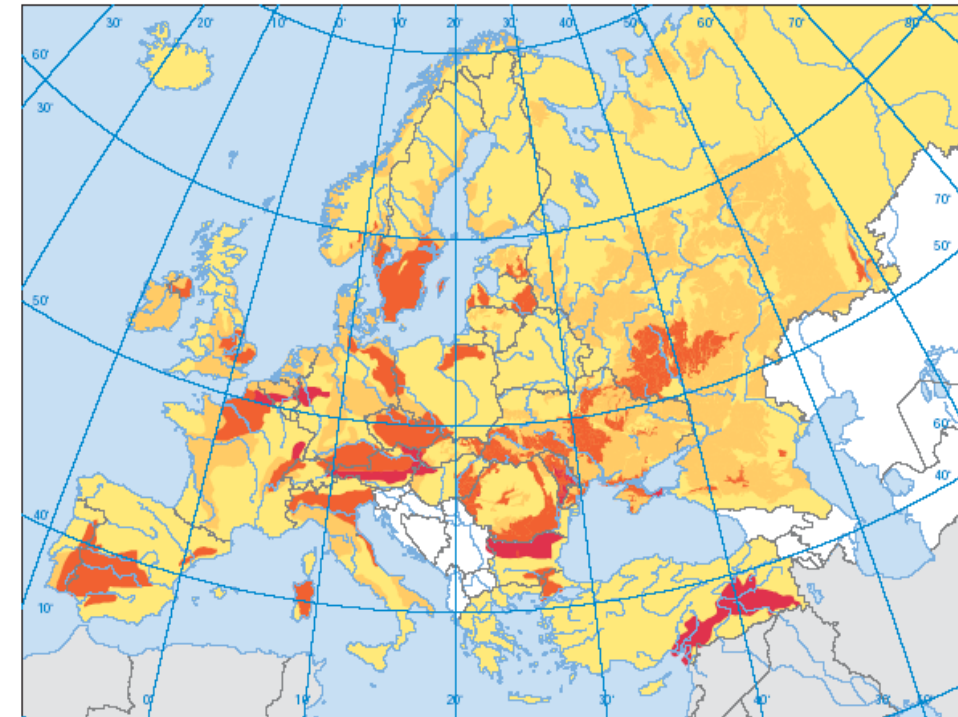
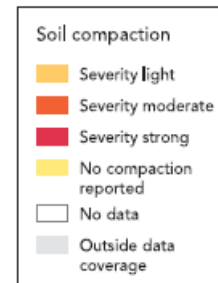


Porosité des sols, stabilité physique et mécanique en relation avec les propriétés physico-chimiques

Daniel Tessier

- **Le tassement des sols: menace majeure à l'échelle européenne**
- **Des impacts sur l'agriculture et l'environnement**
- **Des conséquences plus ou moins réversibles selon les sols**
- **Des interrogations liées à l'impact de sécheresses répétées sur les sols agricoles et en milieu forestier**



Sources: van Lynden, 1995;
FAO and ISRIC, 2000

Tassement des sols en Europe (FAO, 2000). 33 millions d'ha.

Tous les milieux sont concernés....



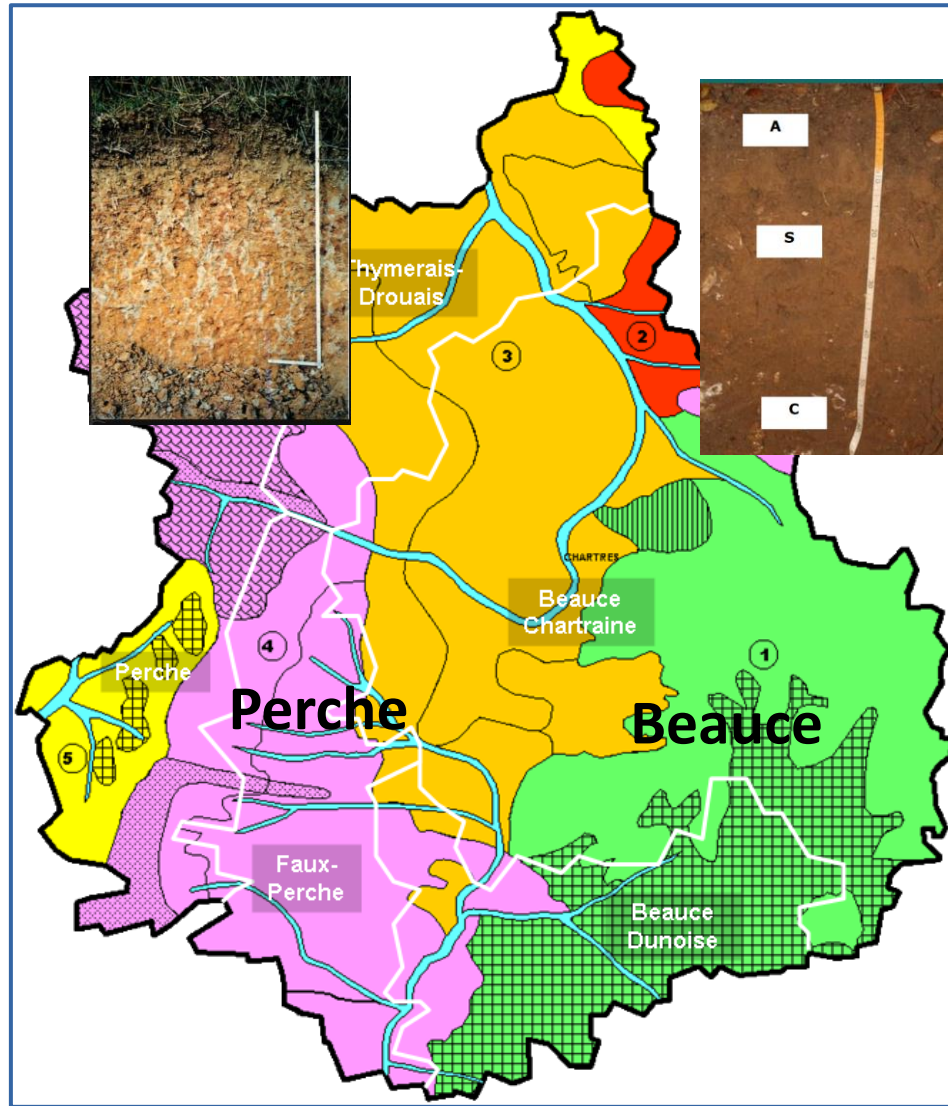
**Semelle de labour
(H. Boizard)**

**Piétinement,
dégradation d'un
pâturage (Brésil)...**



**Travaux forestiers
(J. Ranger)**

Pourquoi les sols sont-ils plus ou moins denses dans la nature ?



Sols sur dépôts loessiques (limons)

- | | |
|-------|---|
| 1 | Sols profonds sur calcaire de Beauce |
| 1 bis | Sols peu épais sur calcaire de Beauce |
| 2 | Sols sablo-limoneux profonds |
| 3 | Sols profonds sur argile à silex (*) |
| 4 | Sols lessivés dégradés sur argile à silex (*) |

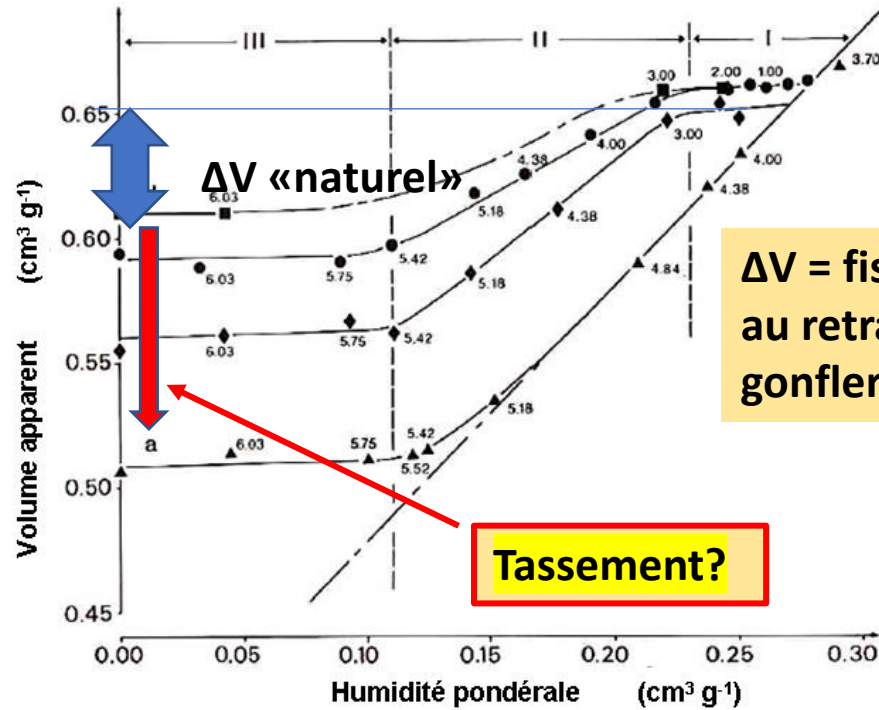
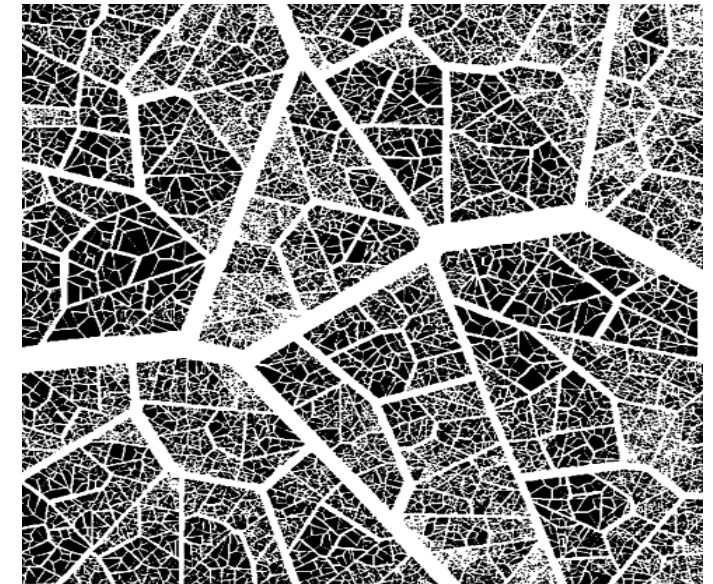
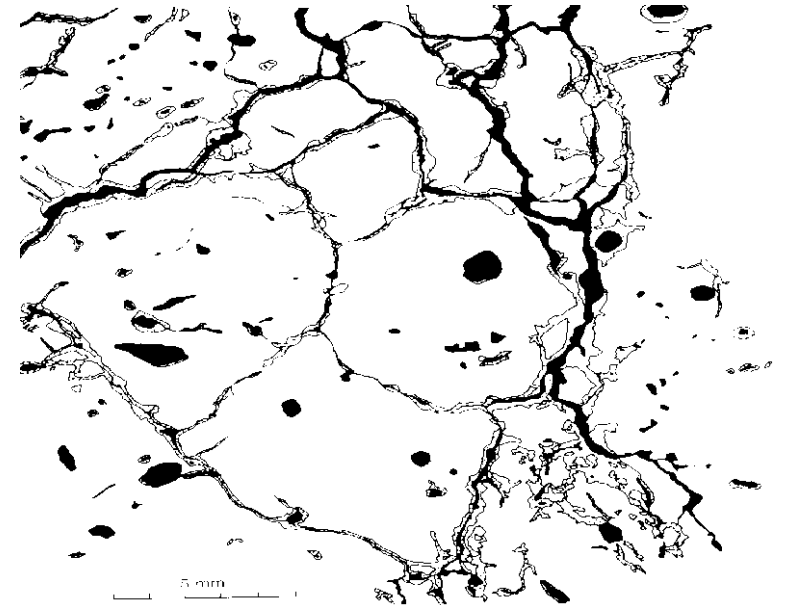
5 Sols dérivés du substrat géologique (sables, craie, marnes, argiles)

C
o
m
p
a
c
i
t
é

b
a
t
t
a
n
c
e

Exemple du département d'Eure et Loir. Dépôts loessiques sur substrats géologiques différents. Différentiation en relation avec la nature du matériau sous-jacent. Dans le Perche sols directement dérivés de substrats géologiques (en jaune).

Comment le sol se structure (physiquement) ? Rôle des argiles (Bruand, 1987, Perrier 1998). Contribution des différents niveaux d'organisation du sol



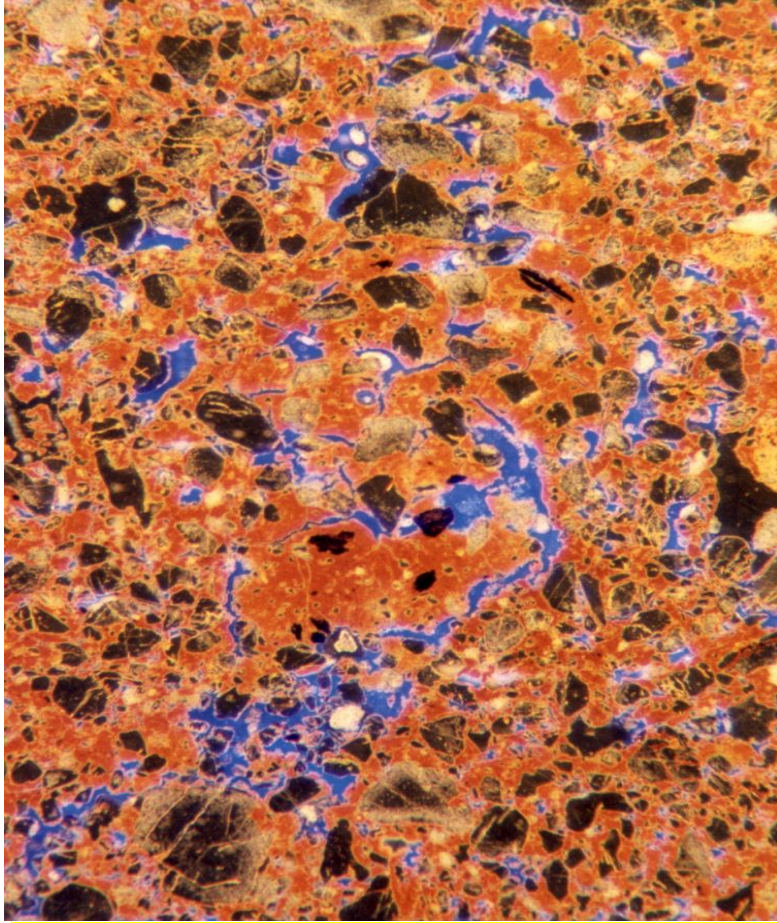
ΔV = fissuration due
au retrait + capacité à
gonfler/se structurer

Cylindres
Mottes

Agrégats

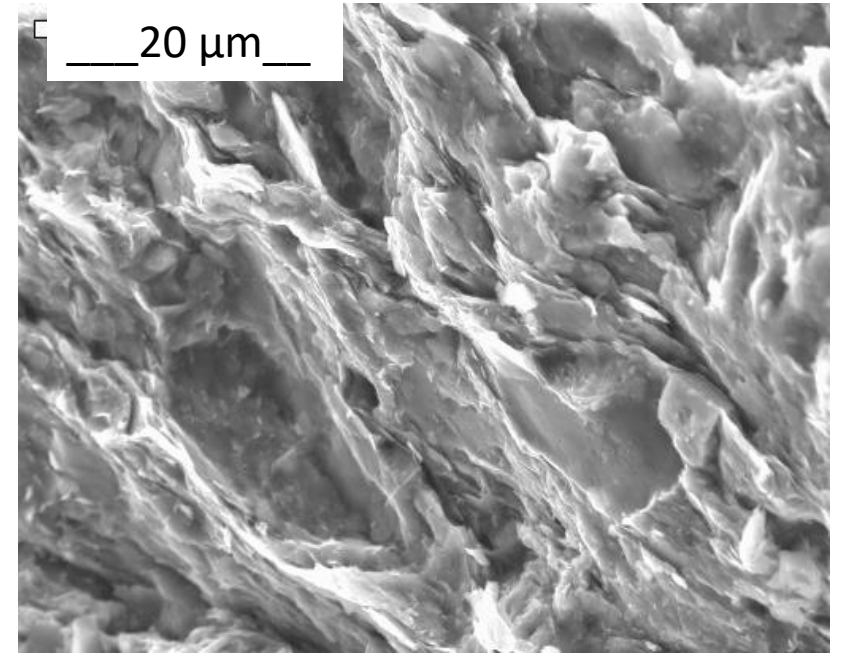
Sol remanié

Dans un sol sableux la variation de volume de l'argile hydratée n'est pas suffisante pour entrainer une variation de volume apparent du sol et le structurer

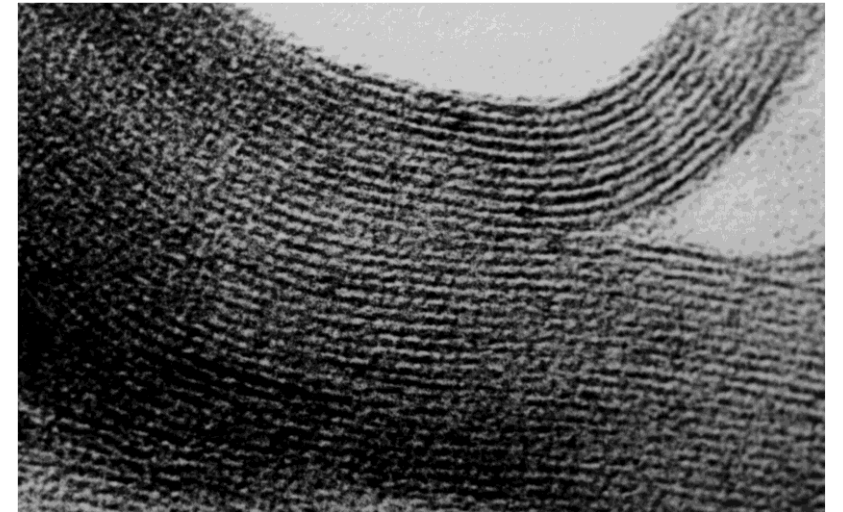


Lame mince de sol avec en bleu les macropores, en noir les sables et limons quartzeux, en jaune-rouge l'argile. Inclusion avec une résine à l'état hydraté (Hartmann et al. 1992)

Observation au MEB montrant la marque de l'enrobage de grains de sable par de l'argile

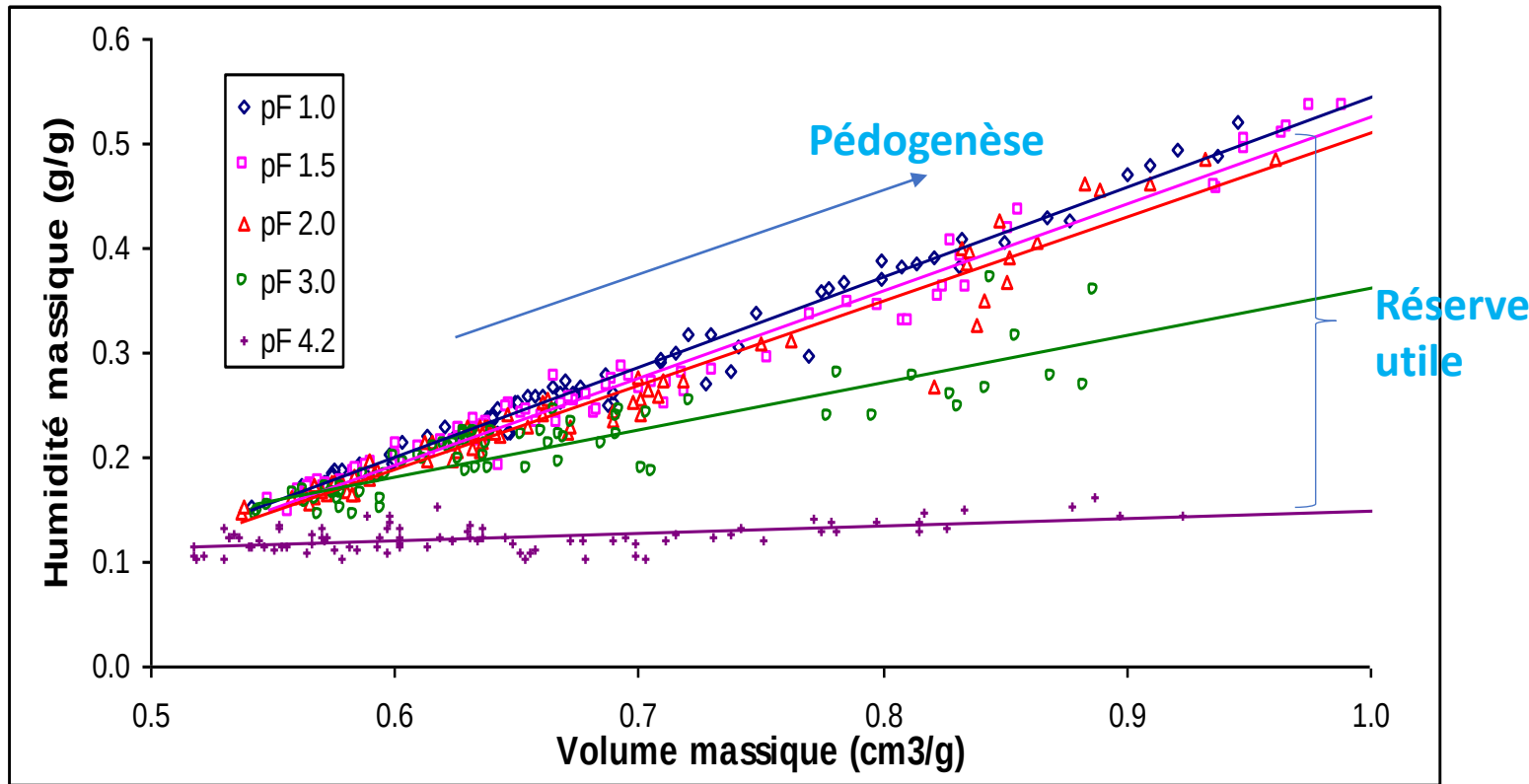


Observation au MET permettant de matérialiser les empilements de feuillets des argiles entre les grains de sable (1 nm)

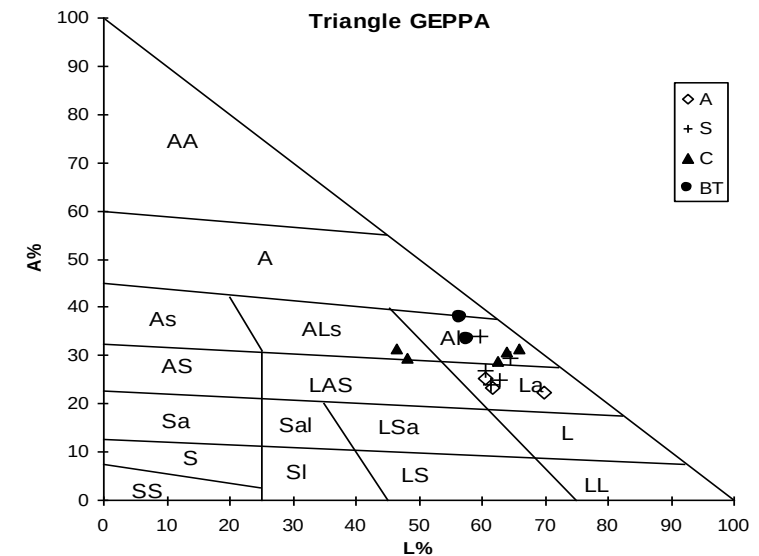


Cas des sols dérivés de dépôts sédimentaires

Le décompactage de la roche se fait sous l'effet conjugué du relâchement des contraintes mécaniques et de l'activité biologique sans variation importante de la granulométrie. Exemple de sols sous la forêt de Hesse en Lorraine (Quentin et al. 2001).



Distribution granulométrique, sol limono-argileux

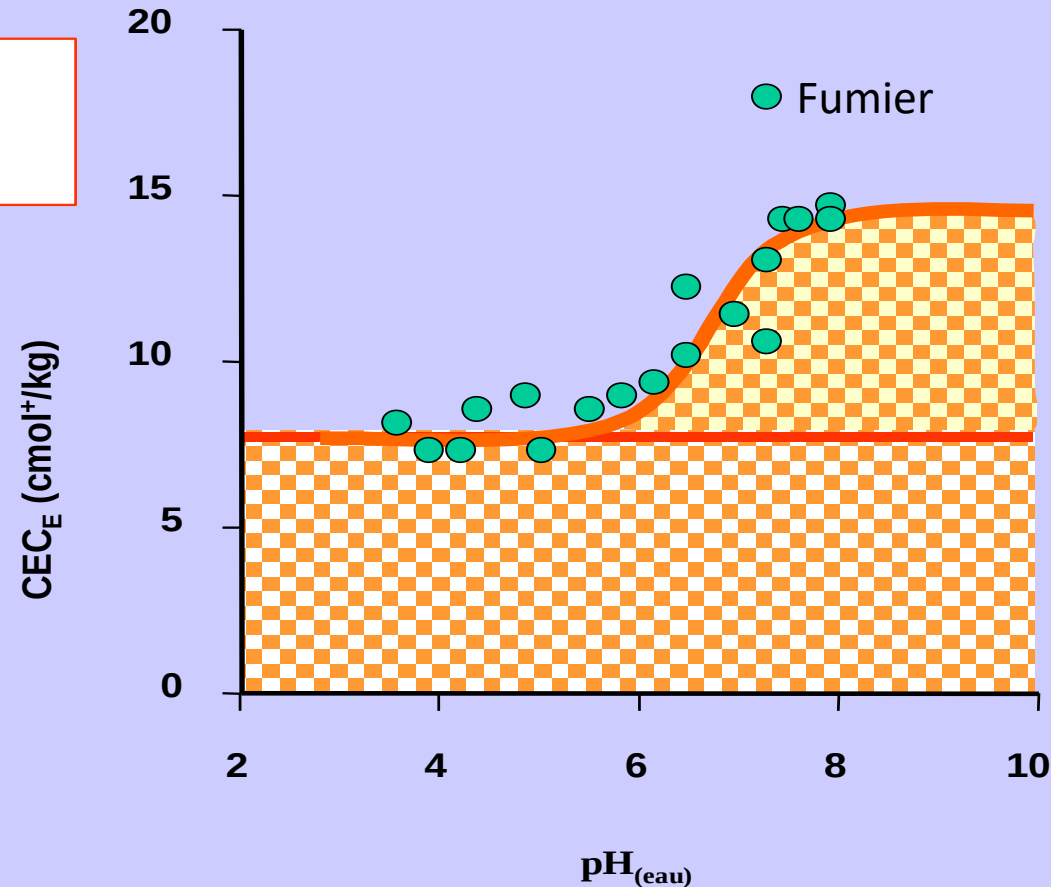


Mécanismes liés à la nature et aux propriétés physico-chimiques des constituants, (hydratation, gonflement, structuration),

Importance des propriétés aux interfaces : CEC mesurée au pH du sol.

ESSAI DE LONGUE
DUREE DES 42
PARCELLES

Pernes et
Tessier,
2001



CHARGES
VARIABLES DES
ARGILES ET DES
MATIERES
ORGANQUES

CHARGES
PERMANENTES
DES ARGILES

● points expérimentaux

On a sous estimé l'importance de la charge variable des constituants des sols.

$$\text{CEC}_{\text{sol}} = \text{CEC}_A + \text{CEC}_{\text{MO}}$$

Sur des sols de Lorraine, à pH = 7,0, ($r^2 = 0,95$):

$$\text{CEC}_A = 37 \text{ cmole}^+/\text{kg}$$

$$\text{CEC}_{\text{MO}} = 275 \text{ cmole}^+/\text{kg}$$

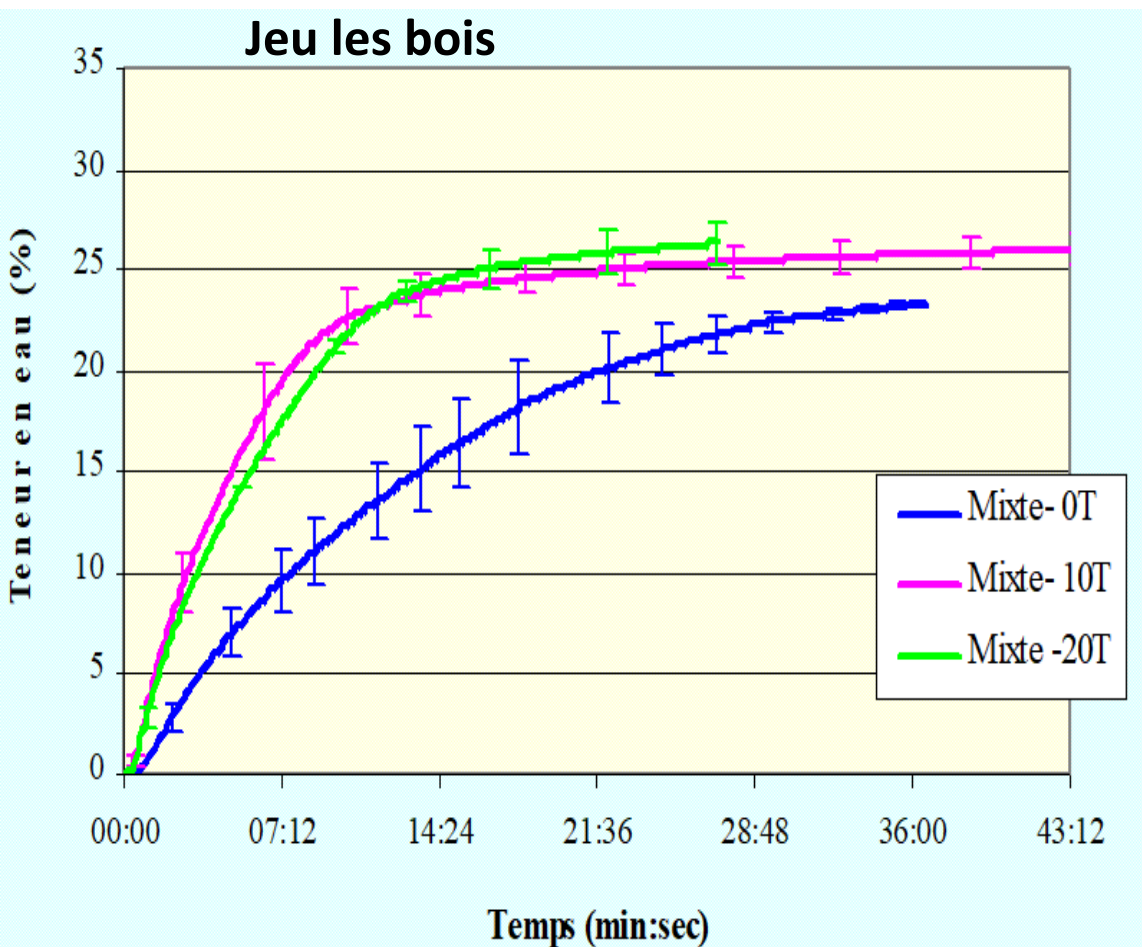
A pH = 7,0 la capacité d'échange en cations (CEC) attribuée aux matières organiques est 7 fois plus importante que celle des argiles. Elle est éminemment variable en fonction du pH (de proche de zéro à plus de 275 cmole⁺/kg). D'où le rôle fondamental et extrêmement variable des matières organiques sur les propriétés des sols (d'après Bigorre et al. 2001)

Conséquences : Les pratiques entraînent des changements des propriétés chimiques (pH, ions dispersants) et des modifications des propriétés physiques (favorables ou non)

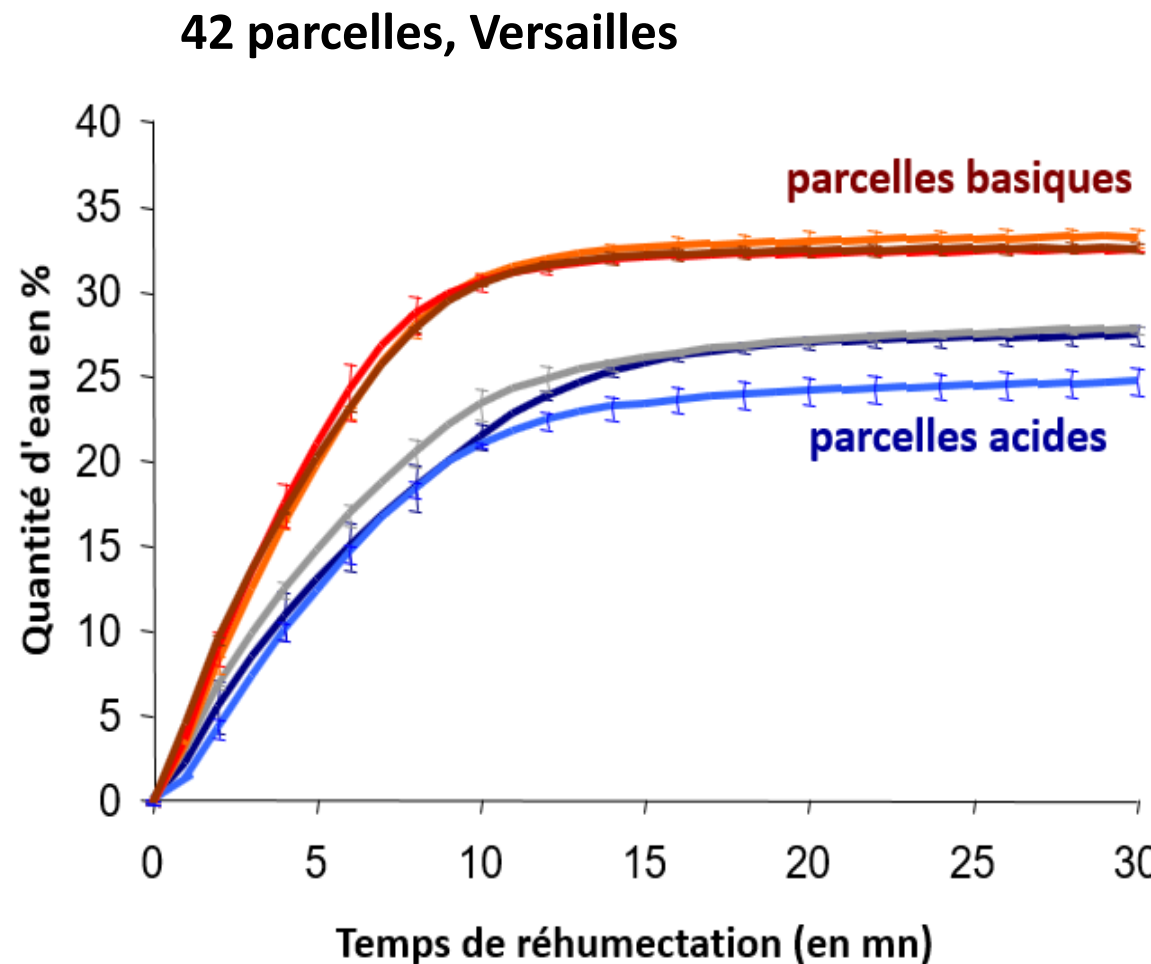


42 parcelles de Versailles: états de surface du sol au printemps après bêchage à l'automne

La variation de capacité d'échange du sol en fonction du pH entraine une modification de l'affinité pour l'eau (caractère $\pm$ hydrophile) et en même temps une variation de la porosité du sol (Site Arvalis de Jeu les bois et 42 parcelles de Versailles)



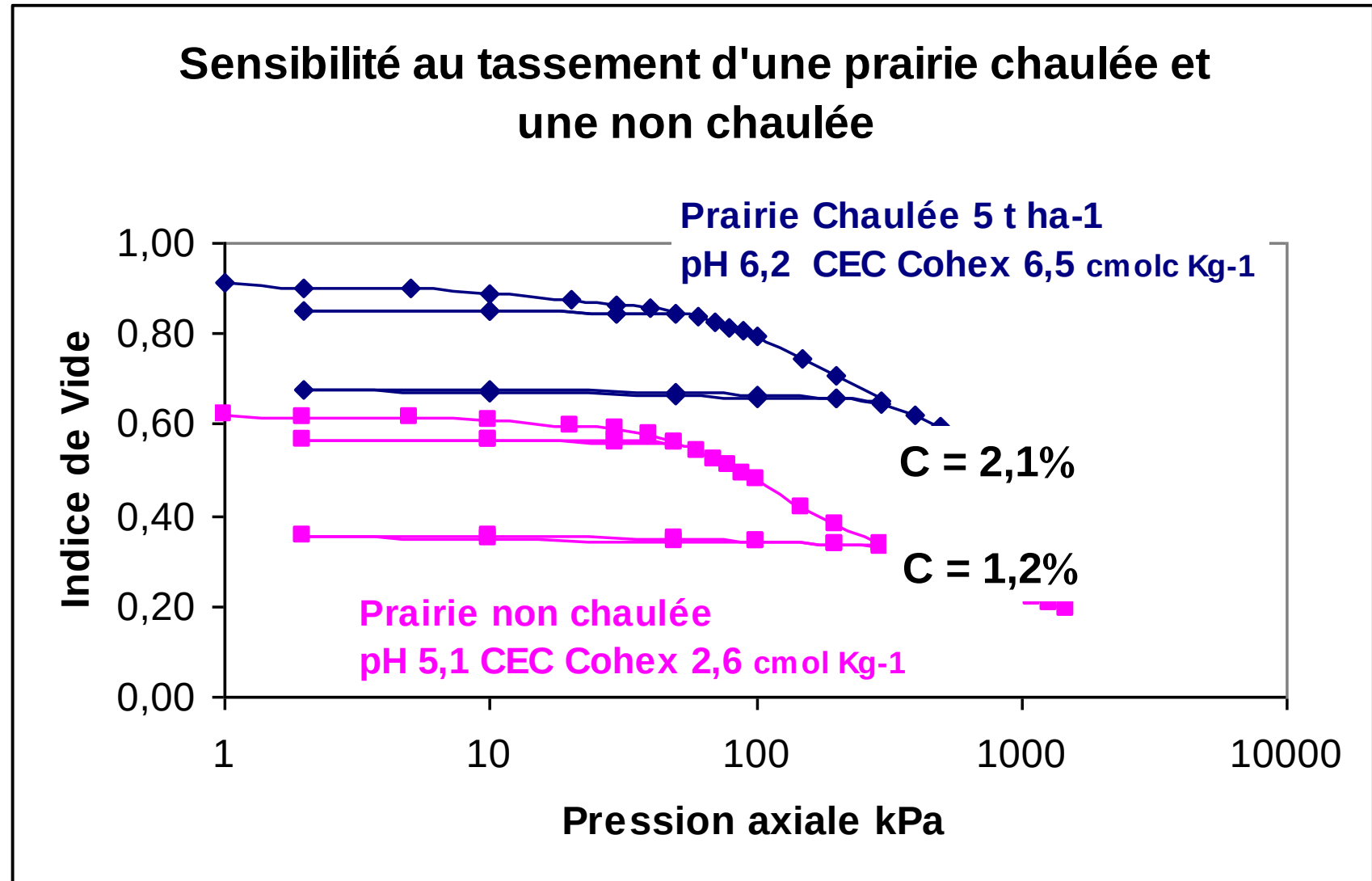
pH	CEC
5,8	2,8
6,2	5,0
7,2	6,2



Conséquences sur le tassement

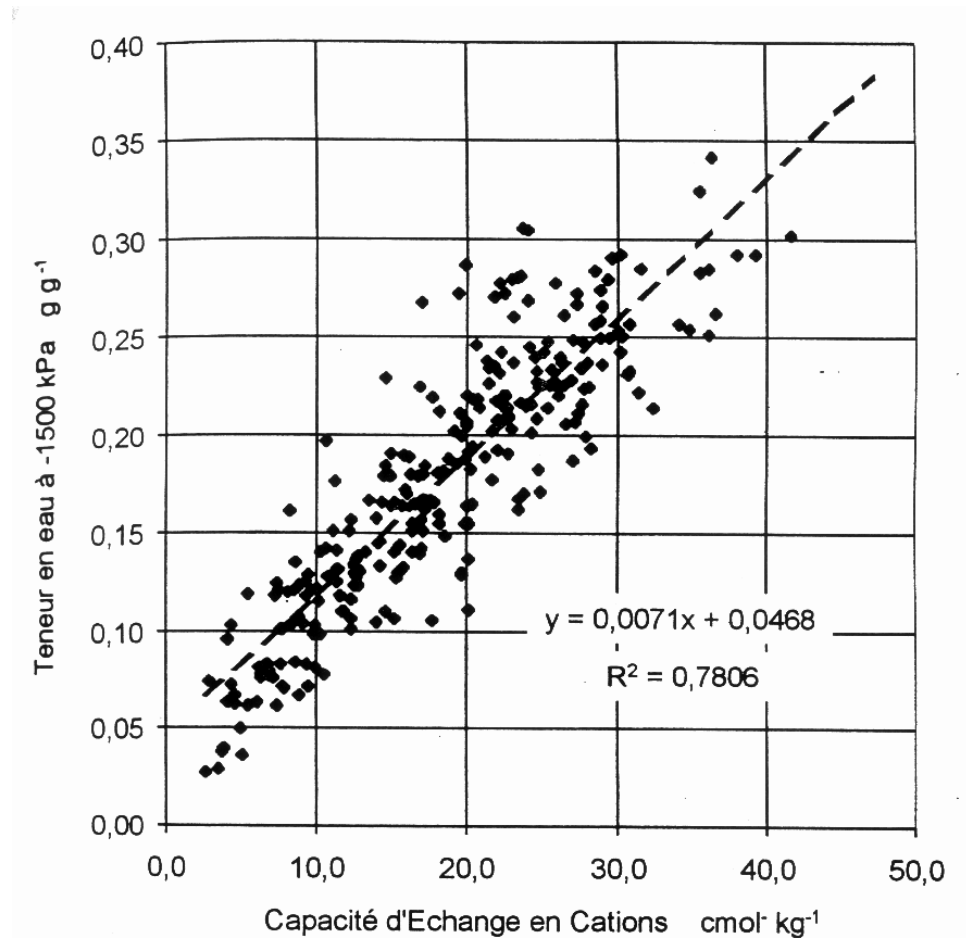
(Indice de vide = volume de vide/volume de solide)

Le chaulage augmente la densité de charge électrique des constituants minéraux et organiques et sature les charges négatives par du calcium ce qui renforce la cohésion interparticulaire et rend la structure du sol plus stable.

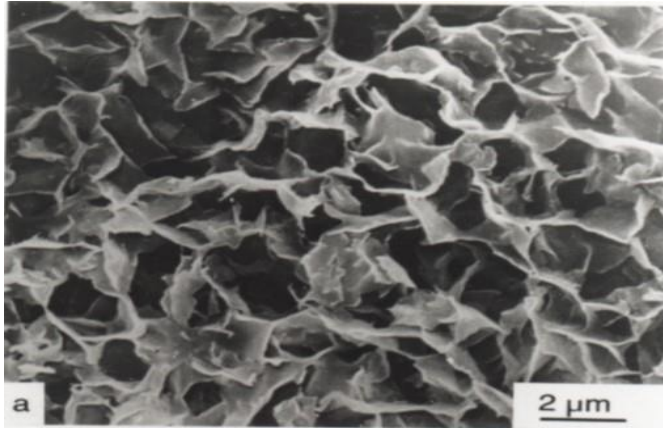


Introduction de fonctions de pédotransfert : quelles leçons pour la prévision des propriétés des sols ?

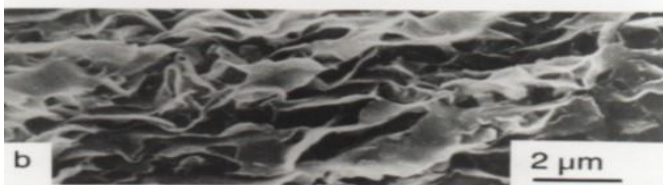
Mesure de la teneur en eau à -1500 kPa (pF = 4,2) et relation avec la capacité d'échange cationique (150 horizons de sols, Tessier et Bruand, 1998).



55



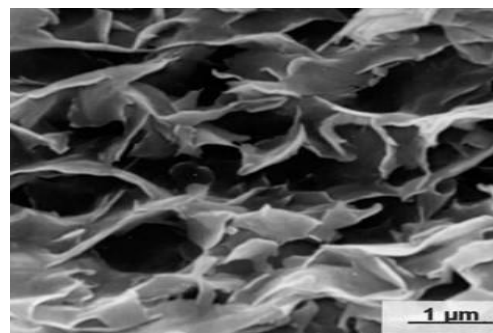
55



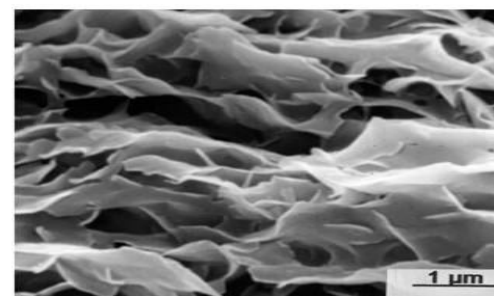
225



Importance de l'histoire (hydrique) du sol. Quelles évolutions à long terme dues aux cycles extrêmes de dessiccation-humectation et quelles repercussions sur les sols (densification, réserve en eau, exploration par la rhizosphère, travail du sol, portance)?



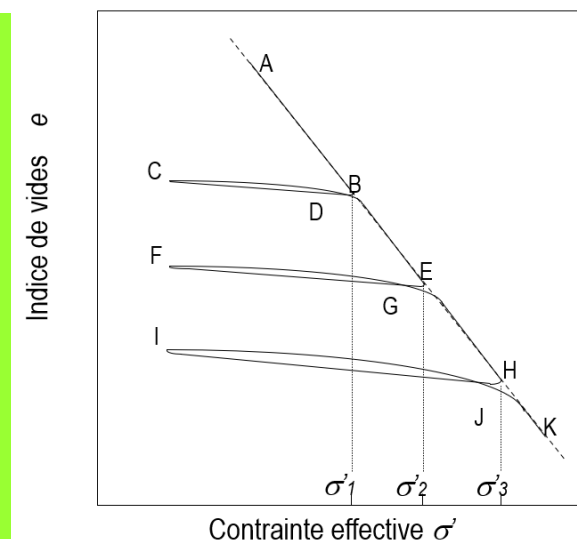
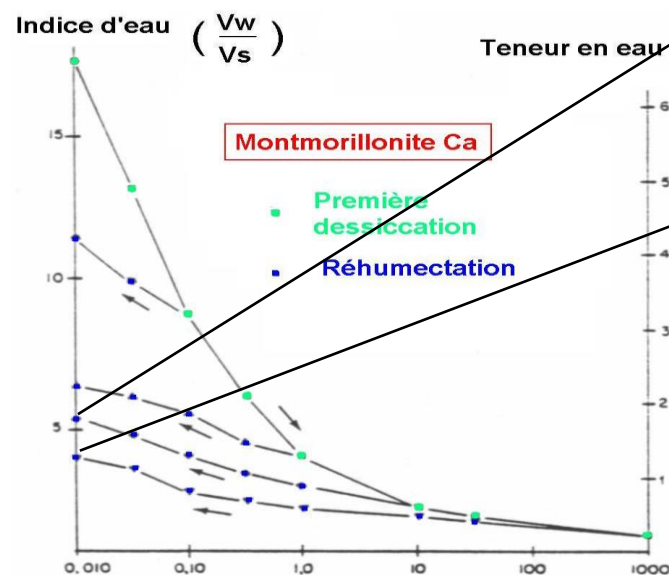
65



90

A gauche évolution de l'organisation et du volume apparent d'une argile en 1^{ère} dessiccation à trois pressions (3,2, 10 et 100 kPa). Observation au microscope électronique à balayage à l'état hydraté (Tessier, 1984).

A droite, l'organisation de l'argile réhydratée à 3,2 kPa depuis 10 et 1000 kPa prend la forme d'un réseau poreux déformable plus ou moins agrégé dense suivant le niveau de dessiccation initial



Conclusions

La part physique de la capacité du sol à se structurer après un tassement est principalement liée à la variation de volume du sol à différentes échelles lors des cycles de dessiccation-humectation.

Les effets des contraintes mécaniques et hydriques sont totalement différents. La compression mécanique tend à faire disparaître la porosité dite structurale d'importance primordiale pour le développement de la vie dans le sol. Les cycles de dessiccation-humectation favorisent des changements de volume à différentes échelles, structurant le sol et permettant ainsi l'infiltration, le stockage de l'eau, le développement de la rhizosphère, de la faune et de la flore du sol.

Si les cycles de dessiccation-humectation jouent un rôle important sur la régénération potentielle de la structure des sols, dans quelle mesure des dessèchements exceptionnels, spécialement sur des sols tassés, induisent-ils une réduction de la réserve en eau des sols sur le long terme? Quel est aussi le rôle des matières organiques en complément des argiles?

Pour augmenter la réactivité et la stabilité physique des sols il faut jouer sur leurs caractéristiques au plan physico-chimique et leur composition (MO). Le maintien d'un pH *plus élevé que généralement admis* est un facteur essentiel de la stabilité physique et mécanique des sols et de la régénération de leur structure (Cf. H. Boizard).

Pour les sols aux constituants peu réactifs, dans la partie non travaillée du sol, seule la faune du sol et la rhizosphère apparaissent susceptibles d'assurer la régénération d'une porosité structurale dégradée. Etant donné les caractéristiques de nombreux sols forestiers (bas pH) il faut à tout prix éviter les tassements qui restent difficilement réversibles (Cf. J. Ranger).

Merci pour votre attention!