

➤ L'Eau et le Sol

Éléments de sensibilisation sur le fonctionnement hydrique des sols et leur rôle sur le cycle de l'eau

Quelques mots sur des pratiques favorables à la protection des sols et des eaux

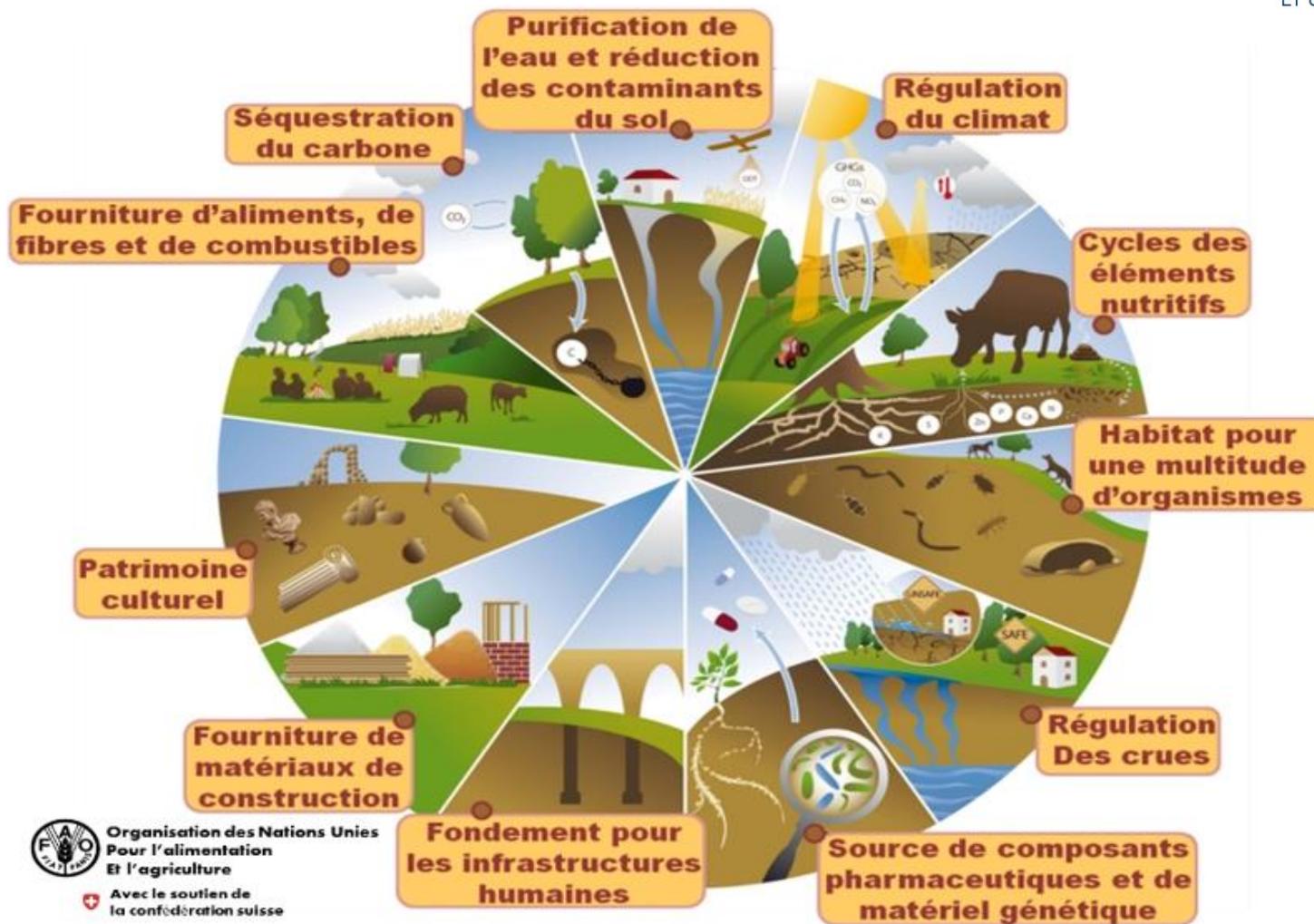
Lionel Alletto

UMR Agroécologie, Innovations, Territoires

lionel.alletto@inrae.fr

 @LionelAlletto

➤ Le sol : compartiment aux multiples fonctions



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

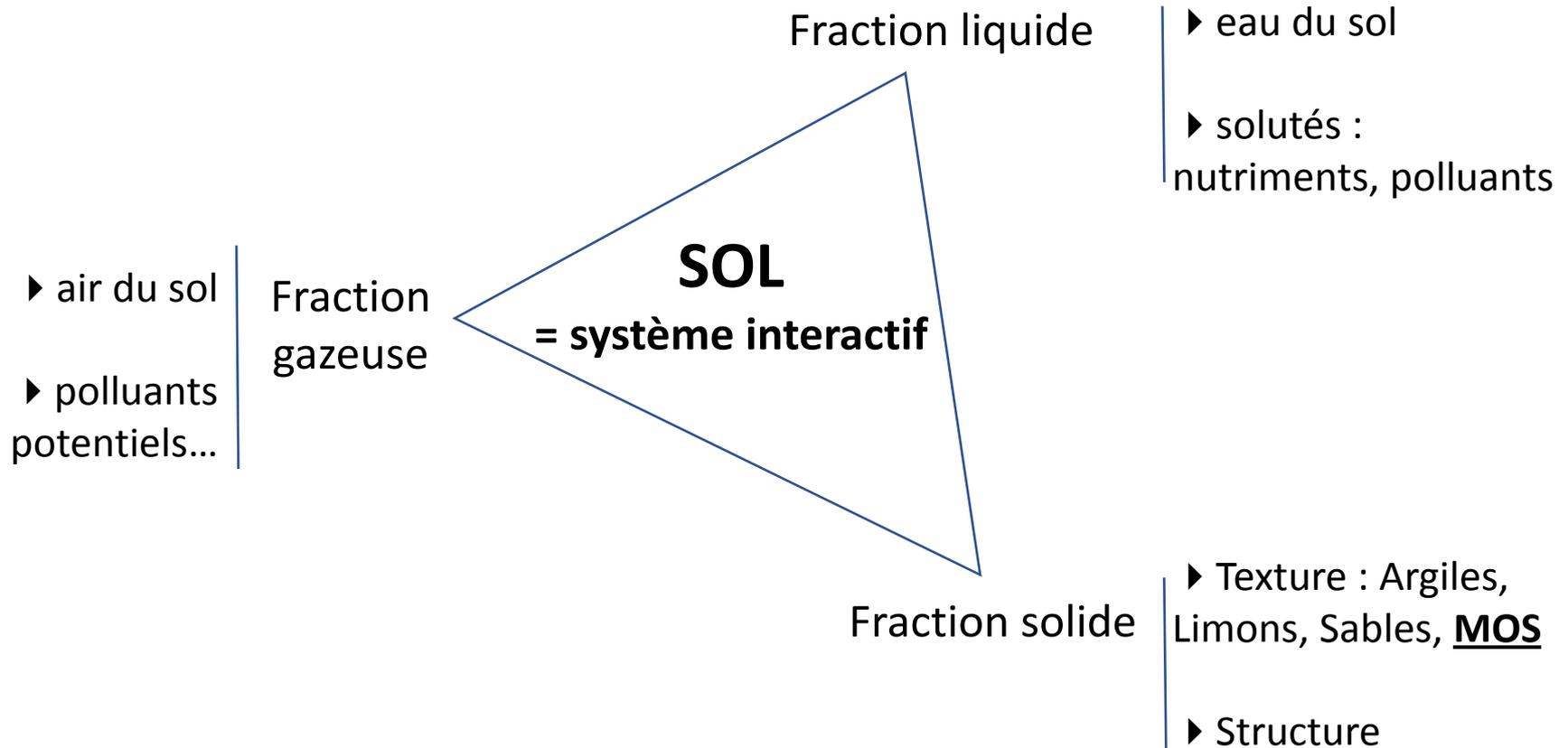
INRAE

L'Eau et le Sol

21-01-2021 / Alletto Lionel

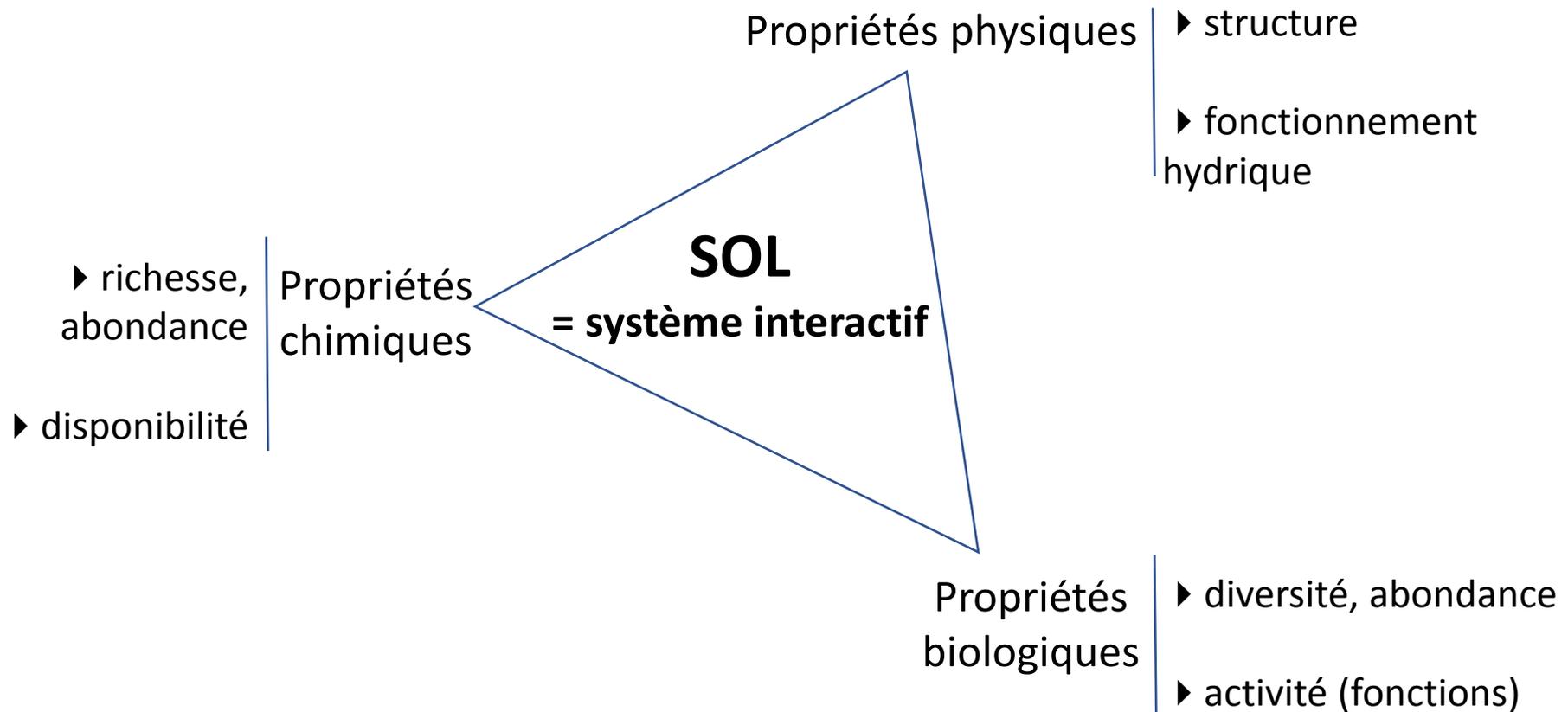
➤ Gestion durable des sols

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



➤ Gestion durable des sols

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



➤ Principales causes de dégradation des sols

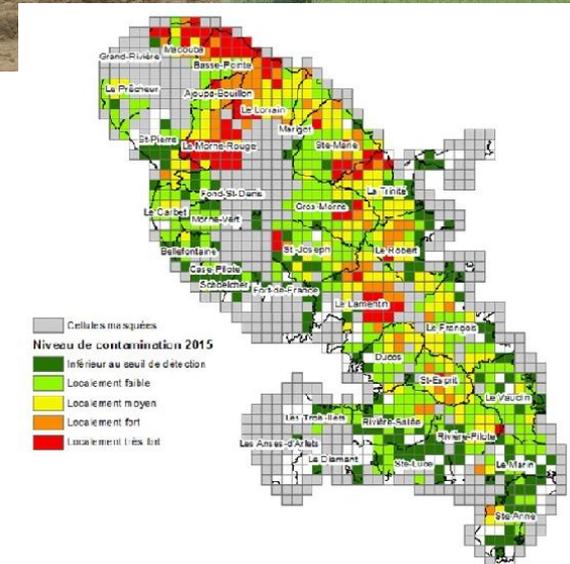
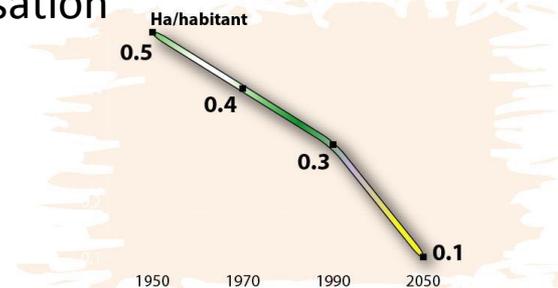
Le Sol : ressource non renouvelable à l'échelle d'une génération...

=> De nombreuses causes de dégradation :

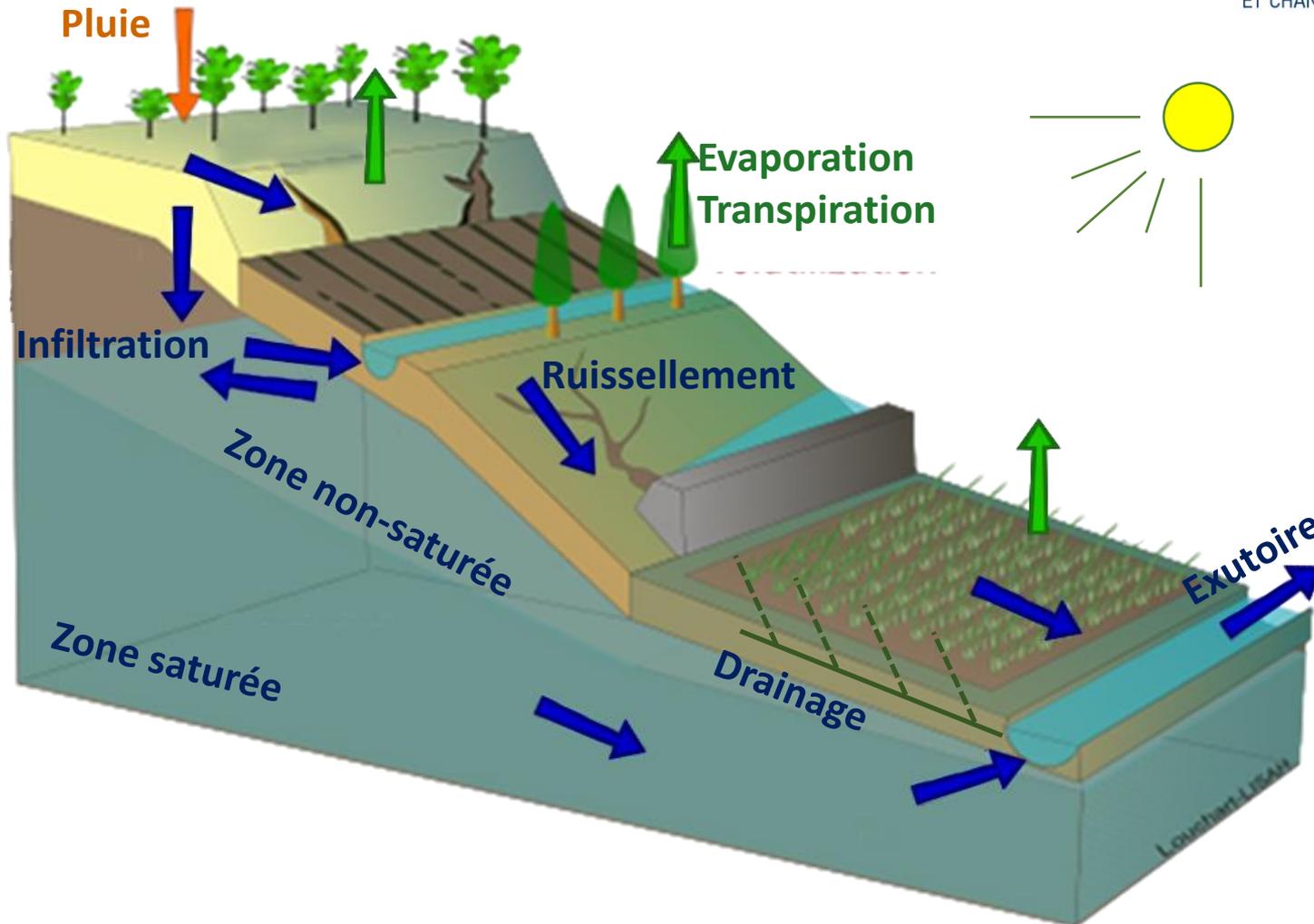
- Salinisation
- Erosion
- Contamination
- Perte en matière organique
- Perte de biodiversité
- Compaction
- Imperméabilisation
- Inondations
- ...



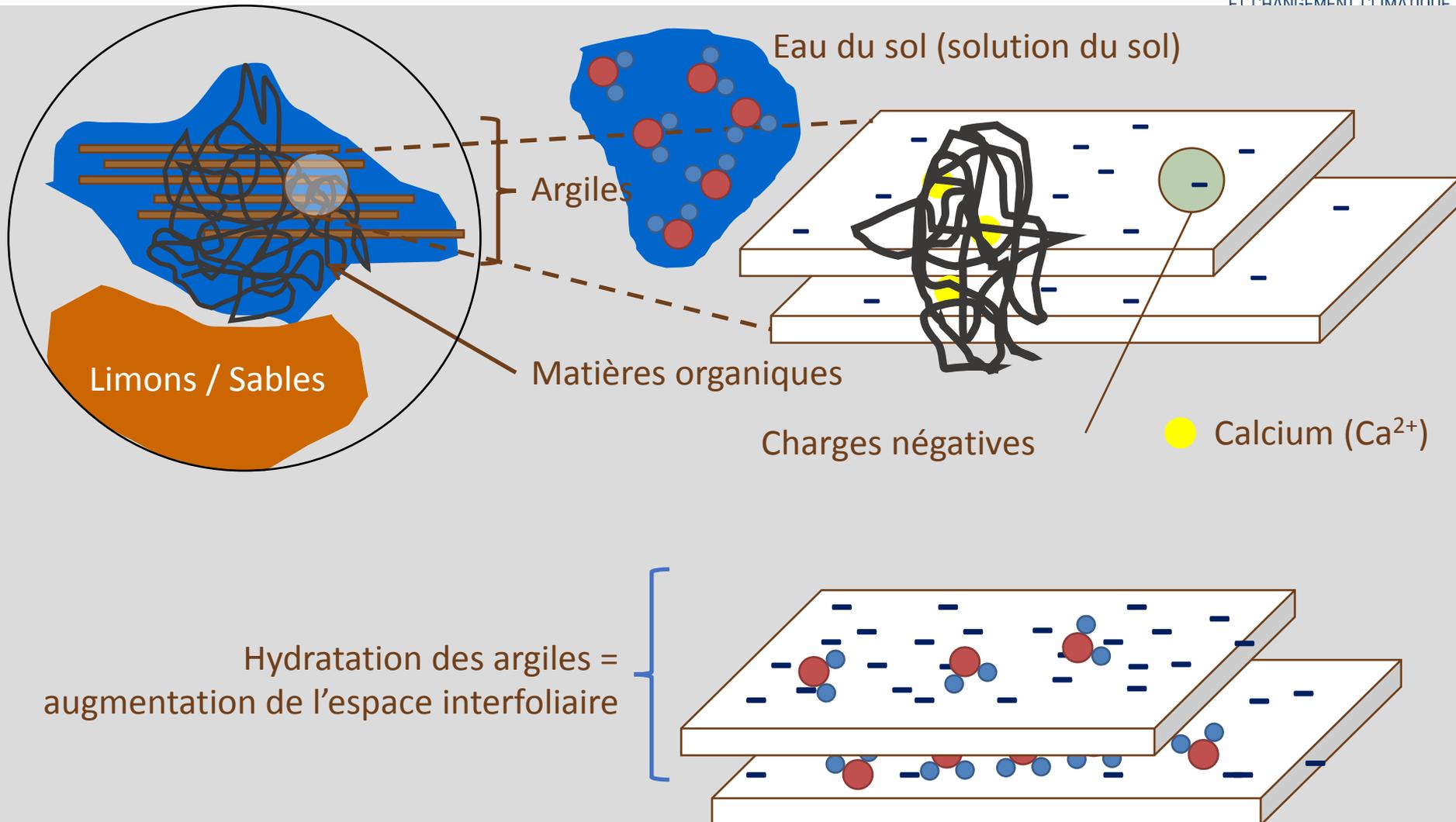
© Sarthou JP



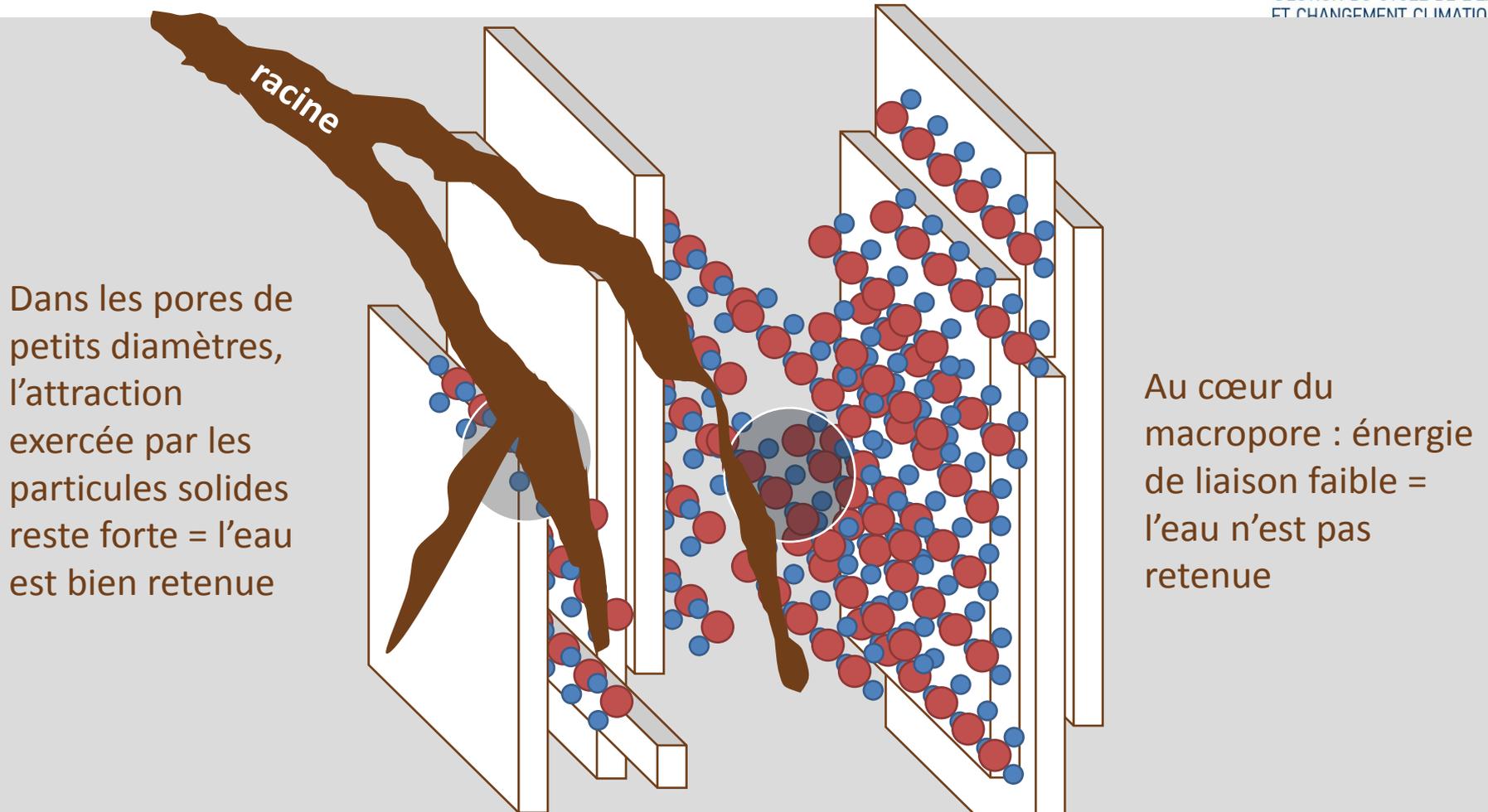
➤ Cycle de l'eau dans un sol



➤ Quelques éléments de fonctionnement des sols : rétention/infiltration



➤ Quelques éléments de fonctionnement des sols : rétention/infiltration



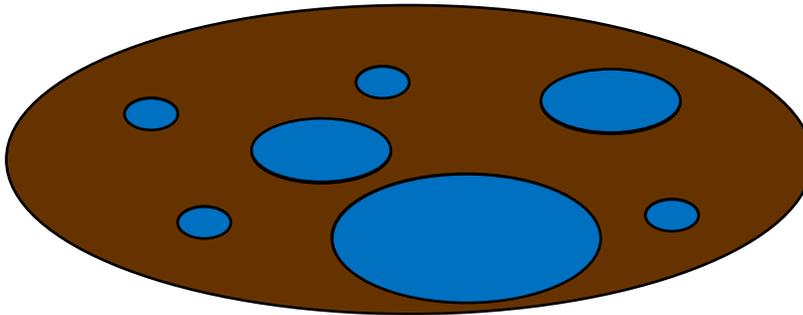
➤ **Potentiel hydrique = état énergétique de l'eau dans le sol**

➤ **Explication des remontées capillaires**

➤ Quelques éléments de fonctionnement des sols : rétention/infiltration

Conséquences :

1- l'eau circule dans un sol en empruntant des pores de taille de porosité croissante :



Si intensité de pluie :

< capacité infiltration pores de taille 1

> capacité infiltration pores de taille 1

< capacité infiltration pores de taille 2

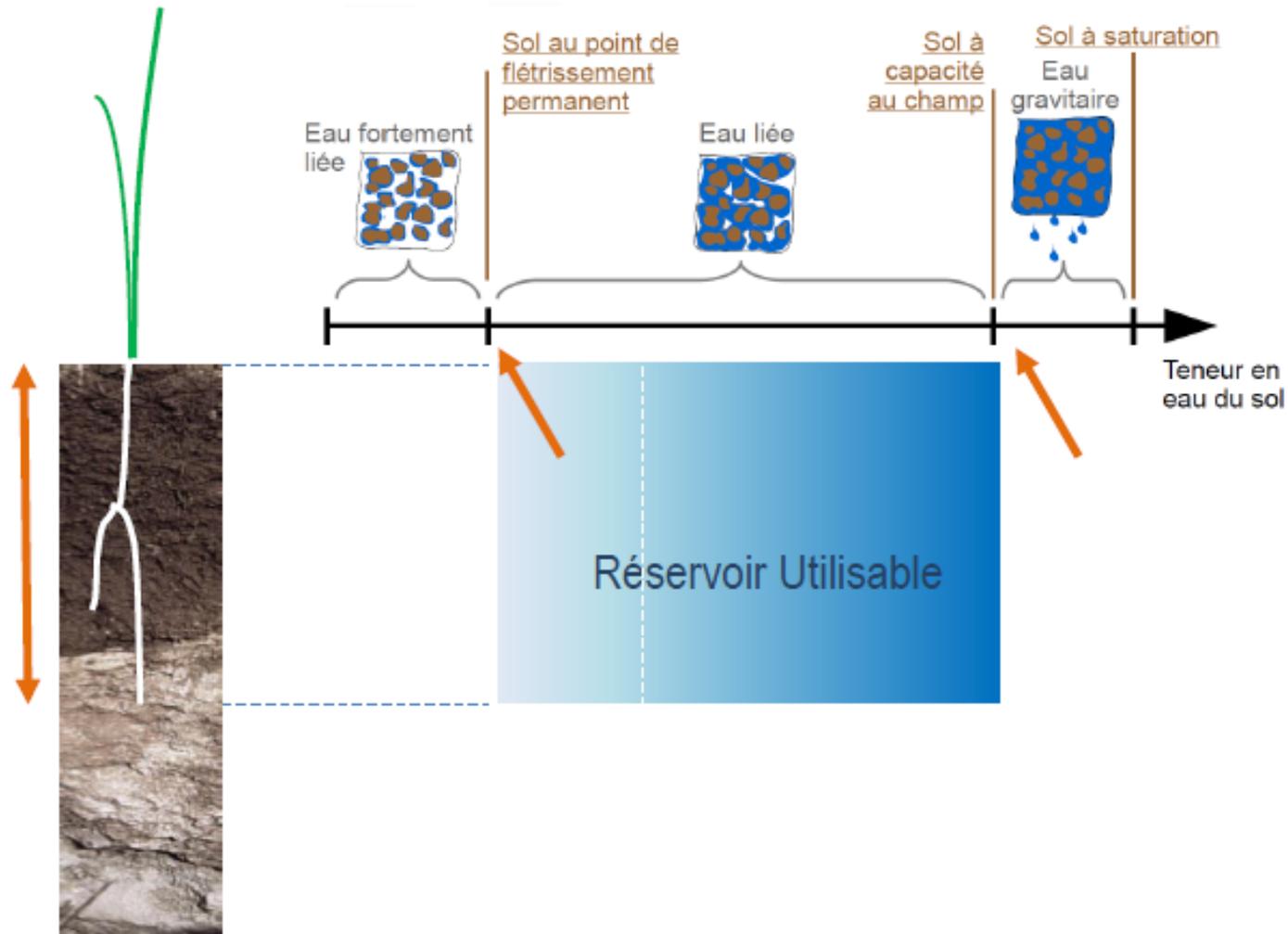
> capacité infiltration pores de taille 2

< capacité infiltration pores de taille 3

> capacité infiltration pores de taille 3 :
refus d'infiltration

2- les capacités d'infiltration d'un sol vont directement dépendre de la porosité totale mais aussi de la distribution des différentes gammes de pores et de leur connectivité

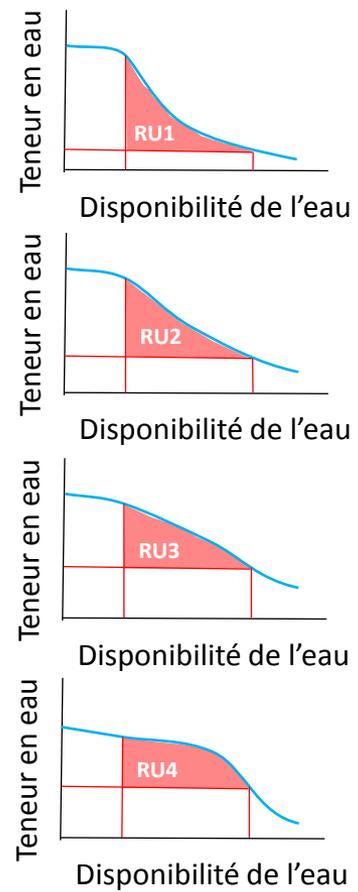
➤ Quelques éléments de fonctionnement des sols : rétention/infiltration



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...



Effets :

Travail du sol ;
Plante ; (Sol)

Plante ; (Travail
du sol) ; (Sol)

Plante ; (Sol)

Plante ; (Sol)

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



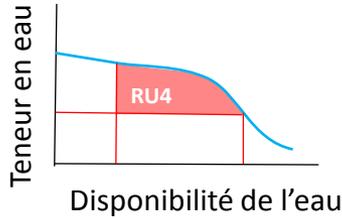
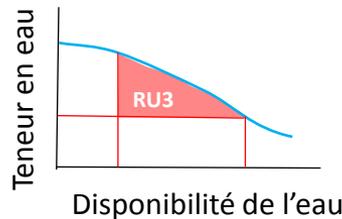
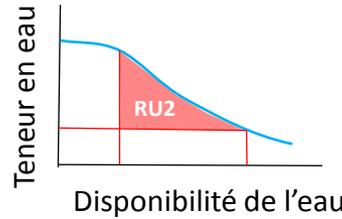
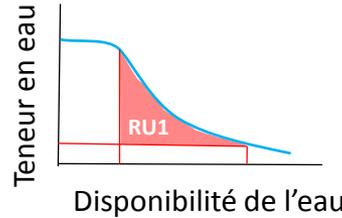
0-30 cm : horizon « travaillé »

30-50 cm : Bt1

50-65 cm : Bt2

65-110 cm : C1

>110 cm : C2



C2 : non exploré par les racines...

➤ Erosion des sols :

Définition générale et origines principales

Processus naturel à l'origine des reliefs et paysages

En agriculture, amincissement de la couche arable d'une parcelle sous l'effet d'un arrachement/entraînement de particules solides par les forces érosives de l'eau, du vent ou les pratiques de travail du sol

3 séquences consécutives dans les processus d'érosion :

1- Détachement □ **2- Déplacement** □ **3- Dépôt**

= différents modes d'action ou d'atténuation à envisager selon la séquence visée

> Erosion des sols :

Définition générale et origines principales

3 origines principales :

- 1- **Erosion hydrique** : processus majeur en France (et dans de nombreux pays) (≈ 26 M ha concernés en Europe) (Le Bissonais et al., 2002)
- 2- **Erosion éolienne** : plus limitée géographiquement en lien avec le type de sol : sol sableux (vents de sable landais) et sols très organiques (terres noires : arrachage de petits agrégats) (≈ 1 M ha concernés en Europe)
- 3- **Erosion aratoire** (ie **liée au travail du sol**) : très présente sur les parcelles agricoles (dès qq % de pente !), elle est l'origine principale de perte en terre sur les parcelles agricoles. Elle ouvre la voie à des pertes par érosion hydrique...

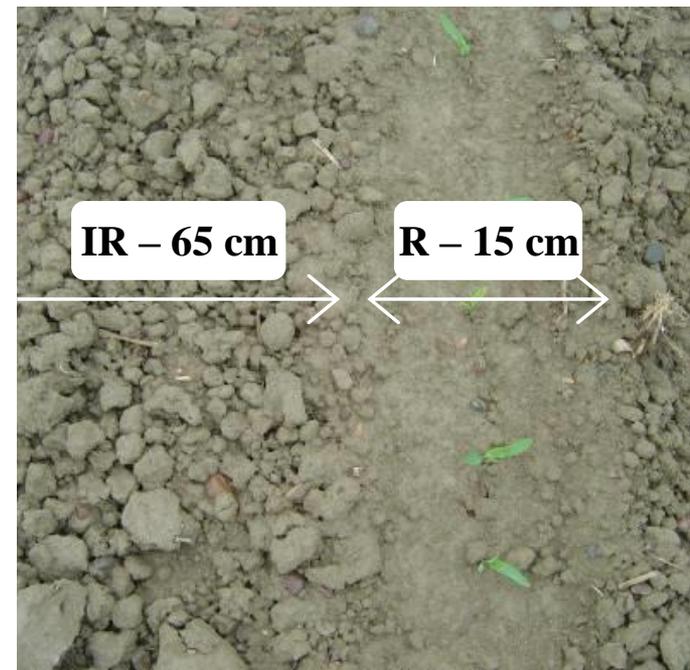
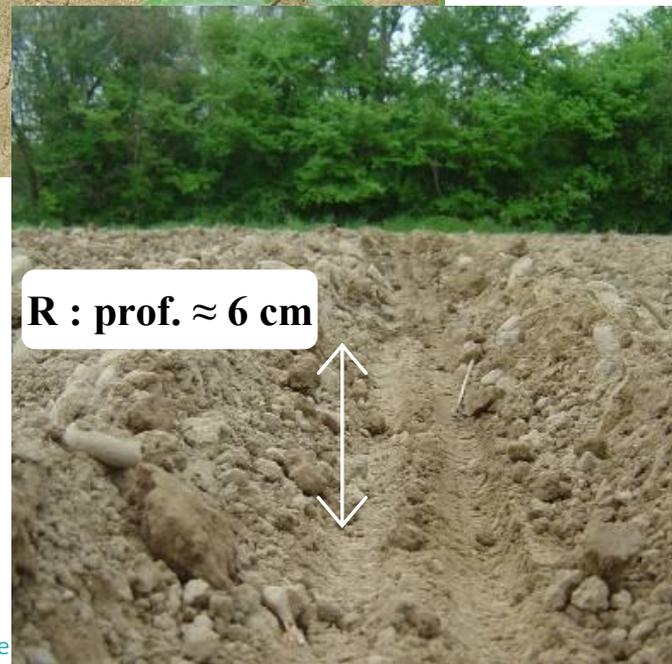
➤ Erosion hydrique : *quelques illustrations parlantes...*



➤ Erosion hydrique : quelques illustrations parlantes...



La préparation de la ligne de semis a un impact majeur sur la densité du sol et les capacités d'infiltration



➤ Erosion hydrique : *quelques illustrations parlantes...*

Même sur de faibles pentes

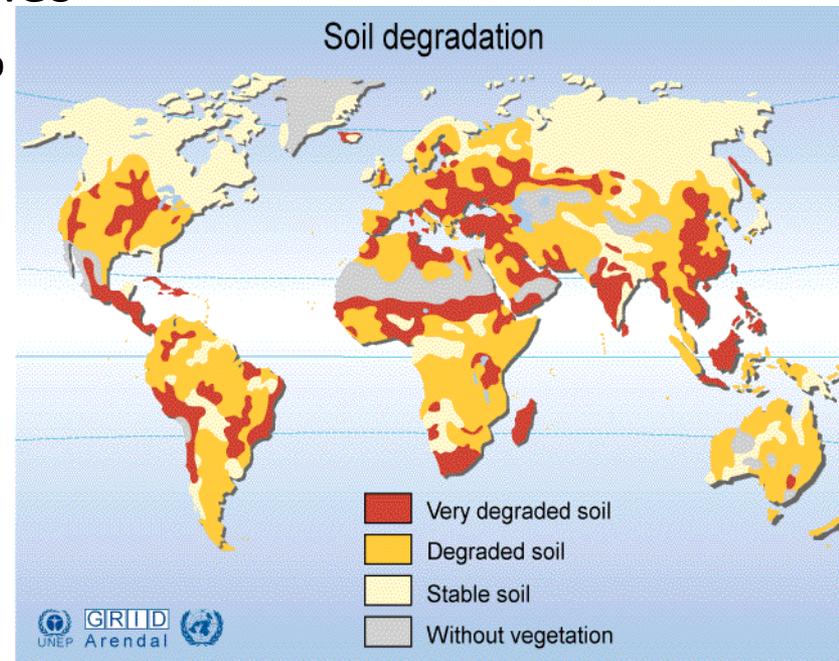


➤ Erosion aratoire



➤ Erosion des sols : en quelques chiffres...

- ▶ en moyenne, il faut 2000 ans pour créer 10 cm de sol et on perd environ **0,9 mm / an** (FAO, 2016)
- ▶ 20-30 Milliards de tonnes de sol sont perdues annuellement, soit environ **3 tonnes / personne / an** (FAO, 2016)
- ▶ 80 % des surfaces agricoles mondiales sont sujettes à une érosion forte, 10 % à une érosion faible (Pimentel, 1993; Lal, 1994)
- ▶ **Pertes ≈ 30 t/ha/an** variant de 0,5 à 400 t/ha/an (Pimentel et al., 1995) (au-delà de 10 t/ha/an, l'érosion est forte)



➤ Erosion des sols : en quelques chiffres...

- ▶ Estimation des coûts associés : difficiles à obtenir...
 - dans le Gers : \approx 5 M€ suite aux pluies de mai-juin 2018
 - en moyenne, le curage des fossés & nettoyage des routes sont évalués à 12-20 €/personne de la zone concernée
 - coût des équipements de traitement de la turbidité : 1,3-2,2 M€ pour traiter 180 m³/h

- ▶ Estimation des coûts globaux : **60-70 € / personne / an**
(420 Milliards €/an !!)

➤ Erosion des sols : quelques principes pour agir

Prédiction du taux annuel d'érosion à long terme :

Equation Universelle des Pertes en Terre (USLE) (Wischmeier et Smith, 1978)

Pertes annuelles en terre (t/ha/an)

$$= R \times K \times LS \times C \times P$$

Facteur d'érosivité des pluies
 Facteur d'érodibilité
 Facteur topographique
 Facteur Culture-Végétation et gestion
 Facteur de conservation

Et si l'érosion s'opère malgré tout...

▶ Réduire la progression des flux érodés par des aménagements extra-parcellaires

▶ Maximiser la couverture du sol dans l'espace et le temps

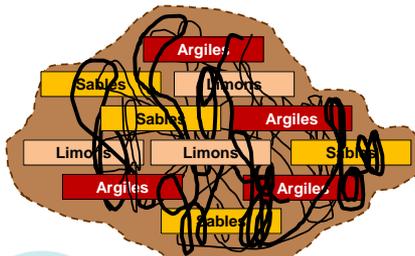
▶ Réduire / supprimer le travail du sol

▶ Réduire l'énergie cinétique des pluies

▶ Stabiliser les agrégats : MO, pH (Ca²⁺)

▶ Accroître les capacités d'infiltration

▶ Recréer des ruptures de pente, réduire la longueur des parcelles



INRAE

L'Eau et le Sol

21-01-2021 / Alletto Lionel

➤ 1- Réduire l'énergie cinétique des pluies

▶ Présence d'un couvert végétal à la surface du sol



Période d'interculture



Cycle cultural des cultures marchandes



▶ Présence d'un mulch

mélange sorgho fourrager + trèfle Alexandrie



mélange navette + moutarde éthiopienne + trèfle Alexandrie

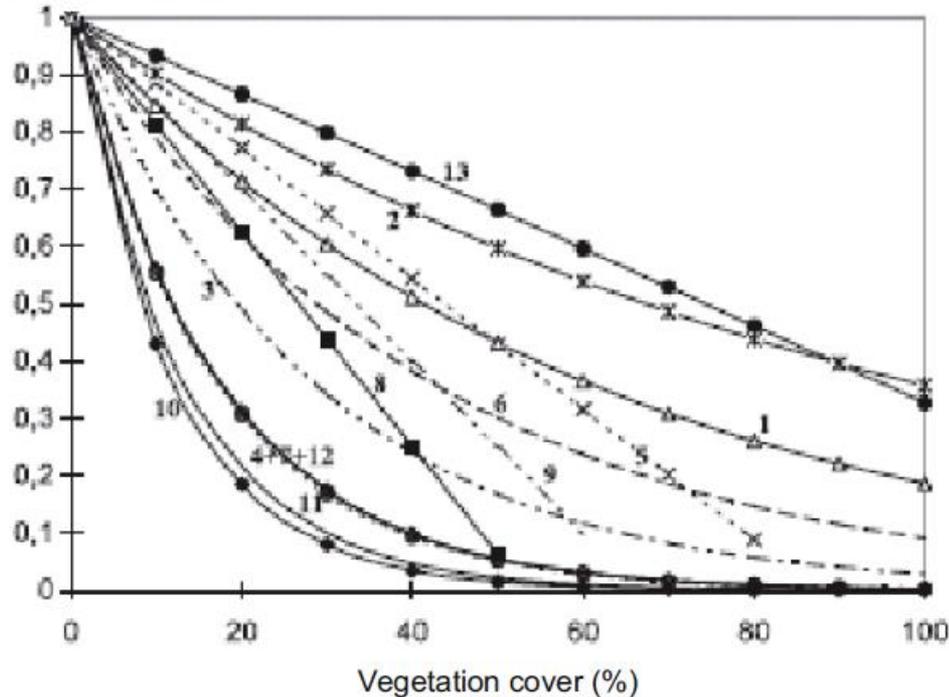


➤ 1- Réduire l'énergie cinétique des pluies



➤ 1- Réduire l'énergie cinétique des pluies

Relative runoff volume



Quantité de résidus (t/ha)	Ruissellement (% précipitations)	Erosion (t/ha)
0	45	12
0,25	40	3
0,5	25	1
1	0,5	0,3
2	0,1	0
4	0	0

Figure 1. Relationship between plant cover and relative runoff. 1, 2, Packer (1951); 3, 4, Marston (1952); 5, Branson and Owen (1970); 6, Elwell and Stoking (1976); 7, Lang (1979); 8, 9, Kainz (1989); 10, 11, Francis and Thornes (1990); 12, Lang (1990); 13, Greene et al. (1994).

➤ 2- Stabiliser les agrégats

- ▶ **Accroître les teneurs en C organique dans les horizons de surface**
- ▶ **Plusieurs méthodes d'observation :**

Autre test simple : le test de résistance à l'eau des agrégats (ou stabilité)



©Ferrié, CA81

▶ Stabilité liée à la teneur en carbone organique

▶ sur des sols initialement pauvres :

- Augmentation des teneurs en C de 60 à 75 % en surface
- Stock global de C accru sur 0-60 cm (maximum +30 %)

▶ sur des sols riches

- Pas de

▶ C

-

-

Levier n°1 :
les couverts
végétaux !

□ 1 t C = 3,6 t CO₂

1 t CO₂ (soit 270 kg de C)
= Emission moyenne
d'une voiture pour 5000
km

= Emission pour un vol
AR Paris-New York /
passager



Dpt	Site	t C / ha
32	ACS (20 ans)	≈ 70
	Labour	≈ 50
64	ACS (10 ans)	≈ 116
	Labour	≈ 113
81	ACS (8 ans)	≈ 65
	Labour	≈ 65

➤ 2- Stabiliser les agrégats

▶ le travail du sol comme levier pour accroître la stabilité des agrégats



19 juillet 2005

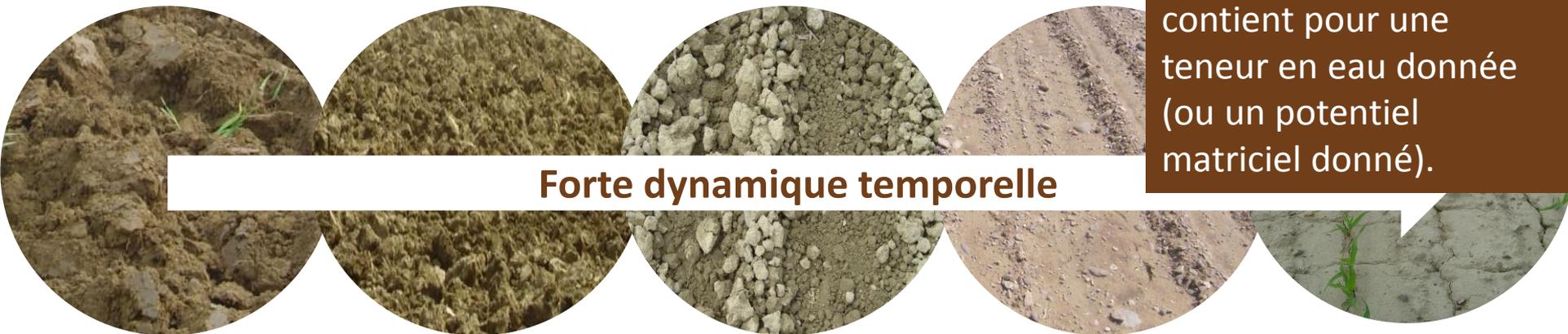
270 mm de pluie

Technique conventionnelle

Technique de conservation

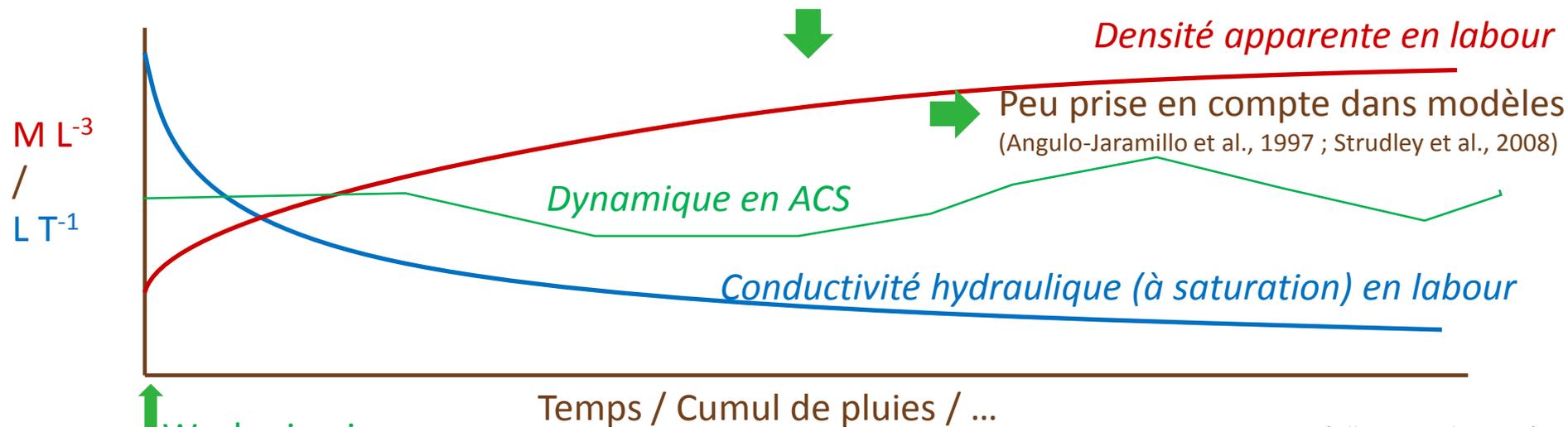
➤ 3- Accroître les capacités d'infiltration

□ 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)



(Alletto et al., 2015)

↑ **Wsol primaire**
INRAE

➤ 3- Accroître les capacités d'infiltration



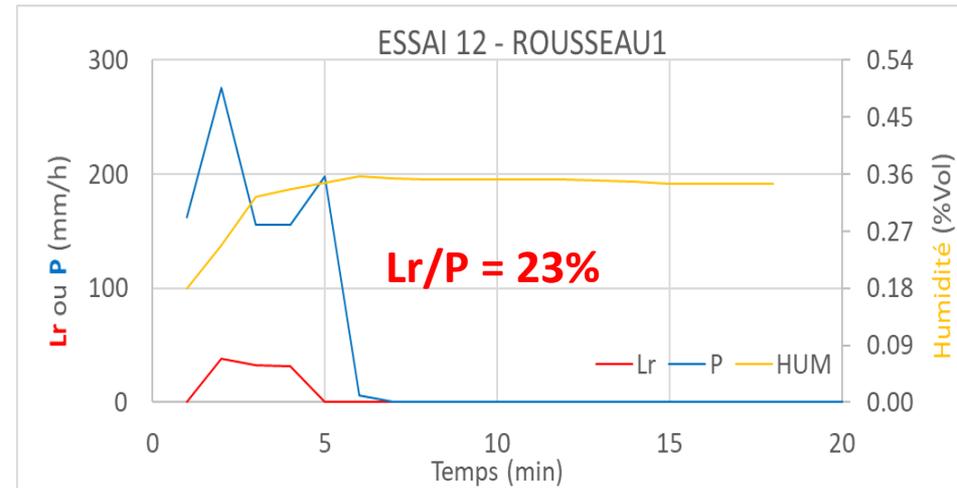
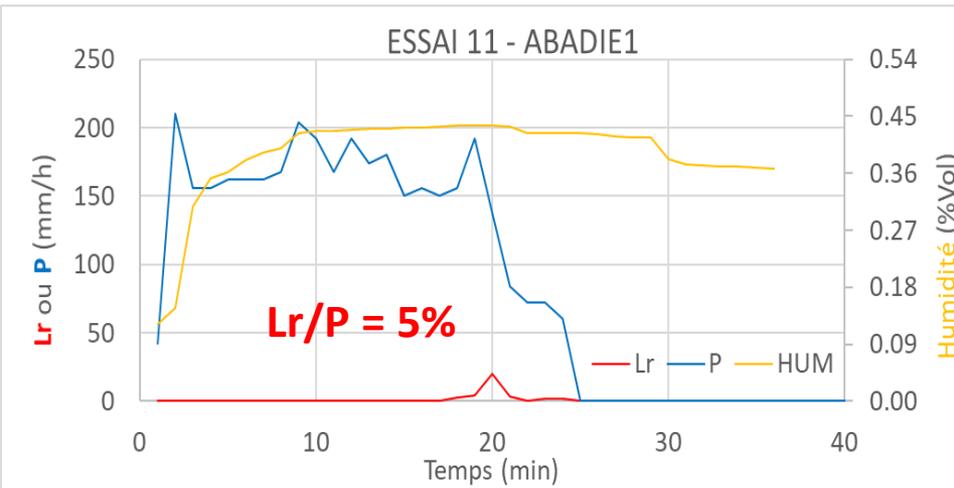
- Test **érosion** en conditions contrôlées



- Matière en suspension (MES) en g/L
- Quantité d'eau ruisselée Lr (lame d'eau ruisselée)

- Placette 2.7 m²
- Pluviomètres
- Echantillonnage des eaux de ruissellement

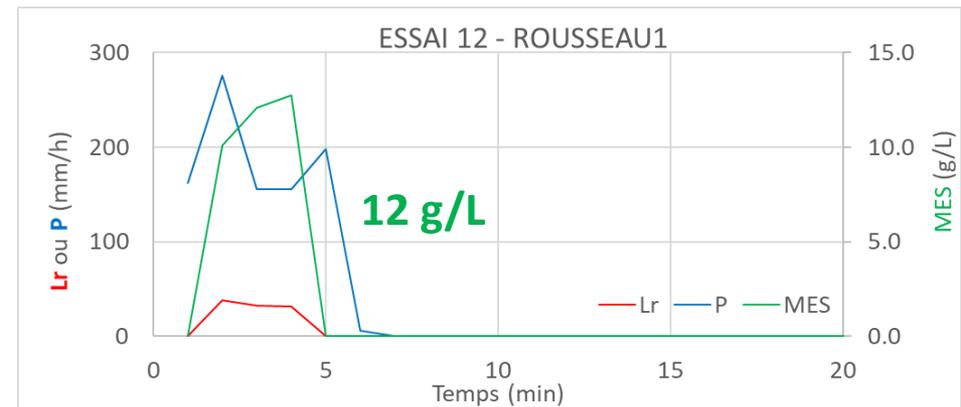
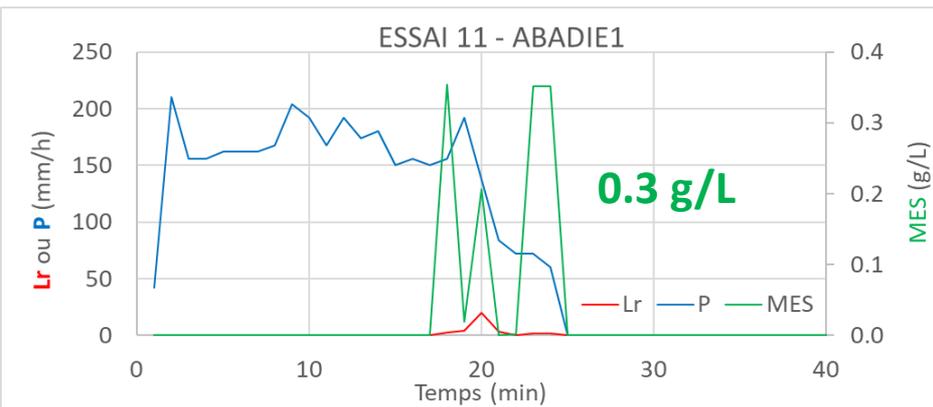
➤ 3- Accroître les capacités d'infiltration



- Des difficultés pour se positionner dans les mêmes conditions expérimentales
 - Stabilisation à environ 150-200 mm/h de pluies durant 20 min chez Abadie (en ACS) alors que sur la parcelle voisine (en labour), l'intensité de pluie n'a pas été régulée convenablement et sur une durée équivalente (au final \approx 60 mm de pluie ont été appliqués chez Abadie contre \approx 28 mm chez Rousseau)
 - Pluies ruisselées chez Abadie \approx 3 mm vs. 6,4 mm chez Rousseau



➤ 3- Accroître les capacités d'infiltration



- Une érosion générée très significativement plus faible en ACS
- Il faudrait également tenir compte des écoulements hypodermiques également à l'origine d'une érosion



➤ 3- Accroître les capacités d'infiltration



➤ 3- Accroître les capacités d'infiltration

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



➤ 4- Recréer des ruptures de pente, réduire la longueur des parcelles



▶ **Augmentation de la rugosité et de la sinuosité pour limiter la vitesse de la lame d'eau sur la parcelle (□ énergie d'arrachement)**



➤ 5- Réduire / supprimer le travail du sol



➤ 5- Réduire / supprimer le travail du sol



© Yves Ferrié, CA81



© Yves Ferrié, CA81



© Yves Ferrié, CA81



© Yves Ferrié, CA81

➤ Éléments de conclusion...

▶ Lutter contre l'érosion des sols à l'échelle des parcelles implique :

- de connaître le **régime pluvial** de la zone
- de **maximiser le temps de couverture des sols** par des plantes ou des résidus de culture : énergie cinétique et sinuosité / rugosité / capacité d'infiltration. Cela peut nécessiter une reconception complète des systèmes
- d'accroître la stabilité des agrégats par une des teneurs en C organique et un suivi du pH (disponibilité en Ca^{2+})
- d'accroître les capacités d'infiltration des sols et surtout la connectivité du réseau poral
- de limiter la production de terre fine

⇒ **l'agriculture de conservation des sols permet de combiner ces différents objectifs**

Mais... elle demeure encore dépendante aux herbicides notamment au glyphosate : des travaux sont conduits par différentes équipes en France pour identifier des alternatives ne faisant pas perdre les nombreux bénéfices de l'AC sur les sols

Merci de votre attention

Place aux questions !

Contact : lionel.alletto@inrae.fr



@LionelAlletto