

Cursus ingénieur 1ère année



Comprendre le fonctionnement des milieux et aptitudes aux productions agricoles et forestières

Domaine 1 et 3

Science des sols

Février 2021



Cursus ingénieur 1ère année
Domaines 1 et 3 : Science des sols



Cours 1

Les sols: constituants et organisations

Claire Chenu
INRAE, UMR Ecosys
claire.chenu@inrae.fr



Plan

1. Les différentes phases du sol
2. La texture du sol
3. Les constituants du sol
 - Constituants minéraux, les argiles
 - Constituants organiques
 - Etres vivants
4. Le sol un système organisé: la structure

1- Les différentes phases du sol

Le sol est un milieu triphasique

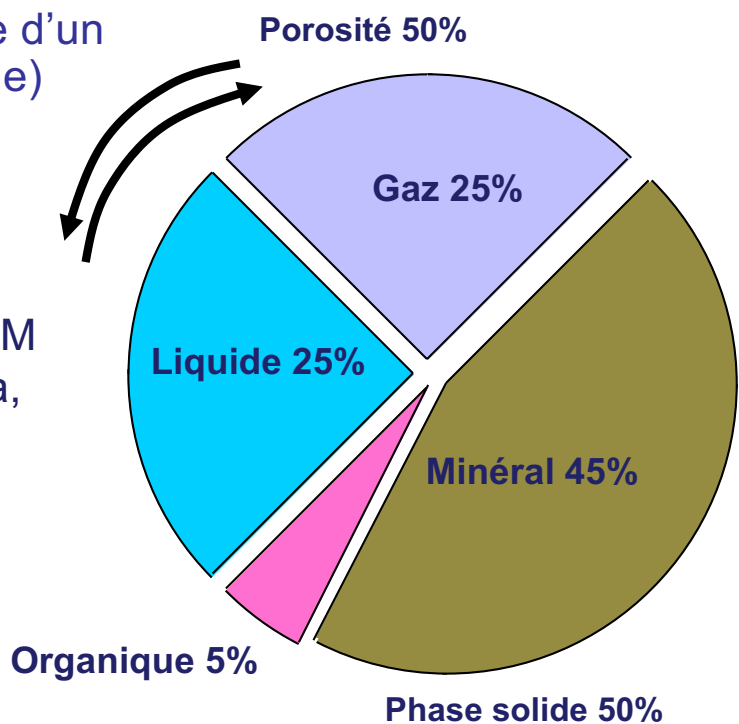
✎ Composition indicative d'un sol "moyen" (en volume)

Solution du sol

= solution diluée 10^{-3} - 10^{-5} M
Macroéléments : C, N, Na, Mg, Si, S, Ca... +
Microéléments

Atmosphère du sol

Composition proche de



2. Composition granulométrique des sols

- Les propriétés des sols dépendent fortement de leur composition granulométrique

→ La texture :

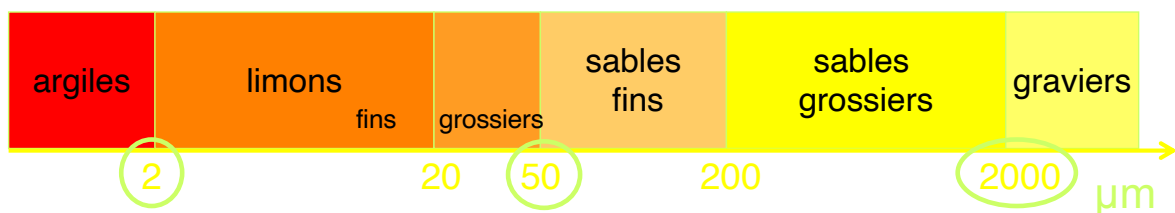
Qualification globale des sols d'après leur composition granulométrique

- Elle est:
 - Mesurée
 - Appréciée tactilement



Composition granulométrique des sols

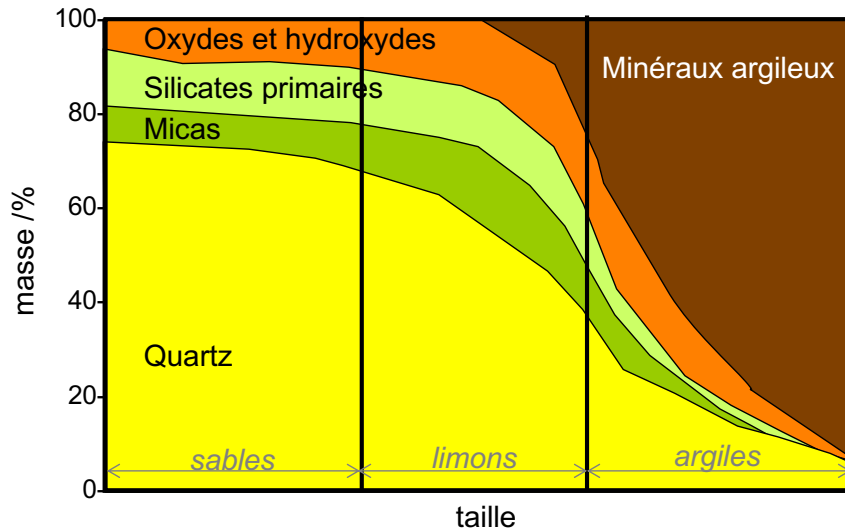
- Classes granulométriques de particules



Diamètre apparent des particules inorganiques du sol (log, μm)
Classes granulométriques AFNOR (1998)

Composition granulométrique des sols

- Des classes granulométriques de nature différente:

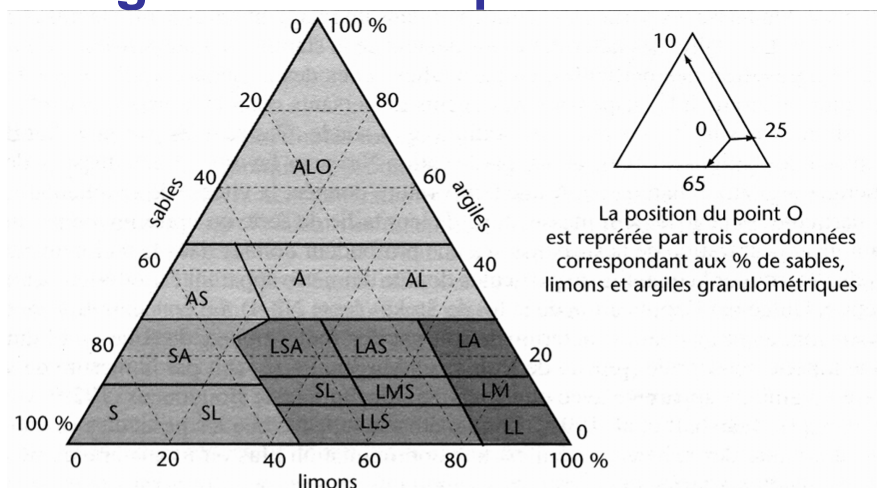


Exemple de composition minéralogique des différentes classes

granulométriques de particule d'un sol (d'après Shroeder, 1984 in Calvet 2004)

Composition granulométrique des sols

- Triangle de texture

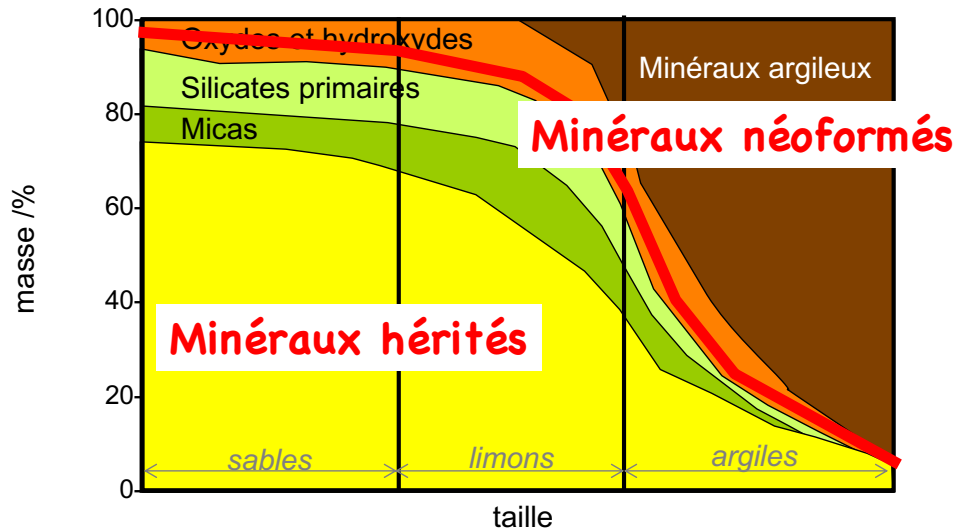


La position du point O est représentée par trois coordonnées correspondant aux % de sables, limons et argiles granulométriques

Textures sableuses		Textures limoneuses	
S	sable	LL	limon léger
SL	sable limoneux	LM	limon moyen
SA	sable argileux	LA	limon argileux
Textures limono-sableuses		Texture argilo-sableuse	
LLS	limon léger sableux	AS	argile sableuse
LS	limon sableux	Textures argileuses	
LMS	limon moyen sableux	A	argile
LSA	limon sablo-argileux	AL	argile limoneuse
LAS	limon argilo-sableux	Texture très argileuse	
		ALO	argile lourde

Composition granulométrique des sols

- Des classes granulométriques de nature différente:



Exemple de composition minéralogique des différentes classes



Composition granulométrique de particule d'un sol (d'après Shroeder, 1984 in Calvet 2004)

Minéraux argileux

- Les minéraux argileux (ou argiles minéralogiques) sont des silicates d'aluminium, organisés en feuillets.
- Ils portent le plus souvent une charge permanente, négative, due à la substitution de cations de l'édifice cristallin par des cations de valence moins élevée.
- Ces charges sont compensées par des cations situés entre les feuillets
- Les argiles portent aussi des charges (faibles) qui dépendent du pH en bordure des feuillets.
- Les feuillets d'argile sont toujours assemblés en particules, par empilement. Du fait de leur forme et de leurs petites dimensions les argiles minéralogiques développent des surfaces considérables (du m^2 à $800m^2 g^{-1}$)
- Différentes argiles sont présentes dans les sols, elles diffèrent par leur structure et en conséquence par la valeur de leur charge et de leur surface. (ex. smectite, kaolinite, illite, chlorite).

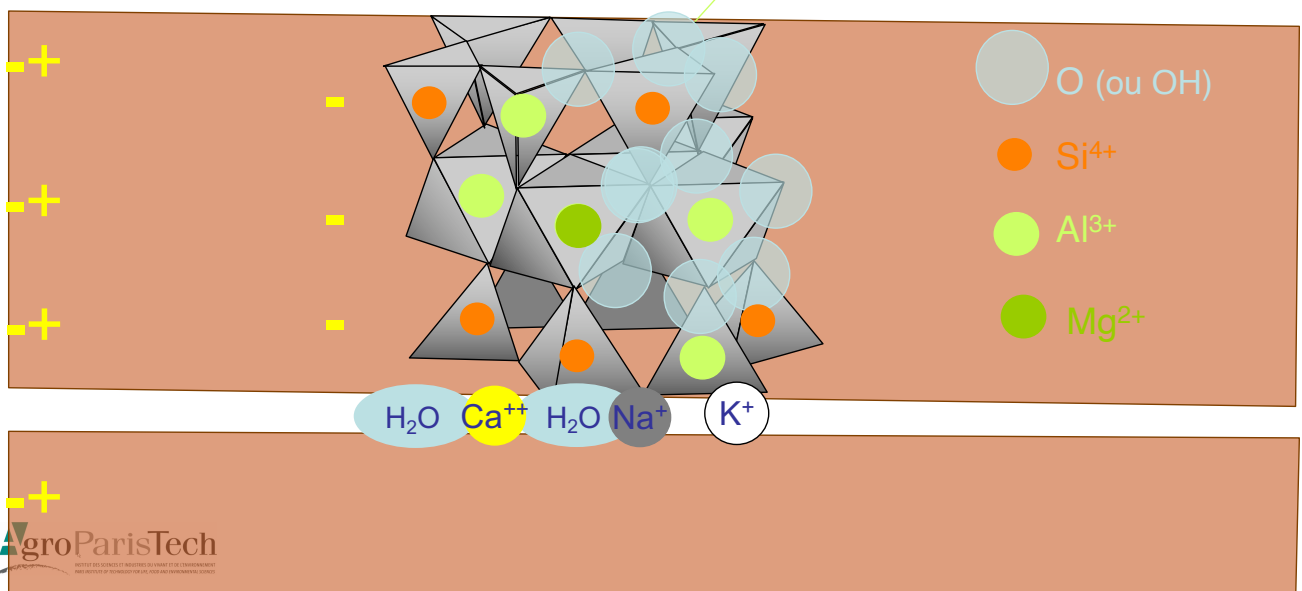
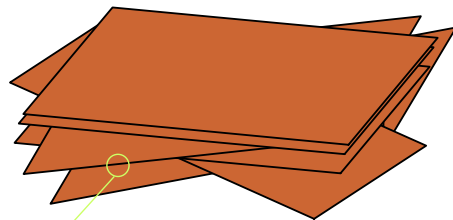


! Argile : trois significations...

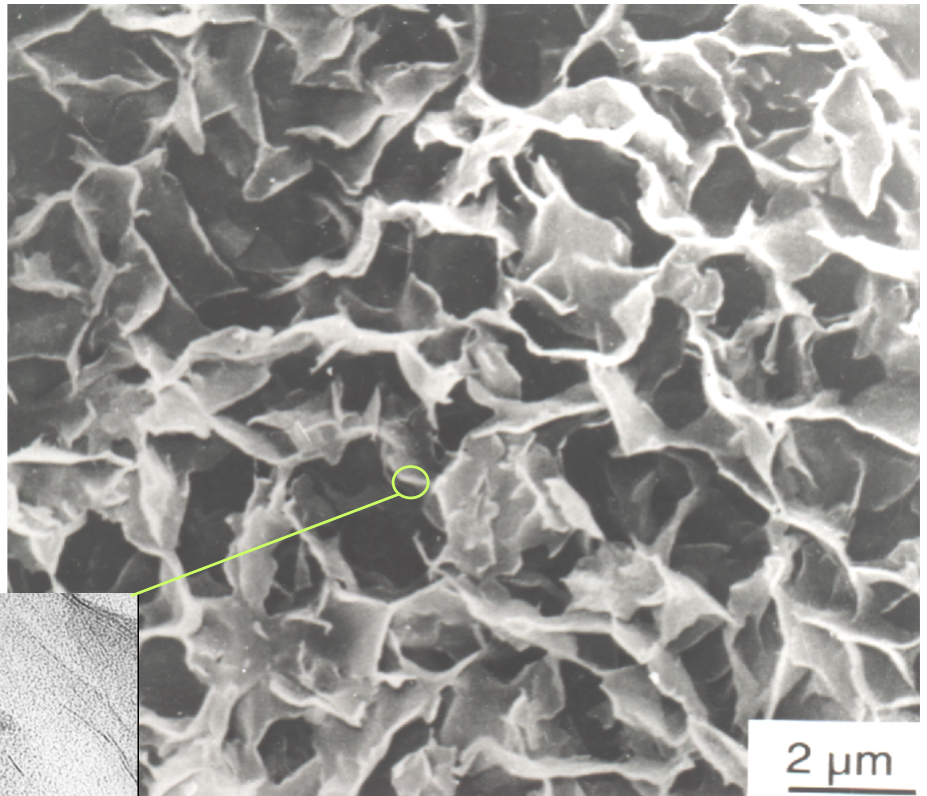
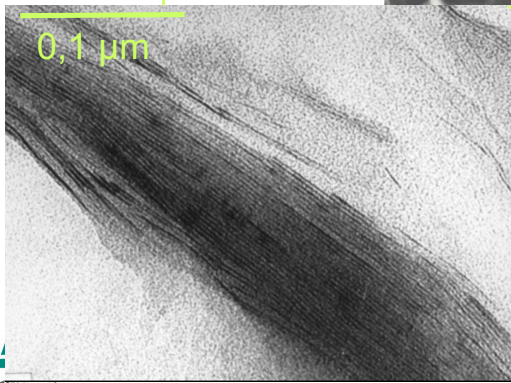
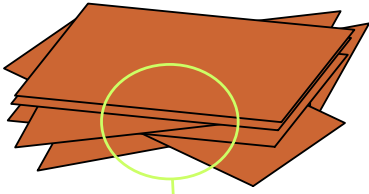
- *Minéralogique* : phyllosilicates
- *Granulométrique* : particules solides $< 2 \mu\text{m}$
- *Texturale* : matériau riche en particules $< 2 \mu\text{m}$

Minéraux argileux : charge

Phyllosilicates
ex: smectites



Phyllosilicates
ex: smectites



Microscopie électronique à balayage
(MEB) cryoscan

Tessier 1986

En coupe en microscopie électronique
à transmission (MET)

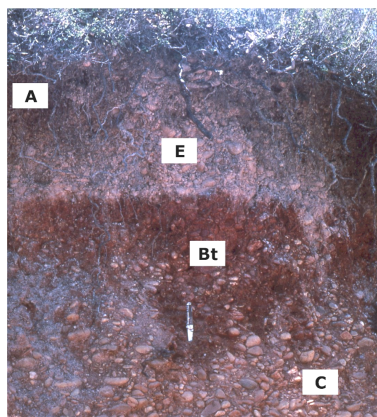
Smectite : argile dominante de « vertisols »



Latérite= kaolinite + oxydes de fer



Couleur du sol et oxydes de Fer



Milieu aéré, climat
chaud et sec

hématite



Milieu aéré, climat
chaud et humide

goethite

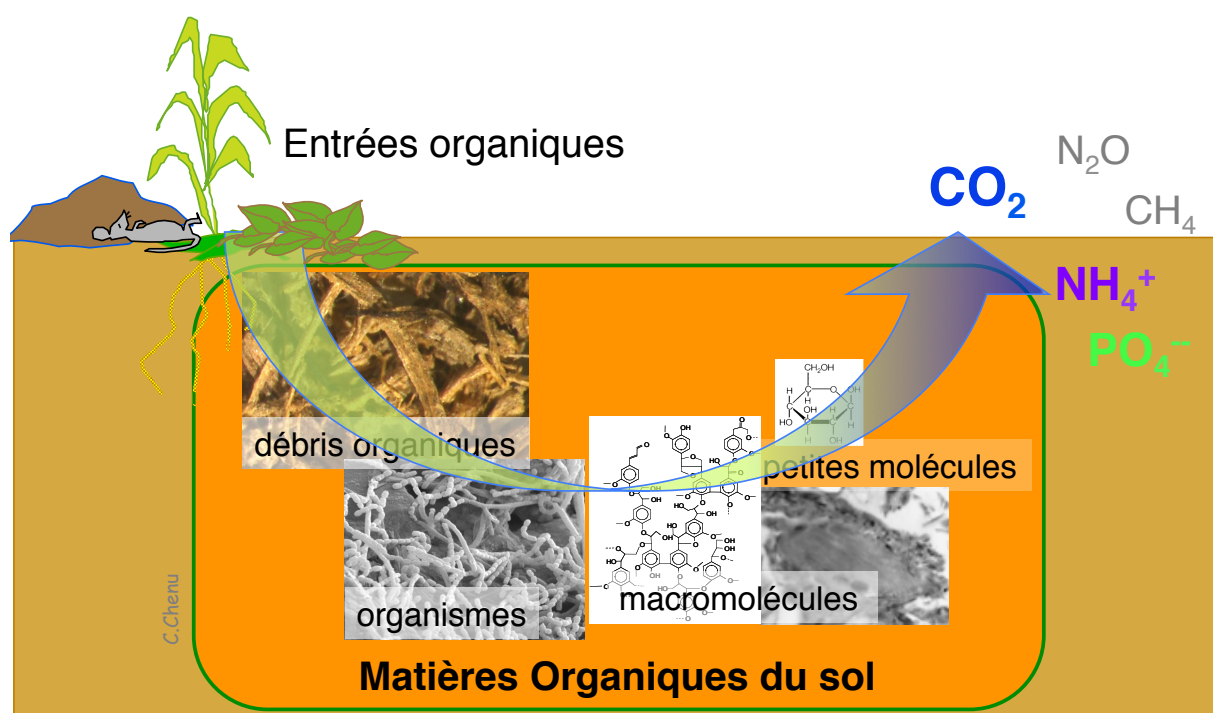


Périodes
d'engorgement
Oxydes et
hydroxydes Fe^{++}

3.2 Les constituants organiques

- Le sol est le réceptacle des déchets des écosystèmes terrestres
 - Litière, Résidus de culture, Racines et exsudats, Cadavres animaux, Déchets organiques (fumiers, composts, boues...)
- On appelle matières organiques (MO) : L'ensemble des composés organiques du sol = êtres vivants ou produits de la décomposition d'êtres vivants (Tout ce qui est ou a été vivant...)
- C'est un ensemble très hétérogène et complexe en perpétuel renouvellement, par apports et biodégradation
- Elles sont essentiellement constituées de C ($\approx 50\%$), d'O, d'N (typiquement 5%), de P et S (typiquement 0,5%)
- La teneur en MO est très variables selon le biome, le type de sol et le mode d'occupation (prairie, forêt, culture..)

Les matières organiques des sols

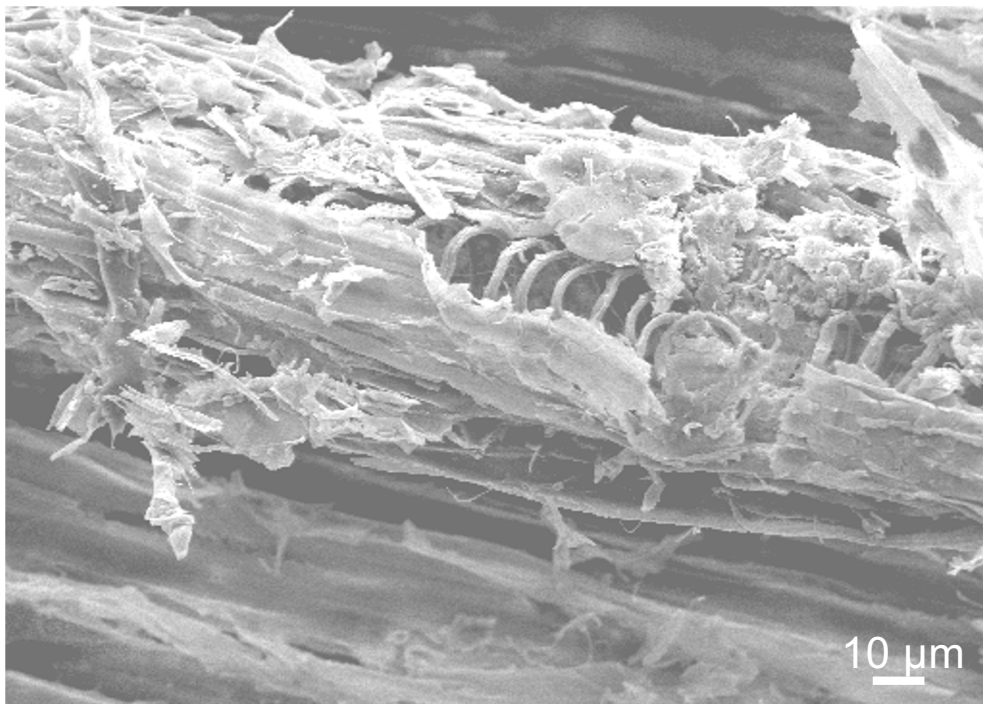


Classes de constituants organiques

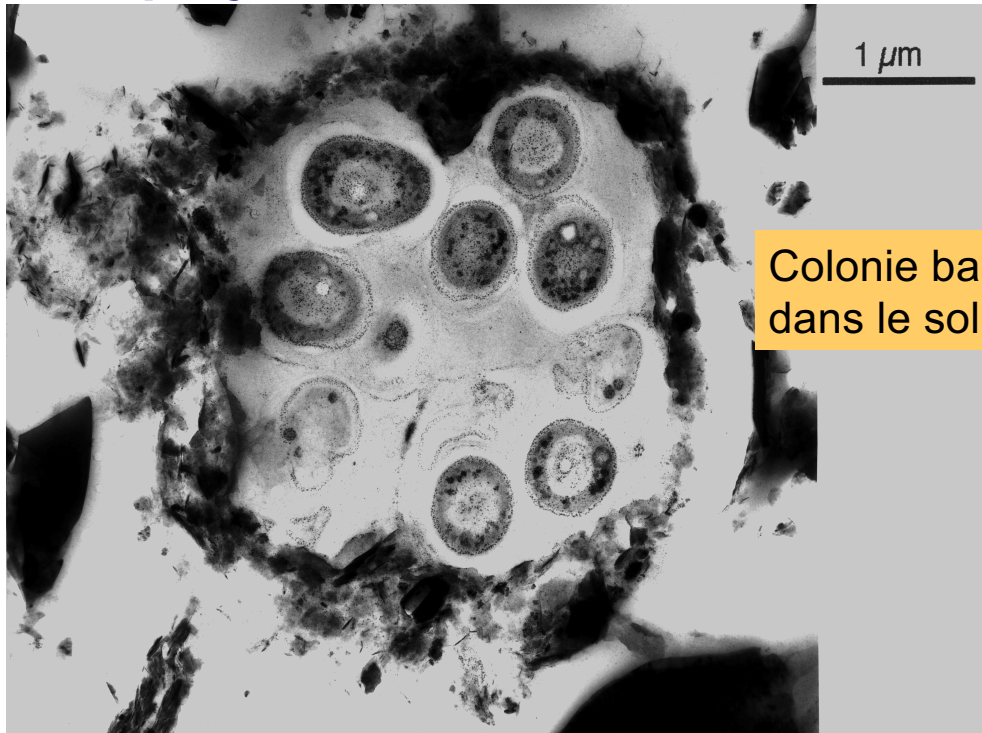
- Débris végétaux en cours de décomposition
- **Humus**: constituants organiques non identifiables à l'œil nu = petites particules ou molécules héritées des végétaux ou organismes vivants ou néoformés dans le sol. (> 50% du C des MO)



Humus - Biomolécule héritée des végétaux: *la lignine*



Humus - Biomolécule néoformée: *polysaccharides extracellulaires*



Colonie bactérienne
dans le sol

© C. Chenu

Humus : Substances humiques ?

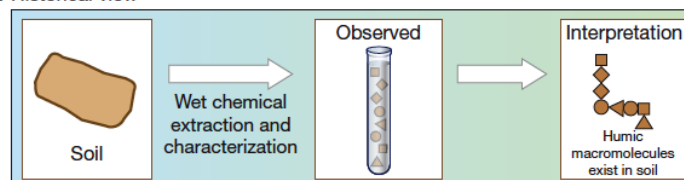
- Extraits alcalino-solubles / acido-solubles



@ I. Lamy, INRA

- Image biaisée de ce qui existe dans les sols

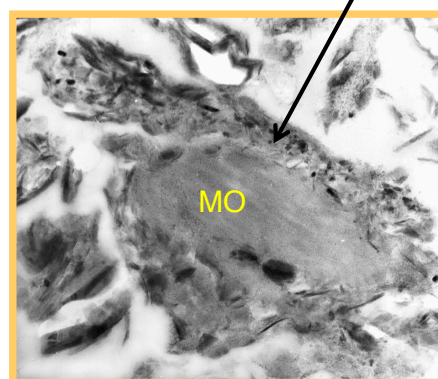
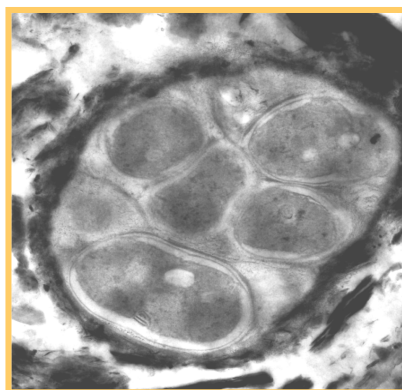
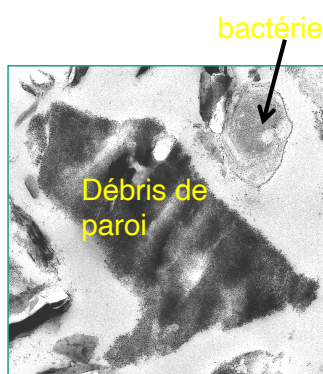
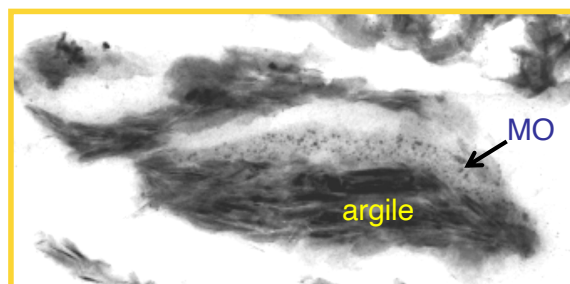
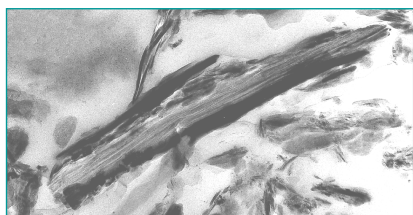
a Historical view



L'humus est associé aux minéraux (« complexe argilo-humique »)

Fraction < 2 µm d'un sol séparée sans destruction de la MO.

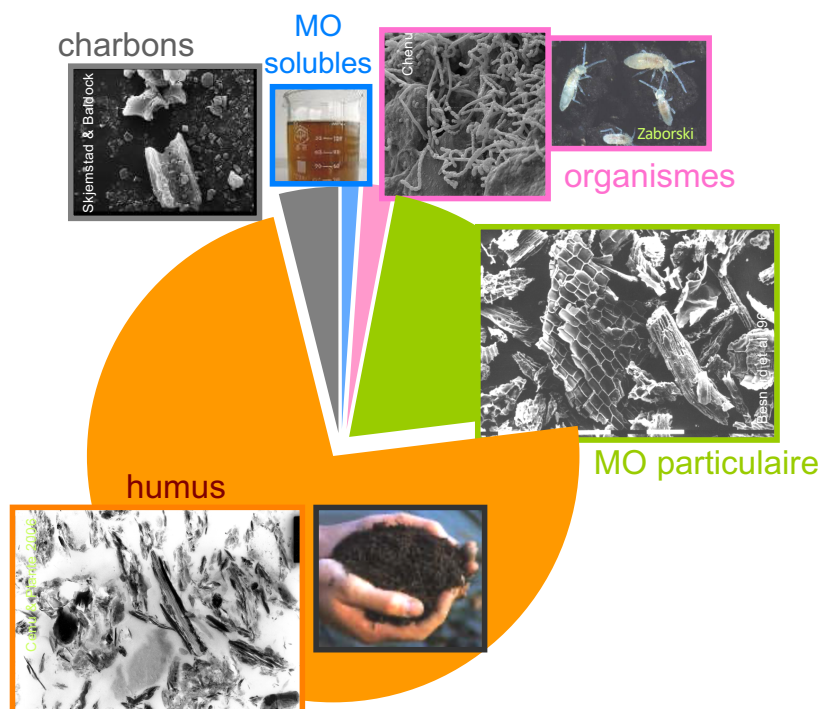
Ex. sol limoneux cultivé, 0-30 cm, 1% C. Microscopie électronique à transmission



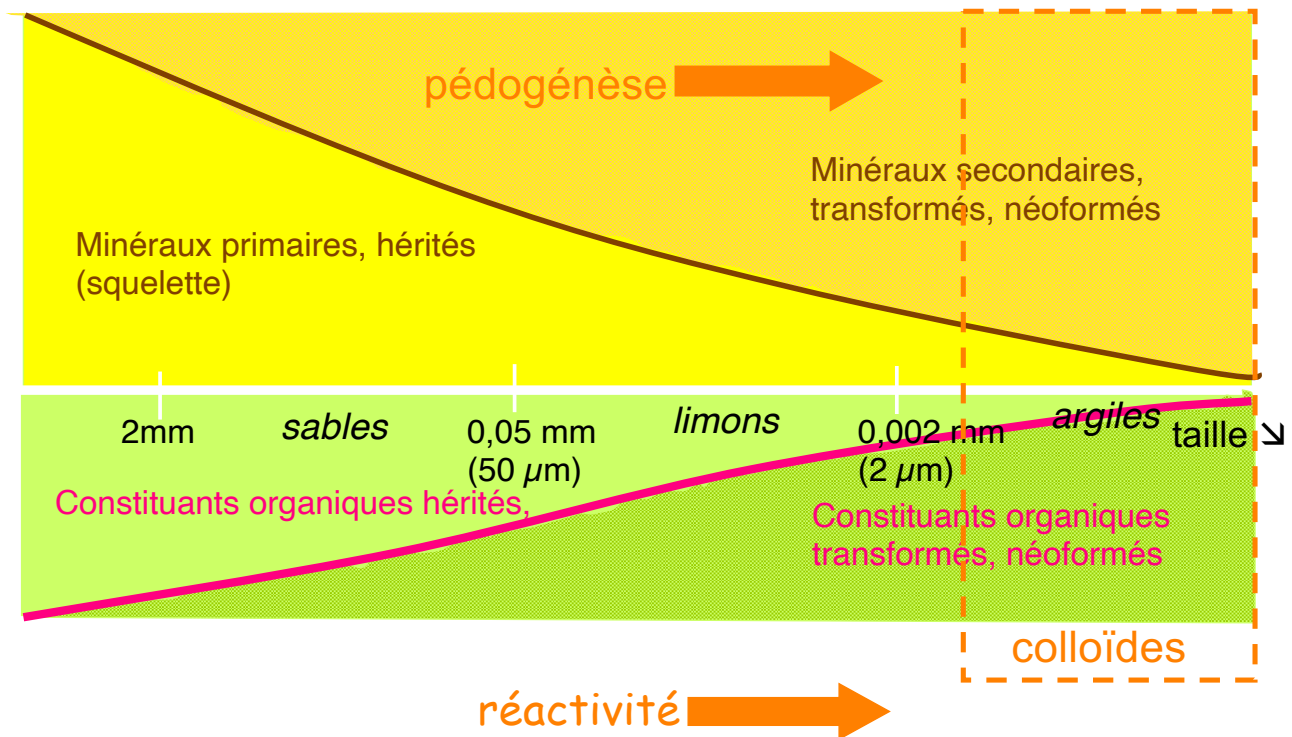
Chenu & Planre 2006, Europ JSS

MO des sols : un ensemble hétérogène et complexe

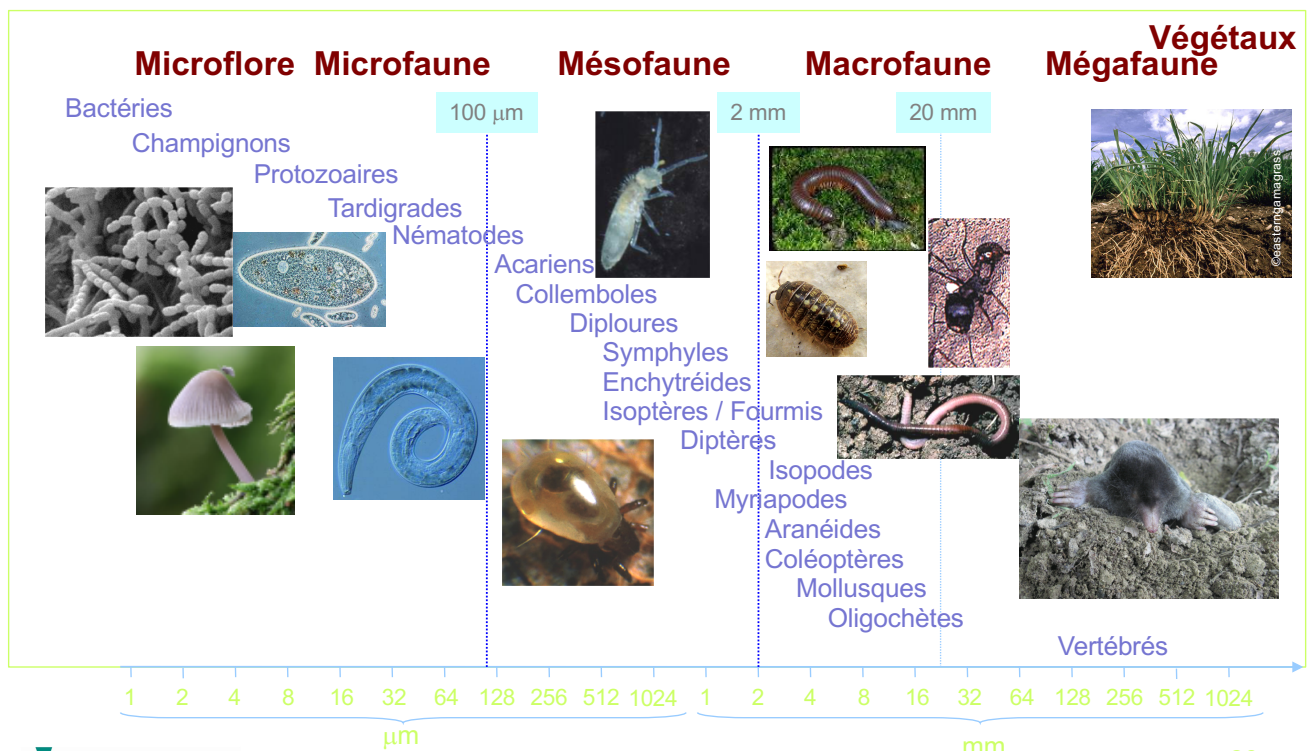
- Différentes formes physiques et chimiques
- Qui résident dans le sol pendant des durées variables



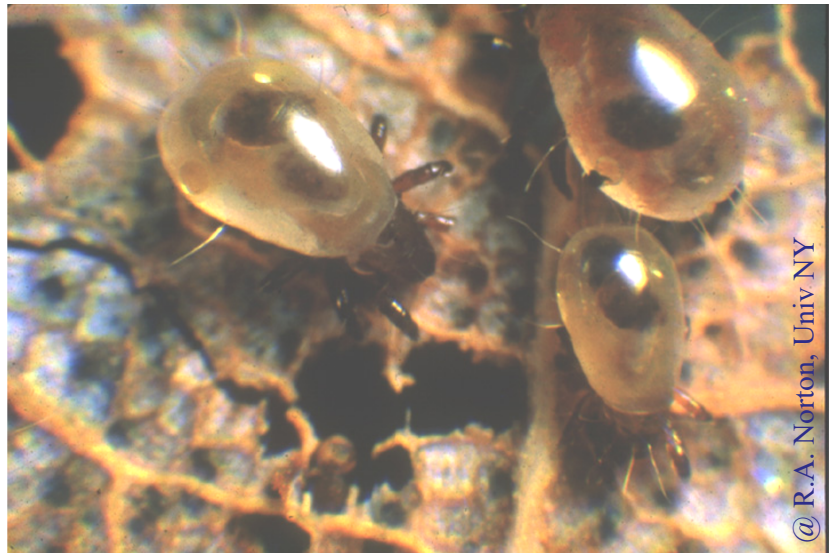
Constituants solides des sols



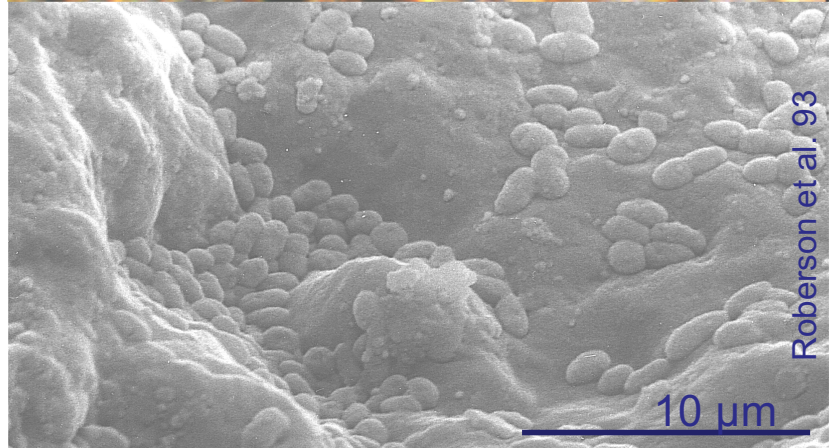
3.4. Organismes vivants des sols



Les fonctions : diverses Des décomposeurs



@ R.A. Norton, Univ NY

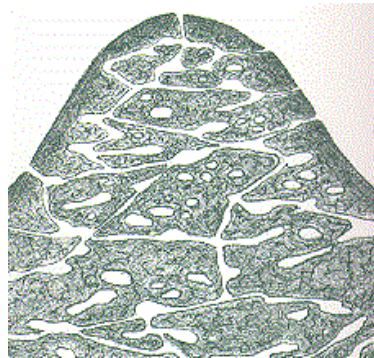


Roberson et al. 93

Des « ingénieurs » de l' écosystème



termites



fourmis



vers de terre

AgroParisTech **Agroecosystem engineer** is any organism that creates or modifies habitats (Jones et al., 1994)

Symbiotes des racines



Légumineuses - *rhizobium*



Mycorhizes

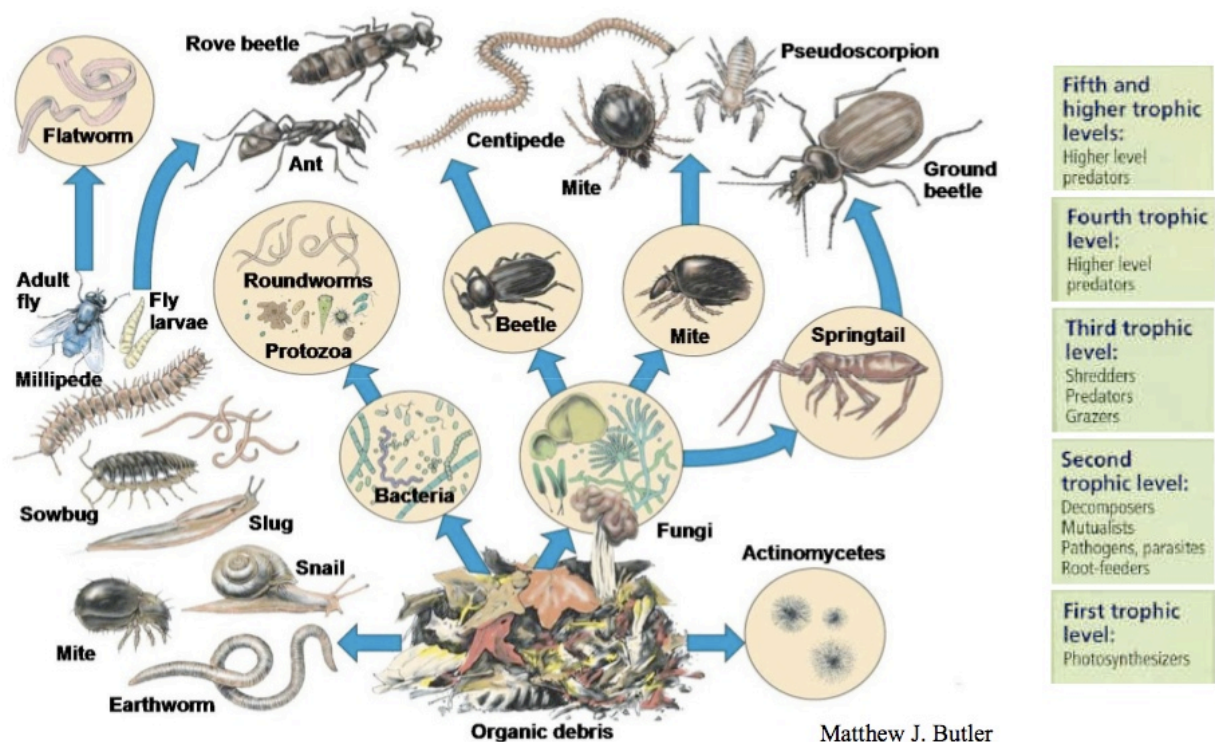
Des parasites et ravageurs



Bactériophages
Pathogènes des
plantes

...

Complexité des interactions : réseaux trophiques



Diversité génétique des microorganismes du sol

Environnement	Nombre de génômes
<i>E. coli</i>	1
Sol forestier, communauté totale (1 g sol)	6000
Sol forestier, communauté cultivée*	30
Sol sableux cultivé communauté totale	1000
Sol organique cultivé, communauté totale	2000

* 206 isolats

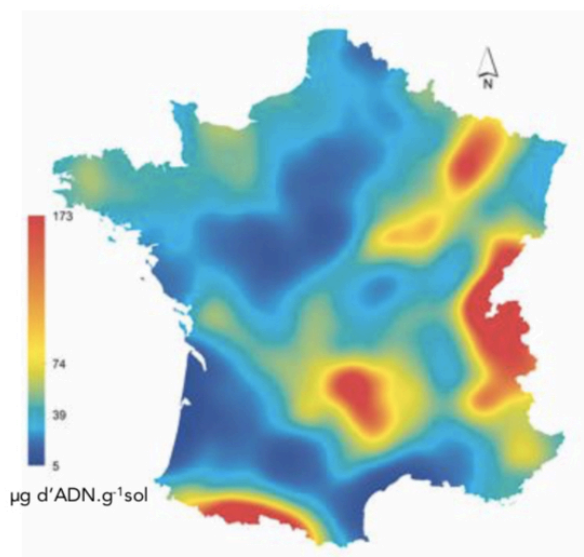
Torsvik et al. 1996

Diversité des métabolismes énergétiques

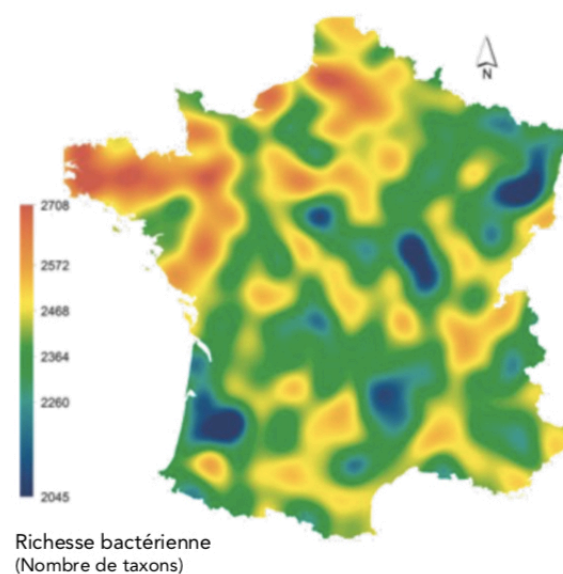
		source d'électrons (matière à oxyder)	
		minérale : LITHOTROPHES	organique ORGANOTROPHES
source d'énergie	lumière PHOTO-	photolithotrophes végétaux $H_2O \rightarrow H^+$ bactéries $H_2S \rightarrow H^+$	photoorganotrophes bactéries
	réactions chimiques CHIMIO -	chimolithotrophes bactéries $NH_4 \rightarrow NO_2^-$ $NO_2^- \rightarrow NO_3^-$	chimioorganotrophes bactéries, champignons, animaux $HCO \rightarrow CO_2 + H_2O$

Atlas des bactéries des sols

Abondance des microorganismes



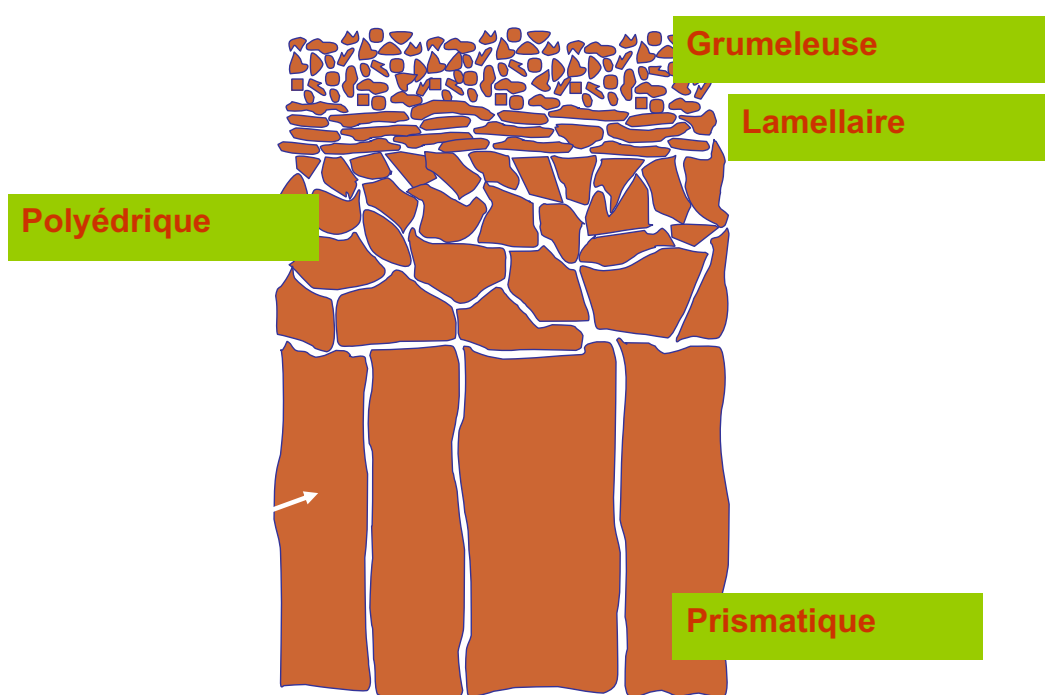
Diversité des bactéries du sol



4 Un milieu organisé: la structure du sol

*La **structure du sol** est le mode d'arrangement des constituants du sol et des vides qu'ils délimitent*

Les principaux types de structure observables à l'œil nu



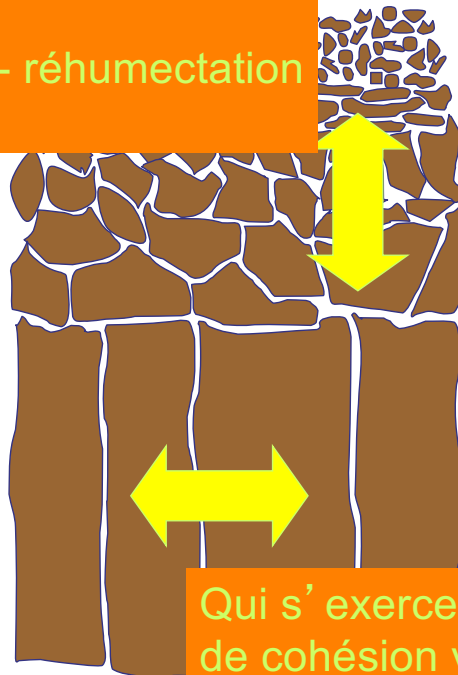
Genèse de la structure

- La structure des sols est générée par:
 - 1- des forces (dessiccation - réhumectation, gel dégel) qui s'exercent sur un matériau de cohésion variable en raison de la présence de ciments
 - 2 - ces ciments sont les argiles minéralogiques, oxydes et hydroxydes de Fe et Al, matières organiques
 - 3 – l'activité biologique qui crée des pores (ex. galeries de vers) et des structures construites (déjections..) et agrège les particules de sol (ex. racines)

Genèse de la structure-1

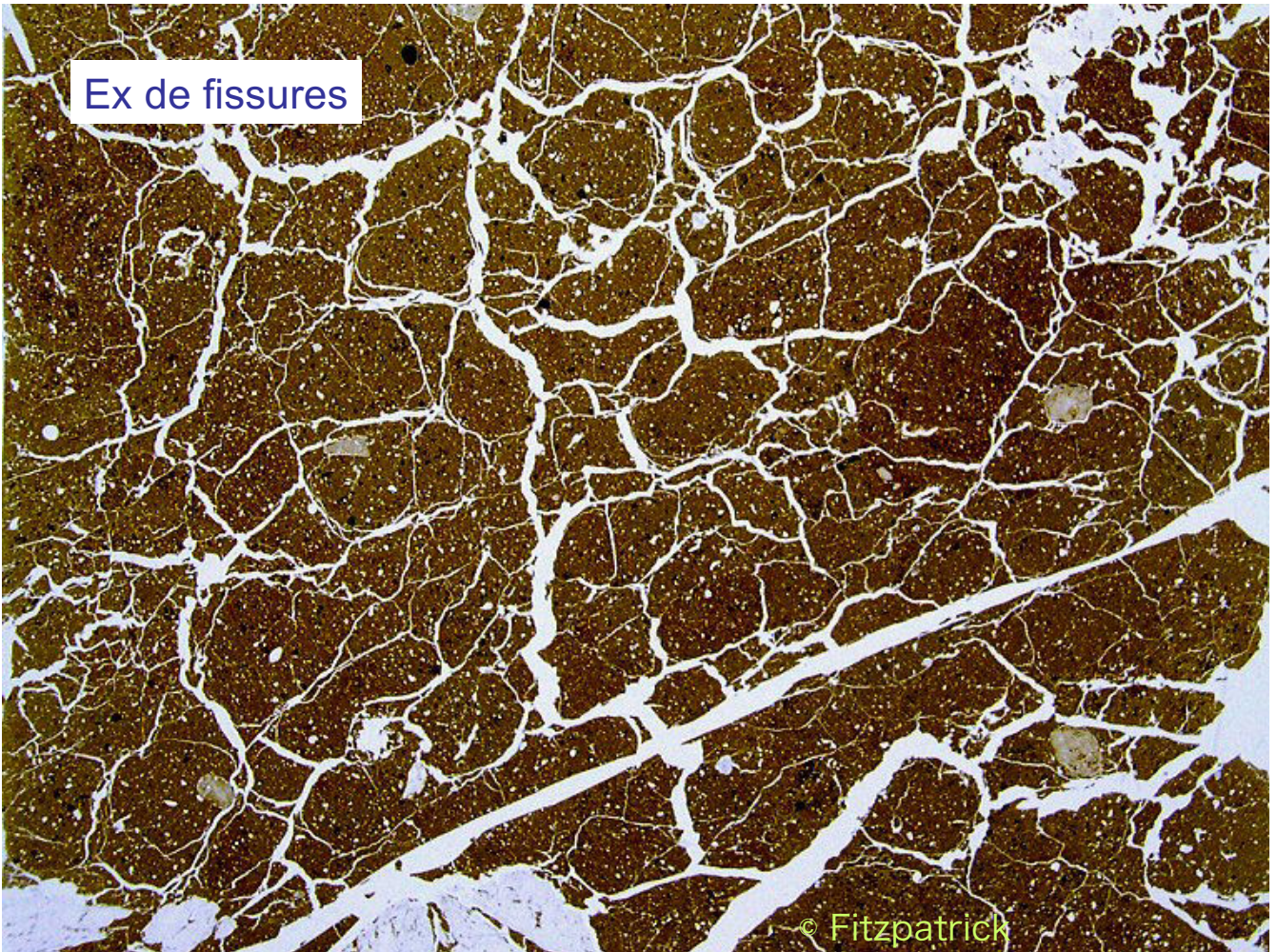
Des forces:

- dessiccation - réhumectation
- gel dégel

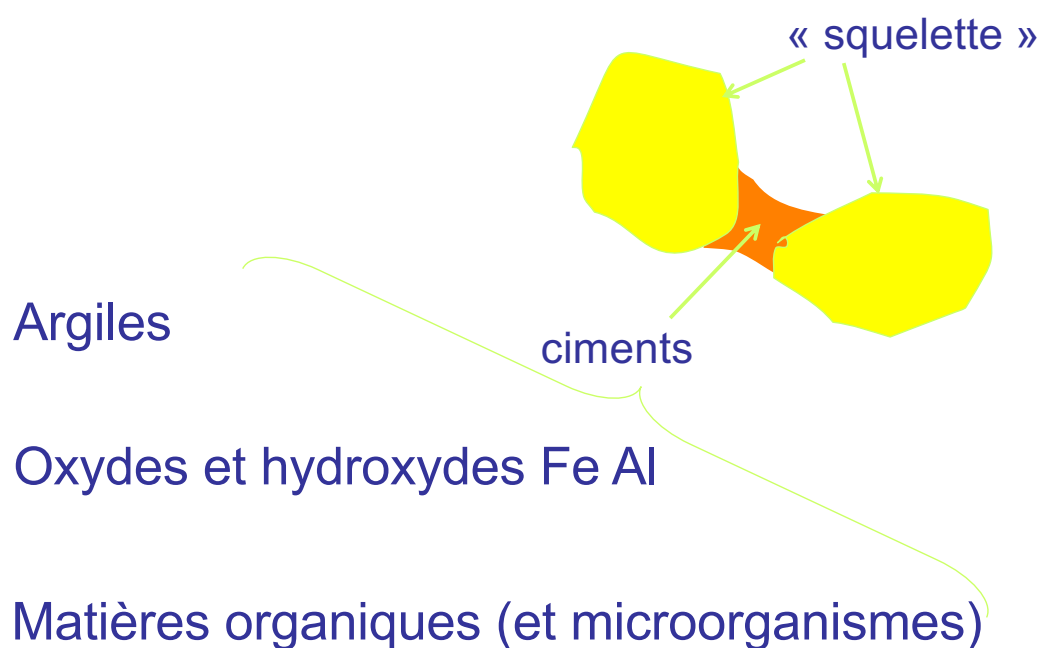


Qui s'exercent sur un matériau de cohésion variable : **ciments**

Ex de fissures

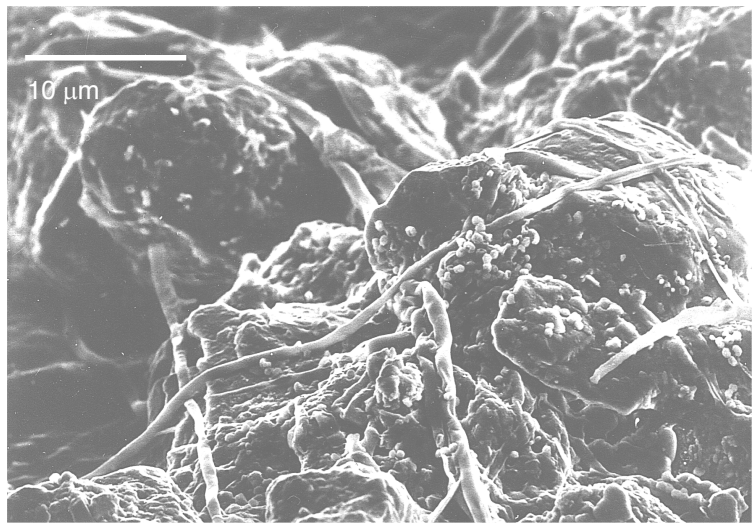
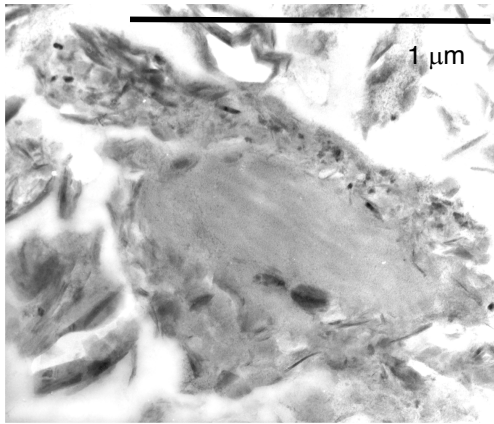


Genèse de la structure - 2 : les « ciments »



Agrégation des particules minérales par les matières organiques

Chenu & Plante, 2006



Angers & Chenu, 1997

Agrégat = ensemble de particules du sol entre lesquels la cohésion est plus élevée qu'elle ne l'est avec les particules alentour



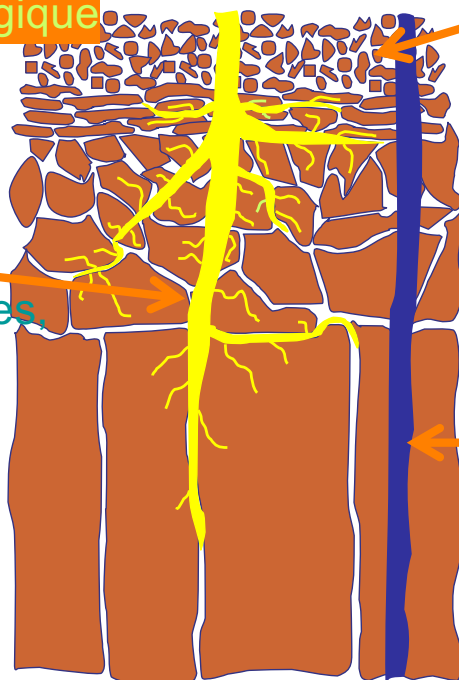
Genèse de la structure-3

L'activité biologique

Faune: des structures construites

Racines : empruntent pores, agrègent les particules

Vers de terre: creusent des galeries



L'**aptitude** d'un sol à assurer les diverses **fonctions** (production végétale, support physique,...) va être très variable selon le **type de sol** et va dépendre des **caractéristiques** du sol (texture, type d'argile,...)

Qualité des sols

Pente
Profondeur
Pierrosité
Texture
Minéralogie

Matières organiques
Organismes vivants
pH
Structure
..