1. **Le sol : c’est quoi ? Observation et fonctionnement**
2. **Introduction :**

Le sol, **épiderme** de la Terre

Le sol est à la fois un **support donc une surface** sur laquelle on peut s’appuyer, mais c’est aussi un **volume** qui constitue un véritable milieu de vie. Le sol est **recouvert par divers éléments naturels** comme des forêts, des champs ou des habitations. L’étude des sols se fait **en profondeur comme en surface** car il y a un véritable lien (= suite logique et naturelle).

**Qu’est-ce que le sol ?**

Le sol est un « **mélange** » de constituants divers. Il correspond à **l’association organisée d’éléments minéraux et organiques**. Il est également **constitué d’air et d’eau**.  
Le sol est un **milieu fragile**. Il **se** **dégrade** **rapidement**. Au niveau juridique, le sol fait partie d’une propriété privée mais il ne faut pas perdre de vue qu’il est considéré comme un **patrimoine collectif**.  
C’est un outil d’une **grande utilité** comme **pour** **l’agriculture** : lieu et facteur de production.  
Actuellement, nous cherchons à **produire** **mieux et moins cher**. Nous nous intéressons beaucoup au **rapport sol/plante** tout en nous préoccupant de produire sans abîmer.

**Les différentes fonctions du sol**

Le sol a **différentes fonctions**. C’est un milieu à gérer. Il a à la fois une **fonction économique** et **environnementale**. Il est considéré comme une **matière première**, parfois comme un **bien foncier**. Le sol est un **milieu vivant** car il représente un habitat pour énormément d’espèces (=**biodiversité**). Il sert également de **réserve importante en eau, en carbone sous forme de matières organiques.**

1. **Formation des sols**

**Les facteurs de formation**

Les sols se forment **à partir de différents vecteurs**. Elle ne peut être différenciée de la géologie car celle-ci conditionne la consistance des sols mais aussi la chimie des sols (compacité et perméabilité). Le **climat** est un **facteur** **important** pour la vie du sol : **température et pluviométrie** vont être les autres facteurs de création d’un sol. La température joue un rôle sur les **réactions chimiques**. Le couple **température + eau** va dissoudre les cations et les amener en profondeur.   
La naissance des sols 🡺 due à une **interaction étroite entre la géologie, la vie et le climat**. Autrement dit, **entre la lithosphère et la biosphère**.   
Le sol est généralement la **1ère couche** soit **environ 2 à 3 mètres**. Il aurait **tendance à s’approfondir**.  
On voit apparaître dans le sol des **horizons** (=niveau dans le sol qui se différencient suite à l’entrainement des cations par l’eau et l’évolution des sols).

Ces horizons vont donner **plusieurs couches** **d’environ 10 à 20 cm**. L’analyse de ces différentes couches va permettre de connaître les **propriétés des sols.**   
**Lame d’eau drainante** : résultante entre ce qui pleut et ce qui s’évapore (=quantité d’eau qui entre dans le sol soit **l’eau efficace**). C’est cette eau efficace qui joue un rôle dans le transfert des cations. Il existe une grande variabilité dans les caractéristiques minérales.   
Si **cailloux** **🡺 Ø stock** **d’eau** Si **argile + limon**= **stock** **d’eau**

**Un ensemble structuré**

Le sol est compliqué, il **varie beaucoup** **selon les régions, la profondeur et le climat**, mais est tout de même **formé en agrégats**.   
**Le 1er facteur** qui fait varier les sols va être **le climat** et ceci indépendamment de la géologie. Le **2ème facteur** est **géologie**. Le **climat, le sol et la géologie sont liés**.   
Le **3ème facteur** est la **topographie** (altitude, reliefs). L’entraînement de l’eau en profondeur va influer sur les types de sol.   
La **dernière influence** provient de la **biologie et de la végétation**.

1. **Organisation des constituants du sol**

**De quoi sont constitués les sols ?**

Le sol est constitué de **3 parties** : **liquide**, **solide** et **gazeuse**. Un **sol équilibré** les contient en **parts équivalentes**.   
Dans la **phase solide**, on trouve des **constituants minéraux et des constituants organiques**. Dans les constituants organiques on trouve des **organismes vivants** (=animaux) et de la **matière organique morte** (=feuilles, animaux, racines en décomposition). Les **sols tourbeux** sont **composés à 100%** de **matière organique morte**. Les **vides dans le sol** correspondent à la **porosité du sol** 🡺 **n'est** **pas** **de la phase solide** (=> de l’air ou de l’eau).   
Le sol a **besoin d’un bon équilibre** **entre la phase solide et la porosité** pour un meilleur développement des racines et de la végétation en général.

**Granulométrie :**

Dans la **phase solide** on observe **des minéraux**. On appelle **granulométrie** la composition minérale d’un sol. C’est aussi le **pourcentage pondéral** des différentes fractions granulométriques (= **argiles, sables, limons**…). En + de cela, on va regarder la **matière organique**. **composition minérale + matière organique 🡺 100%**  
Si **matière organique** **supérieure à 20%** alors on **prend séparément** **le pourcentage des** **argiles, limons et sables**. Le **pourcentage est divisé en 5 fractions** : argile**, limons fins, limons grossiers, sables fins** et **sables grossiers**.   
Quand la **taille des minéraux** **est inférieure à 2µm** alors on va pouvoir observer un déplacement de ces minéraux sur de très longues distances. Les limons des bassins parisiens viennent de la période post glacière. **Au-dessus de 0.2mm** 🡺 **gravier**.   
Il existe des **forces de liaisons** **entre ces minéraux** qui ont une importance variable :   
   
\_ **> à 2mm** **pas de** **force de tension**

\_ **0.2 mm** **peu de** **force**

\_ **< à 2µm** **forces colloïdales** **suffisantes**. (= **argiles** qui ont la possibilité de rester en suspension)

**Granulométrie et texture :**

**Triangle des textures** 🡺 comparaison des éléments minéraux d'un sol. Il est **divisé en plusieurs classes**. La **surface** d’une pièce correspond à une classe de texture. Ces classes ont été déterminées par un test d’appréciation au toucher. Si **cylindre** alors **> 10%** **argile** ; si **anneau** alors **> 30%** **argile** et **sinon < 10%** **argile**. **Si la couleur tâche la main** on est plus du côté des **limons**.

**Textures et propriétés des sols :**

Le **tassement** (déformation verticale due à l'application des contraintes extérieures telles que les remblais, les [fondations](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fondations) ou son propre poids) est dépendant de la texture du sol. Les sols **les + sensibles** **au tassement** sont ceux qui se situent **au cœur du triangle**.   
**Exemple** : **Argile**🡪**2µm** : composition de superposition des feuillets (**1feuillet=10Å**).  
**L’eau** **entre très peu** dans **les argiles** ou alors elle **se trouve coincée**. Les **argiles** sont donc **peu** **filtrantes** et **peu** **sensibles au tassement**. C’est plutôt un **sol plastique** **avec une grosse** **capacité de gonflement/retrait**.   
Le **sol sableux** est lui **très** **filtrant** alors que le **sol limoneux** **l’est très peu**.

Un autre phénomène important est la **battance** (sol  tendant à se désagréger et à former une croûte en surface sous l'action de la pluie/gouttelettes d'eau), qui **touche + particulièrement** les **sols limoneux**. Ceci est **très embêtant** pour l’agriculture car il y a des **risques d’érosion** et donc de **ravinements**. De +, il y a **d’énormes perte** **en O2**. Ces couches apparaissent sur un sol nu qui a été travaillé finement.   
Le **gonflement/retrait** permet de tempérer le risque de tassement du sol. Un **sol argileux** peut se décompacter naturellement. Le sol **peut stocker des ressources** **en éléments minéraux** ainsi que de **l’eau**.  
**Eau stockée = réserve utile = eau utile (en mm) = quantité d’eau retenue par le sol et qui ne s’évacue pas** (eau retenue par capillarité). Les éléments minéraux sont **l’azote**, le **phosphore**, le **potassium**, le **calcium**, le **magnésium**…   
La **C.E.C** est la **capacité d’échange cationique** = capacité du sol à stocker les cations (en **meq/100g**)  
**Matière organique** : **humus** (=phase solide organique du sol). Phase inconstante.  
Elle **correspond à un %** mais elle est **alimentée par la matière végétale**.   
**Humification** : décomposition de matière végétale.

**Acides humiques humines nutriments pour la plante**

**Se minéralise en donnant du CO2 + éléments minéraux**

En **agriculture biologique**, l’approvisionnement de la plante en nutriments se fait sous la forme organique. En **agriculture conventionnelle**, on peut utiliser les engrais sous forme de minéraux.

**Evolution de la matière organique :**

Le **carbone total** d’un échantillon est **proportionnel à la quantité** **d’humus**. **L’humus** du sol est **très hétérogène**. La **quantité d’humus** **est alimentée par** **l’humification**. Les **humines** vivent très longtemps dans le sol.

**Importance agronomique et environnementale de la matière organique :**  
  
Pour qu’une plante assimile les nutriments (= **nutrition**) il **faut qu’ils soient** **sous forme minérale**. La notion de **rétention** **touche à deux facteurs** : la **stabilité** et **l’ensemble** **eau + éléments minéraux**. Le sol est composé de **mottes de terre** ou **agrégats**.   
Un autre facteur important est la notion de **stabilité structurale**. C’est une valeur qui retrace la stabilité des agrégats d’un sol. **+ on se trouve haut** **dans le triangle des textures** **+ il y a** une **stabilité structurale** **importante**. **+ un sol** est **stable** **moins** il est **sensible au tassement**

**Constituants organiques :**

**Environ 1 à 5%** de la **phase solide** d’un sol est de **l’humus**. Une prairie est **+ riche** en **humus** qu’un sol de culture. Cet **humus** est **à 85%** formé de **matières organiques**, **10% de** **racines** et **5%** **d’organismes vivants**. Les **vers de terre, bactéries et acariens** décomposent les matières organiques fraîches en **humus**. Les **galeries creusées** par les êtres **vivants permettent d’améliorer la** **porosité et la rétention des sols**.

**Les rôles des organismes du sol :**

L’art du sol est de **créer un milieu de vie** à ses organismes vivants. Les **bactéries** peuvent **détruire les phytosanitaires** que l’on retrouve dans les sols. Les **azotobacters** **transforment l’humus en azote**, **ammoniac** et **nitrate** pour nourrir la plante. Pour l’agriculteur, il est bon de ne **pas utiliser le même phytosanitaire** et surtout d’**éviter le tassement**

**Structure et porosité du sol :**

**Structure du sol** = analyse de la forme et des propriétés des agrégats du sol. Les spécialistes utilisent ceci pour juger de la santé d’un sol. Le sol est constitué de **mottes de terre** mais les mottes sont emboitées les unes dans les autres. Elles vont **de 10 cms à quelques mms**

|  |  |
| --- | --- |
| **Granulométrie** : | **% quantitatif** de **limon**, **sable** et **argile**. |
| **Texture** : | **Impression au toucher** |
| **Structure** : | **Agencement des agrégats** du sol entre eux |
| **Porosité** : | **Espaces vides** entre les particules du sol occupés par **l’air** et **l’eau** |

Quelques exemples de structures :

|  |  |
| --- | --- |
| **Massive** | Pas de type de motte particulier |
| **Particulaire** | Particules resserrées |
| **Grumeleuse** | Grumeaux de quelques millimètres |
| **Prismatique** | Prismes de 10 cm |
| **Polyédrique** | Polyèdres de 1 à 5 cm |

**Structure fragmentaire arrondie** : On retrouve la **structure grumeleuse** **dans les sols argilo-calcaires** qui ont pour propriété d’être des sols à **profondeur variable** (**7 à 8 cm**), **riche** en **matière organique** et en **calcaire**. Ce sont des **sols stables** avec une capacité de garde mangé **assez importante** (eau, matière organique et nutriments).

**Structure fragmentaire anguleuse** : **sol riche** en **argile**, **décalcifié et pauvre** en **matière organique.**

Elles peuvent être également en **plaquettes obliques**, **lamellaires** (structure fragmentaires feuillées) ou **squameuses** (comme les marques de sécheresse en Afrique).

**Le sol : milieu poreux**

**L’eau et l’air** circulent dans les **pores**, dont la **taille et la forme dépendent de la texture et de la structure** du sol. Un sol poreux contient une **quantité de vide importante**.

**Structure et porosité du sol :**

Il y a une **différence entre** la **porosité structurale** et la **porosité texturale**.  
**Porosité structurale** : **quantité de vide** dans le sol. Dépend du travail du sol.  
**Porosité texturale** 🡺 se situe **dans les espaces entre les grains**. **Peu affectée** par **tassement**   
**Macroporosité** : **diamètre > à 0.1millimètre** d’où **écoulement gravitaire** **de l’eau**  
**Microporosité** : **diamètre < à 0.1millimètre** d’où **rétention capillaire** **de l’eau**  
C’est **l’eau** qui est **retenue dans les capillaires** **qui ira aux plantes**  
**+ il y a** de **macroporosités** **moins** il y aura de **stocks** **d’eau**.   
**macroporosité** = **porosité inter-agrégats**   
**microporosité** = **porosité intra-agrégats** (= pas de restitution d’eau).  
Dans le cas d’un **sol argileux** « **gonflant** » on observe que la **porosité inter** est **évolutive** et que la **porosité intra** est **faible**  
Dans le cas d’un **sol limoneux** tassé, les **porosités inter et intra** sont **faibles toutes les deux**

**Densité apparente** (**Da**) : c’est le **rapport d’un échantillon sec sur ce même échantillon en solution**. **+ la** **densité apparente** est **élevée** **+** il y a de **solide** et donc **moins** il y a de **porosité**. Si **Da** **comprit entre 1 et 1.2** alors **60%** **de porosité** et si **Da** **comprit entre** **1.6 et 1.8** alors **35%** de **porosité**. Dans un **sol labouré** on a **50%** **de vide** et dans un **sol tassé** **il n’y a plus que 35%** **de vide**

1. **Propriétés et fonctionnement**

**Le sol, lieu d’échanges**

Le sol est un **lieu d’échange** car il permet de **stocker** **temporairement** des **éléments minéraux**. **+ il y a** **d’argiles** **+ il y a** de **matières organiques** 🡪 **complexe argilo-humique**  
La capacité d’échange d’un sol est **mesurée par sa** **capacité d’échange cationique**. Cela correspond à la **quantité** **d’éléments minéraux** **du sol échangeable avec la solution**. Elle se mesure **en meq/100g**

**Le sol, réservoir d’eau pour les plantes**

**Réserve utile du sol** : réserve d’eau contenue dans ce qui peut être utilisé par la plante. La capacité d'un sol à éliminer l’eau en excès est proportionnelle à sa macroporosité.  
Il existe 3 types d’eau dans les sols :

• **eau gravitaire** : eau **excédentaire** évacuée par son propre poids. Elle doit être évacuée car elle **asphyxie le sol**

• **eau de rétention capillaire** : occupe les pores **fins et très fins**

• **eau liée** : **non absorbable** par les racines

**Capacité au champ** : capacité de stockage de l’eau par le sol ou réserve utile (**RU max**)  
**Point de flétrissement** : varie en fonction du type de sol et de plante.

**Argiles**  
**CC** **forte** + **PFl** **très fort**  
🡪 **RU** **faible**

**Limons**  
**CC** **moyen** + **PFl** **moyen**  
🡪**RU** **élevée**

**Sable**  
**CC** **faible** + **PFl** **faible**  
🡪 **RU** **faible**

**RU élevée**

Le **point de flétrissement** est atteint pour une **pression de 4.2 atmosphère en moyenne**   
  
**Le sol = conduite**   
Mouvements de l'eau dans le sol :   
- **descendant** (infiltration)  
- **latéraux** (ruissellement)  
- **ascendants** (ascension capillaire ou remontée d'une nappe d'eau libre)

**RU** **de 30 à 50 mm** pour sol **très superficiel et sécheur**  
**RU** **supérieure** **à 300 mm** sol **très profond**  
Le **sol s’évapore à une vitesse** de **7 mm/jour**. On se règle sur la réserve utile pour l’arrosage

**Aquifère** : permet écoulement d'une nappe d'eau souterraine.   
2 phases :   
- le **réservoir** 🡺 phase solide, milieu poreux/fissuré  
- **l'eau souterraine** 🡺 phase liquide, dont l'eau gravitaire constitue la nappe d'eau souterraine alimentant sources et rivières

**SOL 🡺 milieu vivant, actif, structuré, réacteur chimique, fonctionnement hydrique variable, variabilité dans l'espace**

1. **Constituants minéraux du sol :**
2. **Les différentes phases du sol (rappels)**

* **Phase solide** : elle est composée à **40%** **du volume** de **constituants minéraux** soit **95%** **en poids** et à **10%** **du volume** de **constituants organiques** soit **5%** **en poids**. Ces constituants organiques peuvent être des **organismes vivants ou de la matière organique morte**
* **Phase liquide** : elle correspond à la **solution du sol**. Elle présente une **grande variabilité spatiale et temporelle**. Elle est **toujours chargée en** **substances dissoutes** : **organique** et **minérales** ou **ionisées** et **non ionisées**. Les particules que l’on peut y apercevoir sont des **bactéries**, des **virus**, des **argiles**, des **colloïdes** et des **chélates**.
* **Phase gazeuse** : on l’appelle aussi **l’atmosphère du sol**. On voit donc qu’il y a de l’air **+/- chargée** d’eau dans le sol (fonction de la température). **Il y a plus de phase gazeuse** dans un **sol argileux** car **il y a plus de microporo**sité. En **anaérobie**, **il n’y a plus d’oxygène**, du coup il y a **surproduction** **d’ammoniac** et de **méthane** 🡪 **sol acide** donc **nuisible** pour la plante. Dans **un sol sableux** ou **argileux** la **distribution** du **CO2** se fait mieux en profondeur. Les **sols argileux** sont tout de même + **transporteur** de **CO2**.

1. **Les différents minéraux**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Minéraux primaires | Phylosilicates | Sels | Sesquioxydes |
| Micro limons  (très résistants) | Feuillets silicatés |  | Oxydes métalliques hydratés |

Inférieurs à 2 microns

* Les **minéraux primaires** : on trouve 2 grandes catégories:   
  Les **minéraux résistants** comme le **quartz** qui ne subissent que l’altération par des temps chauds et humides.   
  Les **minéraux altérables** comme les **micas**, **feldspaths** et **amphiboles**. Les **feldspaths** s’attirent peu alors que les **micas** s’attirent énormément pour former des minéraux argileux, des sels ou en métaux ce qui peut conduire à des complexes correspondant à des oxydes métalliques.
* Les **sels de potasse** servent à créer la membrane de la plante. La potasse est issue de la **biotite** et des **feldspaths**. **Magnésium, calcium et fer** pour la chlorophylle.
* Les **principaux minéraux des sols non silicatés** : ce sont des **roches d’origine sédimentaire**. Les sols qui se développent sur ces types de roches sont **riches en ces éléments**. Le **phosphore** est **très important** dans le **cycle de Krebs** pour la plante.
* **Roches plutoniques et volcaniques** : Ce sont des éléments silicatés.   
  Les roches **plutoniques** 🡺 **granite**, **granodiorite**, **diorite**, **gabbro** et **péridotite** (=roche issue du refroidissement très lent des roches plutoniques). Elles vont de la roche **la + pauvre** **en minéraux** **à la + riche** **en minéraux**. Même chose pour les roches **volcaniques** : **Rhyolite, dacite, andésite** et **basaltes**

**+ une** **roche est dure** **moins elle** **sera altérable** par l’environnement et la plante

1. **Les minéraux argileux**

Ils correspondent à **30% à 60%** des **argiles granulométriques**. Ce sont des **silicates** (=silices mélangées à du fer sous forme de feuillets), **< 2 micromètres**, avec une **forme lamellaire** et ils présentent des **possibilités de suspension aqueuse** **+/- stable**  
Les **feuillets d’argile** ont **tendance à s’ouvrir** lors de **fortes** **chaleurs**  
**Exemple** : la **kaolinite** avec feuillets hexagonaux, la **montmorillonite** avec aspect spongieux

Un **minéral argileux** est composé d’une structure particulière qui se présente de la façon suivante :   
- **espace inter foliaire**  
- **feuillet 2/1** : alternance entre 2couches tétraédriques et une couche octaédrique  
- **espace inter foliaire**   
Cet ensemble présente une **unité structurale**

Principaux types de minéraux argileux :

* **Modèle TE-OC** **(1/1)**
* **Modèle TE-OC-TE (2/1)**   
  Exemple : **Illites**  
  Les **+ électronégatifs** ont un **pouvoir de gonflement/retrait et de fixation des cations** **important** ce qui permet de **fixer la réserve utile**
* **Modèle TE-OC-TE-OC** **(2/1/1)** **épaisseur** **des feuillets** **constante** et **charge** **nulle**  
  Exemple : **chlorite** (**très grande** **électronégativité**)

**Sol acide** : **pH<4,5** 🡪 roche **riche** en **quartz** et **silice**  
**Sol alcalin** : **pH>7** 🡪 **riche** en **carbonate de calcium**

Les méthodes d’analyses des **argiles** :   
- **Rayon X**  
- **Microscopie électronique** à balayage  
- **Thermique** (chauffe les argiles en observant le rayonnement)   
- **Chimique**

Il faut savoir aussi que **chaque spectre est caractéristique** **d’une argile**  
Il existe 2 grands groupes de smectites : les **smectites vraies** et les **montmorillonites**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Substitution | Argile | C.E.C | Electronégativité | Pouvoir fixateur des électrons (K+) |
| Al3+/Mg2+ | Montmorillonite | 100 | Elevée | Moyen |
| Si3+/Al3+ Fe2+/Fe3+ | Vermiculite | 20/30 | Très élevée | Très élevé (+ fort que la plante = plante peut pas prélever les K+) |
| rien | Kaoline | 2 | Très faible | Très faible |

Les propriétés des argiles : (smectites et vermiculites)

* **Surface de contact** : car les **argiles** sont vraiment **très petites** ce qui donne une **grande surface de contact** **à l’air ambiant**. L’avantage d’une grande surface de contact est que si la portion contient des éléments fertilisants alors les **échanges** seront **nombreux et rapides**
* **Phénomène d’échange d’ions** :   
  - **fixation temporaire** **de cations entre les feuillets** en équilibre avec la solution du sol   
  - **fixation**, **rétention de l'eau**
* **Floculation/dispersion** : capacité qu’ont les feuillets à s’agréger entre eux. Lorsqu’il y a défloculation, les blocs de terre sont **déstabilisés**

1. **Les sels et sesquioxydes :**

Il existe **2 types différents** **de sesquioxydes** (**ferreux** ou **d’aluminium**). Ce sont des métaux ou oxydes métalliques hydratés. On les retrouve **principalement dans les sols acides** : présence d’aluminium surtout de sesquioxydes d’aluminium 🡺 mauvais pour les cultures  
Les sesquioxydes de fer peuvent être sous 3 formes :   
(peuvent facilement subir des oxydo-réductions)   
Un **sol hydromorphe** est un sol qui subit un **engorgement** **temporaire ou permanent**, ce qui peut être nocif pour la plante

Désarrangement du sol

Arrangement du sol

**Goetite** (beige) **Hydrates** **ferreux** (gris) **Hématite** (rouille)

Réduction

Oxydation

Argiles

Pseudo Gley  
🡪 témoin temporaire

En hiver, lame d’eau drainante 🡪 accumulation d’eau car argile imperméable

Gley 100%  
 hydrates ferreux  
🡪 témoin engorgement permanent

NTP\*

NTP\*

Gris uniforme

0%

10%

15%

18%

Si **l’hydromorphie** apparait **à 20 cm sous terre** 🡺 considérée comme **zone humide**

Les **sels** sont composés principalement de **calcium** (**carbonate de calcium + sulfate de calcium**), **d’azote** (**nitrates** et **nitrites**) et d’autres sels (**Na** **Cl**, **K** **Cl**…)   
🡺 sont **très importants** car ils **servent de nutriments pour les plantes**   
Les sels sont retrouvés **dans le complexe argilo-humique**.   
Le **phosphore** est **témoin de présence** de **Ca2+** car il ne **peut se fixer** que sur le **calcium**.   
**NO3-** et **NO-** sont des **nutriments** **très actifs**. **NOx** est un gaz à effets de serre important très volatil 🡪 provient de l’évaporation du nitrate des sols.

1. **Matière organique des sols :**
2. **Les différents types de matière organique**

Composition quantitative de la matière organique :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Eléments figurés et substances chimiques définies** | 1.5t | 2%  Les éléments figurés correspondent aux feuilles mortes ou aux cadavres d’animaux. |
| **Biomasse microbienne** | 1t | 1.2% |
| **Humus** | 72.5t | 96.8% |
| **Total** | 75t | 100% |

La **masse microbienne** est composée de **bactéries** et de **champignons**.  
**Chaines carbonées** : **97%** de la masse de la matière organiques du sol.   
**+ un sol est** **brun foncé** ou **noir**, **+ il contient** du **carbone**  
On différencie la **matière organique libre** (éléments figurés et biomasse microbienne) de la **matière liée** car elle est liée au **complexe argilo-humique**.   
La **quantité** **d’humus** est **quasiment toujours constante** car il y a de **l’humus** entrant mais aussi de **l’humus** sortant **grâce à la minéralisation**. **+ il y a** de **matière organique** **+ il y a** de **grumeaux arrondis**.   
Pour **analyser la matière organique** 🡺 on analyse le **carbone total** **qu’on multiplie par un coefficient de 1.5%** (pour les champs de blé) **à 10%** (pour les prairies).  
Calcul du taux de M.O : **% \* densité \* épaisseur \* surface**Dans notre exemple, taux de M.O : **75t**

Quelques exemples de ressources en matière organique fraîche :   
- **composte** (fumier + pré humification)   
- **lisier ou fumier** (mélange paille/déjection)   
- **engrais vert** (piège à nitrate pour éviter le lessivage d’azote. Culture non récoltées mais enfouies + lutte contre l’érosion)   
- **vers de terre** : transforme la M.O en humus

1. **Evolution de la matière organique**

La **matière organique** **évolue**. Il y a deux méthodes pour suivre cette évolution:  
La **méthode Anne** : mesure la **concentration en carbone total**  
La **méthode Kseldal** : mesure la **concentration totale en azote total**

Après avoir calculé **le rapport C/N**, on se rend compte qu’au début **30 < C/N < 50** et au fur à mesure du temps **ce rapport va baisser** **pour se stabiliser** pour **10 < C/N < 12**La **matière organique fraîche** contient **beaucoup** **de** **carbone** et **peu** **d’azote** alors que pour la **matière organique humifiée** **c’est l’inverse**.  
L’humification correspond à la **transformation** de **MO fraîche** **en** **MO libre** **puis** **liée** :   
\_ **M.O fraîche🡪M.O libre** : **décomposition** qui donne les produits transitoires  
\_ **M.O libre🡪M.O liée** : **recondensation** pour donner de **l’humus**

1. **Les différents modèles d’évolution**

Il existe deux types de modèle :   
• le modèle **monocompartimental** (molécules considérées comme ayant les mêmes caractères) qui considère qu’il y a un **stock** **d’humus** de **72 tonnes**.   
Ce **gros stock** serait incrémenté par une **cinétique de coefficient** **K1** (petite quantité chaque année). **Une partie du gros stock** est donc **minéralisée selon un coefficient** **K2**  
**∆ humus/an= K1 \* M.O fraîche** (= matière sèche)   
**Quantité de minéraux produits/an = K2 \* quantité totale d’humus du sol**

Le **coefficient d’humification** **dépend du** **type de M.O fraîche**, du **type de sol** et de la **teneur en argile** **et en** **carbonate de calcium**.

d(M.O)/dt= K1 \* m – K2 [M.O] avec m quantités de M.O fraîche apportée par an et [M.O] quantité de M.O du sol

M.O= (K1/K2\*m) + [M.O0-(K1/K2\*m)] e-λt

Si t=0, alors M.O= K1/K2\*m

• le modèle **pluricompartimental**, qui considère que le **stock d’humus** **est hétérogène**. La M.O apportée incrémente la M.O déjà présente. Le stock d’humus est divisé en trois sortes : **l’humus actif** (= **< 1an**), **l’humus stable** (**40 à 50 ans**) et **l’humus très stable** (**4000ans**). Le **coefficient de minéralisation** soit s’adapter à chaque type d’humus. **30% du stock** **d’humus** (=humus actif) **se minéralise** **rapidement**.

1. **Méthodes d’analyse**

* Soit on effectue un **dosage du carbone total**. Pour obtenir la quantité de M.O il suffit d’effectuer le calcul suivant :   
  **M.O= [C]\*K avec 1.5 < K < 2** (=valeur standard 1.724)
* Soit on effectue le **dosage de l’azote total**. On applique la formule suivante :   
  **M.O= [N]\*C/N avec 8 < C/N < 30** (=valeur standard 11.6)   
  Quand le **rapport C/N** est **mauvais**, alors on peut avoir des **sols** **trop tassés, basiques, acides** ou alors **trop chargés en eau**, oligoéléments ce qui va inhiber la vie bactérienne et qui entrainera donc une mauvaise humification.
* **Méthode de Kononova** : analyse biochimique très coûteuse. Elle consiste en une **succession de réactions qui permettent d’analyser chaque élément** de la M.O.
* Il faut analyser le sol pour savoir quel type d’humus ajouter. Chaque amendement organique apporte de la M.O de qualités différentes :   
  - **engrais organique** : pas utiliser pour augmenter le taux d’humus (lisier, boue de stations, produits liquides de l’industrie agroalimentaire)   
  - **amendement organique** : peu d’éléments solubles = compost. Ne nourrit pas les plantes à court terme. Ils produisent des acides humiques bruns ou gris en fonction de la présence de lignine ou de cellulose.  
  - **produits type résidus de végétaux** contiennent beaucoup de celluloses donc apport en acides humiques gris (riches en matière minérale)

1. **Approche pédologique (=zones non détériorées par l’agriculture)**

Les différents horizons organiques dans un profil pédologique :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **A0** | **L ou O1** | M.O fraîche | Tendance à vite se décomposer car beaucoup de microorganismes |
| **F ou Of** | Fermentation cellulose | Décomposition de la cellulose essentiellement |
| **M ou Oh** | Humification | Produits de dégradations de cellulose : acides humiques + dégradation de lignine |
| **A1** | | Mélange humus et terre  (Zone de minéralisation) |  |

**Mull** : présent dans les climats tempérés au sol froid et neutre. Litière peu épaisse avec une seule couche O1 remplie de microorganismes🡪 décomposition rapide

**Moder** : présence de deux couches d’humus (Of  et O1). Sol plus acide, moyennement aéré soumis à des phases de sécheresse 🡪 humification plus lente. Soit M.O plus riche en lignine soit condition d’humification du sol moins favorable (pas assez de pluie)

**Mor** : humification lente donc toutes les couches ont le temps de se séparer. Sol acide et/ou pas aéré, souvent retrouvé en altitude donc froid d’où pas de bactéries + pluie donc lessivage des cations. L’épaisseur de cette litière est plus importante.   
Si le pH d’un sol est < à 5.5 alors il libérera des ions aluminium qui sont toxiques pour la plante.

1. **Approche agronomique (=zones brassées par travail du sol)**

Le travail du sol « **mélange** » les **différents horizons organiques** : **décompacte** le sol et **enfouit la M.O en profondeur**. Utile car la **M**.**O se décompose** **mieux en profondeur**.   
Si le **pH d’un sol** est **trop bas** 🡺 apporter du **CaCO3**.

Les animaux **stockent** **seulement 5 à 10%** **des oligoéléments** contenus dans leur alimentation. Donc lors de **l’épandage des déjections animales on amène** **des quantités importantes en** **oligoéléments**.

Il est **+ facile d’augmenter** **la C.E.C** d’un sol par apport d'**acides humiques**. Cela **stabilise** aussi **la structure du sol** car les acides humiques fixent les **feuillets d’argile** entre eux. De + la **M.O ensemence le sol en microorganismes**. La MO **doit présenter** du **phosphore** car ses ions sont attachés à des atomes de **calcium** ce qui les retient sur des complexes argilo-humiques. **L’amendement carbonaté** **stabilise** aussi la structure du sol alors que l’amendement en acides humiques **améliore** la structure du sol ainsi que la C.E.C.

1. **Initiation à la pédogénèse :**

**Pédogenèse** : étude de l’évolution des sols dans le temps et dans l’espace.  
**Sémiologie** : nomenclature des différents horizons.

1. **Les principaux horizons pédologiques**

Litière= sol +/- humifié avec M.O

X=0.5 climat froid  
x=1 climat tempéré  
x=10 climat chaud

G : Tâches grises importantes 🡺 sol engorgé en permanence : Gley

g : Tâches rouilles dues à l’absence de sesquioxydes de fer : pseudo Gley

X (en m)

Accumulation

R (roches mères)

E (=éluviation et lessivage)   
Argiles et/ou cations

A (=mélange) Humus + terre

B : Bt (argiles)  
 Bs ou Bp (sesquioxydes)  
 Bh (acides humiques fulviques)  
 Bca (carbonate de calcium

C

1. **Les cycles d’évolution des sols**

**Etat d’équilibre** **instable** qui aboutit à un **climax** : niveau d’équilibre écologique. Tous les paramètres sont en équilibres. La constitution des sols part de **l’altération d’une roche mère**

* Evolution progressive : (=Moraine Alpine)

Roches **mises à nues suite** à la fonte des glaciers. **+ on remonte** **dans les moraines + le sol est récent**. Proche du glacier, on observe des **cailloux** **riches** en **silice** pris dans une **matrice** **argileuse** **saturée** en **calcium** grâce au **brassage** du **calcaire** effectué par le glacier. **+ on** **descend** dans le glacier, **+ on a** des sols **anciens**. Dans des sols qui ont de **100 à 1000 ans** : **approfondissement progressif** du sol. Le **carbonate de calcium** **disparait de la surface** et **descend en profondeur**. On observe donc qu’à la surface il y a présence d’un peu de **calcium** mais sous cette surface il y a **absence totale** de **calcium** et pour finir on observe totalement **en dessous** qu’il y en a une **accumulation**. Le **pH** **diminue** donc les **coefficient d’humification** **et de minéralisation** **diminuent**. **Humus et végétation apparaissent** car le sol est **argilo-calcaire.   
A partir de 1000 ans**, le **calcium** disparait **très fortement** de la surface car il **descend** **très profondément**, ceci à cause de la **lame d’eau drainante**. Le **pH est encore** **+ bas** (<5.5). **Il n’y a plus d’humification de type acides humiques bruns mais d’acides fulviques**.

|  |  |
| --- | --- |
| pH>5 | pH<4.5 |
| 1 µm | 1 Å |
| Lignine 🡪 acides humiques bruns Cellulose 🡪 acides humiques gris | Acides fulviques dégradent les argiles 🡪 mobilité 🡪 lessivage 🡪 agressivité sur les argiles ⮡ hydrolyse des argiles |

Dans les **sols + anciens**, apparition d’un **horizon d’accumulation humide** (**Bh**) **au-dessus** duquel on **trouve un horizon A2** (= **sable ou cailloux**) mais **plus d’argile**. **Tout** **en dessous**, on trouve une couche **Bfe** : **sesquioxydes**. **En surface**, l’horizon organique est de type Mor. On observe alors une **évolution de type podzolisation ou complexolyse** (=passage des acides humiques aux acides fulviques + transformation d’argile de type 2/1 en sesquioxydes en passant par les acides fulviques **pH < 4**).

Ce type d’évolution est **l’un des trois grands types d’évolution** sous nos climats.   
**Si le pH est < 4** c’est qu’il y a **passage d’une lame d’eau drainante** **+ froid** 🡺 **sol de type Mor.**

Autre type d’évolution : **Sols limoneux** de type Lœss ou Marnes. Climat de milieu tempéré.  
**Température moyenne** + lame d’eau **de 200 à 300 mm**.   
**Plus on va vers la droite, plus le** sol est âgé. L’évolution de ces sols se fait non plus sur **10000ans mais sur 25000 ans**.  
**Tout d’abord**, nous avons un **sol limono-argileux** **riche** en **calcaire**. C’est un sol avec des **roches affleurant**. Puis, **en 2,** les **roches s’altèrent** et sont **colonisées par le lichen et la pelouse**. Il y a une petite couche fine de M.O avec quelques **roches + argile** (produit de destruction des silicates : argile de type 2/1). Pelouse sur **sol argilo-calcaire**. On a un sol de **type Mull** avec **argiles + calcaire + acides humiques** (**B et G**) + **pH > 7.5  
Agrégats sous forme de grumeaux**.  
En, on observe le même type de **sol + profond : 20 à 30 cm.**Ce sont des **sols argilo-calcaire** avec un **K2** **faible**. Milieu **avec lame d’eau drainante environ 200mm.** Il y a un **niveau d’équilibre** pour le sol sur **roche calcaire**.   
**En 4 et 5**, apparition d’un autre type de sol. **Chute du niveau** de **calcaire** ce qui se traduit par **un 5<pH<7** 🡪 **baisse du pH**. On est sur un **sol de type Moder** (= **AHB + G**). Le **K2****augmente** et le **sol** **continue à s’approfondir**.  
**En 6 et 7**, il y a **toujours un Moder**, avec **un pH<6** composé **d’humus + calcaire** **⭨ + AHG et B**. Le **K2****augmente**. Phénomène de **lixiviation ou de lessivage**.  
**En 8**, il y a un **Moder** avec des **argiles** **lessivées** **AHG et AHB**. **Le pH est <5**. La quantité **d’humus** **diminue** et le **K2****augmente**. **Fond enrichi** en **argile** 🡪 **imperméable**  
Ø d’évacuation d’eau 🡪 **eau gravitaire** 🡪 phénomène **d’oxydo-réduction** 🡪 **hydromorphie**  
**Etat d’équilibre** des sols anciens (≈**25000 ans**). **Argile** de **type 2/1** avec dégradation de **montmorillonites en vermiculites**. Ce phénomène est appelé **brumification ou acidolyse** car sol à l’équilibre sol brun.

L’homme peut intervenir en faisant changer le type d’évolution d’un sol.   
**Riche** **en calcaire** mais sans trop l’être.   
**1 à 4** : sensible à ce que l’on a vu avant. **Mise en mouvement** **des argiles** **car peu** de **calcaire**.  
**En 4**, la **phase 4** correspond aux **phases 6 et 7**. **M.O** **en surface**. **Argile** de type 2/1 qui **s’accumulent en profondeur**. Sur le modèle observé, on aurait passage d’une forêt de feuillus à une forêt de résineux.   
En **phase 4** on a des feuillus, on passe à une **acidolyse** avec **un pH>5**, **des AHG et B**.   
En **phase 5**, résineux avec **pH<4** et **acides fulviques**. **Appauvrissement progressif à court terme** au niveau agronomique.

Autre type d’évolution : (=**évolution progressive**)   
**Phénomène d’érosion** : décapage sous l’érosion de l’eau. Décapage qui fait apparaitre la roche mère. L’érosion **va faire revenir le sol d’une phase donnée à une phase antérieure**.   
**Erosion diffuse** : **10 à 20 tonnes de terre/an. Ha**  
**3500 tonnes** (**horizon labouré**)   
Implantation de haie + mise en herbe 🡪 **évite phénomène d’érosion** (qui est naturel).

1. **Les facteurs d’évolution :**

Ce sont des **facteurs bioclimatiques** : **homothéties entre climat et pédologie**  
 **1er facteur** **d’évolution** du climat 🡺 la **roche**  
Quand on analyse un sol on **s’intéresse aux affleurements** ainsi qu’à la **diversité des érosions et des altérations**. Au **quaternaire** 🡺 **glaciation**. Les climats ont de ce fait changé : on est passé d’un **climat steppique à un climat méditerranéen**. (= glacier change le climat et érode les zones où il était présent)  
Au fur et à mesure des glaciations, le **niveau des mers et donc des fleuves** **a baissé**.   
**En surface** 🡺 **sol brun**   
**en profondeur** 🡺 **sol fersiallitique**.

Types climatiques actuels et processus de pédogénèse :

- **Boréal** 🡺 **froid et humide**  
- **Tempéré** 🡺 **lame d’eau drainante modérée** (=**200mm**) avec **température** **moyenne annuelle 8 à 10 °C**- **Méditerranéen** 🡺 **12 à 10°C**, lame d’eau drainante **quasi nulle**. Phénomène d’orage 🡺 eau ruisselante. **Sol fersiallitique** (= sol rouge) : **hydrolyse neutre** car il **n’y a pas de départ** de **calcium** 🡪 pas de **phénomène d’acidification**. La température **🡕** ce qui a **hydrolyser** les **argiles**

- **Tropical** : température qui **augmente toujours** : **évaporation > pluviométrie**. Il faut distinguer les **milieux drainés** (=eau circule, sol ferrugineux) des **milieux confinés** (=oasis ou cuvette). La température permet **d’hydrolyser** **les argiles en kaolinites**. On obtient un **sol ferreux**, **profond**, **riche** **en** **kaolinite**. C’est un sol **peu intéressant** et **fragile**. Reformation d’argile de type 1/1. Sol de savane **peu** fertile.  
- **Equatorial** : **chaud et humide**, M.O cuit **rapidement**, argiles se décomposent totalement = allitisation (= hydrolyse totale des sols profonds avec libération de fer donc présence de sol rouge. On observe une couche de latérite **dure et compacte**. Milieu où pousse la végétation.)

Les grandes familles d’évolution des sols : **complexolyse** 🡪 **podzol** **avec complexe métallique**. Les produits de dégradation des **argiles** **migrent dans les** **profondeurs**. **Sols bruns avec acidolyse** : **⭨ du pH et 🡕 du K2**

**+ on** **monte** **+ le** **climat est rigoureux** 🡪 apparition de forêt de résineux due à la **podzolisation**

Influence de la géologie sur l’ambiance géochimique des sols :

Le **type de géologie** dépend de la **richesse** **en cations**. Si un sol est **riche** **en cations** alors on aura des **argiles de type 2/1** (= **milieux sédimentaires** avec **80-85% de** **CaCO3**)

Schéma pédologique et géologique de la Bresse de l’Ain :

**1** : terrain **hydromorphe** 🡺 craint l’humidité  
**3** : terrain **marne**  🡺 pH basique  
**4** : terrain **franc**  🡺 terrain de bonne qualité  
**8** : terrain **mort**  🡺 très argileux et engorgé d’eau

**Phase 1**: « terrain blanc » limons  
**Phase 2**: marnes avec argiles calcaires lacustres. Sol jeune  
**Phase 3**: sol limono-argilo-sableux décalcifié  
**Phase 4**: sol constamment rajeuni. Roche mère argileuse

Même climat = Même type d’évolution du sol = phase différentes

Facteurs anthropiques d’évolution des sols (=stabilisation, aggradation et dégradation)

* **Erosion** : rajeunissement du sol (indépendant de la qualité) + dégradation agronomique du sol
* **Tassement** : rôle sur la porosité du sol = modification de la M.O du sol
* **Labours profond** : remonte les roches profondes et enfouit la M.O
* **Travail superficiel** : de + en + on limite les labours et les remplace par des travaux sans labours. Ne dilue pas la concentration en M.O et augmente l’activité des vers de terre ainsi que celle des microorganismes.

Répartition des différents types de sols dans le monde :

Les **brunisols** ou **luvisols** 🡺 climats tempérés. Ce sont des **sols fertiles**  
Les **chernosols** 🡺 climats continentaux. Ce sont des sols épais avec beaucoup de M.O mais très profond. Gros potentiel agronomique. Possibilité de pousse uniquement le printemps.   
Les **fersialsols** 🡺 méditerranéen   
**histosols** 🡺 grandes vallées  
**andosols** 🡺 roche volcanique  
 **vertisols** 🡺 argiles lourdes  
Les **récoltes mondiales** se font **donc sur 23% des sols**.

1. **Cartographie des sols et gestion des informations :**
2. **Introduction à la description et à la cartographie des sols**

De façon générale, on a souvent des **types de sols** **en fonction des lignes de niveau**. On a donc une dépendance en fonction de la topographie.   
Il existe plusieurs types de représentation : **Lambert II étendu** 🡺 une représentation à l’horizontale de ce qui est en 3D.

Type de sol : **succession équivalente d’horizons**

Une carte est faite à partir de section et non d’horizon. (cf. poly)

Dans l’espace les sols évoluent et varient :   
\_ sol **profond** 🡪 **réserve utile** **profonde** 🡪 **feuillage vert**  
\_ sol **peu épais** 🡪 **réserve utile** **moins profonde** 🡪 **feuillage jaune**

Il y a donc un **lien entre le type de sol et la vigueur de la végétation**  
Types de sols peuvent être différent sur un paysage

Une **carte** qui est **peu précise** est une **carte comprise entre 1/1 000 000 et 1/250 000**  
On parle d’une **carte** **à petite échelle** car on prend en compte la valeur du coefficient. Une carte peu précise a donc une **moyenne ou grande échelle**.

|  |  |
| --- | --- |
| « région ou département » | « commune ou parcelle » |
| 1/100 000 | 1/10 000 |
| 1/50 000 | 1/1 000 = échelle cadastrale |

Définition de la précision d’une carte des sols :

* **Optimum** : 1 observation 🡪 **¼ cm²**
* **Minimum** : 1 observation 🡪 **1 cm²**

**Exemple** : au 1/25 000 1 observation 🡪 6Ha

Définition des unités :

* **UCS** : unité cartographique qui peut comprendre une ou plusieurs unités typologiques de sol.
* **UC** : unité cartographique. Chaque UC correspond à un type de sol qui est décrit dans la notice.
* **UTS** : unité typologique de sol ce qui correspond à une même superposition d’horizons.

**Pédopaysage** : ensemble de sols qui résultent d’une même logique cartographique

On peut dire à petite échelle que les **UCS** correspondent à des **familles de sols.**

1. **Gestion des données pédologiques :**

Ce sont des fiches ? Qui décrivent le sol et les horizons de façon homogène.

Informations stockées sous forme de carte. Ceci fournit de l’info mais ce n’est pas très fonctionnel car pour avoir une carte complète il faudrait en superposer plusieurs.

Les **bases de données pédologiques** (**BDP**) codifient ce qu’il y a dans la notice des tables.

1. **Evaluation du pouvoir épurateur des sols :**
2. **Le sol système épurateur :**

Il est **épurateur** car 🡺 peut **transformer la M.O en** **humus** **puis en** **éléments minéraux** à des **vitesses différentes**

**Station d’épuration** : collecte l’ensemble des eaux usées : riches en eau et en M.O.   
M.O mangée par **champignons et bactéries,** on obtient donc de l’eau chargée en éléments minéraux et de la boue. La boue ressert pour l’agriculture et les minéraux et l’eau repartent dans la rivière.

Le **pouvoir épurateur** = la capacité qu’a le sol à recycler la M.O.

1. **Les paramètres pédologiques déterminant la capacité d’épuration :**

**Les facteurs pour une bonne humification :**   
**\_ sol perméable  
\_ pas de battance  
\_ milieu aérobie**

Stocker et recycler les produits de décomposition de la matière organique

Infiltrer, humifier et minéraliser les M.O

**\_ Bon complexe argilo-humique  
\_ bonne profondeur du sol**

* **Filtrer** : (=perméabilité des sols)   
  \_ texture (sableux + perméable)   
  \_ porosité
* **Humifier** : (=biologie du sol)   
  \_ hydromorphie  
  \_ acidité  
  \_ porosité
* **Minéraliser** (=K2)   
  \_ texture  
  \_ pH
* **Stocker** : (=complexe argilo-humique)   
  \_ CEC 🡪 minéraux  
  \_ réserve utile 🡪 eau + importance meilleur développement 🡪 meilleur recyclage

1. **Méthodes d’évaluation de la capacité d’épuration du sol :**

Hiérarchisation des paramètres pédologiques :   
Contraintes limitant les potentialités du sol (par ordre décroissant) :

1. **L’hydromorphie**
2. La **texture de l’horizon** de surface (= choisi ceux du milieu du triangle de texture)
3. Le **pH de l’horizon** de surface (= rejet des sols présentant un pH acide)
4. Le **réservoir utilisable maximal**

RUM : Réserve utilisable maximale





**RUM >100mm**

**50 < RUM < 100mm**



**RUM <50mm**



**6<pH<7.2**

pH**=7.2**

**Sable**

**Limon**

**Argile**

**pH<6**

**Hydromorhpie** de surface

**Non**

**Oui**

**Introduction :**

**Les propriétés du sol**

Objectifs :

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

**Pourquoi étudier le comportement du sol ?**

Pour **prévenir la dégradation du sol** due à :  
- la **déforestation** (**30%**)  
- le **surpâturage** (**35%**)  
- la **mauvaise gestion des terres** **agricoles** (**27%**)  
- **l’industrie et l’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 (pays du sud) |
| Diminution des teneurs en MO | Battance, érosion, fuites de CO2 dans l’atmosphère |
| Contaminations chimiques, minérales ou organiques | Toxicité pour les animaux, les végétaux, contamination de l’eau |

Les différents types de dégradation des sols dans le monde :

* **L’érosion hydrique** (56%)
* **L’érosion éolienne** (28%)
* **Dégradation chimique** (12%) exemple : acidification
* **Dégradation physique** (4%) exemple : tassement, désertification etc.

Il n’existe actuellement aucune réglementation pour protéger les sols européens.

Pourquoi étudier le comportement d’un sol ? Rôle de **support de croissance des plantes**

* **Rôle d’intermédiaire entre elles + facteurs climatiques** : humidité, aération, température   
  🡪 relation sol/plante/climat
* Autres services éco systématiques : tout élément qui compose l’écosystème va rendre des services gratuits  
  \_ produire  
  \_épurer  
  \_ matériaux de construction

Les sols de la région **Rhône-Alpes** sont **peu épargnés**. Le sol est **riche en** **CO2, NO2** (tout le temps) et **NCH4** (quand le sol est gorgé d’eau = anaérobie).

**Bretagne et Massif Central** : sol acide du au granit  
**Loire, Haute Loire et Nord** : zone industrielle donc excès de plomb

Quelques rappels :

De quoi sont constitués les sols ?

\_ **Phase solide** : constituants minéraux et organiques (= organismes vivants et MO morte)   
\_ **phase liquide** : ce qu’il y a en solution dans le sol  
\_ **phase gazeuse** : atmosphère du sol

Dans la **porosité** du sol

**Constituants minéraux :**

On les classe **selon leur minéralogie** (quartz, silicate…) **et** **leur granulométrie**.  
Dans les argiles granulométriques on peut trouver des **minéraux** **très fins**. Pour analyser le sol, on effectue une **analyse granulométrique** des argiles mais attention car **%A granulométrie ≠ %A minéralogie**

**Les sesquioxydes :**

**Sesquioxydes d’aluminium** : incolore, présent dans les sols très acides (feldspaths et illites)   
**Sesquioxydes de fer et de manganèse** : Goethite (beige) et hématite (rouge).  
Les minéraux apportent de la couleur et peuvent être de très bons témoins pour **l’hydromorphie**. Les minéraux ont un rôle de rétention dans le sol.

**Les sels :**

Le **carbonate de calcium** est **le + intéressant** car apporte du calcium dont la **plante a besoin.** Rôle important car apporte un base 🡪 **régule le pH** du sol.

**Les constituants organiques :**

**5%** de la **phase solide** : **85% de** **matières organiques**, **5%** **d’organismes vivants** et **10%** de **racines**.  
Les **sols cultivés** présentent **1 à 5% de** **MO**.  
Quelques notions sur les feuillets : pouvoir des argiles d’avoir à l’intérieur de leur feuillet des sites qui peuvent récupérer les éléments minéraux des sols. Plus les feuillets gonflent plus ils fixent les minéraux. (Montmorillonites, kaolinite, smectite)  
Les acides humiques ont une terminaison intéressante car elle peut perdre soit un H+, soit un OH soit un O- ceci permet de récupérer les éléments du sol. Les argiles, les oxydes de fer et d’aluminium peuvent aussi présenter une terminaison O-.

# Propriétés chimiques du sol

## La capacité d’échange du sol

### Le complexe d’échange argilo-humique

C’est un complexe qui **va permettre de récupérer les éléments du sol** 🡪 évite le lessivage et donc maintien des nutriments de la plante.   
La formation du complexe a 3 théories :   
\_ **Argile + humus** : liaison par **pont calcique** A- -- Ca2+ -- O-  
\_ **Liaison avec les oxydes** grâce au OH  
\_ **Liaison direct** grâce aux sites positifs et négatifs

Le **mucus microbien** (=champignon) permet aux MO et argiles de se lier.

Le **complexe adsorbant** :

* **Minéraux argileux**, **substances humiques, oxydes et hydroxydes**.  
  \_ adsorption de cations (liaisons faibles capables de repasser des solutions)   
  \_ échange de cations (entre phase solide et solution du sol)   
  \_ échange rapide  
  \_ échange réversible  
  \_effet limité (dépend de la quantité de site négatifs)   
  \_ effet variable selon les terres (dépend de la teneur en MO, en argile, en oxyde et dépend du pH)
* **Charges permanentes** dues aux substitutions iso morphiques :   
  \_ compensation par cation hydratés

Partie fixe

* **Charges variables** dues aux groupes fonctionnels :   
  \_ bordures des argiles : SiOH 🡪 SiO- + H+  
  \_ sites de la MO : COOH, phénols  
  \_ Oxydes-hydroxydes

Varie avec le pH

**Exemple** : **Kaolinite** 🡪 très peu de charge permanente  
 **Smectite** 🡪 plus de charges négatives permanentes

Deux types de **charges variables** :   
\_ **matière organique**  
\_ **bord des feuillets d’argiles**

Quand le **pH augmente** la **teneur en H+** **diminue**.

L’adsorption des ions : (dépend des minéraux)

* Principaux ions du sol :  
  \_ **Cations** : Ca2+, NH4+, Na+, Al3+, Fe3+, Fe2+, Cu2+, Zn2+ 🡪 **pouvoir adsorbant**  
  \_ **Anions** : Cl-, NO3-, HPO42-, H2PO4- 🡪 **peuvent être retenus** de 2 façons : charges positives du bord des argiles et par complexation.  
  La MO a un rôle très fort car elle contient beaucoup de charges négatives (Ca, K, Na).
* Mécanismes de l’adsorption des ions :   
  \_ ions **adsorbés par liaisons électrostatiques** (cations alcalins Na, K et alcalino-terreux Ca, Mg / anions Cl, NO3)   
  \_ ions qui **forment des complexes**, adsorbés par la formation de complexe de surface et liaisons électrostatiques (concerne surtout le phosphore).  
  Le nitrate qui est négatif est peu retenu sur les charges positives. Il ne reste jamais dans la solution d’un sol. Les cations qui se fixent le plus sont la Ca, le Mg, P, Na (liaisons faibles). Les liaisons covalentes sont des liaisons fortes pas trop aimées car elles saturent le complexe.

### La capacité d’échange cationique

C’est le **nombre de charges cationiques qu’une masse de terre donnée peut retenir à l’état échangeable par des liaisons faibles de types électrostatiques** sur son complexe adsorbant dans des conditions connues de pH, de concentrations et de natures de cations et anions présents.   
En **cmol+/kg** ou en **meq/100g**.

Elle va être variable selon :   
\_ la **nature des argiles** **et leur teneur** dans le sol (≈0meq/100g pour la kaolinite et de 80 à 120 meq/100g de terre)   
\_ la **nature et la quantité de matière organique** (200 à 400 meq/100g)   
\_ le **pH**

**CEC effective**, **taux de saturation** du **complexe adsorbant** (**CA**) :

* **CEC effective** (T) au pH du sol
* **Taux de saturation** :   
  \_ proportion de cations échangeables d’acidité négligeables : Na, Ca, K, Mg  
  \_ V = S/T \* 100 avec S somme des cations

### Les échanges ioniques

3 grandes idées à retenir :   
\_ échange qui se fait par une **notion d’équilibre**\_ équilibre qui se fait **charge pour charge** (cation2+ bivalent et cation+ monovalent)   
\_ **+** **un cation est hydraté** **moins** **il sera fixé**

**Garniture ionique** :

* Echanges conditionnés par :   
  \_ la **charge du cation**  
  \_ **son diamètre ionique** fonction du degré d’hydratation  
  \_ **CEC**
* A valence égale, les ions les moins hydratés sont absorbés préférentiellement :

H > Al > Ca > Mg > K > NH4 > Na

En jaune, ce sont les bons, H baisse le pH, Al est phytotoxique, et Na est toxique en trop grande quantité.

## Le statut acido-basique et acidification des sols

### Acidité et état des sols

* **pH** : concentration de protons d’une suspension de sol dans l’eau
* origine de l’acidité :   
  \_ **production de H+** grâce à l’oxydation des MO, à la nitrification, à l’oxydation des sulfures et aux racines  
  \_ **consommation de H+** grâce à la dénitrification dans les sols gorgés d’eau, protonation de la MO, altérations des carbonates et silicates.

**Le pouvoir tampon :**

1er cas de pouvoir tampon : pH basique grâce aux carbonates de Ca  
2ème cas de pouvoir tampon : consomme aussi des H+ ce qui aboutit à la formation d’aluminium

Le pouvoir tampon est donc lié à la protonation et donc à l’apport de MO.

**Décarbonatation** :  
1) On amène des H+. Le CaCO3 consomme le H+ 🡪 formation de HCO3- jusqu’au CO2 et il reste du Ca2+. Le calcium restant est lessivé donc lessivage du NO3- car sol toujours électroniquement neutre.

**Acidification-Décalcification** :  
2) Quand il n'y a pas du tout de CaCO3. On continue à produire des H+ mais pas conservés. Seulement consommés par le complexe absorbant (PT) 🡕 H+ donc perte de cations.   
Le Mg et le calcium sont lessivés 🡪 décalcification  
La CECe baisse. On perd des sites moins de façon durable.

**Acidification-Aluminisation** :  
3) Phase à éviter normalement. La production de protons continue. Mise en place du dernier pouvoir tampon. Une partie des H+ est consommée par les aluminosilicates, une autre est fixée sur la CEC. Formation d’Al. L’Al vient se fixer sur le complexe absorbant. Phase très critique : pH=4 donc plus de minéralisation. L’acidification est accélérée par l’agriculture :   
\_ engrais (NH4+)   
\_ labours  
\_ plant

**Chaulage-Recalcification** :

La première technique agricole qui permet de remédier à ça est le chaulage. Dans la chaux, c’est la base qui agit au 1er OH 🡪 récupère les H+ échangeables mais surtout les H+ covalents. De plus, elle libère des sites négatifs (=formation d’eau) ; Le calcium agit après et remplace les H+. Le pH remonte à 6. Le problème d’un pH qui diminue fortement : microorganismes (empêche de vivre) et éléments métalliques (toxiques et lessivés par l’eau).

### Mesure du SAB

\_ **pH de l’eau** : pH de la solution du sol : mesure **l’acidité effective**.  
\_ **pH du KCl** : pH qui permet de chercher **l’acidité d’échange** 🡪 correspond aux protons fixés de façons faibles (H+ échangeables)

**Acidité de réserve** : réactifs avec base très forte (H+ covalents). Si différence trop importante, il faut faire un chaulage.

Les deux pH varient à peu près de la même façon. Le pH est + faible en été : beaucoup de H+ dus aux microorganismes et aux racines. [H+]🡕 et moins d’eau d’où pH diminue.

**pH eau > pH KCl**

### Acidification des sols, chaulage

Le dispositif des 42 parcelles à Versailles, observe l’acidification sous l’effet des minéraux. (Parcelle avec engrais ammoniacaux, sels neutres, fumiers et amendements basiques)

**L’ajout de fumier** **apporte de la MO** : création minéralisation (N, P, eau, CO2) et humification (MO stable = 3ème pouvoir tampon)

**L’ajout de Ca** permet de **lier la matière organique et les argiles** 🡺 stabilise le sol et structure grumeleuse donc l’eau s’infiltre bien.

**Lors de l’ajout de produits acidifiants** le **sol devient lisse.**

On joue sur les **propriétés chimiques** : CEC, toxicité  
et les **propriétés physiques** : améliore le sol, stabilité structurale.  
On joue aussi sur **la vie du sol** : microorganisme 🡺 activité biologique du sol

## Conditions d’oxydo-réduction

### Définition

Dépend du **potentiel d’oxydo-réduction** (teneur en O2) **mais aussi du pH**.  
Minéraux **oxydés** 🡪 **présence d’O2**Minéraux **réduits** 🡪 **absence d’O2**

Milieu **oxydé** : Fe3+ couleur rouge  
Milieu **fer ferreux** : Fe2+ couleur gris-vert

# Eléments minéraux

**Majeurs** :   
\_ N, P, K, puis Ca, Mg et S  
\_ teneur végétaux > 100mg/kg

Les plus retrouvés dans les cultures 🡪 besoin de la plante

**Mineurs** :   
\_ Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo, Cl, Na, Ni et Co  
\_ teneur végétaux < 100mg/kg

Les cultures sont **sensibles aux oligo-éléments**. Les **éléments traces métalliques** sont **toxiques** pour la plante.

La **forme** **minérale de l’azote est disponible pour la plante** mais pas la fraction totale. La plante peut capter l’azote sous la forme NO3-. Pour analyser un élément il faut connaitre son cycle d’évolution.  
**Biodisponibilité** : les minéraux sont disponibles pour la plante.  
Exemple du phosphore : il existe différents types de phosphores car différents types de méthode. Le phosphore disponible est le phosphore Polsen.

**Autres éléments :**   
\_ les acides carboxyliques, acides aminés, sucres simple  
\_ substances de croissance  
\_ solvants, pesticides, PCB, HAP (=hydrocarbures)

# Tassement et régénération du sol

## Phénomènes de tassement des sols

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

**Structure du sol** : **Assemblage des particules** du sol entre-elles. La structure est déterminée par la forme des pleins et la forme des vides du sol

**< 0.2µm** 🡪 **microporosité**  
**< 2µm** 🡪 **mesoporosité**  
**> 2µm** 🡪 **macroporosité**

Classification de la porosité du sol :

* **Critère dimensionnel** :   
  \_ **macroporosité** et **microporosité**  
  \_ porosité **capillaire** et **non capillaire**
* **Critère selon l’origine des pores** :   
  \_ **porosité texturale** : vide du à l’entassement des particules  
  \_ **porosité structurale** : résulte de l’organisation des particules entre-elles

**Tassement structural :**

Compression d’un sol avec réarrangement des particules qui crée une diminution des vides donc une diminution de la porosité structurale (=macroporosité). Le **tassement structural** est **réversible**. Le sol va pouvoir **recréer de la porosité** : soit avec des **labours** soit **naturellement**.

**Tassement textural** : (=matraque le sol)

Tassement qui a un impact à l’intérieur des particules donc il réduit la microporosité. L’effet est ici **irréversible**.

### Action due à l’Homme

Il faut **éviter de passer des machines lourdes** sur le sol au printemps car sol humide et **tassement fort**  
Ce tassement a un impact économique mais aussi des conséquences environnementales :   
\_ **réduction de la porosité** (modification des cycles de l’eau et d’éléments minéraux comme l’azote)   
\_ **résistance** : **augmentation** de l’énergie nécessaire au travail du sol

**Méthode des cylindres** : **densité apparente** (**da**)

On connait le volume total du cylindre. On récupère donc un volume qu’on connait. L’échantillon est passé à l’étuve pour obtenir la masse du sol sec. Le problème de cette méthode c’est qu’elle ne teste qu’une petite surface (≈5cm²) il faut donc répéter la manipulation. Problème lorsqu’il y a présence de caillou et quand sol sec. Mesure utilisée uniquement pour la recherche.

**Da = Msec/Vtotal en g/cm3**

Le **volume total contient la fraction solide, liquide et gazeuse**.  
Quand on tasse un sol, le **volume de gaz et le volume de liquide** **diminue**. Le volume total diminue et la densité augmente. La da est toujours comprise entre 0.5 et 1.8.

La **méthode la + utilisée** est le **profil cultural**. Fosse de 3 à 4 mètres de long et 1 à 1.5 mètre de fond. Permet de connaître la structure du sol avec observation de la diversité. Partition horizontale puis verticale. Partition verticale due aux passages de roues. Si pas de porosité : motte de sol ∆ et si porosité : motte de sol ᴦ. Il y a 80% de ∆ et 20 % de ᴦ 🡪 sol tassé. Ce qui est important est de savoir où est le sol tassé, ceci permet de le régénérer.

## Propriétés du sol : sensibilité au tassement

### Le comportement mécanique du sol

La **cohésion** : c’est la résistance à la rupture des liaisons existant entre les éléments structuraux, la **cohésion augmente si l’humidité diminue** 🡪 compliqué de briser un sol sec

**L’adhésivité** : c’est l’adhérence de la terre aux pièces de travail, elle augmente avec l’humidité jusqu’à un maximum au-delà duquel on ne peut plus travailler la terre.

La **plasticité** : c’est l’aptitude du matériau à une déformation permanente, elle **augmente** **avec l’humidité**. Comme l’adhésivité elle **n’existe pas chez les sables.**

La **sensibilité au tassement** : sensibilité d’un sol face au tassement par une charge ou par un engin. Elle dépend aussi des comportements mécaniques du sol : cohésion adhésivité et plasticité.

Hcc

L.S.P.

L.I.P.

Etat plastique = terre humide  
Déformation du sol avec cohérence qui baisse  
🡪 seuil critique Hcc

Etat cohérent = terre sèche  
Difficile à travailler

Etat liquide = terre très humide  
boue : porosité remplie d’eau, pas de tassement mais destruction de la surface du sol

Humidité

**Gamme d’humidité = LSP – LIP** 🡪 le mieux pour travailler le sol est d’avoir une grande gamme.

### Facteurs influençant le tassement

**Cohésion et adhésivité** en fonction de l’humidité du sol et de sa texture :

**Argiles** très cohérents, pas sensibles au tassement. Leur problème est la plasticité. La gamme d’humidité des argiles est faible, donc le temps pour travailler le sol est court 🡪 problème pour entrer sur le sol sans le tasser.

**Sol sableux** : facile à briser, pas de cohésion. Si pas d’eau, tassement facile. Très peu de plasticité. Beaucoup de jours disponibles dans l’année pour travailler le sol.

**Sol limono-argileux** : meilleure cohésion que le sable mais moins bonne que les argiles. Le principal facteur pour le tassement est l’argile et la MO (plus il y en a plus moins il y a de tassement).

## Régénération

### Naturelle des sols sous l’action du climat

**1er phénomène** est lié au **climat** : **gonflement/retrait**En été, alternance pluie/sécheresse  
En hiver, le gel : l’eau liquide d’une motte de terre passe sous forme solide en asséchant l’eau.

Après ajout d’eau, on devrait avoir les deux courbes qui se superposent, or ce n’est pas le cas. L’air a pris sa place et quand on remet de l’eau dessus, l’eau va s’infiltrer dans les feuillets d’argile, elle va humidifier les feuillets en emprisonnant de l’air à l’intérieur = Vtotal

1. Sol très humide : boue (100g) Vs+Vl car boue. Au cours du temps, V diminue car Vl diminue.
2. Entrée d’air : le volume de sol ne baisse plus proportionnellement au volume de liquide.   
   **V = Vs + Vl + Vg = retrait résiduel**, perte de l’eau qui reste (Vl⭨ et Vg🡕)
3. Limite de retrait : continue à perdre de l’eau 🡪 échantillon très sec (Vl = 0)

Le **sol gagne en porosité fissurale grâce au gonflement/retrait**. Il faut au moins 20% d’argiles (smectite et montmorillonites).

+ on va vers les sables moins l’activité structurale est bonne. La MO a tendance à baisser le pouvoir du gonflement/retrait.

### Vie du sol

**Action des racines** : Le système racinaire n’a pas assez de pour percer le sol tassé. On parle de plantes structurales car elles ont le pouvoir d’augmenter la porosité. Mais il faut qu’il y ait déjà un peu de porosité. Les racines se développent en longueur et en diamètre. C’est avec l’augmentation du diamètre des racines qu’est créée la porosité. Aucune racine ne crée de la porosité, elle l’augmente juste.

**Action de la faune sur le sol** : Les macroorganismes sont responsables des trous dans le sol (termite, fourmi, lombric). Les verres de terre créent aussi de la microporosité.   
Vers de terres épigées : peu utiles pour créer de la porosité 🡪 rôle dans la décomposition de la MO  
Vers de terres endogés : créent de la porosité dans les 30ers centimètres du sol (légère préférence horizontale)   
**Vers anéciques** : infiltration + déplacement vertical ce qui facilite l’entrée de l’eau.

Même après tassement les vers refassent des galeries. Il faudrait 4 ans aux vers pour régénérer un sol.

### Les pratiques pour ne pas tasser ou décompacter

* Choix de la date d’entrée dans la parcelle (attention à ne pas dépasser la Hcc)
* Choix d’itinéraires techniques adaptés pour le travail du sol
* Diminution des pressions exercées (jouer sur les pneus et la vitesse : pneu large basse pression, doublage des pneus)
* Localisation du tassement sur une faible surface (passages maîtrisés ou roues cages)

Pour décompacter :

* Observer avant d’agir (faire une fosse)
* Choisir l’outil adapté
* Le réaliser en bonnes conditions uniquement
* Observer après pour vérifier

# Eau et sol

## Définition de l’humidité du sol

* **Massique** : **Hm (ω)** = (masse eau / masse sol sec) \* 100 en %
* **Volumique** : **Hv (ϴ)** = (volume d’eau / volume sec) \* 100 en %  
  **Hv = Ve / Vs = (Me / ᵨe) \* (ᵨa / Ms) = Me / Ms \* ᵨa / ᵨe = Hm da**
* **Teneur en eau** : **ф = masse eau / masse sol sec**

L’humidité du sol est exprimée **en mm** :

Hmm = Hm% \* zmm \* da \*10-2 = Hm% \* zdm \* da

## Les divers modes de rétention de l’eau par le sol

### Les forces qui agissent sur l’eau

Il y a trois types d’eau en fonction des forces qui s’appliquent sur elles :   
\_ **eau inutilisable** : **F > S** 🡪 absorbée par les mottes de terre  
\_ **eau utilisable** : **F < S F > P** 🡪 absorbée par les radicelles  
\_ **eau gravitaire** **: F < P** 🡪 eau coule sous l’effet de la gravité

### Le potentiel de l’eau

Etat énergétique d’un sol :

* **Energie potentielle** de l’eau :   
  \_ Rapportée à une unité de masse d’eau : ф en J/kg  
  \_ Rapportée à une unité de volume d’eau : P (pressions) Pa, Bar, ATM  
  \_ Rapportée à une unité de poids d’eau : H (charge hydraulique) en cm d’eau

Avec ф = P / ᵨe et H = P / (ᵨe\*g)

**Potentiel total de l’eau** : ф = фg + фp (simplifiée)

Фp (insaturé) 🡪 potentiel de pression ou Hp. Tient compte de l’adsorption et de la pression capillaire

Фg (saturé) = gZ 🡪 potentiel gravitaire ou Pg ou Hg

Mesure de la **capillarité** : Loi de Jurin h (en cm) = ∆P / (ᵨe \* g)   
avec ∆P = P0-P1 = (2γ) cosα / r avec γ tension superficielle de l’eau et r rayon du tube capillaire en cm

Etat de l’eau :

* Si le sol est saturé en eau :   
  \_ фp ou Hp es positif  
  \_ фg ou Hg >> фp 🡪 eau gravitaire
* Si le sol n’est pas saturé en eau  
  \_ фp est négatif 🡪 le potentiel de pression abaisse le potentiel de l’eau et pF lié au potentiel de l’eau

Expression du potentiel de pression en zone non saturée  
\_ фp = potentiel matriciel  
\_ Valeur absolue = succion de l’eau par le sol

## Notion de potentiel capillaire ou matriciel

### Définition (à connaître)

Le **potentiel matriciel** est égal à la quantité d’énergie qu’il faut fournir à 1cm3 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.

Il s’exprime en Pa, bars et cm : 1 à 106 kPa **pF = log de la Pression négative P (en cm)**

Transformé en **pF** = log (-Hp) : 1 à 7 (1 = eau libre peu d’NRJ et 7 = eau liée beaucoup d’NRJ)

### Mesure du potentiel capillaire : le tensiomètre

Permet de mesurer le **pF**. Appareil fonctionnant avec plusieurs sondes reliées à un manomètre.

### Relations Humidités et pF

Pour les **sables** : **humidité < 10%** 🡪 **eau liée +**  
Pour les **limons** : **humidité > 20%** 🡪 **eau liée ++**  
Pour les **argiles** : **humidité > 30%** 🡪 **eau liée +++**

## Humidités caractéristiques du sol

### Définitions

**Hst** (**humidité à saturation**) = quand sol est saturée en eau (intéressante mais sans plus)  
**Hcc** (**humidité à capacité au champ)** = le sol se ressuie. L’eau s’infiltre dans le sol : il ne reste plus que les microporosités 🡺 **volume maximum que peut occuper l’eau**

Cette humidité caractéristique (= point de flétrissement) correspond à un pF = 4.2 🡪 plante n’a pas assez d’énergie pour récupérer l’eau. Le mieux se situe pour une capacité au champ maximale.

Estimation de la Hcc, HpH4.2 et He :

* Pour une large gamme de terres :   
  **Hcc** 🡪 He : 0.59A + 0.16 Lf + 5.47 si > 20% on garde cette formule  
  He : 0.51A + 0.14Lf + 7.35 si He < 20% pas la bonne on passe à la deuxième formule

Il faut ajouter un correctif si MO > 1% : 0.75 \* MO + 0.93 à la formule

### Mesures des humidités

Méthodes mesures de l’humidité :   
\_ **Hm** : boîte à humidité + étuve \* densité  
\_ **Hv** : (utilise directement le volume d’eau) cylindre + étuve, sonde à neutrons (rencontre une résistance qui est de l’eau donc les électrons reviennent à la sonde) et TDR (avec du courant, résiste plus ou moins en fonction du courant de l’eau dans le sol + résistant = + d’eau)

## Le sol réservoir d’eau pour les plantes : calcul de la capacité de rétention R.U. ou R.F.U.

Pour calculer l’humidité de la R.U. :

Hmm= [Hcc massique – HpF4.2] \* da \* zdm = [He – He/2] \* da \* zdm

**R.U. (en mm) = (Hcc massique – HpF4.2) \* da \* z \* (1-x) \* (1-y)**

* Avec :

\_ Hcc en %  
\_ HpF4.2 = à peu près ½ Hcc  
\_ da : densité apparente da = 1.6 – 0.0153A  
\_ z : profondeur de sol considéré en dm  
\_ si cailloux non poreux 🡪 % de terre fine = (1-x) avec x % de cailloux sous forme décimale (on les enlève car il n’y a pas d’eau)   
\_ y renvoie aux mottes ∆ sous forme décimale

# Erosion des sols et stabilité structurale

## Phénomène de battance, ruissèlement et érosion

### Les facteurs intervenants dans l’érosion

**Intensité** : grande quantité d’eau d’un coup  
**Durée** : + elle est longue + il y a un impact érosif

Création d’eau en excès quand la perméabilité est insuffisante 🡪 création de flaques  
De plus, s’il y a une pente il y a mise en mouvement de l’eau qui crée le ruissellement avec une certaine vitesse 🡪 création d’une force qui a tendance à arracher les particules du sol. Si le sol est peu stable alors particules facilement détachables.

### Mécanismes des différents types d’érosion

2 types : **diffuse** et **concentrée**

Quand la pluie arrive sur le sol, elle désagrège les particules du sol : elle va les arracher. La première mise en mouvement est **l’effet splash** (=chute d’une goutte d’eau). La mise en mouvement va remplir les trous de surface 🡪 création de la **croûte de battance** (=remplie de porosité). Ceci entraine un excès.   
Quand ce phénomène s’applique sur une grande surface : érosion **diffuse** 🡺 quand toutes les **porosités sont bouchées**. La battance équivaut à la formation d’une croûte sédimentaire.  
Erosion concentrée correspond à la création d’un ravinement.

L’érosion est le **principal problème des sols en France**

### Le rôle de l’agriculture dans le développement de l’érosion

Le système viticole a souvent des problèmes d’érosions 🡪 besoin de remonter les sols

* **Augmentation de la taille** **des parcelles et suppression des haies** 🡪 allonge la pente donc augmente la force de ruissellement.
* **Diminution des surfaces** **en prairies et extensions de culture peu couvrantes** (type maïs) 🡪 sols nus donc moins protégés.
* Modifications des méthodes de travail du sol :  
  \_ **augmentation** du **poids des machines** 🡪 création des rigoles avec les pneus  
  \_ **augmentation** de la **vitesse de travail** 🡪 création de terres fines et battance  
  \_ **augmentation** de la **profondeur de travail du sol** 🡪 diminution de la teneur en MO et de la stabilité structurale
* Modifications des méthodes de travail du sol mais techniques améliorantes :   
  \_ **drainage** : permet d’améliorer et de prévenir l’érosion  
  \_ **sous-solage** : permet de redonner de la perméabilité au sol  
  \_ **non-labour**, désherbage chimique 🡪 pas de création de terre fine donc évite la battance.
* **Fertilisation et amendements** des sols :   
  \_ **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

## Etude de la propriété du sol : la stabilité structurale

### Définition

C’est **l’aptitude à résister à l’action dégradante des pluies**

### Mécanisme de la stabilité structurale

**Expérience** : sol avec calcium bouge pas trop alors que sol avec sodium gonfle et agrégat éclate.  
Création de **l’indice de gonflement** : **indice faible = sol instable**

Autre expérience en prenant compte de la taille des agrégats. Met des agrégats de plus de 2mm dans de l’eau puis mesure après repos le % des agrégats stables supérieurs ou égaux à 200µm.

Or on observe que les deux théories ne sont pas toujours cohérentes donc on émet une hypothèse comme quoi il y aurait un **deuxième mécanisme que le gonflement**.

**Mécanisme d’éclatement des particules** :

L’eau arrive sur un sol sec 🡪 éclatement des particules du à l’air qui est comprimé dans les particules.

Le modèle théorique **: S = C – Pi** avec **S** : stabilité et **C** : cohésion à l’état humide (=force qui permet à des particules d’être liées entre elles) et Pi : pression interne

Si sol est **instable**, **S est négatif C<Pi**Si sol **stable**, **S est positif C>Pi**  
La **cohésion** **diminue** avec l’humidité d’un sol. Un sol argileux est + cohérent que les autres sols.   
L’air crée également de l’instabilité.

Formule du calcul de la Pi :

**Pi = F/ S** = (2∏RT cos α) / (∏R²) = 2 (T cos α / R)

Avec Pi: pression interne, R: rayon des plus gros pores, T: tension superficielle, α angle de raccordement entre le sol et l’eau.   
Plus la terre est mouillable plus il y a de l’éclatement. Α dépend de la quantité de MO.

### Les facteurs de la stabilité structurale

1. Ce qui est témoin de la stabilité structurale est la teneur en argiles.
2. **Garniture ioniques** : Ca2+ stable alors que Na+ instable
3. **Matière organique**

### Méthodes d’évaluation de la stabilité structurale

1. **Analyse d’agrégats** (test qui permet d’utiliser la formule vue avant)

* Mottes de terres non broyées, séchées à l’air 🡪 choix d’agrégats secs dont le diamètre est inférieur à 2mm.
* Action brutale de l’eau sur les agrégats :   
  \_ mesure des agrégats qui conservent un diamètre > 200µm = agrégats dits stables  
  \_ mesures des éléments dont le diamètre est < 20µm = A+L  
  \_ mesure sable grossier (SG) (pour différencier sables et agrégats dits stables) à extraire des calculs
* Trois traitements sont pratiqués :   
  \_ traitement 1: aucun prétraitement avant action brutale de l’eau : %Age stabilité dans son ensemble S = C (⭨) – Pi (🡕)   
  \_ traitement 2 : prétraitement à l’alcool puis action brutale de l’eau : %Aga ce test ne permet pas de dire la quantité en argile mais seulement s’il y en a assez ou pas. S = C (⭨) - Pi  
  \_ traitement 3 : prétraitement au benzène puis action brutale de l’eau : %Agb permet de dire s’il y a de la MO ou pas si bouge pas alors présence de MO. S = C – Pi (🡕)

Indice global de stabilité :

(A + L) max en %  
Is= ------------------------------------------- Si is grand alors sol instable  
 ((Age + Aga + Agb) / 3 – 0.9 SG))

Test de percolation: indice K en cm/h

I \* V  
K = ------- avec I hauteur de la colonne de terre en cm, V volume recueilli au bout d’1 H en cm3  
 H \* S H hauteur en cm dans le tube au-dessus du filtrat et S section du tube en cm²

Si le sol est instable alors la vitesse d’infiltration est très lente car les agrégats sont instables.

Henin s’applique uniquement aux sols secs : quand sol mouillé il n’y a plus du tout d’effet de la Pi

Conclusion sur les mécanismes existants:   
La dispersion et le gonflement (Ca et Na) d’après Schlœsing  
La désagrégation par éclatement dans le cas d’agrégats sacs d’après Henin  
La désagrégation sans éclatement : arrachements / chocs de gouttes de pluie pour terre humide

### Méthodes basées sur le suivi de l’évolution structurale observées en conditions contrôlées

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 des pluies modérées (éclatement, peu d’action mécaniques)   
\_ traitement 3 : comportement de **matériaux humides, ré humectés** préalablement sans provoquer d’éclatement.

## 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 (chaulage ou non-labour)
* **Accroître** **l’infiltration** et **diminuer les** **écoulements** :   
  \_ infiltrations instantanées, retardées (haies et bosquets)
* **Limiter** les **concentrations parcellaires**
* **Etaler les** **écoulements concentrés**
* **Maîtriser les** **écoulements, leur vitesse et les énergies**
* **Augmenter les** **résistances du lit et ses abords**
* **Maîtriser la** **sédimentation**
* **Artificialiser les écoulements**
* **Labourer et semer** dans le travers de la pente