

Influence des pratiques agricoles sur les services écosystémiques du sol :

effet sur les cycles des éléments le fonctionnement hydrique

Lionel Alletto

INRAE UMR Agroécologie, Innovations, Territoires

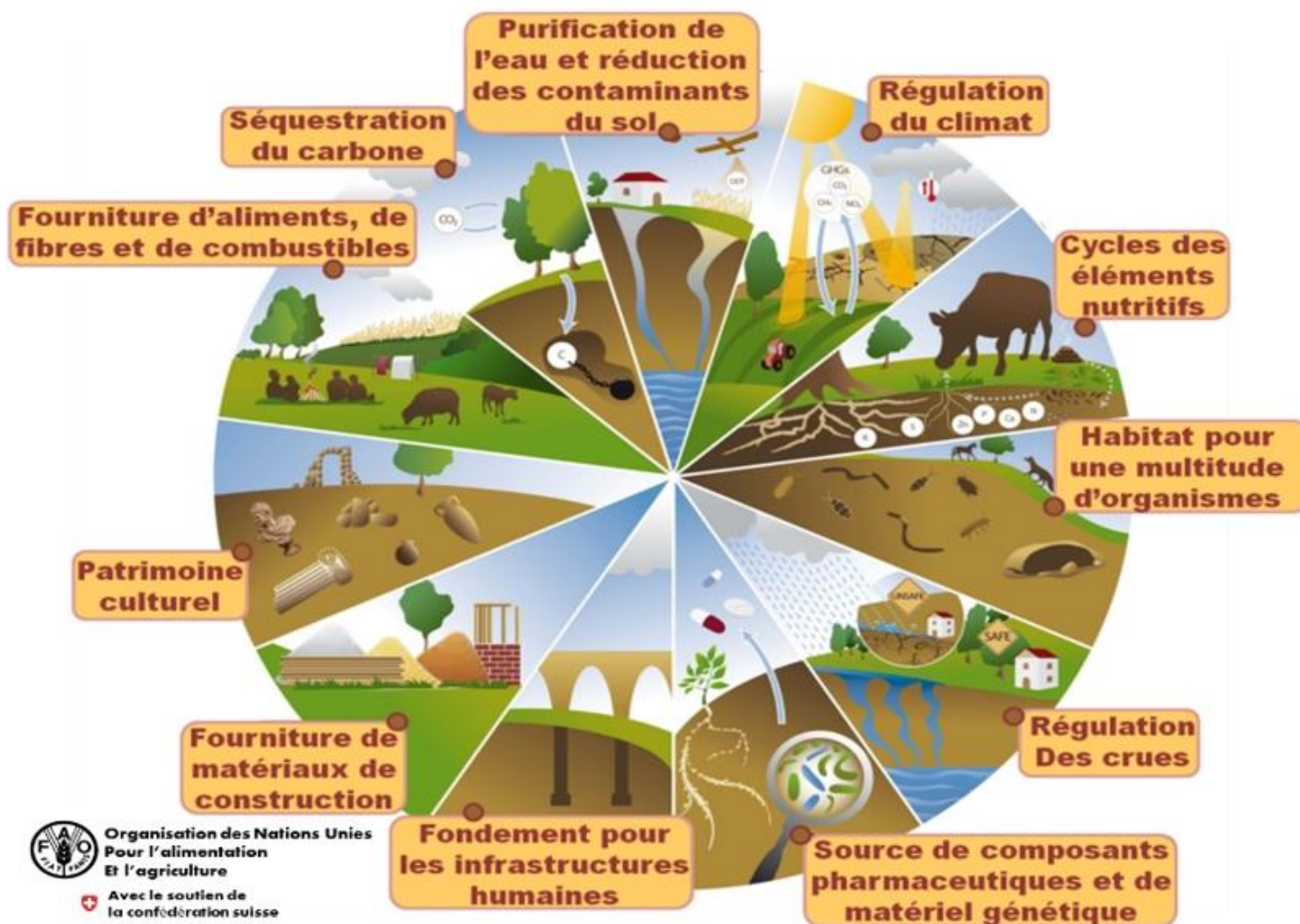
lionel.alletto@inrae.fr

 @LionelAlletto

INRAE



Le sol : compartiment aux multiples fonctions

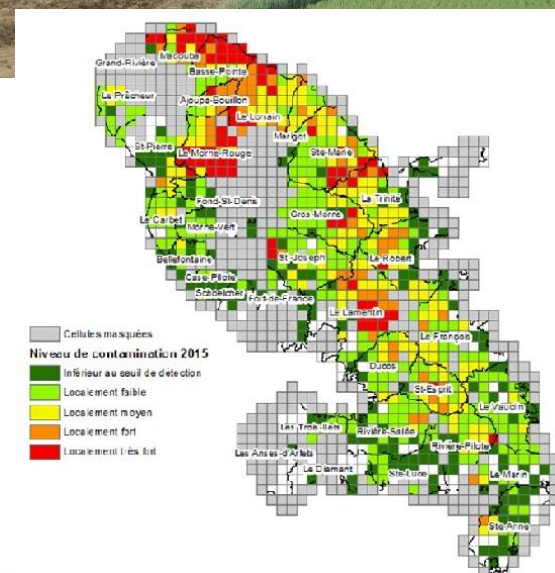
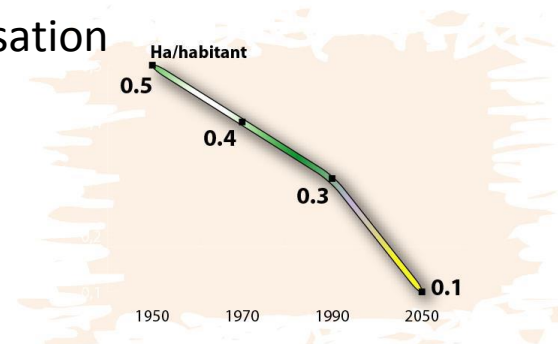
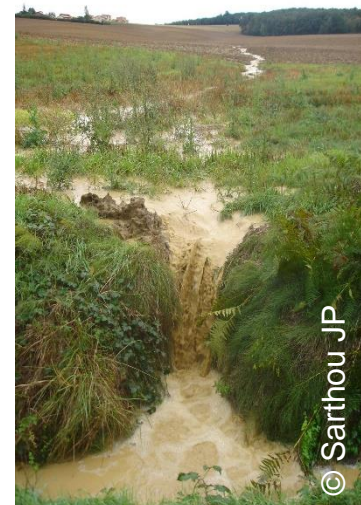


Principales causes de dégradation des sols

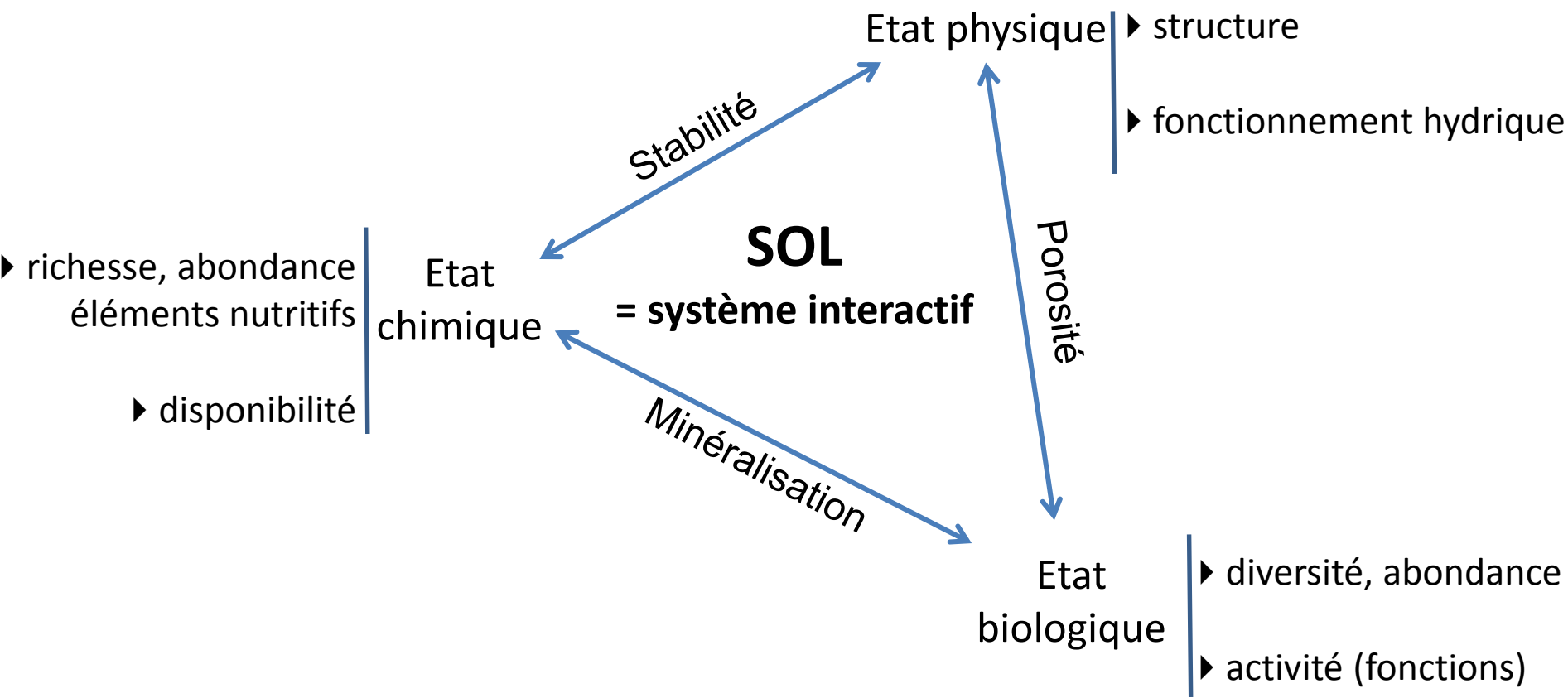
Le Sol : ressource non renouvelable à l'échelle d'une génération...

=> De nombreuses causes de dégradation :

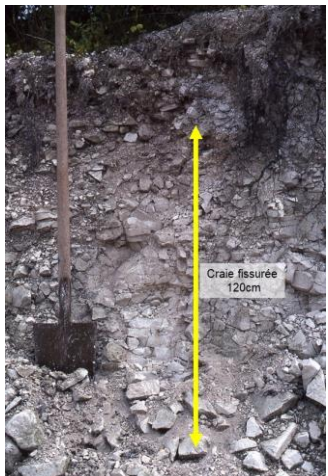
- Salinisation
- Erosion
- Contamination
- Perte en matière organique
- Perte de biodiversité
- Compaction
- Imperméabilisation
- Inondations
- ...



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

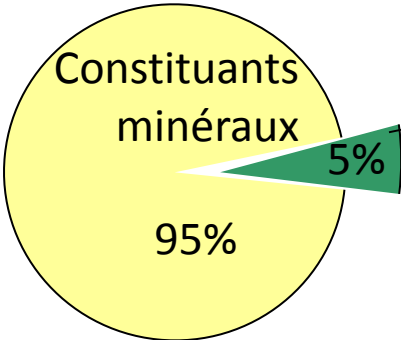


Le sol : une grande diversité mais des principes communs de fonctionnement

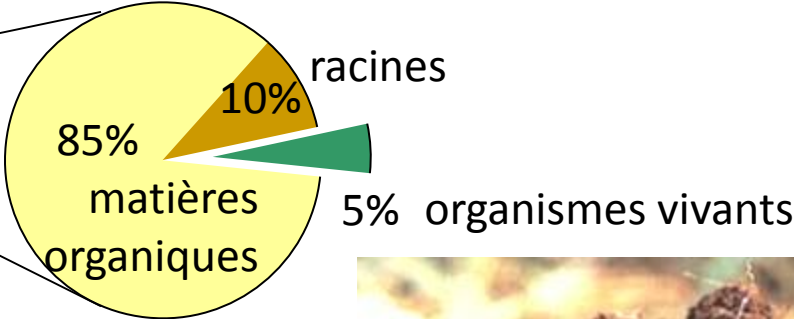


Le sol : *composition*

Phase solide



Constituants organiques



Composition d'un horizon organique de sol de prairie tempérée (en masse)

Source : Bachelier, 1978

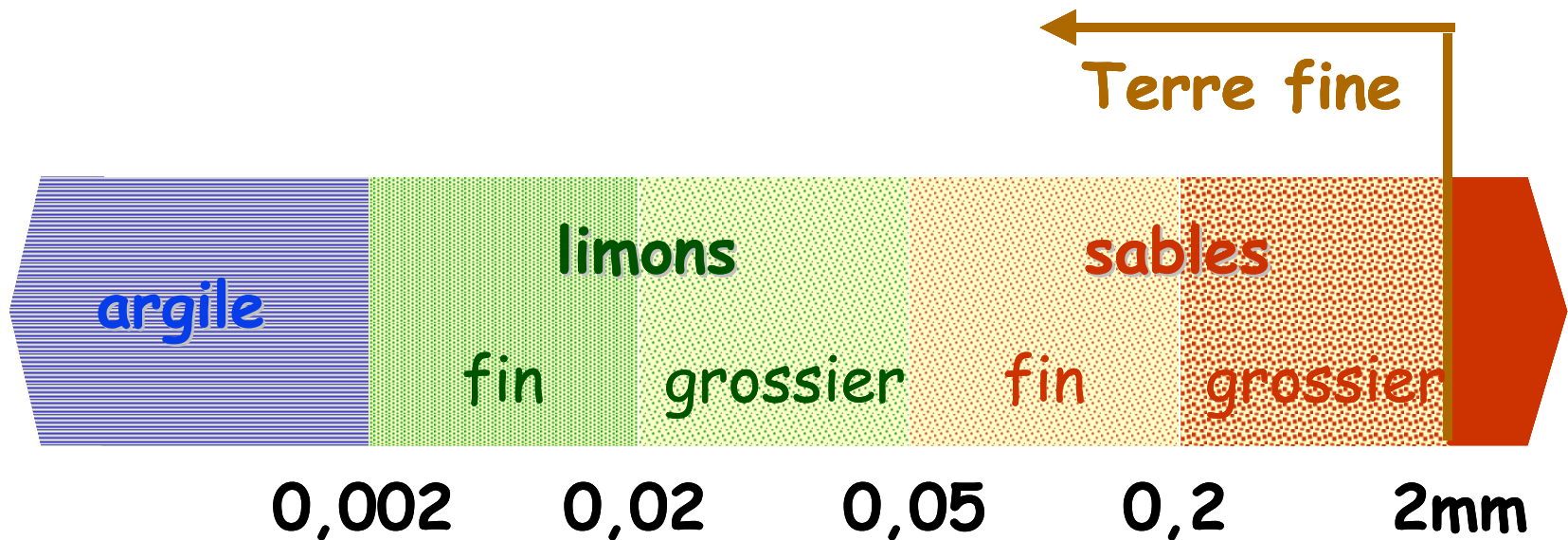


Source : A. Ruellan

Le sol : *composition*

Classement selon leur

- **minéralogie** : quartz, minéraux silicatés, minéraux carbonatés
- **granulométrie** : terre fine et fraction grossière (au-delà de 2mm, les constituants minéraux sont des **éléments grossiers**).



Quelles étapes pour faire évoluer le fonctionnement de son sol ?

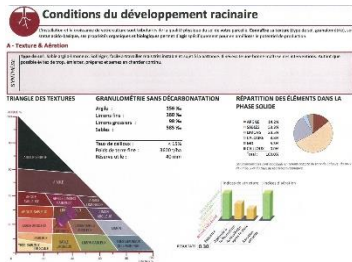
▶ **Définir ses objectifs** : *pourquoi je souhaite modifier mes systèmes de culture ?*

▶ **Caractériser l'état initial de son/ses sol/s** : *quel est le potentiel actuel du milieu ? Est-ce que des problèmes de fonctionnement sont identifiés ?*

▶ **Construire son programme d'actions** : *priorisation des leviers, définition des règles de décision, planification d'un suivi de l'évolution du fonctionnement du sol*

(accompagnement individuel et/ou collectif)

Le diagnostic préalable : quelques outils mobilisables...

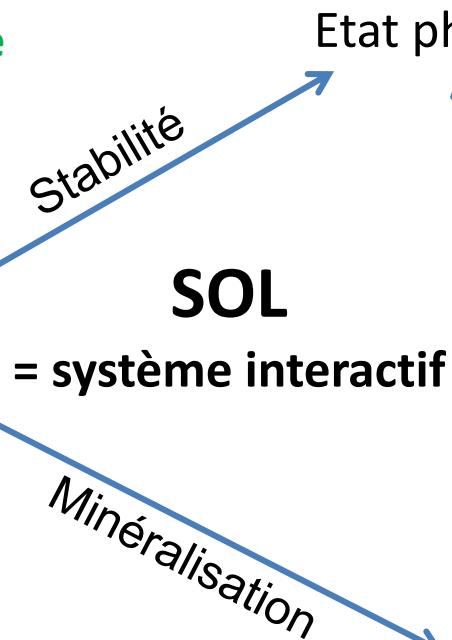


Analyse de terre

▶ richesse, abondance éléments nutritifs

▶ disponibilité

Etat chimique



Etat physique

- ▶ structure
- ▶ fonctionnement hydrique

Etat biologique

- ▶ diversité, abondance
- ▶ activité (fonctions)

L'analyse de terre : souvent le 1^{er} réflexe à avoir pour mieux connaître son sol



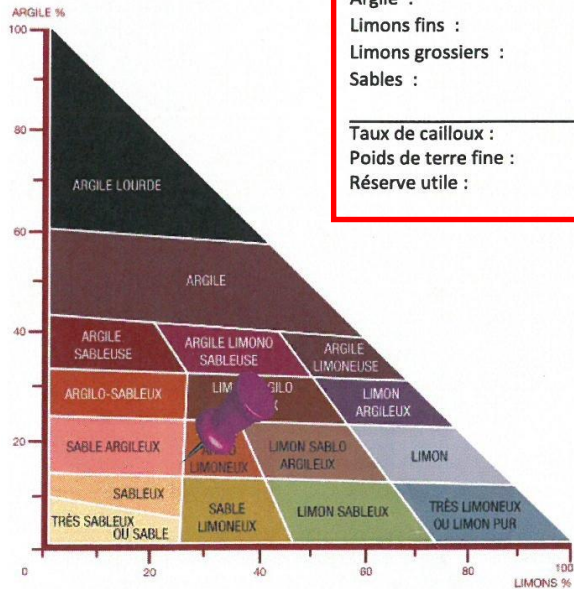
Conditions du développement racinaire

L'installation et la croissance de votre culture sont tributaires de la qualité physique du sol de votre parcelle. **Connaitre** sa texture (type de sol, granulométrie), son statut acido-basique, ses propriétés organiques et biologiques permet d'**agir** spécifiquement pour en améliorer le potentiel de production.

A - Texture & Aération

SYNTHÈSE
Type de sol : Sable argilo-limoneux. Sol léger, facile à travailler mais très instable et sujet à la battance. Il nécessite une bonne maîtrise des possible évitez de trop, émietter, préparez et semez en chantier continu.

TRIANGLE DES TEXTURES



GRANULOMÉTRIE SANS DÉCARBONATATION

Argile :	156 %
Limons fins :	160 %
Limons grossiers :	98 %
Sables :	585 %
<hr/>	
Taux de cailloux :	< 15%
Poids de terre fine :	3600 t/ha
Réserve utile :	40 mm

RÉPARTITION DES É PHASE SOLIDE

■ ARGILE	14.2%
■ SABLES	53.3%
■ LIMONS	23.5%
■ CALCAIRE	3.8%
■ MO	5.3%
■ CAILLOUX	0.0%
Total :	100.0%

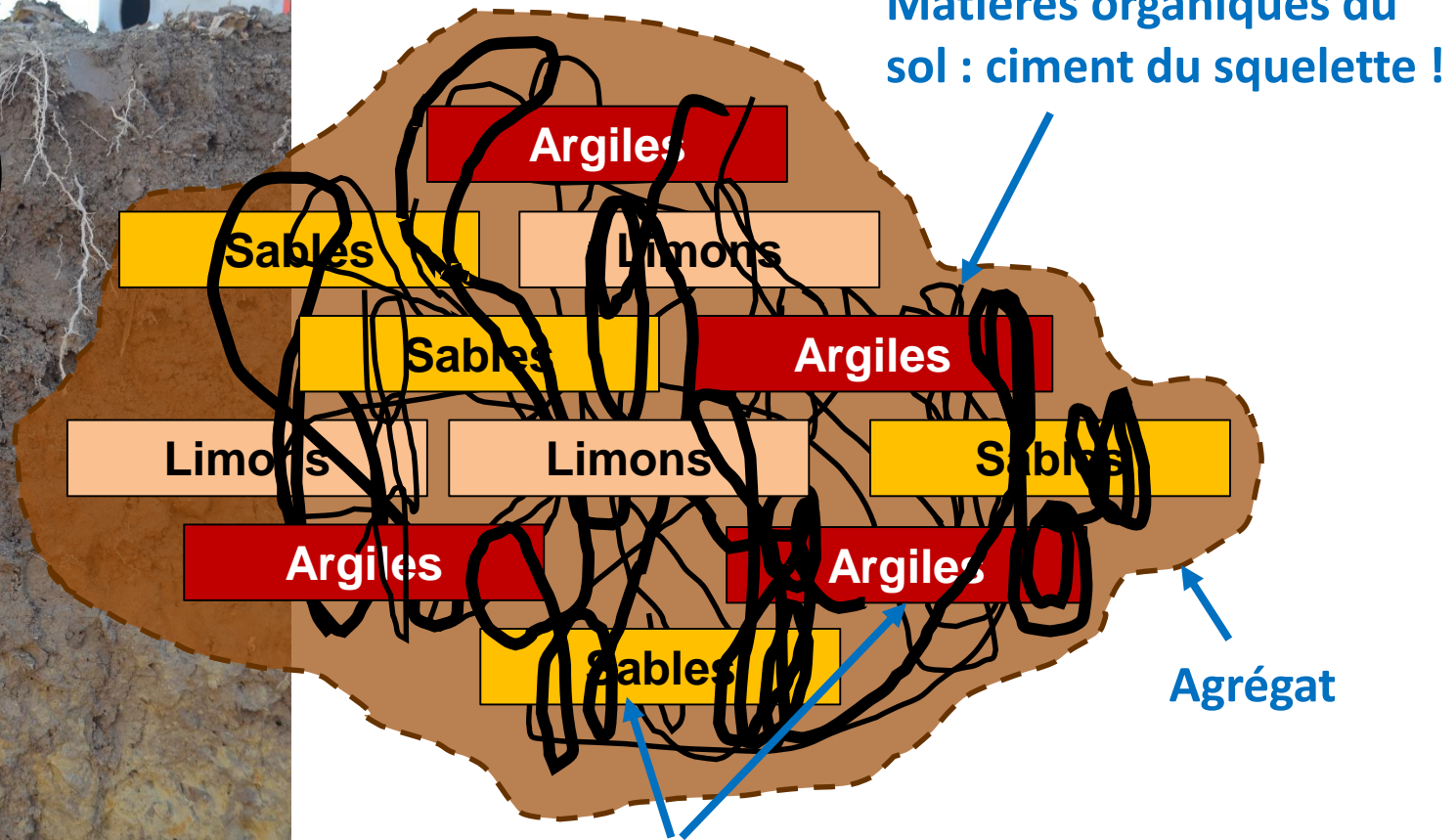
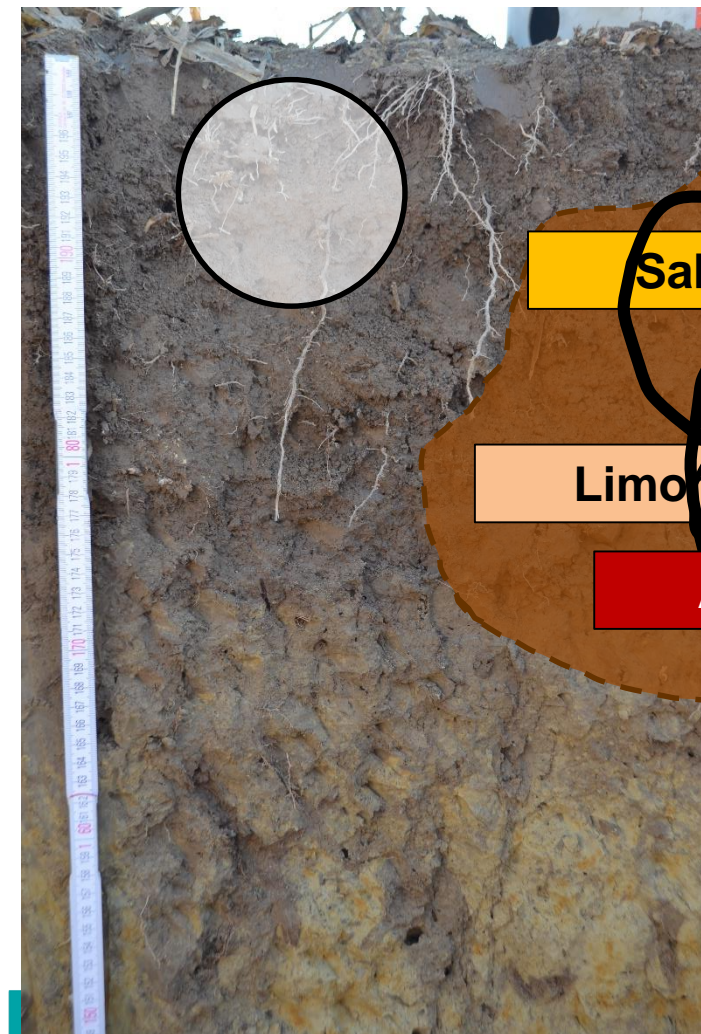


Les pourcentages sont recalculés en tenant compte du taux de Calcaire, du taux de Cailloux et du taux de Matières Organiques.

- ▶ texture du sol : composition granulométrique
- ▶ Teneur en carbone organique (MOS : matières organiques du sol)



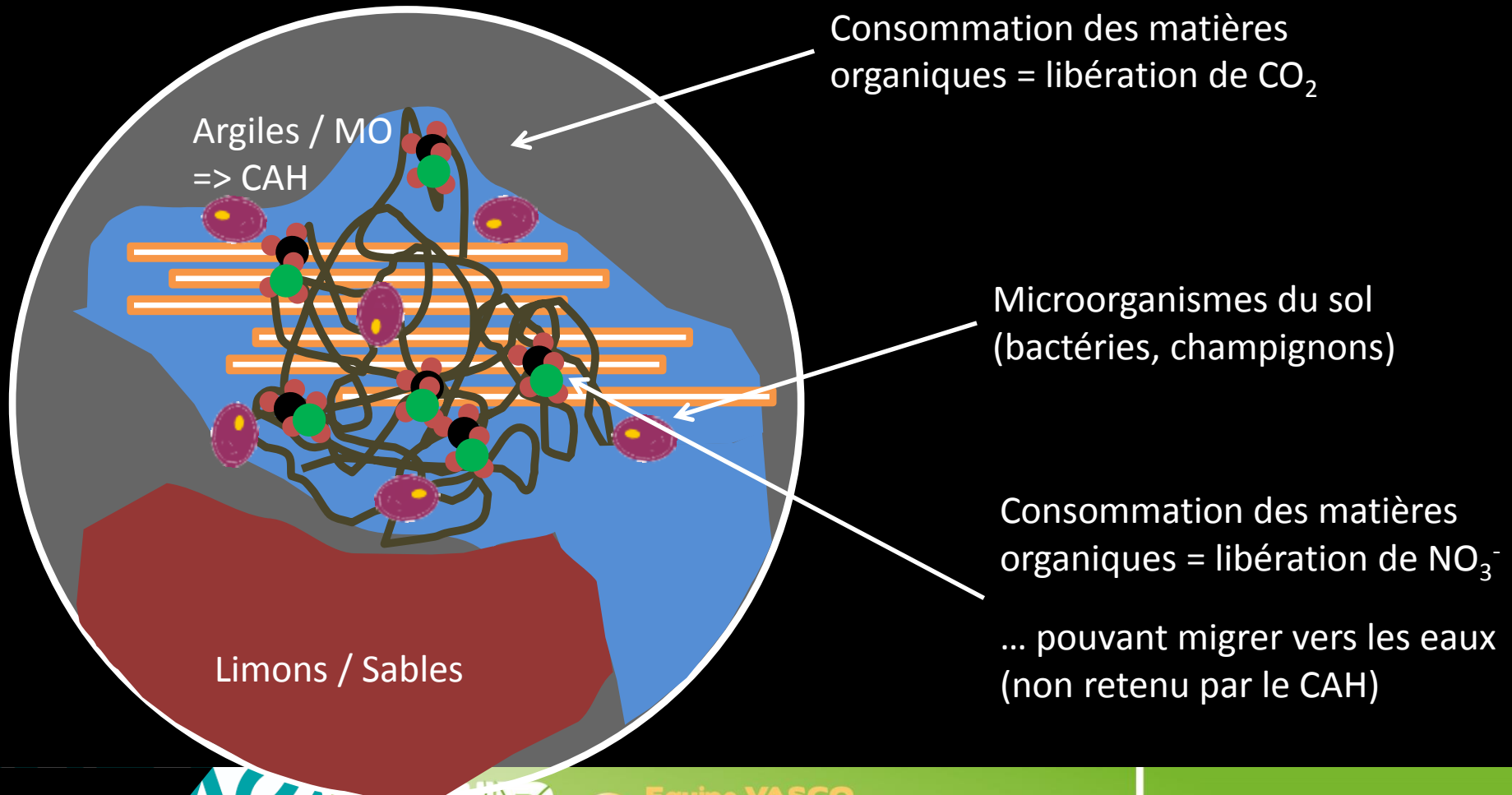
L'analyse de terre : souvent le 1^{er} réflexe à avoir pour mieux connaître son sol



Fraction minérale :
réactivité sables < Limons << Argiles



Quelques éléments de fonctionnement des sols



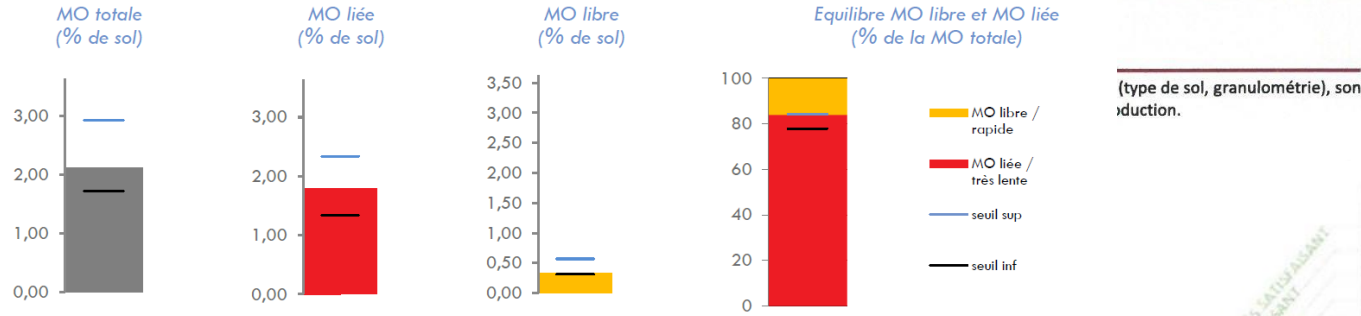
Consommation des matières organiques = libération de CO₂

Microorganismes du sol (bactéries, champignons)

Consommation des matières organiques = libération de NO₃⁻

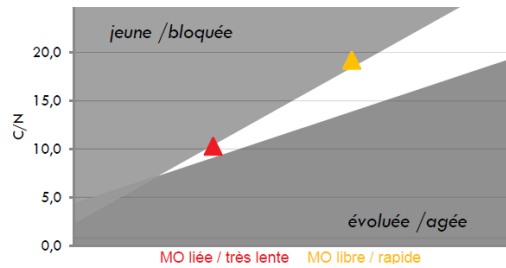
... pouvant migrer vers les eaux (non retenu par le CAH)

L'analyse de terre : souvent le 1^{er} réflexe à avoir pour mieux connaître son sol



(type de sol, granulométrie), son induction.

Etat d'humification des différentes fractions de MO

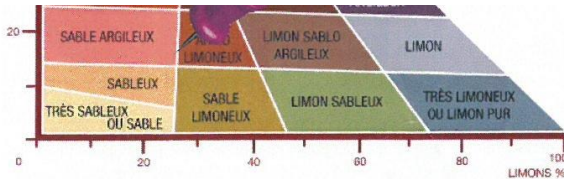


	teneur en % de sol	teneur en % de MO	azote (g/kg)	C/N
MO totale	2,1		1,11	11,1
MO liée	1,8	84	1,01	10,3
MO libre	0,3	16	0,10	19,2



tenant compte du taux de Calcaire, du taux organiques.

► Fractionnement des MOS : équilibre entre MO libres et MO liées

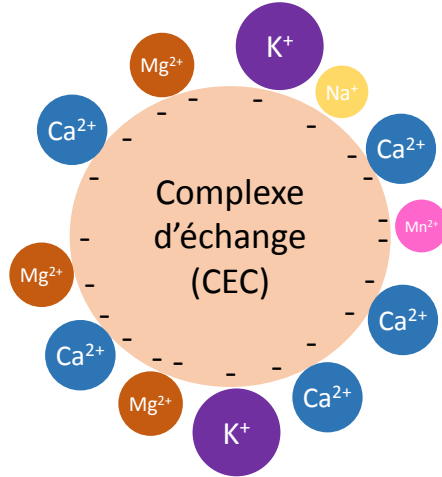


► Teneur en carbone organique (MOS : matières organiques du sol)

► Complexe d'échanges (CEC)

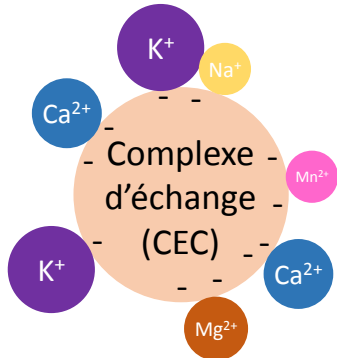
L'analyse de terre : souvent le 1^{er} réflexe à avoir pour mieux connaître son sol

CEC : 200 meq/kg sol (assez élevée)



Taux de saturation de la CEC : 100 %

CEC : 75 meq/kg sol (faible)



► Forte variabilité de la CEC selon sols, pratiques agricoles

► Suivi des teneurs en éléments nutritifs sur le complexe d'échange (taux de saturation) (indicateur simple : pH du sol)

L'analyse de terre : souvent le 1^{er} réflexe à avoir pour mieux connaître son sol

Le Sol : réserve de nourriture pour plantes et faune / 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

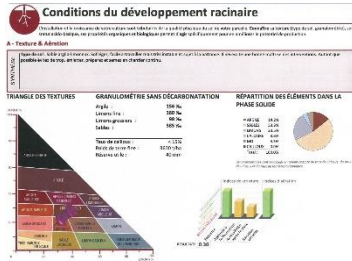
Sol acide : perte de diversité (Al^{3+})



Le diagnostic préalable : quelques outils mobilisables...



Test Bêche - Profil cultural



Analyse de terre

Etat physique

- ▶ structure
- ▶ fonctionnement hydrique

Stabilité

SOL

= système interactif

Porosité

Etat chimique

- ▶ richesse, abondance éléments nutritifs
- ▶ disponibilité

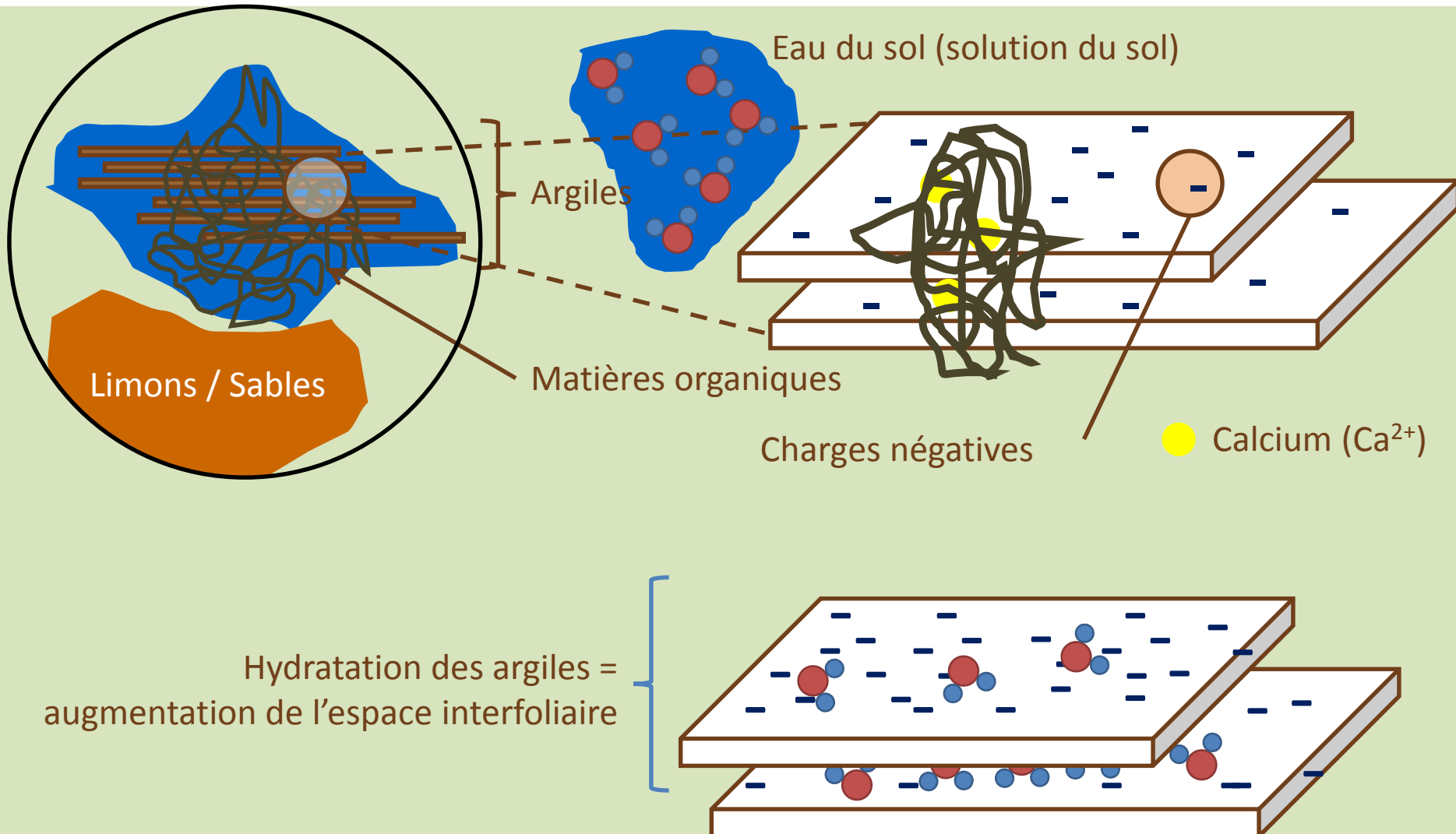
Minéralisation

Etat biologique

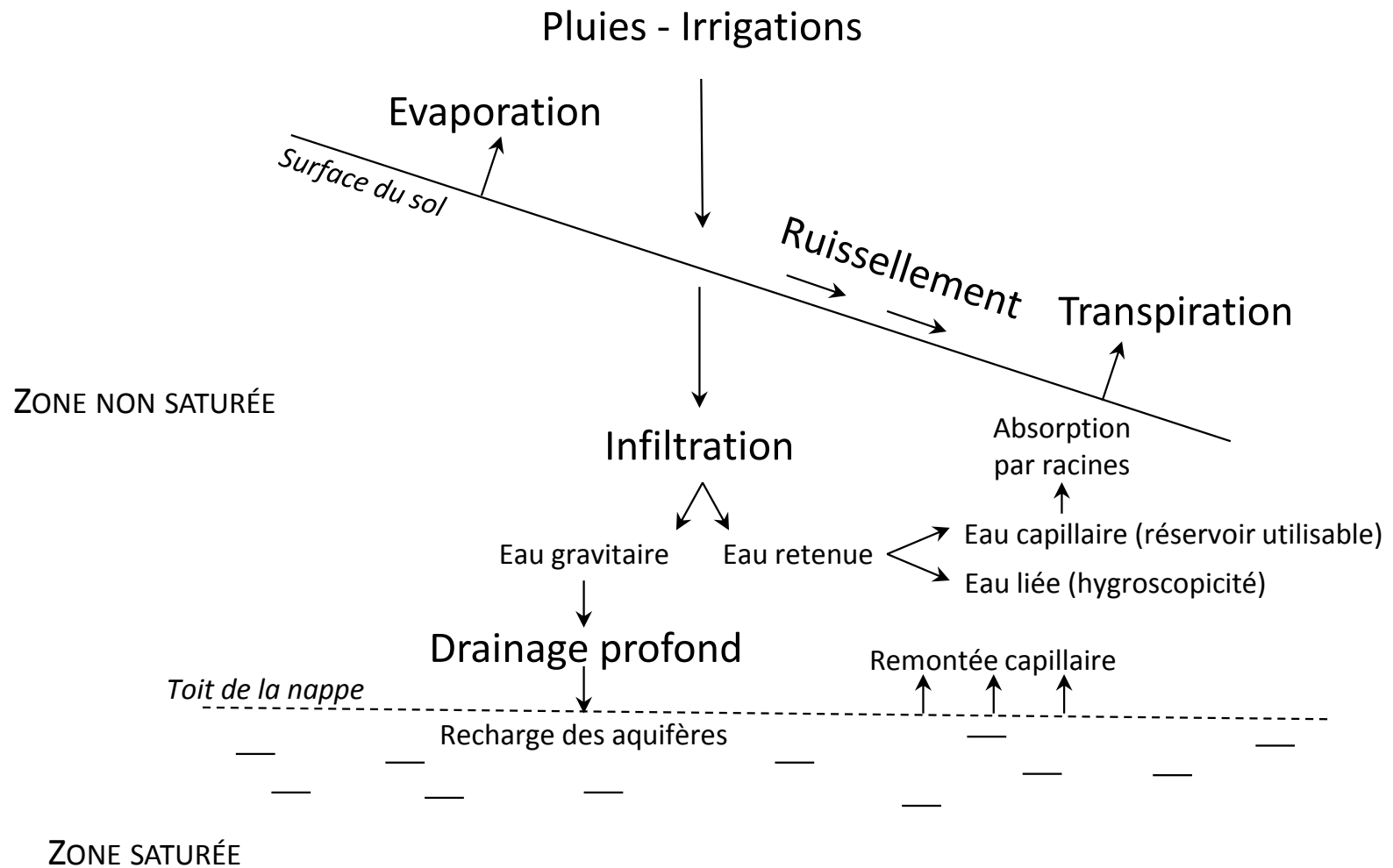
- ▶ diversité, abondance
- ▶ activité (fonctions)



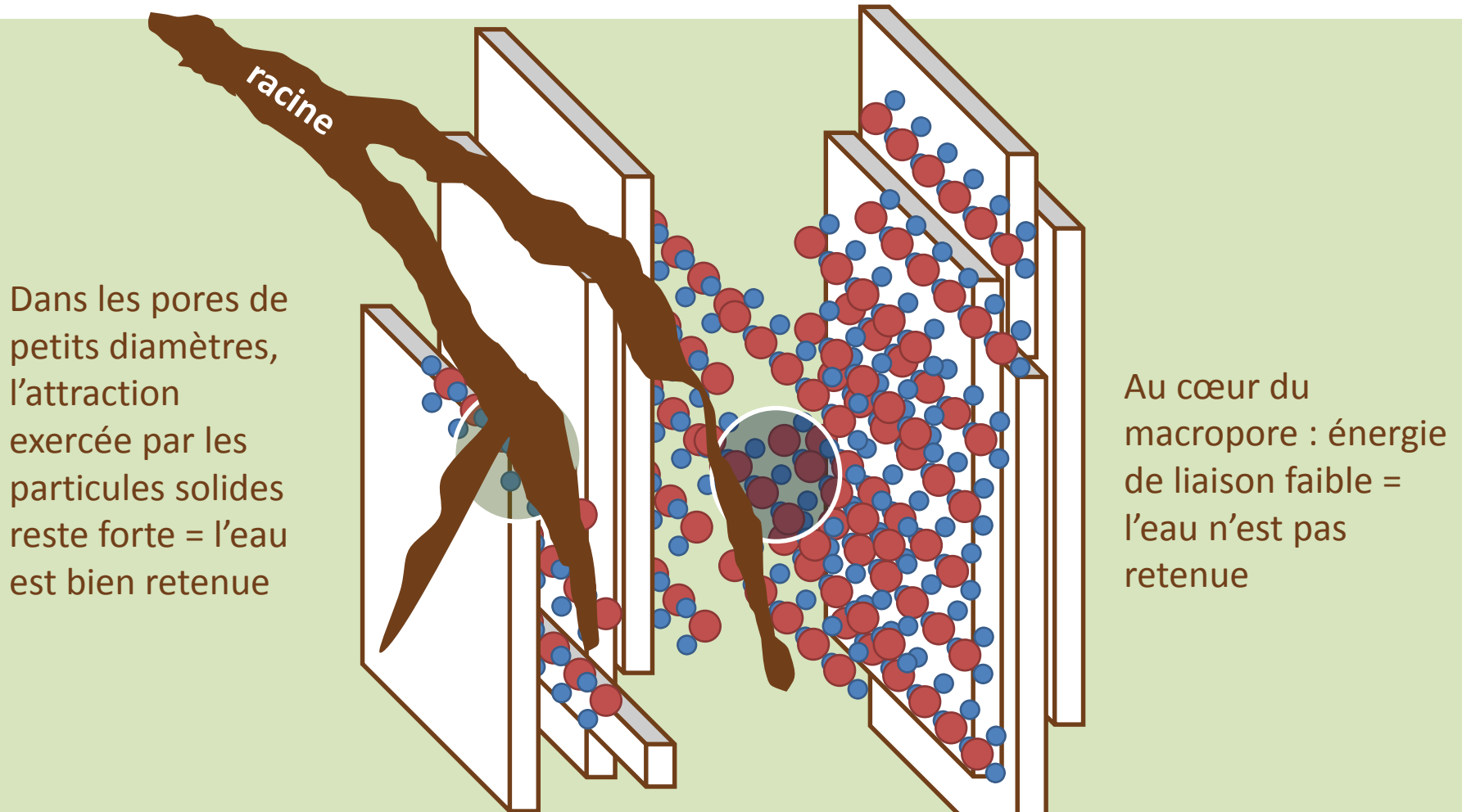
Quelques éléments de fonctionnement des sols : rétention/infiltration



Quelques éléments de fonctionnement hydrique des sols



Quelques éléments de fonctionnement des sols : rétention/infiltration



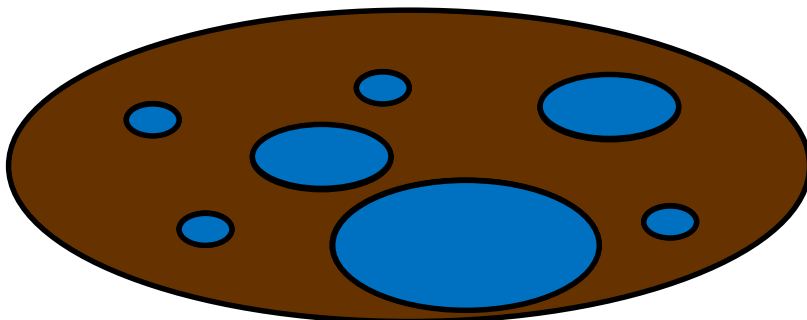
➤ **Potentiel hydrique = état énergétique de l'eau dans le sol**

➤ **Explication des remontées capillaires**

Quelques éléments de fonctionnement des sols : infiltration de l'eau

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

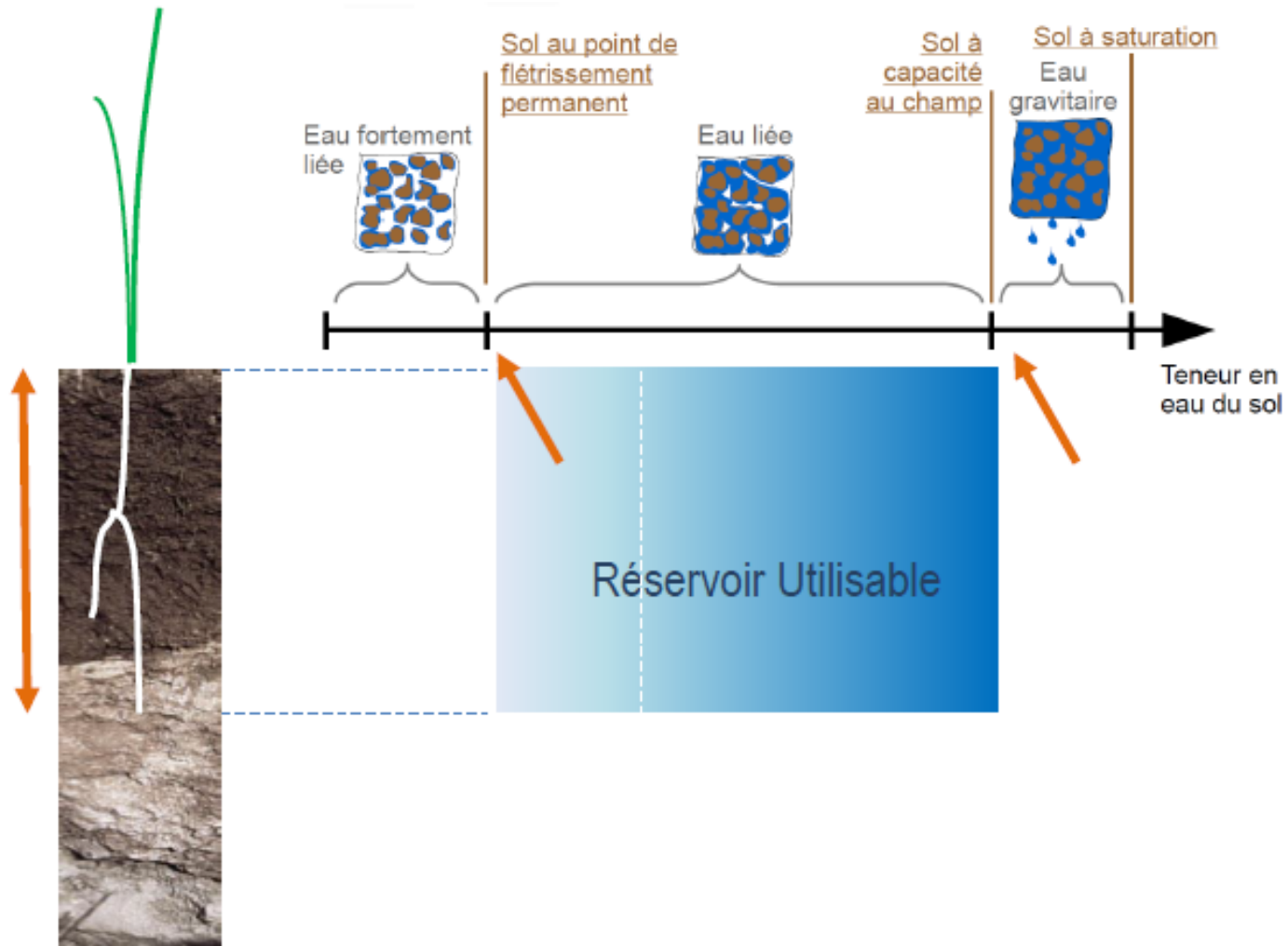
> capacité infiltration pores de taille 2

< 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



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



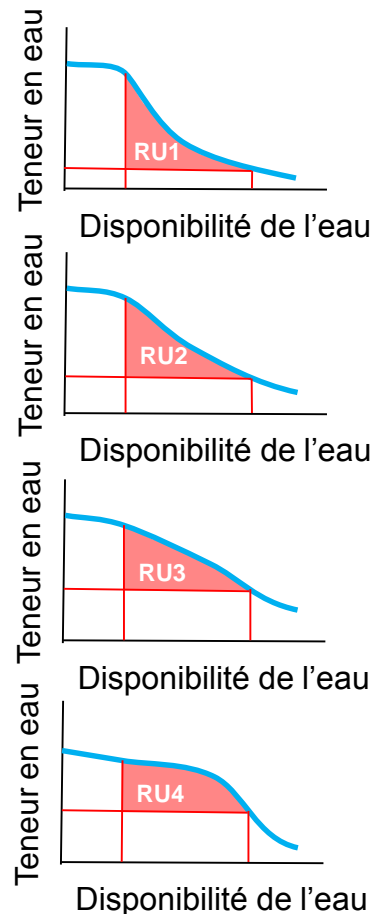
0-30 cm : horizon « travaillé »

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)



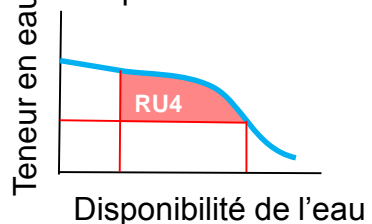
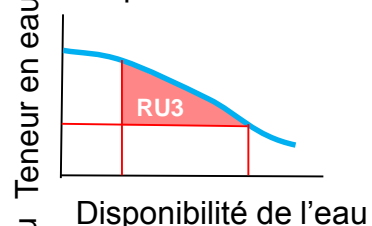
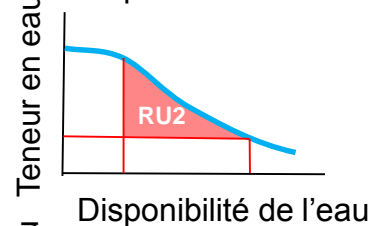
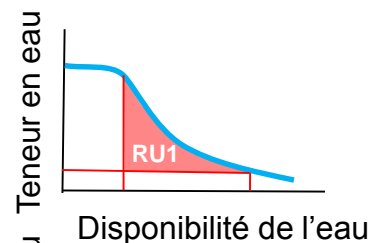
0-30 cm : horizon « travaillé »

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)



Quelques éléments de fonctionnement des sols

Idées reçues

« 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

L'observation du sol : étape indispensable pour en comprendre le fonctionnement !



► Plusieurs méthodes d'observation :

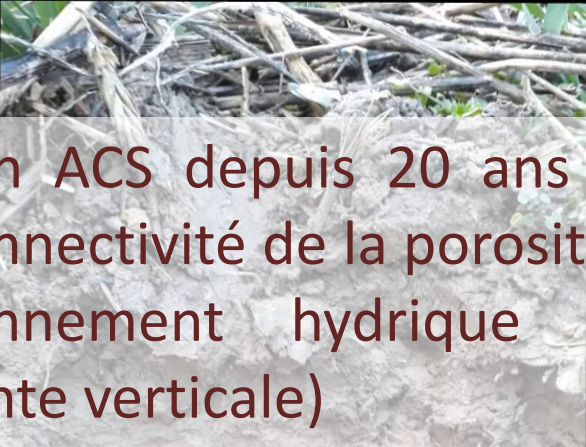
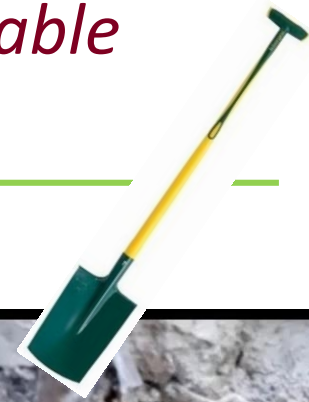
Tests Bêche :



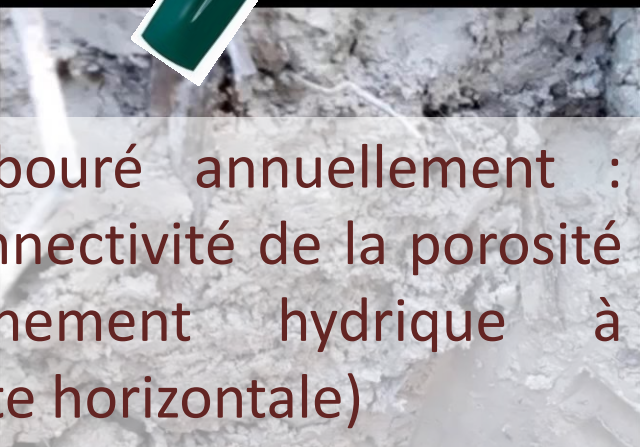
- Très peu coûteux
- Répétition assez simple dans une parcelle
- Prise en main 'assez rapide'
- Très bon outil d'animation
- Observation à la fois physique et biologique
- Possibilité de donner un score (cf VESS)
- Sensibilité à la teneur en eau du sol -> nécessite un sol bien ressuyé
- Limité à l'horizon de surface
- Difficulté à établir les liens entre les états structuraux observés et leur origine
- Difficile à mettre en œuvre sur les sols caillouteux



L'observation du sol : étape indispensable pour en comprendre le fonctionnement !



► Sol en ACS depuis 20 ans : forte connectivité de la porosité (fonctionnement hydrique à dominante verticale)



► Sol labouré annuellement : faible connectivité de la porosité (fonctionnement hydrique à dominante horizontale)















L'observation du sol : étape indispensable pour en comprendre le fonctionnement !



L'observation du sol : étape indispensable pour en comprendre le fonctionnement !



Qualité de la structure	Taille et apparence des agrégats	Porosité visible (œil nu) et racines	Apparence après rupture du bloc	Caractéristique distinctive	Apparence et description d'un agrégat entier ou réduit d'environ 1,5 cm de diamètre	
Score 1 Friable Agrégats qui s'effritent facilement avec les doigts	Principalement < 6 mm après effritement	Très poreux Racines très présentes au travers des agrégats			1 cm 	L'action de rupture du bloc est suffisante pour mettre en évidence les agrégats. Les gros agrégats sont formés de plus petits tenus par les racines
Score 2 Intacte Agrégats facilement à briser à une main	Un mélange d'agrégats poreux et arrondis de 2 mm à 7 cm Pas de mottes	La plupart des agrégats sont poreux Racines très présentes au travers des agrégats			1 cm 	Les agrégats obtenus sont arrondis, très fragiles, s'émiettent très facilement et sont très poreux.
Score 3 Ferme La plupart des agrégats se brisent à une main	Un mélange d'agrégats poreux de 2mm à 10 cm ; moins de 30% sont <1 cm. Certains agrégats angulaires non poreux (mottes) peuvent être présents.	Présence de macropores et de fissures. Porosité et racines visibles dans les agrégats.			1 cm 	Les fragments d'agrégats sont assez faciles à obtenir. Ils ont peu de pores visibles et sont arrondis. Les racines poussent généralement à travers les agrégats.
Score 4 Compacte Nécessite un effort important pour briser les agrégats à une main	Généralement grands > 10 cm et sub-angulaire, non poreux ; moins de 30% sont < 7 cm	Peu de macropores et de fissures Toutes les racines sont regroupées dans des macropores et autour des agrégats.			1 cm 	Les fragments d'agrégats sont faciles à obtenir lorsque le sol est mouillé, sous forme de cube aux arêtes très vives et présentant des fissures à l'intérieur.
Score 5 Très compacte Difficile à briser	Principalement larges > 10 cm, très peu < 7 cm, angulaire et non poreux	Très faible porosité. Des macropores peuvent être présents. Peut contenir des zones anaérobies. Peu de racines, et s'il y en a, limitées aux fissures			1 cm 	Les fragments d'agrégats sont faciles à obtenir lorsque le sol est humide, bien qu'une force importante puisse être nécessaire. Aucun pores ou fissures ne sont généralement visibles

L'observation du sol : étape indispensable pour en comprendre le fonctionnement !



► Plusieurs méthodes d'observation :

Profil cultural :

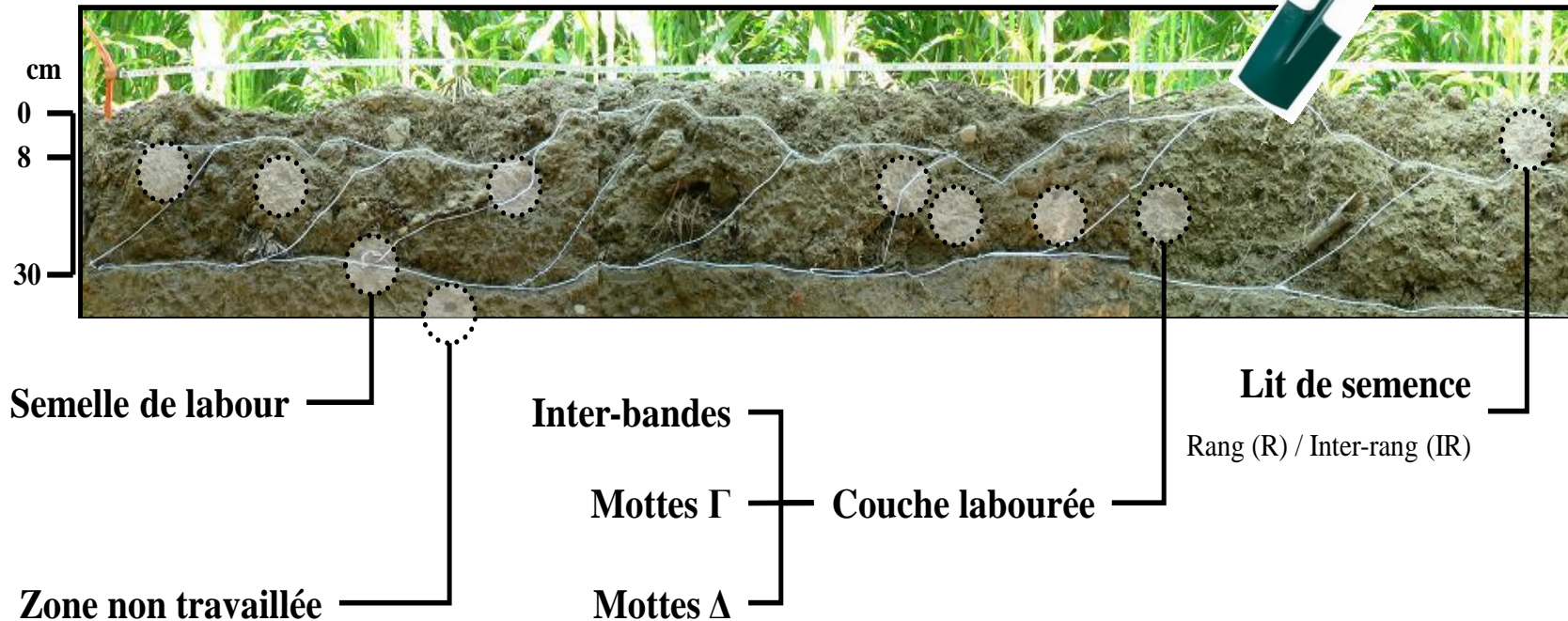
(Gautronneau et Manichon, 1987)



- Diagnostic performant des problèmes (ou absence) de propriétés physiques
- Très bon outil d'animation
- Observation à la fois physique et biologique
- Evaluation de la prospection racinaire (=> RU)
- Lourd à mettre en œuvre
- Nécessite un apprentissage pour une description efficace
- Faible exploration de la variabilité sur une parcelle

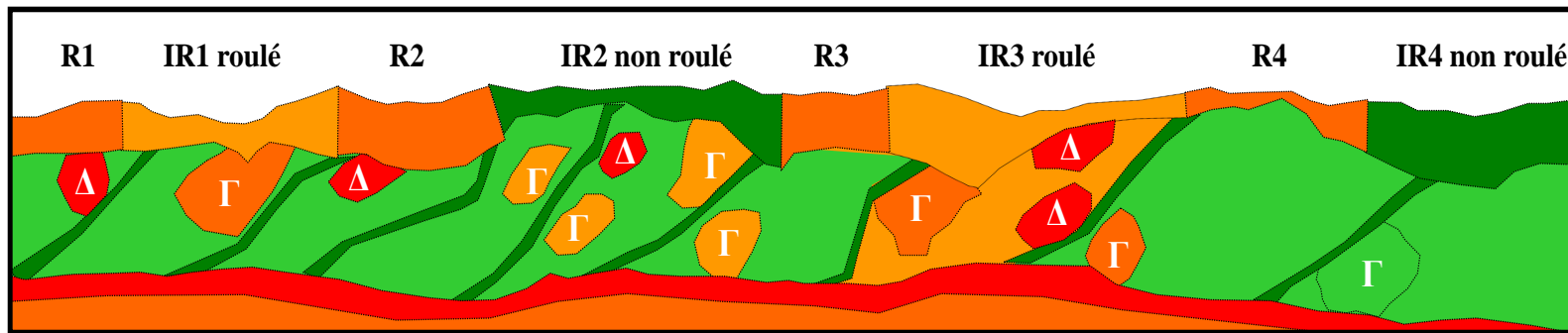


L'observation du sol : étape indispensable pour en comprendre le fonctionnement !

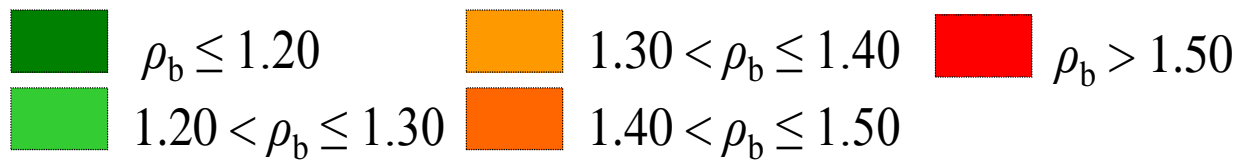


► Sol labouré annuellement en monoculture de maïs, sol nu en période d'interculture

L'observation du sol : étape indispensable pour en comprendre le fonctionnement !



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



L'observation du sol : étape indispensable pour en comprendre le fonctionnement !



Zone non travaillée

Zone de type Γ (Γ_{like})

Zone de type Δ (Δ_{like})

**Galeries de vers –
Fissures verticales**

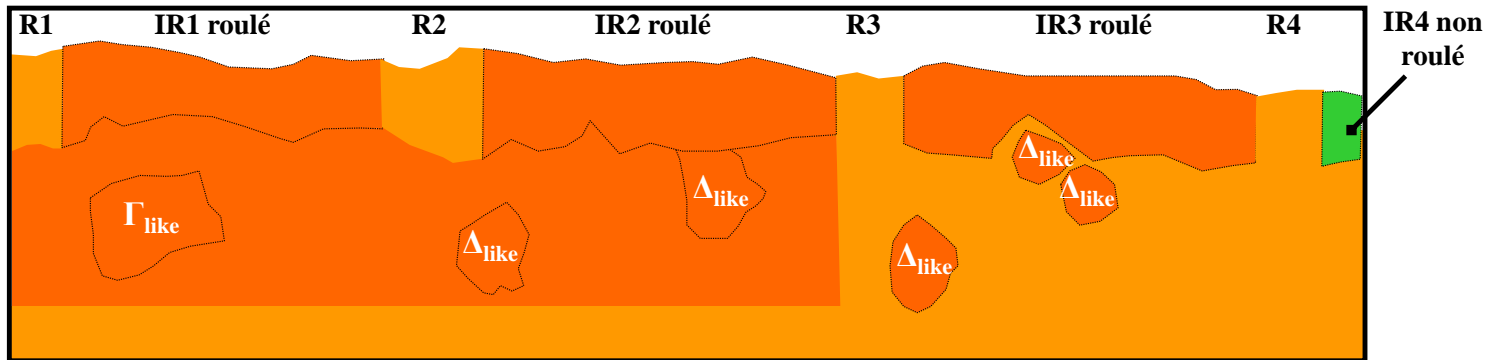
**Ancienne couche
labourée**

Lit de semence

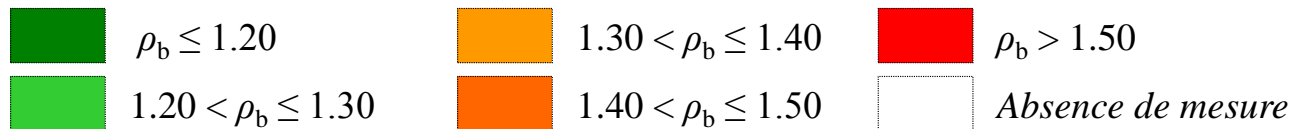
Rang (R) / Inter-rang (IR)

► Sol en travail superficiel (8 cm) depuis 5 années, en monoculture de maïs, sol couvert en période d'interculture

L'observation du sol : étape indispensable pour en comprendre le fonctionnement !



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



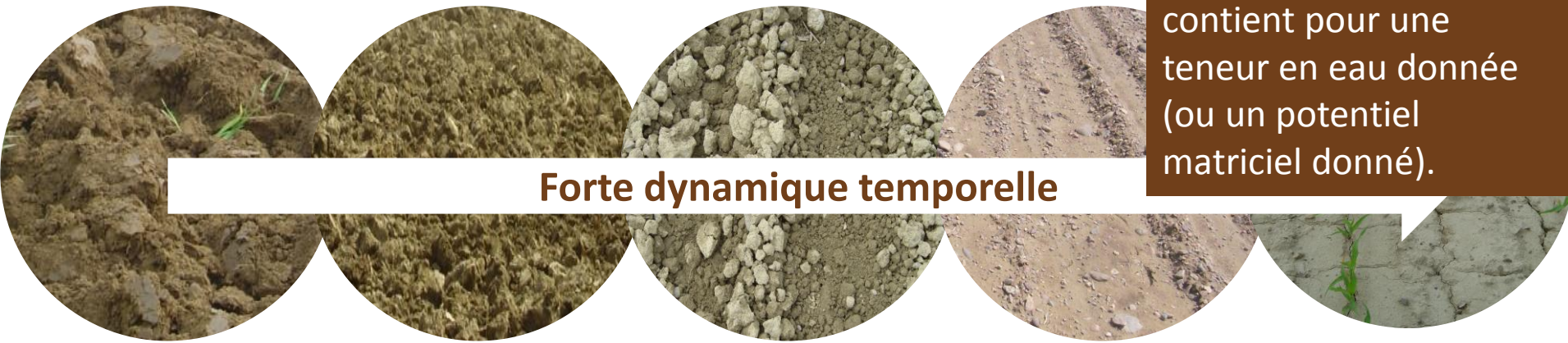
L'observation du sol : étape indispensable pour en comprendre le fonctionnement !

- ▶ Densité apparente souvent plus élevée mais conductivité hydraulique souvent améliorée, sans rupture de continuité hydraulique
 - ▶ **La densité apparente n'est pas un indicateur satisfaisant des propriétés physiques pour les systèmes en #ACS**



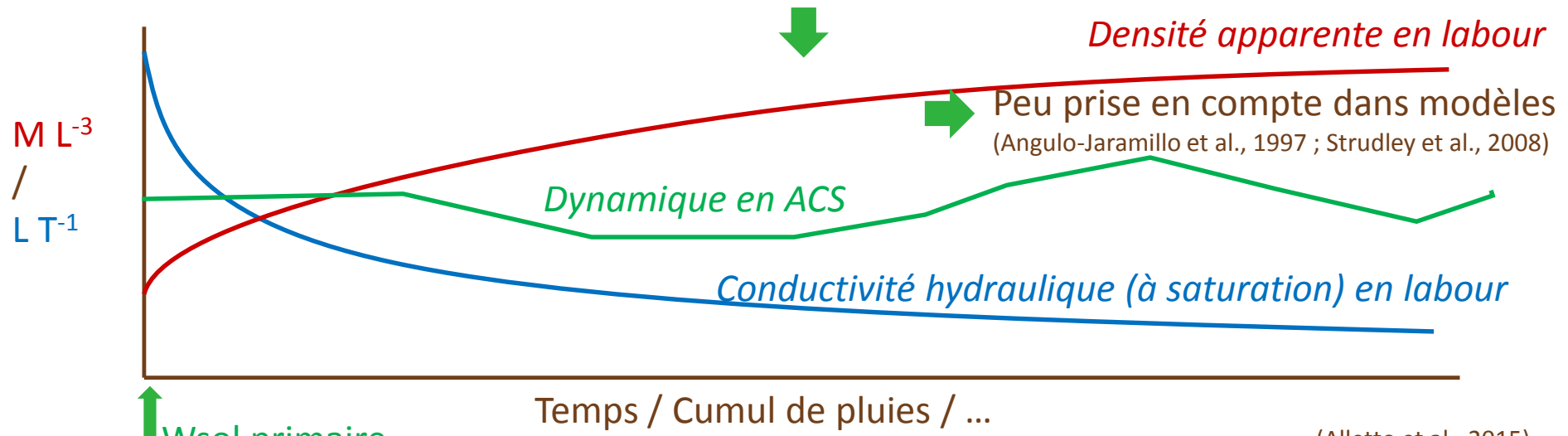
L'observation du sol : étape indispensable pour en comprendre le fonctionnement !

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)





Technique conventionnelle



19 juillet 2005
270 mm de pluie

Technique de conservation

L'observation du sol : étape indispensable pour en comprendre le fonctionnement !



► Plusieurs méthodes d'observation :

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



► 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 sol

→ Pas

►

►

►

►

►

►

►

Levier n°1 :
les couverts
végétaux !

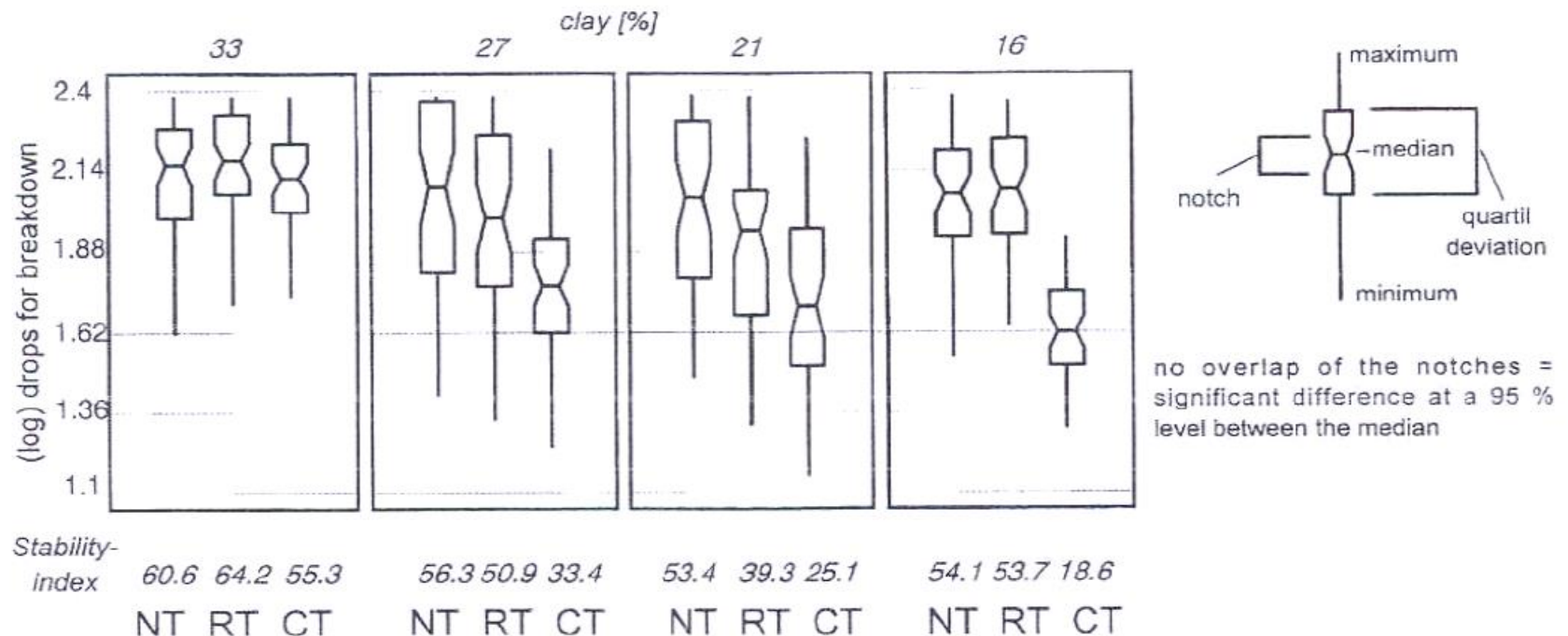


Dpt	Site	t C / ha
32	ACS	≈ 70
	Labour	≈ 50
64	ACS	≈ 116
	Labour	≈ 113
81	ACS	≈ 65
	Labour	≈ 65

©Ferrié, CA81

L'observation du sol : étape indispensable pour en comprendre le fonctionnement !

► **la stabilité des agrégats dépend des types de sol** : si sols très argileux, le raisonnement du travail du sol doit être accompagné d'une réflexion sur les autres leviers (couverture du sol notamment)

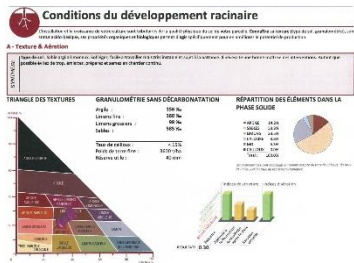


(Gross, 1996)

Le diagnostic préalable : quelques outils mobilisables...



Test Bêche - Profil cultural



Analyse de terre

Etat physique

- ▶ structure
- ▶ fonctionnement hydrique

Stabilité

SOL

= système interactif

Porosité

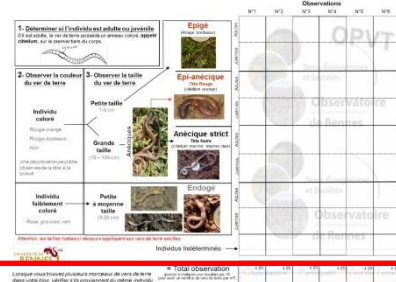
Etat chimique

- ▶ richesse, abondance éléments nutritifs
- ▶ disponibilité

Minéralisation

Etat biologique

- ▶ diversité, abondance
- ▶ activité (fonctions)



Activité biologique des sols : quelques outils simples pour suivre son évolution...

► Prélèvement de vers de terre : protocole OPVT

- Peu couteux
- Très pédagogique : peut être réalisé directement avec des groupes au champ
- Possibilité de participer à une démarche nationale = permet de comparer les valeurs obtenues, d'échanger sur les pratiques améliorantes

The diagram illustrates the OPVT protocol for earthworm identification. It is divided into three main steps:

- 1- Déterminer si l'individu est adulte ou juvénile**: If an individual is adult, the color of the clitellum (the clitellum) is observed.
- 2- Observer la couleur du ver de terre**: Earthworms are categorized by color: Individu coloré (Rouge-orange, Rouge-brunâtre, Noir), Individu faiblement coloré (Rose-gris-ocre-vert), and Individu indéterminés.
- 3- Observer la taille du ver de terre**: Earthworms are categorized by size: Petite taille (1-5 cm), Grand taille (10-100 cm), and Petite à moyenne taille (3-20 cm).

Based on these observations, earthworms are classified into five types:

- Epigé** (Rouge-brunâtre)
- Epi-anécique** (Tête Rouge / Clitellum orange)
- Anécique strict** (Tête Noire / Clitellum blanc, souvent clair)
- Endogé**
- Individus Indéterminés**

Below the diagram is an observation table with 6 columns (N°1 to N°6) and 6 rows (ALP/VE, ALP/VE, ALP/VE, ALP/VE, ALP/VE, ALP/VE). A 'Total observation' row at the bottom shows a count of x 25 for each column. A note states: 'Lorsque vous trouvez plusieurs morceaux de vers de terre dans votre bloc, vérifiez s'ils proviennent du même individu avant de les compter.' Another note says: '* Total observation pour le nombre de vers de terre par 25 cm³ de terre'.

- Nécessite de se former à l'identification des vers de terre (pas toujours simple)
- Assez lourd à mettre en œuvre sur le terrain : manipulation de blocs de terre assez lourds, émiettement pas toujours simple

Activité biologique des sols : quelques outils simples pour suivre son évolution...

► Outils illustrant l'activité biologique (principalement microflore) des sols



Populaire : le test du Slip

Litter bag, Tea Bag, LEVABag©

- Peu coûteux ; Simple à mettre en place sur le terrain
- Comparaison de parcelles ou suivi évolution en lien avec des modifications de pratiques
- Assez pédagogique
- Interprétation parfois complexe : caractériser les conditions du test (systèmes de culture, conditions du sol à l'enfouissement, ...)
- Parfois laborieuse au champ (décoller les particules de sol des sachets)
- Très pédagogique
- Interprétation complexe (pas de mesures réelles : observation de décomposition)

Quelles étapes pour faire évoluer le fonctionnement de son sol ?

► **Définir ses objectifs** : *pourquoi je souhaite modifier mes systèmes de culture ?*

► **Caractériser l'état initial de son/ses sol/s** : *quel est le potentiel actuel du milieu ? Est-ce que des problèmes de fonctionnement sont identifiés ?*

► **Construire son programme d'actions** : *priorisation des leviers, définition des règles de décision, planification d'un suivi de l'évolution du fonctionnement du sol*

(accompagnement individuel et/ou collectif)

Quelles étapes pour faire évoluer le fonctionnement de son sol ?

► Implique le plus souvent de reconcevoir le système de culture

= les démarches participatives sont des outils pertinents pour inciter les acteurs (agriculteurs) à définir leurs objectifs et à mobiliser différents leviers

Quelles étapes pour faire évoluer le fonctionnement des SdC ?

Travailler en
jouant !
= Serious Game

Reception de (prototypes de) SdC

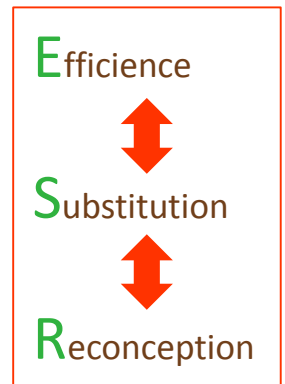
(Papy, 2001 ; Nolot et Debaeke, 2003 ; Debaeke et al., 2009)

- i Identification des forces / faiblesses du SdC 'initial'
- ii Définition & priorisation des objectifs affectés au SdC alternatif



iii Identification & articulation des leviers agronomiques

- ▶ Allongement des rotations
- ▶ Lutte alternative (faux semis, désherbage mixte)
- ▶ Localisation des intrants
- ▶ Localisation / Suppression du travail du sol
- ▶ Utilisation de cultures intermédiaires
- ▶ Optimisation des variétés
- ▶ Utilisation OAD



Attoumani-Ronceux et al., 2011

Quelles étapes pour faire évoluer le fonctionnement de son sol ?

► Atelier de Co-conception de (prototypes de) SdC

Ah oui effectivement les problèmes d'érosion que tu évoques sont importants !

Il faut couvrir au maximum tes sols !
Sol nu : sol foutu 😊

Ça me va!! On va construire un système avec des couverts aux moments où mes sols étaient nus jusqu'à présent !



Quelles étapes pour faire évoluer le fonctionnement de son sol ?

► Démarche de travail : **Co-conception de (prototypes de) SdC**

(Papy, 2001 ; Nolot et Debaeke, 2003 ; Debaeke et al., 2009)

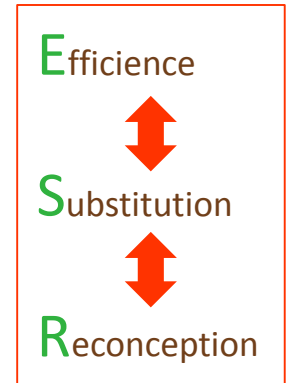
i Identification forces / faiblesses du SdC 'initial'

ii Définition & priorisation des objectifs affectés au SdC alternatif



iii Identification & articulation des leviers agronomiques

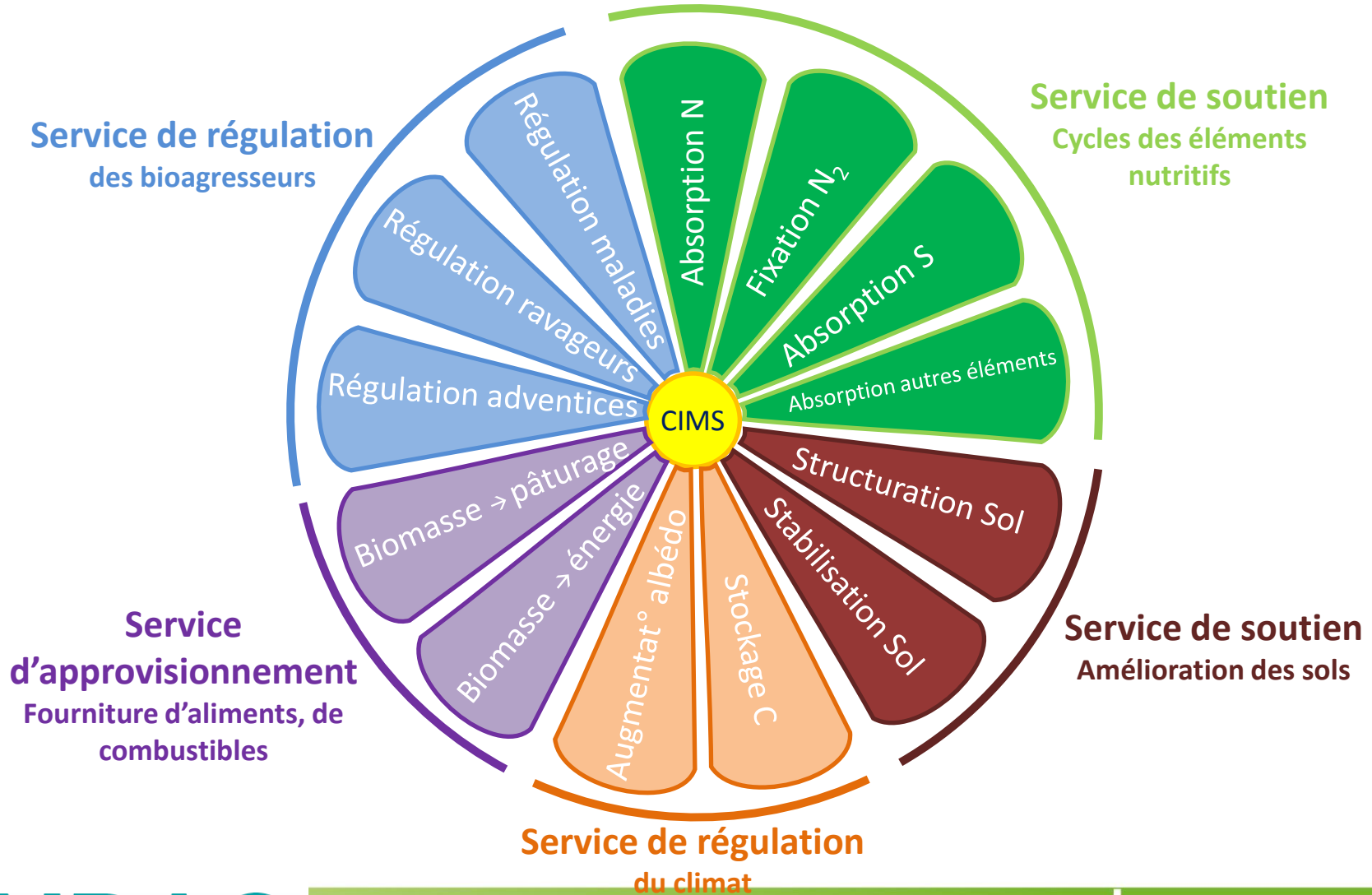
iv Evaluation des performances du SdC : *observations/mesures/indicateurs*



Attoumani-Ronceux et al., 2011



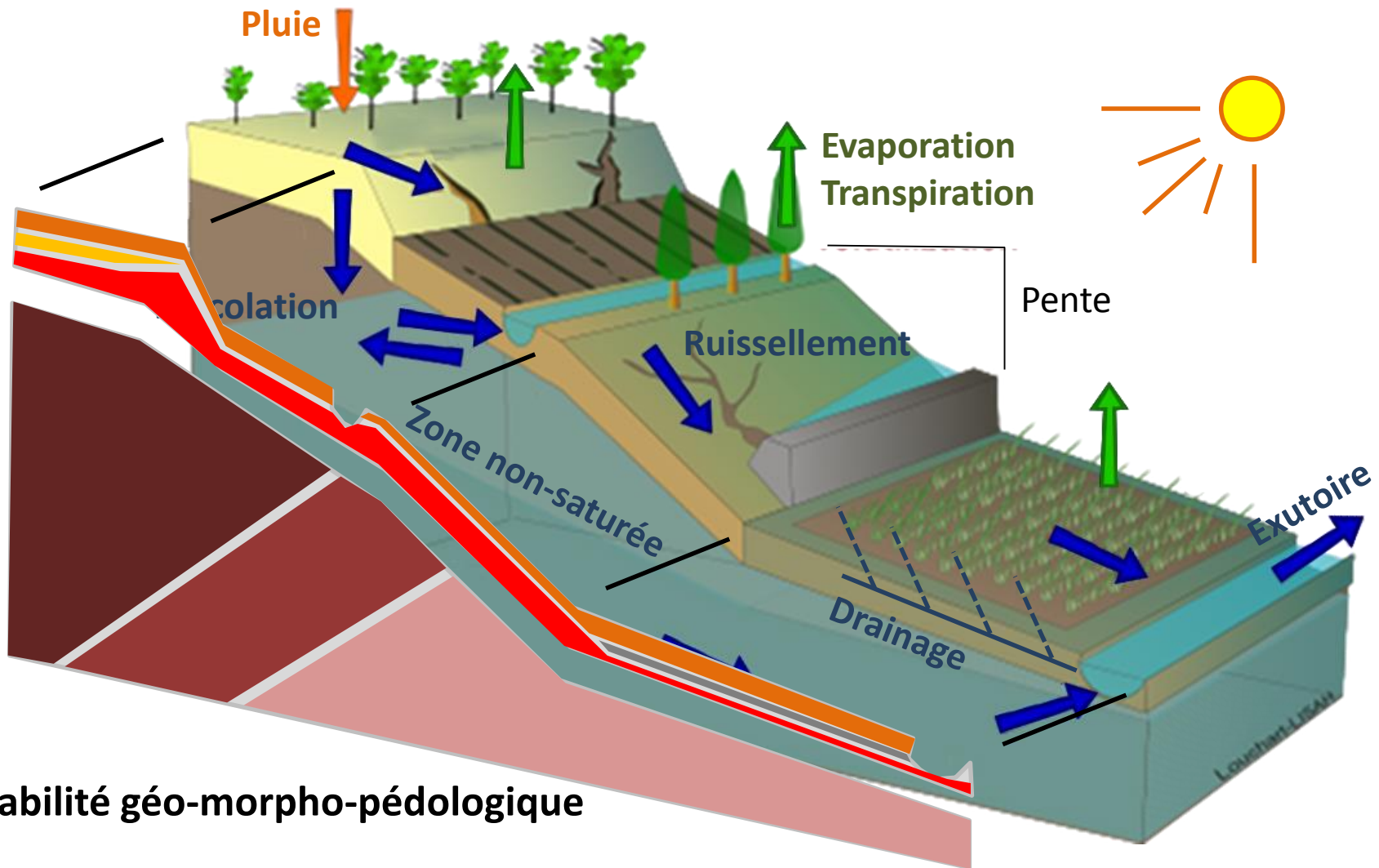
En bref : les Cultures IntermédiaIRES Multi-Services (CIMS), levier polyvalent d'amélioration des sols



Focus détaillé sur le **ruissellement** et l'**érosion des sols**

quelques éléments pour mieux cerner les enjeux et agréger les éléments présentés précédemment





Ruissellement et érosion des sols, quelques éléments pour mieux cerner les enjeux...

3 origines principales :

- 1- **Erosion hydrique** : processus majeur en France (et dans de nombreux pays) (≈ 26 M ha concernés en Europe) (Le Bissonnais 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...



© Ferrié, CA81



Même les sols riches en MO sont concernés



© Ferrié, CA81



© Ferrié, CA81

Diverses formes de ravines



© Ferrié, CA81



© Ferrié, CA81



Même sur de faibles pentes



©Ferrié, CA81

Erosion aratoire



Erosion aratoire



Erosion aratoire



Erosion aratoire



Erosion des sols : *une forme ignorée...*



Erosion des sols due aux récoltes !

Estimée aujourd'hui à 2,4 t/ha/an en Belgique (betteraves, pommes de terre, carottes)



Available online at www.sciencedirect.com



Agriculture, Ecosystems and Environment 126 (2008) 217–228

**Agriculture
Ecosystems &
Environment**

www.elsevier.com/locate/agee

Spatial and long-term variability of soil loss due to crop harvesting and the importance relative to water erosion: A case study from Belgium

G. Ruyschaert^{a,b,*}, J. Poesen^a, B. Notebaert^a, G. Verstraeten^a, G. Govers^a

^a Physical and Regional Geography Research Group, K.U. Leuven, Geo-Institute, Celestijnenlaan 200E, 3001 Leuven, Belgium
^b Institute for Agricultural and Fisheries Research (ILVO), Burg. Van Gansberghelaan 109, 9820 Merelbeke, Belgium

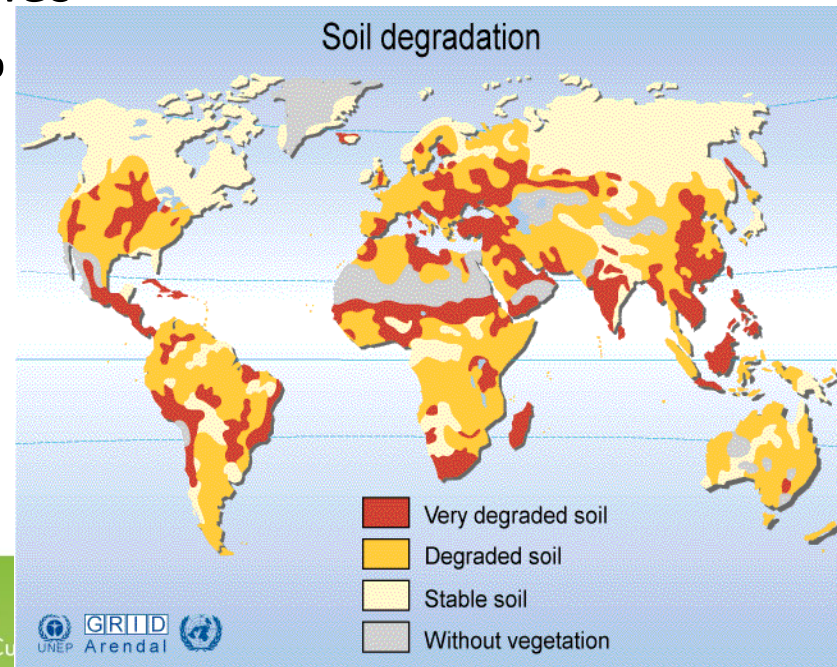
Received 8 October 2007; received in revised form 28 January 2008; accepted 29 January 2008

Available online 14 March 2008



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 \approx 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 : ≈ 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*

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

▶ Réduire l'énergie cinétique des pluies

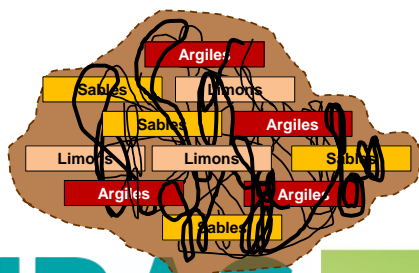
▶ Maximiser la couverture du sol dans l'espace et le temps

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

▶ Réduire / supprimer le travail du sol

▶ Accroître les capacités d'infiltration

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



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

Agron. Sustain. Dev. 28 (2008) 65–86
© INRA, EDP Sciences, 2008
DOI: 10.1051/agro:2007062

Available online at:
www.agronomy-journal.org

Review article

Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review

Víctor Hugo DURÁN ZUAZO^{1,2*}, Carmen Rocío RODRÍGUEZ PLEGUEZUELO^{1,2}

¹ IFAPA Centro Camino de Purchil, Apdo. 2027, 18080-Granada, Spain

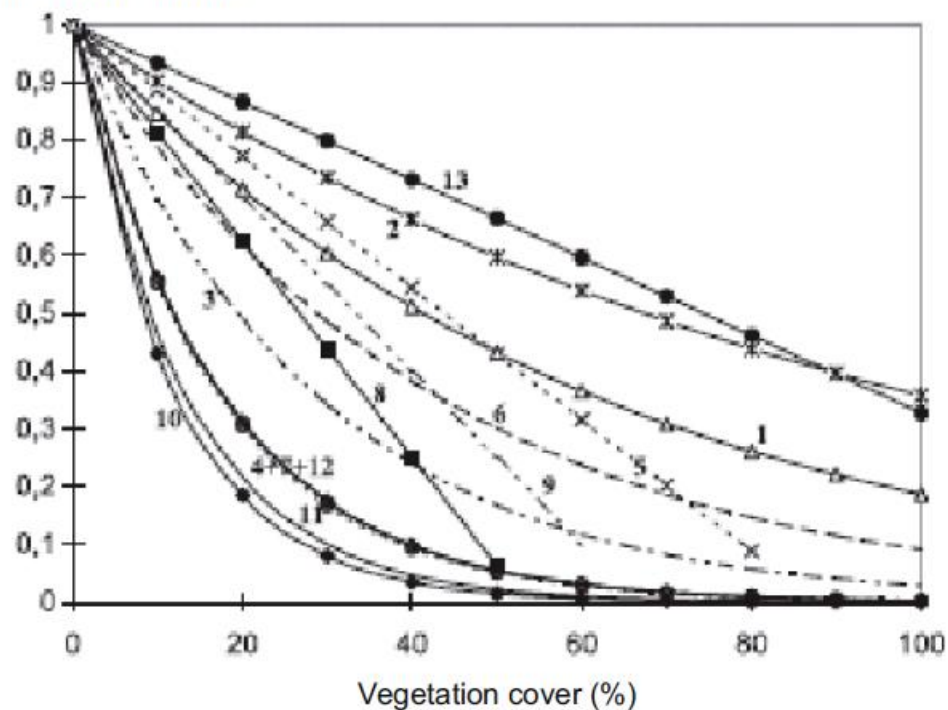
² USDA-National Soil Erosion Research Laboratory, 275 S. Russell Street, West Lafayette, IN 47907-2077, USA

(Accepted 10 December 2007)



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).

Maïs



25



50



75



90

Sorgho



Blé



Soja





Mulching practices for reducing soil water erosion: A review

Massimo Prosdocimi ^{a,*}, Paolo Tarolli ^a, Artemi Cerdà ^b

^a Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padova, Agripolis, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro, PD, Italy

^b Soil Erosion and Degradation Research Group, Department of Geography, University of Valencia, Blasco Ibáñez, 28, 46010 Valencia, Spain

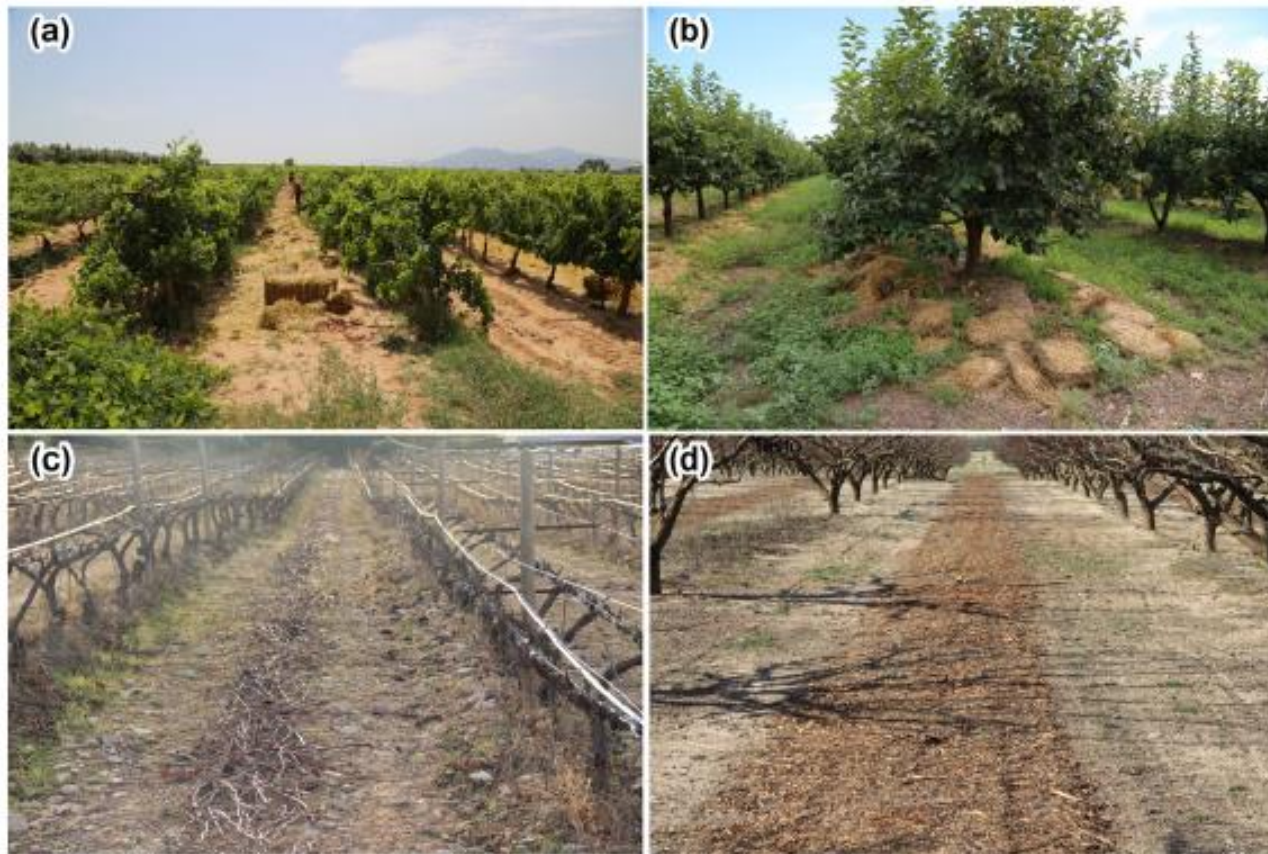


Fig. 1. Straw mulching (a and b) and mulching with prunings (c) applied along vine inter-rows, and mulching with chopped prunings (d) used in an apricot orchard. These pictures were taken at Celler del Roure and Casa Pago Gran in Les Alcusses de Moixent (Province of Valencia, Spain) (photos by A. Cerdà).



Mulching practices for reducing soil water erosion: A review

Massimo Prosdocimi ^{a,*}, Paolo Tarolli ^a, Artemi Cerdà ^b

^a Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padova, Agripolis, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro, PD, Italy

^b Soil Erosion and Degradation Research Group, Department of Geography, University of Valencia, Blasco Ibáñez, 28, 46100 Valencia, Spain



Table 4

Relative percentage changes in terms of the soil erosion rate (ER) induced by the mulching (M) application with respect to control (C) plots, as computed for the runoff plot measurement method (RP).

References	ER (Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)		Reduction (%)
	C	M	
Bekele and Thomas (1992)	203.50	178.50	− 12.3
	–	161.50	− 20.6
	–	149.50	− 26.5
Albaladejo Montoro et al. (2000)	1.70	0.09	− 94.8
	Barton et al. (2004)	0.83	0.46
Liu et al. (2012)	4.17	0.90	− 78.4
	7.50	1.37	− 81.7
	0.94	0.77	− 18.2
	1.02	0.80	− 21.7
Díaz-Raviña et al. (2012)	2.04	0.22	− 89.2
Fernández and Vega (2014)	5.40	0.50	− 90.7
	–	0.70	− 87.0
	Prats et al. (2014)	8.48	0.63
Mwango et al. (2016)	124.30	7.86	− 93.7
	131.60	7.55	− 93.9
	183.60	5.08	− 96.1
	75.60	5.31	− 96.0
	–	19.22	− 89.5
	–	19.50	− 89.4
	–	7.57	− 90.0
–	8.10	− 89.3	

2- Stabiliser les agrégats

▶ Accroître les teneurs en C organique dans les horizons de surface des sols

European Journal of Soil Science, June 2007, 58, 722–727

doi: 10.1111/j.1365-2389.2006.00861.x

Effects of organic matter and calcium on soil structural stability

M. N. WUDDIVIRA & G. CAMPS-ROACH

Department of Food Production, Faculty of Science and Agriculture, The University of the West Indies, St Augustine, Trinidad, West Indies

Table 4 Percentage water-stable aggregates for three soils treated at three levels of organic matter and three of Ca²⁺

Soil type	Organic matter/%	Ca ²⁺ concentration M		
		0	0.05	1
Bejucal	0	60.3	45.8	46.3
	4	58.0	46.4	42.4
	12	49.9	59.1	45.4
Non-Pareil	0	70.7	76.1	70.3
	4	73.4	75.1	68.3
	12	70.6	74.9	80.8
Piarco	0	39.9	47.7	52.2
	4	34.7	42.6	47.0
	12	43.9	53.8	66.3
LSD	4.5			

→ Intégrer un suivi du pH dans le raisonnement : à adapter f° type de sol

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



Technique conventionnelle

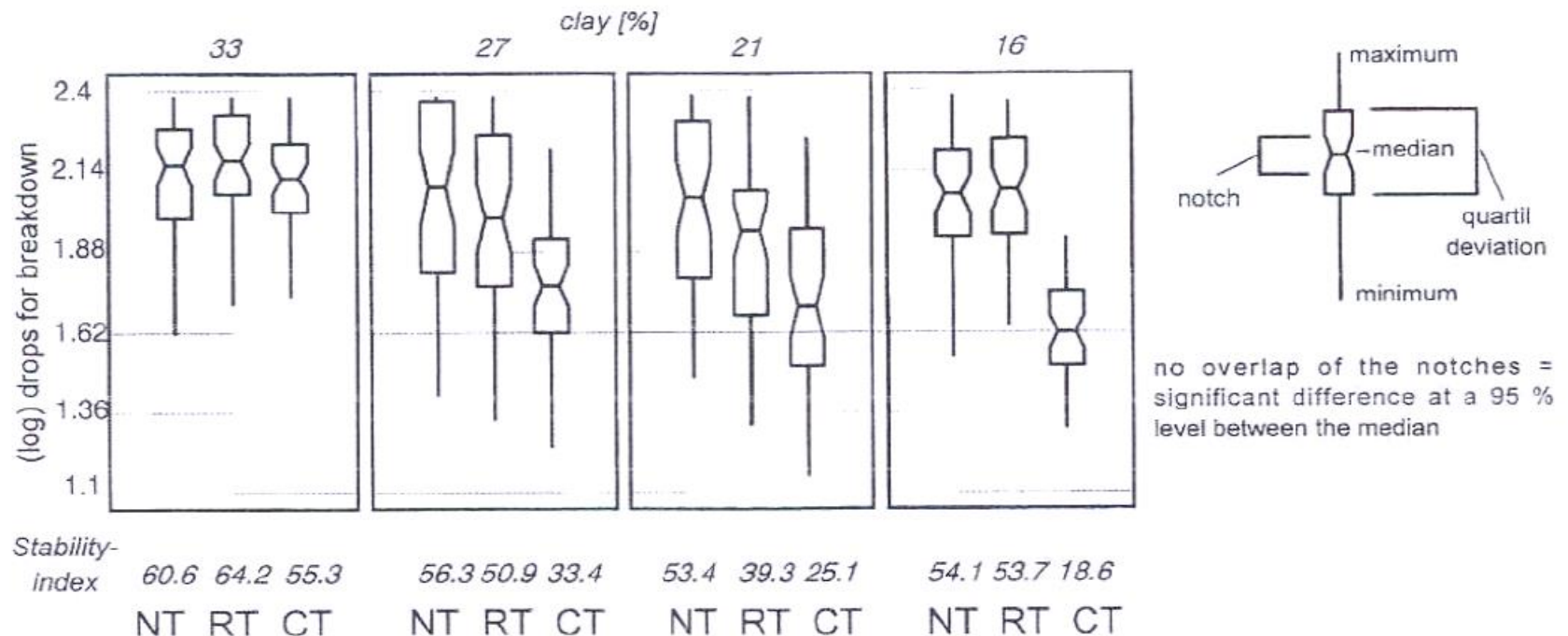


19 juillet 2005
270 mm de pluie

Technique de conservation

2- Stabiliser les agrégats

► **la stabilité des agrégats dépend des types de sol** : si sols très argileux, le raisonnement du travail du sol doit être accompagné d'une réflexion sur les autres leviers (couverture du sol notamment)



(Gross, 1996)

2- Stabiliser les agrégats



► sur des sols initialement pauvres en MO :

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



Dpt	Site	t C / ha
32	ACS	≈ 70
	Labour	≈ 50



2- Stabiliser les agrégats



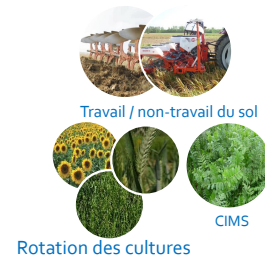
▶ sur des sols initialement pauvres en MO :

→ 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 en MO :

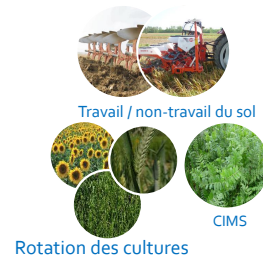
→ Pas de modification



Dpt	Site	t C / ha
32	ACS	≈ 70
	Labour	≈ 50
64	ACS	≈ 116
	Labour	≈ 113



2- Stabiliser les agrégats



► sur des sols initialement pauvres en MO :

→ 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 en MO :

→ Pas de modification

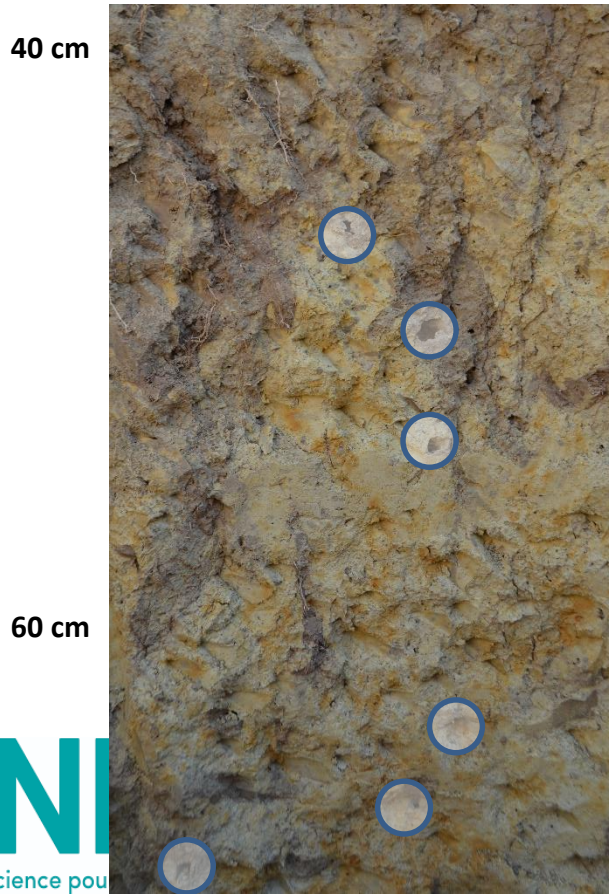
► sur des sols peu contrastés au niveau des pratiques → Pas de modification

Dpt	Site	t C / ha
32	ACS	≈ 70
	Labour	≈ 50
64	ACS	≈ 116
	Labour	≈ 113
81	ACS	≈ 65
	Labour	≈ 65



3- Accroître les capacités d'infiltration

► **Commencer par connaître les intensités et cumul de pluies de la zone** : si pluies d'orages à forte intensité mais sur des périodes courtes, la macroporosité joue tout son rôle !



On compte alors sur nos amis ...

→ **Ksat (conductivité hydraulique à saturation) dans les galeries de vdt peut varier de 50 à 500 mm/h !**



3- Accroître les capacités d'infiltration

► Accroître l'infiltration dès la surface du sol :



Available online at www.sciencedirect.com



Soil & Tillage Research 99 (2008) 4–48

Soil &
Tillage
Research

www.elsevier.com/locate/still

Review

Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time:
State of the science

Mark W. Strudley, Timothy R. Green*, James C. Ascough II

USDA-ARS, Agricultural Systems Research Unit, 2150-D Centre Avenue, Suite #200, Fort Collins, CO 80526, USA

Received 17 January 2007; received in revised form 24 December 2007; accepted 16 January 2008

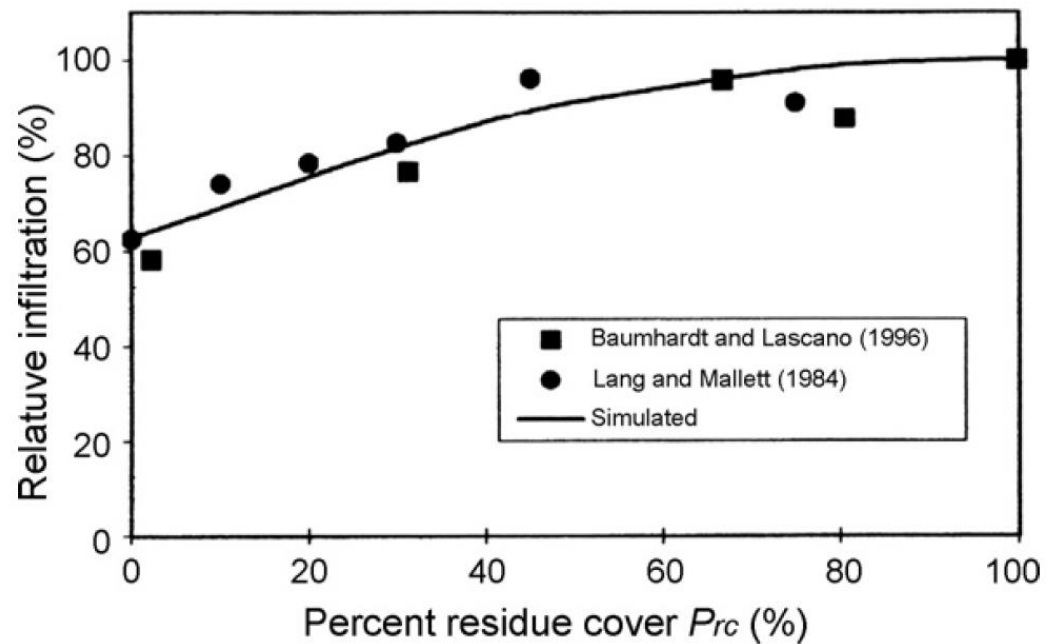
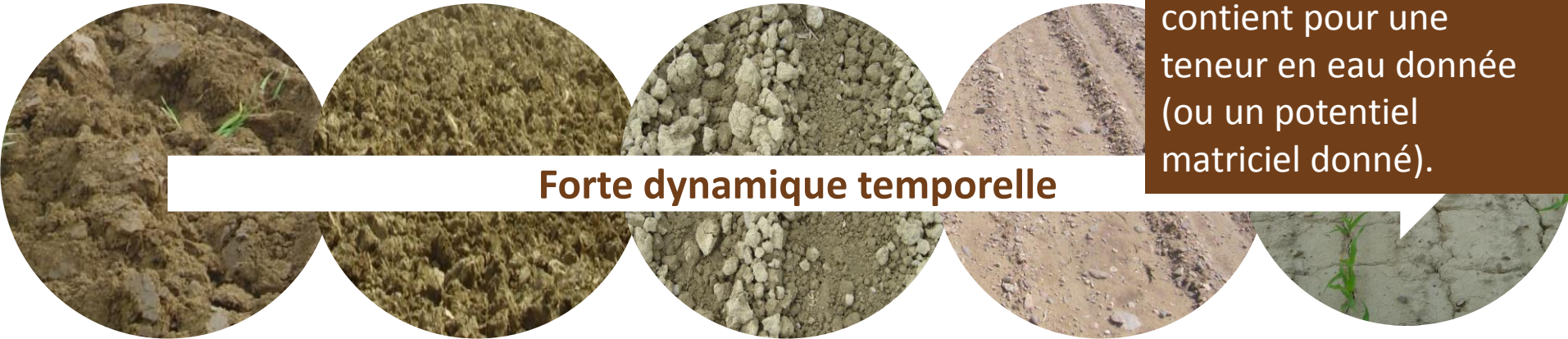


Fig. 10. Comparison of experimental studies and simulation results showing relative infiltration vs. percent residue cover. Taken from Ruan et al. (2001) with permission.



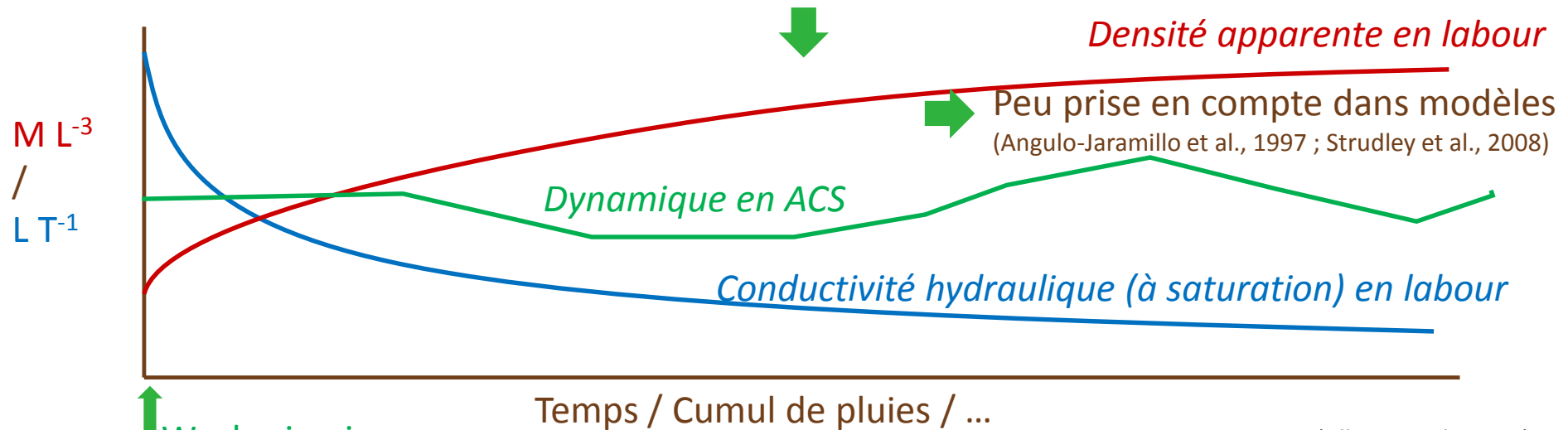
3- Accroître les capacités d'infiltration

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)

3- Accroître les capacités d'infiltration



- Test **érosion** en conditions contrôlées

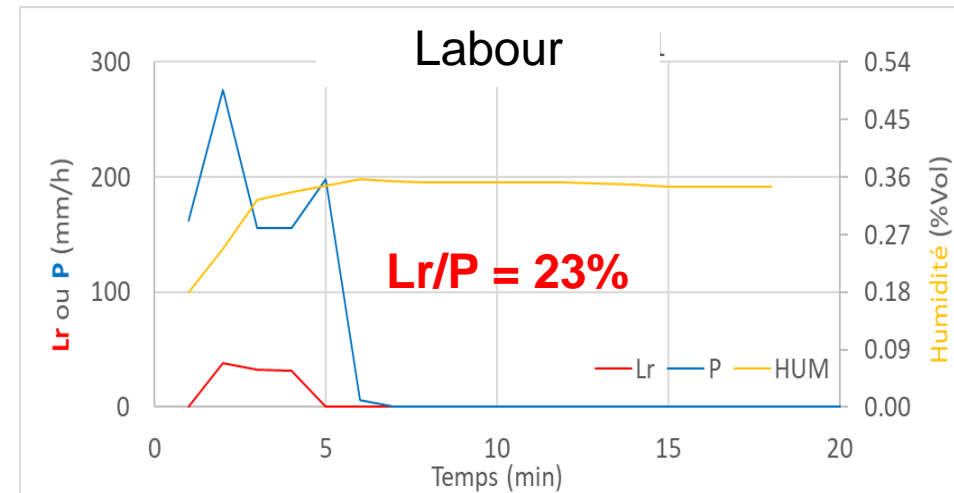
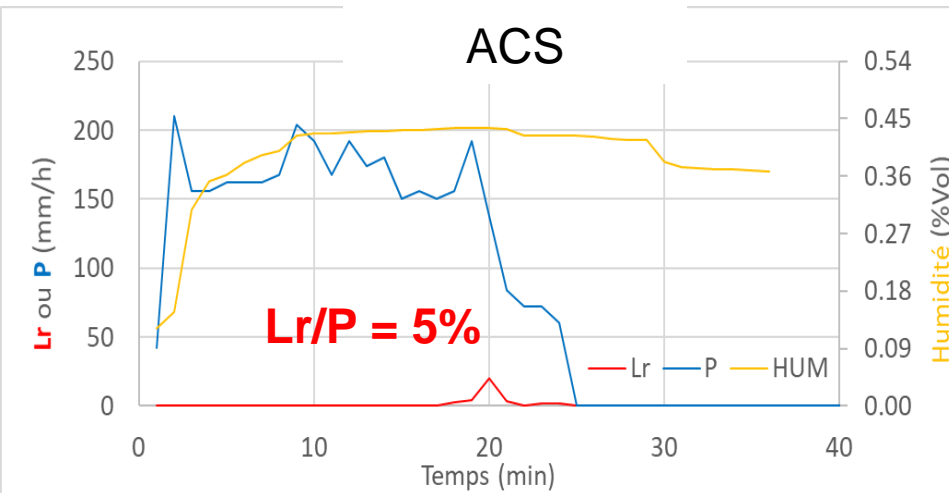


- Matière en suspension (MES) en g/L
- Quantité d'eau ruisselée Lr (lame d'eau ruisselée)

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



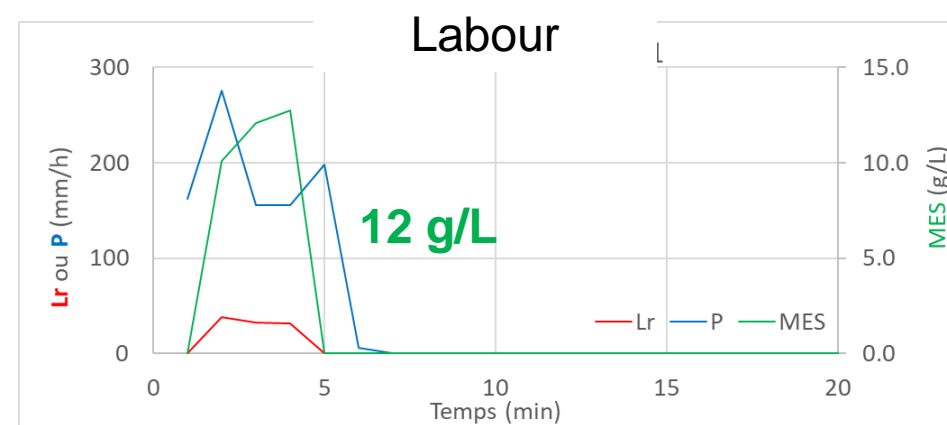
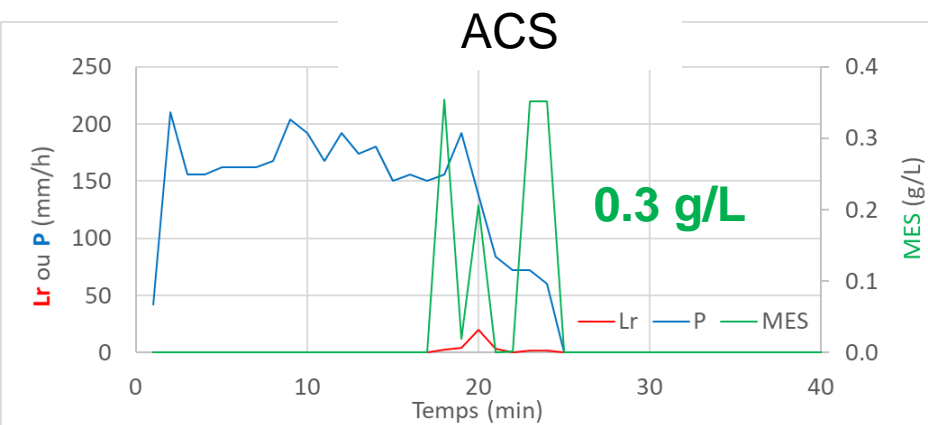
3- Accroître les capacités d'infiltration



- Des difficultés pour se positionner dans les mêmes conditions expérimentales
 - Stabilisation à environ 150-200 mm/h de pluies durant 20 min 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 ≈ 60 mm de pluie ont été appliqués en ACS contre ≈ 28 mm en labour)
 - Pluies ruisselées en ACS ≈ 3 mm vs. 6,4 mm en labour



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



Localisation de la fosse ouverte sur la parcelle en agriculture conservation



Localisation de la fosse ouverte sur la parcelle avec labour



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)



© Wikipedia



© University of Hertfordshire, 2011



© University of Hertfordshire, 2011



5- Réduire / supprimer le travail du sol

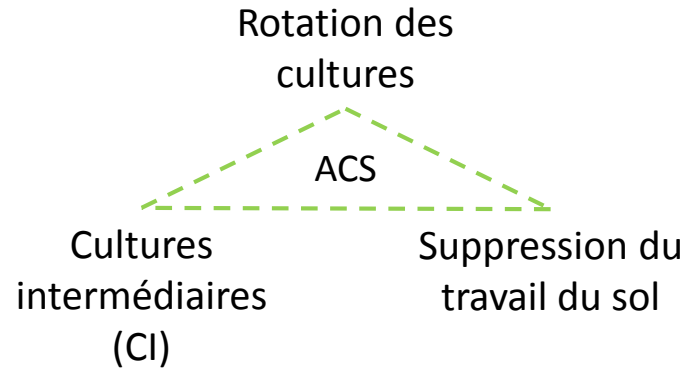
Technique de travail du sol de conservation : toute technique culturale visant à maintenir :

- 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 objectifs*



Systeme de culture / de production emergent : l'Agriculture de Conservation



- ▶ *des systemes permettant d'ameliorer la fertilite globale des sols mais...*
- ▶ *encore dependants de l'usage d'herbicides (glyphosate)*
- ▶ ***Necessite de poursuivre les travaux d'experimentation pour identifier des solutions alternatives compatibles avec la conservation des sols***

Pour aller plus loin...



A D E M E



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie



DESRIPTIF DU PROJET DE THESE

Sujet proposé	<i>Agriculture de conservation sur le bassin Adour-Garonne : caractérisation du fonctionnement hydrique des sols et modélisation de scénarii de changement climatique</i>
Nom du candidat	<i>Julie Bréchemier</i>
Spécialité du doctorat (discipline)	<i>Agroécologie</i>
Université d'inscription	<i>Université de Toulouse</i>
Ecole doctorale	<i>SEVAB</i>
Encadrement (directeur de thèse, co-encadrant...)	<i>Lionel ALLETO (HDR, directeur de thèse) ; Julie CONSTANTIN (co-encadrante)</i>
Laboratoire(s) d'accueil	<i>INRA UMR AGIR</i>
Cofinanceur(s)	<i>Agence de l'Eau Adour Garonne (AEAG)</i>

Merci pour votre attention

lionel.alletto@inrae.fr
 @LionelAlletto

