

Les facteurs de formation des sols

Lorsqu'un matériau nu vient à affleurer, il est inerte progressivement colonisé par la végétation, le sol se forme et évolue : un horizon humifère s'édifie d'abord en surface (profil de type A.C). Mais progressivement un horizon (B) ou B apparaît et s'épaissit peu à peu. Cette double évolution aboutit à un équilibre stable caractérisé aussi bien le sol que la végétation.

La dynamique des profils ainsi défini met en jeu les trois processus fondamentaux : l'altération des minéraux, l'incorporation de la matière organique et les migrations. Les trois processus interviennent à des vitesses différentes

Les facteurs de formation des sols sont au nombre de 5 :

- Climat
- Organismes vivants
- Topographie
- Matériel parental
- Temps

Ces 5 facteurs agissent d'une manière simultanée :

1- Le climat

Une carte des sols du monde recoupe les grandes unités climatiques : à cette échelle les facteurs du climat sont prépondérants (sols zonaux).

A l'inverse, à grande échelle, ce sont surtout les facteurs locaux qui semblent avoir une influence importante (relief et roche mère) (sols intra zonaux).

Exemple : climat méditerranéen le milieu méditerranéen est caractérisé sur le plan climatique par des pluies d'hiver et une saison sèche.

Grande variation dans cette définition :

La saison sèche peut être courte ou longue.

La ligne Barcelone → Istanbul saison sèche dure moins de trois mois. Au sud de cette ligne moins de trois mois est rare. Il tombe 429mm Tissemsilt et 900mm à Beyrouth.

L'originalité des sols méditerranéen est certainement lie à de la saison sèche, à l'intérieur du domaine méditerranéen, les précipitations annuelles varient de quelques centaines de millimètre à 1000 ou 1200 mm, sans que la nature du sol varie beaucoup sinon l'intensité des phénomènes.

Même la nature de la roche mère (plan physique et chimique) rend possible une évolution vers le lessivage et que le climat est suffisamment humide la saison sèche intervient certainement dans l'orientation des processus pédogénétiques.

Il n'y a pas de vrai podzol en méditerranée sauf à très haute altitude où il pleut en été. Il y a des sols à horizon A2 clair mais jamais cendreaux dont le PH élevé 6 à 7,5 rarement inférieur à 4,5.

Une autre conséquence, les sols méditerranéens à hauteurs de pluie moyenne égale plus hydromorphes que les sols des autres régions.

Les pluies tombent pendant une période courte, le sol est vite gorgé d'eau et les sèges même transitoires se manifestent rapidement. La végétation ne peut évaporer toute l'eau du sol et l'évolution est dominée par les phénomènes qui accompagnent l'engorgement par l'eau.

2- Végétation :

Sous végétation naturelle (spontanée) il existe une relation étroite entre les types de sols et le couvert végétal, où il est difficile de dire que c'est la végétation qui favorise tel type de pédogénèse ou si le sol qui induit tel ou tel type de végétation.

La végétation agit de plusieurs façons :

2.1- Végétation et humus produit :

L'importance et nature des débris végétaux que produit la couverture végétale aura une incidence sur le sol.

- Prairie naturelle (graminée) humus peu acide, évolution rapide de la matière.
- Sous forêt de feuillus (ph légèrement acide) décomposition assez rapide.
- Sous résineux l'acidité et évolution de la matière organique lente.

2.2- Erosion :

Le couvert végétale limite les mécanismes érosifs et permet l'évolution des sols : Les sols sont plus évoluée sous forêt.

2.3- Enracinement :

- Les racines sous forêt favorisent les courants d'eau descendant (lessivage accentué).
- Mécanisme d'altération intense sous forêt (désagrégation mécanique des roches et favorise l'infiltration et l'aération des sols).
- Formation des horizons humifères par incorporation de matière organique.

2.4- Microclimat :

Forêt dense et faiblesse de l'éclairement limite la biodégradation de la matière organique.

Exemple : zone méditerranéenne : Afrique du nord

L'homme a profondément modifié ces régions (défrichage, culture, dégradation, pâturage, érosion généralisée sont les conséquences de 3000 ans d'histoire. Le milieu biologique qui accompagne la formation du sol est peu connu l'originalité de ces facteurs biologiques est difficile à étudier. Il est difficile de reconstituer les paysages, les associations végétales et les faunes qui étaient en équilibre avec les sols primitifs.

3- Le facteur topographie :

Deux types d'actions :

- Action de la pente (érosion).
- Action indirecte (hydromorphie).

3.1- érosion :

L'érosion entraîne toute la terre fine laissant seulement sur place les cailloux et les graviers. Elle décape l'ensemble des horizons mettant à nu les horizons C et provoque un rajeunissement généralisé des profils.

Il est fréquent que les horizons humifères ont le temps de s'édifier dans les intervalles de repos de l'érosion ce qui conduit à la formation de sol de type A C.

Les précipitations violentes et brutales des climats méditerranéens augmentent considérablement la puissance de l'érosion.

3.2- migration oblique :

Entrainement des éléments fins le long de la pente dans la masse du sol, ces éléments peuvent être solubles ou pseudo-soluble.

Principales formes de relief :

Relief plat : plaines étalées sans érosion ou accumulation. La régularité et la stabilité des évolutions expliquent la grande extension d'un type de sol. Certaines conditions particulières favorisent l'hydromorphie.

Relief concave : y domine l'accumulation assurant les sols les plus profonds et moins caillouteux.

Relief ondulé : alternance de niveaux concaves et convexes : accumulation et érosion provoquent de rapide variation de sol.

Relief accidenté : domine le ruissèlement par rapport aux percolations : les sols sont décapés et peu développés et instables.

4- Roche mère :

La roche mère n'est pas toujours un facteur prépondérant, surtout les mécanismes évolutifs sont étudiés à petite échelle. Lorsque les autres facteurs sont très actifs son rôle est masqué. Dans certains cas la roche mère joue un rôle fondamental. Le plus souvent la roche permet un ralentissement ou une accélération des mécanismes pédogénétiques. Le matériel parental peut influencer sur de nombreuses propriétés à des degrés différents. En région sèche son influence est très faible, elle aboutit à la formation d'un sol de degré initial de développement. En région humide le matériel parental a une grande influence.

4.1- Stabilité des minéraux :

Les minéraux montrent une résistance différente à l'altération entre 10.000 et 100.000 ans.

	<u>Minéraux ferromagnésiens</u>	<u>Minéraux non ferromagnésiens</u>
Stabilité croissante ↓	Olivine Hypersthène Augite Hornblende biotite	Plagioclases calcique Plagioclases sodique Feldspaths Muscovite Quartz

Susceptibilité des roches à l'altération chimique :

- Les roches qui contiennent beaucoup de minéraux altérables s'altèrent plus facilement.
- Taux de cristallinité et taille des grains.
Minéraux de grande taille s'altèrent plus vite que les minéraux de petite taille.
- Toute altération du matériel parental aboutit à la formation de minéraux argileux.

L'eau dans le sol

1- Introduction :

L'eau du sol a une importance considérable :

- Nutrition des plantes (eau + sels dissous)
- Facteur pédogénétique (formation des sols)

Les principales sources d'eau : précipitations et eaux souterraines.

2- Formes que prennent les eaux de pluie :

- Eaux de ruissellement : superficielles ; circule au sein des horizons superficiels parallèlement à la surface pour les sols en pente (même faible), soumis à des pluies violentes. Cette eau entraîne un appauvrissement en éléments fins (argile + limon).
- Eau de gravité : circule dans les pores grossiers et moyens $> 10 \mu m$: 2 types :
 - Eau à écoulement rapide : pores grossiers $> 50 \mu m$
Quelques heures qui suivent les pluies.
 - Eau à écoulement lent : descend lentement (plusieurs semaines), dans les pores moyens (entre 50 et $10 \mu m$).
Ces eaux alimentent les eaux de drainage.

NB : si la pente est faible et perméabilité des horizons est faible : eaux de gravité non évacuées, il se forme alors une nappe perchée temporaire (saison pluvieuse).

- Eau retenu par les sols : pores fins et très fins $< 10 \mu m$
Les forces d'absorption sont élevées et s'opposent aux forces de gravité.

3- Les formes de l'eau dans le sol :

Rétention de l'eau par le sol :

L'eau est liée aux constituants du sol par des forces de plusieurs natures :

- Forces osmotiques : les ions dissous exercent une attraction sur les molécules d'eau.

- Les forces imbibition : les charges négatives des colloïdes attirent les molécules d'eau.
- Les forces de tension superficielles (phénomènes matriciels).

L'eau se trouve sous trois états :

- Eau non retenue (libre) ou de gravité : elle s'élimine par son propre poids.
- Eau faiblement retenue : l'attraction du sol est supérieur à la pesanteur.
- Eau très fortement retenue : la succion du sol est supérieur à la succion maximale des racines.

Caractérisation de l'eau du sol :

a- Teneur en eau ou humidité :

$$H_p = \frac{\text{masse d'eau contenue dans le sol}}{\text{masse du sol sec}} = \frac{m}{M}$$

$$H_v = \frac{\text{volume d'eau du sol}}{\text{volume apparent du sol sec}} = \frac{v}{V}$$

$$\frac{H_v}{H_p} = \frac{v \times M}{V \times m}$$

M/V : densité apparente sèche

$$H_v = d \times H_p$$

b- Le potentiel matriciel :

Il est égal en valeur absolue à l'énergie qui faut appliquer pour libérer un gramme de solution du sol (eau + sel dissous).

Expression et mesure du potentiel matriciel :

Si 'S' est la succion du sol, il faut opposer une pression égale à 'S' pour extraire un gramme d'eau.

U est le volume massique de l'eau

$$\text{Potentiel} \quad \psi = S \cdot U \quad U = 1 \text{ cm}^3/\text{g}$$

$$\psi = g/\text{cm}^2 \quad (\text{Comme une pression})$$

Par analogie au PH

$$PF = \log \varphi \text{ (g.cm}^{-2}\text{)} = \log h \text{ (cm)}$$

Exemple : un sol exerçant une succion de 1000 g/cm² a un PF=3

$$PF = \log 1000 = 3$$

La succion maximale exercée par les racines est voisine de 16 kg/cm² (16000 g/cm²).

Elles peuvent donc extraire l'eau d'un sol dans le PF = 4,2.

Relation PF humidité :

Pas de relation générale ; on peut obtenir une relation expérimentale.

Les courbes tracées dépendent de la constitution du sol.

Détermination directe :

On prélève des échantillons de sol dans chaque couche à l'aide d'une tarière.

L'humidité de chaque échantillon est déterminée par séchage à l'étuve à 105 °C.

Le profile hydrique désigne le graphe de la fonction H=F(P)

H : humidité ; P : profondeur.

Mesure directe :

Utilisation de sonde à neutrons.

4- Les principales caractéristiques hydriques :

- Capacité maximum de rétention ;
- Capacité au champ ;
- Humidité équivalente ;
- Point de flétrissement permanent.

4.1- Capacité maximale de rétention :

Lorsque l'espace poral est totalement rempli d'eau le sol est saturé.

4.2- Capacité au champ :

Il faut saturer un échantillon de sol, le laisser ressuyer (l'eau libre perdue par gravité). L'eau qui reste correspond à la capacité au champ.

4.3- Humidité équivalente :

L'expérience montre que l'humidité à la capacité de rétention ne correspond pas à une valeur fixe de PF : selon les sols le PF varie entre 2,6 et 2,8.

L'humidité équivalente est l'humidité d'un sol en cours de dessèchement à PF 3.

4.4- Le point de flétrissement permanent :

En deçà d'une certaine humidité des racines sont incapable d'extraire l'eau du sol. Les plantes perdent leur turgescence flétrissent et meurent.

La succion que développent les racines ne peut dépasser une valeur maximale de 15 à 16 atmosphères.

On définit le point de flétrissement permanent d'un sol comme son humidité à PF 4,2 soit une succion de 16000 g/Cm²

La valeur de ce point de flétrissement augmente avec le teneur en argile.

5- La circulation de l'eau dans le sol :

La circulation de l'eau est un phénomène complexe car l'espace poral est très sinueux. Il est constitué de pores de forme, et de tailles différentes plus ou moins connectés entre eux.

Ce type de circulation dépend de l'état hydrique. Lorsque le sol est proche de la saturation et reçoit de l'eau, il se comporte comme une canalisation. Par contre son apport d'eau, et à plus faible humidité, il exerce à la fois le

rôle de fournisseur et de transporteur. Il exerce le transfert de l'eau qu'il fournit lui-même.

Les déplacements de l'eau se différencient à partir de plusieurs critères :

- L'état de l'eau : vapeur ou liquide ;
- Direction de la circulation ;
- Etat hydrique du sol lors du déplacement.

L'eau se déplace à l'état de vapeur lorsqu'il existe une différence de tension entre 2 points. La différence de tension résulte d'une différence de température, son importance est très faible.

L'eau circule surtout à l'état liquide. Elle d'opère selon toutes les directions : verticale descendante, verticale ascendante ou latérale.

Le tracé de profils hydriques est un moyen commode pour illustrer les déplacements de l'eau dans le sol.

Distinctions et définitions des principaux types mouvements d'eau :

1- Infiltration :

Une arrivée d'eau à faible débit sur un sol présentant une humidité inférieure à sa capacité de rétention provoque un mouvement d'infiltration.

La profondeur du sol mouillé correspond à la couche du sol où l'humidité est partout égale à la capacité de rétention.

La profondeur maximale mouillée dépend de l'état hydrique initial, de la capacité de rétention et la quantité d'eau apportée ou d'eau infiltrée.

2- Filtration :

Elle désigne un mouvement d'eau libre à travers un sol saturé et restant en permanence saturé.

Les états hydriques des sols lors des mouvements d'eau sont très distincts :

- Le type d'eau en mouvement est différent : lors de l'infiltration, l'eau circulante est retenue ; dans la filtration l'eau qui circule est libre.
- La fraction d'espace poral intéressé lors des mouvements n'est pas le même. L'eau libre circule essentiellement dans les pores de diamètre important.

Relation entre la macroporosité et vitesse de filtration :

D'après Baver et Henin

Nature de sol	Macroporosité %	Vitesse de filtration cm/h
Sol quartzeux	22	1216
Limoneux	14,7	205
Sol argileux	9,2	36
argile	6	17
Limon compacté	6	2

3- Le ressuyage :

Le ressuyage correspond à l'évacuation de l'eau libre contenue dans un sol saturé sous l'effet de la pesanteur, lorsqu'on assure le libre écoulement un sol saturé se ressuie.

L'humidité atteint l'humidité au point de ressuyage.

Le débit de ressuyage varie en fonction du temps de manière exponentielle.

4- L'ascension capillaire :

Si une colonne de sol sec est placée en contact d'un plan d'eau, l'eau humecte progressivement la terre jusqu'à une hauteur maximale.

La hauteur d'ascension est autant plus élevée que la terre renferme une proportion importante d'éléments fins.

La hauteur maximale atteint 80 à 90 cm en sol argileux et seulement 20 à 40 cm en sol sableux. Le mouvement ascendant de l'eau suppose l'existence d'eau libre ; il ne se produit qu'à partir d'une nappe.

5- La diffusion capillaire :

Dans ce mouvement il n'y a pas d'apport extérieur d'eau ; c'est l'eau liée que renferme le sol qui se déplace d'une partie humide vers une partie de plus faible teneur, le déplacement tend à provoquer une égalisation de l'humidité. Une différence de potentielle matricielle est souvent à l'origine de ce mouvement.

Ce mouvement de diffusion de l'humidité est difficile à étudier.

L'importance de ce type de déplacement est cependant considérable. La réalimentation hydrique de la zone du sol proche des racines appauvrie

par l'absorption des racines est en grande partie assurée par ce mouvement de diffusion.