

PROPRIETES PHYSICO-CHEMIQUES DU SOL

Intro de J. Peigné

Quelques rappels : Les constituants du sol

De quoi sont constitués les sols ?

Constituants minéraux

Les sesqui oxydes

Les sels de Fe

Constituants organiques

Photos, microscope

Micro structure d'argile

Schéma d'acide humique

I Les grandes propriétés chimiques du sol

A La capacité d'échange du sol

1 Le complexe d'échange argilo-humique adsorbant

Le complexe argilo-humique (CAH)

L'humus peut se lier à l'argile de 3 façons

→ directement

→ avec des ponts calciques

→ avec des hydroxydes de Fe et d'Al

Liaison : mucus microbien

Complexe adsorbant

- minéraux argileux, substances humiques, oxydes et hydroxydes
- charges permanentes dues à des substitutions isomorphiques
- charges variables dues à groupes fonctionnels

Empilement de feuillets mica-illite

Quatre types d'argile

Protonation du complexe d'échange

L'adsorption des ions

• Principaux ions du sol

• Mécanismes de l'adsorption des ions

Schématisation du complexe adsorbant

2 CEC

Schéma des sites chargés à la surface des particules du sol

Variation des charges négatives avec le pH

CEC Nelson

CEC effective, taux de saturation du CA

Exercice

3 Les échanges ioniques

Schéma de la double couche diffuse

Notion d'équilibre

Garniture ioniques

6/12/2018

B - Statut acido-basique (SAB) et acidification des sols

1. Acidité et états du sol

p.21

Acidité du sol

D'où vient-elle?

- oxyd° des NO
- nitrification
- oxyd° des minéraux (sulfures...)
- racines?

Comment est-elle régulée?

- dénitrif°
- oxyd° des minéraux
- saturat° des charges neg. par H^+
- protonat° des NO
- altération des carbonates et aluminosilicates

Pouvoir tampon

pH et états du sol

- Decarbonatation
- Acidification - Décalkification
- Acidification - Aluminisation
- Chaulage - Recalcification

Le OH^- récupère les H^+ , le Ca^{2+} reprend sa place.

2. Mesures du SAB

Indicateurs du statut acido-basique

Variation des pH eau et pH KCl dans le temps sur sol non chaulé

3. Acidification des sols, chaulage

Le dispositif des 42 parcelles à Versailles

Evolution physico-chimique du sol

Surface du sol après l'hiver, témoin

Surface du sol après l'hiver, basique

Surface du sol après l'hiver, KCl

Exemple : culture de blé

Effets du chaulage sur le sol

C Conditions d'oxydo-réduction

1 Définition

Position approximative de quelques milieux naturels caractérisés

Evolution du système Fe^{2+} / Fe^{3+} en fonction des conditions de pH et de Eh

Horizons avec hydromorphie

Schéma résumé

III Les éléments minéraux

Éléments minéraux

Éléments : du sol à la plante

Cycle de l'azote

Autres éléments

Nature des polluants, sites pollués

Indicateur pour les oligo-éléments

Bulletin d'analyse de terre

↳ Granulométrie

↳ Statuts

↳ Fertilisants

↳ Oligo-éléments, ET17

III Tassement et régénération des sols

A Phénomène de tassement des sols

1. Rappel : structure du sol, porosité du sol et définition

Structure du sol

C'est la façon dont sont arrangées, assemblées les particules entre elles.

Elle est déterminée par la forme des "vides" (porosité) et des "pleins".

Calcul de la porosité totale

Classification de la porosité du sol

Tassement structural

Tassement textural

2 Action due à l'homme

Illustrations de tassement

Tassements de sols austro-alpins

Profils des principaux cas d'ornières

Conséquences agronomiques

Conséquences environnementales

Les différents outils et méthodes au champs

Méthode des cylindres : densité apparente

Calcul de la densité apparente

Relation porosité - densité apparente $d_a = \frac{m_{sec}}{V_{tot}}$

Densité

Profil cultural - vue du milieu

Profil cultural

B Propriété du sol : sensibilité au tassement

1 Le comportement mécanique du sol

Définitions : cohésion, adhésivité, plasticité

État du sol en fonction de l'humidité : cohérent, liquide, plastique

Cohésion et adhésivité en fonction de l'humidité

2 Facteurs influençant le tassement

Cohésion et adhésivité en fonction de l'humidité et texture

Les facteurs du sol influençant le tassement

C Régénération

1. Naturellement, sous l'action du climat

Régénération de la structure d'une motte

79 diapos à revoir

Comportement du sol : le mécanisme de gonflement - retrait

Courbe de retrait-gonflement

Evolution des courbes de retrait-gonflement : courbe d'équilibre

Courbe de retrait d'un échantillon de sol dit "non gonflant"

Comparaison Kaolinite / Smectite

Mise en évidence de la porosité fissurale

Fissuration en sol argileux

Activité structurale

Classes d'aptitudes à la fissuration

2 Vie du sol

Action des racines

Action de la faune du sol : épigées endogées anéciques

Photo lombrics

Mémoire d'un isarien : les lombriciens peuvent-ils régénérer les sols ?

↳ premier effet : le tassement réduit le nombre et l'activité des vers

↳ évolution de nombre de galeries en zone compactée

↳ capacité des espèces à coloniser des espaces compactés

3 Les pratiques pour ne pas tasser ou

les pratiques pour ne pas tasser (3 diapos)

• date d'entrée Hcc

• itinéraire technique : semis direct, semoir et charrue combinés

• diminution des pressions : vitesse du tracteur, largeur ou nombre des pneus.

• tassement sur une faible surface : agriculture de précision, syst. GPS, roues cages (vieux)

Infl direct

Infl

Rep

Eff

Roues

Pass

Comment décompacter ?

Le tassement

Décompacteur : exemple de l'outil à dents

→ Exercice sur e-campus (dernière diapo)

IV L'eau et le sol

A Définition de l'humidité du sol

Formules $H_m = W = \frac{m_{eau}}{m_{sol\ sec}} \times 100$

$$H_v = \frac{V_{eau}}{V_{sol\ sec}} \times 100$$

Porosité du sol

Exprimée en hauteur d'eau.

B Les divers modes de

1 Les forces qui agissent sur l'eau

Les 3 cas de molécule d'eau (inutilisable, utilisable, de gravité)

2 Le potentiel de l'eau

Etat énergétique de l'eau du sol

Potentiel total de l'eau : Φ

Potentiel de pression : eau pelliculaire et capillaire

Eau pelliculaire et capillaire

Mesure de la capillarité : loi de JURIN

Etat de l'eau

C Notion de potentiel capillaire ou matriciel

1 Définition

Définition du potentiel matriciel

♥ → Il est égal à

Expression du potentiel matriciel

2 Mesure

Le tensiomètre → à rechercher. Il est moche son schéma.

Illustration des différentes profondeurs, photos

D Humidités caractéristiques

1. Graphique de ressuyage

Proportions des 3 humidités

Comparaison graphique des textures de sol

Humidités à $pF = 4,2$

Equations d'estimation de H_{cc} , $H_{pF\ 4,2}$ et H_e

Liasons entre différentes humidités caractéristiques

2. Mesures des humidités

Méthodes

Sonde à neutrons

TDR

E. Le calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U

Réserve utile

Calcul de la RU

VID. →
very import. diapo

V Erosion des sols et stabilité structurale

A Phénomène de battance, ruissellement et érosion

1 Facteurs intervenant dans l'érosion

Facteurs de l'érosion

2 Mécanismes des différents types d'érosion

Mécanismes de l'érosion : pluie et ruissellement

Mécanismes de l'érosion : croûte de battance

Formation d'une croûte de battance

Effet splash

L Erosion diffuse
concentrée
des talus
en limite

3 Le rôle de l'agriculture

Rôle de l'agriculture dans le développement de l'érosion en France

(Episode pluvieux sur culture de maïs)

→ Modification des zones

→ Modification des méthodes de travail du sol négatives

→ Modification positives

→ Fertilisations et amendement

Urbanisation

B Etude

1 Def

Stabilité structurale

2 Mécanisme

Relation

Méca

Modèle théorique

Varia

Rôle du

Formale

3 Les facteurs de stabilité

Texture

Garniture

4 Méthode d'évaluation de la stabilité structurale

Méthode

- ↳ Analyse d'aggrégats (1 et 2)
 - ↳ Traitement 1 : eau seule
 - ↳ Traitement 2 : alcool puis eau
 - ↳ Traitement 3 : benzène
 - ↳ Evaluation de la stabilité structurale
 - ↳ Indice global de stabilité = **Is**
 - ↳ Test de percolation : indice **K**
 - ↳ Relation entre **Is** et **K**
- Conclusion sur les mécanismes existants

B Méthodes basées sur le suivi de l'évolution structurale en condition contrôlée

Méthode Le Bissonais - Le Souder
(Conclusions pratiques)

C Lutte contre l'érosion

Action sur les surfaces exposées
Action sur les écoulements

Introduction: les propriétés physico-chimiques du sol

J. Peigné

Objectif de la deuxième partie du cours 'Science du sol'

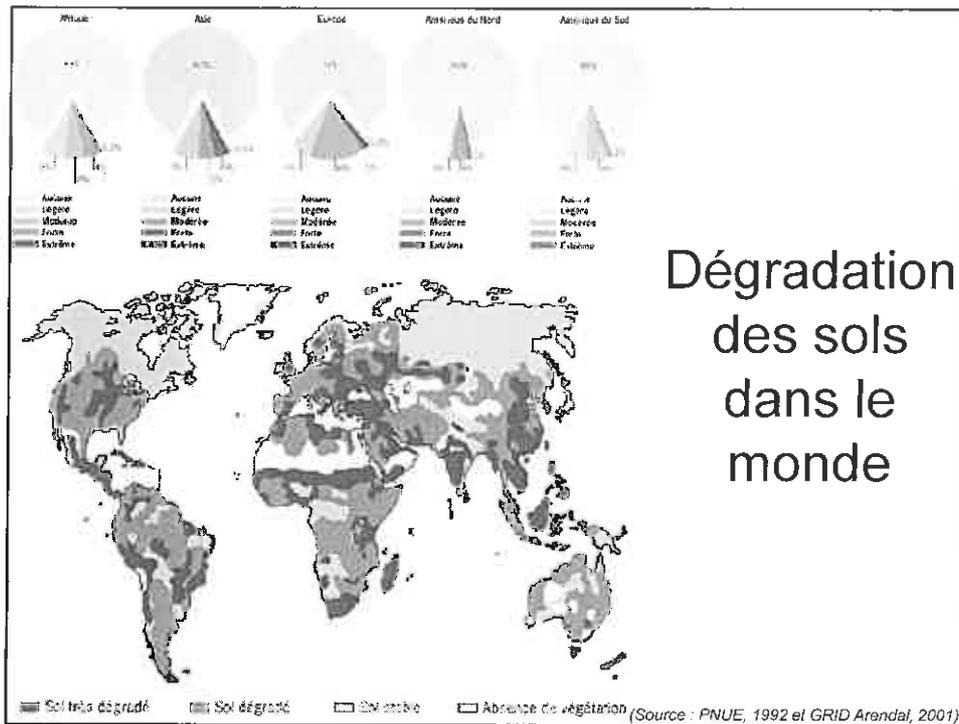
- Comprendre les grandes propriétés physico-chimiques du sol
- Lier ces connaissances avec le fonctionnement du sol, et plus particulièrement les problèmes de dégradation des sols
- Comprendre le fonctionnement global des sols des exploitations agricoles des Stage 2A – faire un diagnostic de culture

Objectif de la deuxième partie du cours 'Science du sol'

- Approfondissement en mai-juin 2011 avec les sorties de terrain
- Approfondissement en 3^{ème} année – lien avec les pratiques agricoles

Pourquoi étudier le comportement du sol...

- Pour prévenir les dégradations du sol dues à:
 - la déforestation (30%),
 - le surpâturage (35%),
 - La mauvaises gestion des terres agricoles (27%),
 - l'industrie et urbanisation (1%)...



Pourquoi étudier le comportement chimique du sol...

Propriétés chimiques	Appauvrissement en nutriments	Réduction de production de biomasse, sols nus, plus d'érosion
	Acidification	
	Salinisation	
	Diminution des teneurs en matières organiques	Battance, érosion, Fuites de CO ₂ dans l'atmosphère
	Contaminations chimiques, minérales ou organiques	Toxicité pour les végétaux, animaux, contamination de l'eau

Les types de dégradation des sols dans le monde...

- L'érosion hydrique (56%),
- L'érosion éolienne (28%),
- La dégradation chimique (12%),
- La dégradation physique (4%) ⇒ tassement, désertification etc.

Surface du sol après l'hiver, témoin



42 parcelles - INRA Versailles

Surface du sol après l'hiver,
basique



42 parcelles - INRA Versailles

Surface du sol après l'hiver, KCl



42 parcelles - INRA Versailles

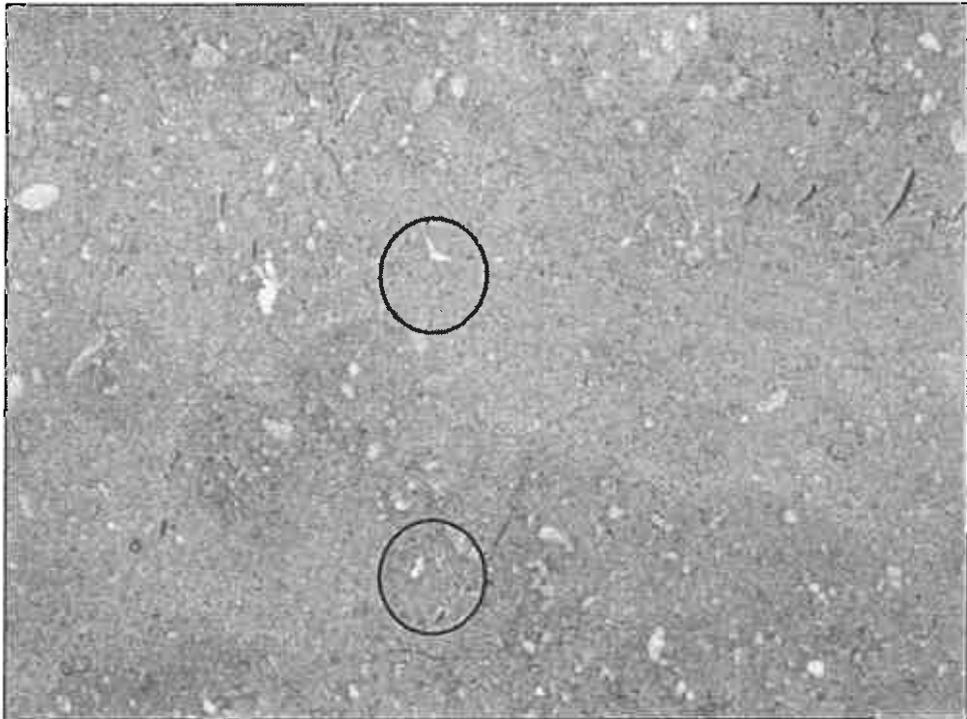
Les types de dégradation des sols dans le monde...

- L'érosion hydrique (56%),
- L'érosion éolienne (28%),
- La dégradation chimique (12%),
- La dégradation physique (4%) ⇒ tassement, désertification etc.

Coût évalué à 38 milliards € / an (CE, 2006)

Exemple d'une parcelle agricole





- Problèmes agronomiques,
- Problèmes environnementaux,
- Problèmes économiques...



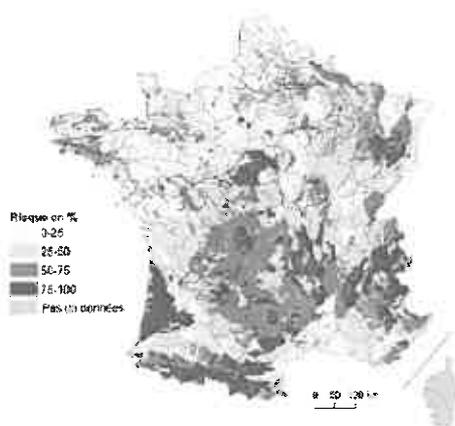
Pourquoi étudier le comportement du sol...

Rôle de support de croissance des plantes

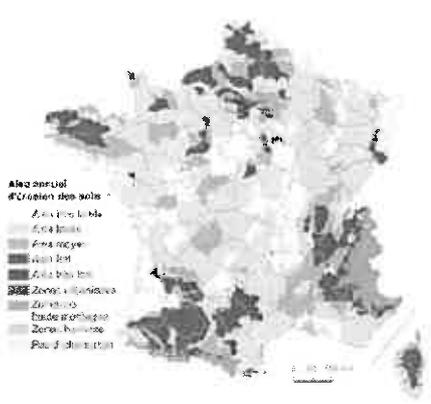
- Rôle d'intermédiaire entre elle celle-ci et les facteurs climatiques : humidité, aération, température....
- Autres services écosystémiques

L'état du sol en France en 2011

<http://www.gissol.fr/RESF/index.php>



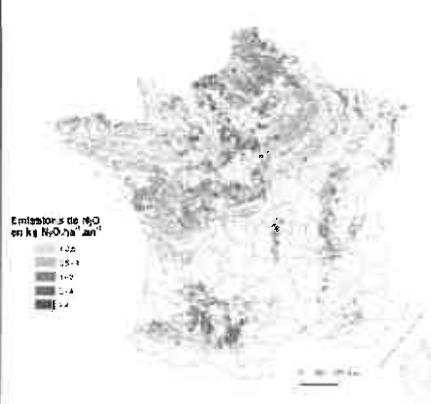
Le tassement



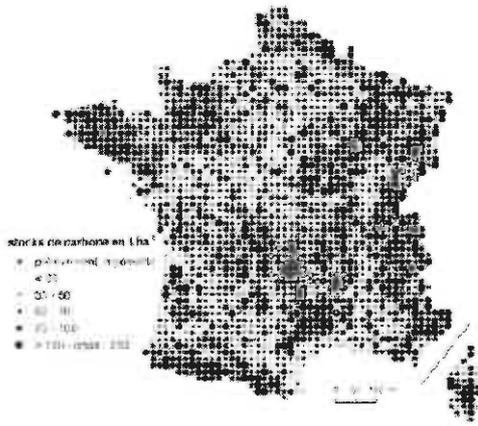
L'érosion

L'état du sol en France en 2011

<http://www.gissol.fr/RESF/index.php>



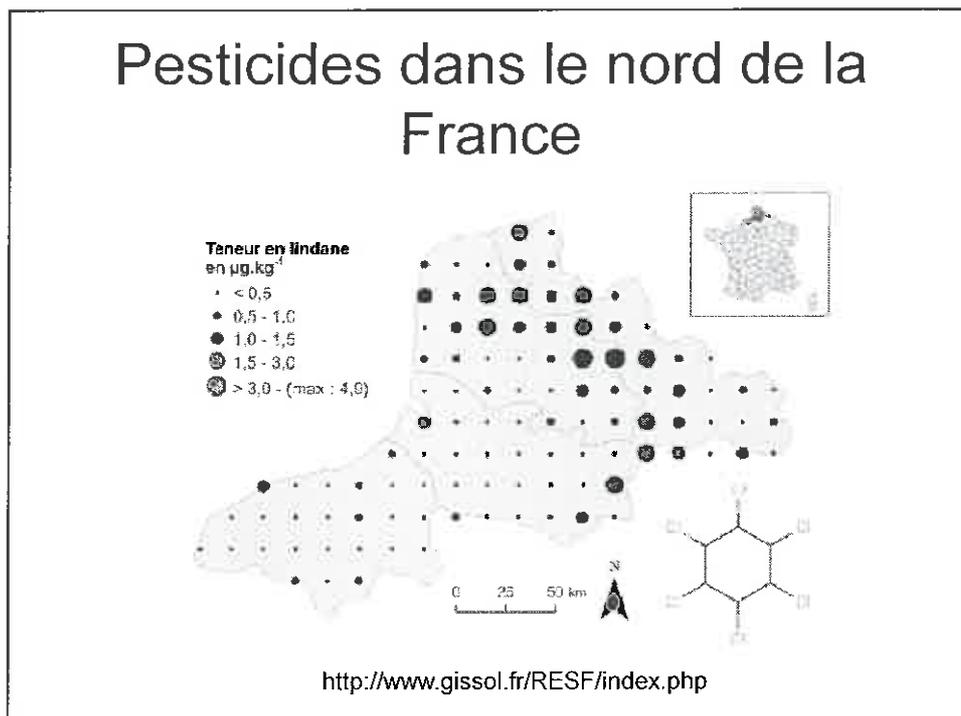
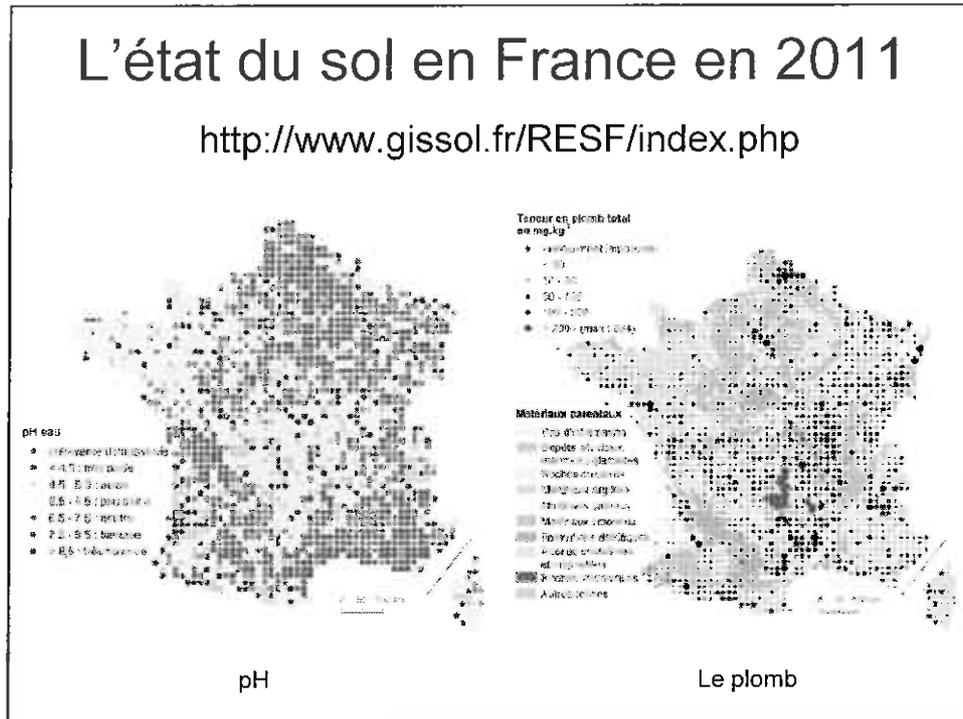
Gaz à effet de serre: N₂O



Le stockage de C

Sols acides en Bretagne
et massif central à
cause d'une roche
mère acide:
granite

On donne du Cu
et Zn aux porcs
deu coup on en
retrouve dans le
lisier



Plan du cours

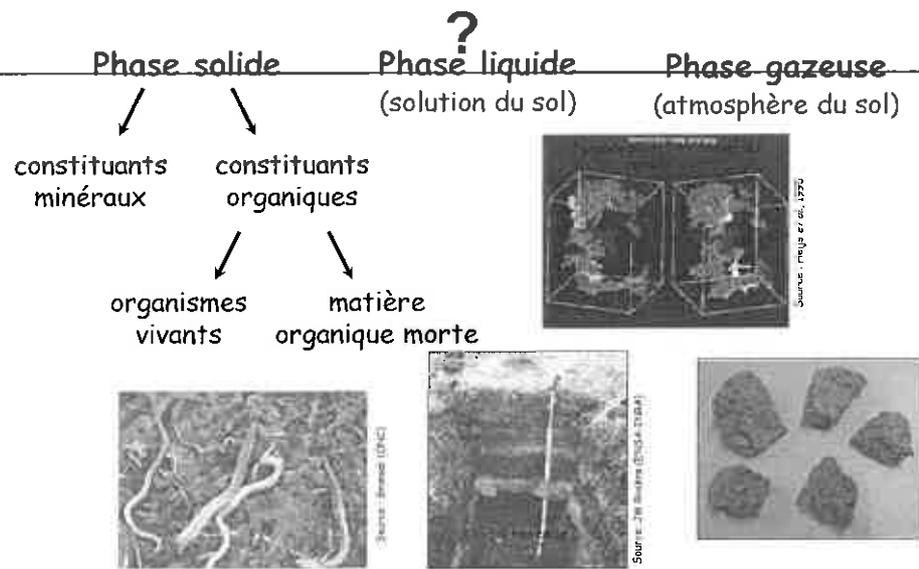
Très bref rappel sur les constituants du sol

- I. Propriétés chimiques du sol, acidification des sols
- II. Eléments minéraux
- III. Tassement et régénération du sol
- IV. Eau et sol
- V. Battance, ruissellement et érosion

Quelques rappels

Les constituants du sol

De quoi sont constitués les sols

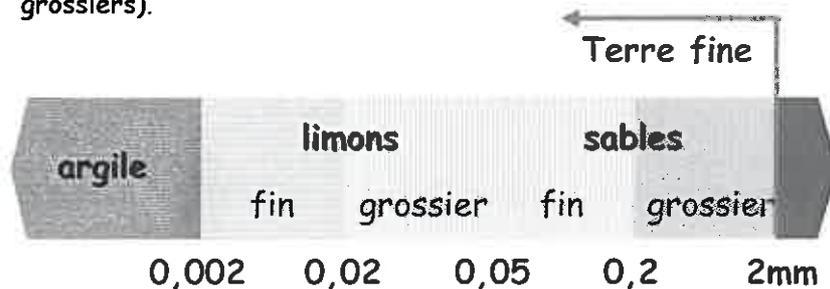


Les argiles granulométriques peuvent très bien contenir d'autres choses que des argiles minéralogiques

Constituants minéraux

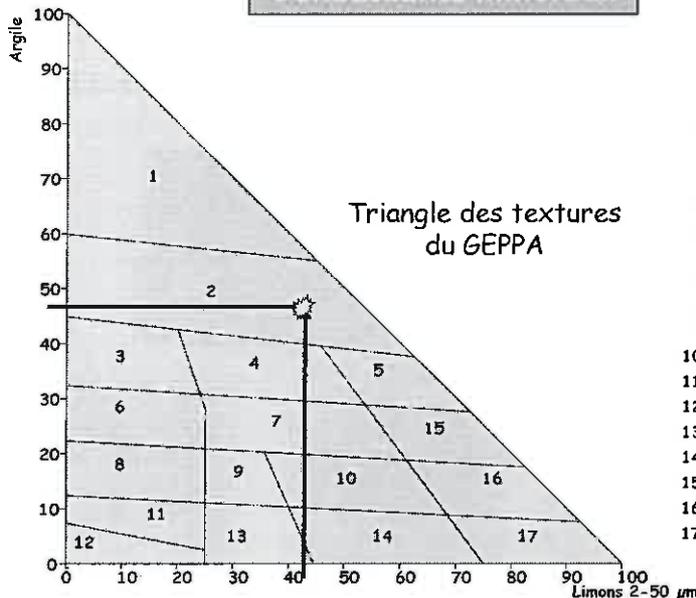
Classement selon leur

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



Source : Jean-Marie Vinatier

Constituants minéraux



- 1 Argile lourde
- 2 Argile
- 3 Argile sableuse
- 4 Argile limono-sableuse
- 5 Argile limoneuse
- 6 Argilo-sableuse
- 7 Limono-argilo-sableuse
- 8 Sable argileux
- 9 Sable argilo-limoneux
- 10 Limon argilo-sableux
- 11 Sableuse
- 12 Sable
- 13 Sable limoneux
- 14 Limon sableux
- 15 Limon argileux
- 16 Limoneuse
- 17 Limon pur

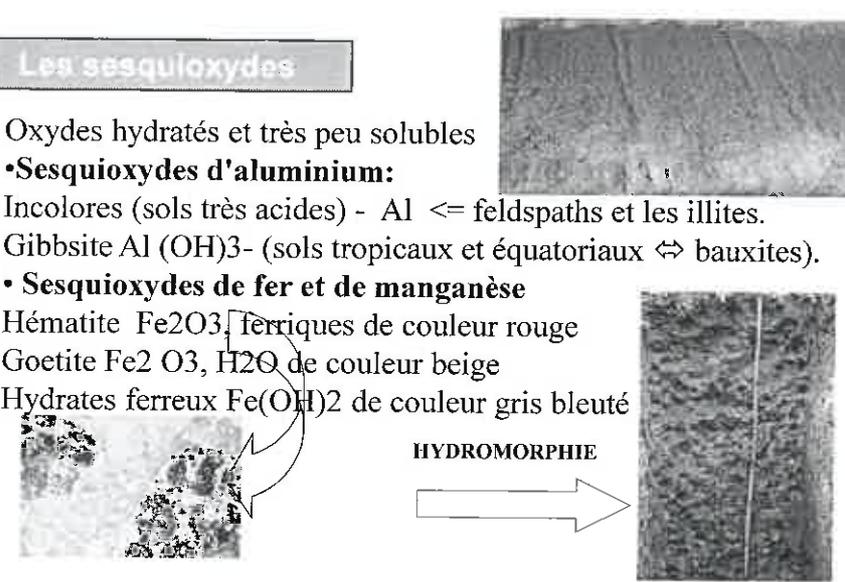
Source : Jean-Marie Vinatier

Les sesquioxydes déterminent la couleur d'un sol

Les sesquioxydes

Oxydes hydratés et très peu solubles

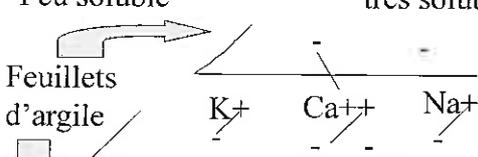
- **Sesquioxydes d'aluminium:**
Incolores (sols très acides) - Al \leftarrow feldspaths et les illites.
Gibbsite Al (OH)₃- (sols tropicaux et équatoriaux \leftrightarrow bauxites).
- **Sesquioxydes de fer et de manganèse**
Hématite Fe₂O₃, ferriques de couleur rouge
Goéte Fe₂O₃, H₂O de couleur beige
Hydrates ferreux Fe(OH)₂ de couleur gris bleuté



Source : Jean-Marie Vinatier

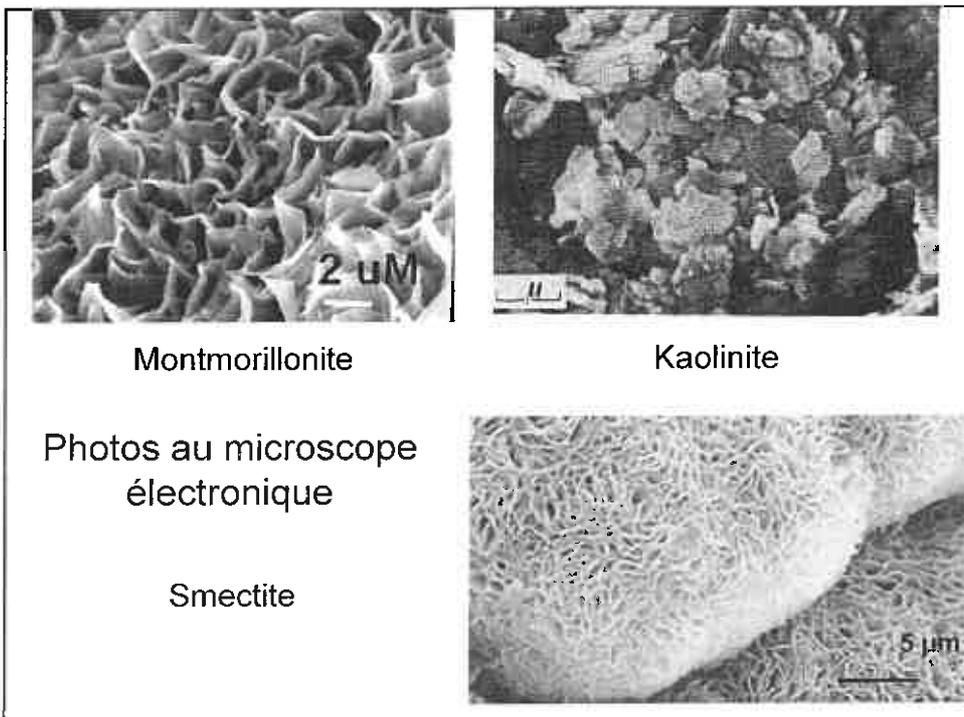
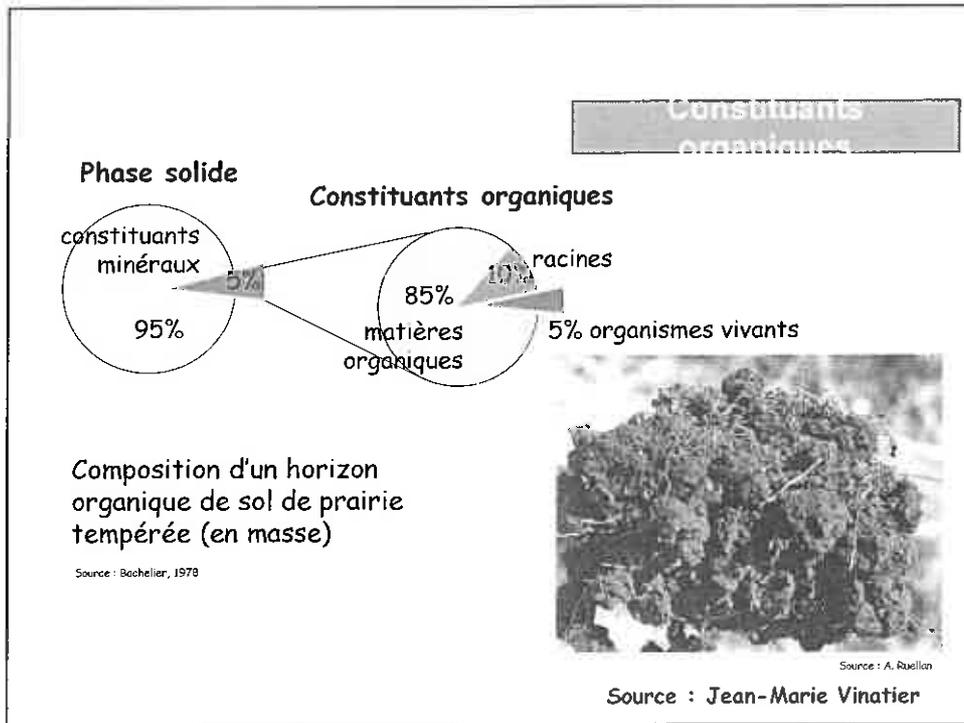
Les sels \rightarrow *Éléments importants*

- Le calcaire (carbonate de calcium) Ca CO₃
 $CO_3 Ca + CO_2 + H_2O \leftrightarrow (CO_3H)_2 Ca$
 Peu soluble \leftrightarrow très soluble



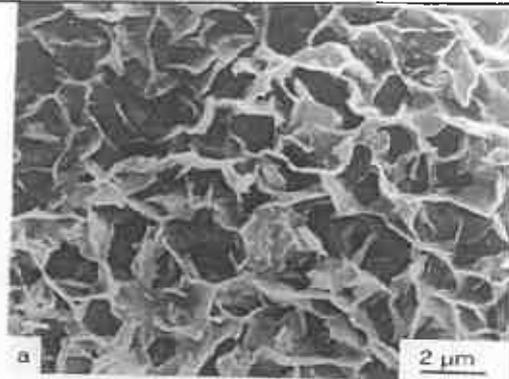
- Le gypse (sulfate de calcium) Ca SO₄
- Autres sels (Chlorures ou sulfates le plus souvent)
 - NaCl
 - KCl

Source : Jean-Marie Vinatier

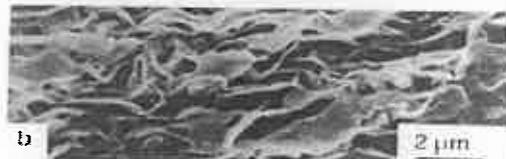


Microstructure
d'une argile à
trois teneurs
en eau (MEB)

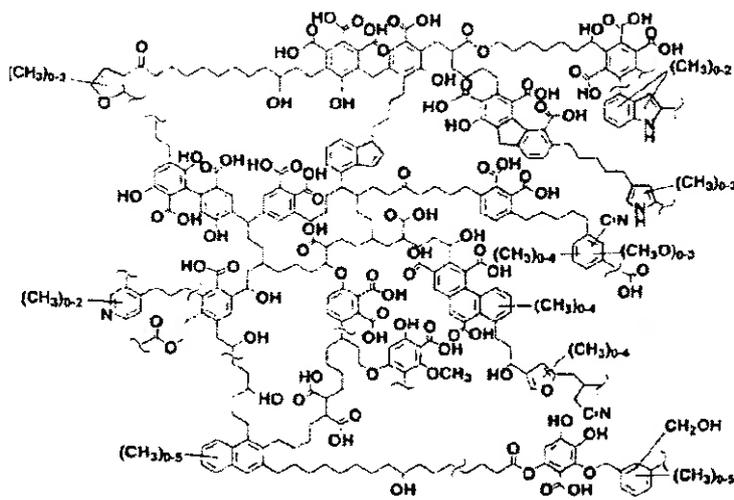
0.032 bar
w = 3.69
1 - e = 9.9



1 bar
w = 1.14
1 - e = 4.0



10 bars
w = 0.82
1 - e = 3.2



Représentation schématique d'un acide humique (Schintzer, 1993).

I – Les grandes propriétés chimiques du sol

I – Propriétés chimiques du sol

- A. La capacité d'échange du sol
 - 1. Le complexe d'échange – argilo-humique – adsorbant
 - 2. La capacité d'échange cationique : CEC
 - 3. Les échanges ioniques

- B. Le statut acido-basique (SAB) et acidification des sols
 - 1. Acidité et états du sol
 - 2. Mesures du SAB
 - 3. Acidification des sols, chaulage

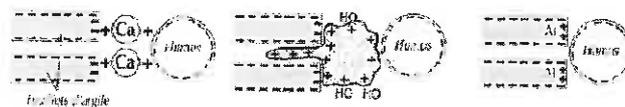
- C. Conditions d'oxydo-réduction
 - 1. Définition
 - 2. Rôle des microorganismes du sol

I – Propriétés chimiques du sol

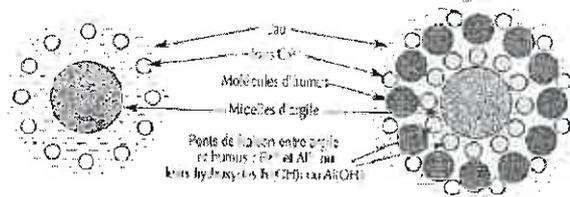
- A. La capacité d'échange du sol
 - 1. Le complexe d'échange – argilo-humique – adsorbant
 - 2. La capacité d'échange cationique : CEC
 - 3. Les échanges ioniques
- B. Le statut acido-basique (SAB) et acidification des sols
 - 1. Acidité et états du sol
 - 2. Mesures du SAB
 - 3. Acidification des sols, chaulage
- C. Conditions d'oxydo-réduction
 - 1. Définition
 - 2. Rôle des microorganismes du sol

Le complexe argilo-humique ou CAH

Les liaisons

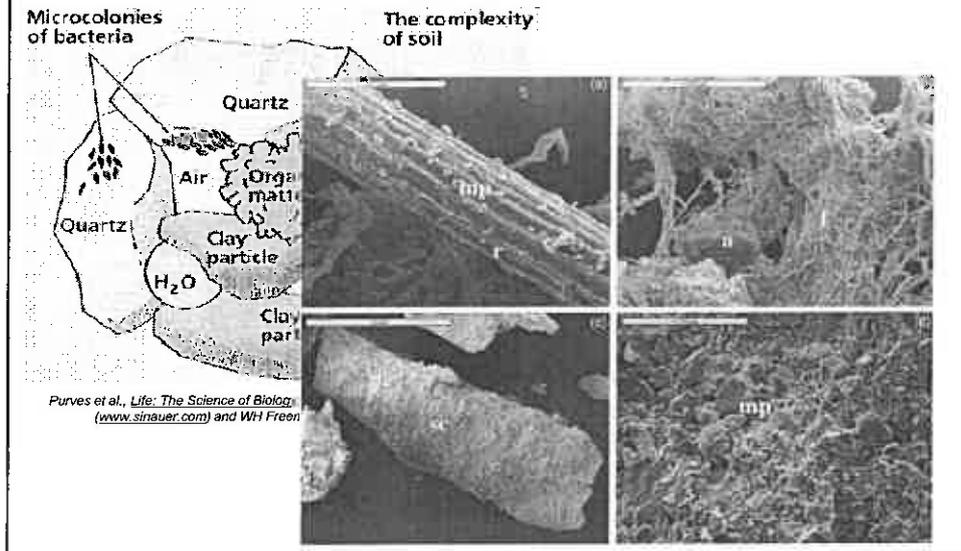


L'effet de la liaison argile-humus



Source : Soltner

Liaison : Mucus microbien

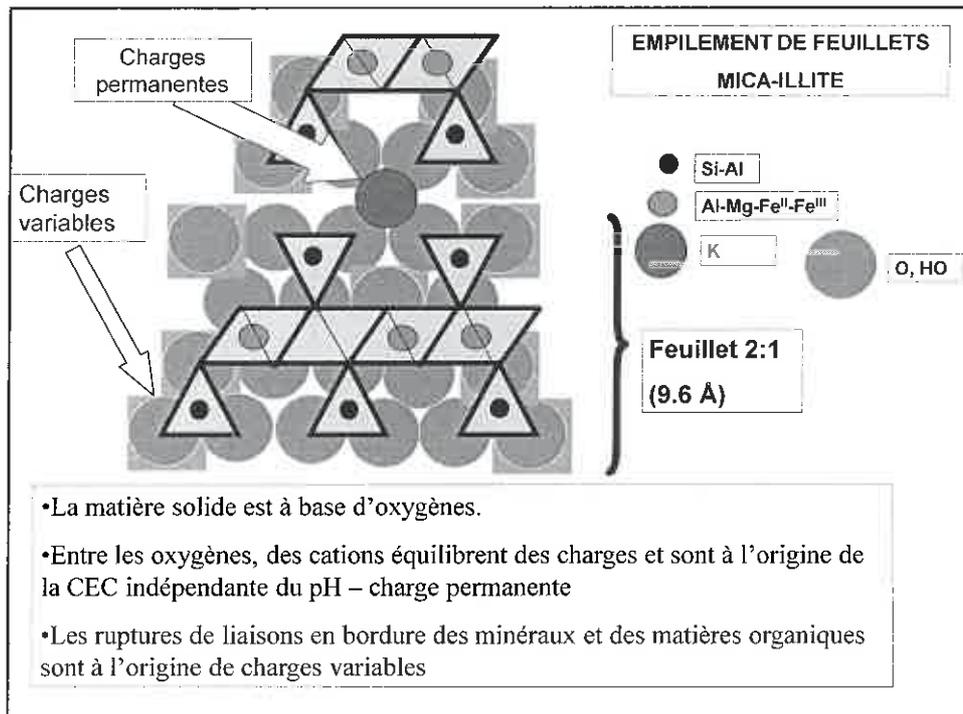


Complexe adsorbant

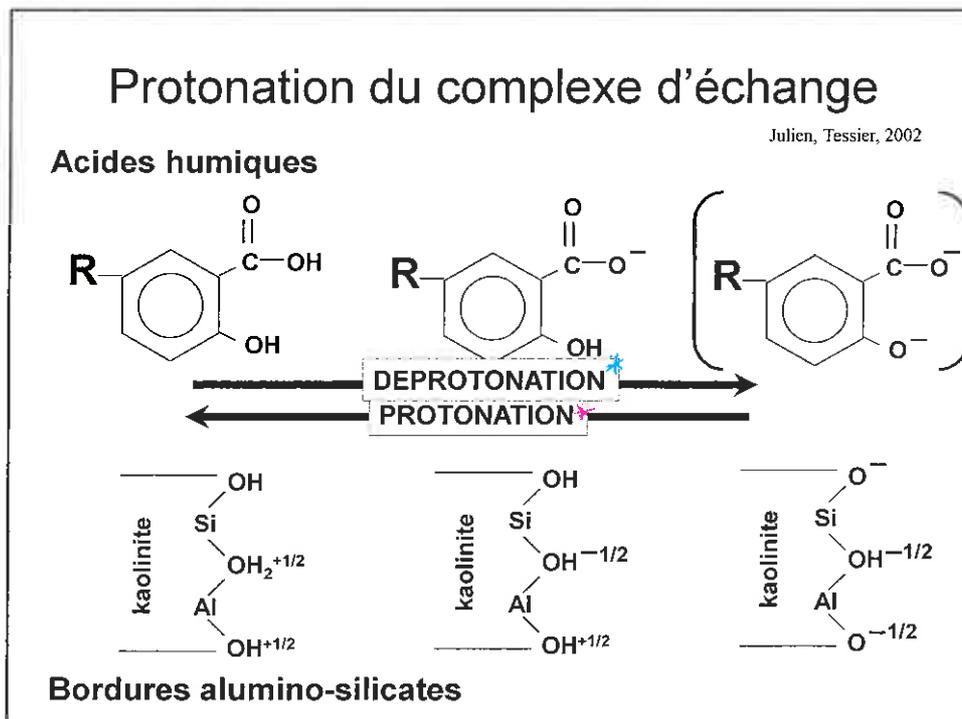
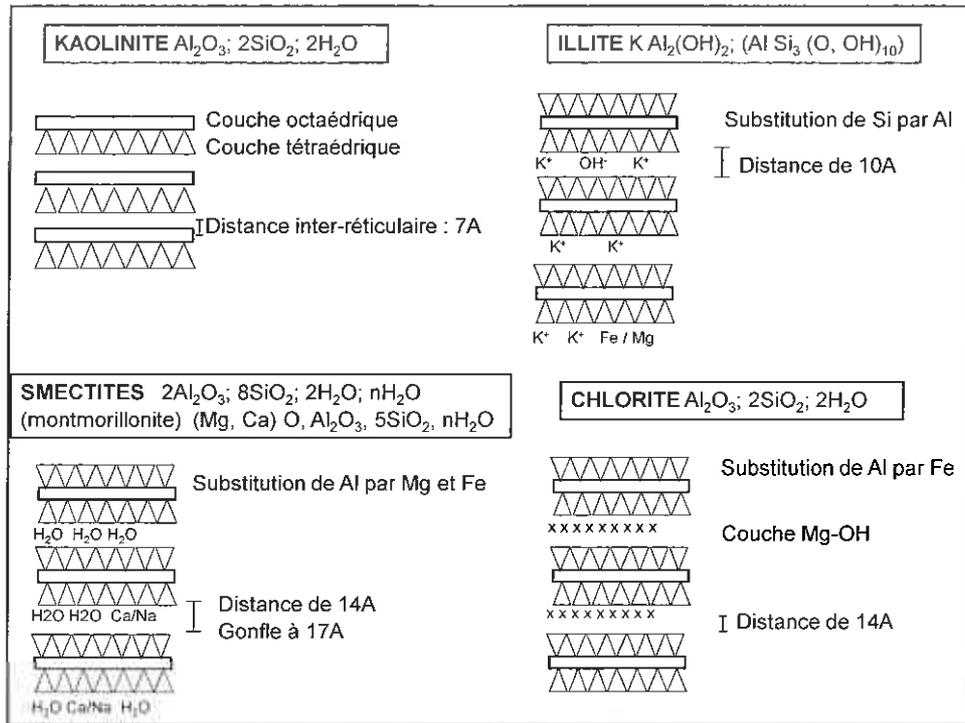
- Minéraux argileux, substances humiques, oxydes et hydroxydes :
 - Adsorption de cations
 - Échange de cations
 - Échange rapide
 - Échange réversible
 - Effet limité
 - Effet variable selon les terres

Complexe adsorbant

- Charges permanentes dues à **substitutions isomorphiques**
 - Compensation par cation hydratés
- Charges variables dues à groupes fonctionnels
 - Bordure des argiles : $\text{SiOH} \rightleftharpoons \text{SiO}^- + \text{H}^+$
 - Sites de la MO : COOH, phénols
 - Oxy-hydroxydes



4 types d'argiles intéressantes parce qu'elles ont des charges négatives



* baisse du pH, les sites deviennent négatifs
 * hausse du pH, les sites deviennent positifs ou neutres

Le pouvoir adsorbant.

L'adsorption des ions

- Principaux ions du sol :

- Cations : Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+ , Na^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}
- Anions : Cl^- , NO_3^- , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- ,

		Charge électrique permanente	Charge électrique variable en fonction du pH	
		négative	négative	Positive*
Minéraux	Smectites	xxx	x	x
	Kaolinites		x	x
	Oxy-hydroxydes		xx	xx
Substances humiques			xxxx	

* la charge positive diminue avec augmentation du pH et devient négative à pH = 7

L'adsorption des ions

- Mécanismes de l'adsorption des ions

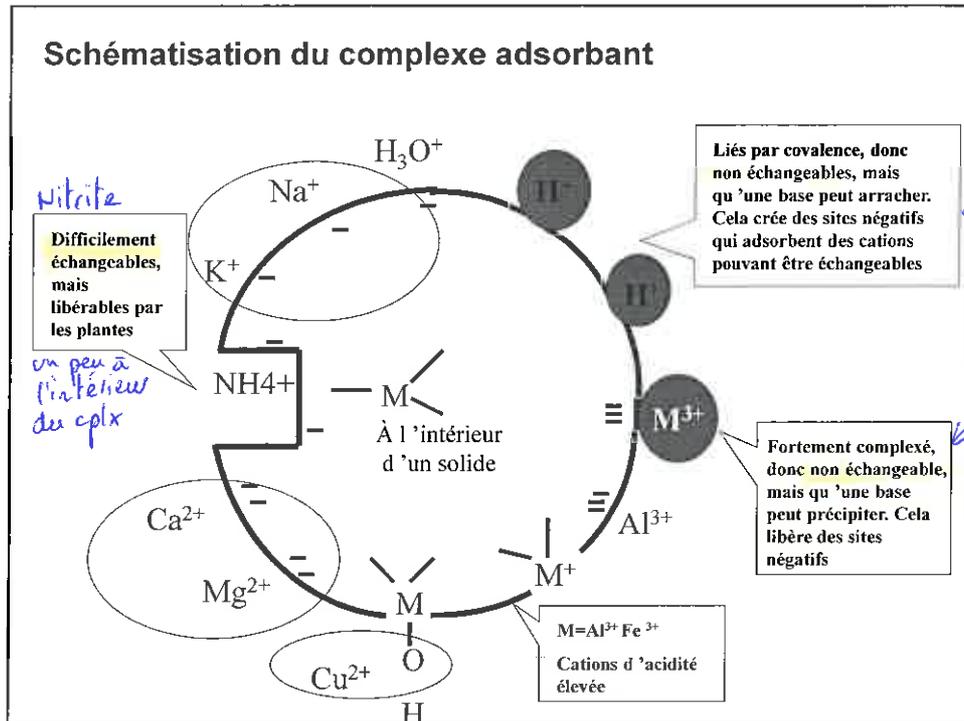
- Ions adsorbés par liaisons électrostatiques

- Cations alcalins (Na, K) et alcalinoterreux (Ca, Mg)
- Anions : Cl^- , NO_3^-

- Ions qui forment des complexes, adsorbés par la formation de complexe de surface et liaisons électrostatiques

- cations : Cu^{2+} , Co^{2+} , Pb^{2+} ,
- Anions : HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- ,

Schématisation du complexe adsorbant



I – Propriétés chimiques du sol

- A. La capacité d'échange du sol
 1. Le complexe d'échange – argilo-humique – adsorbant
 2. La capacité d'échange cationique : CEC
 3. Les échanges ioniques
- B. Le statut acido-basique (SAB) et acidification des sols
 1. Acidité et états du sol
 2. Mesures du SAB
 3. Acidification des sols, chaulage
- C. Conditions d'oxydo-réduction
 1. Définition
 2. Rôle des microorganismes du sol

CEC

Nombre de charges cationiques qu'une masse de terre donnée peut retenir à l'état échangeable par des liaisons faibles de type électrostatique sur son complexe adsorbant dans des conditions connues de pH, de concentrations et de natures de cations et anions présents

En centimoles de charges $\frac{c \text{ mol}^+}{\text{kg}}$ / kg de terre ou
milliéquivalents $\frac{\text{meq}}{100\text{g}}$ /100 g de terre

CEC

Variable suivant :

• la nature des argiles et leur teneur dans le sol :

- ~ 0 meq/100 g pour les kaolinites
- + de 80 à 120 meq/100 g pour les smectites

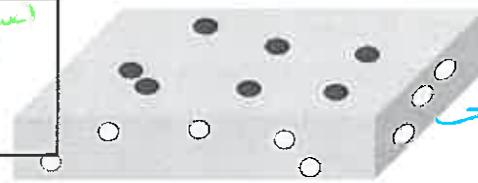
• La nature et la quantité de matière organique

- 200 à 400 meq/100g

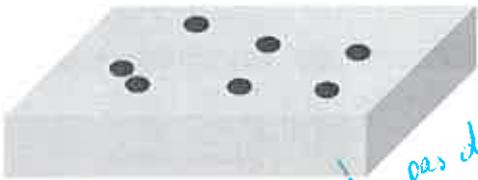
• le pH en g^{al} pH acide → CEC faible
pH basique → CEC importante

Représentation schématique des sites chargés à la surface des particules du sol

pH: haut
Charges : *(insignes)*
● permanentes +
○ variables



pH : bas
Charges
seules
● permanentes

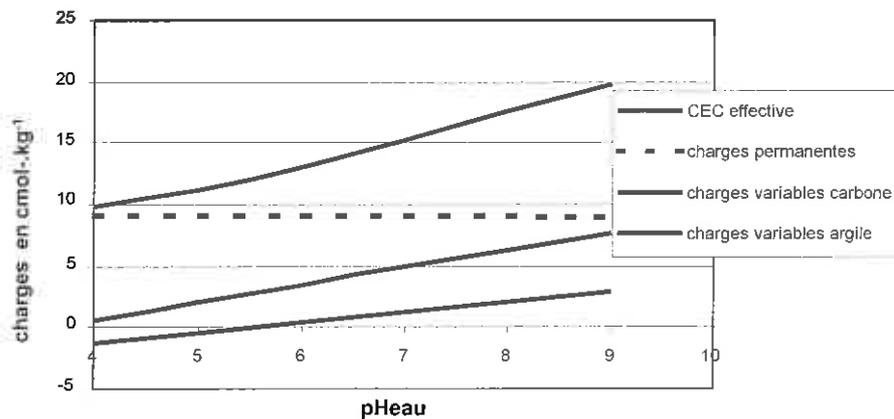


Tessier, 2002

à pH de 10 échangeables ⇒ CEC haut
pas de 10 échangeables toutes les places sont occupées

Variation des charges négatives avec le pH

Sol de l'Aisne avec 200g.kg⁻¹ d'argile (clay) et 15g.kg⁻¹ de carbone organique



Source : Julien 2002

CEC Metson

Quantité d'ions NH_4^+ qu'une masse donnée de terre peut retenir à l'état échangeable lorsqu'elle est traitée avec une solution d'acétate d'ammonium et de $\text{pH} = 7$

On bande le sol de NH_4^+ et on dose.

CEC effective, Taux de saturation du CA

- CEC effective (T), au pH du sol avec
 - Cobalthexamine
 - BaCl_2
- Taux de saturation :
 - Proportion de cations échangeables d'acidité négligeables : Na^+ ; Ca^{2+} , K^+ et Mg^{2+}
 - $V = S/T * 100$
 - S = somme de Na^+ ; Ca^{2+} , K et Mg^{2+}
 - T = CEC effective
 - 100% = saturé

Exercice

- Deux analyses de sol différentes :
 - Quelle texture ?
 - Pourquoi la CEC est différente ?

Caractérisation physique de la parcelle

Parcelle n°: OUI	Superficie (ha): 20	Code de parcelle: 2000	Code de commune: 2000	Code de département: 2000	Code de pays: 2000
Statut de la parcelle: NON					

Granulométrie (en g/kg terre fine)

Classe	Limite inférieure	Limite supérieure	Contenu	Classe	Contenu
avec détermination à fractions	0	20	7.6	avec détermination à fractions	0

APPORT D'AMENDEMENT BASIQUE :

Caractérisation : / tonnes CaO / ha
 Substrat : / tonnes CaO / ha

Paramètre	pH	CaO (g/kg L)	Al (g/kg L)
0	eau 6.3	3.6	7

CEC (en Cmol/kg L)

Métson : 7

↳ 70 meq/100g

Caractérisation physique de la parcelle

Parcelle n°: OUI	Superficie (ha): 20	Code de parcelle: 2000	Code de commune: 2000	Code de département: 2000	Code de pays: 2000
Statut de la parcelle: NON					

Granulométrie (en g/kg terre fine)

Classe	Limite inférieure	Limite supérieure	Contenu	Classe	Contenu
avec détermination à fractions	0	20	34.5	avec détermination à fractions	0

APPORT D'AMENDEMENT BASIQUE :

Caractérisation : / tonnes CaO / ha
 Substrat : / tonnes CaO / ha

Paramètre	pH	CaO (g/kg L)	Al (g/kg L)
0	eau 6.2	15.5	7

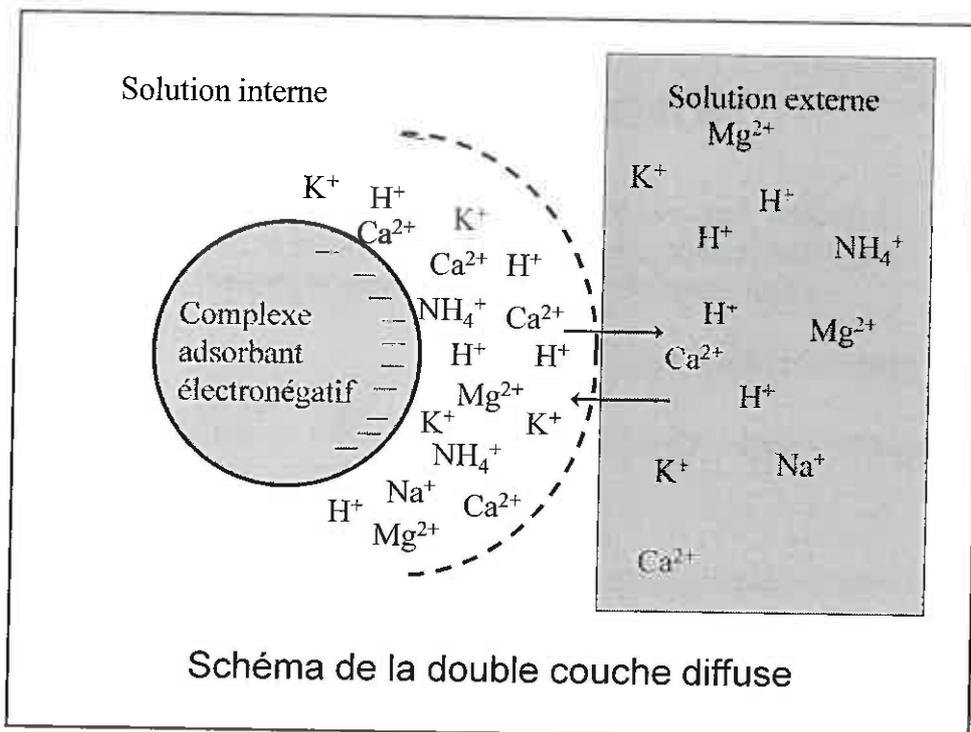
CEC (en Cmol/kg L)

Métson : 25.8

↳ 258 meq/100g

I – Propriétés chimiques du sol

- A. La capacité d'échange du sol
1. Le complexe d'échange – argilo-humique – adsorbant
 2. La capacité d'échange cationique : CEC
 3. Les échanges ioniques
- B. Le statut acido-basique (SAB) et acidification des sols
1. Acidité des sol et états du sol
 2. Mesures du SAB
 3. Acidification des sols, chaulage
- C. Conditions d'oxydo-réduction
1. Définition
 2. Rôle des microorganismes du sol



Notion d'équilibre

1. Chaque cation a sa sphère d'activité dans le sol
2. Si ion I1 sature CAH, sa concentration dans la solution interne est en équilibre avec la solution externe
3. Cet équilibre dépend du pouvoir de fixation du CAH
4. Si ion ajoutée I2 : modification de l'équilibre, remplace une même charge que ion I1, ce dernier passe dans solution externe

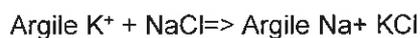


Il y a eu échange entre ions, charge pour charge
Désorption pour I1 – Adsorption pour I2

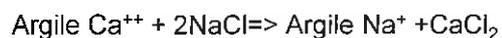
Notion d'équilibre

Equilibre régit par la loi de DONNAN : le produit des activités (concentration faible) des anions et cations est égal dans chaque phase (solide et liquide) :

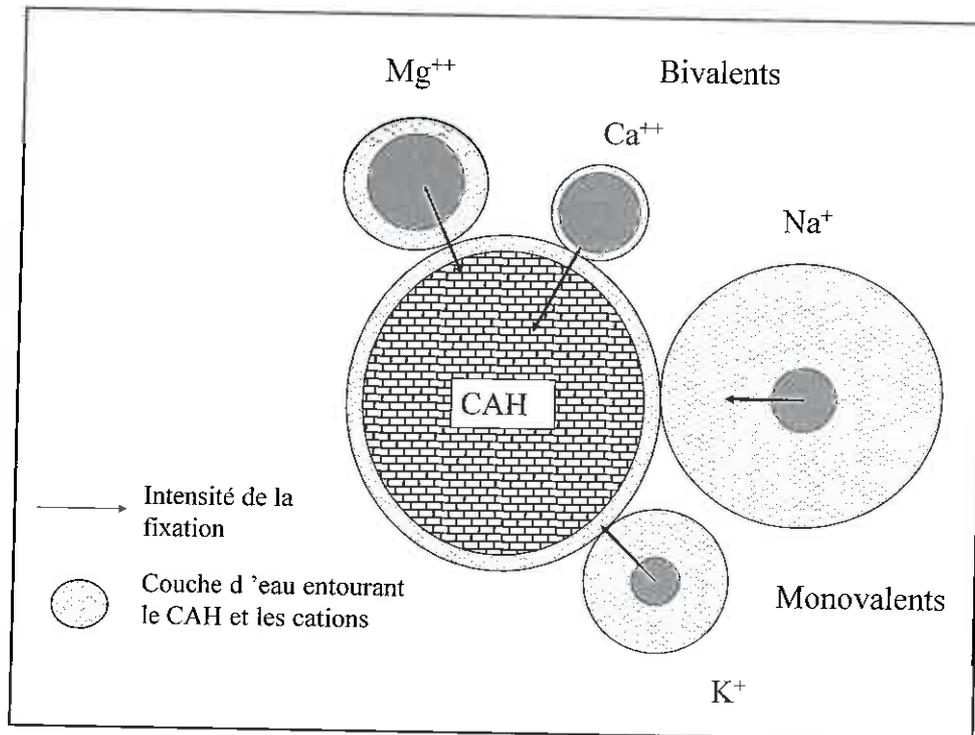
Schéma des équilibres



$K_i/K_e = Na_i/Na_e$
i et e symbolisant la solution interne et externe



$$Ca_i/Ca_e = (Na_i/Na_e)^2$$



Garniture ionique

- Echanges sont conditionnés par :
 - La charge du cation
 - Son diamètre ionique fonction du degré d'hydratation
 - CEC
- A valence égale, les ions les moins hydratés sont adsorbés préférentiellement



phytotoxique

Bien pour les plantes

- <http://www.agro-systemes.com/dossier-complexe-argilo-humique.php>

↑
good
animation

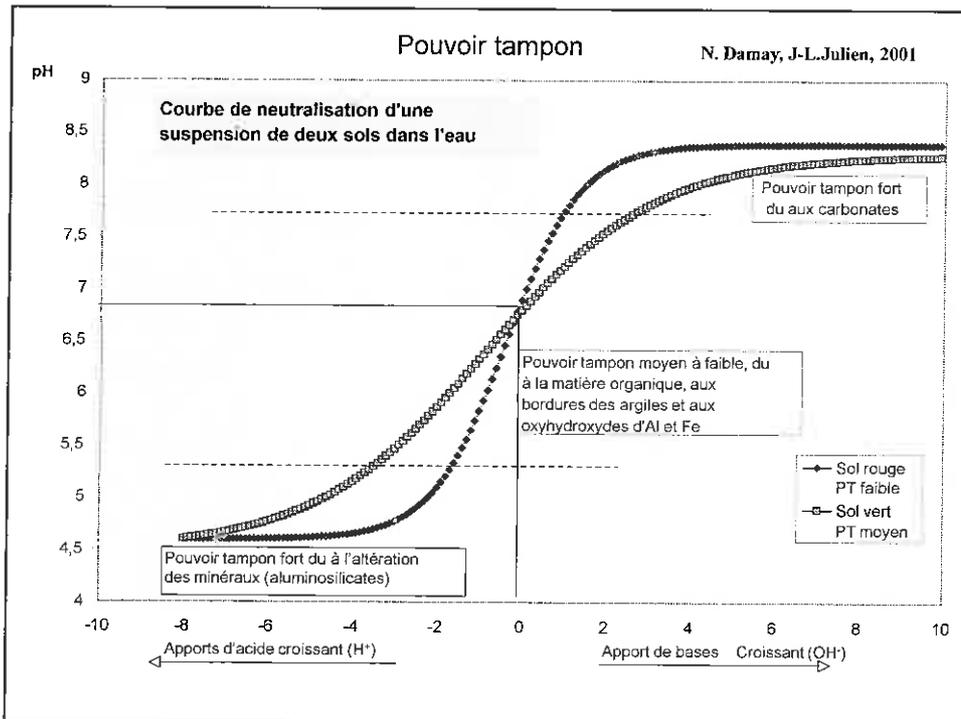
I – Propriétés chimiques du sol

- A. La capacité d'échange du sol
 1. Le complexe d'échange – argilo-humique – adsorbant
 2. La capacité d'échange cationique : CEC
 3. Les échanges ioniques
- B. Le statut acido-basique (SAB) et acidification des sols
 1. Acidité et états du sol
 2. Mesures du SAB
 3. Acidification des sols, chaulage
- C. Conditions d'oxydo-réduction
 1. Définition
 2. Rôle des microorganismes du sol

Acidité du sol

- pH : concentration de proton (H⁺) d'une suspension de sol dans l'eau
- Origine de l'acidité :
 - Production de H⁺
 - Oxydation des MO : $CHONS + O_2 \leftrightarrow CO_2$, acides organiques, HNO₃, H₂SO₄
 - Nitrification : $NH_4 + O_2 \leftrightarrow NO_3^- + H^+ + H_2O$
 - Oxydation des sulfures : $FeS_2 + 7/2 H_2O + 5/4 O_2 \leftrightarrow Fe(OH)_3 + 2 SO_4^{2-} + H^+$
 - Racine : Racine - H⁺ + Ca²⁺ ↔ Racine-Ca²⁺ + 2 H⁺
 - Consommation de H⁺
 - Dénitrification, réduction du soufre, saturation des charges négatives par H⁺, protonation des MO, **altération des carbonates et aluminosilicates**
 - Exemple : $CaCO_3 + H^+ \leftrightarrow CO_2 + H_2O$

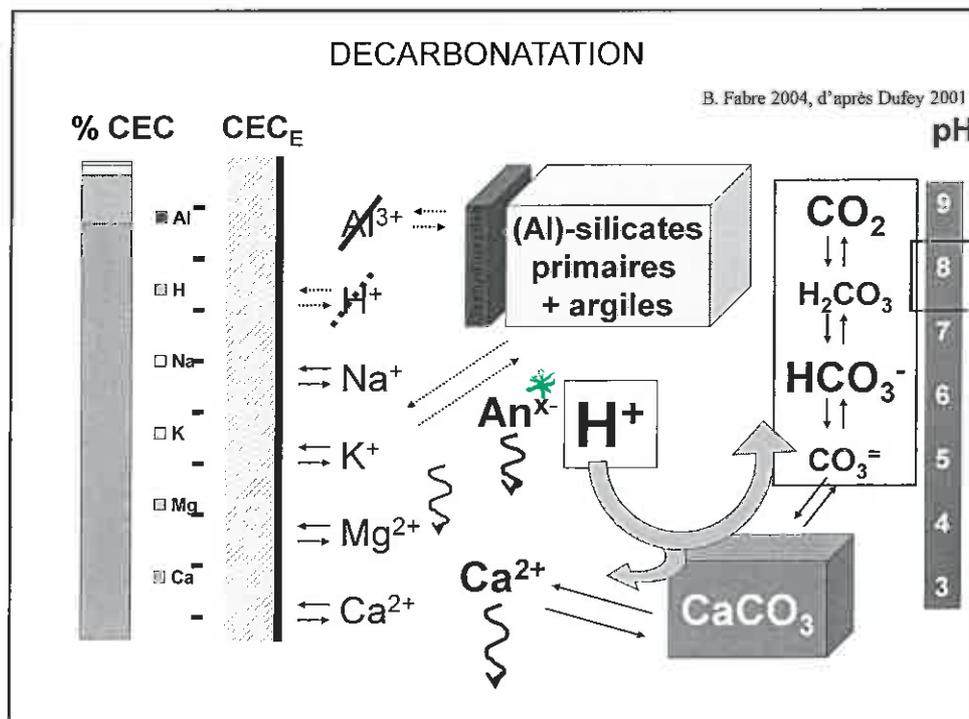
D'où vient l'acidité d'un sol?
 → oxydation des NO
 → nitrification
 → oxydation des sulfure ou autres minéraux
 → racine
 Comment est-elle régulée?

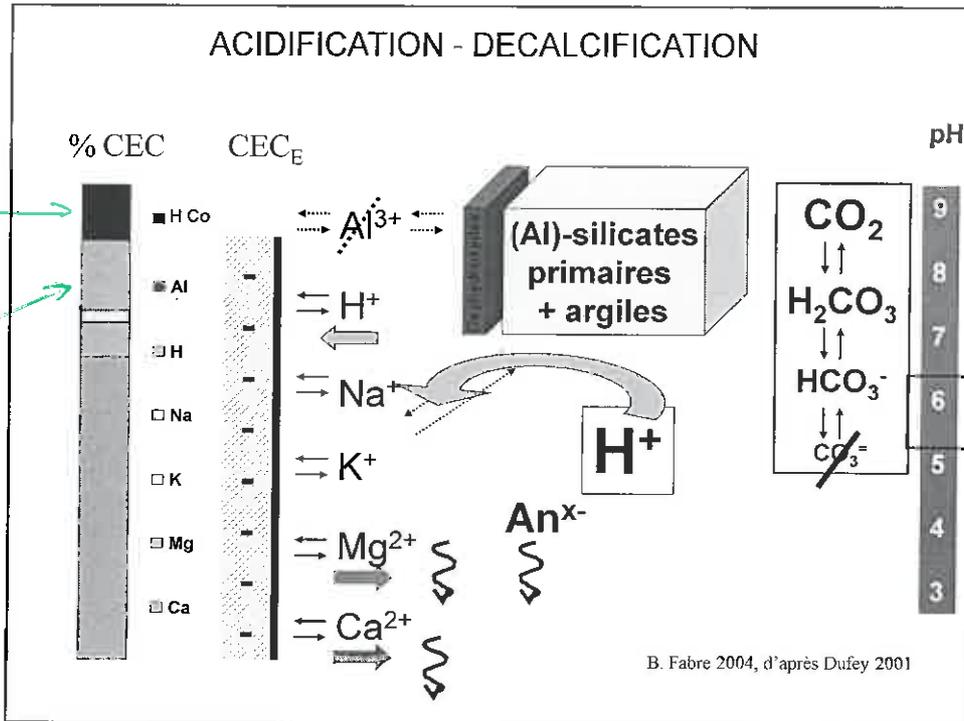


→ ou appasé qui Ca phosphate aluminosilicates ?
 PT?

pH et états du sol

- Décarbonatation
- Décalcification
- Aluminisation
- Chaulage - recalcification

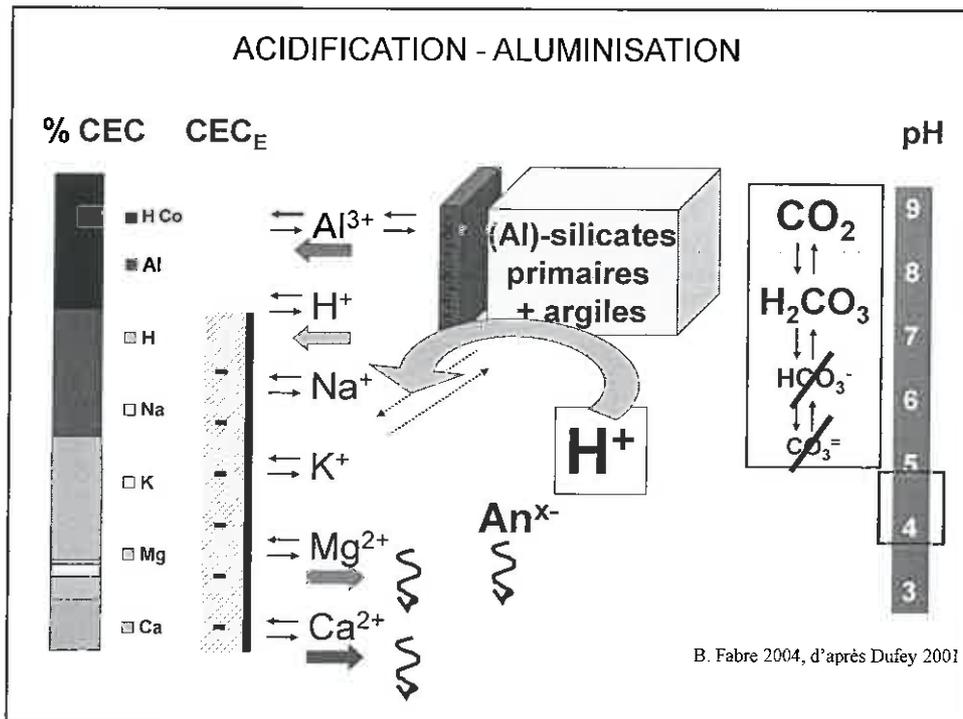




*H⁺ fixés au CEC
fortement*

H⁺ échangeables

*Il y a fixat° de H⁺ donc le CEC décharge d'autres cations "en échange"
Donc des Mg²⁺ et Ca²⁺ qui sont lessivés.
Les H monopolisent des charges - sur le CEC.*



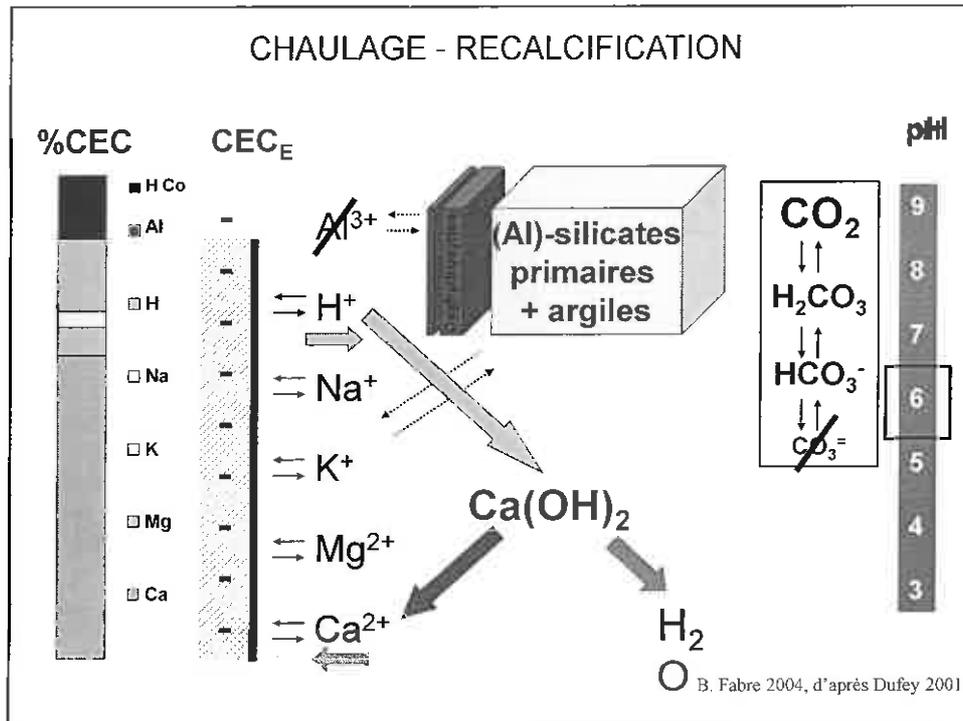
Δ Amener des engrais minéraux peut booster le processus d'acidification

solution

Chaulage

La ça devient critique.

Un pH bas lessive les minéraux et nuit aux micro-org.



I – Propriétés chimiques du sol

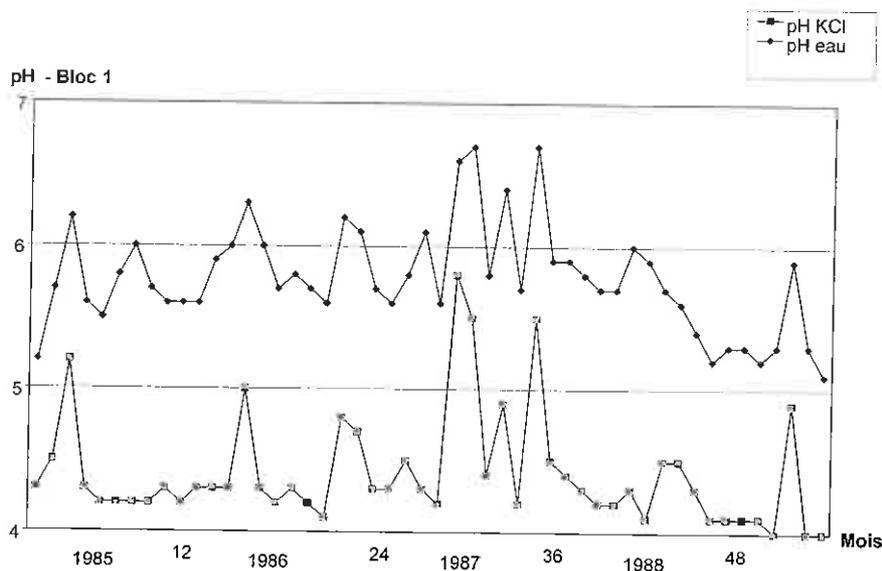
- A.** La capacité d'échange du sol
1. Le complexe d'échange – argilo-humique – adsorbant
 2. La capacité d'échange cationique : CEC
 3. Les échanges ioniques
- B.** Le statut acido-basique (SAB) et acidification des sols
1. Acidité et états du sol
 2. Mesures du SAB
 3. Acidification des sols, chaulage
- C.** Conditions d'oxydo-réduction
1. Définition
 2. Rôle des microorganismes du sol

$pH_{KCl} < pH_{eau}$

Indicateurs du statut acido-basique du sol

- pH eau → de la solut° du sol, acidité effective à un temps t.
- pH KCl → acidité d'échange = protons fixés de façon faible, échangeables
- CEC metson
- S/T
- Ca/T
- CEC effective
- Acidité d'échange (somme des ions aluminiums échangeables et H^+)
- pH base forte → acidité de réserve (H^+CO)

Variation des pH eau et pH KCl dans le temps sur sol non chaulé



→ en été, bcp + d'activité (plantes et micro-org)

I – Propriétés chimiques du sol

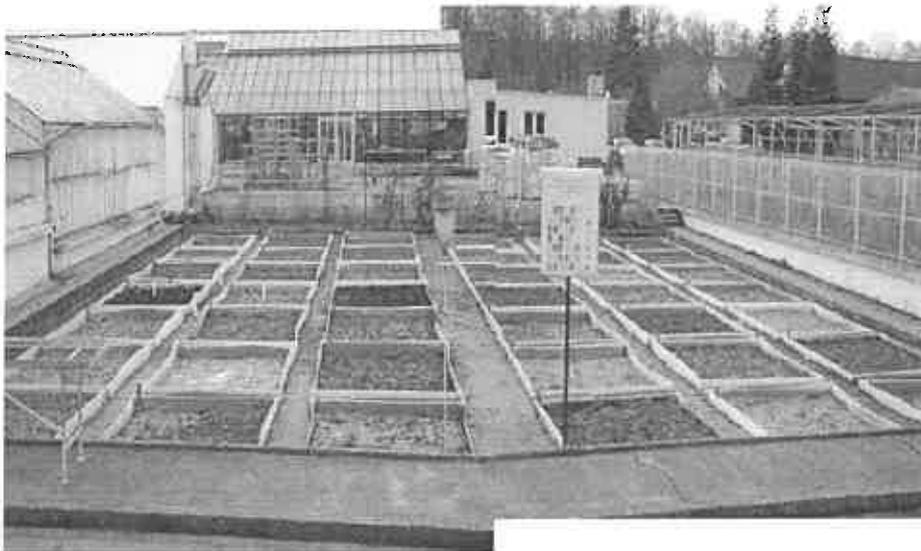
- A. La capacité d'échange du sol
 1. Le complexe d'échange – argilo-humique – adsorbant
 2. La capacité d'échange cationique : CEC
 3. Les échanges ioniques

- B. Le statut acido-basique (SAB) et acidification des sols
 1. Acidité et états du sol
 2. Mesures du SAB
 3. Acidification des sols, chaulage

- C. Conditions d'oxydo-réduction
 1. Définition
 2. Rôle des microorganismes du sol

Le dispositif des 42 parcelles à Versailles

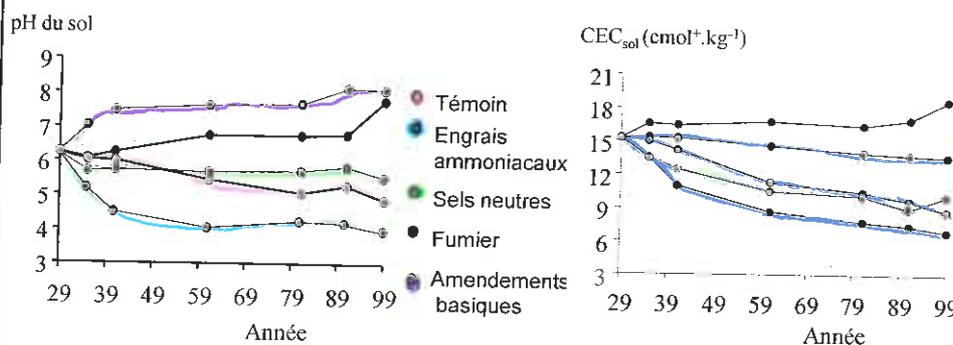
Pemes, 2003



EVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE DU SOL

Pernes, 2003

pH et capacité d'échange en cations du sol



*Mon petit pouce
 envoie
 dans le
 pays
 magia.*

En 1999: pH de 3,6 à 8,2 (parcelles $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ / CaO et CaCO_3)
 CEC de 6,2 à 18,7 $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ (parcelles $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ / Fumier)

Surface du sol après l'hiver, témoin



42 parcelles - INRA Versailles

Surface du sol après l'hiver,
basique



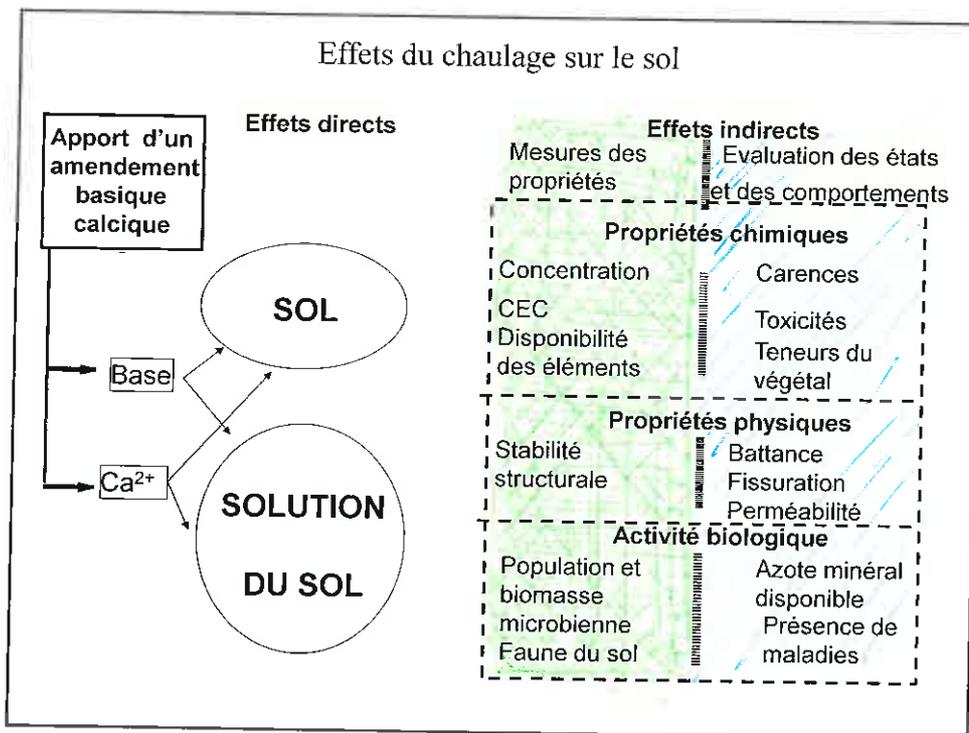
42 parcelles - INRA Versailles

Le calcium a lié la SiO_2 et les argiles par des ponts calciques.
Il stabilise le sol et évite la battance. Structure grumeleuse.

Surface du sol après l'hiver, KCl

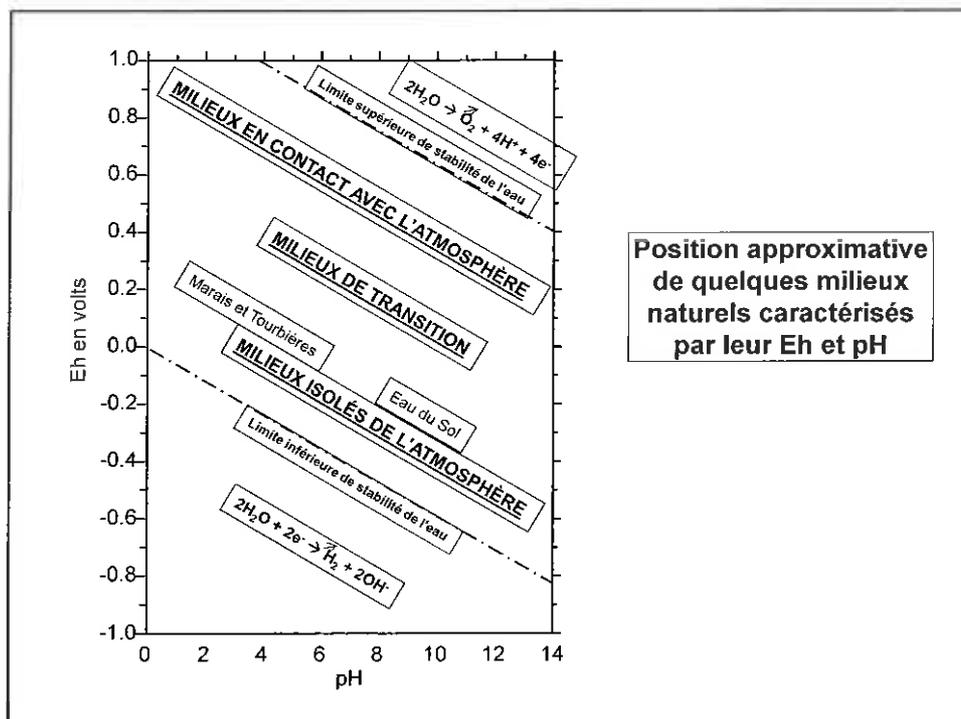


42 parcelles - INRA Versailles



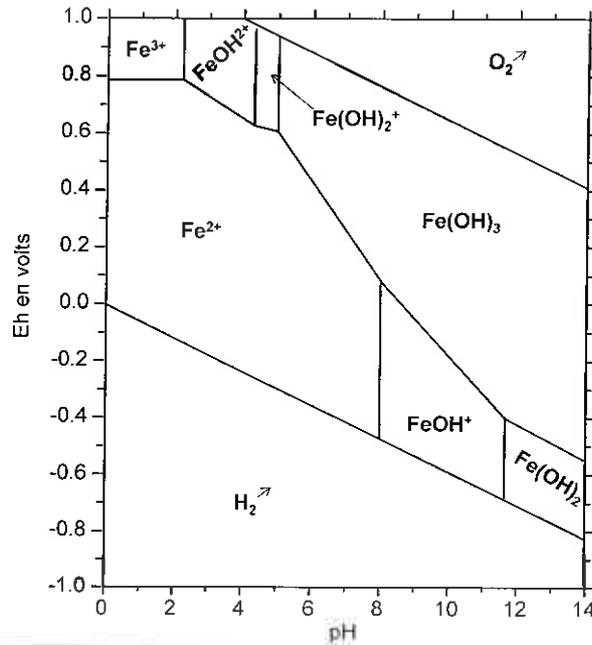
I – Propriétés chimiques du sol

- A. La capacité d'échange du sol
1. Le complexe d'échange – argilo-humique – adsorbant
 2. La capacité d'échange cationique : CEC
 3. Les échanges ioniques
- B. Le statut acido-basique (SAB) et acidification des sols
1. Acidité et états du sol
 2. Mesures du SAB
 3. Acidification des sols, chaulage
- C. Conditions d'oxydo-réduction
1. Définition
 2. Rôle des microorganismes du sol



on peut être en milieu oxydé ou réduit.

Évolution du système $\text{Fe}^{2+} - \text{Fe}^{3+}$ en fonction des conditions de pH et de Eh



Auteur(s) : Alain Ruellan
Date : 22 septembre 1971
Lieu : Espagne

Climat : méditerranéen sub-humide

Sol lessivé hydromorphe

1 -> horizon E, sableux, lessivé en argile

2 -> horizon Btg = le sommet de l'horizon Bt est hydromorphe (pseudogley) :

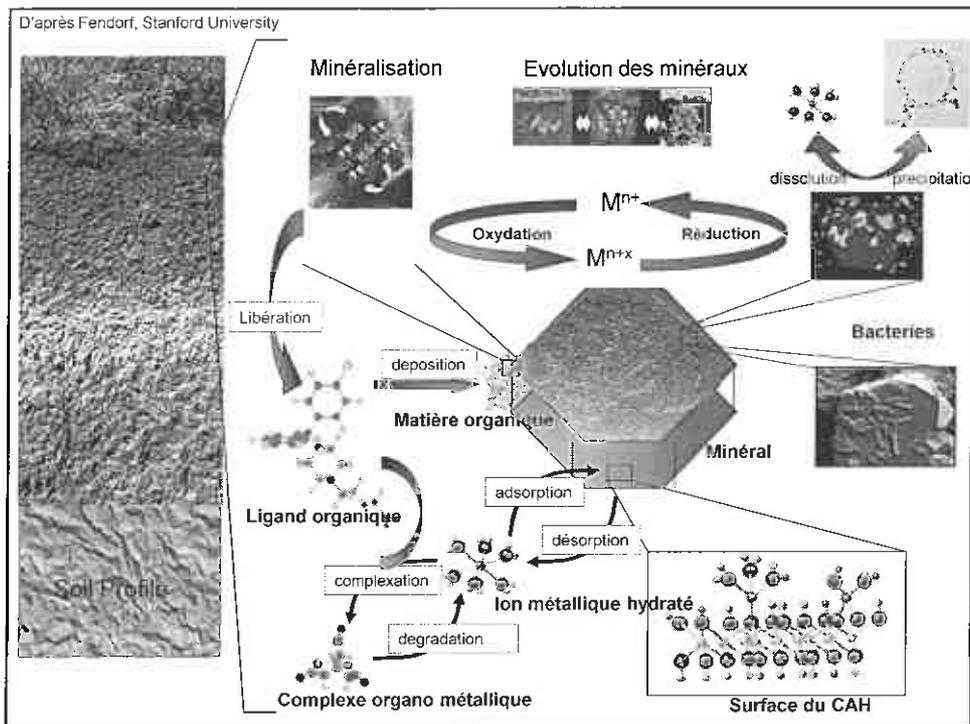
les volumes gris contiennent du fer réduit, les volumes rouges contiennent du fer oxydé

3 -> horizon Bt, argileux, enrichi en argile

L'hydromorphie est la conséquence du développement d'une limite nette entre les horizons E et Bt.

Sol très différencié lessivé.
Dénomination WRB : Luvisol

Hauteur de la coupe : 100 cm



I I– Les éléments minéraux

Les éléments minéraux

- Approfondissement en 3^{ème} année
- Quelques données de base
- Analyse de terre

Eléments minéraux

- Majeurs : *Naphtalène Marge Sen CaK₂O Poulet*
 - N, P, K puis Ca, Mg et S
 - Teneur végétaux > 100 mg/kg
- Mineurs (oligo-éléments)
 - Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo, Cl, Na, Ni et Co
 - Teneur végétaux < 100 mg/kg

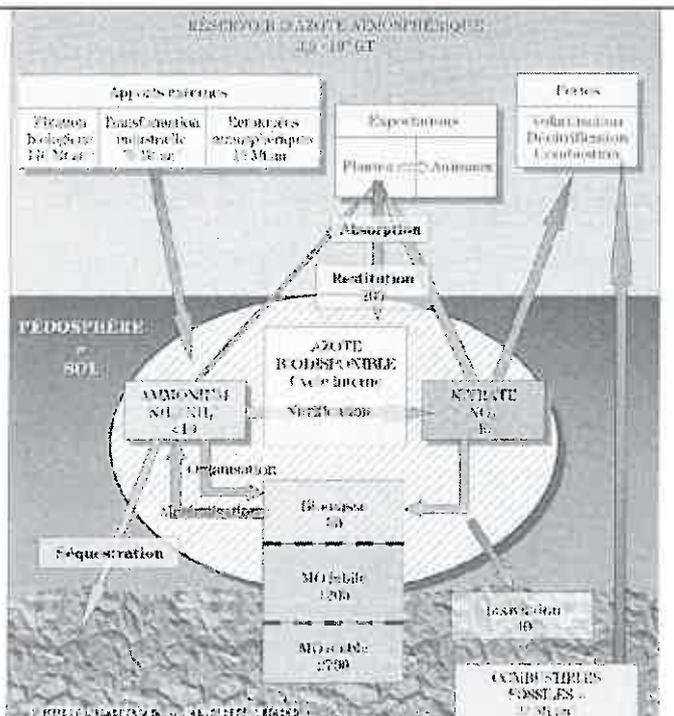
Eléments : du sol à la plante

Eléments	Lithosphère (en %)	Végétal
Oxygène	50,02	44,4
Fer	4,28	0,08
Calcium	3,22	0,22
Potassium	2,28	0,9
Magnésium	2,08	0,18
Hydrogène	0,95	6,25
Carbone	0,18	43,57
Phosphore	0,11	0,2
Soufre	0,11	0,16
Manganèse	0,08	0,0035
Azote	0,03	1,46

(Heller, 1980)

oligoéléments → pas nocifs aux plantes
 éléments trace métalliques → nocifs pour les plantes ✓

Cycle de l'azote



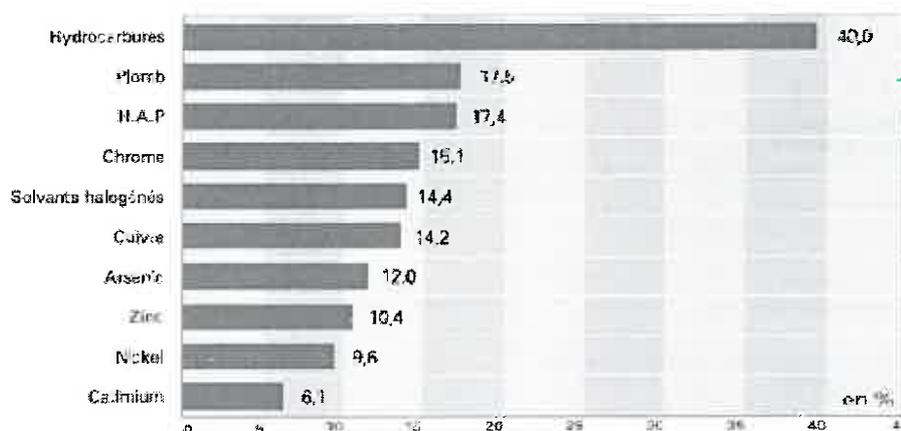
Schvartz et al. 2005

NH_4^+ → phytotoxicité
 Biodisponibilité

Autres éléments

- Composées organiques :
 - Acides carboxyliques, acides aminés, sucres simples
 - Substances de croissance
 - Solvants, pesticides, PCB, HAP (toxiques)

Nature des polluants – sites pollués



→ saturnisme!

<http://www.sante-environnement-travail.fr/>

Indicateurs pour les oligoéléments ou les ETM

Oligoéléments

Extraction par des chélatants*, ou par l'eau chaude pour le Bore

seuil inférieur : un apport augmente le rendement : seuil de carence
 seuil supérieur : pas d'effet sur le rendement ou effet négatif : seuil de toxicité

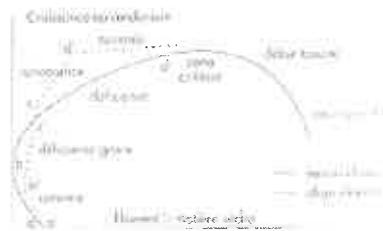


Figure 1.6. Relation entre le rendement et la teneur en un élément nutritif

ETM Non indispensables et potentiellement toxiques

Seuil d'alerte : bruit de fond pédogéochimique
 Seuil d'investigation
 Seuil d'assainissement car toxicité pour le végétal ou les consommateurs

* ça fait un peu mix entre "chélatant" et "chélatant"



CESAR
Centre Scientifique Agro-Alimentaire Régional

BULLETIN d'ANALYSE de TERRE

Intermédiaire :

MONSIEUR DUPONT
1 CHEMIN DU MOULIN
03400 YZEURE

Vos références :

Parcelle : **PARCELLE N°4**
 Commune : **YZEURE**
 Sol : **Sols d'alluvions récentes**
 Utilisation : **Terres labourables**
 Observations Lambert :
 Taux apparent de calcium : **5%**

Nos références :

N° de référence : **TER-0000002** Date de : **20/12/2002** Date de prise de terre : **15/01/2003** Date d'envoi : **14/01/2003**

CONDUCTIVITÉ :

Conductivité : **0,210 mS/cm** Résistivité : **4762 Ω.cm**
(à 25°C)

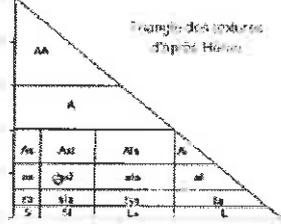
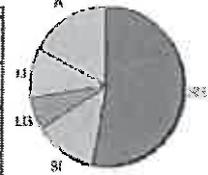
HUMIDITÉ :

A 105°C : **12,60%** du frais Equivalente : **15,24%** du sec
(à 105°C)



GRANULOMETRIE

Rochers :	10.00%	
Terre fine :	90.00%	
de terre fine		
Sables grossiers	525	Sables :
Sables fins	131	65.6%
Limons grossiers	67	Limons :
Limons fins	101	15.8%
Argiles	176	17.6%



Type de sol : **argilo-sablo-limoneux**
 Texture : **équibrée**
 Fertilité : **terre assez calcaireuse**
 Structure : **stable**
 Niveau d'oxygène : **moyen à élevé**
 Aptitude fixation : **faible à moyen**
 Indice de balance : **0,51**

Balances peu probable, prise en masse hivernale rare, sensibilité à l'érosion faible.



STATUT ACIDO-BASIQUE

pH mesuré :	5.95	sol acide
pH KCl :	5.01	acidité potentielle :
Capacité totale :	0 g/kg	
Capacité ads :	0 g/kg	
Indice de pouvoir chloroformé :	0	

STATUT ORGANIQUE

Carbone organique :	12.0 g/kg
Matière organique :	22.0 g/kg
Azote total :	1.2 g/kg
Rapport C/N :	10
Azote minéralisé ds l'année :	76.0 litre pour 30cm de terre



SNE CESAR
 Laboratoire de Cézéria
 Site de terres Uned

peuv. chloroformé : qd un sol est trop basique et qu'il manque d'éléments du corps



CESAR

ÉLÉMENTS FERTILISANTS

élément	ppm	mg/kg	ppm
Phosphore Dyer	0.042	-	10.000
Potassium	0.340	7.2	10.000
Calcium	1.530	54.6	10.000
Magnésium	0.135	0.7	10.000
Sodium	0.050	0.1	10.000

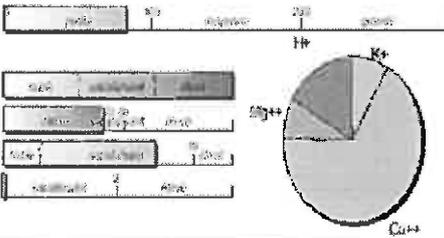
Dépendance chimique des éléments la CEC

élément	ppm	mg/kg	ppm
Phosphore	0.042	-	10.000
Potassium	0.340	7.2	10.000
Calcium	1.530	54.6	10.000
Magnésium	0.135	0.7	10.000
Sodium	0.050	0.1	10.000

CEC et ÉQUILIBRES CHIMIQUES

Capacité d'échange Cationique (CEC) **83 méq/Kg**

élément	%	mg/kg	ppm
Potassium/CEC	9	3	6
Calcium/CEC	66	70	80
Magnésium/CEC	6	2	13
Sodium/CEC	0	-	0
Taux de saturation - ST	82	taux saturé	



CESAR

OLIGO-ÉLÉMENTS

élément	mg/kg	ppm	mg/kg
Cuivre	3.1	0.5	10.000
Zinc	2.5	0.5	10.000
Manganèse	13.4	4	10.000
Fer	10.5	15	10.000
Bore	0.52	0.2	10.000
Soufre	7.3	25	10.000
Molybdène			

ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES (ETM)

élément	mg/kg	ppm	mg/kg
Chrome	2.1	100	10.000
Cobalt	34.2	100	10.000
Nickel	1.3	100	10.000
Zinc	43.5	100	10.000
Argent	0.5	100	10.000
Plomb	0	100	10.000
Mercur	0.5	100	10.000
Sélénium	0	100	10.000

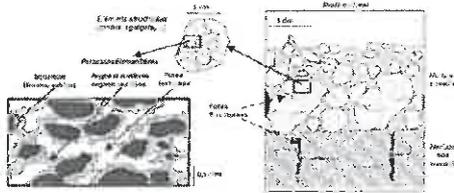
III - Tassement et Régénération du sol

III – Tassement et Régénération des sols

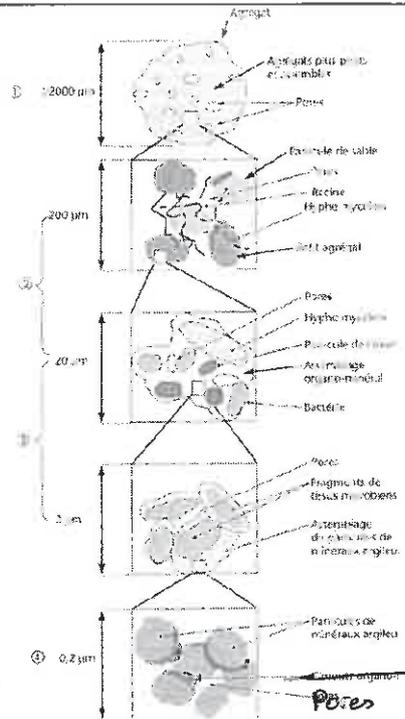
- A. Phénomène de tassement des sols
 - 1. Rappel : structure du sol, porosité du sol et définition
 - 2. Action due à l'homme
- B. Propriété du sol : sensibilité au tassement
 - 1. Le comportement mécanique du sol
 - 2. Facteurs influençant le tassement
- C. Régénération
 - 1. Naturelle des sols sous l'action du climat
 - 2. Vie du sol
 - 3. Les pratiques pour ne pas tasser ou décompacter

Structure du sol

assemblage des particules entre elles



Source : Girard et al., 2005



MACROPOROSITÉ

MESOPOROSITÉ

Ciments organochimiques

MICROPOROSITÉ

Source : Calvet, 2003

La structure est déterminée par la forme des vides et des pleins

Calcul de la porosité totale



- V_G : Volume de la phase gazeuse
- V_L : Volume de la phase liquide
- V_S : Volume de la phase solide
- V_P : Volume des pores
- V_T : Volume total

Porosité totale = $n^T = V_P/V_T = 1 - (V_S/V_T) = \epsilon$

Indice des vides = $e = V_P/V_S$

Taux de saturation = $s = V_L/V_P$ si $s = 1$ le sol est saturé

Classification de la porosité du sol

- Critère dimensionnel :
 - Microporosité et macroporosité
 - Porosité capillaire (micro) et non capillaire (macro)
- Critère selon l'origine des pores :
 - Porosité texturale : vide du à l'entassement des particules *≈ microporosité*
 - Porosité structurale : résulte de l'organisation des particules entre elles *≈ macroporosité*

Tassement structural

Tassement structural
Réarrangement des éléments structuraux entre eux.
Diminution des vides entre les agrégats = diminution de la porosité structurale

Ce peut être :

- un objectif :
Amélioration du contact terre - graine, diminution de la porosité en terres creuses ou soufflées

- un effet non souhaité :
Action du climat, répercussions du passage d'outils lourds, pneumatiques, animaux

Risques :
Obstacles à la circulation des fluides (air, eau, chaleur), obstacles à la levée et à l'enracinement

Effet réversible :
Par action du climat et des racines (si forte activité structurale)
Par le travail du sol

Source : C. DURR et al. 1979

Tassement textural

↳ le tassement textural est irréversible :

Tassement textural
Réarrangement des particules élémentaires à l'intérieur des agrégats = diminution de la porosité texturale

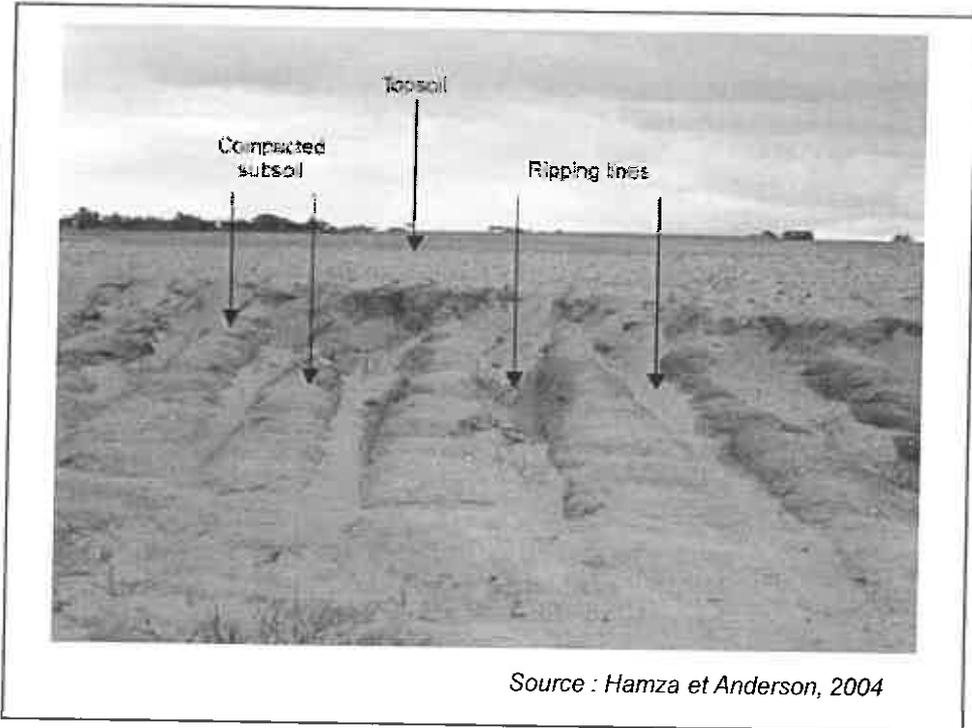
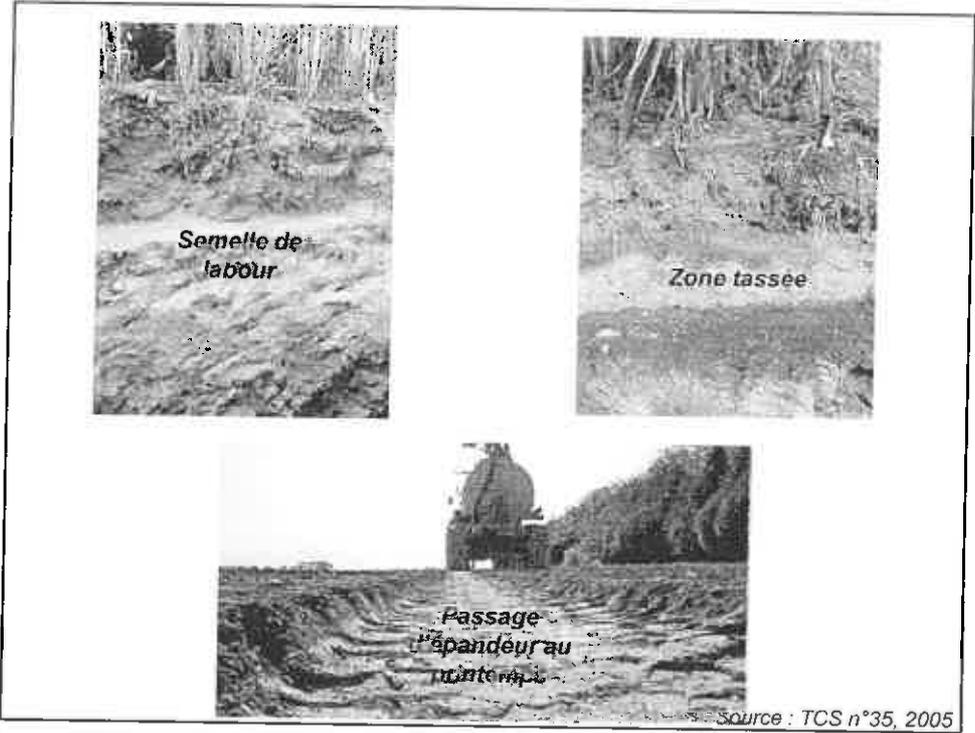
Effet non souhaité :
Passages d'outils pneumatiques, animaux, selon des conditions variables

Risques :
Encore mal définis mais des effets très difficilement réversible

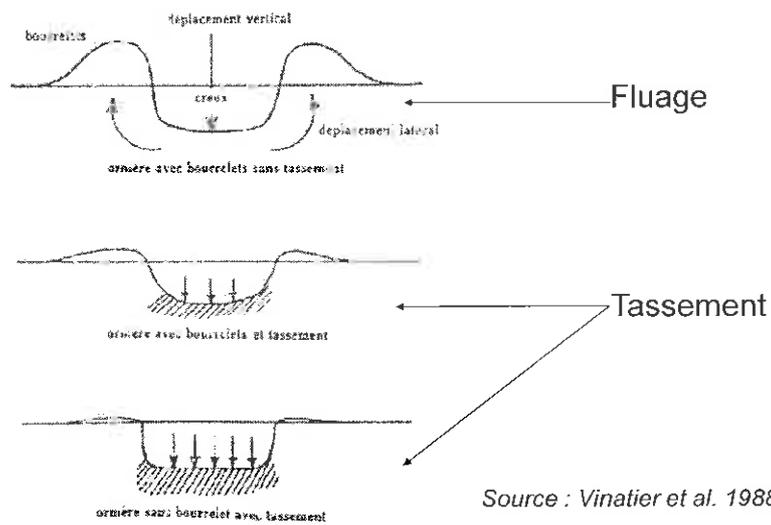
Source : C. DURR et al. 1979

III – Tassement et Régénération des sols

- A. Phénomène de tassement des sols
 1. Rappel : structure du sol, porosité du sol et définition
 2. Action due à l'homme
- B. Propriété du sol : sensibilité au tassement
 1. Le comportement mécanique du sol
 2. Facteurs influençant le tassement
- C. Régénération
 1. Naturelle des sols sous l'action du climat
 2. Vie du sol
 3. Les pratiques pour ne pas tasser ou décompacter



Profils des principaux cas d'ornières



Conséquences agronomiques



Racine de luzerne dans un sol bien structuré

Racine de luzerne dans un sol compacté



Conséquences environnementales

- Réduction de la porosité :
 - Modifications conditions eau, température ...
 - Cycles des éléments (N, C)
 - Vie du sol : 'dépollution', stockage du C
 - Emissions de gaz : CH₄, N₂O....
- Résistance :
 - Augmentation énergie nécessaire au travail du sol

Les différents outils et méthodes au champ...

- La résistance à la pénétration, → quelle pression faut-il appliquer
- La densité apparente,
- Le profil cultural etc.

Méthode des cylindres : densité apparente



→ inconvénients : moyen précis, si y a des cailloux ça marche moyen, et si le sol est trop sec aussi
→ le cylindre c'est quand même 1500€ hein

Calcul de la densité apparente

$$\rho_b = M_s / V_t$$

Avec : M_s = Masse Solide

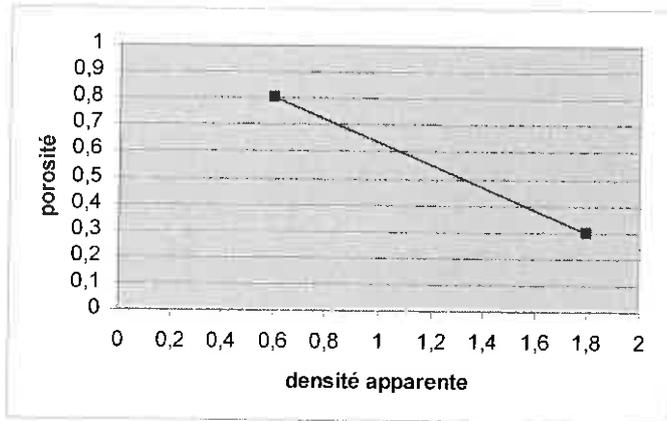
V_t = Volume total

Unité : g/cm^3

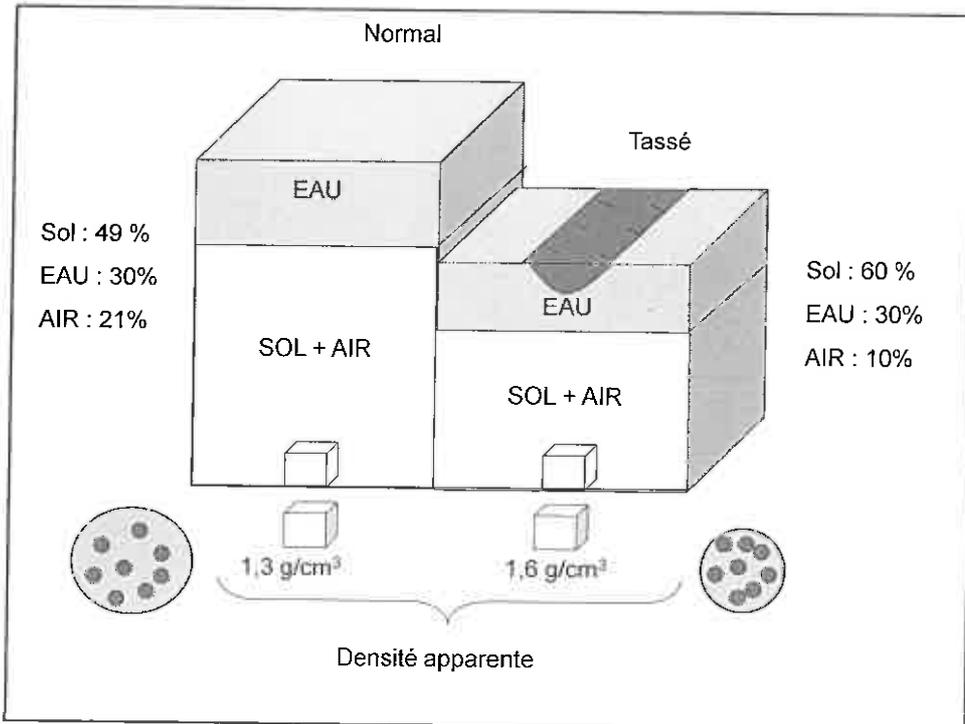
→ elle est à suivre c'est son évolution qui est intéressante

$$V_t = \underbrace{V_{\text{solide}}}_{\text{constant}} + \underbrace{V_{\text{gaz}} + V_{\text{liquides}}}_{\text{variables}}$$

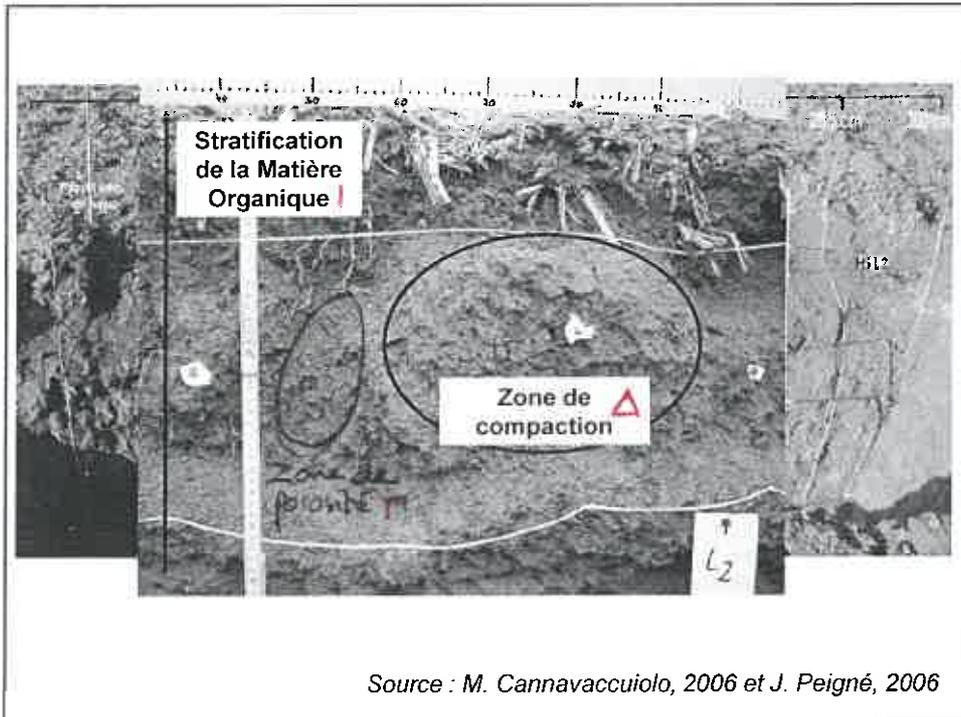
Relation porosité – densité apparente



$$\varepsilon = 1 - \rho_b / \rho_s$$



Profil cultural



Source : M. Cannavacciuolo, 2006 et J. Peigné, 2006

Flottes delta Δ \rightarrow pas de porosité
 Flottes gamma Γ \rightarrow porosité

On exprime en % de Δ et Γ . ex: 80% Δ et 20% Γ
 \rightarrow sel poreux.

L'observation des zones de tassement permet d'édifier une

III – Tassement et Régénération des sols

- A. Phénomène de tassement des sols
 1. Rappel : structure du sol, porosité du sol et définition
 2. Action due à l'homme
- B. Propriété du sol : sensibilité au tassement
 1. Le comportement mécanique du sol
 2. Facteurs influençant le tassement
- C. Régénération
 1. Naturelle des sols sous l'action du climat
 2. Vie du sol
 3. Les pratiques pour ne pas tasser ou décompacter

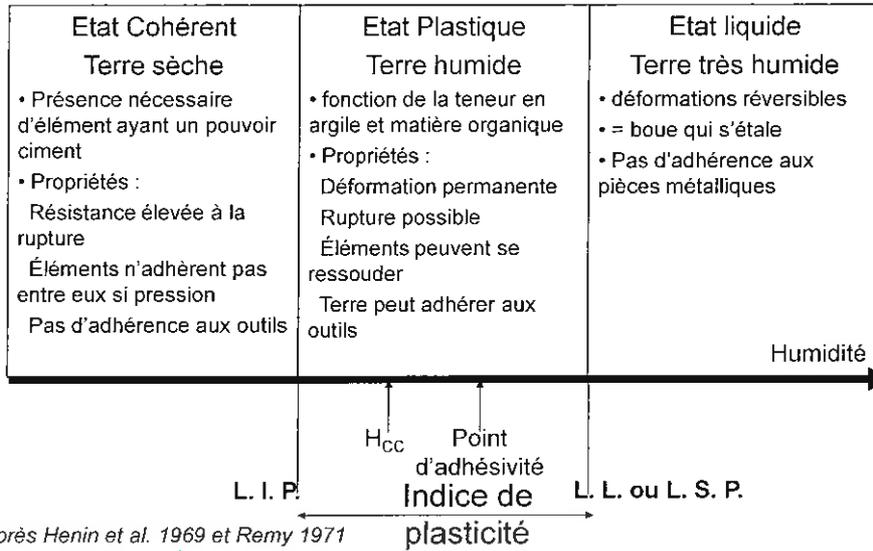
Définitions

- **La cohésion** : c'est la résistance à la rupture des liaisons existant entre les éléments structuraux, la cohésion augmente si l'humidité diminue.
→ moins de tassement sur un sol sec car cohésion
- **L'adhésivité** : c'est l'adhérence de la terre aux pièces travaillantes, elle augmente avec l'humidité jusqu'à un maximum, à partir de ce dernier la terre est trop humide pour être travaillée (portance trop faible en particulier).
- **La plasticité** : c'est l'aptitude du matériau à une déformation permanente, elle augmente avec l'humidité. Comme l'adhésivité, elle n'existe pas pour les sables.
→ il faut travailler un sol à une certaine humidité

H_{cc}: humidité de capacité au champs, macroporosité, gazeuses, micro pleines d'eau

Au dessus de H_{cc}

Etat du sol en fonction de l'humidité



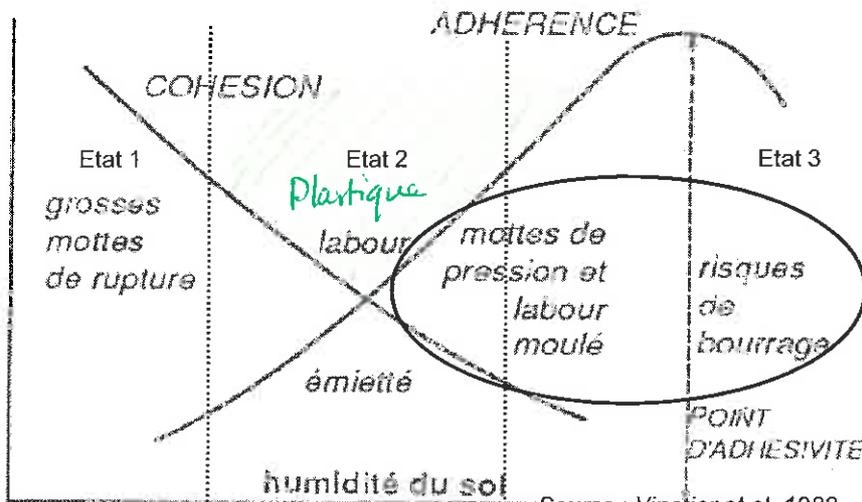
D'après Henin et al. 1969 et Remy 1971

*LIP: limite inférieure de plasticité
LSP: limite supérieure de plasticité*

LSP - LIP = indice de plasticité

l'indice de plasticité est élevé, plus le sol est intéressant d'un point de vue agronomique

Cohésion et adhésivité en fonction de l'humidité du sol : schéma général



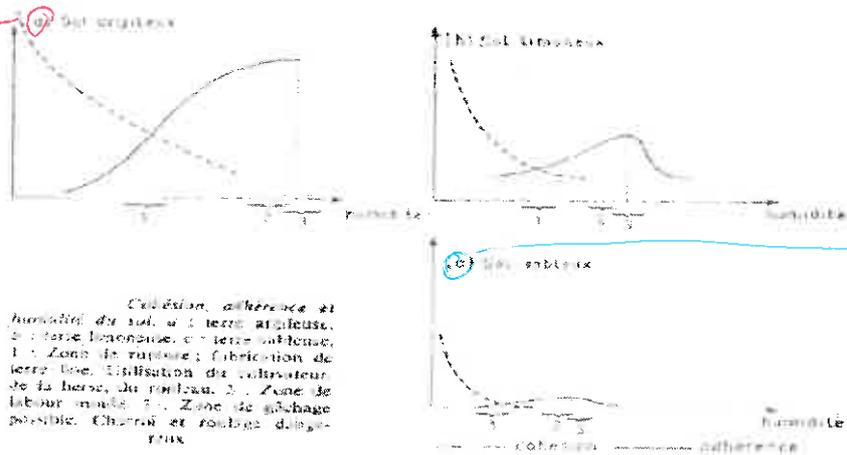
Source: Vinatier et al. 1988

III – Tassement et Régénération des sols

- A. Phénomène de tassement des sols
 1. Rappel : structure du sol, porosité du sol et définition
 2. Action due à l'homme
- B. Propriété du sol : sensibilité au tassement
 1. Le comportement mécanique du sol
 2. Facteurs influençant le tassement
- C. Régénération
 1. Naturelle des sols sous l'action du climat
 2. Vie du sol
 3. Les pratiques pour ne pas tasser ou décompacter

Un sol argileux est cohésif, mais sensible à l'humidité donc il est tassé en état idéal

Cohésion et adhésivité en fonction de l'humidité et de la texture du sol



par de cohésion on peut en peu le travailler n'importe qd

Source : Vinatier et al 1988

+ il y a de MO, - il y a de bass^{ant}

Les facteurs du sol influençant le tassement

- Argile
- Matière organique

III – Tassement et Régénération des sols

- A. Phénomène de tassement des sols
 1. Rappel : structure du sol, porosité du sol et définition
 2. Action due à l'homme
- B. Propriété du sol : sensibilité au tassement
 1. Le comportement mécanique du sol
 2. Facteurs influençant le tassement
- C. Régénération
 1. Naturelle des sols sous l'action du climat
 2. Vie du sol
 3. Les pratiques pour ne pas tasser ou décompacter

Régénération de la structure du sol

- a. Gonflement – Retrait
- b. Effet du gel

Régénération de la structure d'une motte



Photo Y. Gautronneau

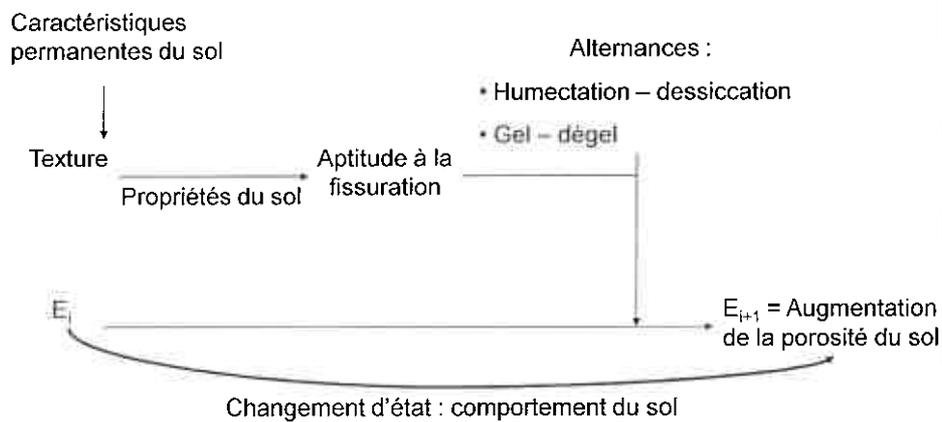
← DAISY!

Régénération de la structure d'une motte



Photo Y. Gautronneau

Facteurs intervenant dans la régénération de la structure par le climat



Source : C. DURR et al. 1979

Comportement du sol : le mécanisme de gonflement - retrait

Du à l'humectation – dessiccation via les alternances de pluies – sécheresse, irrigation, et/ou gel - dégel

Retrait

① on part avec 100g d'un sol humide.
 En l'asséchant, son volume total diminue car son vol. liq. ↓
 Dès le point d'entrée d'air, on a la vol. tot qui ne diminue plus proportion^{nt} car apparition de V_{gaz} .
 Après la limite de retrait $V_{liq} \ll V_{gaz}$
 Alors plus de variat°

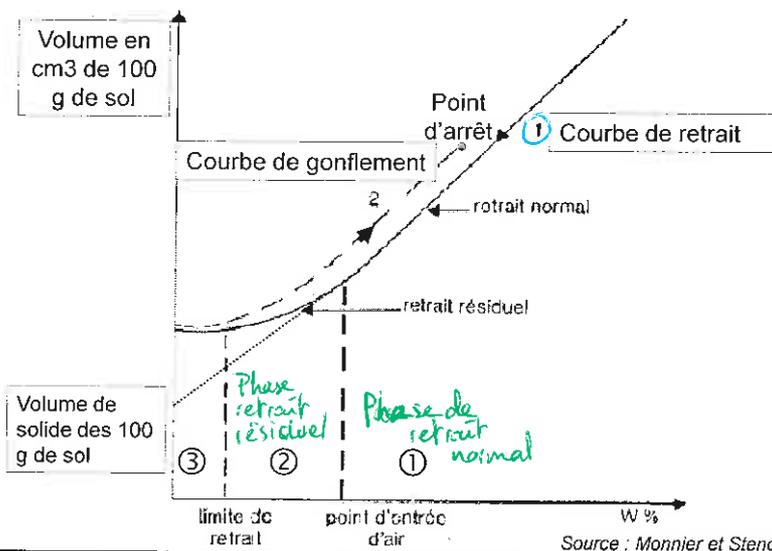
Gonflement

La réhumidif°
 → l'eau se met dans les feuillets d'argile en "imprisonnant" de l'air.



ce processus se répète jusqu'à une courbe d'équilibre (cf dernière)

Courbe de Retrait - Gonflement



Evolution des courbes de retrait – gonflement : courbe d'équilibre

Volume en
cm³ de 100
g de sol

Courbe d'équilibre

Courbe de retrait à
l'échelle texturale

w %

Source : Monnier et Stengel. 1982

*Smectite
et Montmorillonite
gonflent bien*

*Il en faut
~20% d'argile
dans un sol
pour cette
régénération*

*(Kaolinite
gonfle
pas)*

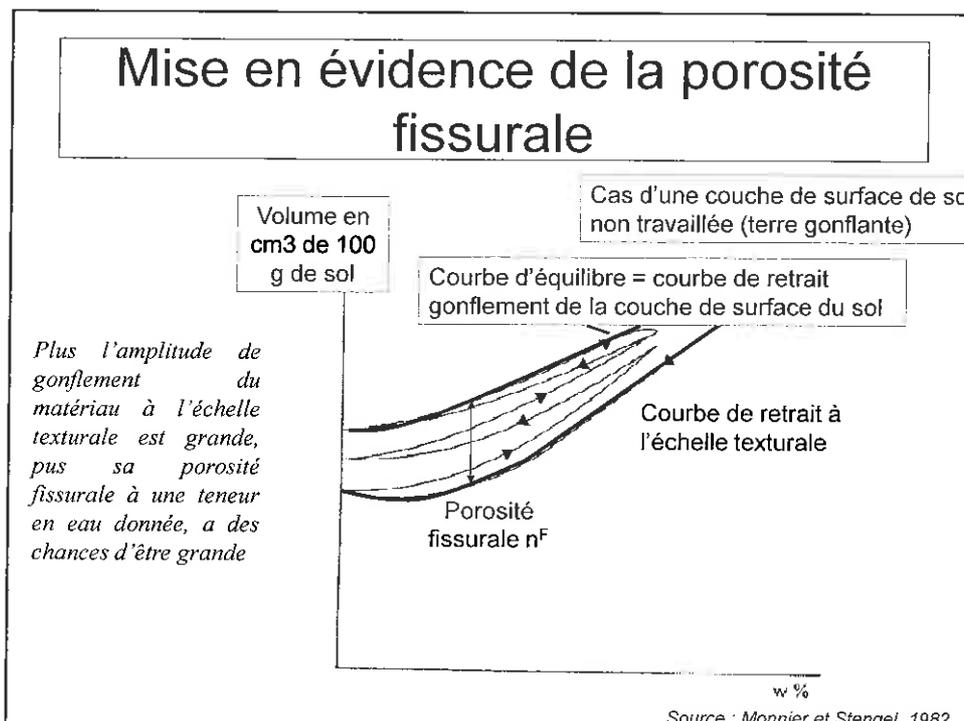
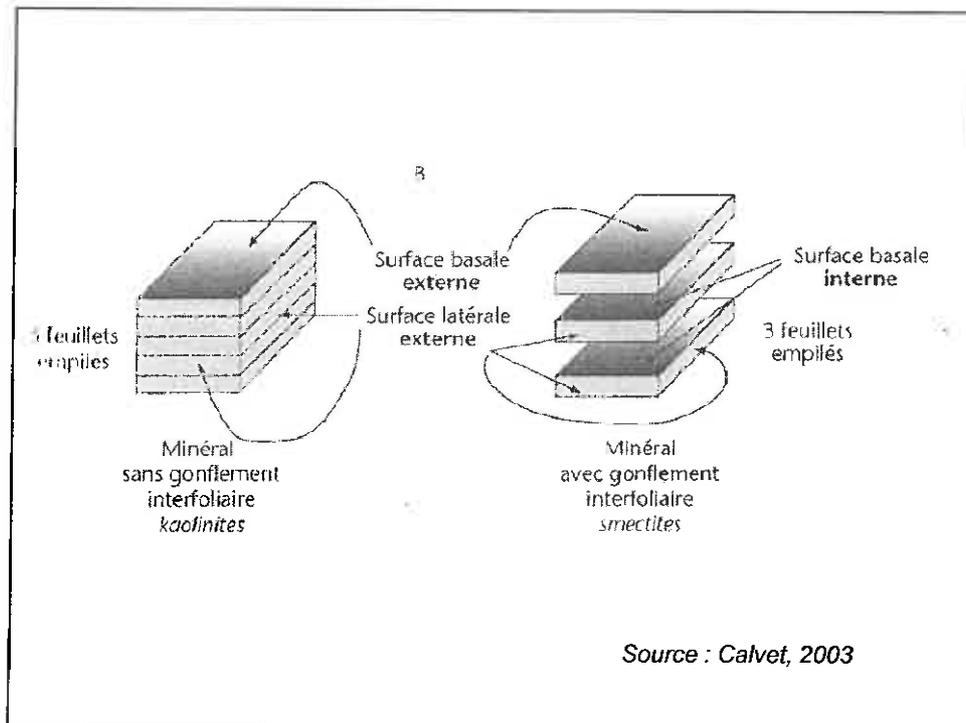
Courbe de retrait d'un échantillon de sol dit « non gonflant »

V
cm³ / 100g

Pas de retrait
résiduel,
ni d'entrée
d'air

w %

Source : Monnier et Stengel. 1982



Fissuration en sol argileux



Photo Y. Gautronneau

Fissuration en sol argileux

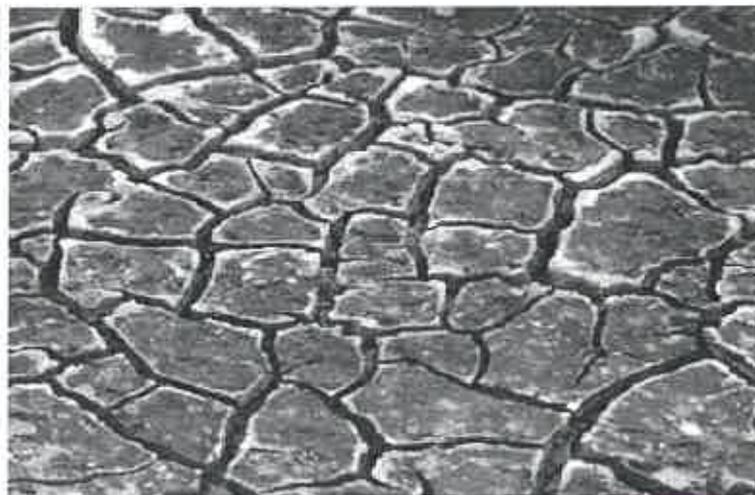


Photo ENSAM

Propriété du sol : l'aptitude à la fissuration et/ou activité structurale

Activité structurale

- C'est l'aptitude d'un matériau à se fragmenter sous l'effet des alternances humectation – dessiccation.

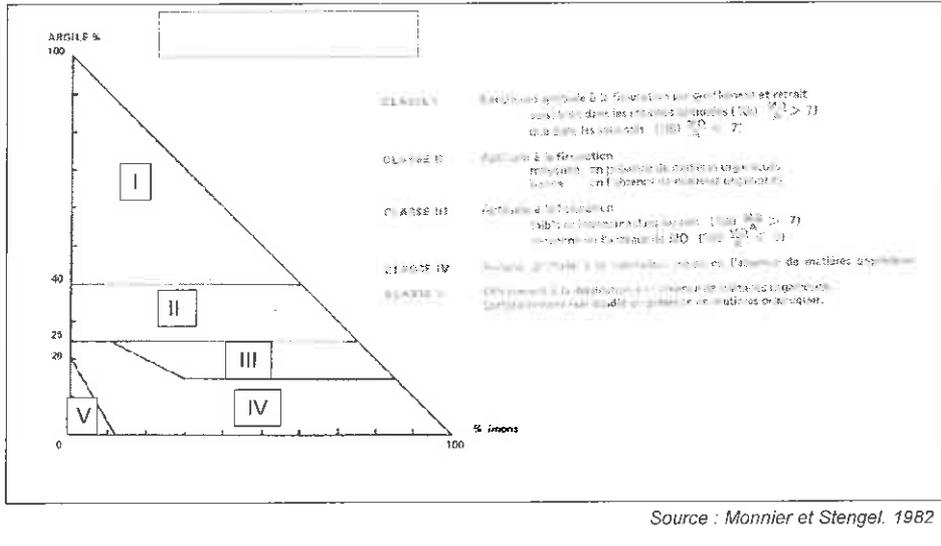
—————> Aptitude à la fissuration

- Autre terme pour cette notion : **la capacité de récupération** du matériau après une action de dégradation de la structure.

*→ dépend
de la teneur
en argiles
et argiles vraies*

La MO
baisse le
pouvoir
gonflant
des sols

Classes d'aptitudes à la fissuration



III – Tassement et Régénération des sols

- A. Phénomène de tassement des sols
1. Rappel : structure du sol, porosité du sol et définition
 2. Action due à l'homme
- B. Propriété du sol : sensibilité au tassement
1. Le comportement mécanique du sol
 2. Facteurs influençant le tassement
- C. Régénération
1. Naturelle des sols sous l'action du climat
 2. Vie du sol
 3. Les pratiques pour ne pas tasser ou décompacter

Action des racines



luzeine

Photo Y. Gautronneau

→ aucune racine ne crée une porosité. Elle peut augmenter une porosité existantes

porosité
↓
d'origine

les racines protègent du tassement.

C'est pourquoi on a des couverts qui améliorent la portance

Racines protègent
tassement

Action de la faune du sol

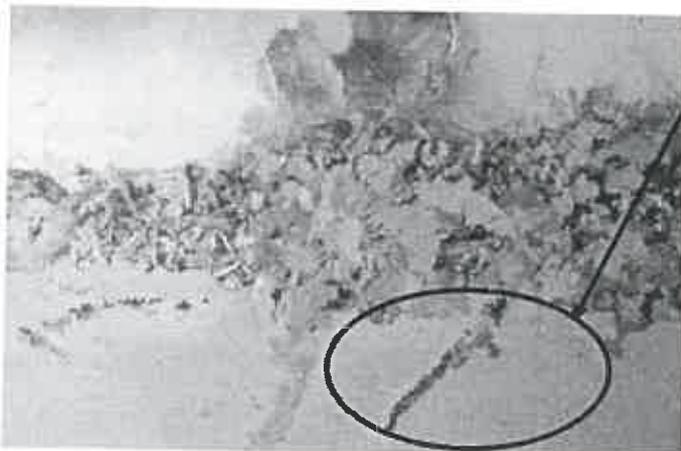


Photo L. Fayolle, INRA.

Des vers de terre (*Lumbricus terrestris*) ont creusé des galeries dans une terre jaune et ont déposé les turricules correspondants à cette activité dans la litière superficielle, opérant ainsi le mélange des matières minérales et des débris végétaux superficiels.

On parle des "ingénieurs" du sol

3 catégories de "vers de terre"

→ épigés, qui restent dans la litière

→ endogés qui créent des galeries sub-horizontales porosité utile pour l'eau, l'air, les racines...

→ anéciques qui créent des porosités connectées à la surface

sortent la nuit s'enfoncent le jour



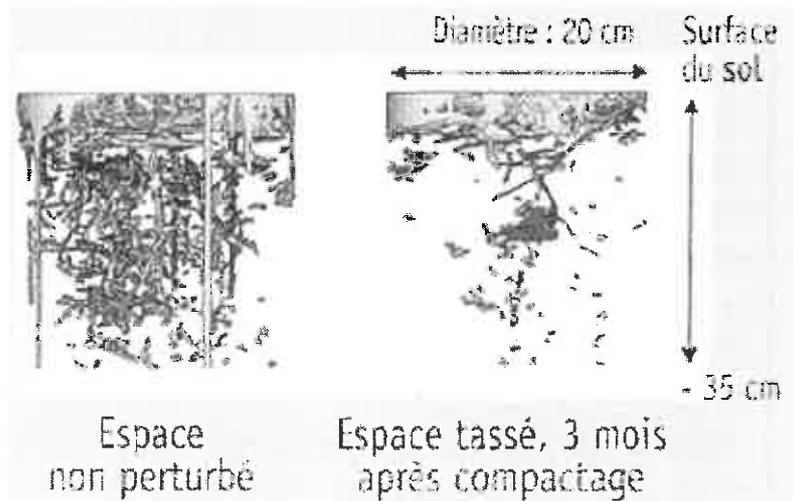
Photo J. Peigné.

Question actuelle : les lombriciens sont-ils capables de régénérer les sols compactés ?

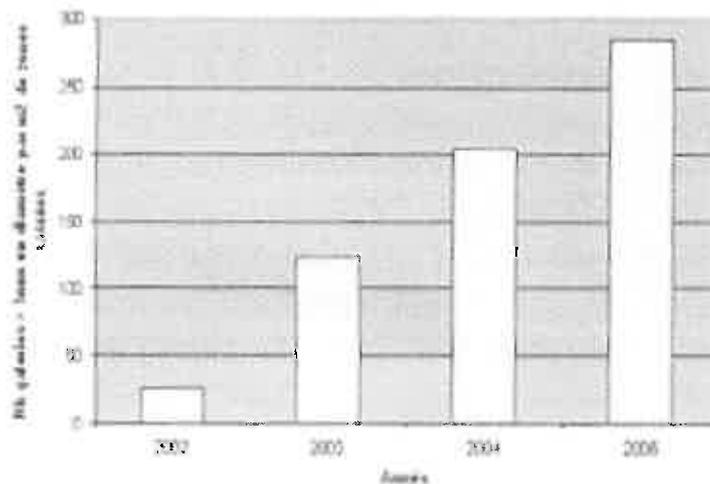
- Mémoire de fin d'étude de P. Bouchant et S. Cadoux (2005) à l'INRA Mons :

– Publication TCS n°35 Novembre/décembre
2005

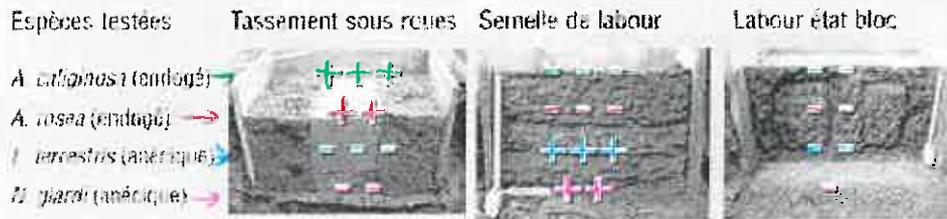
Premier effet : tassement réduit nombre et activité des vers de terre



Evolution de nombre de galeries par m² dans les zones compactes en fonction du temps



Capacités des espèces à coloniser des espaces compactés



Expérimentation dans des bacs de terre : observation du comportement de 4 vers de terre dans 3 zones tassées 'types'

III – Tassement et Régénération des sols

- A. Phénomène de tassement des sols
 1. Rappel : structure du sol, porosité du sol et définition
 2. Action due à l'homme
- B. Propriété du sol : sensibilité au tassement
 1. Le comportement mécanique du sol
 2. Facteurs influençant le tassement
- C. Régénération
 1. Naturelle des sols sous l'action du climat
 2. Vie du sol
 3. Les pratiques pour ne pas tasser ou décompacter

Les pratiques pour ne pas tasser...

- Choix de la date d'entrée dans la parcelle
- Choix d'itinéraires techniques adaptés pour le travail du sol → Itech A ?
- Diminution des pressions exercées
- Localisation du tassement sur une faible surface

Les pratiques pour ne pas tasser...

- Choix de la date d'entrée dans la parcelle
- *Choix d'itinéraires techniques adaptés pour le travail du sol*
- *Diminution des pressions exercées*
- *Localisation du tassement sur une faible surface*

Les pratiques pour ne pas tasser...

- *Choix de la date d'entrée dans la parcelle*
- Choix d'itinéraires techniques adaptés pour le travail du sol
- *Diminution des pressions exercées*
- *Localisation du tassement sur une faible surface*

Semis direct

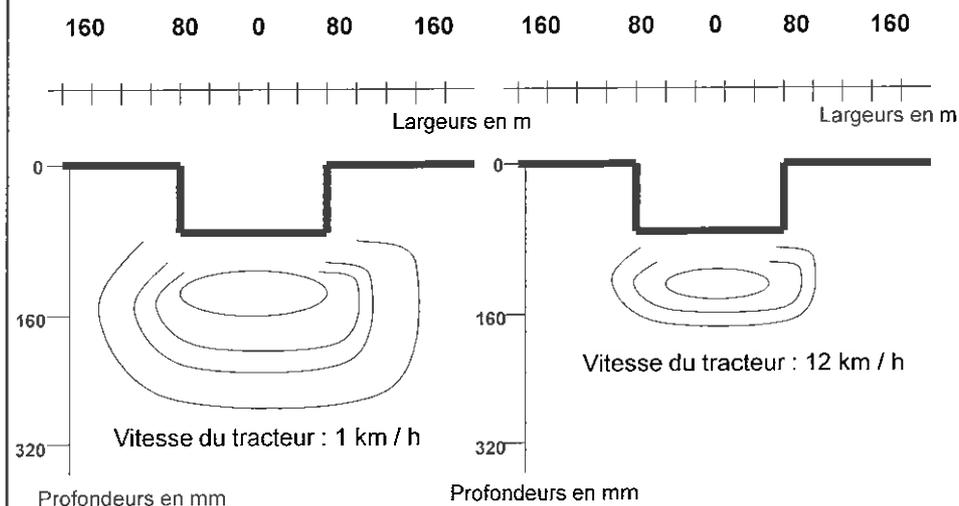


Semoir et charrue combinés

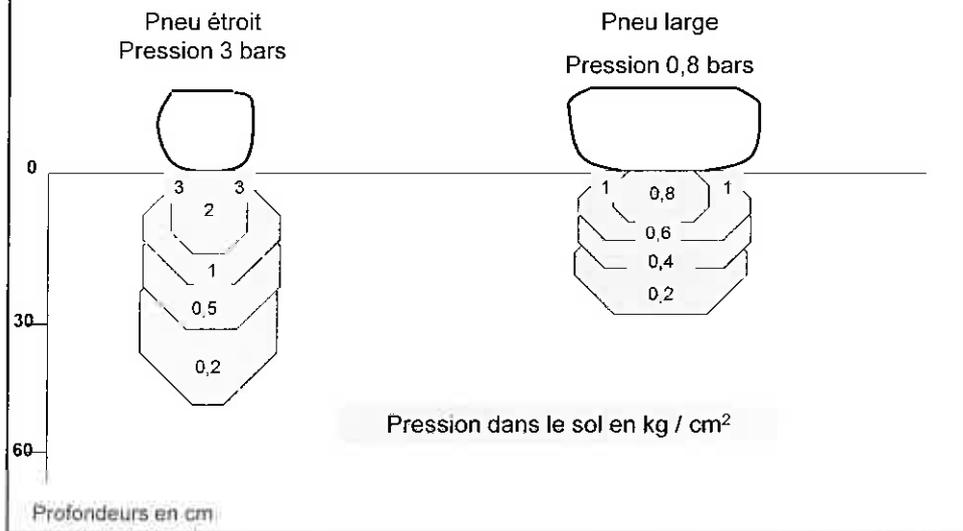
Les pratiques pour ne pas tasser...

- *Choix de la date d'entrée dans la parcelle*
- *Choix d'itinéraires techniques adaptés pour le travail du sol*
- Diminution des pressions exercées
- *Localisation du tassement sur une faible surface*

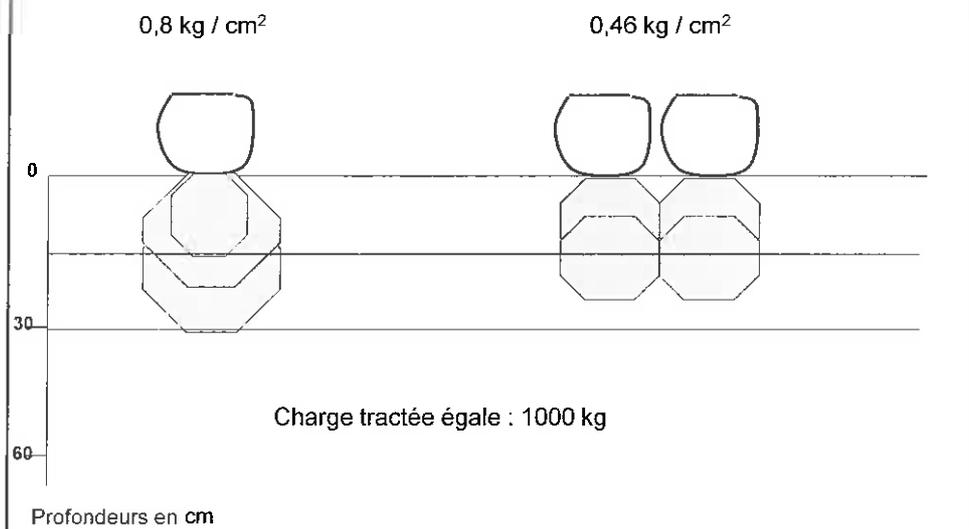
Influence de la vitesse d'avancement sur l'intensité du tassement



Répartition de la pression dans le sol suivant le type de pneu pour une même charge



Effet du jumelage



Les pratiques pour ne pas tasser...

- Choix de la date d'entrée dans la parcelle
- Choix d'itinéraires techniques adaptés pour le travail du sol
- *Diminution des pressions exercées*
- Localisation du tassement sur une faible surface

Roues cages



Passages maîtrisés

Répartition des traces de roues en fonction des systèmes

Passages maîtrisés



Moissonneuse-batteuse
Semoir/cultivateur
Pulvérisateur
Traces

Couverture 14 %

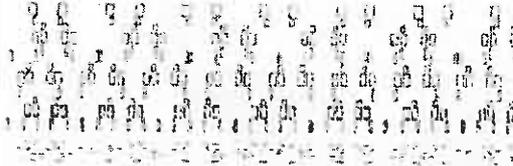
Semis direct



Moissonneuse-batteuse
Semoir/cultivateur
Pulvérisateur
Traces

Couverture 46 %

Technique traditionnelle



Moissonneuse-batteuse
Semoir/cultivateur
Pulvérisateur
Cultivateur/disque
Charrue
Traces

Couverture 82 %

Source : Dpt of Primary Industry, Toowoomba, Queensland

Comment décompacter ?

↳ c'est cher et ça prend du tps... mieux vaut prévenir!

- Observer avant d'agir....
- Choisir l'outil adapté
- Le réaliser en bonnes conditions uniquement
 - Courbe cohésion / humidité
- Observer après pour vérifier....

□ Le tassement



□ Décompacteur : exemple de l'outil à dents



IV - L'eau et le sol

Cours Physique du Sol - 2007

IV - Eau et Sol

- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
 1. Les forces qui agissent sur l'eau
 2. Le potentiel de l'eau
- B. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
 1. Définition
 2. Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
 3. Relations Humidités et pF
- C. Humidités caractéristiques du sol
 1. Définitions
 2. Mesures des humidités
- D. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

A - Définition de l'humidité du sol

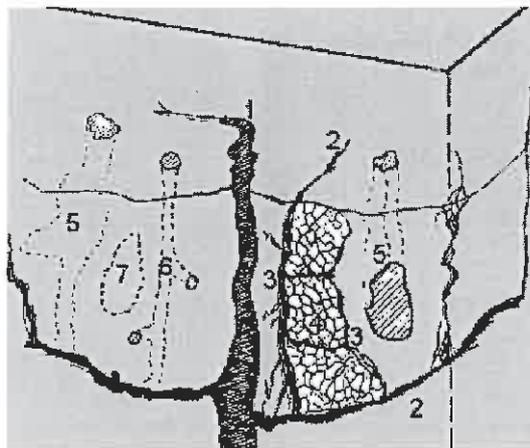
- Massique : $H_m = \frac{m_{eau}}{m_{sol\ sec}} \times 100$
 - $H_m = \omega = (\text{masse eau} / \text{masse sol sec}) \times 100$
- Volumique :
 - $H_v = \dots = (\text{volume d'eau} / \text{volume sol sec}) \times 100$

$$H_v = V_e/V_s = (M_e/\rho_e) \times (\rho_a/M_s) = M_e/M_s \times \rho_a/\rho_e$$

$$= H_m \times d_a$$

↑
densité
- Teneur en eau :
 - $\Theta = \text{masse eau} / \text{masse sol sec}$

Porosité du sol



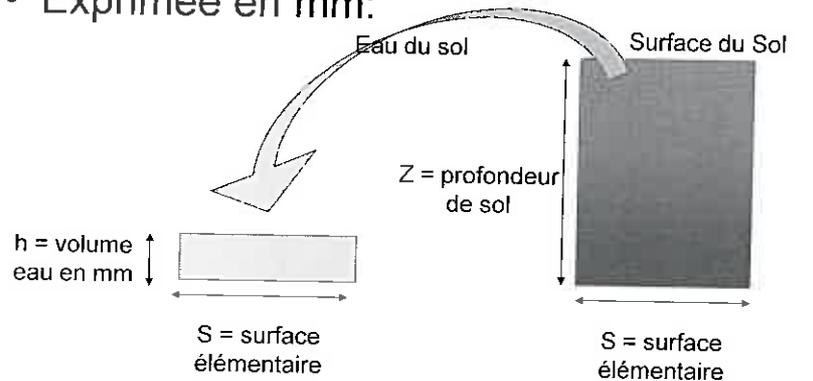
Légende:

- (1) grosse crevasse déterminant la sur-structure.
- (2) crevasse de 2ème ordre délimitant les agrégats
- (3) fissures fines déterminant la sous-structure
- (4) canalicules de faible diamètre
- (5) grosse lacune traversant les agrégats
- (6) lacune tubulaire creusée par un lombric
- (7) lacune aveugle.

(d'après GAUCHER).

A - Définition de l'humidité du sol

- Exprimée en mm:



$$Hm = 100 \frac{M_e}{M_s} = 100 \frac{(V_e \times \rho_e)}{(V_s \times \rho_a)} = 100 \frac{(h \times S \times \rho_e)}{(z \times S \times \rho_a)} = 100 \frac{(h/z) \times (\rho_e/\rho_a)}{(1/d_a)} \text{ d'où :}$$

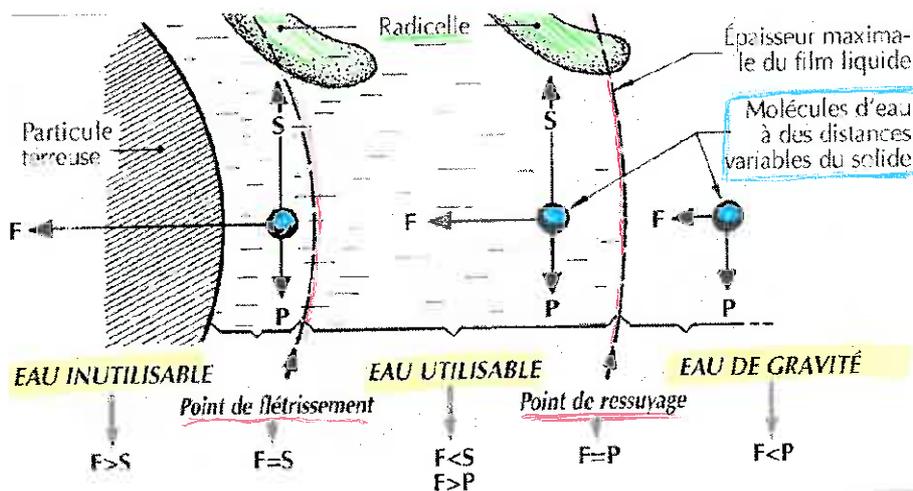
$$h_{mm} = Hm_{\%} \times z_{mm} \times d_a \times 10^{-2} = Hm_{\%} \times z_{dm} \times d_a$$

↑ densité
↑ profondeur

IV - Eau et Sol

- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
 1. Les forces qui agissent sur l'eau
 2. Le potentiel de l'eau
- B. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
 1. Définition
 2. Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
 3. Relations Humidités et pF
- C. Humidités caractéristiques du sol
 1. Définitions
 2. Mesures des humidités
- D. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

B - Les forces s'exerçant sur l'eau du sol



S = Force de suction
F = Force d'attraction de la particule terreuse
P = Force de gravité

Source : Soltner (2003)

IV - Eau et Sol

- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
 1. Les forces qui agissent sur l'eau
 2. Le potentiel de l'eau
- B. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
 1. Définition
 2. Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
 3. Relations Humidités et pF
- C. Humidités caractéristiques du sol
 1. Définitions
 2. Mesures des humidités
- D. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

Etat énergétique de l'eau du sol

- Energie potentielle de l'eau :
 - Rapportée à une unité de masse d'eau :
 - Φ en J/kg
 - Rapportée à une unité de volume d'eau :
 - P (pression) Pa, bars, atm
 - Rapportée à une unité de poids d'eau :
 - H (charge hydraulique) en cm d'eau

$$\text{Avec } \Phi = P / \rho_e \text{ et } H = P / (\rho_e \times g)$$

Potentiel total de l'eau : Φ

- Formule : $\Phi = \Phi_g + \Phi_p$ (simplifiée)

↳ négatif

$\Phi_p \Rightarrow$ potentiel de pression (ou H_p ou Ψ)

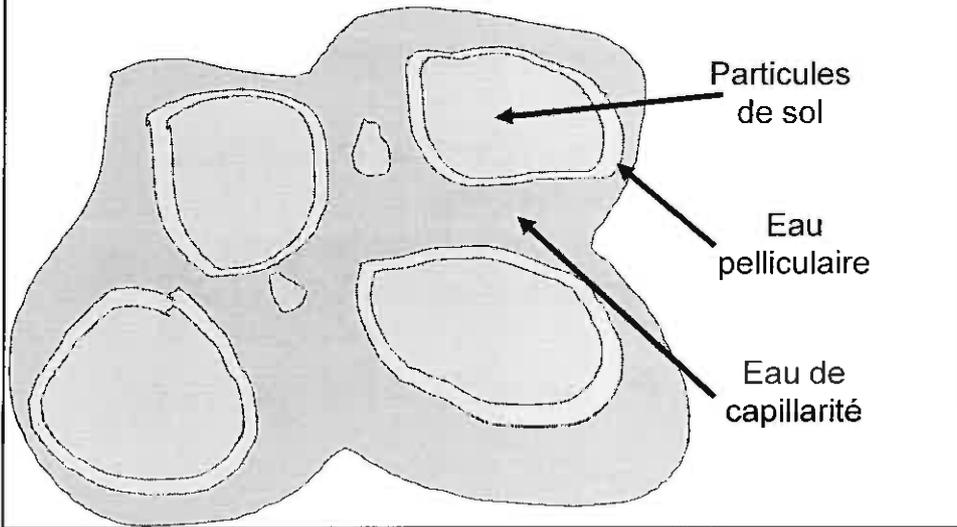
Tient compte adsorption, pression capillaire

↳ il est important quand le sol est insaturé

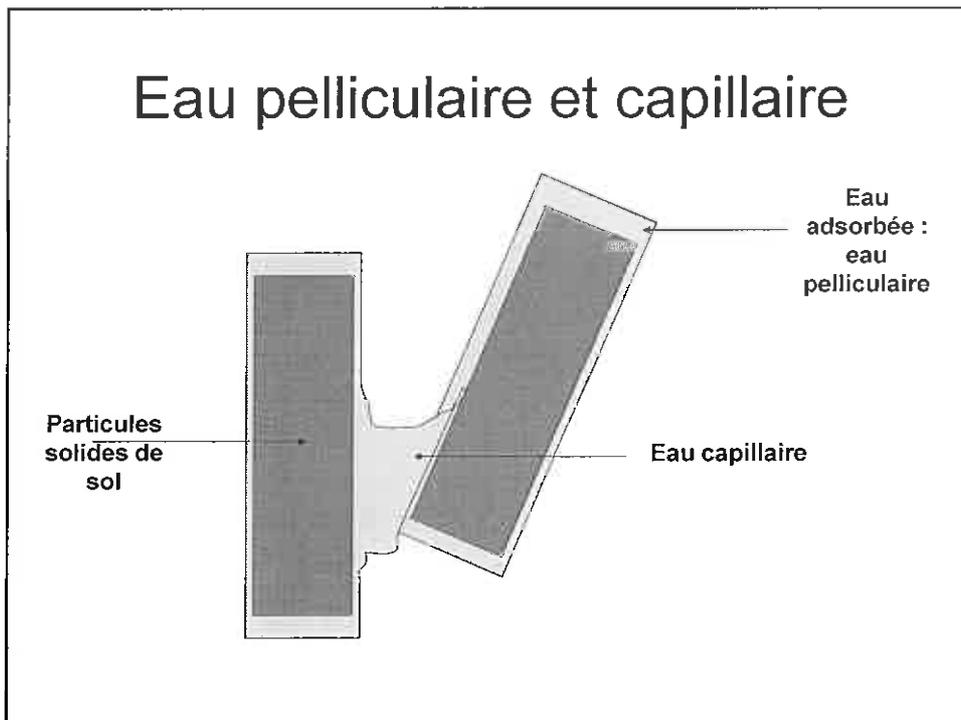
$\Phi_g = gZ \Rightarrow$ potentiel gravitaire ou P_g ou H_g

↳ il est important quand le sol est saturé

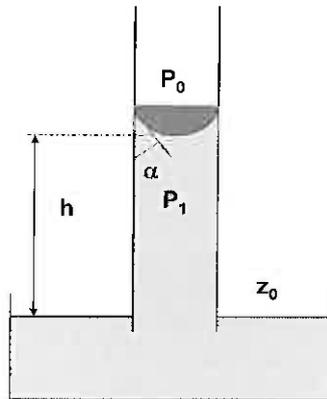
Potentiel de pression: Eau pelliculaire et capillaire



Eau pelliculaire et capillaire



Mesure de la Capillarité : Loi de JURIN



P_1 (pression interne) < P_0 (pression atm.)

$$h \text{ en cm} = \Delta P / (\rho_e \times g)$$

Avec $\Delta P = P_0 - P_1 = (2\gamma) \cos \alpha / r$

γ tension superficielle de l'eau
(72,8 dynes/cm)

r rayon du tube capillaire en
cm

Etat de l'eau

- Si le sol est saturé d'eau
 - Φ_p ou H_p est > 0
 - Φ_g ou $H_g \gg \Phi_p$ ou $H_p \Rightarrow$ eau gravitaire
- Si le sol n'est pas saturé d'eau
 - Φ_p ou H_p ou $\Psi < 0 \Rightarrow$ le potentiel de pression abaisse le potentiel de l'eau

\rightarrow Expression du potentiel de pression en zone non saturée

- $\Psi =$ POTENTIEL MATRICIEL
- Valeur absolue = succion de l'eau par le sol

IV - Eau et Sol

- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
 - 1. Les forces qui agissent sur l'eau
 - 2. Le potentiel de l'eau
- C. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
 - 1. **Définition**
 - 2. Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
 - 3. Relations Humidités et pF
- D. Humidités caractéristiques du sol
 - 1. Définitions
 - 2. Mesures des humidités
- E. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

Définition du potentiel matriciel

- Le potentiel matriciel :

'est égal à la quantité d'énergie qu'il faut fournir à 1 cm³ de volume élémentaire d'eau du sol, pour le faire passer à l'état 'libre'. On l'appelle aussi Succion de l'eau par le sol.'

Expression du potentiel matriciel

En Pa, bars, cm : 1 à 10^6 kPa

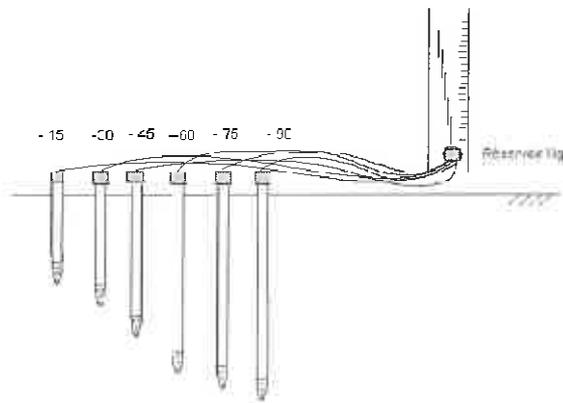
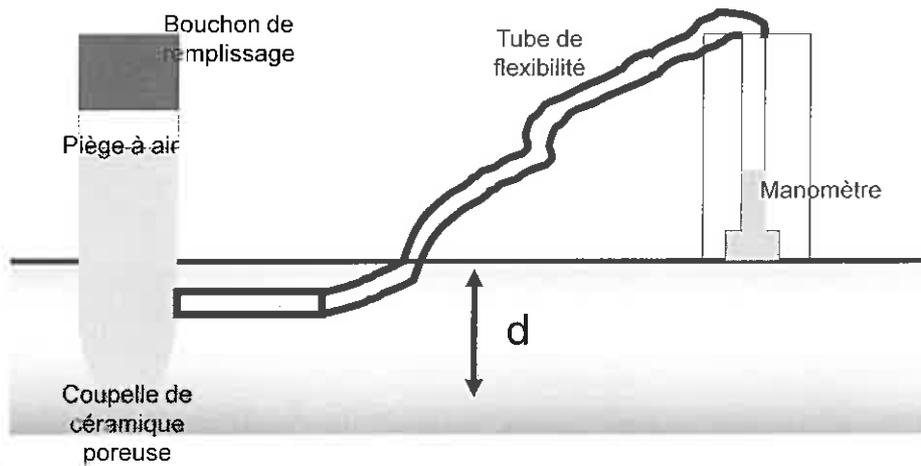
Transformé en pF = $\log(-H_p)$: 1 à 7

le pF varie de 1 à 7
1 → l'eau est libre
7 → l'eau est liée au sol

IV - Eau et Sol

- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
 1. Les forces qui agissent sur l'eau
 2. Le potentiel de l'eau
- B. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
 1. Définition
 2. **Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre**
 3. Relations Humidités et pF
- C. Humidités caractéristiques du sol
 1. Définitions
 2. Mesures des humidités
- D. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

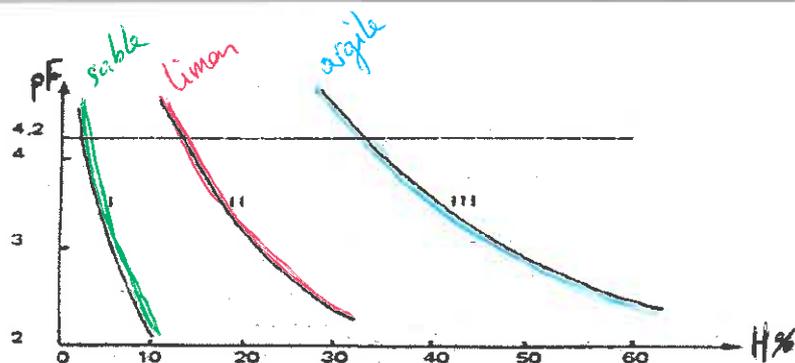
Mesure du pF : Le tensiomètre



IV - Eau et Sol

- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
 - 1. Les forces qui agissent sur l'eau
 - 2. Le potentiel de l'eau
- B. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
 - 1. Définition
 - 2. Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
 - 3. Relations Humidités et pF
- C. Humidités caractéristiques du sol
 - 1. Définitions
 - 2. Mesures des humidités
- D. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

Relation Humidité x pF



Exemples de courbe pF - Humidité
I : sable (région parisienne),
II : limon (Montpellier), III : argile (Antilles)
D'après HALLAIRE - 1970.

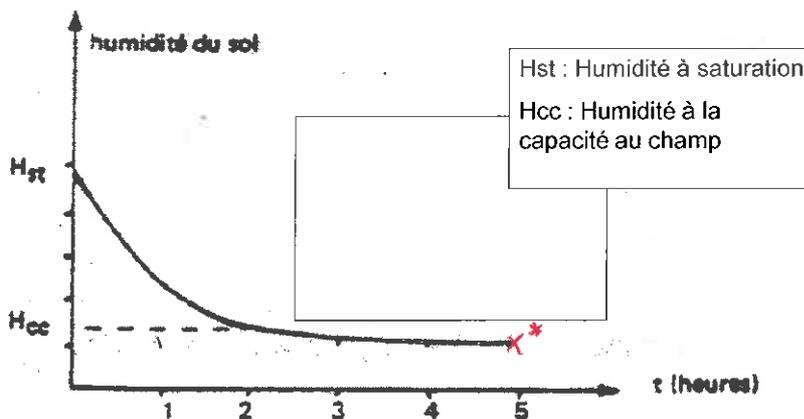
À une même humidité, l'eau est + ou - disponible
→ l'argile retient mieux l'eau avec ses micropores / capillarité

II - Eau et Sol

- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
 1. Les forces qui agissent sur l'eau
 2. Le potentiel de l'eau
- C. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
 1. Définition
 2. Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
 3. Relations Humidités et pF
- D. Humidités caractéristiques du sol
 1. Définitions
 2. Mesures des humidités
- D. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

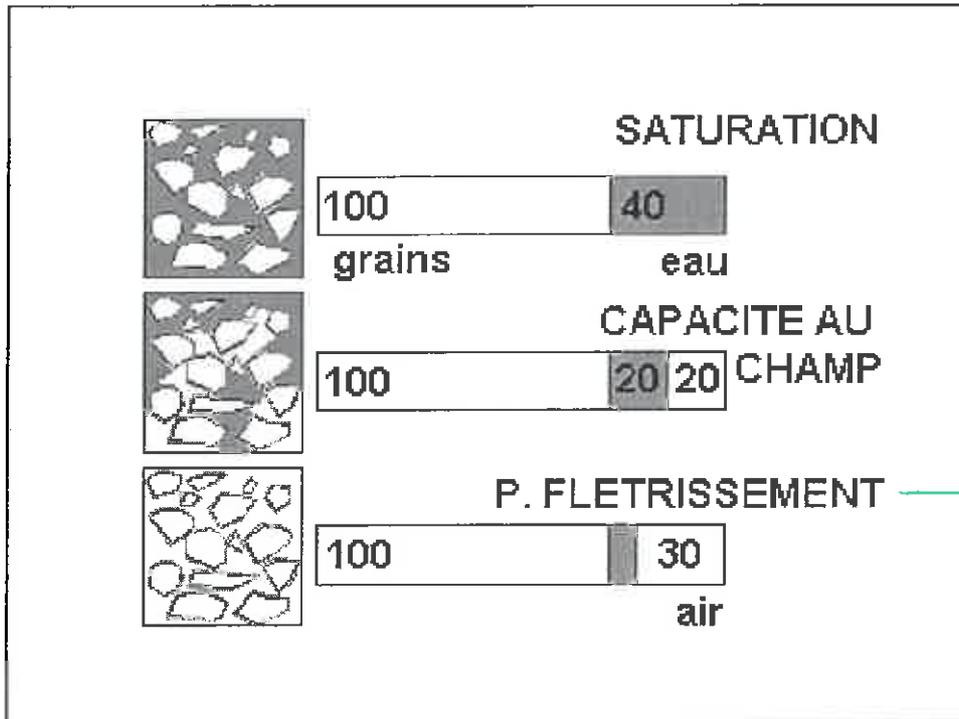
Humidités → à saturation
→ à la capacité au champ* (H_{cc}) = à capacité de rétention (H_{cr})
→ du point de flétrissement

C - Humidités caractéristiques du sol

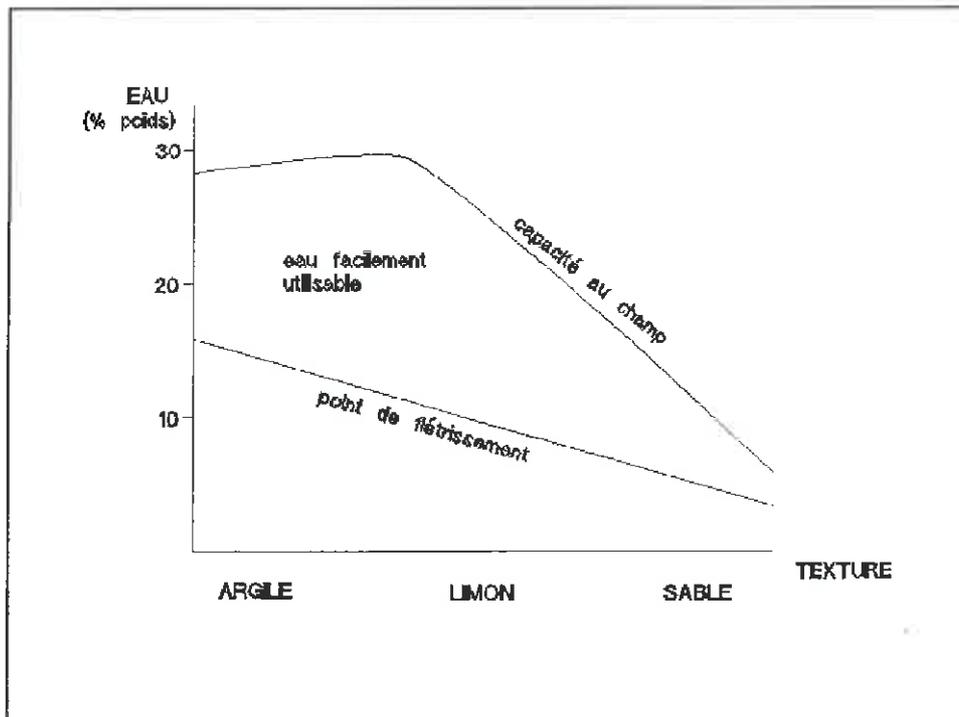


Resuyage d'une colonne de terre tamisée à 2 mm, portée à saturation d'eau (FEODOROFF - 1962).

* là, le sol est ressuyé; pas de flaque, pas d'eau qui coule qd on prend une motte de terre



pF est le potentiel matriciel



Humidités à pF4,2 (Point de flétrissement) pour différents sols

Texture	Humidité à pF4,2
Sableux	2,5 %
Sablo-argileux (11% A)	4 %
Sablo limono argileux	6 %
Limono-argileux (13% A)	13 %
Argilo - sableux	13 %
Argilo - limoneux	20,5 %

Source : Schofield et Bothelo Da Costa (1935) ; Perigaud (1963) in Henin, 1977)

Estimations de Hcc, HpF4,2 et He

(2/2)

- Pour une large gamme de terres :

$$He \approx 0,59 A + 0,16 L + 5,47 \quad (\text{si } He > 20 \%, \text{ c'est la bonne formule})$$

$$He \approx 0,51 A + 0,14 L + 7,35 \quad (\text{SINON on prend la formule suivante})$$

→ formule de GRAS-BETREMIEUX (1957 – 1963)

NB: Correctif (si MO > 1%) on ajoute à He calculé :
 $0,75 * MO + 0,93$ à la formule

Avec A : % argile, L : % de limons fins et MO : % de matière organique

Liaisons entre différentes humidités caractéristiques

Type de sol	
Sables fins purs ou argileux (10% A)	$H_{pF4,2} = H_{cc} / (5,5 \text{ à } 6)$
Sables limoneux avec 10-25% A	$H_{pF4,2} = H_{cc} / (3 \text{ à } 4)$
Sables 'moyens' avec 20-25 % A	$H_{pF4,2} = H_{cc} / 2$
Argiles sableuses (40-80% A)	$H_{pF4,2} = H_{cc} / (1,5 \text{ à } 1,7)$

Source : Perigaud (1963)

II - Eau et Sol

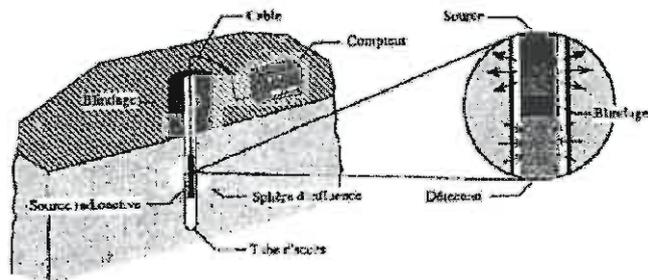
- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
 - 1. Les forces qui agissent sur l'eau
 - 2. Le potentiel de l'eau
- B. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
 - 1. Définition
 - 2. Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
 - 3. Relations Humidités et pF
- C. Humidités caractéristiques du sol
 - 1. Définitions
 - 2. **Mesures des humidités**
- D. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

Méthodes mesures Humidités

- Hm : boîtes à humidité + étuve
- Hv :
 - cylindre + étuve
 - Sonde à neutron
 - TDR (Time Domain Reflectometry)

(ou alors 10 min au micro-onde puissance max)

Sonde à neutrons



TDR



→ Mesure la résistance au courant pour connaître le volume d'eau dans le sol

II - Eau et Sol

- A. Définition Humidité du sol
- B. Les divers modes de rétention de l'eau par le sol
 1. Les forces qui agissent sur l'eau
 2. Le potentiel de l'eau
- C. Notion de potentiel capillaire ou matriciel
 1. Définition
 2. Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre
 3. Relations Humidités et pF
- D. Humidités caractéristiques du sol
 1. Définitions
 2. Mesures des humidités
- E. Le sol réservoir d'eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. et R.F.U.

D - Réserve Utile : R. U.

Le sol : un réservoir d'eau pour les plantes



Calcul de la R.U.

$$RU \text{ en mm} = (H_{cc} - H_{pF4,2}) \text{ das} * z * (1-x) * (1-y)$$

• Avec :

- H_{cc} : formule de GRAS en %
- $H_{pF4,2}$ = à peu près $\frac{1}{2} H_{cc}$ ou valeurs particulières
- da : densité apparente ou formule de KELI (1984) :
 $da = 1,60 - 0,0153 A$
- z : profondeur de sol considéré en dm. → *prof. utile, avec 1 couche tous les 5cm*

→ Si cailloux non poreux \Rightarrow % de terre fine = $(1-x)$ avec x % de cailloux sous forme décimale

- y renvoi au motte Δ (attention voir cours d'Yvan Gautronneau) sous forme décimale

Texture et volume d'eau utilisable

Texture	da	Hcc-HpF4,2	da (Hcc-HpF4,2)
Sable grossier	1,55	5 – 7	8 – 11 mm/dm
Sable fin humifère	1,35	11 – 12	15 – 16 mm/dm
Sable fin peu humifère	1,6	9 – 10	15 – 16 mm/dm
Sable argileux	1,5	11 – 12	16 – 19 mm/dm
Sable limono-argileux	1,6	13 – 20	20 – 32 mm/dm
Argile sableuse	1,48	9 - 12	13 – 18 mm/dm

Source : Perigaud (1963) in Henin, 1977)

NB = cours intéressant et précis.
A REVOIR !! 😊

V Erosion des sols et stabilité structurale

V- Erosion des sols et stabilité structurale

- A. Phénomène de battance, ruissellement et érosion
 - 1. Les facteurs intervenant dans l'érosion
 - 2. Mécanismes des différents types d'érosion
 - 3. Le rôle de l'agriculture dans le développement de l'érosion

- B. Etude de la propriété du sol : la stabilité structurale
 - 1. Définition
 - 2. Mécanismes de la stabilité structurale
 - 3. Les facteurs de la stabilité
 - 4. Méthodes d'évaluation de la stabilité Structurale
 - 5. Méthodes basées sur le suivi de l'évolution structurale observées en condition contrôlée

- C. Lutte contre l'érosion

V- Erosion des sols et stabilité structurale

A. Phénomène de battance, ruissellement et érosion

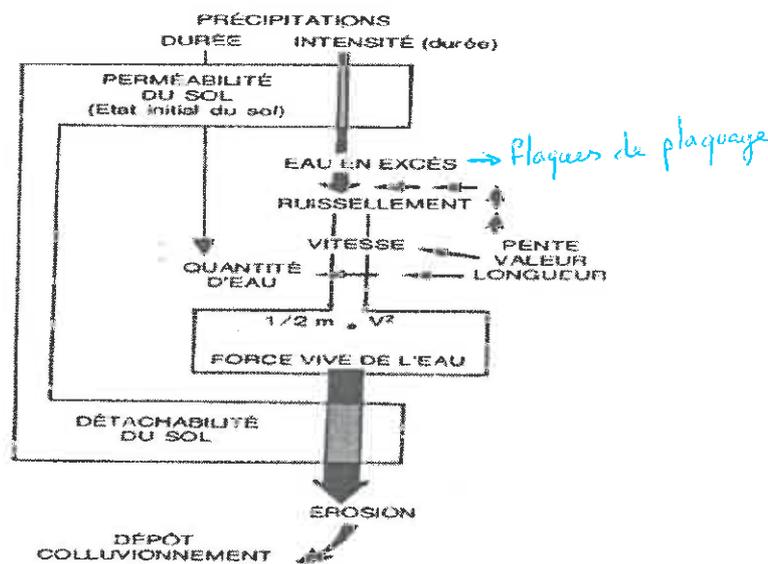
1. Les facteurs intervenant dans l'érosion
2. Mécanismes des différents types d'érosion
3. Le rôle de l'agriculture dans le développement de l'érosion

B. Etude de la propriété du sol : la stabilité structurale

1. Définition
2. Mécanismes de la stabilité structurale
3. Les facteurs de la stabilité
4. Méthodes d'évaluation de la stabilité Structurale
5. Méthodes basées sur le suivi de l'évolution structurale en condition contrôlée

C. Lutte contre l'érosion

Les facteurs de l'érosion



Précipitations,
facteurs d'érosion

→ durée
→ intensité

→ Plaques de plaquage

ruissellement: eau en movt à la surface du sol, dont la force arrache des particules de sol

V- Erosion des sols et stabilité structurale

A. Phénomène de battance, ruissellement et érosion

1. Les facteurs intervenant dans l'érosion
2. Mécanismes des différents types d'érosion
3. Le rôle de l'agriculture dans le développement de l'érosion

B. Etude de la propriété du sol : la stabilité structurale

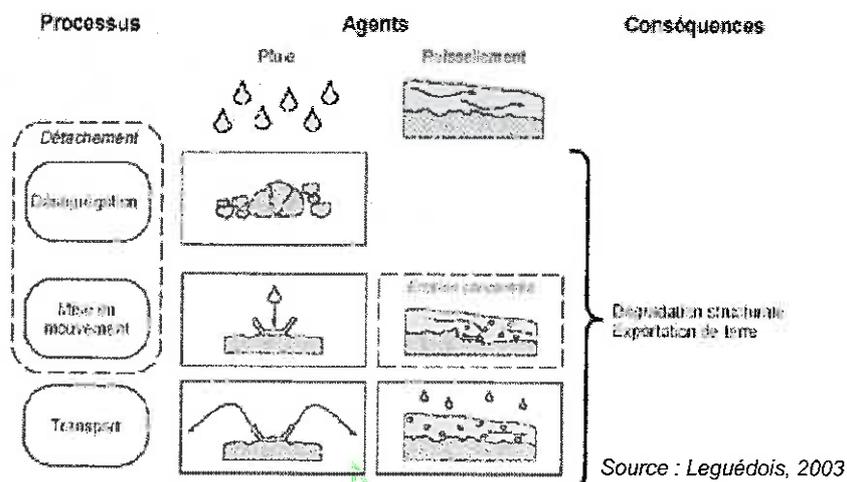
1. Définition
2. Mécanismes de la stabilité structurale
3. Les facteurs de la stabilité
4. Méthodes d'évaluation de la stabilité Structurale
5. Méthodes basées sur le suivi de l'évolution structurale en condition contrôlée

C. Lutte contre l'érosion



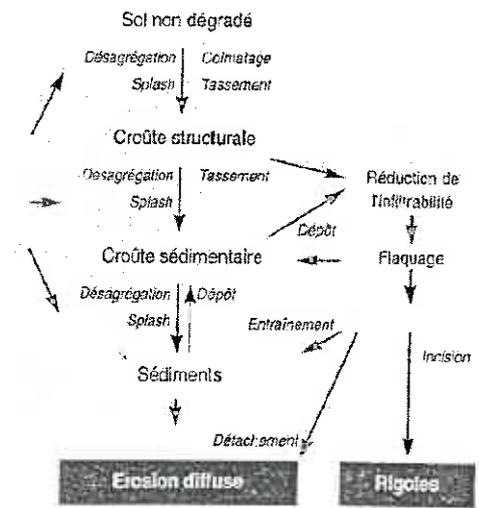
La goutte d'eau, elle a une force.

Mécanismes de l'érosion



avec Splash

Mécanismes de l'érosion: formation d'une croûte de battance



Y. Le Bissonais et Le Souder (1995)

Formation d'une croûte de battance

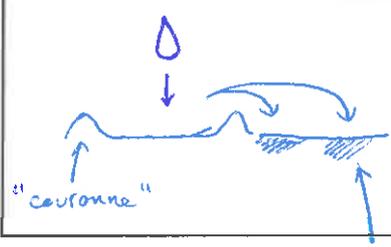
désagrégation, splash, colmatage, tassement → croûte de battance



2a - stade 1 : agrégats visibles

2b - stade 2 : agrégats désagrégés
croûte structurale

2c - stade 3 : croûtes de battance formées
croûte sédimentaire



porosité bouchée par les particules éjectées

Source : Y. Le Bissonais, 2002

Effet 'splash'



Erosion diffuse



Source : Y. Le Bissonais in Leguédais, 2003

effet "glacé"
du sol.

Sol imperméabilisé

Erosion concentrée



ravinement

La pluie a formé des "obstacles"

Source : Y. Le Bissonais in Leguédais, 2003

Erosion des talus et chemins



+ Erosion en limite de parcelle

V- Erosion des sols et stabilité structurale

A. Phénomène de battance, ruissellement et érosion

1. Les facteurs intervenant dans l'érosion
2. Mécanismes des différents types d'érosion
3. Le rôle de l'agriculture dans le développement de l'érosion

B. Etude de la propriété du sol : la stabilité structurale

1. Définition
2. Mécanismes de la stabilité structurale
3. Les facteurs de la stabilité
4. Méthodes d'évaluation de la stabilité Structurale
5. Méthodes basées sur le suivi de l'évolution structurale en condition contrôlée

C. Lutte contre l'érosion

Rôle de l'agriculture dans le développement de l'érosion en France

- Augmentation de la taille des parcelles et suppression des haies
- Diminution des surfaces en prairies et extension de cultures peu couvrantes (type maïs)

• Zone d'ahaussée : des viticulteurs créent des pentes pour les vignes. Mais l'érosion qui en résulte retire le sol, il faut le remonter après et c'est coûteux.

Episode pluvieux sur culture de maïs



Episode pluvieux sur culture de maïs



Rôle de l'agriculture dans le développement de l'érosion en France

- Modification des méthodes de travail du sol :
 - Augmentation du poids des machines ⇨ amorces de rigoles
 - Augmentation de la vitesse de travail ⇨ terre fine abondante
 - Augmentation de la profondeur du travail du sol ⇨ diminution de la teneur en matière organique et de la stabilité structurale

Rôle de l'agriculture dans le développement de l'érosion en France

- Modification des méthodes de travail du sol mais techniques améliorantes :
 - Drainage
 - Sous-solage
 - Non labour, désherbage chimique.

Rôle de l'agriculture dans le développement de l'érosion en France

- Fertilisation et amendements des terres :
 - Diminution des restitutions humiques,
 - Baisse de l'activité biologique des sols,
 - Chaulage insuffisant.

Causes non agricoles.....

Urbanisation et routes ⇒ imperméabilisation des surfaces et ruissellement / fossés mal entretenus

...

V- Erosion des sols et stabilité structurale

- A. Phénomène de battance, ruissellement et érosion
 - 1. Les facteurs intervenant dans l'érosion
 - 2. Mécanismes des différents types d'érosion
 - 3. Le rôle de l'agriculture dans le développement de l'érosion
- B. Etude de la propriété du sol : la stabilité structurale**
 - 1. Définition
 - 2. Mécanismes de la stabilité structurale
 - 3. Les facteurs de la stabilité
 - 4. Méthodes d'évaluation de la stabilité Structurale
 - 5. Méthodes basées sur le suivi de l'évolution structurale en condition contrôlée
- C. Lutte contre l'érosion

Définition

La stabilité structurale :

C'est l'aptitude à résister à l'action dégradantes des pluies.

V- Erosion des sols et stabilité structurale

- A. Phénomène de battance, ruissellement et érosion
1. Les facteurs intervenant dans l'érosion
 2. Mécanismes des différents types d'érosion
 3. Le rôle de l'agriculture dans le développement de l'érosion
- B. Etude de la propriété du sol : la stabilité structurale
1. Définition
 2. Mécanismes de la stabilité structurale
 3. Les facteurs de la stabilité
 4. Méthodes d'évaluation de la stabilité Structurale
 5. Méthodes basées sur le suivi de l'évolution structurale observées au champ ou en condition contrôlée
- C. Lutte contre l'érosion

Relation gonflement / stabilité structurale

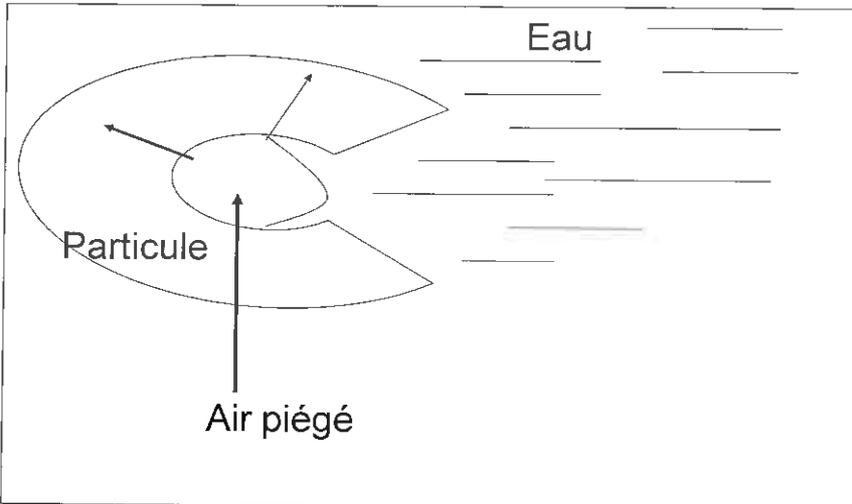
Indice de gonflement	4,2	3,5	2,5	1,71	1,52	1,38
Agrégats stables en %	88,8	80,8	77,6	4,7	6,2	1,7

Source : Henin (1964)

① Chimie
calcium
Ca rend le sol + stable que Na sodium

② Physique des particules
On étudie une particule < 2mm, on hydrate, et on tire un pourcentage des particules $\leq 200\mu\text{m}$
...
qui mène au mécanisme d'écritement des particules

Mécanisme d'éclatement des particules



Le modèle théorique

$$S = C - P_i \leftarrow \begin{array}{l} \text{varie selon} \\ \text{la matière organique} \end{array}$$

Avec :

S : stabilité

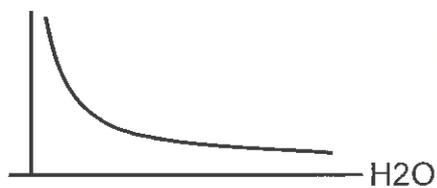
C : cohésion à l'état humide, *varie plus tôt*

P_i : Pression interne

Handwritten notes:
 C = 100
 P_i = 100 - 100 = 0
 S = 100 - 100 = 0
 P_i = 100 - 100 = 0
 S = 100 - 100 = 0

Variation de la cohésion C avec la teneur en eau

Cohésion



Remarque : la cohésion varie avec la teneur en argile, globalement plus la teneur en argile est grande plus il y a cohésion des particules...

Rôle du piégeage de l'air

Nature de la terre	Agrégats stables > 0,2 mm en %	
	Mouillé sous air	Mouillé sous vide
Limon rouge	18	76
Versailles 42 p . Fumier	6	37
Versailles 42 p. Na NO3	2	9
Horizon B	10	32
Argilo calcaire	50	71

Source : Henin, Gras et Monnier (1969)

Because the sky is blue, it makes me cry...
Because the sky is blue...

Formule de calcul de P_i

$$P_i = F/S$$
$$= (2 \Pi R T \cos \alpha) / (\Pi R^2)$$
$$P_i = 2 (T \cos \alpha / R)$$

Avec :

P_i : Pression interne

R : Rayon des plus gros pores

T : tension superficielle

α : angle de raccordement entre le sol et l'eau

⇒ mouillabilité de la terre

α dépend de la matière organique

V- Erosion des sols et stabilité structurale

- A. Phénomène de battance, ruissellement et érosion
 - 1. Les facteurs intervenant dans l'érosion
 - 2. Mécanismes des différents types d'érosion
 - 3. Le rôle de l'agriculture dans le développement de l'érosion

- B. **Etude de la propriété du sol : la stabilité structurale**
 - 1. Définition
 - 2. Mécanismes de la stabilité structurale
 - 3. **Les facteurs de la stabilité**
 - 4. Méthodes d'évaluation de la stabilité Structurale
 - 5. Méthodes basées sur le suivi de l'évolution structurale en condition contrôlée

- C. Lutte contre l'érosion

Texture et stabilité structurale

Argile en %	60,7	29,0	16,8	14,2
Limon en %	28,7	20,0	19,5	20,6
Agrégats stables en %	38,8	10,9	2,2	1,7

Source : Monnier (1969)

Argile ↓
stabilité ↓

Garniture ionique et stabilité structurale

	Ca	Na
Sol limons argileux	33,5	2,5
Sol limoneux humifère	37,5	2

Source : Monnier (1969)

V- Erosion des sols et stabilité structurale

- A. Phénomène de battance, ruissellement et érosion
 - 1. Les facteurs intervenant dans l'érosion
 - 2. Mécanismes des différents types d'érosion
 - 3. Le rôle de l'agriculture dans le développement de l'érosion

- B. **Etude de la propriété du sol : la stabilité structurale**
 - 1. Définition
 - 2. Mécanismes de la stabilité structurale
 - 3. Les facteurs de la stabilité
 - 4. **Méthodes d'évaluation de la stabilité Structurale**
 - 5. Méthodes basées sur le suivi de l'évolution structurale en condition contrôlée

- C. Lutte contre l'érosion

Méthodes d'évaluation de la stabilité structurale

- 1. Analyse d'agrégats
- 2. Test de percolation
- 3. Complémentarité des deux tests
- 4. Critiques de ces tests

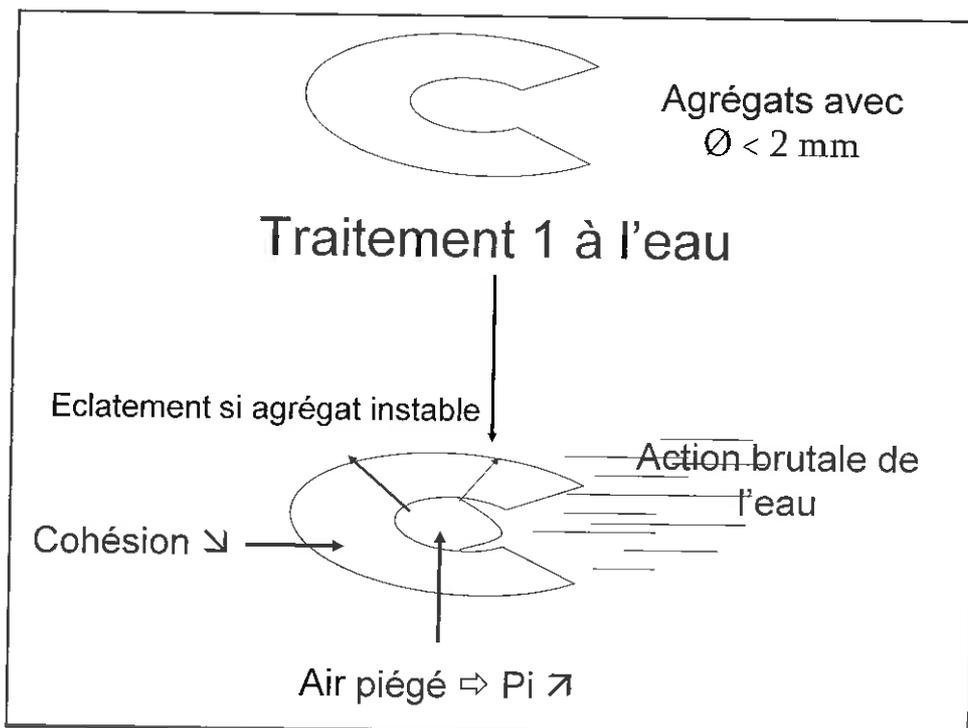
Analyse d'agrégats

- Mottes de terres non broyées, séchées à l'air \Rightarrow choix d'agrégats secs dont le diamètre est inférieure à 2 mm
- Action brutale de l'eau sur les agrégats :
 - Mesure des agrégats qui conservent un diamètre $> 200 \mu\text{m}$ = agrégats dits stables
 - Mesure des éléments dont le diamètre $< 20 \mu\text{m}$ = A+L
 - Mesure sable grossier (SG) (pour différencier sables et agrégats dits stables)

Analyse d'agrégats

- Trois traitements sont pratiqués :
 - Traitement 1 : aucun prétraitement avant action brutale de l'eau \Rightarrow mesure des agrégats stables à l'eau seule ($\emptyset > 200 \mu\text{m}$) notés Ag_e
 - Traitement 2 : prétraitement à l'alcool puis action brutale de l'eau \Rightarrow mesure des agrégats stables à l'alcool et l'eau ($\emptyset > 200 \mu\text{m}$) notés Ag_a
 - Traitement 3 : prétraitement au benzène puis action brutale de l'eau \Rightarrow mesure des agrégats stables au benzène et à l'eau ($\emptyset > 200 \mu\text{m}$) notés Ag_b

Traitement 1 : action de l'eau sans prétraitement



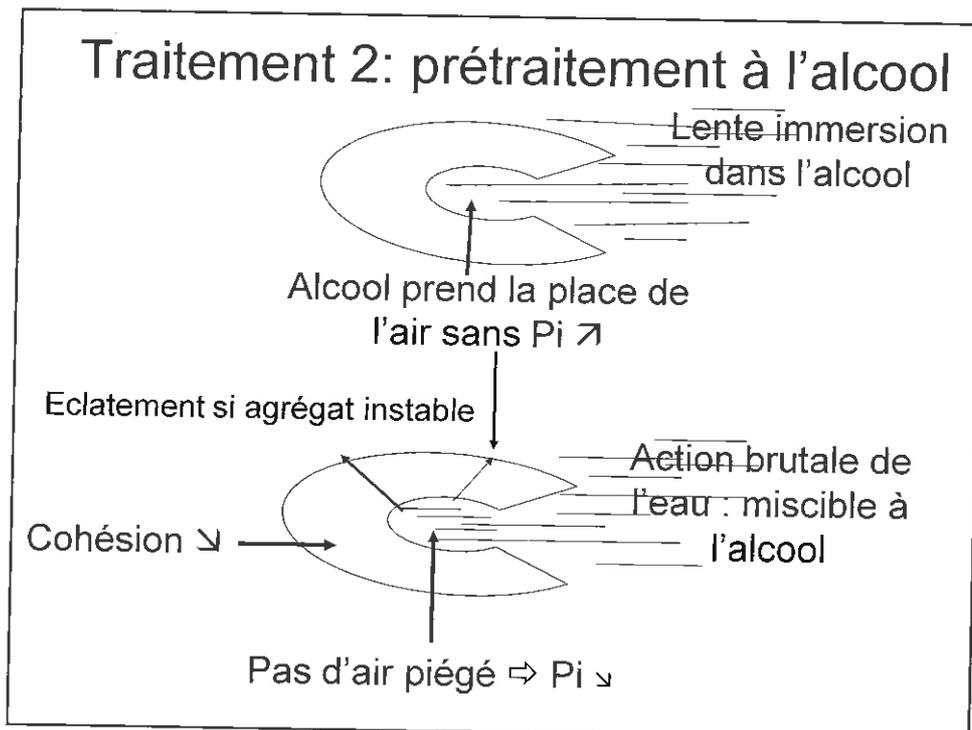
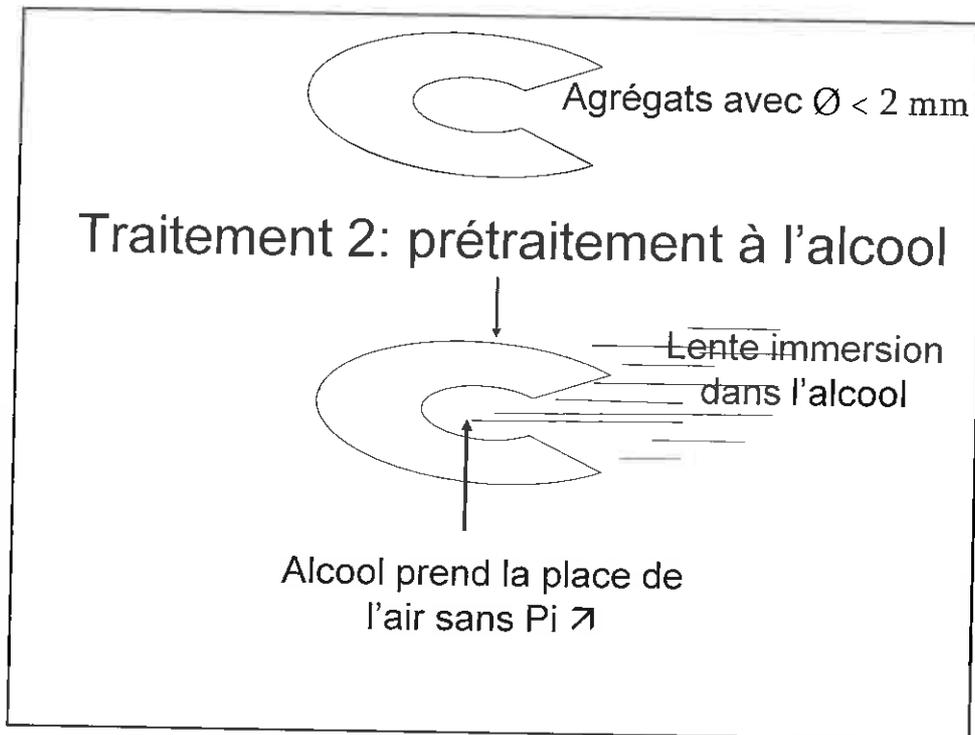
Effet du traitement 1 sur le modèle théorique

$$S = C (\searrow) - P_i (\nearrow)$$

- Si terre stable alors C diminue peu et/ou P_i n'augmente pas trop (terre peu mouillable)
- Si terre instable alors C diminue beaucoup et/ou P_i augmente beaucoup (terre mouillable)

Avec : S : stabilité, C : cohésion à l'état humide et P_i : Pression interne

Traitement 2 : prétraitement à l'alcool puis action de l'eau (2 phases)



Effet du traitement 2 sur le modèle théorique

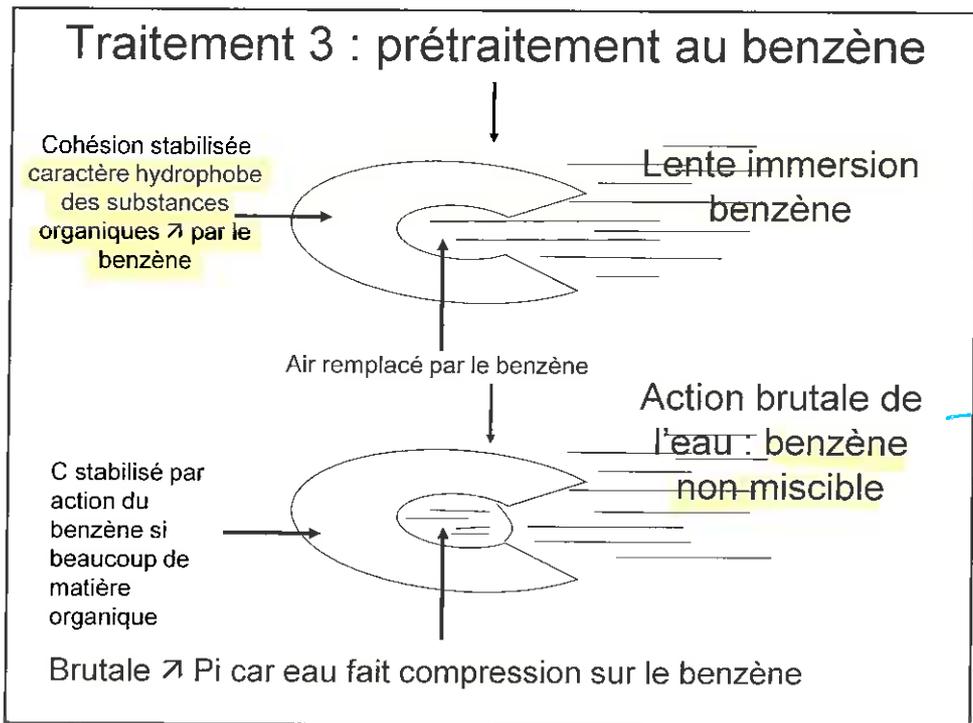
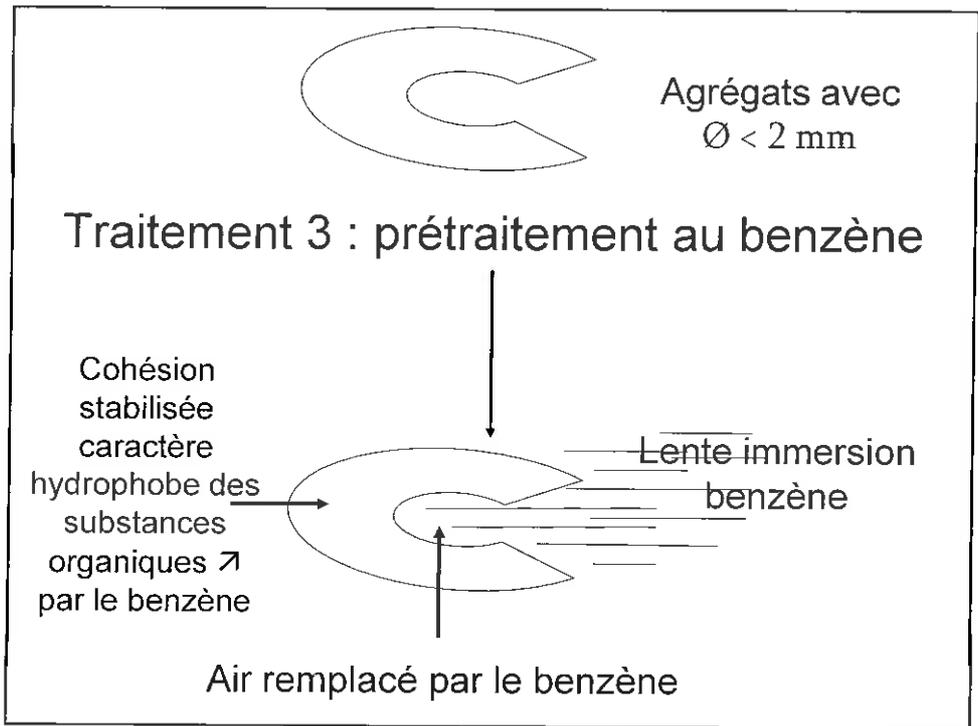
$$S = C (\nabla) - P_i$$

- Si terre stable alors C diminue peu
- Si terre instable alors C diminue beaucoup

Avec : S : stabilité, C : cohésion à l'état humide et P_i : Pression interne

→ Varie avec la teneur en argile (mais ne permet pas de la connaître pour autant!)

Traitement 3 : prétraitement au benzène puis action de l'eau (2 phases)



Effet du traitement 3 sur le modèle théorique

$$S = C - P_i (\nearrow)$$

- Si terre stable alors P_i augmente peu (terre peu mouillable)
- Si terre instable alors P_i augmente beaucoup (terre très mouillable)

Avec : S : stabilité, C : cohésion à l'état humide et P_i : Pression interne

varie avec la teneur en matière organique

Evaluation de la stabilité structurale : analyse d'agrégats

Essai (test)	A %	Texture	M.O. % tot.	$100 \times \frac{M.O. \text{ libe}}{A}$	Agg %	Ag %
Sécol n° 1, 0-25 cm	29	limoneuse	3,05	12,6	20,5	5,8
Sécol n° 1, 25-50 cm	21	limoneuse	0,7	2,9	19,0	9,5
Sécol n° 2, 20-60 cm	55	argileuse	1,8	2,9	59,0	1,1

Fig. 22. -- Influence des facteurs de stabilité sur les différents tests

Indice global de Stabilité : Is

$$I_s = \frac{(A + L) \text{ max en \%}}{((A_g_e + A_g_a + A_g_b) / 3 - 0,9 \text{ SG})}$$

Avec :

A + L : taux d'éléments fins (argiles + limons)

A_{g_e} : taux d'agrégats stables à l'eau

A_{g_a} : taux d'agrégats stables à l'alcool

A_{g_b} : taux d'agrégats stables au benzène

SG : taux de sables grossiers

Test de percolation : indice K

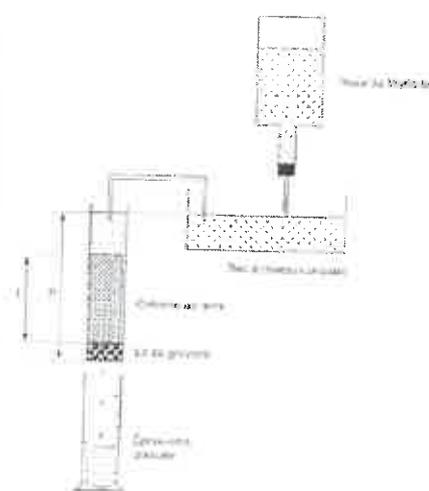


Figure 23 : Schéma de montage du test de percolation

$$K = \frac{I \times V}{H \times S}$$

Avec :

I : hauteur en cm de la colonne terre

V : Volume en cm^3 recueilli au cours de la première heure en percolation

H : Hauteur en cm dans le tube entre la toile filtrante et la surface libre de l'eau

S : section intérieure du tube en cm^2

K : s'exprime donc en cm/h

Vitesse d'infiltration de l'eau : rapide si les agrégats sont stables

Source : G. Mathieu, F. Pieltain, 1998

Relation entre I_s et K

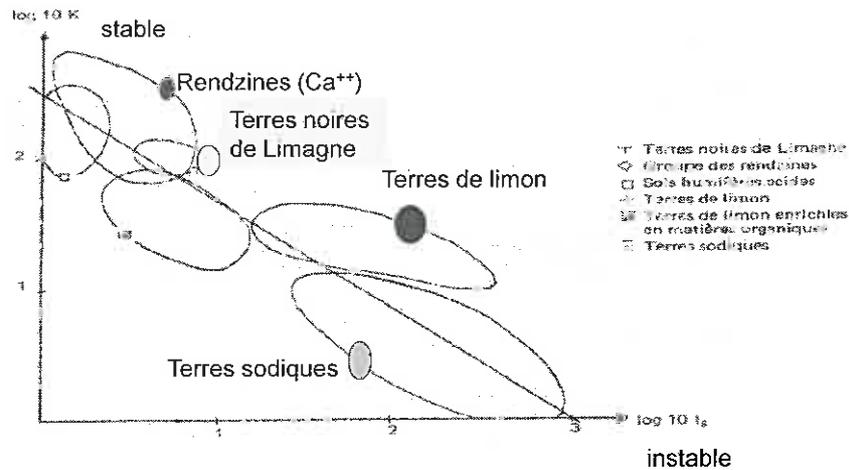
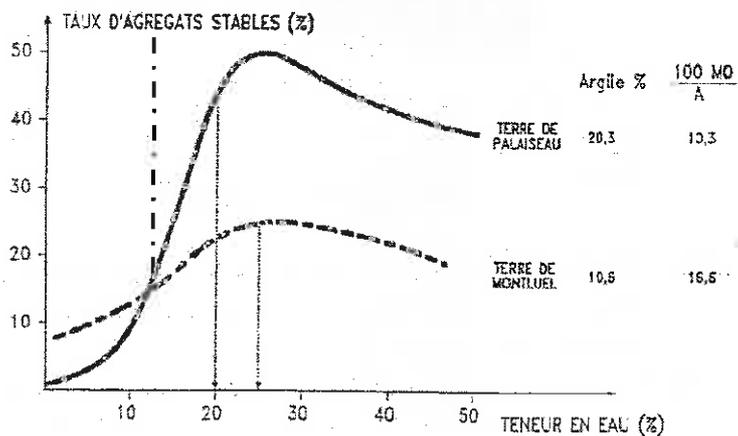


Fig. 5 : Stabilité structurale de différents sols (d'après HENIN, GRAS, MONNIER - 1969)

Influence de la teneur en eau des fragments sur la sensibilité à la désagrégation des deux types de terre



Source : Boiffin 1984

Love is old, love is new

Conclusion sur les mécanismes existants....

- La microfissuration : alternances gonflement – retrait (Cf. régénération des sols)
- La dispersion (SCHLOESING -1885)
- La désagrégation par éclatement dans le cas d'agrégats secs (HENIN)
- La désagrégation sans éclatement : arrachement / chocs de gouttes de pluie (comportement terres humides)

pas étudié

V- Erosion des sols et stabilité structurale

- A. Phénomène de battance, ruissellement et érosion
 1. Les facteurs intervenant dans l'érosion
 2. Mécanismes des différents types d'érosion
 3. Le rôle de l'agriculture dans le développement de l'érosion
- B. **Etude de la propriété du sol : la stabilité structurale**
 1. Définition
 2. Mécanismes de la stabilité structurale
 3. Les facteurs de la stabilité
 4. Méthodes d'évaluation de la stabilité Structurale
 5. Méthodes basées sur le suivi de l'évolution structurale en condition contrôlée
- C. Lutte contre l'érosion

Méthode Le Bissonais – Le Souder

- Méthode tenant compte de trois situations de désagrégation :
 - Traitement 1 : comportement de matériaux secs soumis à une irrigation par submersion ou des pluies intenses (éclatement + action mécanique)
 - Traitement 2 : comportement de matériaux secs ou peu humides soumis à des pluies modérées (éclatement, peu d'action mécanique)
 - Traitement 3 : comportement de matériaux humides, réhumectés préalablement sans provoquer d'éclatement

Conclusions pratiques / Méthode Le Bissonais – Le Souder

MWD en mm	Stabilité	Battance	Ruissellement et érosion diffuse
< 0,4	Très instable	Systématique	Risque important et permanent en toutes conditions topographiques
0,4 – 0,8	Instable	Très fréquente	Risque fréquent en toute situation
0,8 – 1,3	Moyennement stable	Fréquente	Risque variable en fonction des paramètres climatiques et topographiques
1,3 - 2	Stable	Occasionnelle	Risque limité
> 2	Très stable	Très rare	Risque très faible

V- Erosion des sols et stabilité structurale

- A. Phénomène de battance, ruissellement et érosion
 - 1. Les facteurs intervenant dans l'érosion
 - 2. Mécanismes des différents types d'érosion
 - 3. Le rôle de l'agriculture dans le développement de l'érosion

- B. Etude de la propriété du sol : la stabilité structurale
 - 1. Définition
 - 2. Mécanismes de la stabilité structurale
 - 3. Les facteurs de la stabilité
 - 4. Méthodes d'évaluation de la stabilité Structurale
 - 5. Méthodes basées sur le suivi de l'évolution structurale en condition contrôlée

- C. **Lutte contre l'érosion**

Moyens de lutte sur le plan agronomique : action sur les surfaces exposées

- Protéger la surface du sol :
 - Abri, couvert naturel, couvert artificiel...
- Augmenter la résistance de la surface du sol :
 - Amendements, conditionneurs de sol, matière organique, techniques agricoles (*sans labourer*)
- Accroître l'infiltration et diminuer les écoulements :
 - Infiltration instantanée, retardée, *enherbement...*

**Moyens de lutte sur le plan agronomique :
action sur les écoulements**

- Limiter les concentrations :
 - Parcellaire
- Etaler les écoulements concentrés
- Maîtriser les écoulements et leurs vitesse et énergies (*rigoles*)
- Augmenter la résistance du lit et de ses abords
- Maîtriser la sédimentation
- Artificialiser les écoulements

Thème géologie mar, topographies différentes

A) Climat méditerranéen dégradé (climat médit. remonte de 3Km/an)

(Il y a 25000 ans c'était déjà méd., mais ça a refroidi)

→ Climat tempéré, T° moy. à douce (les m-o vivent et humifient)

→ La lame d'eau drainante (= eau efficace) eau pluie - eau évaporée = 150mm c'est faible mais pas négligeable.

Drainage "doux" des éléments minéraux

→ ~~forte~~ évolution : brunification, ~~acidolyse~~ acidification (par les carbonates) progressive

→ d'un point de vue géologique: on est sur ... de la Dombes

→ d'un point de vue topo.: on est sur le bord d'un plateau, qui est une langue glaciaire qui date du ("Ritz"?) (25 à 30 mille ans)

~~limons datant~~. On est encerclés de toutes Moréniques (constitués de cailloux et sables)

Il y a une histoire de lac disparu qui a déposé des ~~lacs~~ la vase

Le vent apporte 1mm de lœss par

Les limons datant du Ritz sont agés, en fin d'évolut°. Ils sont lessivés,

... et ...

Des limons plus récents se sont déposés sur 2 à 3m d'épaisseur

→ Retour à la topographie: là on est pas encore sur le bord du plateau donc pas trop de "décapage", érosion par la pluie.

→ en info & géolo que ds les cartes, l'et, vent

Une observation: en pédologie on utilise une tarière (jusqu'à 1m20 de profondeur)
 vaine àissette? un boteau

Horizon	Texture	% de l.	Couleur	Hydrat.	HL
A1	un peu + fonce/gros ac racines	10 à 20% argile	brun foncé	X	peu compact
A2	taches blanches	"	brun foncé	X	très compact (sec)
A3	taches rouilles (calcaire dans des trous de macro/org)	environ pareil ac un tout petit peu + d'argile	brun jaunâtre	+	peu compact
O	cailloux (calcaire + taches rouilles) taches blanches	20 à 30% argiles (galets glaciaires) roches métamorphiques texture granoblastique bcp silice	brun rougeâtre	+	peu compact

⇒ sol limoneux

1m20 de carte

Cylindre → + de 20% argile pli au 1/3 → 20% argile

La géo. détermine les cations, et pleins d'autres trucs à topographie

vers méditerranée → sols rouges car métaux, lame d'eau drainante quasi nulle en montage → podzolisation, complexolyse, humif. lente, bcp d'acides qui mineralise

"du est vrai au trou de vers de terre près"

structure	Porosité inter	intra	Vers	Prof. max racines
A1 agrégats polyédriques	5	2/cm ² → moy	bcp	
A2 " "		6 cm ² /cm ² → élevée	"	jusqu'à 1m 20
A3 " "		→ très élevée	"	ou A3?
A4 " "		"	"	

7 plantes
 → soja
 pas destructeur
 pas de battance
 → sol profond
 RU forte = 240 mm ⇒ bon sol
 pas trop d'argile

B	Texture	Élémt gran	Type	Couleur	Hydro	Taches HCl	compact
0							
B1	15% argil. limoneux	20/40?	hémisph. fine	brun foncé	pas	X	Non compact
30	gravier limoneux?	60 à 800	min. etc	brun	de	X	Non compact
75	sable limoneux			brun-rouge	très	X	Non peu compact
B3							
80							

→ Fragile car pas assez d'argile?

structure	Porosité inter / intra	Vers
B1 → massifs peu d'agrégats distincts	Non	Nulle (trass nt a cause des nodules) ou peu abondants
B2 → agrégats polyédriques peu net	non	impert
B3 → "	non	très impertant

Racines jusqu'à 60 cm peu nombreuses dans le 2^e horizon

RU = faible à cause des cailloux

RU = 40 mm

↳ Sol sensible au bass^{nt} et au sel

B3 rouge pâle sol

structure → grumeleuse : complex argile hémique. se agrégat

C / à proximité → rivière
15 à 20 m sous A et B

par des cailloux de moraine
→ zone basse d'accumulation des limons et
aussi de sable
Racines jusqu'au 3^e horizon

Sol jeune d'environ 1000 ans
Stagnat^o d'eau → hydromorphie

	Texture	Éléments grés	Color	Hygro	Pes	Structure	Porosité inter-intra	2Cl
C ₁	limoneuse	X	Brun très foncé	X	Peu compact	Groneleuse	X très importante	X
C ₂	"	X	Brun	X	assez " (sec)	massive	X peu	X
C ₃	"	X	Brun + clair	≈ 30% de couleur brun ≈ 30% tâches grises ≈ 30% tâches noir	peu "	"	X importante à très importante	X
C ₄	"	X	brun/ gris	Clay ↳ 10 à 20% de tâches grises	"	"	X très importante	X

→ peut présenter des ph de portance
hygro à 50 cm

RU ≈ 160 mm

quelques plantes hygrophiles

La structure massive témoigne des sols jeunes

Présence d'eau par capillarité (eau en profondeur + sol capillaire)

$$\begin{matrix} \textcircled{5} \\ + \textcircled{3} \\ - 3\sqrt{2} \\ + 2\sqrt{2} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} C = +5 - 3\sqrt{2} \\ D = +3 + 2\sqrt{2} \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} -(D) &= +(-1) \times (3 + 2\sqrt{2}) \\ &= +[-3 - 2\sqrt{2}] \\ &= -3 - 2\sqrt{2} \end{aligned}$$

$$C - D = C - (D) = 5 - 3\sqrt{2} - (3 + 2\sqrt{2}) = 5 - 3\sqrt{2} - 3 - 2\sqrt{2}$$

$$\begin{aligned} \sqrt{2}(5 - 3\sqrt{2} + 2) \\ C + D &= 5 + 3 + 2\sqrt{2} - 3\sqrt{2} \\ &= 8 + \sqrt{2}(2 - 3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \pm \Delta S - &= \\ (S -) \pm \Delta &= \\ (0 - 2 + 5) \pm \Delta &= \\ (\sqrt{2} - 2 + 5) \pm \Delta &= \\ \textcircled{\pm \Delta} \times \textcircled{\pm \Delta S} + \textcircled{\pm \Delta} + \textcircled{\pm \Delta} \times \textcircled{\pm \Delta} &= \end{aligned}$$

APREMI: On est à l'Est du massif central
On a les Monts du Beaujolais entre les Monts du Lyon
au Sud et les Monts au Nord.

euh...[...]

Sol1: Matrice sableuse, âge: 20 à 25 000 ans

le calcaire a été lavé, l'argile s'est tassé au fond

↳ l'eau s'écoule mal et on a des traces d'hygroscopie
(taches rouges et grises)

couche inférieure → texture argile limoneuse

sol profond mais qui cède l'excès d'eau → pb de portance

Sol2: Argile calcaire → l'argile n'est pas lessivée car il est associé
au calcaire

(test HCl positif) → sol jeune

coef. de minéralisation très bas

RU faible, heureusement que la vigne envoie profond ses racines,
Terrains stables à faible risque d'érosion

Sol4: roche la + dure, andésite métamorphosée par la mise en place
granite d'Écardena. Métamorphisme de contact

Méta-andésite

Amphibole hornblende + albite sodique + épidote

TP Propriétés du sol

I Caractéristiques des terres observées à la loupe binoculaire

° échantillon n°20, classe SA (12%A, 16%L, 72%S) 2,2% MO

observation: la particule est vite attirée par l'eau, elle s'hydrate mais n'éclate pas. A la moindre pression, elle est dissoute.

NB: - la forte teneur en calcium stabilise le sol $\rightarrow \uparrow$ la cohésion

- dans un sol sableux, 2,2% de MO est une teneur élevée $\rightarrow \downarrow$ de la pression interne.

\Rightarrow sol stable grâce au Ca^{2+} (et à la MO)

$C > P$, pas d'éclatement.

° échantillon n°3, classe LSA (10%A, 73%L, 17%S, 1,8% MO)

observation: même résultat que précédemment à l'eau

- ° échantillon A1:
 - eau: pas d'éclatement
 - alcool: pas d'éclatement
 - toluène: pas d'éclatement

TERRAINS de St-Lager / Odenas

② Nord de Charentay
Ancienne carrière
Calcaire blanchâtre

bruns sols
calcaire

→ fissures en diaclase

① Vers Briante
Cône de déjection
et épandage anciens
indifférenciés à
matrice argileuse
de Beaujolais et
du Mâconnais

→ terrain polygénique
avec plein de trous

sols lessivés
limons sableux
hydromorphes

③ Vers les Jacquets
Granite porphyroïde à
biotite, roche claire de
grain moy. ou très fraîche

→ granite en cours
d'altération
et d'hydrolyse

bruns
acides
sur
granite

④ Vers Mont Breuille
Formation de diorite et
roches associées

→ Métalaves
laves métamorphisées
à dominante acide
pâte microlitique

sols bruns
sableux
collisionnels

$$3\% = \frac{3}{100} = \frac{30}{1000} < \frac{50}{1000}$$

25% CaCO₃

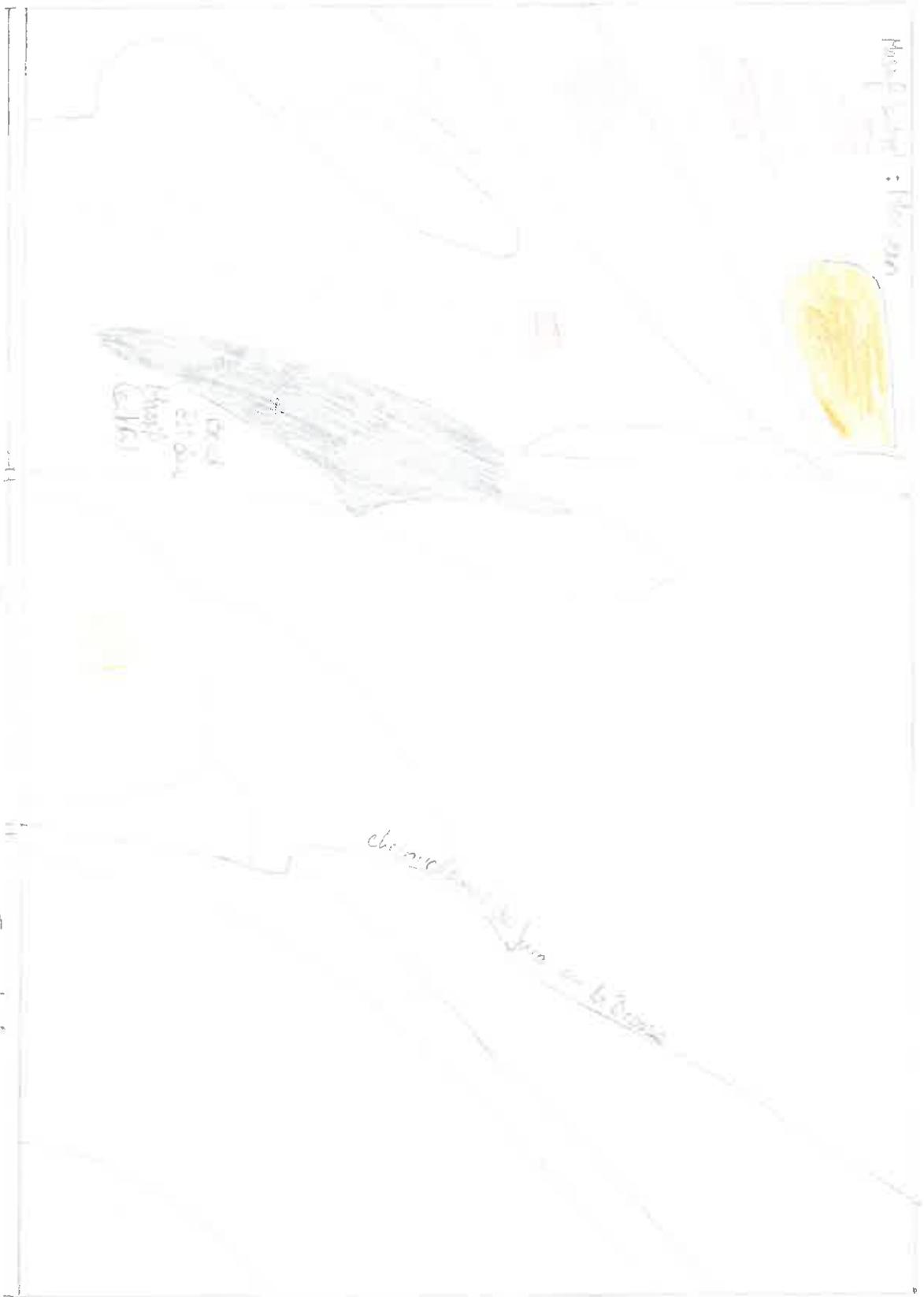
50%

est I_b > 2,2 ?

oui
IAE = 2

non
IAE = 3

porphyroïdes = certains cristaux
plus gros que d'autres



■ Lacs alluvionaux

□ Formations du remplissage bressan

■ Formations alluviales et glaciaires

□ Formations du jurassique

■ Formations Trias

■ Granites

□ Formations quaternaire

□ Formations secondaires

■ Formations primaires

Examen 2012 : Pouvoir épurateur du sol

Documents personnels non autorisés

1 document fourni (annexe 1)

Durée : 1 heure

La précision et la concision des réponses seront évaluées.

Questions sur le déroulement du TD (8 points)

A – Sortie sur le terrain (4 points)

- 1) Quelles sont les premières observations à réaliser sur le terrain dans le cadre d'une étude sur le pouvoir épurateur des sols ?
- (route mottée, traces d'activités, signes faibles, présence de végétation, teneur en argile, cohésion des agrégats, mollé)*

Décrivez comment vous pourriez collecter les informations utiles sur le terrain dans un ordre logique et chronologique d'observation.

B - Analyse de terre (3 points)

- 1) Pourquoi faut-il connaître le pH du sol pour évaluer le pouvoir épurateur d'un sol ? Quelles sont les gammes de pH de sol les plus désavantageuses vis-à-vis de la capacité d'épuration du sol ? (2 points)
- activité org, pH réactions chimiques*
6 < pH bien < 8
org

C - Stabilité structurale (3 points)

- 1) Quelle indication fournit l'étude de la stabilité structurale du sol pour évaluer le pouvoir épurateur d'un sol? (2 points)
- I_b ≤ 2,2*
stable | pas stable

Questions de synthèse (12 points)

- 1) Expliquez les différences et/ou similitudes de RU observées ? (3 points)
- 2) Les sols ont-ils un bon pouvoir de minéralisation et d'infiltration ? Si non, quel sol ? et pourquoi ? – Si oui, pourquoi ? (3 points)
- 3) Quel sol présente le meilleur pouvoir épurateur ? Expliquez pourquoi en hiérarchisant les facteurs explicatifs (4 points)
- 4) Que peut-on faire pour améliorer le pouvoir épurateur du sol B ? (1 point)
- 5) Quand doit-on épandre de la matière organique sur le sol C ? (1 point)

Profil A											
Emplacement	Côtière de Dombes Topographie : sol en rupture de pente.										
Cailloux	Aucun jusqu'à 90cm. En dessous de 90 cm : 20 à 30% de cailloux										
Hydromorphie	Aucune hydromorphie.										
Calcul de la RU	Calcul arrêté à 120 cm (niveau où s'arrêtent les racines) RU =151 mm (avec HpF4,2 = Hcc/2)										
Stabilité structurale de la couche de sol superficielle	Stable										
pH et texture	IAE = 3										
Schéma du profil de sol	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">0 cm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Horizon 1 30 cm</td> <td>Texture limoneuse RU =39 mm Aucune hydromorphie ni tassement Cailloux : 0% 3% MO Racines</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Horizon 2 65 cm</td> <td>Texture limoneuse RU = 51 mm Aucune hydromorphie Cailloux : 0% 0% MO Racines</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Horizon 3 90 cm</td> <td>Texture limoneuse RU = 33 mm Aucune hydromorphie Cailloux : 0% 0% MO Racines</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Horizon 4 > À 90 cm</td> <td>Texture limoneuse RU : 28 mm Aucune hydromorphie récente – trace d'hydromorphie 'fossile' Cailloux : 30% 0% MO Racines : jusqu'à 120 cm</td> </tr> </tbody> </table>	0 cm		Horizon 1 30 cm	Texture limoneuse RU =39 mm Aucune hydromorphie ni tassement Cailloux : 0% 3% MO Racines	Horizon 2 65 cm	Texture limoneuse RU = 51 mm Aucune hydromorphie Cailloux : 0% 0% MO Racines	Horizon 3 90 cm	Texture limoneuse RU = 33 mm Aucune hydromorphie Cailloux : 0% 0% MO Racines	Horizon 4 > À 90 cm	Texture limoneuse RU : 28 mm Aucune hydromorphie récente – trace d'hydromorphie 'fossile' Cailloux : 30% 0% MO Racines : jusqu'à 120 cm
0 cm											
Horizon 1 30 cm	Texture limoneuse RU =39 mm Aucune hydromorphie ni tassement Cailloux : 0% 3% MO Racines										
Horizon 2 65 cm	Texture limoneuse RU = 51 mm Aucune hydromorphie Cailloux : 0% 0% MO Racines										
Horizon 3 90 cm	Texture limoneuse RU = 33 mm Aucune hydromorphie Cailloux : 0% 0% MO Racines										
Horizon 4 > À 90 cm	Texture limoneuse RU : 28 mm Aucune hydromorphie récente – trace d'hydromorphie 'fossile' Cailloux : 30% 0% MO Racines : jusqu'à 120 cm										

Profil B												
Emplacement	Côtière de Dombes Topographie : sol de butte											
Cailloux	20% l'horizon 1 40% horizon 2 50% horizon 3											
Hydromorphie	Aucune											
Calcul de la RU	Calcul arrêté à 80 cm (niveau où s'arrêtent les racines) RU = 69 mm (avec $H_p F_{4,2} = H_{cc}/2$)											
Stabilité structurale de la couche de sol superficielle	Instable											
pH et texture	IAE = 2											
Schéma du profil de sol	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">0 cm</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: top;">Texture = limoneux-sableux RU = 29 mm Aucune hydromorphie et 20 % de tassement Cailloux : 20% 3% MO Racines</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Horizon 1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">30 cm</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: top;">Texture = limoneux-sableux RU = 40 mm Aucune hydromorphie Cailloux : 40% 0% MO Racines jusqu'à 80 cm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Horizon 2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">80 cm</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: top;">Texture : limoneux-sableux-argileux Aucune hydromorphie Cailloux : 50% 0% MO Aucune racine</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Horizon 3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">120 cm</td> <td></td> </tr> </table>	0 cm	Texture = limoneux-sableux RU = 29 mm Aucune hydromorphie et 20 % de tassement Cailloux : 20% 3% MO Racines	Horizon 1	30 cm	Texture = limoneux-sableux RU = 40 mm Aucune hydromorphie Cailloux : 40% 0% MO Racines jusqu'à 80 cm	Horizon 2	80 cm	Texture : limoneux-sableux-argileux Aucune hydromorphie Cailloux : 50% 0% MO Aucune racine	Horizon 3	120 cm	
	0 cm	Texture = limoneux-sableux RU = 29 mm Aucune hydromorphie et 20 % de tassement Cailloux : 20% 3% MO Racines										
	Horizon 1											
	30 cm	Texture = limoneux-sableux RU = 40 mm Aucune hydromorphie Cailloux : 40% 0% MO Racines jusqu'à 80 cm										
Horizon 2												
80 cm	Texture : limoneux-sableux-argileux Aucune hydromorphie Cailloux : 50% 0% MO Aucune racine											
Horizon 3												
120 cm												
Profil C												

Profil C									
Emplacement	Côtière de Dombes Topographie : prairie bordant une rivière, zone de bas fond								
Cailloux	Seulement quelques uns en profondeur (60 à 170 cm)								
Hydromorphie	A partir de 30 cm de profondeur : hydromorphie temporaire A partir de 90 cm de profondeur : hydromorphie permanente								
Calcul de la RU	Calcul arrêté à 30 cm en cultures d'hiver RU1 = 44 mm Calcul arrêté à 80 cm pour les prairies et cultures de printemps RU2 = 113 mm								
Stabilité structurale de la couche de sol superficielle	Stable								
pH et texture	IAE (indice d'aptitude à l'épandage) = 3								
Schéma du profil de sol	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">0 cm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Horizon 1 30 cm</td> <td>Texture limoneuse RU = 45 mm Aucune hydromorphie ni tassement Cailloux : 0% 4% MO Racines : oui</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Horizon 2 90 cm</td> <td>Texture limoneuse RU = 69 mm Hydromorphie : tâches rouilles et grises diffuses (pseudo gley). Cailloux : 0% 2% MO Racines : jusqu'à 80 cm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Horizon 3 + de 170 cm</td> <td>Texture limoneuse Hydromorphie : tâches rouilles mais prépondérance de tâches grises : engorgement permanent (gley). Cailloux : 0% 0% MO Aucune racine</td> </tr> </table>	0 cm		Horizon 1 30 cm	Texture limoneuse RU = 45 mm Aucune hydromorphie ni tassement Cailloux : 0% 4% MO Racines : oui	Horizon 2 90 cm	Texture limoneuse RU = 69 mm Hydromorphie : tâches rouilles et grises diffuses (pseudo gley). Cailloux : 0% 2% MO Racines : jusqu'à 80 cm	Horizon 3 + de 170 cm	Texture limoneuse Hydromorphie : tâches rouilles mais prépondérance de tâches grises : engorgement permanent (gley). Cailloux : 0% 0% MO Aucune racine
0 cm									
Horizon 1 30 cm	Texture limoneuse RU = 45 mm Aucune hydromorphie ni tassement Cailloux : 0% 4% MO Racines : oui								
Horizon 2 90 cm	Texture limoneuse RU = 69 mm Hydromorphie : tâches rouilles et grises diffuses (pseudo gley). Cailloux : 0% 2% MO Racines : jusqu'à 80 cm								
Horizon 3 + de 170 cm	Texture limoneuse Hydromorphie : tâches rouilles mais prépondérance de tâches grises : engorgement permanent (gley). Cailloux : 0% 0% MO Aucune racine								

Résultats 'expert'

Profil A	CaCO ₃ (%)	CaCO ₃ actif (%)	pH eau	pH KCL	Argiles (%)	Limons fins (%)	Limons grossiers (%)	Sables fins (%)	Sables grossiers (%)	MO (%)
Horizon 1 : 0-30 cm	1	0	6,8	6,5	25	20	45	5	5	3
Horizon 2 : 30-65 cm	1	0	6,8	6,2	25	23	43	7	3	0
Horizon 3 : 65 à 90 cm	2	0	7	6,8	18	25	45	9	3	0
Horizon 4 : > à 90 cm	2	0	7	6,8	18	25	45	9	3	0

Résultats 'expert'

Profil B	CaCO ₃ (%)	CaCO ₃ actif (%)	pH eau	pH KCL	Argiles (%)	Limons fins (%)	Limons grossiers (%)	Sables fins (%)	Sables grossiers (%)	MO (%)
Horizon 1 : 0-30 cm	0	0	6,8	6,1	16	25	30	20	9	3
Horizon 2 : 30-80 cm	0	0	6,8	6,2	20	22	23	25	10	0
Horizon 3 : > 80 cm	0	0	6,7	5,5	25	20	20	15	20	0

Résultats 'expert'

Profil C	CaCO ₃ (%)	CaCO ₃ actif (%)	pH eau	pH KCL	Argiles (%)	Limons fins (%)	Limons grossiers (%)	Sables fins (%)	Sables grossiers (%)	MO (%)
Horizon 1 : 0-30 cm	2	0	6,8	6,5	15	20	37	15	7	4
Horizon 2 : 30-90 cm	1	0	6,8	6,5	15	20	37	15	7	2
Horizon 3 : >90 cm	0	0	6,8	6,5	15	20	37	15	7	0