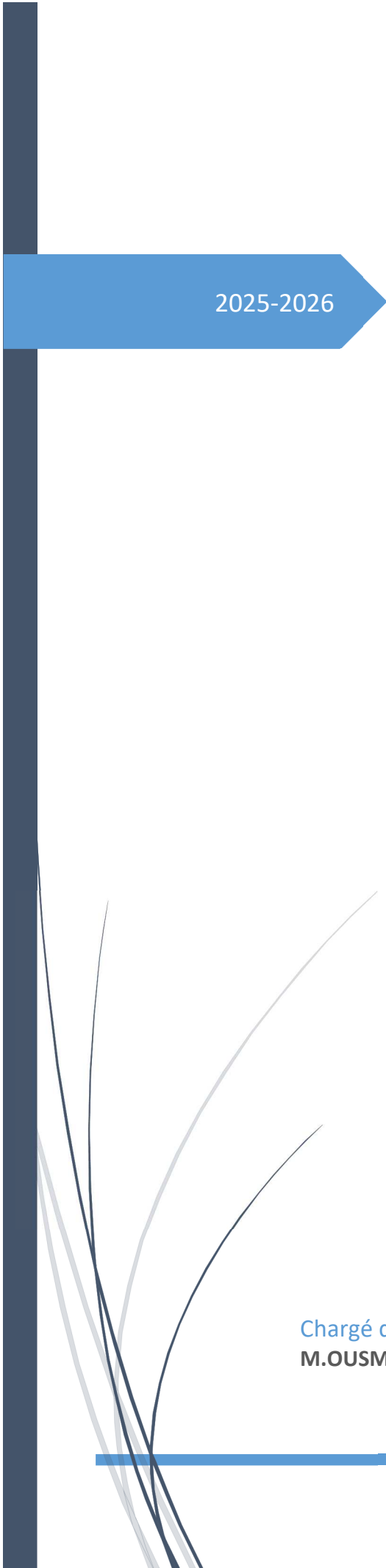


A thick dark blue vertical bar is on the left. A blue arrow points right from it, containing the text '2025-2026'. Below the arrow, several thin, curved lines in dark blue and light grey sweep upwards from the bottom left towards the center.

2025-2026

cours : PEDOLOGIE GENERALE

Niveau : Tronc commun PA, SA et
TTPA (L1)

Chargé de cours

M.OUSMANE YOUSOUF MAHAMAT

A solid blue horizontal bar spans the width of the page near the bottom.

I- INTRODUCTION	3
II- ETUDE DES SOLS.....	4
II-1 Une approche agronomique.....	4
II-2 L'approche écologique	4
II-3 L'approche environnemental	4
II-4 L'aménagement du territoire	4
II-5 L'approche pédologique.....	5
III - FONCTIONS DES SOLS	5
IV- NAISSANCE, DEVELOPPEMENT ET DISPARITION D'UN SOL	6
CHAPITRE II- ALTERATION DE ROCHE DES MINERAUX ET FACTEURS DU SOL.....	7
II-1 DEFINITION	7
II-2 Altération des roches et des minéraux	7
II-2-1 Les processus physiques.....	7
II-2-2 Les processus chimiques	7
II-2-3 Les processus biologiques	7
II-3 Facteurs de formation du sol	7
II-3-1 Les facteurs entrant en jeu	7
II-3-2 Formation du sol.....	8
II-3-3 Pédogénèse et facteurs pédogénétiques	8
II-3-3-1 Définition et généralité.....	8
II-3-3-2 Les facteurs pédogénétiques.....	9
II-3-3-3 Les facteurs et les agents biologiques	10
II-3-3-3-1 Facteurs biologiques	10
II-3-3-3-2 Les agents biologiques	10
II-3-4 Les étapes de la formation du sol.....	11
II-3-4-1 Evolution de l'altération et de la pédogenèse	12
II-3-4-2 Minéralisation des matières organiques	12
II-3-5 Horizons pédologiques	13
II-3-5-1 Définition.....	13
Tableau1 : Les principaux horizons de référence	13
II-3- 6 Profils pédologiques.....	14
II-3- 7 Couverture pédologique.....	15
Chapitre III- Les constituants du sol.....	15
Généralités	15

III-1 La fraction minérale du sol	15
III-2 Fraction organique du sol.....	17
III-3 Composition de fraction organique du sol.....	18
CHAPITRE IV – LES PROPRIETES DU SOL	19
et du temps d'évolution du sol. Les propriétés sont physiques, chimiques et biologiques.	19
IV-1 La texture	19
IV-2 La structure du sol	20
IV-3 L'humidité du sol ou eau du sol	21
IV-4 Atmosphère du sol.....	21
IV-5 Température du sol	22
BIBLIOGRAPHIE	23

CHAPITRE I- INTRODUCTION ET GENERALITE

I- INDRODUCTION

La Pédologie ou science des sols est une science qui étudie la formation, la genèse, les propriétés et la classification des sols. Elle trouve de nombreuses applications notamment dans les domaines d'agronomie et d'écologie. (*Pédologie, du grec pédon ou sol et logie lógos ou science, étude*).

La pédologie est une science récente qui n'a acquis une véritable expansion qu'en **1877** sous l'impulsion de danois Muller et surtout du géologue russe **VASSILI DOKOUTCHAEV**, il avait remarqué que : le sol dans une région donnée, quel que soit la roche sous-jacente présente de caractères identiques alors qu'une même roche sous climat différent ne donne pas les mêmes sols.

Le sol est une couche ou un ensemble de couches d'épaisseur faible (quelques centimètres à quelques mètres) qui recouvre la plupart du temps les roches. Cette couche est en relation directe avec la vie végétale.

Le sol est la couche la plus externe de la croûte terrestre résultant de l'interaction entre la lithosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère (*Tous les sols qui prennent ou ont pris naissance à la surface de la lithosphère forment la pédosphère*). Il passe donc par de phase successive de genèse puis de la maturité aboutissant ainsi à un état d'équilibre stable avec la végétation naturelle.

Tous les agriculteurs et les naturalistes savent qu'il existe différents types de sols. La couleur, les proportions des cailloux, le comportement après les pluies et la profondeur sont des caractères qui varient beaucoup, parfois à l'intérieur d'une même parcelle. Depuis un peu plus d'un siècle, de nombreux chercheurs ont appliqués différentes techniques pour étudier les sols. On sait maintenant que la matière du sol est constituée par des éléments minéraux, cristallins ou amorphes, et par des éléments organiques, vivants ou résiduels. Cette matière est constamment soumise à des variations d'état du fait des variations du climat et de l'atmosphère avec laquelle elle est en contact par sa partie supérieure. Le sol n'est donc pas un ensemble statique de corps matériels, c'est avant tout un complexe dynamique évoluant dans le temps.

Le sol est vivant, il autorise la coexistence de très nombreux organismes de tailles très diverses et fait du sol un réservoir unique de biodiversité microbienne, animale et végétale. Il résulte de la transformation de la couche superficielle de la roche-mère dégradée et enrichie en apports

organiques par les processus vivants de pédogenèse. Le sol est une ressource naturelle, peu ou lentement renouvelable.

II- ETUDE DES SOLS

L'étude de sol peut être abordée de diverse manière :

II-1 Une approche agronomique

Le sol est envisagé comme le milieu naturel au sein duquel croissent les plantes cultivées. C'est donc la gestion correcte de ce capital du sol qui intéressera l'agronome l'amélioration de son niveau de fertilité ou par la mesure conservatoire qu'il peut lui apporter. Les agronomes nomment parfois « sol » la partie arable homogénéisée par les labours et explorée par la racine des plantes. On considère qu'un bon sol agricole est constitué de 25% d'eau, 25% d'air, 45% de matière minérale et 5% de matière organique.

II-2 L'approche écologique

Elle vise plutôt à replacer le sol dans un contexte écosystémique. Un des objectifs majeurs sera dès lors que l'étude causale de relation réciproque : sol-couverture végétale-facteurs climatiques.

II-3 L'approche environnementale

L'absence peut aussi être mis sur le rôle de filtre que joue le sol à l'interface atmosphère, hydrosphère, lithosphère. C'est alors leur comportement spécifique vis-à-vis des différents types de pollution d'origine anthropique (métaux lourds, hydrocarbures...) qui sera étudié.

Cette approche environnementale a connu un développement ces dernières années. Elle vise non seulement à la compréhension des effets de polluants sur le sol et parfois de conséquence sur les plantes qui y croissent, mais aussi à la mise au point des normes de sauvegarde et des méthodes permettant leur revalidation.

II-4 L'aménagement du territoire

Il distingue de catégories d'occupation du sol avec les sols agricoles, sols boisés, sols bâtis et les autres sols.

Pour un ingénieur civil, c'est un support sur lequel sont construits les routes, et fondés des bâtiments. Pour l'ingénieur d'assainissement le sol est un récipient de dégâts domestiques et municipaux. Pour l'hydrologue ou hydrogéologue, le sol est un manteau vivant et végétalisé et permettant le cycle de l'eau.

II-5 L'approche pédologique

En fin dans une approche proprement pédologique, le sol sera un visa comme la résultante de l'action des facteurs du milieu sur un matériau parent ou substrat géologique déterminé. Dans ce cas, le sol constitue en lui-même un objet d'étude et on s'attachera donc à analyser et interpréter ces propriétés en relation avec les processus qui ont déterminés son développement quel qu'en soit l'intérêt pratique.

La connaissance du constituant du sol, de leur composition et de leur principal propriété physico-chimique constitue en tout état les causes indispensables à l'étude du milieu édaphique. Ces connaissances fondamentales permettent d'entreprendre l'étude de processus de formation du sol en relation avec les conditions du milieu, ce qui dépasse (dégager) sur la classification des sols mondiaux, leur cartographie ainsi que l'étude de leur potentialité agronomique en liaison à leur principale propriété physico-chimique.

III - FONCTIONS DES SOLS

Un sol est considéré comme sain lorsqu'il parvient à la fois à :

- Héberger un écosystème (le sol), fortement lié aux écosystèmes terrestres et parfois aquatiques via notamment la rhizosphère, et parce que le sol abrite de nombreuses espèces qui y effectuent une partie de leur cycle de vie (hibernation ou estivation notamment),
- Produire des récoltes,
- Stocker le carbone et l'azote de l'atmosphère,
- Retenir les eaux de pluie et de ruissellement. Par sa capacité à retenir les eaux de ruissellement, un sol doté d'une bonne structure permet de lutter contre l'érosion, notamment l'érosion en nappe. Les sols de qualité limitent également les risques de salinisation,
- Le sol joue aussi un rôle très important dans la fixation, la dispersion et la biodégradation des polluants.
- Le sol est un acteur-clé des cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote, du potassium, du calcium, du phosphore, des métaux,
- Le sol est un puits de carbone (le CO₂ émis par les microbes constitue l'essentiel du flux de dioxyde de carbone (CO₂) émis de la surface du sol vers l'atmosphère – Plantes près de 50 % carbone - protocole de Kyoto)

Par la richesse de ses fonctions, la diversité des formes de vie qu'il abrite et les services écosystémiques qu'il assure, le sol est considéré comme un patrimoine essentiel dont la conservation est le garant de la survie de l'humanité.

IV- NAISSANCE, DEVELOPPEMENT ET DISPARITION D'UN SOL

Le sol naît : c'est le stade de genèse, ces propriétés reflètent très fortement la roche mère. Il se développe jusqu'à atteindre un stade de maturité où il est en équilibre avec les conditions ambiantes. Son évolution est alors terminée. Si les conditions du milieu changent, le sol évolue à nouveau pour se réadapter aux nouvelles conditions. Ultérieurement le sol peut disparaître ou mourir par l'érosion ou être enterré par des apports de nature divers tels que les coulées volcaniques.

Naissance → stade de jeunesse

Développement → stade de maturation

Mort → Réadaptation

En résumé, le sol apparaît comme un matériau essentiellement vivant et dynamique qui prend naissance, qui évolue jusqu'à atteindre un stade de maturation mais qu'il peut aussi disparaître ou se modifier pour se réadapter au cours du temps.

CHAPITRE II- ALTERATION DE ROCHE DES MINERAUX ET FACTEURS DU SOL

II-1 DEFINITION

L'altération est définie comme un ensemble de processus complexe et variée aboutissant à de changement quantitatif et qualitatif des roches et des minéraux qui les composent sous l'effet de l'atmosphère et de la biosphère.

II-2 Altération des roches et des minéraux

Ces processus décomposent et désagrègent les roches produisant les grains sédimentaires et constituants dissous. Il existe 3 familles de processus d'altération.

II-2-1 Les processus physiques

Les processus physiques provoquent une fragmentation mécanique de la roche sans affecter la composition des minéraux.

II-2-2 Les processus chimiques

Les chimiques entraînent une modification de la composition chimique ou une dissolution des minéraux de la roche. Ils nécessitent la présence d'eau et sont les processus le plus important.

II-2-3 Les processus biologiques

Ils conduisent également à une fragmentation ou à une détérioration chimique des roches par l'action des organismes vivants (végétaux, animaux, bactéries). L'altération d'une roche résulte généralement de conjoint de plusieurs processus par exemple des petites fractures créées au sein d'une roche par un processus physique permettent l'infiltration d'eau qui favorisent l'altération chimique.

La dissolution est un processus d'altération chimique correspondant à la dissociation d'une substance solide dans un liquide. Certains minéraux peuvent être dissous par l'eau. Le processus d'altération chimique le plus simple, la dissolution peut être définie la mise en solution d'une substance solide que l'on appelle le solvant. Dans la nature le solvant est en général l'eau douce ou l'eau de mer.

II-3 Facteurs de formation du sol

II-3-1 Les facteurs entrant en jeu

Un sol est les résultats d'une altération superficielle d'une roche mère et un enrichissement en matière organique issue des êtres vivants du fait de la décomposition de la litière par des organismes décomposeurs. On a ainsi 3 facteurs entrant en jeu dans la formation d'un sol.

- La roche mère : ses propriétés physiques ou sa composition chimique a une influence directe sur la nature et sur la rapidité de l'évolution d'un sol.
- Les végétaux : fournissent de l'essentiels de la matière organique présente dans le sol et qui influence aussi son évolution.
- Le climat : qui affecte les deux facteurs précédant, par la température en ce qui concerne l'altération de la roche mère, et les précipitations pour les phénomènes de migration se déroulant au niveau du sol.

II-3-2 Formation du sol

Le sol se forme dans la zone d'interface lithosphère-atmosphère où se développe les organismes vivants de la biosphère. La biodynamique de sol étudie les transformations liées à l'activité des organismes vivants (flore, microflore, faune) et à la présence de la matière organique qui apporte à l'humus. Schématiquement la formation d'un sol peut se décomposer en trois (03) phases qui chevauchent plus ou moins dans le temps :

- Altération : Décomposition de la roche mère ;
- Humification : introduction de la matière organique (humus) ;
- Différenciation : Migration et accumulation des certains éléments.

La décomposition de la roche en place (roche mère) fournit un matériau plus ou moins meuble (roche mère pédologique), colonisé progressivement par une végétation de plus en plus différenciée. Celle-ci ramène sur le sol une quantité plus ou moins importante de résidus donc la transformation donne naissance à l'humus. Certains composés de l'humus en association avec les mouvements d'eau au sein du sol peuvent provoquer de déplacement des substances (migration) amenant l'apparition des couches superposées, plus ou moins distinctes, certaines appauvries et d'autres enrichies en ces substances. Ces couches sont des horizons dont l'ensemble constituent le profil.

Le déroulement de ce phénomène est plus ou moins rapide plus ou moins complet sous l'influence de divers facteurs : En un endroit donné le sol est la résultante de l'action combinée des facteurs pédologiques ; climat, roche mère, la géomorphologie, organisme vivant, le temps.

II-3-3 Pédogénèse et facteurs pédogénétiques

II-3-3-1 Définition et généralité

La pédogénèse (du grec pédon, sol et genéseos qui veut dire naissance) est l'ensemble de processus (physique, chimique et biologique) qui en interaction les uns avec les autres aboutissant à la formation, la transformation ou la différenciation de sol. La pédogénèse constitue une série des processus de décomposition et de synthèse de matières organiques et

minérales du sol. Ces processus se déroulent simultanément et sont liés entre eux inter assistent les uns avec les autres et conditionnent la formation de couche appelée horizon du sol qui diffère par l'ensemble des horizons constituent le profil caractéristique de type de sol considéré. DUCHOUFFOR (1952) a caractérisé l'évolution du sol par 3 processus distinctes :

- Décomposition et altération progressive des roches aboutissant à la formation d'un complexe d'altération au dépend des minéraux primitifs ;
- Augmentation de la teneur en matière fabriquée par la végétation qui colonise le sol en formation, l'équilibre est atteint plus ou moins rapidement suivant que les apports en débris frais compensent exactement les pertes par minéralisation.
- Déplacement des éléments solubles ou colloïdaux d'un point à un autre du profil sous l'influence de courant d'eau qui circule dans le sol, ce sont les migrations qui aboutissent à la construction de l'horizon appauvri ou enrichi.

II-3-3-2 Les facteurs pédogénétiques

La direction et le degré de manifestation de divers processus élémentaires de la pédogénèse dépendent des facteurs pédogénétiques qui sont :

- La nature de la roche mère ;
- Les organismes animaux et végétaux ;
- Le climat, le relief et le temps.

A ceux-ci s'ajoute l'activité économique de l'homme. Tous ces facteurs sont de même valeur et aucun d'eux ne peut être remplacé par les autres.

- La roche mère représente les substances minérales sur lesquelles se forment le sol. Elle se crée lors de l'altération des roches donc les produits restant sur place en formant les rigolites éluviaux où sont transportés, aboutissant à l'apparition des rigolites de transport. Sous les tropiques l'altération de roche est extrêmement instable si bien que les rigolites atteignent une épaisseur exceptionnelle et couvre une couche de plusieurs mètres. A mesure que la durée de la saison sèche augmente, l'altération chimique qui domine dans la zone équatoriale commence à céder sa place à la désagrégation physique et l'épaisseur de roche mère diminue progressivement. La roche mère agit de deux manières possibles :
 - Par sa perméabilité : une roche mère filtrante favorise de migration plus importante qu'une roche mère à texture fine.
 - Par sa composition chimique : De roche mère riche en base ou en minéraux altérables freinent ou modifient les processus migratoires.

- Les facteurs climatiques

Le climat atmosphérique est défini comme l'état moyen de l'atmosphère en un certain lieu de la surface terrestre. Il est caractérisé par la quantité moyenne de la précipitation. La nature de précipitation a plus d'importance que leur quantité moyenne quotidienne. Sous les tropiques, plus de 20% de précipitation sont sous forme de d'averse. Ce qui a une influence sur le degré d'érosion et les formes de relief. L'augmentation de précipitation sur une température élevée accroît fortement le degré de lessivage du sol.

Les facteurs climatiques jouent un rôle important dans l'accumulation d'humus. L'intensité de la décomposition et de la minéralisation des résidus organiques augmentent avec l'élévation de température annuelle.

L'excès d'humidité conduit à l'anaérobiose et l'accumulation d'humus acide peut décomposer. En cas de saison sèche prolongée, la vitesse de décomposition des résidus organiques par des micro-organismes est ralentie par les manques d'humidité.

II-3-3 Les facteurs et les agents biologiques

II-3-3-1 Facteurs biologiques

On entend par facteur biologique l'influence de la plante c'est-à-dire des micro-organismes, des insectes, des vers de terre et des animaux fouisseurs sur la pédogénèse. Ces facteurs déterminent les caractères de l'accumulation dans le sol, des résidus organiques et l'effet exercé sur le sol par les divers organismes. L'importance des organismes végétaux et animaux dans les processus de pédogénèse est plus grande.

II-3-3-2 Les agents biologiques

Il s'agit des racines, des animaux fouisseurs, champignons, bactéries, homme...Il agissent mécaniquement et surtout chimiquement. En effet tous les organismes du sol respirent et fournissent de CO₂.

- Relief

Le relief influe sur les processus de pédogénèse en conditionnant une inégalité de répartition de la chaleur, la lumière et de l'humidité à la surface de la terre. Sous les tropiques, propriétés du relief se manifestent selon les différents degrés de l'altération des roches, de l'hydromorphie, de l'argilisation, de l'humification et du drainage de sol. Grace à la raideur des pentes, l'érosion du sol conditionne la dénudation des roches sous-jacentes. Ce processus produit à la formation des jeunes sols tropicaux d'une fertilité exceptionnelle. Le relief joue un rôle important dans les processus d'hydromorphisme et d'argilisation. Sous un climat tempéré, les sols hydromorphes se forment généralement dans les dépressions.

- Temps

Le temps qui détermine l'âge du sol est une notion relative. On dit d'un sol qui est mure quand il comporte des horizons génétiques très développés et procède une structure et des propriétés stables qui varie dans les conditions de la surface terrestre.

- L'activité économique humaine

Sous les tropiques, l'activité économique humaine influe aussi sur la formation de sol, renforce souvent tels ou tels processus pédogénétiques en orientant d'une certaine façon. En Afrique tropical, le feu de brousse annuel transforme en fumée et en cendre les énormes biomasses végétatives aériennes de savane tropicale sèche. Tous les processus géochimiques de transformation de substances dans les savanes en est perturbé, l'humification est fortement influencée. Cependant, l'activité humaine n'est pas uniquement descriptive. Le feu de brousse transforme la matière du sol en cendre. D'énorme quantité d'éléments minéraux sont lessivés de sol par les pluies. Non protégé par la végétation le sol subit une érosion intense qui est le fléau de l'Afrique tropical. L'activité économique a modifié la composition de la couverture végétale et surtout les caractères de l'humus qui s'accumulent dans le sol. On y pratique des améliorations : assèchement des marais, amélioration de sol halomorphes, épandage des engrais minéraux et organiques qui enrichissent le sol en éléments nutritifs et en matière organique.

II-3-4 Les étapes de la formation du sol

On peut distinguer globalement 3 étapes :

- Altération de la roche mère

Elle est le résultat des processus physiques qui fragmentent la roche, et des processus chimiques qui dissolvent les calcaires et l'hydrolysent les minéraux silicatés pour engendrer de complexe d'altération cimentant les grains résultant de la précédente fragmentation.

- Incorporation de la matière organique par minéralisation de molécules organiques et humification

Cette étape consiste à édifier des acides humiques à partir des molécules issues de la minéralisation.

- La différenciation des horizons

Les horizons se différencient en fin sous l'action des eaux de l'infiltration : Les éléments solubles sont entraînés et accumulés pour former des horizons dits d'accumulation.

Un sol possède donc une dynamique dépendante des divers facteurs qui constituent son milieu.

II-3-4-1 Evolution de l'altération et de la pédogenèse

C'est la science de l'évolution de sol. DOKOUTCHAIEV a démontré que le sol est le résultat de l'action du climat sur les roches. Mais la topographie, les agents biologiques et la durée modifient les conditions et le degré d'altération. Au fur et à mesure de son évolution, le sol s'approfondie et se différencie en horizons. Souvent un équilibre relativement stable s'instaure et le sol prend une morphologie caractéristique d'un climat donné.

II-3-4-2 Minéralisation des matières organiques

La minéralisation des matières organiques consiste en la libération des éléments chimiques qui sont dans les composés organiques de la litière sous forme des substances minérales diverses. Ce sont des organismes décomposeurs, bactéries et champignons qui principalement réalisent cette minéralisation.

- Les débris végétaux

Feuille et bois mort dans les forêts, pailles ou chaumes dans les terres cultivées représentent une source de matières organiques pour le sol. Ces débris sont fragmentés puis minéralisés et subissent aussi un processus d'humification. Ces processus d'humification abouti à la formation de l'humus (le mull, mor et Moder).

- En milieu peu actif, la décomposition de litière est lente, l'horizon organique OH est brun noir fibreux et acide, on appelle de mor ou terre bruyère ;
- En milieu biologiquement plus actif l'horizon OH est moins épais et constitué de Moder ;
- En milieu biologiquement très actif, la décomposition est très rapide, l'horizon OH disparaît et appauvrit un horizon A grumeleux composé d'agrégats argilo-humique à fer et aluminium. On parle de mull.

- La fragmentation de débris

La fragmentation de débris se fait en plusieurs vagues successives. Pour les feuilles mortes par exemple, elles sont d'abord attaquées par bactérie et des champignons. Ces dernières assurent une digestion partielle des débris grâce à la sécrétion d'enzymes libérés par leur filament mycélien pénétrant à l'intérieur de la feuille par des pores dans leur épiderme. En suite les arthropodes, de ver de terre continuent cette digestion, rejetant dans leur excrément de fragment encore incomplètement digéré qui serviront de nourriture à d'autres espèces de taille plus réduite encore. La litière disparaît ainsi progressivement au cours d'une véritable chaîne alimentaire.

II-3-5 Horizons pédologiques

II-3-5-1 Définition

Les horizons pédologiques sont les couches superposées du sol, homogène et plus ou moins parallèle à la surface. Ils sont constitués de matière minérale et organique. Leur nombre varie en fonction de l'état d'évolution du sol. Les horizons diffèrent les uns des autres par leur couleur, leur texture, l'abondance d'éléments grossiers, l'arrangement spatial des constituants (solides, liquides, gazeux) et des vides associés.

En effet, la formation et l'évolution de l'horizon sous l'influence des facteurs écologiques conduisent à la différenciation des couches de nature différente plus ou moins parallèlement à la surface. L'expression ' ' Profil du sol'' est aussi utilisée en agronomie pour parler du profil cultural qui concerne les sols cultivés.

L'horizon est le niveau d'appréhension le plus pratique pour observer et échantillonner une couverture pédologique. Il est considéré comme entité de base permettant d'identifier, de caractériser, de définir et de modéliser une couverture pédologique.

- Horizons de référence

Les horizons de référence sont dénommés, selon une nomenclature internationale, par des lettres : O, A, B.... On distingue deux groupes d'horizons : Les horizons humifères ou organiques et Les horizons minéraux.

Tableau1 : Les principaux horizons de référence

Groupes d'horizons	Symboles	Caractéristiques
Les horizons humifères ou organiques sont les horizons les plus riches en êtres vivants. Ils contiennent plus de 17% de carbone organique	O	Comprenant la litière et les matières organiques en cours de transformation. En contact avec l'atmosphère, de couleur sombre. L'épaisseur varie avec l'intensité de l'activité biologique et le climat. Selon son épaisseur, l'horizon O se divise en trois couches superposées : OL, Of et Oh. En fonction du nombre de couches présentes, on utilise les mots: mull, moder ou mor.
	Ol	Ou litière, composée de débris bruts (restes de bois, de feuilles et de fleurs fanées) non décomposés. Les formes originelles sont facilement reconnaissables.

	Of	Horizon où les débris végétaux sont partiellement décomposés par l'activité biologique. La température et l'humidité y sont optimales.
	Oh	Horizon humifié, les végétaux sont transformés en humus. Les formes originelles ne sont plus reconnaissables.
Horizon mixte organominéraux	A	Composé d'éléments minéraux et d'humus. Sa structure dépend de l'incorporation plus ou moins rapide de l'humus. De couleur foncée, situé sous l'horizon O.
Les horizons minéraux sont les moins riches en organismes vivants. Ils contiennent moins de 17% de carbone organique	E	Horizon lessivé (ou éluvial), appauvri par l'eau d'infiltration en ions, en argiles, en composés humiques et en hydroxydes de fer et d'aluminium. Il est sous l'horizon A, de couleur claire, sol lessivé.
	B	Horizon d'accumulation (illuvial). Il est riche en éléments fins (argiles, hydroxydes de fer et d'aluminium, humus), situé sous l'horizon E.
	S	Horizon d'altération. Il est le siège de processus physicochimiques et biochimiques aboutissant à la destruction des minéraux du sol (altération minérale)
	C	Roche-mère plus ou moins altérée.
	R, M, ou D	Roche-mère non altérée. Couche géologique à partir de laquelle se sont formés les sols. R : roches dures, M: roches meubles et tendres, D: roche remaniée ayant donnée naissance ou non au matériau sus-jacent.

II-3- 6 Profils pédologiques

Le profil pédologique est l'ensemble des horizons d'un sol donné ; chaque horizon étant une couche repérable et distincte par ses caractéristiques physico-chimiques et biologiques. Ces

horizons sont d'autant plus distincts que le sol est évolué. On parle aussi de solum ou des horizons du sol. L'étude d'un sol repose donc sur l'identification des horizons et leurs descriptions.

L'expression "profil de sol" est aussi utilisée en agronomie pour parler du profil cultural, qui ne concerne que les sols cultivés.

II-3- 7 Couverture pédologique

La couverture pédologie est ensemble des sols qui recouvrent le globe terrestre. Elle est en continuelle évolution, et se développe à la fois à partir de la roche mère profonde et à partir de la matière organique de surface. Pour déterminer et classer les différents types de sol qui la constituent, il faut procéder à des sondages et à description de profils pédologiques. Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques sont déterminées au laboratoire sur les échantillons de sol prélevés sur terrain.

Chapitre III- Les constituants du sol

Généralités

III-1 La fraction minérale du sol

Toute la couverture pédologique est un mélange des constituants minéraux, organiques, d'air, d'eau d'organismes vivants. Ces constituants sont organisés entre eux et dans l'espace formant des assemblages ou des structures du milieu édaphique. Les horizons pédologiques en constituent un bon exemple : il résulte de la subdivision d'une couverture pédologique en valeur considérée » comme suffisamment homogène. Par leur dimension verticale centimétrique et métrique, ces horizons sont directement perceptibles à l'œil nu sur le terrain.

Par ailleurs, les couvertures pédologiques sont en perpétuelles évolution, ce qui leur confèrent une dimension supplémentaire qui est la durée. L'étude de sol doit donc se fonder non seulement sur la nature, les propriétés et l'organisation de leurs constituants mais aussi sur leur dynamique au cours du temps.

L'origine des différents constituants est évidente : Les constituants minéraux sont hérités de substrats géologiques par la désagrégation mécanique et/ou altération chimique. La matière organique est majoritairement d'origine végétale.

Les vides du sol occupés par l'eau et de l'air constitue la porosité du sol : porosité à l'eau et porosité l'air. Il y a bien attendu une relation réciproque entre le volume respectif occupé. La

fraction minérale du sol est constituée en majeure partie des fragments des roches et des minéraux qui en sont issues. Il s'agit des minéraux originels plus ou moins profondément transformés par les processus d'altération auxquels peuvent s'ajouter des minéraux de néoformation, spécifiques du milieu édaphique.

L'ensemble de ces minéraux est distribué dans les différentes fractions granulométriques du sol, déterminant sa texture. Le sol peut aussi contenir une proportion plus ou moins importante des constituants minéraux amorphes, dont le rôle du point de vue pédologique n'est pas à négliger. On peut également considérer qu'une partie des éléments minéraux du sol est présente sous forme d'ions, soit à l'état dissous dans la solution des sols, soit adsorbés à la surface des colloïdes organo-minéraux. La nature des différents minéraux présents dans un sol et leur distribution verticale en son sein, sont déterminées par :

- Les processus pédogénétiques

Certains minéraux peuvent modifier plus ou moins profondément d'autres ou engendrent de nouveaux. Par ailleurs, les minéraux les plus résistants à l'altération peuvent s'accumuler sous forme résiduelle, alors que les minéraux de petite taille peuvent éventuellement être mobilisés et se concentrer préférentiellement dans certains horizons. Dans la fraction inorganique cristallisée, les pédologues distinguent habituellement deux (02) principaux types des constituants : les minéraux primaires et les minéraux secondaires.

- a- Les minéraux primaires

Ils sont à l'origine les éléments consécutifs des roches magmatiques c'est-à-dire ceux qui se sont formés lors de la cristallisation de magma, dans les conditions de température et pression totalement différentes de celles qui prévalent à la surface de la lithosphère. Ils sont en conséquences plus ou moins instables dans les couvertures pédologiques où l'ambiance physico-chimique est plus oxydante et le milieu est hydraté ; pouvant alors s'y transformer en minéraux dits secondaires à l'issue du processus d'altération plus ou moins instables ou plus ou moins complets.

Les minéraux primaires peuvent aussi être hérités directement des roches magmatiques ou métamorphiques, soit provenir des roches sédimentaires où leur présence est liée au cycle géologique.

- b- Les minéraux secondaires

Ils sont essentiellement des phyllosilicates, des oxyhydroxydes (fer, al...) des carbonates (cal, mg), des sulfates et les chlorures.

Les minéraux argileux et les oxyhydroxydes sont des constituants caractéristiques de ce que les pédologues appellent le complexe d'altération du sol.

III-2 Fraction organique du sol

La matière organique du sol peut être définie comme une matière carbonée provenant de la décomposition et du métabolisme d'êtres vivants végétaux, animaux et microbiens (fongiques, bactériens). Elle se répartit en quatre groupes :

- La matière organique vivante, animale (faune du sol), végétale (organes souterrains des plantes) et microbienne (bactéries, champignons, algues du sol), qui englobe la totalité de la biomasse en activité ;
- Les débris d'origine végétale (résidus végétaux ou litière, exsudat), animale (déjections, cadavres) et microbienne (cadavres, parois cellulaires) appelés matière organique fraîche ; - Des composés organiques intermédiaires ou en cours de décomposition, appelés matière organique transitoire provenant de l'évolution de la matière organique fraîche ;
- Des composés organiques stabilisés, les matières humiques ou humus, provenant de l'évolution des matières précédentes.

La décomposition des débris végétaux, qui constituent la litière ou horizon organique, se fait sous l'action de la microflore et de la faune du sol, et produit l'humus et des composés minéraux. Les deux processus de décomposition sont :

- La minéralisation produit des composés minéraux tels que le K, Ca, Mg, CO₂, NH₃, PO₄, SO₄.... Ces molécules simples peuvent prendre cinq destinations, elles peuvent être : perdues dans l'atmosphère, absorbées par les plantes, fixées par les argiles et l'humus, perdues par lessivages, ou reprises par des micro-organismes ;
- l'humification aboutit à la formation de l'humus (fraction colloïdale). Cet humus peut être minéralisée à son tour.

L'humus peut être définie comme étant les composés finals de la dégradation de la matière organique. L'humus est généralement associé au milieu argileux et forme le complexe argilohumique qui joue un rôle essentiel dans la structure du sol, ses propriétés mécaniques, physiques et chimiques. Un sol peut être caractérisé par sa capacité d'échange cationique proportionnelle à la quantité de charge électrique portée par le complexe : Plus le CEC est élevée plus le sol peut absorber et adsorber les cations qui sont mis à la disposition. Le CEC dépend de la nature des argiles et leur association avec les composés humiques.

La vitesse d'humification dépend de l'activité biologique conditionnée par la température, La quantité d'humus dans le sol. L'humus joue un rôle important sur la valeur agronomique des

sols cultivés et de la physiologie des végétaux. Mais chaque année, le sol perd de son humus par minéralisation. L'importance de cette perte dépend du type de sol et du climat. En agriculture, pour conserver les propriétés de sol, il faudra procéder à des apports compensatoires des matières organiques : Amendement, engrais, amendement en phosphate.

La teneur en matière organique de sol est extrêmement variable ; moins de 0,1% dans le sol de région aride, près de 100% dans le sol hydromorphe tourbeux. Les horizons cultivables de région tempérée contiennent en moyenne 2% de matière organique.

Le contenu en matière organique de sol est influencé globalement par :

- Les facteurs du climat ;
- La végétation ;
- Texture du sol ;
- Les conditions topographiques influencées par le microclimat et le drainage ; - Les pratiques cultivables.

III-3 Composition de fraction organique du sol

La fraction organique du sol est exclusivement complexe et il faut être conscient que certaines subdivisions sont parfois arbitraires. On distingue habituellement au sein de la matière organique du sol, les catégories suivantes :

- Débris végétaux

Ce sont des matières peu transformées à structure encore organisée. L'appellation de la matière organique fraîche est consacrée à cette fraction qui peut comprendre des feuilles, des tiges, des racines mortes, des résidus de récoltes. Les exsudats foliaires et racinaires, mais aussi la cellule microbienne mortes.

- Matière organique

C'est la matière fortement transformée végétale, animale ou microbienne. Il s'agit des substances humifiées, regroupées fréquemment sous le terme "humus" ou matière organique humifiée. C'est la composition principale du carbone du sol.

- Produits de composition intermédiaire entre les débris végétaux

Ce sont matières situées entre les débris végétaux peu transformés et la matière organique fortement transformée c'est-à-dire encore plus ou moins proche de la matière peu transformée.

- Composés organiques hydrosolubles

Ce sont des composés généralement des structures simples ou tout au moins de composition chimique déterminée : acides aminés, acides organiques, glucides et lipides.

- Biomasse du sol

C'est l'ensemble des Pédofaunes ou microfaune mais surtout micro-organismes (bactéries, champignons).

Dans le terme arable, la biomasse microbienne peut représenter 1 à 3% du carbone total du sol.

CHAPITRE IV – LES PROPRIETES DU SOL

Les propriétés du sol sont le reflet de l'interaction entre les constituants du milieu écologique et du temps d'évolution du sol. Les propriétés sont physiques, chimiques et biologiques.

IV-1 La texture

La texture est l'ensemble de comportement de sol qui résulte de la taille, de la proportion et parfois de la nature de ses constituants : teneur en sable, limons, argiles, humus et parfois calcaires.

Dans le cas de sol carbonaté, la texture ou granulométrie reflète les constituants en fonction de la texture sur le terrain.

Sur le terrain on apprécie la texture par le teste de plasticité et par le teste de granulosité. Pour le teste de plasticité, on prélève une petite motte de terre, qu'on pétrie en appréciant entre les doigts de la plasticité. Plus le sol est plastique, plus sa texture est argileuse. Au laboratoire, la texture est déterminée par l'analyse granulométrique de la fraction inférieure à 2 mm. On prélève sur le terrain un échantillon en motte qu'on laisse sécher pendant quelque temps. Quand l'échantillon est totalement sec, on l'effrite sous la pression des doigts de manière à n'est pas détruire les éléments grossiers présents dans ce dernier.

Une fois les résultats et en fonction des résultats obtenus, on peut avoir les textures simples ou les textures composés telles que : Al, AS, LS....

La texture influence la structure du sol donc la porosité et le régime hydrique du sol. Si les sables grossiers dominent, la porosité sera forte, la circulation de l'eau, de l'air appréciables et le pouvoir de rétention est limitée : on dit que le sol est filtrant.

Si les sables grossiers sont associés aux éléments fins, il Ya colmatage des vides, le sol se tasse sous l'effet des eaux de pluie et devient battant. S'il y a plus d'argile et humus, il se forme des agrégats entre lesquels existent les vides qui laissent passer l'eau et l'air. La texture est à la base de tous les autres propriétés du sol.

IV-2 La structure du sol

La structure est le mode d'assemblage de différents constituants. Elle dépend directement de la texture et peut évoluer dans le temps. On observe sur le terrain aux échelles macroscopiques. C'est la structure proprement dite. On peut aussi observer à l'échelle microscopique, dans ce cas on parle de la microstructure.

La structure peut être due aux facteurs physiques naturels (endoisme), à l'action de la faune et de la microflore, à l'action des racines.

L'ensemble des propriétés physiques et chimiques est en liaison étroite avec la texture et la structure, qui apparaissent comme les facteurs clés de la fertilité. La détermination de structure est empirique plus ou moins subjective et s'apprécie à l'œil nu. On distingue 5 principaux types des structures :

- Lorsqu'il y a absence d'agrégats dans la structure héritée de la roche on parle de structure lithique ;
- Lorsqu'il y a absence d'agrégats dans les matériaux minéraux ou organiques, on distingue les structures massives continues compactes dans les matériaux cohérents et les structures particulières dans les matériaux formés de particules libres.

Les structures en agrégat arrondi. Ici on distingue :

- La structure grenue lors que les agrégats sont plus ou moins sphériques ;
- La structure grumeleuse lors que les agrégats sont irréguliers et plus ou moins agglomérés ;
- La structure floconneuse : c'est une structure de taille inférieure au mm.

Les structures formées de la matière surtout végétale ; ici on distingue des structures feuilletées de résidus végétaux.

a- Origine des structures b-

Stabilité des structures

L'aggrégation du sol dépend de la présence du climat qui forme de pont de revêtement autour des minéraux grossiers. A l'état naturel, les ciments sont floculés mais ils peuvent se disperser. La stabilité structurale est la résistance de la structure du sol vis-à-vis de l'action dégradante des facteurs internes à celle de l'eau en particulier. Ces structures construites sont les plus résistantes à la dégradation. Le type grenu est particulièrement stable ceci est due à l'action stabilisante de la matière organique sur les argiles. Les structures mécaniques sont plus fragiles par ce qu'elles sont peu ou pas stabilisées par la matière organique. Le phénomène de dégradation des structures par l'eau sont entre autres le gonflement, l'action mécanique de cou

de pluie, la dispersion de ciments. On apprécie la stabilité de la structure à l'aide d'un indice appelé indice d'instabilité.

c- La porosité

La porosité est une caractéristique liée à la structure du sol. C'est l'ensemble des vides qui résulte de la nature du sol, de la forme, de la dimension et de l'arrangement des agrégats. Le volume de vide est exprimé en % du volume total. En d'autre terme, la proportion du volume total occupé par l'air et l'eau déterminent la porosité. En fonction de la taille de vide, la porosité se subdivise en monoporosité, en mesoporosité et microporosité.

IV-3 L'humidité du sol ou eau du sol

L'apport d'eau au sol se fait sous forme de pluies, neige, rosée et brouillard. La teneur en eau est fonction de la porosité et de la perméabilité du sol, lorsque tous les vides et les pores sont remplis d'eau, le sol est saturé.

L'eau peut se trouver dans trois états à l'intérieur d'un sol, ces états se distinguent essentiellement par l'intensité des forces qui lient l'eau et les grains. Les molécules d'eau sont soumises à trois forces : la pesanteur(P), l'attraction par les solides (F) et la succion par les racines (S). On distingue :

- L'eau de gravité ou de saturation : contenue dans les espaces lacunaires, cette eau s'écoule par gravité, peut circuler dans les pores du sol sous l'effet de la force de gravité.
- L'eau utilisable par la plante ou réserve utile (R.U.) : retenue sous forme de films assez épais autour des particules terreuses ou dans de fins capillaires. Cette eau est facilement absorbée par les racines
- L'eau inutilisable par la plante : retenue sous forme de films très minces autour des particules terreuses, cette eau, trop énergiquement retenue, ne peut être absorbée par les racines.

IV-4 Atmosphère du sol

Le sol est un matériau poreux. Les constituants gazeux (contenus dans les cavités du sol), appelés atmosphère du sol, proviennent de l'air de l'atmosphère externe, de la vie des organismes et de la décomposition des composés organiques. L'air du sol est constitué de plusieurs gaz : Azote, l'oxygène, le gaz carbonique, méthane...

Selon Ponge et Bartoli (2009), l'air du sol est en contact avec l'atmosphère via un réseau de pores interconnectés. La diffusion de cet air est freinée en proportion de la profondeur, de la taille des pores et de leur remplissage par l'eau du sol. Cet air « atmosphérique » est ensuite modifié par les organismes qui y respirent, en particulier les racines des végétaux (la moitié de la respiration du sol est d'origine végétale) et les microorganismes (bactéries, champignons).

IV-5 Température du sol

Le bilan de la radiation solaire, depuis l'atmosphère jusqu'au sol, montre qu'un tiers (33%) seulement de l'énergie solaire pénètre dans le sol. La plus grande partie (40%) de cette énergie est réfléchiée par la couche atmosphérique supérieure, 17% sont absorbés par l'atmosphère et 10% réfléchies par le sol et la végétation.

La quantité de chaleur reçue par le sol varie en fonction de :

- L'humidité de l'air ;
- La couverture du sol (végétation) ;
- La couleur du sol (un sol de couleur sombre se réchauffe plus rapidement qu'un sol clair) ;
- Son humidité (un sol sec se réchauffe plus rapidement qu'un sol humide) ;
- Son exposition (le sol exposé au sud se réchauffe plus rapidement que le sol exposé au nord).

Le pédoclimat est le climat interne. Il reflète en grande partie les conditions du climat général, notamment en ce qui concerne la température et l'humidité mais il dépend largement aussi des propriétés physiques intrinsèques du sol : la porosité, texture ; pour un même climat général, il existe des nombreux pédoclimats différents qui sont souvent reflètent les facteurs de station. A titre d'exemple, on peut opposer le pédoclimat situé au sommet et à la base d'une pente. Le pédoclimat du sol joue un rôle important sur l'altération, l'humification, la distribution des plantes, la pédogenèse et la classification des sols.

BIBLIOGRAPHIE

- Duchaufour, P., Bonneau M. et Souchier B., 1997. Pédologie : Constituants et propriétés du sol. Tome 2 - 2ème édition.
- Duchaufour, P., 1977. Pédologie : Pédogenèse et classification. Tome 1, Paris, Masson, 477 p, 92 fig..
- Soltner D., 2014. Les bases de la production végétale. Tome I : le sol et son amélioration. Collection sciences et techniques agricoles.
- SOTTIAUX B., 2009. Etude du Milieu - Eléments de Pédologie. Cours industriels et commerciaux Couillet P, 77p
- GOBAT J.M., ARAGNO M. et MATTHEY W., 2003. Le sol vivant. 2ème édition. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 568 p.
- Doucet R., 2006. Le climat et les sols agricoles. Eastman (Québec)/Montréal, Escalquens Berger, 443p.
- Chenu C., 2001. Le complexe argilo-humique des sols: état des connaissances actuelles. Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France. 87 (3): 3-12.
- Baize D., Duval O. et Richard G., 2013. Les sols et leurs structures Observations à différentes échelles. Éditions Quæ, 20p, France.
- Gobat J.M., Aragno M. et Matthey W., 2013. Le sol vivant. Bases de pédologie. Biologie des sols. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 848p.
- Camuzard J.P., 2006. Les sols marqueurs de la dynamique des systèmes géomorphologiques continentaux, Thèse de doctorat en Sciences et techniques, Caen.
<https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/LESOLUNMILIEUCOMPLEX/document>
- Baize D. et Girard M.C., 2009. Référentiel pédologique 2008. Association française pour l'étude du sol, 435 p, Editions Quae, France.
- Ponge J.F. et Bartoli M., 2009. L'air du sol, c'est la vie de la forêt. La Forêt Privée - revue forestière européenne, La Forêt Privée, 2009, pp.63-70.

www <http://acces.ens-lyon.fr/acces/terre/sol/data/STRUCTUR-CHAPITRE-1-V5.pdf>
STRUCTUR-CHAP-1-V5.doc version 5 du 13 janvier 2010