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 joue sur la chimie des sols et sur la dynamique des cations. Elle va les dissoudre et les amener en profondeur. La naissance des sols est 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 première 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 différencie 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= pas 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. Un échantillon de terre est lui-même variable. Le sol est variable mais tout de même formé en agrégats. Le premier facteur qui fait varier les sols va être le climat et ceci indépendamment de la géologie. La géologie est cependant le deuxième responsable. On observe que les grands contours géologiques sont liés aux grands contours des sols. Le climat, le sol et la géologie sont liés. Le troisième facteur est la topographie. 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 trois parties : liquide, solide et gazeuse. Un sol équilibré contient ces phases 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 : ce qui n’est pas de la phase solide. Cela peut être 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 plus de cela, on va regarder la matière organique. L’ensemble « composition minérale + matière organique » doit donner 100%. Si la matière organique est 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 on parlera de 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 :

Pour comparer les éléments minéraux d’un sol, on se réfère au triangle des textures. Ce triangle 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 est une propriété importante du sol. Il est dépendant de la texture du sol. Les sols les plus 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. Elle touche plus particulièrement les sols limoneux. La battance est le phénomène qui a tendance à dés agglomérer le sol par l’impact de gouttelettes d’eau et donc à créer une couche qui colmate sur quelques mm. Ceci est très embêtant pour l’agriculture car il y a des risques d’érosion et donc de ravinements. De plus, il y a d’énorme perte en O2. Ces couches apparaissent sur un sol nu qui a été travaillé finement. Le gonflement/retrait est un phénomène qui 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. C’est la capacité du sol à stocker les cations (en meq/100g).  
Matière organique : humus (=phase solide organique du sol). Cette phase n’est pas constante dans le sol. 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. : + les chaînes carbonées sont longues + la minéralisation est longue et inversement. Ceci varie selon un facteur 100. 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 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. Plus on se trouve haut dans le triangle des textures plus il y a une stabilité structurale importante. Plus 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 plus 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 ces 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 : porosité qui se situe dans les espaces entre les grains. Peu affecté par le tassement.   
Macroporosité : diamètre supérieur à 0.1millimètre d’où écoulement gravitaire de l’eau  
Microporosité : diamètre inférieur à 0.1millimètre d’où rétention capillaire de l’eau  
C’est l’eau qui est retenue dans les capillaires qui ira aux plantes. Plus il y a de macroporosité moins il y aura de stock d’eau. La macroporosité correspond à la porosité inter-agrégats et la microporosité à la 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 : c’est le rapport de d’un échantillon sec sur ce même échantillon en solution. Plus la densité apparente est élevée plus 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. Plus il y a d’argiles plus 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. La solution du sol correspond au menu du jour, elle est contenue dans le site d’échange qui est lui le garde mangé du sol.

Le sol, réservoir d’eau pour les plantes

Réserve utile du sol : réserve d’eau contenue dans qui peut être utilisée par la plante. La capacité d’une eau 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.   
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

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.

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 microporosité. 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 plus 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. L’autre classe est celle des 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 sont le granite, la granodiorite, la diorite, le gabbro et la péridotite (=roche issue du refroidissement très lent des roches plutoniques. Elles vont de la roche la plus pauvre en minéraux à la plus riche en minéraux. Même chose pour les roches volcaniques : Rhyolite, dacite, andésite et basaltes.

Plus une roche est dure moins elle sera altérable par l’environnement et la plante.

1. Les minéraux argileux

Ils correspondent à 30% des argiles granulométriques. Ce sont des silicates (=silices mélangées à du fer sous forme de feuillets). Ils ne dépassent pas les 2 micromètres. Ils ont une forme lamellaire. 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) une couche de tétraèdre et une couche d’octaèdre. Très stable, aspect de feuillets indépendant à épaisseur constante (7Å). Ne peut pas fixer d’eau. C.E.C :2meq/100g (C.E.C : capacité d’échange cationique).
* Modèle TE-OC-TE (2/1) Al domine dans les OC épaisseur constante des feuillets (10Å) Exemple : Illites  
  Mg dominant dans les OC, épaisseur variable des feuillets (>15Å)   
  Exemple : Vermiculites -> moins d’intérêt  
  Il y a la smectite montmorillonite avec des feuillets variables en épaisseur.   
  C.E.C : 100meq/100g Les plus 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

On analyse seulement la granulométrie pour les argiles. 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 (création de ponts calciques mais le calcium peut vite casser ces liaisons soit par lessivage soit par absorption de la plante)   
  \_ cf. C.E.C
* Fixation et rétention de l’eau (utilise le même phénomène que pour les ponts calciques)
* Floculation/dispersion : capacité qu’ont les feuillets à s’agréger entre eux. Lorsqu’il y a défloculation, les blocs de terre sont déstabilisés. Dans ce cas-là, on fait ce que l’on appelle un amendement calcaire ce qui signifie qu’on va refaire les ponts calciques et redonner au sol une stabilité qui n’avait pas. Un sol non calcifié est peu rentable et influe sur le pH.

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. Ceci est mauvais pour les cultures.   
Les sesquioxydes de fer peuvent être sous 3 formes :   
(peuvent facilement subir des oxydo-réductions)   
Les hydrates ferreux sont mobiles et vont se concentrer pour s’oxyder.  
L’hydromorphie est la dynamique qui fait que l’on passe de la goetite à des hydrates ferreux. 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 alors la zone est considérée comme une 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…). Les sels sont très importants car ils servent de nutriments pour les plantes et il joue un rôle structurant à travers les ponts calciques.   
Les sels sont retrouvés dans le complexe argilo-humique. Les acides humiques jouent à la fois un rôle d’électronégativité et un rôle structurant car il permet de fixer les feuillets d’argile les uns aux autres. 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. Plus un sol est brun foncé ou noir, plus il contient du carbone.   
On différencie la matière organique libre (éléments figurés et biomasse microbienne) de la matière liée (produits transitoires et humus). On dit matière organique 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. Plus il y a de matière organique plus 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 à une valeur pour laquelle 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 matière organique fraîche en en matière organique 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) et le modèle pluricompartimental. Le premier date d’il y a 50 ans. Il a été modélisé par Henri Henin. Il 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. Le coefficient de minéralisation dépend essentiellement du type de sol et plus précisément de la teneur en argile et en carbonate de calcium.   
Les feuillets d’argile forment de liaisons avec le carbonate de calcium ce qui protège l’acide humique donc les azotobacters ont des difficultés à les digérer donc il y a une augmentation d’humus.

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 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. C’est une mesure très précise. 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 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 alors il faut lui 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 plus facile d’augmenter la C.E.C d’un sol en apportant des acides humiques. Cela stabilise aussi la structure du sol car les acides humiques fixent les feuillets d’argile entre eux. De plus la M.O ensemence le sol en microorganismes. La matière organique doit présenter du phosphore car ces ions sont attachés à des atomes de calcium ce 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 pédagogiques

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. Plus on remonte dans les moraines plus le sol est récent. Ceci permet d’analyser comment évoluent les sols avec un climat agressif comme le climat montagnard. 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. Plus on descend dans le glacier, plus 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 le 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 plus 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 plus 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  
Pas 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. Erosion est vraiment n phénomène naturel.

1. Les facteurs d’évolution :

Ce sont des facteurs bioclimatiques : homothéties entre climat et pédologie. La roche est le premier facteur d’évolution du climat.   
Le sol s’est renforcé au quaternaire. Quand on analyse un sol on s’intéresse aux affleurements ainsi qu’à la diversité des érosions et des altérations. Les sols du quaternaire ont subi le phénomène de 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, on observe un sol brun alors qu’en profondeur il y a un 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. Descente des argiles en profondeur.

Plus on monte plus le climat est rigoureux 🡪 apparition de forêt de résineux due à la podzolisation. Sachant que l’on perd 1°C tous les 200m d’altitude et 1°C tous les 150km en latitude.

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).Les milieux basaltiques sous nos climats sont riches en cations ce qui donnent des argiles de type 2/1.   
En fonction de la pétrographie ou de la géologie on peut influer sur le type de sol.

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 plus en plus 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 sont des sols que l’on trouve sous les climats tempérés. Ce sont des sols fertiles.   
Les chernosols se situent sous des 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) et les vertisols (argiles lourdes) peuvent produire de façon correcte : représente 20 % de la surface agricole.   
15000 millions d’Ha mais seulement 2000 millions de fertiles. Les récoltent 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 (= type de représentation géographique de la carte). On a 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. Sur un paysage, on peut avoir des types de sols très différents.

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 |

La précision et l’échelle sont intimement liées.

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 résulte d’une même logique cartographique. On parle donc d’efficience : qui est la capacité à regrouper des unités de paysages communes.

Unités cartographiques des sols : plusieurs unités de type de sols  
\* tous les sols de terrasses et bas-fonds  
\* toutes les collines

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

Le coût d’une carte est proportionnel aux nombres d’observations réalisées sur la parcelle et le nombre d’observation est inversement proportionnel à la précision.

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 : le sol est capable de 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 correspond en fait à 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

Hydrométrie 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 plus 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
* Approfondissement en mai 2012 avec les sorties de terrains
* Approfondissement en 3ème année 🡪 lien avec les pratiques agricoles

Pourquoi étudier le comportement du sol ?

Pour prévenir la dégradation du sol dues 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 selon 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 bon témoin pour l’hydromorphie. Les minéraux ont un rôle de rétention dans le sol.

Les sels :

Le carbonate de calcium est le plus 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 grâce à sa charge négative de récupérer les éléments du sol 🡪 évite le lessivage et donc maintien des nutriments de la plante. La formation du complexe a trois 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 absorbant :

* 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’absorption des ions : (dépend des minéraux)

* Principaux ions du sol :  
  \_ Cations : Ca2+, NH4+, Na+, Al3+, Fe3+, Fe2+, Cu2+, Zn2+ 🡪 pouvoir absorbant  
  \_ 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’absorption des ions :   
  \_ ions absorbés 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 Metson :

Quantité d’ions NH4+ qu’une masse donnée de terre peut retenir à l’état échangeable lorsqu’elle est traitée avec une solution d’acétate d’ammonium et de pH = 7.

CEC effective, taux de saturation du complexe absorbant :

* 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)   
\_ plus 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 états 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 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 plus 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 plus 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).

Plus 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

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 : plus elle est longue plus 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 présence d’incisions 🡪 concentration de l’érosion et création du ravinement (érosion concentrée).

Erosion diffuse correspond à un sol glacé 🡪 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 plus 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