

Cours Ecopédologie

L'organisation morphologique des sols

1. les étapes de la formation d'un sol : il y a quatre stades

Stade N01 : stades d'altération de la roche mère, désagréments sous l'effet des facteurs climatiques par exemple l'eau de pluie acide attaque le calcaire (constituant principale de la roche mère) et former des creux.

Stade N02 : début de la pédogénèse, caractérisé par deux types de désagréments

-*désagréments physique* : par l'effet des racines des plantes et les facteurs climatiques.

-*désagréments chimique* : les plantes excréant au niveau de leurs racines des acides, les larves qui se développent excréant des substances, plus les cadavres des insectes constituant une source des éléments chimiques qui se trouvent au niveau des creux.

Stade N03 : stade de formation des horizons apport de matière organique au niveau de la roche mère en désagréments (chute des feuilles , cadavres des insectes), et par l'activité des micro-organismes et la faune de sol résulte le mouvement des matières organiques dans le sol en formation et à la fin nous donné la formation des horizons.

Stade N04 : formation d'un sol développé, la désagrégation physique et chimique de la roche mère s'accroît, il y a des mouvements des matériaux et déposition des éléments et formation de différentes couches au niveau du sol

Classement des particules :

La *granulométrie, ou texture*, correspond à la répartition des minéraux par catégorie de grosseur (le *diamètre - d* - des particules étant supposées sphériques), indépendamment de la nature et de la composition de ces minéraux.

1.2.1 Tri des matériaux grossiers

Les matériaux grossiers sont des constituants, le plus souvent inorganiques, constitués par des fragments de roches contenant un ou plusieurs minéraux et dont la plus grande dimension **est supérieure à 2 mm**. Ils sont triés par l'utilisation d'une passoire dont les trous ont un diamètre de 2 mm.

Tableau 3 Catégories d'éléments grossiers (norme AFNOR X 31-003, 1998)

Dénomination	Dimension
graviers	0,2 à 2,0 cm
cailloux	2,0 à 7,5 cm
pierres	7,5 à 12 cm
grosses pierres	12 à 25 cm
blocs	> 25 cm

Tri des matériaux de la terre fine

Les matériaux qui ne sont pas retenus par la passoire à 2 mm correspondent à ce qui est appelé «la terre fine».

Pour déterminer les différentes classes de particules minérales selon leur taille, on utilise l'échelle d'ATTERBERG qui donne 5 classes de particules :

Tableau 4 Catégories d'éléments de la terre fine « l'échelle d'ATTERBERG »

Dénomination	Dimension
1- Sables grossiers	200 μm à 2mm.
2- Sables fins	50 à 200 μm ,
3- Limons grossiers	20 à 50 μm ,
4- Limons fins	2 à 20 μm
5- Argiles	>2 μm ,

La texture du sol : la texture du sol se diffère en particulier par son comportement vis-à-vis l'humidité, sa réaction au climat, sa capacité de stockage de l'eau et sa capacité de rétention des éléments.

Lorsque le pourcentage de sable, de limon et d'argile sont déterminés on peut identifier le sol c'est à dire déterminer son type à l'aide de triangle de texture (Triangle de Jamagne)

Analyse granulométrique

Elle est pratiquée sur la terre fine (obtenue par tamisage au tamis à mailles 2 mm). Après destruction de la matière organique par un oxydant énergétique (l'eau oxygénée), les particules minérales sont dispersées à l'aide d'un dispersant alcalin (hexamétophosphate de sodium); une agitation mécanique est nécessaire pour assurer une bonne séparation, les particules grossières (d supérieur à 50 μm) sont séparées par tamisage; les particules moyennes et fines sont obtenues par la mesure de la vitesse de sédimentation : par exemple, fraction fine (d inférieur à 2 μm) 8 heures sur 10 cm, à 20 °C.

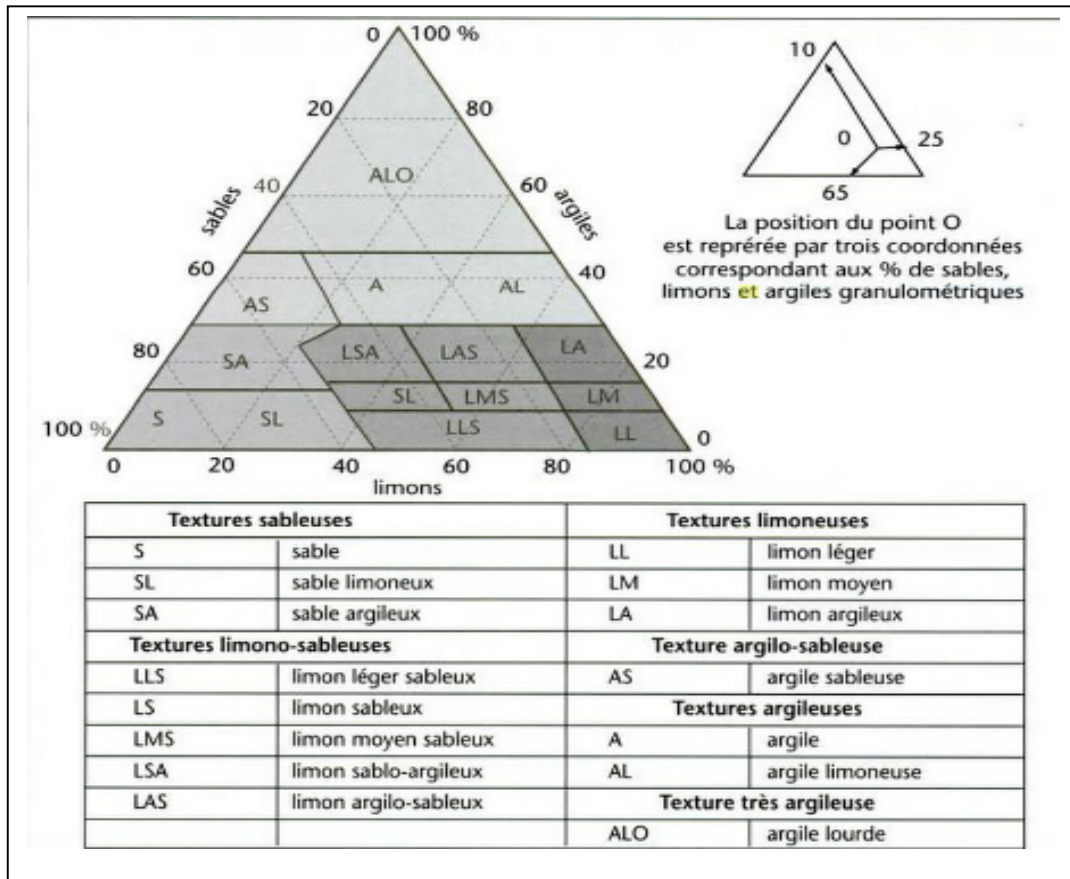
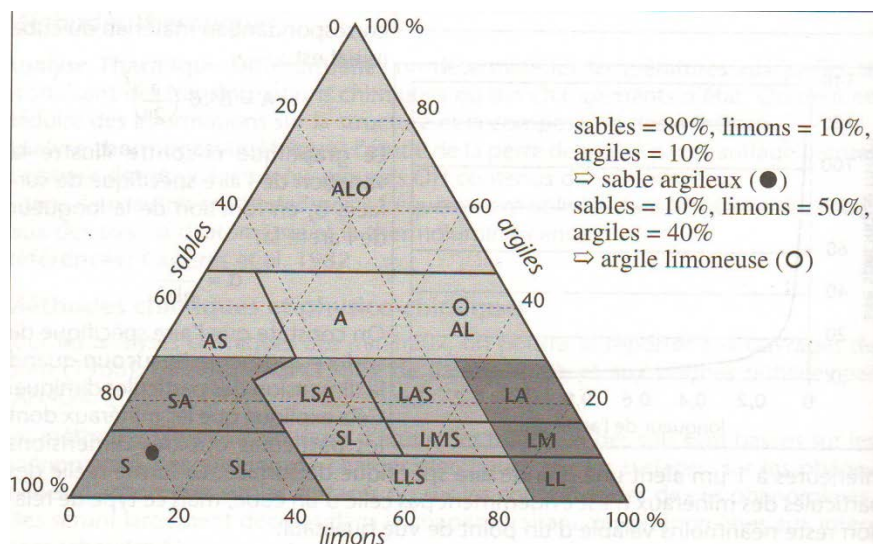


Figure 10 : Triangle des textures d'après M. Jamagne,

Exemple :



Chaque échantillon y est situé en fonction de sa teneur pondérale en sables, limons et argiles, la somme des trois étant ramenée à 100%.

Cours Ecopédologie

Pour chaque pourcentage d'argiles, limons, et de sable, **tracer une parallèle à l'axe suivant ; selon les aiguilles d'une montre**. L'intersection des trois droites désigne la texture du sol de l'échantillon.

Propriétés des particules minérales du sol :

Pour comprendre les propriétés des particules minérale on a l'exemple suivant.

Pour un cube de 1 cm de côté, sa surface spécifique est égale 6 cm^2 , si ce cube est subdivisé en petite cube de 1mm de côté sa surface spécifique (la surface totale de tous les cubes de 1mm) devient 60 cm^2 si on subdivisé en des cubes de $1 \mu\text{m}$ de côté sa surface spécifique (la surface totale de tous les cubes de $1 \mu\text{m}$) devient 6 m^2

On remarque que *plus la particule est fragmenté fine plus sa surface spécifique est importante.*

Les argiles qui sont les particules les plus petit ont la surface spécifique la plus élevée et représentent les particules les plus actives

- La surface spécifique de un gramme de **sable** = $44,6 \text{ cm}^2$
- La surface spécifique de un gramme de **limon** = 445 cm^2
- La surface spécifique de un gramme d'**argile** = 2200000 cm^2

Pour la capacité de rétention

- un gramme de **sable** peut retenir 5meq g d'ions (milli équivalent gramme)
- un gramme de **limon** peut retenir 15 meq g d'ions
- un gramme d'**argile** peut retenir 150 meq g d'ions

Exemple : calculer la capacité de rétention

On a $1 \text{ eqg} = \text{ions gramme} / \text{valence} = \text{la masse} / \text{valence}$

$1 \text{ meqg} = \text{la masse} / 1000 \times \text{valence}$

$1 \text{ meqg de } \text{Ca}^{+2} = 40\text{g} / 1000 \times 2 = 40 \times 1000 / 1000 \times 2 = 20 \text{ mg}$

Donc

Un gramme d'**argile** $\longrightarrow 150 \text{ meq g d'ions} = 150 \times 20\text{mg} = 3000\text{mg} = 3\text{g}$

Un gramme de **limon** $\longrightarrow 15 \text{ meq g d'ions} = 15 \times 20\text{mg} = 300\text{mg} = 0,3\text{g}$

Un gramme de **sable** $\longrightarrow 5 \text{ meq g d'ions} = 5 \times 20\text{mg} = 100\text{mg} = 0,1\text{g}$

Cours Ecopédologie

Il y a une relation proportionnelle entre la finesse de particule et leur capacité de rétention des éléments.

Propriétés des sols dans différentes texturées :

La texture sableuse : on dit qu' une texture sableuse s'il contient au moins 60% -65% de sable et au moins de 15 % argile, les sols caractérisé par cet texture sont appelés les terres légères, ils ont une faible cohésion et bien aérés sensibles à l'érosion éolienne (le vent) et hydrique, ils sont caractérisé par une forte infiltration (a cause de leurs macro porosité importantes) et pauvre en réserve d'eau et des éléments nutritifs.

La texture argileuse : on parle de la texture argileuse lorsque il y a au moins 40% - 45% d'argile, les sols argileuse sont caractérisé par :

- une faible infiltration à cause de leur micro porosités
- une forte cohésion, ils sont appelés des terres lourds
- Ils sont riches en éléments nutritifs
- Ils sont riches mais aères et possède une mauvaise propriété physique (ces sol sont difficiles a travaillé en période humide à cause de leur plasticité et en période sèche à cause de leur compacité.

La texture limoneuse : ce sont des sols qu'au moins 30% de limon et moins de 20% d'argile, ce sont des sols très riches en éléments nutritifs mais ils sont défavorable a l'agriculture à cause de leur faible cohésion et leur faible porosités (les particules de limon colmatent les vides).

La texture équilibrée : il correspond a l'optimum dans la mesure ou il présente la plupart des quantités des trois types de textures sans avoir les défauts. Si le sol ayant le complexe de granulométrie favorable à l'agriculture (20- 35%) d'argile , (30-35%) limon et (40-45%) sable.

2 L'horizon et le profil pédologique :

Lorsque l'on creuse un fossé afin d'observer le sol en coupe verticale on remarque que la terre n'est pas homogène parallèlement à la surface, elle est divisée en couches ou strates de différentes épaisseurs appelées **Horizons** généralement caractérisées par leurs couleurs et leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques (Fig.11)

Cours Ecopédologie

L'ensemble des couches ou les horizons observés dans cette tranchée verticale est appelé **un profil** ou *solum* il varie de quelques centimètres (lithosols = sol peu évolués, sol très mince) à plusieurs mètres (vieilles couvertures pédologiques).

Horizon pédologique : couche grossièrement parallèle à la surface du sol dont l'existence est reconnue par l'observateur (ce dernier, décrit sur le terrain et éventuellement analysé en laboratoire et ensuite comparé à des horizons de références et rattaché à celui dont les critères correspondent le mieux).

Horizon de références ou horizon de diagnostique : horizon d'interprétation présentent un ensemble de propriétés quantitativement définies. Généralement chaque horizon de référence reflète un ou plusieurs processus fondamentaux.



Figure 11 : des tranchées verticales dans le sol

Principaux horizons de référence :

Généralement les horizons sont symbolisés par une lettre majuscule et dans des cas exceptionnels cette lettre majuscule reflétant leur caractère essentiel (Tab.04). Ils peuvent être subdivisés en sous horizons par deuxième, voire une troisième lettre majuscule ou minuscule ou par un chiffre qui signalent des propriétés plus subtiles

Cours Ecopédologie

Tableau Codification des horizons principaux dans le système traditionnel (TRAD) et celui du Référentiel Pédologique (RP).

TRAD	RP	Signification
L (ou A ₀₀), F et H (ou A ₀)	O _L , O _F , O _H	Horizons très organiques des milieux forestiers drainés (avec L pour Litière, F pour couche en Fermentation, H pour couche en voie d'Humification); pour les Américains, tout cela correspond à un horizon Folique (avec feuilles).
–	H	Horizons très organiques des milieux humides (Cf. horizons Histiques – voir Histosols).
A	A	Horizon organo-minéral de surface avec organismes vivants et/ou traces d'activité biologique.
A2	E	Horizon presque exclusivement minéral, appauvri en fer, matière organique, ou argile et souvent blanchi (E pour « éluvial »).
(B)	S	Horizon minéral représentant un stade d'altération limité par rapport à la roche mère dont certains caractères sont encore visibles (pendage, minéraux...); les marques d'évolution sont: une couleur spécifique (expression du fer) et/ou une structure d'origine pédologique et non pas géologique (prismes, polyèdres...).
B	B	Horizon où se concentrent certains éléments tels que fer, argile, humus, sels ou carbonates secondaires mais où les carbonates primaires ont disparu.
C	C	Horizon de la base du sol; il est déjà soumis à l'influence des agents atmosphériques; il présente une fissuration liée à des alternances de dessiccations – humectations et une oxydation partielle ou légère liée à la pénétration de l'oxygène. En revanche, sauf mention explicite contraire (ex: C _{ca}), il est dépourvu des accumulations observées typiquement en B.
–	D	Matériel parental transformé mais qui ne présente pas les traces de météorisation intervenant dans le C; par exemple: arène granitique, éboulis calcaire, moraine (voir altérites, chap. 2).
R	R	Correspond à la roche dure non altérée et non fragmentée; elle est appelée « roche mère » quand elle est à l'origine du sol qui la surmonte.
(g)	Go	Présente des traces d'oxydation et de réduction du fer (hydromorphie) dans un contexte où les phénomènes de réduction ne sont pas dominants (Go = gley oxydé).
(G)	Gr	Phénomènes de réduction affirmés; G = gley et Gr = Gley réduit; taches grises, bleutées, blanchâtres voire verdâtres.

(g) et (G), mis entre parenthèses, sont bien équivalents à Go et Gr mais ils apparaissent en tant que suffixes et pas en temps qu'horizons majeurs; cela matérialise le fait que l'on a parfois le choix entre considérer l'hydromorphie comme une caractéristique accessoire (ex: horizon Ag, Bg ou Cg) ou alors majeure donnant son appellation à l'horizon qui devient Go ou Gr, qu'il soit par ailleurs de type A, B ou C.

Cours Ecopédologie

Dans un sol donné il y a pas nécessairement toute la série d'horizons cité dans le tableau précédant, par exemple on peut rencontrer des profils de type AR ou A (B) C.

Ces sigles d'horizons peuvent être enrichis d'un suffixe qui précise la nature (Tab.05).

Suffixe	Signification. Ces sigles caractérisent des horizons
Ca	Enrichis en carbonate de Calcium : B _{Ca} , C _{Ca}
Fe	Enrichis en Fer B _{Fe} en particulier
h	Enrichis en matière organique : B _h
s	Enrichis en sesquioxydes de fer ou aluminium (Al ₂ O ₃), le B _{Fe} une sorte particulière de B _s
t	Enrichis en argile (t = ton en allemand) B _t

Si plusieurs horizons de même type se succèdent on numéroté dans l'ordre par exemple on aura un profil dont le développement sera : A,B1,B2,C.

Si un horizon possède des caractères intermédiaires entre deux horizons on identifie avec les deux lettres ainsi peut-on rencontre un horizon AB ou BA si on veut marquer qu'il ressemble plus a un B qu'a A.

Le sol et l'eau

L'eau du sol a une importance considérable; d'une part elle intervient dans la nutrition des plantes, à la fois directement et indirectement, en tant que véhicule des éléments nutritifs dissous et milieu des différentes réactions métaboliques; d'autre part, c'est un des principaux facteurs de la pédogenèse, qui conditionne la plupart des processus de formation des sols.

Les sources principales de l'eau du sol sont :

- **L'eau de précipitation** (on y ajoute les eaux d'irrigation)
- **L'eau souterraine** (*nappe phréatique permanente*, alimentée souterrainement).

Les états de l'eau dans le sol : on distingue trois états de l'eau dans le sol selon la force avec laquelle il la retient et selon sa disponibilité pour les plantes : l'eau de gravité, l'eau utile et l'eau inutilisable.

- **L'eau de gravité** ou l'eau libre : c'est l'eau qui remplit la macroporosité et s'écoule par gravitation jusqu'au point de ressuyage. Il n'existe dans les sols que dans les heures ou les jours qui suivent une précipitation ou en cas des nappes phréatiques permanentes. Quand les forces dues à la gravitation s'équilibrent avec la force de rétention du sol, elle apparaît le point de ressuyage.
- L'eau de gravité à écoulement vertical se subdivise en deux parties :
 - 1° **L'eau de gravité à écoulement rapide**, qui circule dans les pores grossiers (supérieurs à 50 µm), dans les quelques heures qui suivent les pluies;
 - 2° **L'eau de gravité à écoulement lent**, qui descend lentement (souvent plusieurs semaines) dans les pores moyens de diamètre compris entre 50 µm et 10 µm : l'ensemble des eaux de gravité alimente *le drainage profond*, si le sol est perméable.
- **L'eau utilisable :** ou réserve utile R_U : elle remplit les pores de diamètre compris entre 0,2 et 50 µm ou forme des films de 5 à 10 nm à la surface des particules. Les racines l'absorbant jusqu'au point de flétrissement temporaire, réversible puis jusqu'au point de flétrissement permanent qui atteint lorsque la surface de rétention de l'eau par le sol égale la force de succion maximale exercée par la plante.
 - **Le point de flétrissement (f) :** la valeur de l'humidité du sol au moment où la plante commence à souffrir de la sécheresse, et se fane, sur le plan pratique on distingue deux étapes successives du point de flétrissement :

- **Le point de flétrissement temporaire (ft) :** *il* est défini comme étant la teneur en eau du sol à laquelle les feuilles les plus basses d'une plante se flétriront, les stomates se ferment, et qui provoque une réduction de la transpiration et l'arrêt de la croissance de la plante, cependant, le développement de la plante peut se poursuivre si elle est replacée dans les conditions optimales
- **Le point de flétrissement permanent (fp) :** Le flétrissement devient permanent et induit un dessèchement définitif de la plante. C'est la valeur de l'humidité du sol à partir de laquelle les forces de capillarité et d'adsorption (l'eau liée) qui lient l'eau au sol, de côté, et les forces d'absorptions de l'eau par les plantes d'autre côté, sont égales, de telle façon que les plantes ne peuvent l'extraire pour leurs besoins de transpiration et de croissance.
- **l'eau inutilisable :** en dessous du point de flétrissement permanent se trouve ce type d'eau inutilisable par les plantes, seule une évaporation intense permet de l'éliminer, mais même à des températures élevées il reste toujours un peu d'eau dans le sol auteure de certains minéraux dont elle assure l'hydratation.

Les forces exercent sur l'eau du sol :

Trois forces agissent sur l'eau de sol : la force de gravitation d'écoulant d'attraction terrestre **P**, la force de rétention par les solides **F** en fin la force de succion des plantes **S** (Fig.12). ces forces parfois assimilées à des pressions sont exprimées en mega pascals (MPa), en Bars, en atmosphères, en centimètre d'eau ou de mercure.

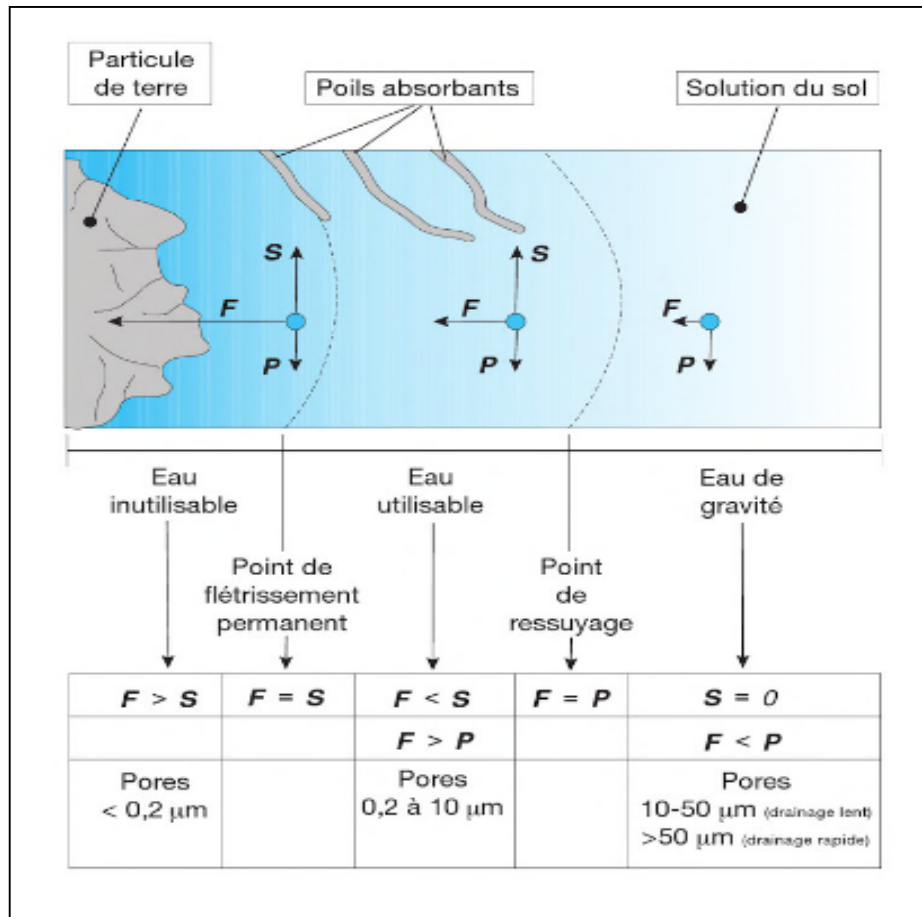


Figure 12 : les forces exercent sur l'eau du sol.

La solution du sol et les êtres vivants : la solution du sol influence les êtres vivants de multiples manières et a des échelles variées.

- La nutrition des plantes puis que celle-ci plongent leurs racelles pour absorber l'eau et les éléments nutritifs dont elles ont besoin
- La solution du sol joue ici le rôle d'intermédiaire entre les cellules du rhizoderme et le complexe argilo-humique
- Sa teneur en ions et son pH règlent la présence des espèces en fonction de leur affinité et leur capacité de tolérance par exemple la concentration élevée en sodium de la solution de sol qui sélectionner les plants halophiles alors que celle en aluminium est toxique pour les végétaux

L'atmosphère de sol :

Dans le sol l'air occupe les pores abandonnés par l'eau lors de son retrait d'abord le plus grossier puis les plus fins.

Sa quantité dépend ainsi d'une combinaison entre la texture, la structure et la teneur en eau, mais il est aussi en échange avec l'atmosphère externe dans des concentrations relatives différentes en gaz libre. ,n,njlng

La composition de l'air dans le sol présente des fluctuations saisonnières liées à l'activité biologique comme par exemple la respiration des racines, de la microflore aérobie et la faune consomme de l'oxygène et rejette du gaz carbonique. La fixation d'azote et la dénitrification bactériennes modifient les concentrations en azote réactif alors que le méthane.

La production moyenne de gaz carbonique dans le sol est estimée à 15 t /ha les deux tiers étant dus à l'activité microbienne, si la structure est aérée cette production ne s'accumule pas car l'air se renouvelle par diffusion avec l'extérieur au gré des variations de concentration.

L'atmosphère du sol et les êtres vivants : à l'instar de la solution du sol, l'atmosphère du sol agit de multiples façons sur les êtres vivants de manière directe ou indirecte. Pour l'ensemble des eucaryotes et pour nombreux procaryotes le facteur limitant principal c'est l'oxygène, sa teneur doit être suffisante pour assurer les processus fondamentaux de la respiration aérobie. Généralement il ne représente pas un problème pour les microfaunes et les mésofaunes car ils peuvent se déplacer si l'air se raréfie mais il pose un problème pour la microfaune et la microflore et les végétaux par ce que leurs mouvements sont très lents pour éviter la diminution ou la chute de taux d'oxygène qui peut se produire après une inondation par exemple.

L'effet direct : si l'oxygène existe avec une petite quantité et avec l'augmentation du taux d'oxyde de carbone CO₂ dans le sol on remarque un ralentissement de l'activité de certains microorganismes exemple : la croissance des champignons lignicoles est optimale vers 10% de CO₂ et il peut atteindre encore la moitié de son maximum sous 50 % de CO₂. Dans la règle, les champignons non lignicoles sont fortement inhibés sous plus de 15 % de CO₂.

Cours Ecopédologie

Dans l'atmosphère du sol on peut trouver des substances volatiles toxiques tel que l'**éthylène** C_2H_2 (produit naturellement par les plantes), l'**acide cyanhydrique** HCN produit par certaines bactéries antagonistes de champignons parasite des racines.

L'effet indirect : il modifie le potentiel redox, celui-ci est un régulateur important des réactions d'oxydoréduction fort nombreuses dans les sols et touchant de multiples éléments comme le fer, l'azote....etc

A court terme la modification du potentiel redox change la biodisponibilité en certains ions en relation avec celle de pH. Along terme elle agit sur l'ensemble de l'activité biologique et donc sur ses conséquences macroscopiques qui sont par exemple la structure du sol ou sa capacité d'intégration de la matière organique, exemple de l'accumulation de turbe matériel végétale ne se décomposent que très lentement en raison des conditions anoxique qui empêchent la dégradation des polymères phénolique tel que la lignine.

La température du sol :

La plus grande partie de l'énergie calorifique que le sol reçoit provient de l'énergie solaire (estime en moyenne dans les régions du climat tempéré a 144 calories /jour/cm²). Elle varie considérablement en fonction de la latitude, de la saison, de l'exposition et du couvert végétal ; l'énergie calorifique reçue le jour élève la température du sol et évapore l'eau retenue; la nuit, au contraire, le sol se refroidit par rayonnement.

L'énergie solaire :

Le flux initial d'énergie solaire est la constante solaire qui contient toutes les longues d'ondes entre 200 et 4000 nm. Infrarouge thermiques entre 700 et 1000 nm intéressent le sol au premier chef alors que le visible entre 400 et 700 nm est vitale pour les organismes.

La fraction de constante solaire qui atteint réellement le sol par voie direct (**I**) ou diffusé (**D**), est le rayonnement global **R_g** ce dernier dépend de l'angle h du rayon solaire avec le sol (latitude et la pente). Il est un des composantes du

Cours Ecopédologie

rayonnement net R_n lui-même se distribué sous quatre formes dans l'écosystème (Fig.13):

- $L \cdot E$: énergie utilisée pour l'évaporation ou libérée par la condensation de l'eau.
- q_a : chaleur de convection, diffusion en milieu liquide.
- q_s : chaleur de conduction, diffusion en milieu solide.
- ph : énergie absorbée pour la photosynthèse.

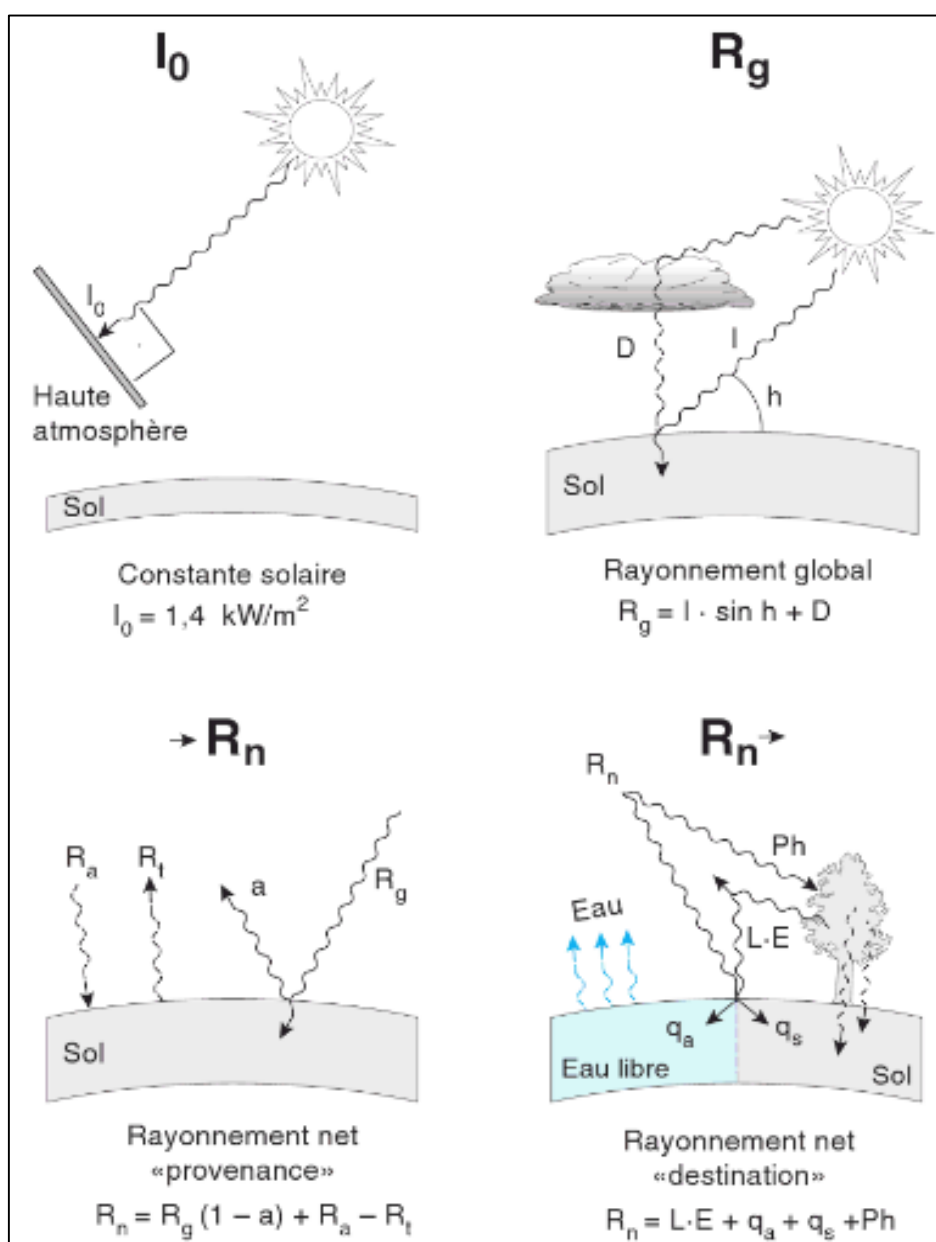


Figure 13 : les étapes de transformation de l'énergie solaire de la haute atmosphère au sol.

1- Facteurs d'échauffement superficiel du sol :

Lorsqu'on mesure la température des sols différents, dans une même région et à un même moment, on constate qu'elle peut varier dans de larges limites; trois facteurs interviennent à ce point de vue :

1- la couleur du sol, les sols foncés s'échauffant plus vite que les sols clairs;

2- la teneur en eau, qui joue un rôle considérable : la capacité calorifique de l'eau est, en effet, quatre à cinq fois plus élevée que celle de l'air ou des matières solides; il faut donc beaucoup plus de calories pour élever du même nombre de degrés la température d'un sol saturé d'eau, que celle d'un sol sec. Les sols sableux ou calcaires, qui se dessèchent rapidement, sont des sols «chauds », alors que les sols mal drainés ou tourbeux, sont des sols «froids»;

3- la couverture végétale, intervient de façon importante. La forêt est, à cet égard, plus efficace que la pelouse : un sol de forêt dense est souvent, en été, moins chaud de 8 à 10 °C qu'un sol nu. Par les chaudes journées ensoleillées, la température d'un sol nu peut dépasser 50 °C en climat tempéré, et 60 à 70 °C en climat tropical.

2- La diffusion calorifique en profondeur : profils thermiques

Les profils thermiques renseignent sur la variation de la température du sol, en fonction de la profondeur, à un instant donné. C'est la conductivité thermique du sol, qui détermine les variations de température des horizons profonds, en corrélation avec celles des horizons de surface, qui sont en rapport avec la température de l'atmosphère, ce qui explique que la température du sol varie en fonction du temps:

✓ au cours de la journée (cycle jour/nuit) on constate des variations périodiques de la température en fonction du temps, au cours d'une journée, et elle présente globalement une allure

Sinusoïdale, on remarque l'amortissement de la variation de la température en profondeur ce qui traduit par la diminution de l'amplitude thermique avec la profondeur ; cela veut dire que les variations de température de la surface du sol n'ont plus d'effet, à partir de 40 cm (l'exemple ci-après). En général, cette profondeur limite est de 0.30 à 1m.

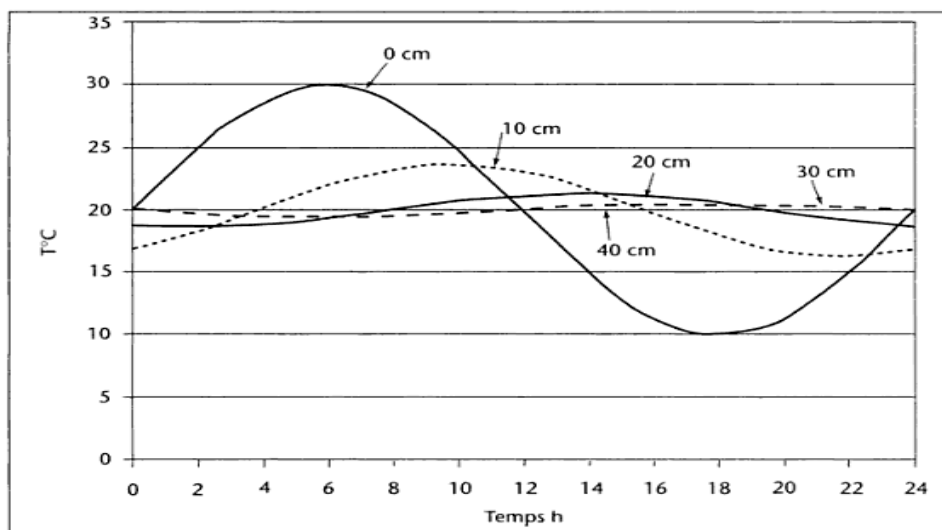


Figure : *Simulation de la température du sol en surface et à quatre profondeurs ; 0 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, et 40 cm*

✓ Au cours de l'année en raison des variations saisonnières ; Les horizons profonds s'échauffent en été et se refroidissent en hiver, plus lentement que les horizons de surface; il s'ensuit que *les oscillations saisonnières de températures des horizons profonds sont décalées et amorties, par rapport à celles des horizons de surface : plus froids en été que les horizons de surface, les horizons profonds sont, au contraire, plus chauds en hiver* (figure.....ci- dessous).

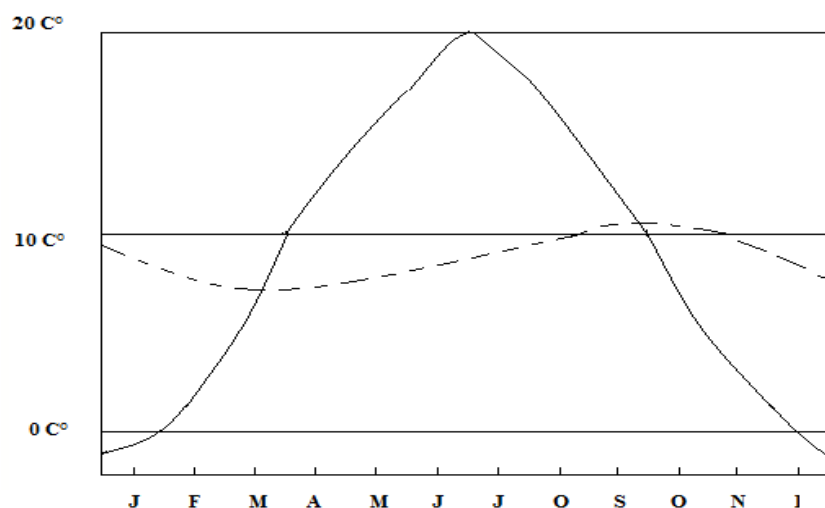


Figure évolution mensuelle de la température du sol en climat tempéré
 — surface, - - - profondeur (- 5 mètres)