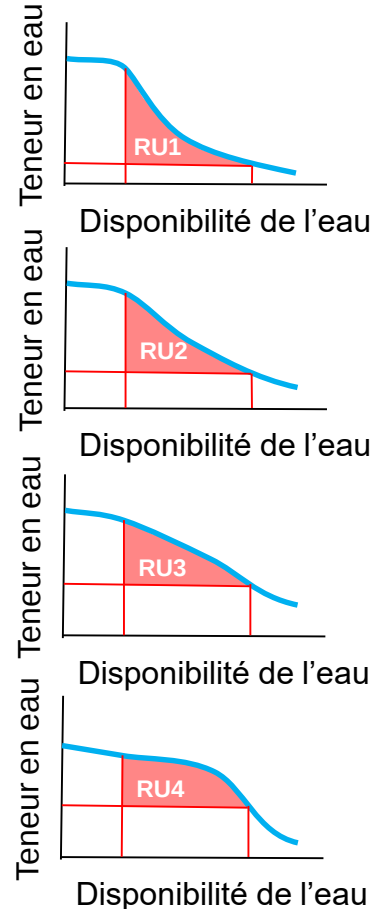
0-30 cm : horizon
« travaillé »

30-50 cm : Bt1

50-65 cm : Bt2

65-110 cm : C1

>110 cm : C2



C2 : non exploré par les racines...



Réservoir Utilisable = prof. x d. app. x (qté eau à capacité de rétention – qté eau au PFP)



Effets :

Travail du sol ;
Plante ; (Sol)

Plante ; (Travail
du sol) ; (Sol)

Plante ; (Sol)

Plante ; (Sol)



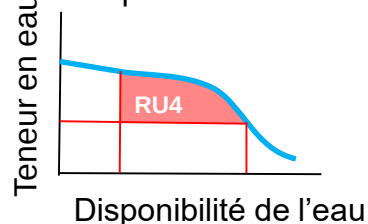
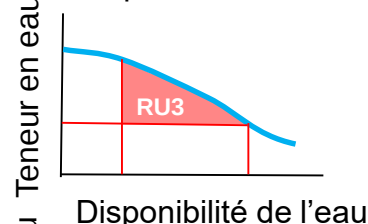
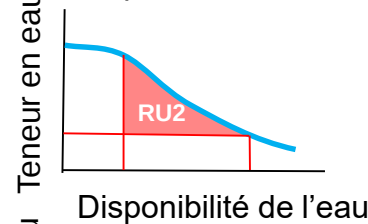
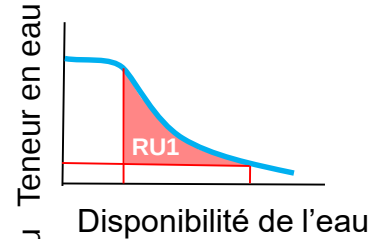
0-30 cm : horizon
« travaillé »

30-50 cm : Bt1

50-65 cm : Bt2

65-110 cm : C1

>110 cm : C2



C2 : non exploré par les racines...

Travailler ou ne pas travailler le sol ???

Quelques effets sur le stockage d'eau... et autres processus



		Labour
Stockage d'eau	Densité apparente	⬇ (temporaire) ; création de macropores
	Teneur en MO	Minéralisation assez rapide ; mélange sur horizon travaillé

Travailler ou ne pas travailler le sol ???

Quelques effets sur le stockage d'eau... et autres processus



		Labour	Semis direct sous couvert végétal
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

Travailler ou ne pas travailler le sol ???

Quelques effets sur le stockage d'eau... et autres processus



		Labour	Semis direct sous couvert végétal
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
Infiltration / Ruissellement		Forte capacité d'infiltration mais stabilité structurale faible Possible ruissellement hypodermique	

Travailler ou ne pas travailler le sol ???

Quelques effets sur le stockage d'eau... et autres processus



		Labour	Semis direct sous couvert végétal
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
Infiltration / Ruissellement		Forte capacité d'infiltration mais stabilité structurale faible Possible ruissellement hypodermique	Accroissement de la rugosité et de la sinuosité = ⬇ ruissellement et ⬆ infiltration Forte stabilité des macropores (biologiques)

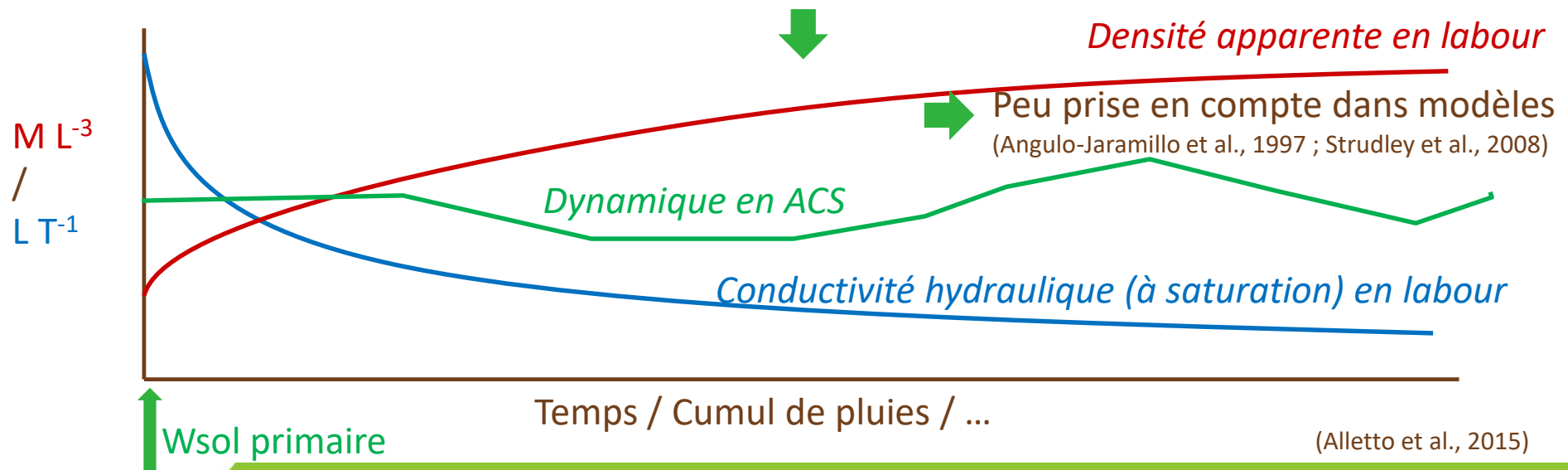
Travailler ou ne pas travailler le sol ?

✂ Conductivité hydraulique : aptitude du milieu poreux à transmettre l'eau qu'il contient pour une teneur en eau donnée (ou un potentiel matriciel donné).



Forte dynamique temporelle

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





Technique conventionnelle



Technique de conservation

19 juillet 2005
270 mm de pluie

Travailler ou ne pas travailler le sol ???

Quelques effets sur le stockage d'eau... et autres processus



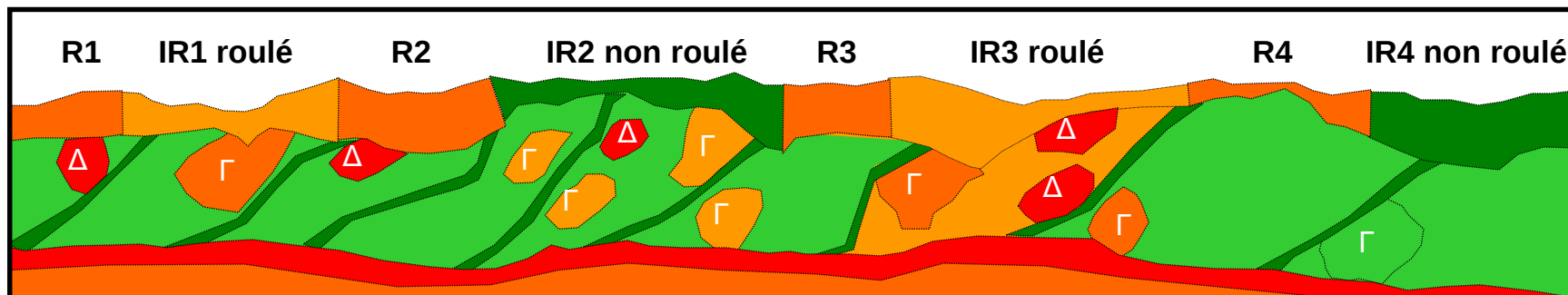
		Labour	Semis direct sous couvert végétal
Stockage d'eau	Densité apparente	⬇ (temporaire) ; création de macropores	Assez stable et élevée Connectivité des pores accrue
	Teneur en MO	Minéralisation assez rapide ; mélange sur horizon travaillé	⬆ en surface (formation d'un gradient) Modification qualitative
Infiltration / Ruissellement		Forte capacité d'infiltration mais stabilité structurale faible Possible ruissellement hypodermique	Accroissement de la rugosité et de la sinuosité = ⬇ ruissellement et ⬆ infiltration Forte stabilité des macropores (biologiques)
Evapotranspiration		Evaporation depuis le sol mais rupture des capillaires...	Mulch : ⬇ évaporation mais continuité capillaire... Transpiration ⬆ par couvert végétal => Bilan ???

Travailler ou ne pas travailler le sol ???

Limitation du réservoir par des problèmes de structure du sol

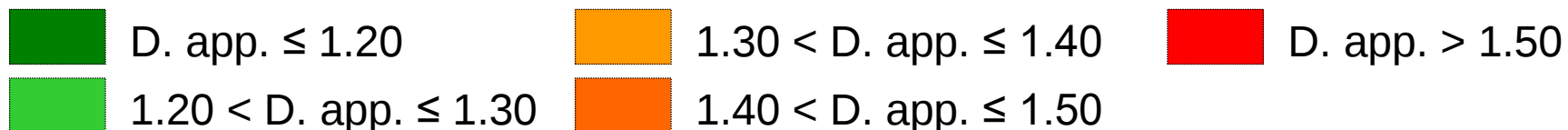


28 cm



28 cm

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



Gestion durable des services écosystémiques du sol: Réservoir et filtre à eau



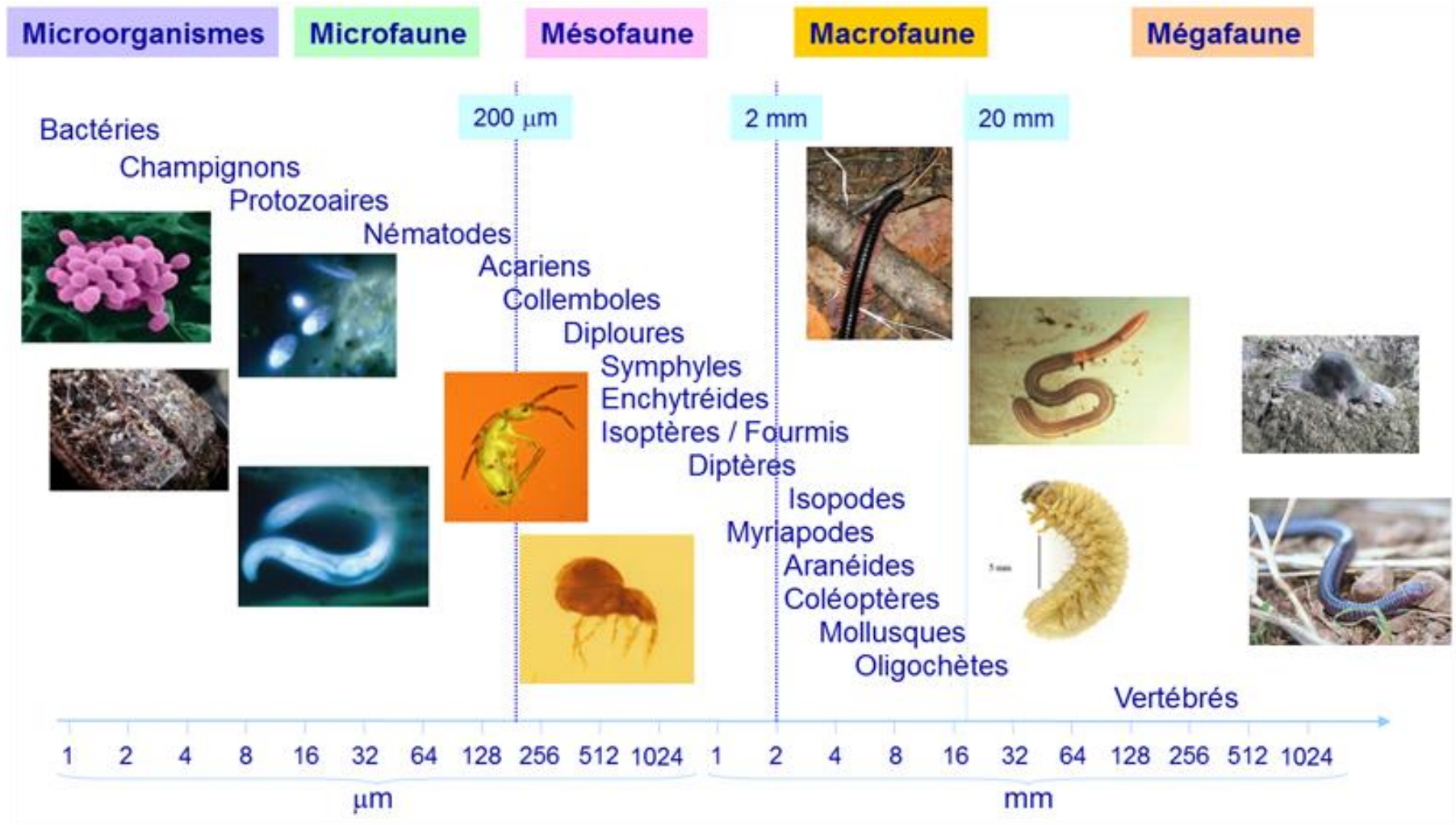
Idée reçue n°4

« en SD l'accumulation de MO permet d'accroître le RU »

- > Effet très faible (< 10 mm d'eau) voire non significatif mais...
- Amélioration de la structure favorise l'infiltration d'eau
- Stabilité du RU (alors que variable en systèmes travaillés)

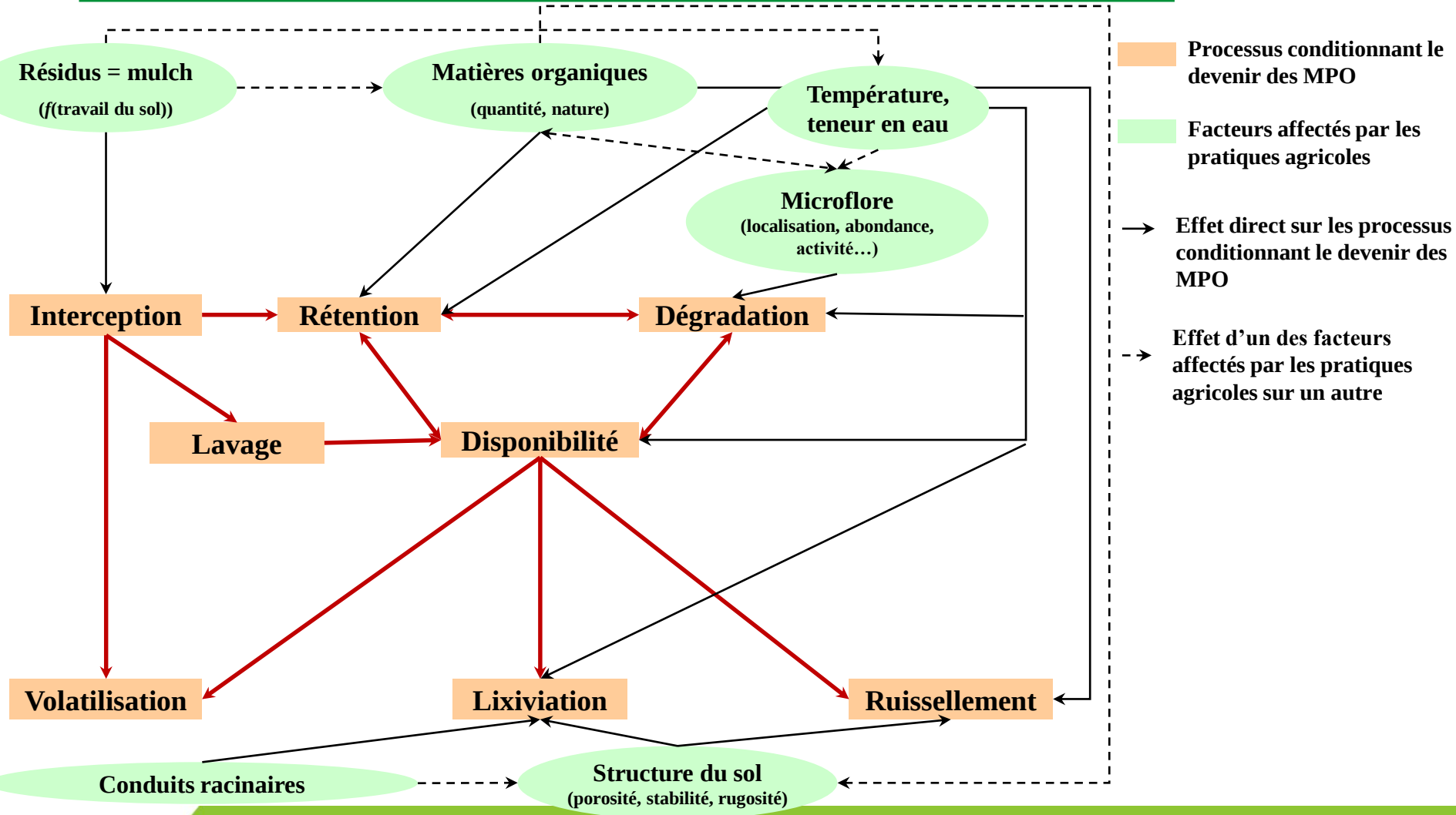
Dans tous les cas, effet sur économies d'eau << à un pilotage optimal de l'irrigation pour systèmes irrigués !

Gestion durable des services écosystémiques du sol: Réservoir de biodiversité



Gestion durable des services écosystémiques du sol :

Réservoir et filtre à eau : MPO



Gestion durable des services écosystémiques du sol :

Réservoir et filtre à eau : MPO



D₀

D₇

D₂₈

D₅₆

Avoine



Maïs



Trèfle inc.



Phacélie



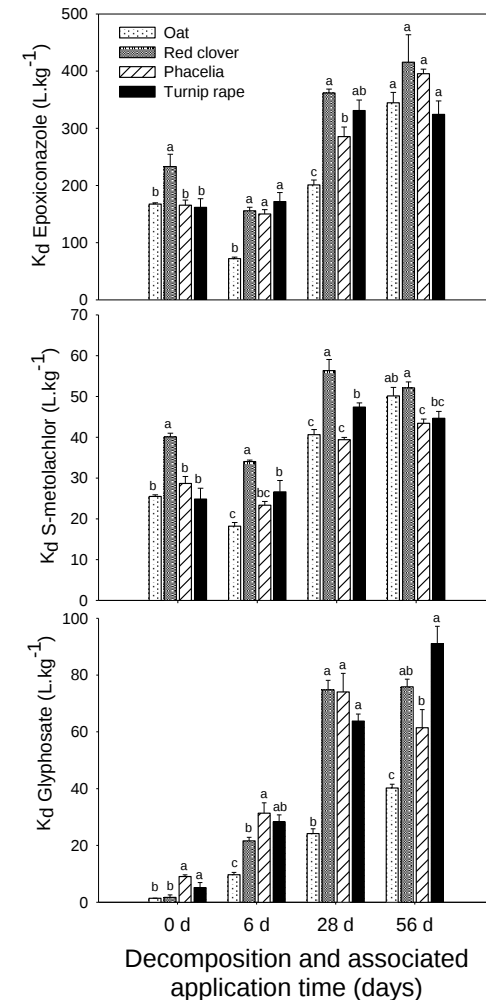
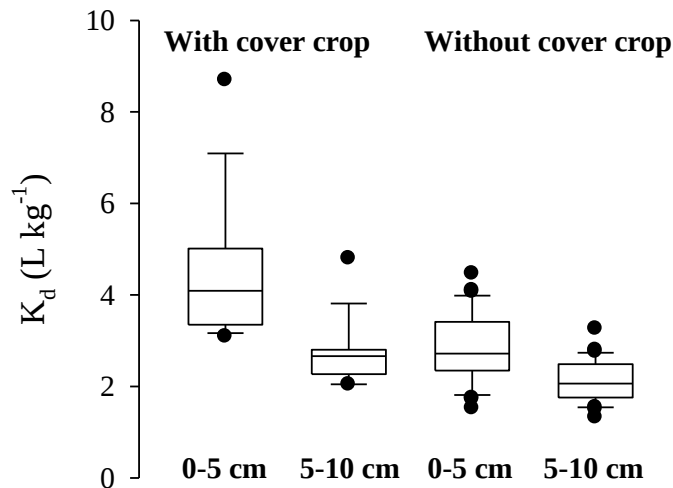
Gestion durable des services écosystémiques du sol :

Réservoir et filtre à eau : MPO



Augmentation de l'adsorption avec le temps de décomposition
Corrélation signification avec C/N et de la lignine

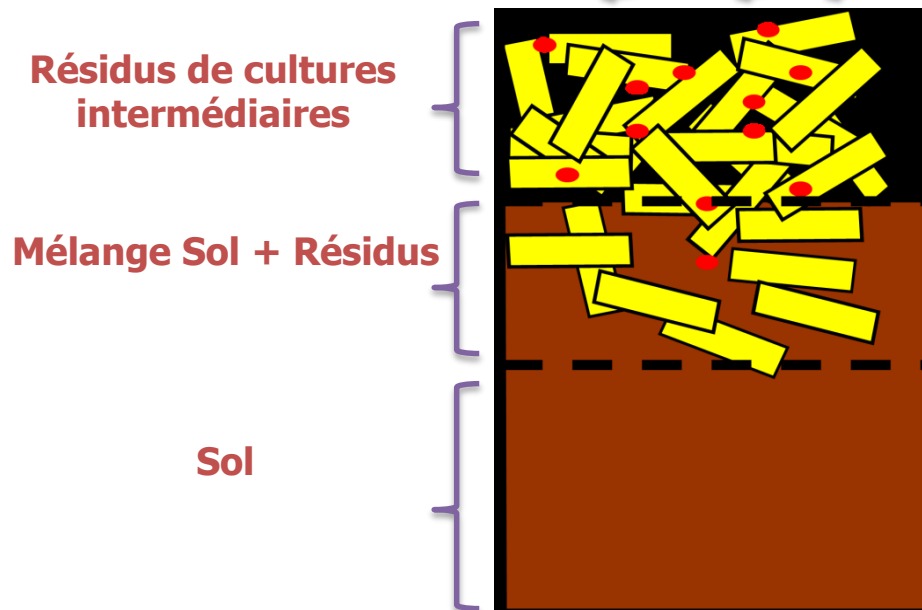
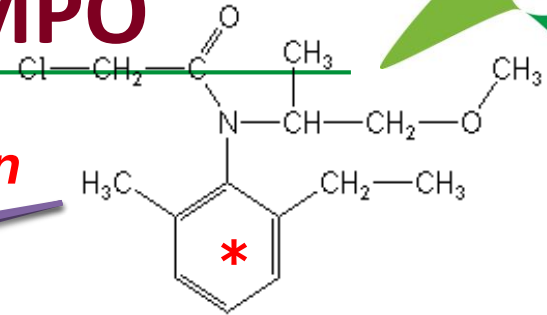
Variabilité entre les mulchs



Gestion durable des services écosystémiques du sol :

Réservoir et filtre à eau : MPO

Effets de la nature et de l'âge (degré de décomposition) des résidus sur la dégradation d'herbicides



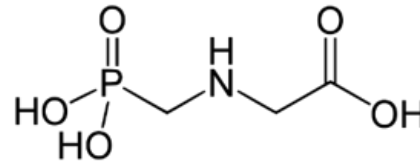
Piège à soude = $^{14}\text{CO}_2$



Gestion durable des services écosystémiques du sol : Réservoir et filtre à eau : MPO



Glyphosate



Minéralisation

Elevé

Faible

Extractible

Elevé avec bcp
de métabolites

Faible avec peu
de métabolites

Résidus non
extractibles (...)

Faible

Elevé

Sol nu

Sol + résidus de CIMS

Des réponses à venir....

➔ BAG'AGES (2016-2020) 



► Caractérisation de propriétés des sols



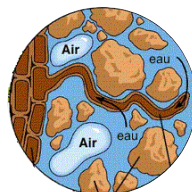
Semis sous couvert



Utilisation de couverts



Agroforesterie



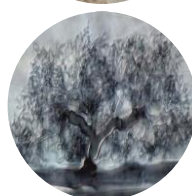
Rétention d'eau

➔ Stockage d'eau
➔ Hystérèse (Abbasi et al., 2012)

Infiltration



Ruissellement



Activités biologiques

**AGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRE D'AGRICULTURE
OCCITANIE

Avec et pour les céréaliers
AGRO D'OC
UNION DES CETA D'OC

groupe coopératif
MAÏSADOUR

 **UNIVERSITÉ
TOULOUSE III**
PAUL SABATIER  **RSV**
Laboratoire de Recherche en Sciences Végétales

UMR System
Fonctionnement et conduite des systèmes
de culture tropicaux et méditerranéens

 **AGROFORESTERIE**
association française

CREAB
ARVALIS
Institut du végétal

 **INRA**
SCIENCE & IMPACT  **AGIR**
UMR 1248 INRA / INPT  **EcoSys**  **CESBIO**

A Occitanie

Quelques éléments de [conclusion]



MOS : clé de voute du fonctionnement de l'écosystème « SOL »

- ⇒ Par des pratiques agricoles adaptées, il est possible d'agir significativement sur leur quantité et leur qualité et ainsi accroître les services rendus par cet écosystème
- ⇒ Parmi les pratiques, l'agriculture de conservation (SD x rotation x CIMS) permet d'atteindre des niveaux de performances et de services rendus les plus prometteurs
- ⇒ **MAIS : l'usage des phytosanitaires reste leur talon d'Achille et pénalise la durabilité de ces systèmes de culture**
- ⇒ **L'ABC représente une voie prometteuse techniquement complexe et nécessitant un travail collectif et une volonté de partage des expériences (réussites et échecs)**