

Introduction : les propriétés physico-chimiques du sol

Pourquoi étudier le comportement du sol :

Pour prévenir les dégradations du sol dues à :

- la déforestation (30%)
- le surpâturage (35%)
- la mauvaise gestion des terres agricoles (27%) => Objectif du cours
- l'industrie et l'urbanisation (1%)

Les sols stables sont ceux directement non cultivés (toundra, déserts). Dès que l'on met en culture, il y a directement la dégradation des sols.

Les types de dégradations des sols dans le monde :

- l'érosion hydrique (56%) (le plus courant en France)
- l'érosion éolienne (28%)
- la dégradation chimique (12%) (acidification, stockage des métaux polluants)
- la dégradation physique (4%) => tassement (surpâturage, outils & machines agricoles), désertification

L'érosion hydrique se fait d'abord par la croûte de battance, mais certaines pratiques peuvent préserver les sols (sol plutôt baysique) ou complètement les détruire (engrais chimiques)

La dégradation a un coût évalué à 38 milliards € /an (CE, 2006)

Mais cette dégradation s'accélère donc le coût est probablement supérieur.

Ravinement, pbs de levée des plantes.

La dégradation pose des problèmes agronomiques, environnementaux, économiques ...

Le sol se forme de l'ordre de 1cm/siècle.

Bref rappel sur les constituants des sols

3 phases : solide liquide, gazeuse

Classement des particules :

- minéralogique : quartz, minéraux silicatés, minéraux carbonatés
- granulométrie

Les sesquioxydes : bonnes propriétés
Les sels : le carbonate de calcium : CaCO_3

Constituants organiques :
Sols composé de 2-4% de MO.

Les types d'argile (minéralogiques) : montmorillonites & smectite (éponges), kaolinite.

Acides humiques : extrémités en H ou O : capacité à se charger et être plus ou moins négatif (quand les H^+ partent)

I Propriétés chimiques du sol, acidification des sols

A La capacité d'échange du sol

1 Le complexe d'échange - argilo-humique - adsorbant

Capacité du sol à retenir les éléments minéraux

Le CAH contient aussi d'autres élément, ce n'est pas seulement $\text{A}^- \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} \leftrightarrow \text{MO}^-$

Il peut y avoir des oxydes qui peuvent faire ce lien (avoir deux charges positives)

Il y aussi des liaisons biologiques :

- les filaments de champignon sont capable de lier entre eux, les argile et les MO
- le mucus des bactéries va permettre ces liaisons

Un filament de champignon est un hyphes.

Cette liaison (A^- et Mo^-) donne un gros complexe : le complexe adsorbant

Il y a un échange permanent avec le solution du sol, il s'agit d'un échange rapide et réversible.

Il y a cependant un effet limité à cause du nombre de charges négatives sur le complexe adsorbant.

Complexe adsorbant :

- charges permanentes dues à des substitutions isomorphiques (compensation par cations hydratés)
- Charges variables dues à des groupes fonctionnels

Dans les feuillets, il y a des charges permanentes et autour des feuillets, il y a des charges variables.

Les H^+ forment des liaisons covalentes avec le feuillet, il faut donc une base pour éliminer ces H^+

La capacité du sol à absorber les ions dépend du pH, du type d'argile.

Les principaux ions du sol sont :

- cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (les 4 principaux cations retenus, alcalin & alcalino-terreux), NH_4^+ (nitrite)
- anions : Cl^- , NO_3^- , HPO_4^{2-} (mais va se lier avec les métaux lourds), peu retenus par le sol

Les nitrates ne sont pas retenus par le complexe.

Les MO ont un rôle très important, il est facile d'en rajouter dans le sol (amendements organiques) ou d'utiliser celle qu'il y a.

2 La capacité d'échange cationique : CEC

CEC : nb de cations que le complexe peut récupérer et échanger (seulement)

CEC Metson : C'est la quantité d'ion NH_4^+ qu'une masse de terre peut retenir à l'état échangé quand le $\text{pH} = 7$: au maximum de la capacité d'adsorption du sol, on ne regarde pas le pH.

3 Les échanges ioniques

2 solutions : interne (près du complexe, solide) & externe (éloigné du complexe)

Les plantes, pour se nourrir, vont récupérer dans la solution externe.

Les ions dans la solutions externes sont capable de revenir dans la solution interne quand la plante n'en a plus besoin.

Il y a diffusion des cations entre les 2 solutions

Entre les deux solutions, il y a exactement la même proportion des cations entre les deux solutions (interne & externe)

Les échanges sont automatiques, rapides et réversibles.

Dès que la proportion change dans une des deux solutions, elle change dans l'autre solution.

Il y a la loi de DONNAN

Les engrais enrichis en K^+ ont tendance à décalcifier les sols (le K^+ prends la place de Ca^{2+})

En France, on aime bien avoir 85% de Ca, 10% de Mg et le reste de K et P

B Le statut acido-basique (SAB) et acidification des sols

1 Acidité et état du sol

La minéralisation entraîne la formation de nitrites puis nitrates et donc une acidification des sols (naturel)

Le processus de vie entraîne cette acidification

On accélère ce processus lorsque l'on travaille le sol (on aère le sol) et donc il y a une accélération ce processus d'acidification.

Les engrais augmentent la production de H^+ .

On va pouvoir tamponner cet effet quand le H^+ est consommé.

En phase anaérobie, on passe en phase de dénitrification ou de réduction.

Dans les endroits saturés en eau, il n'y a pas d'oxygène.

les effets tampon :

Le $CaCO_3$ (carbonate de calcium) : ces sols ont un bon pouvoir tampon car ils sont capable de consommer les H^+

A un pH bas, on a une altération des minéraux. Lors que ses aluminosilicates de désagrègent, c'est **phytotoxique** pour le sol.

Le Complexe permet aussi une rétention des H^+ qui se fixent à la surface.

La MO permet donc de tamponner l'acidité

pH et état du sol

- Décarbonatation :
Réserve de calcaire et H^+ qui consomme le $CaCO_3$
Lorsque le Ca^{2+} est lessivé, il entraîne des anions (nitrate) en lessivage
- Décalcification :
Le H^+ va venir se fixer sur le complexe adsorbant Baisse de la CEC (bcp de Ca) et lessivation du Ca^{2+} et Mg^{2+} (qui étaient en position échangeable)
Perte de cation du sol => effet tampon de la MO.
- Acidification et aluminisation :
Nouvel élément : aluminium
Complexe saturé en Al et H^+ , le pH baisse
Sol dégradé et détérioré
- Chaulage et recalcification
 CaO : chaux vive
 $Ca(OH)_2$: chaux éteinte
Base très forte dans le sol et est capable de récupérer les H^+ du complexe et le Ca^{2+} revient sur le complexe et la solution => on recalcifie le sol.
On peut aussi apporter de la magnésie (MgO)
 $CaCO_3$ moins efficace que la chaux pour remonter le pH, mais plutôt entretient du sol (pour ne pas faire baisser le pH)

2 Mesure du SAB

pHeau : pH des protons de la solution du sol

pHKCl : pH des H^+ dans la solution du sol + ceux du complexe ($pH = \log(H+sol + H+cplx)$) => acidité de réserve

pHeau > pHKCl : toujours

Si $pHeau - pHKCl > 2$ => **chaulage**

pH hiver > pH été : dilution des H^+ par l'eau, en hiver, moins d'activité biologique donc moins de production de H^+ .

3 Acidification des sols, chaulage

pH et capacité d'échange en cations du sol

Naturellement, le sol s'acidifie.

Le fumier remonte le pH sur le long terme (au bout de 70 ans).

La chaux remonte plus rapidement le pH au départ.

Fumier = "acide humique" = "acide fulvique", il y a une légère baisse puis une remontée du pH. On augmente les effets tampon du sol par la matière organique.

La minéralisation se fait à partir de pH 5.

Le fumier augmente le complexe et donc permet d'augmenter la CEC.

Dans un sol qui s'est acidifié, le complexe aurait tendance à se casser (les Ca^{2+} entre A^- et MO se cassent)

C Conditions d'oxydo-réduction

1 Définition

La forme des éléments dans le sol dépend du pH et du potentiel rédox.

On ne fait pas de mesure de potentiel rédox en routine. C'est assez variable à deux endroits proches.

Fe^{2+} (gris) et Fe^{3+} (rouge) sont des indicateurs du potentiel rédox.

II Les éléments minéraux

Majeurs :

- N, P, K puis Ca, Mg et S => ne doit pas être des facteurs limitants
- Teneur végétaux > 100mg/kg

Mineurs :

- Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo, Cl, Na, Ni et Co
- Teneur végétaux < 100mg/kg

Cycle de l'azote :

La plante ne récupère l'azote que sous forme de nitrate.

Le stock d'azote dans le sol se fait via la MO.

Le nitrate n'est pas retenu.

Composés organiques :

- Acides carboxyliques, a.a, sucres simples
- Substances de croissance
- Solvants, pesticides, PCB, HAP (toxiques)

Le Cu et le Zn proviennent des minéraux donnés aux animaux.

III Tassement et régénération du sol

A Phénomène de tassement des sols

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

Comment les particules s'agencent entre elles ? La porosité est le négatif du tassement

La porosité retient l'eau et la macroporosité permet l'infiltration = il faut donc des deux types.

On aura donc 2 types de tassements (diminution des vides entre les particules)

On peut avoir un tassement à l'échelle structurale et un tassement à l'échelle texturale

Structurale : diminution de la porosité structurale => obstacle à l'infiltration de l'eau, tassement réversible.

Texturale : on réaménage les particules dans les agrégats. **N'est pas réversible** à l'échelle humaine.

La notion de réversibilité est sur une/quelques année(s)

2 Actions dues de l'Homme

Semelle de labour : zone lissée par le bas des charrues

Tassement concentré continue, obstacle à l'enracinement et à l'eau.

Si le sol est humide et bcp de poids, tassement vertical direct.

Quand on dit ornière, il n'y a pas toujours de tassement

Les sols sont les plus sensibles quand ils sont très humides

À l'automne : récolte des cultures de printemps

Maïs, betterave, pomme de terre.

Chaque opération culturale peut tasser si le sol est humide

Massacre du sol à cause des piétinements des vaches/chevaux en Australie

Conséquence agronomiques : gêne l'enracinement

La luzerne peut restructurer les sols mais se limite si y'a trop de tassement

Conséquence environnementales

Réduction de la porosité : modification des conditions sur l'eau, la température : **changement cycle de N,C**; la vie du sol : dépollution, stockage du C, émission de gazs : CH₄, N₂O

Résistance : augmentation de l'énergie nécessaire au travail du sol : émission de CO₂

Il y a 20kg d'azote qui se pose sur le sol chaque année.

H₂O, CO₂ (1), NH₄ (20-30), N₂O (320) (protoxyde d'azote)

Le tassement est responsable du dégagement du N₂O et du CH₄ ainsi que moins d'O₂ dans le sol

Les différents outils et méthodes au champ :

- résistance à la pénétration
- la densité apparente : $d_a = \text{Masse de sol sec solide} / (V_{\text{total}} + V_{\text{porosité}})$
: lors du tassement, d_a augmente quand le volume diminue
- le profil cultural

Méthode des cylindres : densité apparente

Un sol à 1.7-1.8 g/cm³ est un sol très tassé, le système racinaire ne passe plus

Profil cultural : impact des outils et des roues sur la structure du sol => diagnostic et conseil aux agris.

On peut connaître le tassement/porosité et l'action de l'agri => conseil

On ne s'intéresse que sur du tassement structural

B Propriété du sol : sensibilité au tassement

1 Le comportement mécanique du sol

La cohésion : c'est la résistance à la rupture des liaisons existant entre les éléments structurau, la cohésion augmente si l'humidité diminue => Plus il ya d'agrégats (A, Mo-, FeO), plus le sol est résistant (forte liaison)

État cohérent, terre sèche (aucune rupture et écrasement, mais aucune possibilité de travailler le sol); État plastique, terre humide (peu sensible au tassement, petite fenêtre), État liquide, terre très humide

Jours disponible de terre plastique : moment où il faut passer le sol
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)

2 Facteurs influençant le tassement

Le sol sableux est plus sensible que le sol limoneux est plus sensible au tassement que le sol argileux

Le sol argileux a tendance à retenir l'eau donc il y a moins de jours disponibles de travail (fenêtre très courte)

Le sol sableux ne retient moins l'eau donc il y a plus de jours disponibles, malgré que la cohésion soit plus faible

Les facteurs influençant le tassement :

- Argile
- Matière organique

C Régénération

1 Naturelle des sols sous l'action du climat

Gel : porosité fissurale (éclatement des caillots dans le sol)

Gonflement/retrait : mécanisme lié à des phases d'humectation/dessiccation

La perte d'eau du sol correspond à la perte de volume

$V_t = V_{solide} + V_{liquide} + V_{gaz}$ ($V_{liq} + V_{gaz} = V_{porosité}$)

Après avoir fait dessécher l'échantillon, on rajoute l'eau, il y a plus de volume

L'eau a fait augmenter la distance entre les feuillets, il y a donc plus de distance et plus d'espace pour l'eau

On gagne de la porosité par le phénomène de gonflement/retrait des argiles (smectites, les kaolinites n'ont pas d'espace entre elles, il n'y a donc pas de distance)

Fissuration en sol argileux

En été normalement; l'alternance de pluies orages et sec donne ce phénomène de gonflement/retrait

Quand le sol gèle, l'eau sous forme liquide passe solide, autour le sol s'assèche

La journée, l'eau redevient liquide, chaque jour correspond à une journée de humectation => porosité gratuite

Il y a de moins en moins de jours de gel en France, on a donc moins de gonflement/retrait

Activité structurale

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

Ce qu'il faut retenir est le ratio MO / A, si > 7 : faible activité structurale, si < 7 : activité structurale en baisse => seul impact négatif de la MO

La MO empêche l'eau de s'accrocher sur le complexe car les liaisons sont prises par la MO.

2 Vie du sol

Organisme vivant : plantes

On essaie de refaire de la porosité naturelle, il n'y a aucune plante qui n'est capable de décompacter le sol très tassé.

Il faut de la porosité préexistante et la plante peut se développer (croissance du Ø de la racine) et crée donc de la porosité

La micro-fissuration existe grâce à la composition cellulaire de l'extérieur de la racine (lignine qui assèche)

Les ingénieurs du sol : les vers de terre : macroorganismes (visibles à l'oeil)

Les termites, les fourmis,

Vers de terre (animal qui vit dans l'humidité) :

- épigés qui sont à la surface du sol, mangent la MO.
- endogés : créent la porosité et des galeries, ne mangent que la MO du sol (sans prendre celle de la surface)
- anéciques : la nuit, ils viennent récupérer la MO de la surface et la descendent dans le sol, ils font des **turricules** à la surface. Ils font des galeries verticales => voie d'infiltration de l'eau.

Plus on travaille un sol avec peu de couverture, plus il y aura des vers de terres endogés mais très peu d'épigés et d'anéciques.

Si on tasse le sol, on détruit les habitats et donc de la biodiversité.

Il faut 4 ans au VDT pour recréer la structure originelle.

3 Les pratiques pour ne pas tasser ou décompacter

Date d'entrée de la parcelle

Itinéraire technique pour le travail du sol : réduire le nb de passages.

Pneu basse pression

Décompactage : si il ya le tassement à 30cm, il faut descendre la dent à 45 cm

V Erosion des sols et stabilité

A Phénomène de battance, ruissellement et érosion

On ne parle que de l'eau principalement

Erosion : perte sèche de sol

Ruissellement : lame d'eau qui passe sur le sol

1 Les facteurs intervenant dans l'érosion

Durée (nb de jours ou d'heures qu'il pleut, va jouer sur la quantité) et intensité (crachin, orage) d'une pluie.

Il faut que l'eau s'infiltre dans le sol, mais si elle ne s'infiltre pas, elle sera en excès (perméabilité du sol)

Il y a plus de pluies que ce que peut prendre le sol => eau en excès : flaques.
L'eau en excès peut se mettre en mouvement (pente), il y a donc érosion si l'eau va à une certaine vitesse => force vive de l'eau et détache le sol.
Le sol se détachera si le sol est sensible à l'érosion

Même si la pente est faible, on peut avoir de l'érosion

2 Mécanismes de l'érosion

Mécanisme qui baisse la perméabilité du sol : croûte de battance

Croûte structurale + croûte sédimentaire => croûte de battance

3 Rôle de l'agriculture dans le développement des l'érosion

Augmentation de la taille des parcelles et suppression des haies => remembrement
Diminution des surfaces en prairies et extension de culture peu couvrantes (type maïs)

Maïs qui crée bcp d'érosion ou la vigne.

Vignes plantées à des endroits où ça penche : pb d'érosion à cause des AOC.

Pentes très fortes d'éboissées.

Imperméabilisation artificielles par les constructions humaines.

B Étude de la propriété du sol : la stabilité structurale

1 Définition

Stabilité structurale : c'est l'aptitude à résister à l'action dégradante des pluies
/! != activité structurale

2 Mécanismes de la stabilité structurale

Microfissuration, dispersion, déaggrégation par éclatement, désaggrégation sans éclatement

Dispersion : les sols sodiques se désaggrègent en fondant (comme un sucre), les agrégats se dispersent. => lié à la garniture ionique (Ca ou Na)

Désaggrégation par éclatement : on met brutalement de l'eau dessus, l'agrégat éclate.

Désaggrégation sans éclatement : la goutte d'eau frappe le sol et des petites particules fusent sur les côtés.

L'eau, quand il arrive dans l'agrégat, l'air va devenir piégé, et l'air fait exploser l'agrégat.

Stabilité = Cohésion - Pression Interne

Angle de l'eau quand il arrive sur l'agrégat => mouillabilité de la terre.

3 Facteurs de la stabilité

Un agrégat stable est fonction de la teneur en argile.

Les sables et limons sont battants, mais plus il y a d'argile, moins il y aura de battance.

La MO est un petit peu hydrophobe, plus on diminue la pression interne du sol => lutte contre la battance.

C Lutte contre l'érosion

Protéger la surface du sol : couvert végétal (en période automnale : réglementation).

Augmenter la stabilité via la MO et la CaO

Accroître l'infiltration et diminuer l'écoulement : paysages => haies, bosquets (coupe la pente et zone d'infiltration), créer des rigoles, fossés (on crée du ruissellement mais pas d'érosion)