

Introduction :

Historiquement l'homme a lié de tout temps son existence et son sort de celui du sol, le jour où il a abandonné la chasse et la pêche pour pratiquer l'agriculture et la chasse il y a 10 000 ans. Comme le sol est une ressource naturelle indispensable et précieuse à bien des points de vue : ses fonctions sont multiples, à la fois économiques, sociales et environnementales : le sol permet l'agriculture, accueille et offre l'espace nécessaire à l'habitat et aux diverses activités humaines, stocke lui-même d'autres ressources naturelles (eau, minerais, ressources et combustibles fossiles). Véritable regroupement génétique, il accueille l'habitat de nombreuses espèces vivantes et constitue le compartiment intermédiaire entre l'hydrosphère et l'atmosphère. Ça demande l'analyse de sol. Notre objectif ici est de comprendre et expliquer la notion et l'opération et les types d'analyse du sol.

Les analyses de sol ou « étude in situ » jouent un rôle important en production végétale ainsi que dans la gestion des éléments nutritifs. Elles constituent en fait le meilleur moyen de bien planifier les applications d'engrais pour les exploitations agricoles qui utilisent des engrais commerciaux comme source principale d'éléments nutritifs. Il est particulièrement important, dans le cas des fermes d'élevage, de connaître la teneur initiale du sol en éléments nutritifs. C'est à partir de cette dernière qu'on peut alors dresser le plan de gestion des éléments nutritifs qui permettra de gérer adéquatement à la fois les éléments nutritifs que la ferme produit et ceux qu'elle reçoit sous forme de biosolides et d'engrais commerciaux.

Chapitre 1 : les différents sols

1. Définitions :

Le mot sol reste polysémique. Plusieurs définitions du sol sont donc possibles en fonction de l'usage que l'on en fait et du rôle qu'on lui assigne dans une perspective d'une meilleure compréhension des systèmes qui contrôlent notre planète.

1.1 La définition générale de sol :

« Le sol fait partie intégrante des écosystèmes terrestres et constitue l'interface entre la surface de la terre et le socle rocheux. Il se subdivise en couches horizontales successives aux caractéristiques physiques, chimiques et biologiques spécifiques. Il a également différentes fonctions. Du point de vue de l'histoire et de l'utilisation des sols ainsi que d'une perspective écologique et environnementale, le concept de sols embrasse également les roches poreuses sédimentaires, les autres matériaux perméables, en plus de l'eau qu'ils contiennent et des réserves d'eau souterraine. » (Conseil de l'Europe 1990 in Winfried E.H. Blum, 2001).

1.2 La Définition agronomique :

Support de la végétation et des cultures. Le sol est le support des plantes, cultivées ou non. C'est la zone exploitée par les racines.

Il englobe le domaine de la rhizosphère, zone d'échanges d'ions, de compétition pour l'eau, l'oxygène où l'activité microbienne est stimulée par la libération de composés organiques.

Principal objet d'étude des agronomes le sol, en tant que zone travaillée par les instruments aratoires, est le support des cultures. Son potentiel de production se traduit par la notion de fertilité, variable en fonction de ses caractéristiques intrinsèques mais aussi des apports extérieurs (fertilisation, amendements minéraux ou organiques, traitements phytosanitaires), des améliorations foncières (drainage, irrigation, sous-solage) ou des techniques culturales appropriées aux modes de cultures envisagés (labours, et façons aléatoires diverses dont les récentes « techniques culturales simplifiées » (TCS).

1.3 Définition pédologique :

Zone altérétique colonisée par la biosphère. Le sol est une zone mince formant la partie superficielle de l'écorce terrestre affectée par les différents processus de l'altération physique ou mécanique, (désagrégation) ou ceux de l'altération chimique (décomposition).

Les processus de décomposition sont la désagrégation physique du substrat et l'altération chimique du substrat, dont l'intensité dépend du climat.

- La désagrégation physique de la roche est due :

- à la fragmentation et à la fissuration due à des écarts de température ;

- à l'érosion éolienne ;

- à l'écartement des fissures sous l'effet du gel et des racines ;

Elle aboutit à la formation des éléments sableux (cailloux, graviers, sables, limons).

- L'altération chimique, ou transformation des minéraux de la roche, est due à des réactions chimiques : dissolutions (eau + CO₂) ou hydrolyses (eau + bases ou acides). L'altération chimique du substrat aboutit à la formation du complexe d'altération : argiles, silice, oxyde de fer et d'alumine, et sels plus ou moins solubles.

Les premiers, gel, lumière, humidification, dessiccation, déterminent des dilatations, des contractions qui engendrent la fissuration des roches et à terme leur fragmentation.

Les seconds, dissolution (lixiviation), hydratation, hydrolyse, oxydation, réduction, déterminent des changements de composition chimique, de structure, de porosité de couleurs et des entraînements (lessivage) susceptibles de transformer le substrat et de le différencier en horizons.

Le rôle de la biosphère en général et de la végétation en particulier en tant que principal facteur de la pédogenèse, est déterminant, même si cette dernière est induite par l'homme.

Il en résulte une très grande diversité des sols, dans leur composition et leur différenciation en horizons. Leur distribution à l'échelle de la Terre comme à l'échelle locale, obéit à des principes utiles à la compréhension de la dynamique physique des paysages.



Figure 1 : coupe pédologique d'un sol brun. (Ref 1)

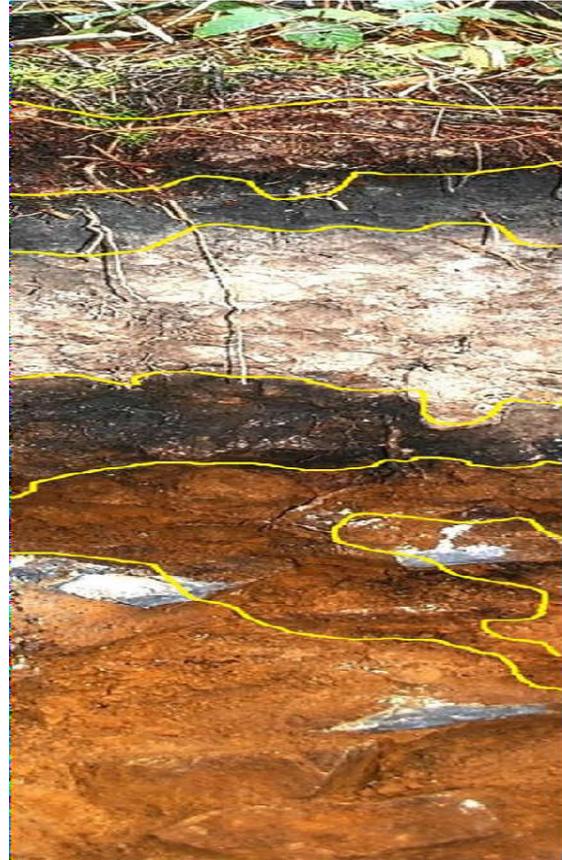


Figure 2 :

Le sol organisé en horizons : un Podzol. Ce sol a une épaisseur de 110 cm.(cliché A.L. Le Bris, « Étude des sols », Dunod). (ref 2)

1.4 Ecologique :

Milieu triphasique au carrefour de la biosphère et de la lithosphère. Ecologiquement le sol est un milieu triphasique avec une phase solide, minérale et organique, comprenant les éléments constituant « l'architecture » ou structure du sol, une phase liquide avec éléments dissous constituant la solution du sol et en fin une phase gazeuse remplissant les pores non remplis par la phase précédente.

Ce milieu, poreux, hautement réactif vis à vis de la phase liquide, intégrant des fractions présentant les propriétés des substances colloïdales est un lieu d'échanges fonctionnant comme un réacteur chimique. Grâce au pouvoir adsorbant du sol et de ses capacités d'échanges le sol constitue le milieu nutritif essentiel des écosystèmes terrestres. Il demeure également le lieu privilégié des fonctions biotransformatrices des écosystèmes, au regard du stockage et de la dynamique des flux du carbone et de l'azote mais aussi au regard de l'altération des minéraux donc des processus initiateurs de la pédogenèse, grâce à l'activité des microorganismes.

1.5 Fonctionnelle :

Le sol est une structure, une organisation répondant à un certain nombre de fonctions indispensables à la survie des écosystèmes terrestres en général et à celle des sociétés humaines en particulier, les deux étant évidemment intimement liées.

Nous allons donc aborder ci-après ces fonctions en insistant particulièrement sur les fonctions sociales. Il est clair en effet que le rapport au sol est défini dans nos sociétés modernes par l'usage que l'on en fait et non par sa valeur symbolique ou sa signification écologique.

Chapitre 2 : Caractéristiques et propriétés physico-chimique des sols

Le sol est un mélange de plusieurs phases : solide, liquide, gazeuse. Ce qui pourrait passer pour un matériau homogène, se révèle, à la loupe, un mélange de "grains" durs, d'eau, d'air, d'êtres vivants ou morts et d'humus. On peut donc décrire le sol comme un système polyphasique. Il comprend :

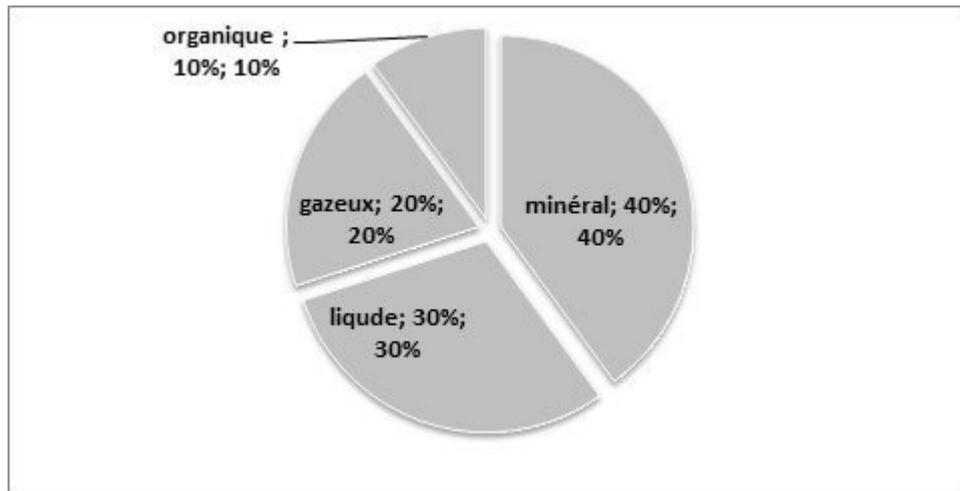


Figure 3 : Répartition des constituants des sols (Vidal, 2013) (ref3)

-Une phase solide comportant les minéraux et les substances organiques inertes, mais aussi les êtres vivants

-Une phase liquide, quasi exclusivement aqueuse qui outre l'eau, contient l'ensemble des substances et gaz dissous qui jouent un grand rôle dans les fonctions du sol (nutrition, réservoir et filtre de certains éléments...)

-Une phase gazeuse en équilibre avec la phase liquide. Elle constitue 'l'air' du sol, dont la composition est assez différente de celle de l'air atmosphérique, avec lequel il existe de nombreux échanges. La teneur en CO₂ est notoirement plus élevée (0,5 à 5%) contre 0,035% dans l'atmosphère. En contrepartie, la teneur en oxygène est parfois plus basse, mais nécessaire à la respiration des organismes vivants dans le sol (racines, champignons, vers de terre, etc...).

Elle est en outre pratiquement toujours à vapeur saturante pour la vapeur d'eau.

2. Les éléments constitutifs de la phase solide du sol :

2.1 La texture :

Elle définit les éléments minéraux du sol qui proviennent de l'altération des roches, soit d'une façon mécanique (minéraux primaires) soit d'une façon chimique, avec transformations (minéraux secondaires : argiles, oxydes). L'ensemble des minéraux secondaires forme le complexe d'altération.

a) Les éléments grossiers :

Ce sont les éléments > 2mm et on les classe par dimensions :

- 0,2 cm à 2 cm : graviers
- 2 à 5 cm : cailloux
- 5 à 20 cm : pierres
- à 20 cm : blocs

Leur expression se fait en pourcentage, qu'on donne sur le terrain en fonction du volume et en laboratoire en fonction de la masse (sur un échantillon de sol, au laboratoire, on estime le % après passage au tamis de 2mm).

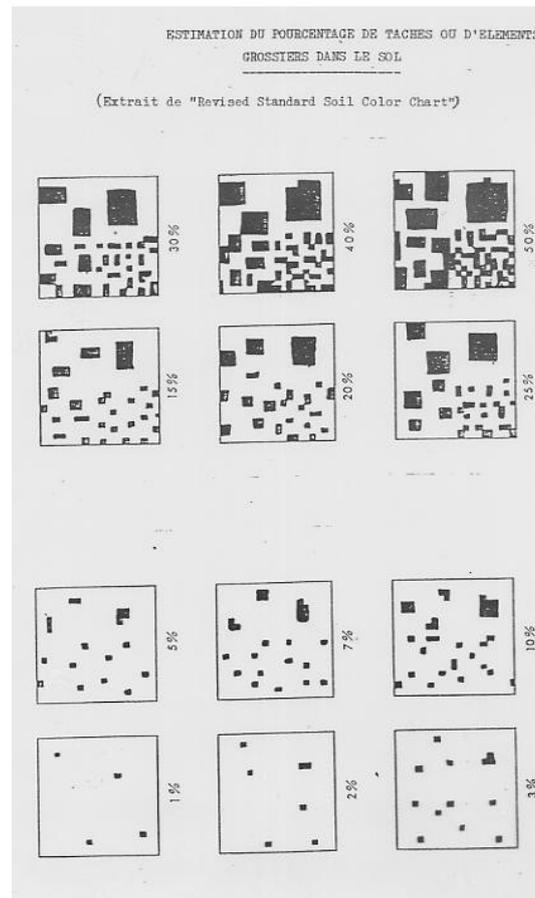


Figure 4 : Grille d'estimation du % d'éléments grossiers (Revised Standard Soil Color Chart)(ref 4)

b) La terre fine :

La terre fine est la fraction de terre qu'il reste lorsqu'on retire les éléments grossiers (donc < a 2 mm, au tamis). On peut classer les éléments de la terre fine par dimensions :

- de 2mm a 0,2 mm : sables grossiers
- de 0,2 mm a 50 um : sables fins
- de 50 um a 20 u : limons grossiers
- de 20 u a 2 u : limons fins
- < a 2 u : argiles

2.2 La matière organique :

La fraction solide de terre fine comprend généralement 1 à 5% de matière organique et 95 à 99% de matière minérale.

La matière organique comprend tous les constituants du sol formés d'hydrates de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et, le plus souvent, d'azote.

Elle donne naissance à une matière de couleur foncée, l'humus.

La quantité d'humus stable obtenu à partir d'apports organiques dépend de leur teneur en matière sèche et de leur richesse en cellulose et lignine.

Le coefficient iso humique K1 : désigne la quantité d'humus stable formée par kilogramme de matière sèche organique apportée au sol. Alors qu'on extrapolait le coefficient K1 à partir de quelques expérimentations, aujourd'hui, on dispose de deux outils de laboratoire, l'indice de stabilité biologique (ISB) et la caractérisation biochimique de la matière organique (CBM) qui permettent de définir le potentiel d'humus stable de chaque produit organique. Ainsi, 30 tonnes de fumier à 20% de matière sèche peuvent produire 2,5 à 3 tonnes d'humus.

Le coefficient de minéralisation K2 : rend compte de la quantité d'humus transformée chaque année. Cette perte annuelle, généralement comprise entre 800 et 1600 kg par hectare, entraîne une libération d'azote variant de 40 à 80 kg.

2.3 La structure du sol :

Les éléments constitutifs de la fraction « terre fine » soudés par l'humus, forment des agrégats, qui ménagent entre eux des espaces lacunaires remplis d'air et d'eau. C'est le complexe argilo-humique, qui en présence de calcium confère au sol une structure stable.

Les agrégats se rassemblent pour former des mottes.

La forme, la taille et la disposition des agrégats caractérisent la structure du sol, qui doit être à la fois stable et poreuse :

- stable, pour que les racines puissent explorer en permanence un grand volume de terre.
- poreuse, de façon à permettre la circulation de l'air et de l'eau.

Le sol est de ce fait propice à la vie biologique, à un bon enracinement et à la disponibilité des éléments minéraux.

2.4 L'eau dans le sol :

La réserve en eau assure la quasi totalité des besoins en eau de la plante.

L'eau dissout les éléments nutritifs pour constituer la solution du sol qui est absorbée par les racines.

Plus la texture d'un sol est fine, plus sa réserve en eau est élevée. La part de l'eau qui s'infiltre dans le sol est d'autant plus importante que la surface offre plus d'obstacles au ruissellement et que la structure du sol est plus grossière.

L'eau d'infiltration se charge sur son passage en oxygène, gaz carbonique et sels minéraux.

Une partie de l'eau du sol est prélevée par la plante pour son alimentation mais aussi pour compenser les pertes par évapotranspiration au niveau des feuilles.

Une autre partie de l'eau d'infiltration peut être perdue par drainage, durant les périodes humides ou en cas d'irrigation mal conduite, entraînant des pertes d'éléments minéraux.

Une autre partie de l'eau du sol peut être perdue par transpiration par les feuilles ou par évaporation à la surface du sol, qui peut être réduite par paillage ou brise-vent.

2.5 L'eau et la fertilisation :

La fertilisation améliore la résistance des plantes à la sécheresse, en favorisant le développement racinaire et la régulation de la transpiration par le mécanisme de fermeture des stomates.

L'irrigation en période de sécheresse entraîne un accroissement des rendements, et provoque aussi une augmentation des besoins minéraux et des exportations.

3. Les propriétés physicochimiques du sol :

Un sel minéral en dissolution dans l'eau du sol s'y trouve en partie à l'état dissocié, scindé en deux ions :

-l'anion, chargé négativement et le cation, chargé positivement.

-Les cations continuellement en mouvement représentent les éléments minéraux à l'état échangeable et sont biodisponibles pour la plante.

L'hydrogène est le cation le plus énergiquement retenu par le complexe argilo-humique.

Le complexe argilo-humique possède la propriété de retenir à sa surface les cations de la solution du sol (pouvoir adsorbant).

Les engrais azotés minéraux apportent l'azote :

- soit sous forme du cation ammoniacal NH_4^+ qui peut se fixer sur le complexe argilo-humique,
- soit sous forme de l'anion nitrate NO_3^- qui n'est pas retenu par le complexe et est mobile dans la solution du sol.

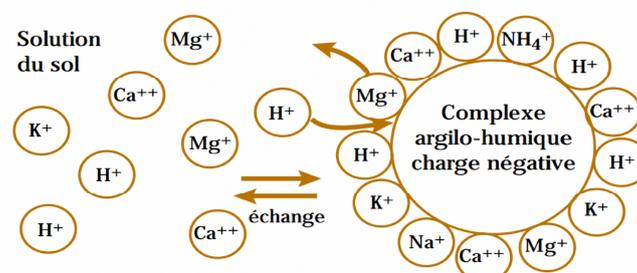


Figure 5 : complexe adsorbant (ref 5)

3.1 L'importance du complexe adsorbant et sa saturation :

Le complexe adsorbant d'un sol est saturé quand tous les ions H^+ (H_3O^+) sont remplacés par des cations échangeables tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ .

La quantité maximum de cations qu'un sol peut fixer détermine la capacité d'échange cationique (C.E.C.).

Le taux de saturation est plus ou moins élevé selon que le complexe est plus ou moins saturé en cations échangeables.

Pour obtenir l'efficacité maximale de la fertilisation, l'agriculteur devra maintenir la capacité d'échange cationique du complexe en favorisant la formation d'humus et en saturant le complexe par des amendements basiques, le cas échéant.

3.2 La réaction du sol ou pH :

La concentration en ions hydrogène H^+ d'un milieu chimique détermine sa réaction mesurée par le pH, qui varie de 0 à 14.

Le pH d'un sol est la mesure de la quantité d'ions H^+ libres dans l'eau (pH eau).

Un sol est dit :

- acide pour un pH eau inférieur à 6,8
- neutre pour un pH eau compris entre 6,8 et 7,2
- alcalin ou basique pour un pH en eau supérieur à 7,2.

Le pouvoir tampon du sol représente sa faculté de résister aux variations rapides du pH.

Il est d'autant plus fort qu'il est riche en argile et en humus.

4. L'activité biologique du sol :

Le sol est un milieu vivant dans lequel se développe une multitude d'organismes variés appartenant aux règnes animal et végétal.

4.1 La faune du sol :

La macrofaune est représentée par des rongeurs, des arthropodes, des mollusques et des annélides. Les plus utiles sont les vers de terre (lombriciens), qui améliorent la structure du sol et sa porosité. Leur poids peut atteindre 4 tonnes par hectare.

La microfaune du sol a surtout un rôle d'enfouissement et de mélange de la matière organique avec le sol.

Les bactéries et les champignons constituent les microorganismes les plus représentés dans les sols où ils sont les principaux responsables de la minéralisation des matières organiques (Quénéa, 2004). Ils participent aussi à un processus appelé humification qui conduit à la formation de l'humus (Paul & Clark, 1996) qui est un composé complexe et majeur du cycle de la matière organique tellurique et de la fertilité du sol.(ref6)



Figure 6: Collembole
Photo (ref 7)
Photo C. Laumond, INRA



Figure 7: Lombriciens
Photo (ref 7)
Photo C. Laumond, INRA



Figure 8: Les nématodes
Photo C. Laumond, INRA



Figure 9 :Les fourmis (Hyménoptères – Formicidés)
Photo C. Laumond, INRA



Figure 10:Les cloportes (Arthropodes, Crustacés, Isopodes)
Photo C. Laumond, INRA



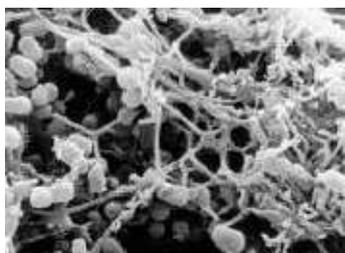
Figure 11:Acarien Oribat
Photo C. Laumond, INRA

4.2 La flore du sol :

Elle comprend algues, champignons, actinomycètes et bactéries. Les champignons agissent sur les processus de formation de l'humus et la stabilisation des agrégats.

Les bactéries dégradent les matières organiques et interviennent dans diverses étapes essentielles du cycle des éléments fertilisants (azote, phosphore et soufre).

Les techniques de culture du sol doivent tendre à améliorer les conditions de milieu favorables à l'activité de tous ces microorganismes.



Actinomycètes (ref 7)



Rhizobactéries (ref 7)

Chapitre 3 : Importance d'étude du sol :

L'étude du sol a pour objectif la mise en valeur le sol d'où son importance de différents angles :

3.1 Valeur patrimoniale :

Il est logique historiquement le sol revête une valeur patrimoniale exceptionnelle traduite par l'attachement des peuples à la terre, traduite par les religions et les civilisations en tant que lieu de sépulture, traduite par les sociétés occidentales en tant que mode de représentation et matérialisation de l'espace.

3.2 Support de l'activité agricole :

Le sol est de plus en plus considéré, à ce niveau comme une ressource fragile dont le renouvellement est très lent. Dans la relation du sol à l'agriculture, il faut distinguer ce qui est de l'ordre de l'agriculture traditionnelle indissociable de la terre et ce qui est de l'ordre de l'agriculture moderne industrielle productiviste, consommatrice de ressources naturelles et parfois parfaitement dissociable du milieu sol (mais pas de ses composants).

Les processus souvent irréversibles de dégradation (déstructuration, érosion, salinisation, pollutions) voire de disparition des sols du fait des conséquences de l'intensification par consommation irraisonnée de la ressource. La prise de conscience récente de ce problème a généré d'autres modes d'exploitation : agriculture durable au sein de développement durable.

3.3 Réceptacle des déchets :

Une des nouvelles fonctions dévolues au sol est bien celle de régulateur : absorber nos rejets et nos déchets en misant sur une des caractéristiques essentielles du sol constituée par son pouvoir épurateur. En fait cet usage est très ancien. Le meilleur réceptacle est bien le sol en tant que biotransformateur.

Cependant, les sols sont comme tous les systèmes complexes, celui des populations par exemple, au-delà de certaines limites le système change d'état :

Le sol est capable d'absorber et de dégrader nos déchets jusqu'au moment où le sol devient lui-même un déchet.

3.4 Puits de carbone :

Cette nouvelle fonction, opportunité résultant des accords de Kyoto, est porteuse d'espoir : comme le souligne Michel Robert en accroissant la fonction « puits de carbone » (matière organique) dans les sols, on peut protéger la ressource en sol contre les dégradations et favoriser une agriculture plus durable.

3.5 Le sol en tant que système :

En effet, le sol est considéré comme un système ouvert dès lors que s'opèrent, aux limites, des échanges de matière et d'énergie :

- la matière est minérale ou organique, d'origine naturelle ou d'origine anthropique (apports de l'altération des roches ou de la décomposition des végétaux, engrais ou amendements, lisiers ou fumiers) ;
- l'énergie est issue de l'atmosphère ou de la biosphère, elle est également d'origine naturelle ou anthropique (catabolisme, dégradations, flux de chaleur, travail du sol par les instruments aratoires).

Cela implique l'existence d'une structure, reliant dans l'espace et dans le temps, les points de départ et d'arrivée de l'énergie et contrôlant les flux de matière.

Les limites du système sont donc définies par les niveaux de structuration réels, auxquels aboutissent, à plusieurs niveaux d'échelle, les évolutions liant dans un même ensemble de processus roches/sols/paysages.(ref 8)

- un système objet d'interactions : Le système sol n'est pas seulement physique, c'est à dire pas uniquement régi par les forces qui s'exercent d'un élément sur un autre. Il est

également biologique dans la mesure où la biosphère participe de son évolution. C'est un lieu d'échanges : il y a produit échangé entre des unités structurales, entre une source et un puits (connectivité des sources et des puits) qui existe entre les systèmes pédologiques et les systèmes vivants.

3.6 Le sol est un lieu d'échanges et de transferts :

Le sol est un milieu triphasé, poreux, perméable, apte à transporter des liquides, des gaz et de la chaleur, l'évapotranspiration des couverts végétaux (évaporation directe plus eau transpirée par les plantes) conditionne en partie la circulation de l'eau à l'échelle de la micro ou de la mésoporosité du sol.

Cette eau fournie au sol par les pluies circule dans le sol au niveau de la porosité : une partie s'infiltré en profondeur pour alimenter les nappes d'eau, une autre partie est retenue par les argiles et la MO, enfin une dernière fraction constitue la solution du sol, stock dans lequel puisent les racines. Pour les solutés et les gaz deux grands types de mouvements interviennent : la convection (équilibre des masses en mouvement, processus gravitaire, variation de pression) et la diffusion (équilibre des concentrations, processus indépendant des variations de pression) : ils aboutissent tous les deux au processus de diffusion.

Le sol est un lieu d'échanges avec le couvert végétal et qui s'exerce dans les deux sens (sol vers le végétal et l'inverse par le biais des restitutions variables selon la nature du couvert et sa productivité). La cinétique des transferts sol-plante est, pour un même élément, différente en fonction de la nature du couvert.

3.7 Le sol représente un potentiel multiple :

Le potentiel de production lié à deux critères : la richesse du sol en éléments (la fertilité) la capacité du sol à exporter les éléments, en partie liée à la CEC mais il reste étroitement dépendant des pratiques culturales : en effet l'homme effectue de nombreux apports (intrants) sous différentes formes :

1. en premier lieu de matière :
 1. organique, il s'agit de fumier, d'engrais verts ou de résidus de récoltes...
 2. minérale (sous forme d'engrais ou d'amendements).
2. en deuxième lieu de l'énergie :
 - a) liée à l'apport de matière
 - b) sous forme de travail (façons aratoires, mise en culture, drainage)

Dans une certaine mesure l'homme limite l'augmentation d'entropie spontanée du sol livré à son évolution naturelle. Cependant celle-ci se fait aux dépens d'une augmentation d'entropie encore plus grande du milieu extérieur (consommation de l'énergie alors transformée en chaleur dans le processus industriel de production) ce qui n'est pas sans conséquence au plan de l'économie de la ressource.

A chaque étape de la pédogenèse, dans le processus de différenciation en horizons, se créent des systèmes de plus en plus ordonnés. Il naît localement, un ordre correspondant à une diminution d'entropie. Sa manifestation est permanente.

La fertilité des sols a été considérée comme la richesse chimique du sol en éléments minéraux.

Elle est conçue actuellement comme une capacité à produire durablement de la biomasse végétale et ne se rapporte plus seulement au sol, mais au milieu naturel et à son exploitation par l'homme (Sebillote, 1989).

Une bonne connaissance du sol est indispensable pour mener à bien la fertilisation raisonnée.

3.8 Le sol est l'expression d'un équilibre instable (concept de résilience) :

L'ensemble des contraintes extérieures au système, engendre des changements d'état. Ceux-ci sont soit irréversibles, soit passagers. Dans ce dernier cas, le sol revient au bout d'un certain temps à l'état stable ou métastable qu'il occupait avant la perturbation même s'il conserve quelques "déformations" de sa structure à condition que ces dernières ne mettent pas en péril son appartenance à un modèle de fonctionnement d'ailleurs arbitrairement défini (limite d'élasticité).

La réponse aux contraintes extérieures sera fonction des propriétés physicochimiques et biologiques, notamment de la qualité de la matière organique et de la capacité d'échange cationique des argiles (CEC) liée à leur structure minéralogique.

La réponse des sols aux contraintes fait appel à des mécanismes complémentaires dont l'aptitude à revenir à l'état initial, stable ou métastable, cette aptitude définit le concept de résilience.

Le mot de résilience est emprunté à l'écologie (Ramade, 2002). Il désignerait, à l'image de l'écosystème, l'aptitude d'un sol à survivre à des altérations ou des perturbations dans sa structure et/ou son fonctionnement et de retrouver, après la disparition de ces dernières, un état comparable à la situation initiale.

La relation entre résilience et biodiversité dans la stabilité des écosystèmes implique les contraintes où biodiversité constitue un moyen d'entretenir le potentiel d'interactions du sol et donc d'assurer un fonctionnement stable (biostasie) malgré l'hétérogénéité des milieux. (Jean-Michel et al, 2010) (ref9)

Chapitre 4 : Les grands menaces et enjeux des sols

4.1 Les menaces :

- **une pression démographique** plus importante, une répartition inégale des terres où un faible pourcentage de propriétaires riches dans les pays pauvres possèdent les meilleures terres pour des cultures destinées à l'exportation tandis que les pauvres se concentrent sur des terres marginales (pentues, rocailleuses, maigres...)

De manière générale, l'érosion provoque plus de problèmes dans les pays pauvres et les mêmes types de problèmes sont souvent plus graves que dans les pays riches :

- **La perte de productivité** est plus lente dans le milieu tempéré et est en partie compensée par des apports d'engrais plus importants et des variétés génétiques plus performantes. De plus, dans ce contexte, la perte touche surtout à la marge des profits ; dans les pays pauvres, la perte en productivité influence la qualité de vie et dans certains cas même la survie de la population.
- **La pollution du milieu aquatique par les pesticides** est étroitement liée aux déplacements des sédiments et de nombreux pesticides toxiques et illégaux dans les pays riches sont encore utilisés dans les pays pauvres. La législation environnementale est moins rigoureuse et les produits moins chers. L'impact sur le milieu est d'autant plus néfaste.
- La désertification est une forme particulière de dégradation des sols (mais pas la seule) : elle touche spécifiquement les zones arides, semi-arides et sèches subhumides.

Les facteurs à l'origine de la désertification sont les variations climatiques et surtout les activités humaines, en particulier celles résultant d'une surexploitation du sol résultant de la pauvreté.

- **Des problèmes de sédimentation** sont fréquents dans les pays pauvres et absents dans les pays riches. En général les bassins versants de barrages/réservoirs dans les pays riches sont fortement protégés. Dans les pays pauvres, il est souvent impossible de maîtriser l'occupation du sol sans le déplacement de milliers, voire de dizaines ou de centaines de milliers, de personnes. Dans les pays secs, ces points d'eau, au contraire, attirent les populations et le bétail provoquant une érosion aggravée là où elle est posée le plus grand risque de sédimentation.
- **En agriculture conventionnelle :**
 - La modernisation des techniques agricoles a conduit au remembrement des territoires, à l'utilisation de nombreuses substances chimiques polluantes et à des impacts sur les sols pouvant entraîner leur érosion, voire leur stérilisation.
 - Les pratiques culturelles comme le remembrement a trop souvent nécessité l'arrachage des haies. Cette pratique a entraîné la destruction de l'habitat de très nombreuses espèces et donc une forte réduction de la biodiversité. Ainsi, on a progressivement assisté à une diminution importante des populations auxiliaires de l'agriculture telles que les insectes pollinisateurs et les prédateurs de rongeurs et autres animaux ravageurs. De plus, les haies, véritables brise-vent, créent un microclimat en limitant les effets nocifs du soleil et des intempéries sur les cultures et les troupeaux. Enfin, la suppression des haies favorise le ruissellement entraînant la dégradation de la structure du sol, son érosion et des inondations. D'autre part, la quantité d'eau de pluie infiltrée diminue, contribuant ainsi à l'épuisement des ressources en eaux souterraines



Figure 12: La perte de matière organique et le labour sont deux facteurs de dégradation des sols, qui deviennent alors plus sensibles à l'érosion.(ref10)



Figure 13 :Haie de saules incorporant des fascines en fagots pour stabiliser des terrains soumis au ruissellement, Pas-de-Calais, France(ref10)

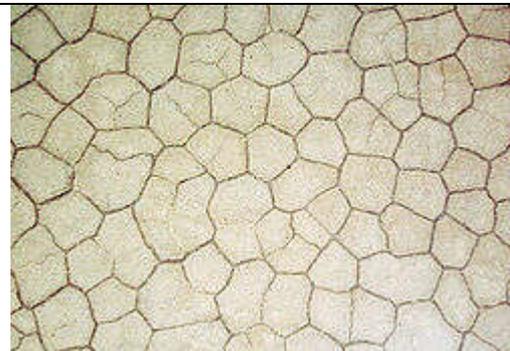


Figure 14 :La déshydratation est un autre facteur de dégradation et d'érosion des sols (ici Désert des Mojaves)(ref10)



Figure 15 :Sur sols limoneux fragiles, le passage répété d'engins lourds est un facteur d'asphyxie et de dégradation voire de régression du sol(ref10)

- **L'utilisation excessive d'engrais** : les éléments nutritifs, en particulier phosphates et nitrates, provenant des engrais, artificiels ou naturels, utilisés sans vigilance et souvent épandus en quantités excessives participent à l'eutrophisation de milieux aquatiques, c'est-à-dire à la prolifération de végétaux (lenticles d'eau, algues) dans certaines rivières, lacs et littoraux. L'oxygène se raréfie, le milieu « étouffe » rapidement, entraînant la diminution, voire la disparition de nombreuses espèces et des dommages importants en * aquaculture *. En milieu terrestre, l'excès d'engrais azotés favorise le développement de certaines plantes nitrophiles : Ortie dioïque (*Urtica dioica*), Sureau noir (*Sambucus nigra*).

- **Dégradation des sols :**

- L'érosion**

L'eau et le vent sont les deux causes principales de l'érosion des sols, car ils entraînent les particules minérales et organiques et contribuent ainsi à modifier la structure du sol. Ce phénomène, qui diminue le rendement des terres et peut dans certains cas conduire à leur stérilisation, concerne pratiquement toutes les régions du globe ; certains modes de culture peuvent l'accentuer.



Figure 16: Amazonie : érosion sous prairieSols sableux © M. Grimaldi (IRD)



Figure 17: Amazonie : érosion sous prairieSols argileux © M. Grimaldi (IRD)

-La battance : Elle correspond à la dégradation de la structure des sols riches en argile qui se délitent et sont entraînés en profondeur. La battance est due à l'action de fortes pluies et se trouve accentuée par l'usage de gros engins agricoles qui tassent le sol, l'emploi en excès d'engrais de synthèse, le manque d'engrais naturels (fumier, compost) et de chaux. Le complexe argilo-humique n'étant pas renouvelé, il se forme à la surface du sol des croûtes compactes, dites de battance, qui rendent peu à peu le sol imperméable à l'air et à l'eau.

- **L'activité des micro-organismes et le développement des végétaux** s'en trouvent réduits, ainsi que la teneur du sol en humus et en cations (potassium, calcium...). La matière organique n'est pratiquement plus recyclée en matière minérale.
- **Les organismes génétiquement modifiés (OGM) :** Depuis l'Antiquité, l'homme a toujours cherché à améliorer la productivité des cultures et des élevages. La mise au point des OGM s'inscrit dans une longue lignée de grandes étapes de la recherche scientifique telles que la découverte des cellules par R. Hooke en 1663, l'énoncé des lois de l'hérédité par G. Mendel en 1866 et, plus récemment, la découverte de la structure de l'ADN par J. Watson et F. Crick en 1953... La mise au point des OGM a nécessité et nécessite encore de nombreuses expérimentations en laboratoire et en plein champ.
- **En agriculture durable :**
En réponse aux conséquences négatives de l'agriculture intensive, des modalités agricoles plus respectueuses de l'environnement se sont mises en place. Mais, dans certains cas, elles présentent aussi des risques d'eutrophisation liés à un calcul trop imprécis de la quantité d'engrais naturels utilisés.
- **Les menaces liées à la destruction des forêts :**
Dans le passé, de nombreuses sociétés humaines se sont développées aux dépens des forêts, la détruisant et la modifiant plus ou moins. De nos jours, une exploitation forestière intensive s'accroît dans certaines régions du globe, entraînant des conséquences néfastes : participation au changement climatique et aux phénomènes d'érosion et de stérilisation des sols, menaces sur les populations locales, atteinte au paysage et à la biodiversité...

- **L'urbanisme et activités économiques** : sont intimement liés et interagissent sur l'environnement. Certains sites industriels polluants, voire très dangereux, se sont ainsi retrouvés peu à peu au cœur de nombreuses villes. Les zones d'activités péri-urbaines, souvent uniformes, portent atteinte aux paysages et concentrent certaines nuisances. Par exemple, sur les parkings et les infrastructures qui leur sont associées, les eaux pluviales se chargent en hydrocarbures et en métaux lourds et s'écoulent vers les sols, en les polluant. Le chauffage et les transports liés à la concentration urbaine accroissent la pollution atmosphérique, augmentant les risques sanitaires et la corrosion des matériaux, ainsi que l'effet de serre, les pluies acides et la dégradation de l'ozone de la haute atmosphère.

Dans les zones urbanisées, le traitement des volumes croissants d'eaux usées et de déchets nécessite de plus en plus d'espace.

Enfin, la « rurbanisation » des petites villes et villages s'accroît. Comme dans les grandes agglomérations, elle s'accompagne d'un accroissement des surfaces pavées et bitumées que sont les trottoirs, les voies de circulation et les parkings provoquant la pollution et l'imperméabilisation des sols. D'une part les eaux de ruissellement ne s'infiltrent plus ce qui favorise les inondations ; d'autre part, les cycles biogéochimiques des sols peuvent être interrompus ce qui perturbe le développement des êtres vivants et réduit leur diversité.

- **Les menaces liées au tourisme** :

-Le littoral : au cours du XXe siècle, l'évolution des modes de vie et la part croissante du temps réservé aux loisirs a eu un impact considérable sur les espaces consacrés au tourisme. C'est plus particulièrement le cas des zones montagneuses et littorales. Les problèmes spécifiques à ces milieux très fragiles s'ajoutent à ceux qui caractérisent les zones urbaines.

-La montagne : Tout comme le littoral, elle a été et continue d'être par endroits le lieu d'une urbanisation parfois anarchique accompagnée d'un intense développement des infrastructures (routes, remontées mécaniques...). Tous ces aménagements ont non seulement défiguré de magnifiques paysages mais aussi fragilisé les sols et augmenté fortement les risques d'éboulements et d'avalanches. Le milieu montagnard voit ses forêts disparaître progressivement avec les grands mammifères qui les fréquentent. Plus récemment, pour compenser le manque de neige, l'utilisation de canons à neige menace l'épuisement des nappes phréatiques.

4.2 Les enjeux :

- a) **Dégradation des sols et pauvreté** : C'est un véritable cercle vicieux qui lie dégradation des sols et pauvreté : les plus pauvres n'ayant que le sol pour subvenir à leurs besoins (de chauffage, d'alimentation), l'exploitent, souvent le surexploitent. Il en résulte une perte de fertilité des sols, une érosion de ceux-ci et, de manière ultime, les sols deviennent stériles. Les sols ruraux deviennent inhospitaliers : l'espoir de trouver en ville des conditions d'existence meilleures que dans les zones rurales est à l'origine de

mouvements migratoires vers les zones urbaines où la paupérisation et la précarisation s'amplifient, où les flux de nuisances (eaux usées, déchets, aménagements informels) sont de plus en plus chargés. Ce cercle infernal devra être brisé, aussi bien pour des raisons environnementales que pour des raisons humanitaires.

- b) **Désertification et santé** : La désertification s'accompagne le plus souvent d'une dégradation qualitative et quantitative des ressources en eau, et souvent du développement d'épidémies. D'autre part, au fur et à mesure que des mouvements migratoires vident les zones rurales, les villes se remplissent dans des conditions sanitaires souvent désastreuses : le développement des infrastructures d'assainissement des eaux usées, de traitement des effluents, de gestion des déchets, de prévention et services médicaux, y étant largement insuffisants.

- c) **Dégradation des sols et sécurité alimentaire** : L'ensemble des phénomènes de dégradation des sols sont : des menaces certaines pour la sécurité alimentaire des 9 milliards d'individus qui devront être nourris au milieu du XXIème siècle. Leur sécurité alimentaire requerrait de tripler les capacités de production alimentaire d'ici 2050.

- d) **Dégradation des sols et changement climatique** : Le sol et les écosystèmes terrestres jouent un rôle central comme puits de carbone : ils captent et stockent celui-ci. Il a ainsi été estimé que les sols séquestrent 2.3 Gt (giga tonnes) de carbone par an, ce qui représente plus d'un tiers du carbone émis par la combustion des combustibles fossiles, à l'origine du changement climatique. Le stock total de carbone contenu dans les écosystèmes terrestres avoisine 2 500 Gt de carbone, dont 2 000 Gt stockés dans les sols. Or la dégradation des sols réduit l'aptitude du sol à servir de puits de carbone, et inversement augmente sa capacité à agir comme 'source de carbone'.

- e) **Dégradation des sols et biodiversité** : La dégradation des sols est la cause principale de la perte de diversité biologique : elle s'accompagne en effet d'une perte de la capacité des sols à être l'habitat d'une diversité d'espèces, aussi bien dans les terres cultivées que dans les zones forestières. La désertification menace ainsi la faune sauvage et de nombreuses espèces végétales, composantes essentielles de la pharmacopée. (Sommet mondial sur le développement durable 2002) (ref10)

Chapitre 5 : La connaissance du sol et analyses

L'étude du sol a ainsi le but de sa restauration après une atteinte de type physique, (battance temporaire), biologique (dépression des populations microbiennes) ou chimique (apport d'engrais ou de pesticides...) est plus ou moins rapide selon les types de sols considérés et leur degré d'activité biologique. La résilience du système sol serait liée à son niveau fonctionnel, notamment au plan de l'activité des microorganismes.

L'analyse a pour but de connaître les propriétés physiques, chimiques et parfois biologiques du sol et de suivre l'évolution de la fertilité du sol.

Le prélèvement des échantillons constitue une opération très importante, car l'échantillon doit être représentatif de la composition et de la richesse du sol.

5.1 L'analyse physique :

Elle comprend 3 déterminations principales : l'analyse granulométrique, le dosage du calcaire total et du calcaire actif, et le taux de matière organique.

Le dosage de l'azote total permet de calculer le rapport C/N qui traduit l'intensité de l'activité du sol.

Un rapport C/N voisin de 10 est l'indice d'un sol sain où la vie microbienne est active.

5.2 L'analyse chimique :

Elle a pour but d'évaluer les quantités d'éléments nutritifs que le sol est capable de mettre à la disposition des plantes.

Elle comporte la détermination du pH, le dosage du phosphore, et des autres éléments nutritifs, éventuellement du soufre et de certains oligoéléments et la capacité d'échange cationique (C.E.C).

Pour une bonne fiabilité des analyses, il est recommandé de s'adresser aux laboratoires d'analyse des sols.

5.3 L'analyse granulométrique en laboratoire :

Après avoir fractionné la terre délicatement et l'avoir faite passer au tamis 2mm pour déterminer le % d'éléments grossiers, la terre fine est d'abord passée dans une succession de tamis pour déterminer les fractions grossières, jusqu'à 50 µm (sables).

Après suppression des carbonates, des substances organiques et des possibles oxydes de fer (à cause de leur fonction liante), la fraction fine (< 50 µm), est mise en suspension dans des tubes remplis d'eau (**fig 18**).



Figure 19: tamis de 50 um (ref12)

Figure 18 : tamis de 2 mm(ref 12)

La méthode est basé sur la différence de vitesse de sédimentation entre les particules légères et les plus grosses; par application de la loi de stocks, un échantillon est pipette à différentes périodes et a différentes profondeurs de la suspension de prélèvements dans une éprouvette (fig 20.21) :

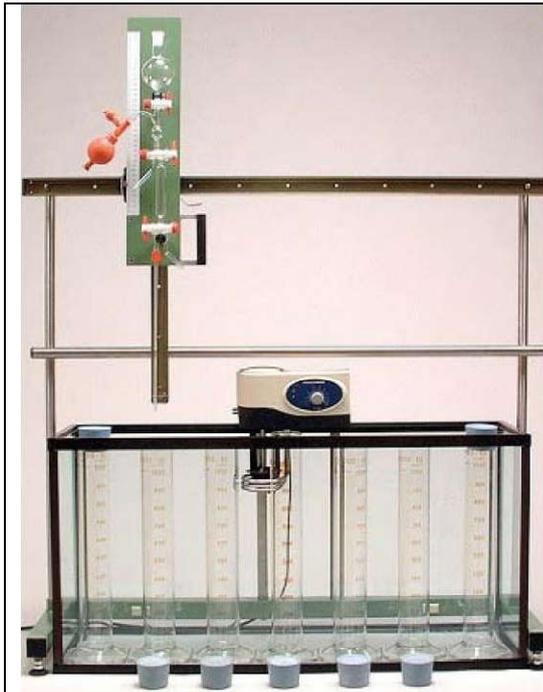


Figure 20 :de la suspension due prélèvements dans une éprouvette(ref 13)



Figure 21 : la fraction fine mise en suspension dans des tubes (ref 13)

Puis la suspension pipette est condensée et séchée et la pesée détermine le ratio de masse de la fraction.

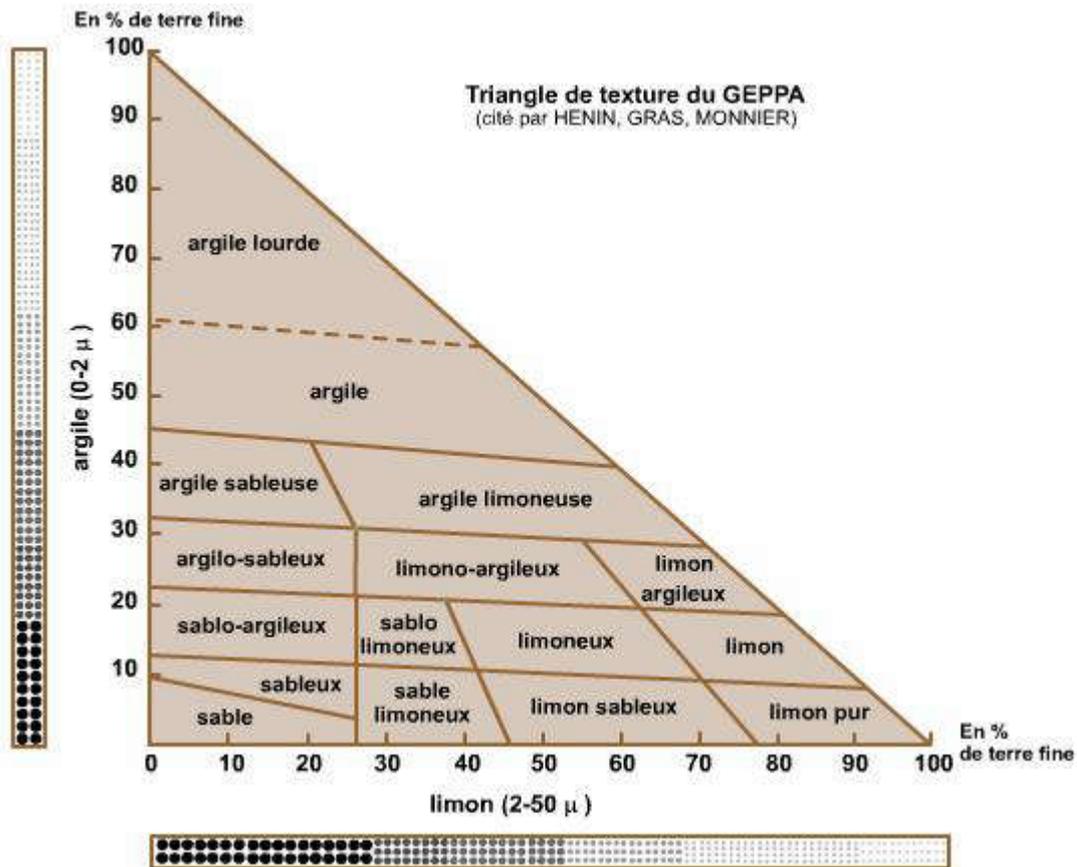


Figure 22 : triangle de texture(Henin, 1969)(ref13)

L'analyse de sol se fait en trois étapes : d'abord le prélèvement d'un échantillon représentatif dans chaque champ ou parcelle, puis l'analyse de l'échantillon afin de :

- Connaître les quantités d'éléments nutritifs disponibles
- caractériser les sites pollués
- apprécier la répartition spatiale de la contamination et l'utilisation des résultats pour établir les doses optimales d'engrais.
- La tenue de registres fait partie intégrante du processus d'analyse de sol. Les registres permettent de vérifier si la teneur du sol en certains éléments augmente, diminue ou demeure stable

Ici on va voir comment procéder à l'échantillonnage et l'analyse du sol dans le but de connaître les quantités d'éléments nutritifs disponibles.

5.4 L'objectif de l'échantillonnage :

L'objectif l'échantillonnage est d'être le plus représentatif possible du milieu qu'il est censé représenter. La qualité de cette phase est capitale car elle conditionne un grand nombre de décisions, et peut constituer la base d'actions importantes et coûteuses.

5.4.1 Échantillonnage du sol :

L'échantillon de sol envoyé au laboratoire doit habituellement peser autour de 400 grammes. Il doit cependant être représentatif de 20 000 tonnes de sol, soit la quantité contenue dans 10 ha .On comprend donc que l'échantillonnage doit se faire rigoureusement.

5.4.2 La stratégie d'échantillonnage :

La mise au point d'une Stratégie d'échantillonnage nécessite la réalisation des phases suivantes:

Étude préliminaire consiste à :

- Identification du contexte (arrête préfectoral, étude préliminaire ou diagnostic approfondi, cartographie d'un site ou évaluation des risques...)
- définition des objectifs et de la recherche (en fonction du contexte, choix du niveau d'information recherche et choix des paramètres cibles)
- élaboration d'un plan d'échantillonnage,
- choix des méthodes et des techniques appropriées,
- -validation technico-économique.
- Mise en œuvre de la campagne sur le terrain.
- Analyse des prélèvements sur site et/ou en laboratoire.
- Intégration des données.
- Prise de décision.

L'étude des connaissances disponibles sur l'environnement c'est l'étude de la vulnérabilité du site:

- pour les sols : nature pédologique et lithologique des différentes formations rencontrées.

Une visite de terrain :

- elle confirme ou non et complète les informations acquises lors des phases précédentes.
- elle permet la préparation technique et pratique de la campagne d'investigations (accessibilité du site, plan, infrastructures, sécurité ...).

L'ensemble des informations recueillies à l'issue de ces trois étapes va permettre :

- la détermination des moyens devant être mis en œuvre pour répondre à un objectif défini et ceci avec un coût acceptable compte tenu du contexte,
- le choix éclairé d'un plan d'échantillonnage, de ses caractéristiques, des techniques et des méthodes qui vont permettre de le mener bien.

5.4.3 Les plans d'échantillonnage :

Les principales investigations à mener dans le cadre d'une étude des sols coïncident :

- les sols (milieu triphasique à prendre en compte),
- les eaux de surface (si le site est à proximité d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau susceptible d'être pollué par des substances provenant de la zone d'étude).
- les eaux souterraines (en cas de présence d'une ou plusieurs nappes et suivant l'exploitation qui en est faite),
- l'air ambiant si indice de pollution,
- les déchets et produits non identifiés.

On ne développera ici que les plans d'échantillonnage pour les sols.

a) Zone d'échantillonnage:

Le choix de la zone d'échantillonnage peut influencer grandement sur l'exactitude de l'analyse de sol. Il est relativement simple de prélever un échantillon dans chacun des champs lorsque ceux-ci occupent une faible superficie. Par contre, les champs très étendus doivent être divisés en zones d'échantillonnage de plus petite dimension. Il est important, dans la mesure du possible, de s'assurer que chaque secteur d'échantillonnage est uniforme et distinct de ceux qui sont de toute évidence différents.

La fertilité du sol peut varier selon la composition de la roche-mère, la texture du sol, la quantité d'éléments nutritifs prélevés par la culture ou la topographie. La plupart des différences de fertilité sont toutefois attribuables aux applications antérieures d'éléments nutritifs, sous forme d'engrais ou de fumier. Si la variabilité est faible, on peut regrouper plusieurs carottes de terre dans un seul échantillon. Par contre, en présence de fortes variations, il est recommandé de prélever des échantillons distincts. Si les limites précédentes des champs sont connues, on peut s'en servir pour diviser les plus grands champs en plus petites parcelles. Lorsqu'on ne connaît pas ces limites, on peut alors subdiviser ou diviser les champs en fonction du type de sol ou de la topographie. Aucun échantillon global ne devrait représenter plus de 10 hectares.

Il n'existe pas de superficie minimale pouvant être représentée par un échantillon; il est donc permis, mais non obligatoire aux fins de la gestion des éléments nutritifs, d'avoir recours à l'échantillonnage de précision, à l'échantillonnage adapté à chaque site ou à l'échantillonnage en grille.

Les échantillons provenant de parcelles dont la composition diffère de toute évidence du reste du champ ne doivent pas être regroupés dans l'échantillon composite du champ. On doit donc éviter de les prélever dans les dérayures, les zones érodées, les allées ou à l'emplacement d'anciens tas de fumier ou de chaux. Si ces zones sont suffisamment étendues, il est recommandé d'y prélever des échantillons et de les faire analyser, de façon distincte.

b) Profondeur d'échantillonnage :

Dans le cas des analyses visant la gestion des éléments nutritifs, on prélève normalement les échantillons à une profondeur d'environ 15 cm (6 po), étant donné que la majorité des racines se développent jusqu'à cette profondeur et que le travail du sol assure le mélange des éléments nutritifs jusqu'à environ 15 cm. Comme les couches inférieures du sol contiennent habituellement beaucoup moins d'éléments nutritifs, un échantillonnage plus profond risquerait de ne pas être représentatif du champ.

Lorsqu'on souhaite connaître la quantité de nitrates disponibles pour la culture, toutefois, il est plus précis de prélever un échantillon à une profondeur de 30 cm, puisque les nitrates se déplacent plus facilement dans l'eau du sol que les autres éléments nutritifs.

La profondeur du prélèvement demeure la même dans le cas des systèmes de semis direct, bien que les éléments nutritifs ne soient plus incorporés mécaniquement au sol. La profondeur peut cependant varier dans le cas des mesures de pH. Il peut en effet être plus approprié de prélever un échantillon près de la surface (5 cm ou 2 po), en vue d'évaluer l'acidification de la couche superficielle du sol lorsque de l'azote est appliqué en surface. Ne pas utiliser ces échantillons par contre pour les analyses d'éléments nutritifs, sous peine de surestimer la disponibilité des éléments nutritifs du sol.

c) Prélèvement des échantillons :

Pour qu'un échantillon de sol soit représentatif, il doit contenir suffisamment de carottes de terre prélevées au hasard un peu partout dans toute la zone échantillonnée. Un nombre insuffisant de carottes augmente le risque qu'un sous-échantillon non représentatif fausse l'ensemble des résultats pour tout le champ. Un échantillonnage non aléatoire augmente les risques que les résultats soient biaisés. Le meilleur moyen de prélever un échantillon aléatoire (au hasard) est de parcourir le champ en zigzag. Prélever au moins 20 carottes pour obtenir un échantillon composite et une carotte additionnelle à $\frac{1}{2}$ ha pour les champs d'une superficie supérieure à 8 ha.

On néglige trop souvent, dans le cadre de l'échantillonnage, de mélanger complètement la terre avant d'en retirer les sous-échantillons. Les carottes de sol échantillonnées doivent être mélangées dans un seau jusqu'à ce qu'on ne puisse plus distinguer les carottes. Les carottes d'argile lourde doivent parfois être asséchées avant de pouvoir être mélangées correctement pour donner un sous-échantillon acceptable. Ce dernier ne doit pas peser plus de 400 g, soit l'équivalent d'environ une tasse.

Garder les échantillons à température ambiante, à l'exception de ceux qui sont analysés pour leur teneur en nitrates, qui doivent être conservés au frais (température inférieure à 4 °C) et livrés au laboratoire en moins d'une journée pour analyse immédiate. Congeler le plus rapidement possible les échantillons qui ne seront pas analysés tout de suite.

Par ordre de complexité de mise en œuvre on peut citer :

- les prélèvements manuels (pelle, tarière, sonde) :
Coût faible,
Profondeur très réduite,
Rapide.
- les prélèvements du type excavation (pelle mécanique):
Coût moyen,
Profondeur moyenne, le creusement de tranches permet une visualisation des terrains,
Rapide.
- les prélèvements par forage en destructif:
Coût moyen à plus élevé suivant la profondeur atteinte
Profondeur importante mais peu précis, obtention de cutting remanié
Lent.
- les prélèvements par carottage :
Coût très élevé
Profondeur importante et précise, obtention de carottes non remaniées,
Très lent(ref 6)

d) Matériel d'échantillonnage :

On peut prélever les échantillons du sol à l'aide d'une pelle ou d'une bêche, mais il est beaucoup plus efficace d'utiliser une sonde d'échantillonnage ou une tarière. Ces outils doivent être en acier inoxydable, surtout si les échantillons sont analysés pour leur teneur en oligoéléments. Bon nombre de fournisseurs de matériel agricole prêteront des sondes d'échantillonnage.

Mettre les carottes du sol dans un seau de plastique propre. Les seaux de métal galvanisé vont contaminer les échantillons avec le zinc qu'ils contiennent, ce qui rend inutilisables les résultats d'analyse des oligoéléments. Éviter d'utiliser des seaux qui contenaient des nettoyants ou des détergents, puisque les phosphates de ces derniers peuvent se retrouver dans les échantillons.

Une truelle solide en acier inoxydable ou en aluminium permet de bien mélanger les carottes avant de prélever le sous-échantillon. Un tournevis est utile pour déloger les mottes de terre qui pourraient rester coincées dans la sonde d'échantillonnage.

e) Fréquence de l'échantillonnage :

La fréquence d'échantillonnage doit être suffisante pour permettre de détecter les changements dans la composition du sol d'un champ avant que les rendements ou l'efficacité du programme de fertilisation ne soient gravement compromis. Dans la plupart des cas, des analyses tous les trois ans suffisent, ce qui correspond souvent à la période où la culture revient dans la rotation.

Un échantillon de sol doit être prélevé et analysé pour chaque champ avant l'élaboration du plan de gestion des éléments nutritifs correspondant, et les résultats d'analyse obtenus doivent être utilisés pour la préparation du plan. Normalement, cela signifie que l'intervalle maximal d'échantillonnage serait de 5 ans, à moins que des changements sur l'exploitation justifient l'établissement d'un autre plan de gestion. Une exception s'applique cependant dans le cas du plan d'une nouvelle exploitation, lequel peut reposer sur des valeurs par défaut suffisamment élevées pour limiter au maximum l'application d'éléments nutritifs.

Des changements rapides dans la composition du sol peuvent se produire lorsque ce dernier présente une faible capacité de rétention des éléments nutritifs ou lorsqu'on sème des cultures qui prélèvent de grandes quantités d'un élément en particulier. Il peut être nécessaire d'échantillonner le sol plus souvent dans le cas des sols à texture grossière ou lorsque les cultures prélèvent d'importantes quantités de potassium, comme la luzerne, le maïs d'ensilage ou les tomates de transformation.

f) Période d'échantillonnage :

Le pH et la composition du sol varient au cours d'une année, en raison surtout de l'humidité du sol; ces différences, toutefois, ne sont pas suffisamment importantes ni assez constantes pour avoir un effet sur le plan de gestion des éléments nutritifs. Mais le fait de prélever les échantillons de sol à la même période de l'année élimine les variations saisonnières dans les comparaisons des résultats d'analyse d'une fois à l'autre. Par ailleurs, ce qui est encore plus important, c'est que si les échantillons sont prélevés immédiatement après la récolte, on obtiendra les résultats suffisamment à l'avance pour planifier le programme de fertilisation de la prochaine culture.

5.5 Analyse des échantillons :

L'analyse des échantillons utilisés pour dresser un plan de gestion des éléments nutritifs doit être faite au laboratoire.

Le dosage des éléments nutritifs dans le sol se fait par extraction des éléments nutritifs, puis analyse des extraits. Les valeurs ainsi obtenues ne représentent pas exactement les quantités qui sont physiquement assimilables par la culture. Les mécanismes chimiques du sol et des prélèvements par les plantes sont trop complexes pour permettre d'obtenir une telle mesure. Les valeurs obtenues reflètent plutôt les quantités d'éléments nutritifs que les systèmes racinaires des végétaux peuvent extraire du sol. Ces mesures peuvent varier beaucoup selon le type d'analyse effectuée.(ref7)

5.6 Interprétations des résultats :

Les interprétations pédologiques et la classification des sols : c'est souvent en vue de l'irrigation ou méthodes d'application de l'eau, mise en valeur agricole (élevage que l'on

prépare des projets de mise en valeur dans lesquelles on entreprend des perspectives pédologiques.

Les quatre règles essentielles d'une bonne interprétation sont (Mahler *et al*, 1970):

- L'objectivité : fixer les objectifs immédiatement selon les faits observés ou mesurés dans la zone d'étude. Il faut rassembler des données de base sur tous les aspects de terres durant une opération distincte de celle qui est effectuée pour la classification des terres.
- l'exactitude : l'étude doit se fonder sur des faits exacts, des définitions et des normes d'interprétation précises. cette règle tient en partie l'exactitudemême que l'on attend à la prospection de base qui doit respecter des normes acceptables concernant la densité des observations par rapport à l'échellecartographique, la caractérisation, la description des sol et au variante à l'intérieure de l'unité pédologique.
- la cohérence : éviter les erreurs subjectives, les terres semblables doivent être interprété de la même façon,
- la facilité d'emploi : en mettant le sol étudié similaire à des sols situés dans des environnements similaires qui déjà ont été classés ou mieux encore ont déjà donné une réaction à l'utilisation envisagé (ref 8)

Conclusion :

- Le sol est un élément de base dans le développement durable, c'est un système de production de nourriture pour l'homme, de l'équilibre économique et sociale.
- La conservation des sols assure la préservation et valorisation des ressources naturelles.
- Accroissement des besoins → intensification de l'agriculture + mise en culture de nouvelles terres + échanges internationaux.
- Sols ressource peu renouvelable : gestion sur le long terme.
- Variabilité des sols → modes de gestion fondamentalement différents.
- La dégradation ('perte des fonctions') des sols est un enjeu fort de développement durable : ses effets sont environnementaux, à la fois locaux (érosion des sols, dégradation de la fertilité et de la structure des sols, pollutions des nappes souterraines) et globaux (appauvrissement de la biodiversité, réduction de la capacité des sols à fixer le carbone, pollution des eaux internationales). Ils sont également fortement sociaux : la dégradation des sols fragilise les populations pauvres, leur retirant parfois leur dernier moyen de subvenir de manière autonome à leurs besoins, accroissant les risques épidémiques, freinant le développement de biendes régions.
- L'étude des sols assure un développement économique et social à la réduction des émissions des polluants.

Elle doit passer par l'analyse et bien sûr par l'échantillonnage des sols, ceci ne constitue en aucun cas en une simple prise d'échantillons, prélevés sans réflexion préalable et transportés dans n'importe quelle condition vers les laboratoires.

La mise au point d'un protocole d'échantillonnage doit être conçue pour atteindre un objectif préalablement défini et doit répondre à un ensemble d'impératifs complexes.

Des lors, il est important de définir, cas par cas, les différents paramètres à prendre en compte, mais dans tous les cas ces paramètres doivent permettre de choisir au mieux :

- la Stratégie d'échantillonnage.
- les techniques de prélèvements.
- les conditions de conditionnements, stockage, transport et préparation des échantillons.
- Les compétences nécessaires pour réaliser cette tâche sont multiples :
 - pédologie, géologie pour la prospection des sols.
 - chimie et physico-chimie pour les prélèvements et l'analyse des sols et des eaux,
 - biologie et médecine pour les études toxicologiques et éco-toxicologiques et pour
 - assurer la sécurité des opérateurs,
 - gestion économique et technique pour étudier le rapport intérêt des informations/coût,
 - expérience et connaissance verticale du terrain à l'analyse en laboratoire.

L'étude du sol est l'indication de mesure de son évolution, son état, sa valorisation, elle est nécessaire pour sa protection et sa préservation.

Glossaire :

Battance :

C'est la croûte superficielle compacte formée par l'action des gouttes de pluie et le fractionnement des agrégats à la surface du sol. La formation de croûtes entraîne une baisse de l'infiltration de l'eau dans le sol et ainsi une augmentation du ruissellement. Une croûte de battance a aussi pour conséquence des problèmes de germination et de levée des cultures.

Résilience écologique : est la capacité d'un écosystème, d'un habitat, d'une population ou d'une espèce à retrouver un fonctionnement et un développement normal après avoir subi une perturbation importante (facteur écologique). La dégradation d'un écosystème réduit sa résilience.

Métastabilité :

C'est la propriété pour un état d'avoir l'apparence de la stabilité mais qu'une perturbation peut faire aller vers un état encore plus stable. En l'absence de perturbation significative la vitesse de la transformation menant à l'état stable peut être très faible, voire quasi nulle². En réponse à une perturbation déclencheuse la transformation peut être très rapide, voire quasi instantanée³.

Exemple : à température ambiante, le diamant est métastable car la transformation vers l'état stable graphite du carbone est extrêmement lente (non observable) . À plus haute température, la vitesse de transformation de phase est augmentée et le diamant se transforme plus rapidement en graphite³.

Capacité d'échange cationique :

(CEC ou T pour capacité totale) d'un sol est la quantité de cations que celui-ci peut retenir sur son complexe adsorbant à un pH donné.

La CEC est utilisée comme mesure de la fertilité d'un sol en indiquant la capacité de rétention des éléments nutritifs d'un sol donné.

La CEC correspond donc au nombre de sites négatifs proposés à l'adsorption par l'argile et l'humus du sol. Chaque sol a une CEC bien précise qui correspond à la quantité de cations qu'il peut fixer, à un pH donné. Ces cations peuvent être des acides faibles ou des acides forts (H₃O⁺ notamment). Il est préférable que ce soit des acides faibles qui occupent les sites de fixation : Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, NH₄⁺ car ceux-ci sont les plus intéressants d'un point de vue nutritif pour la plante... Plus le sol est riche en argile et matière organique, plus sa CEC est importante.

La CEC est fortement liée au rapport C/N et au pH du sol.

OGM : sont des êtres vivants dont le * patrimoine génétique * a été modifié artificiellement par manipulations génétiques.

La pédogenèse :

C'est l'ensemble des processus physiques, chimiques et biologiques responsables de la transformation au cours du temps d'une roche-mère en sol, puis de l'évolution de ce sol.

En fonction des caractéristiques de la roche-mère, du climat local et de la végétation, différents types de sols se forment. Chacun a des caractéristiques physico-chimiques et donc agronomiques particulières.

Il existe plus d'une vingtaine de processus de pédogenèse, parmi lesquels on peut citer :

- L'hydromorphie (saturation des sols en eau) ;
- La ferralisation (dégradation des minéraux et concentration du fer et de l'aluminium) ;
- La cryoturbation (remaniement du sol sous l'action du gel et du dégel) ;
- La salinisation (accumulation de sels) ;
- La podzolisation (dégradation des argiles par des acides organiques et remaniement des métaux) (Ref 3)

Remembrement : Réunion de différentes parcelles en un seul tenant afin d'effectuer une redistribution rationnelle pour l'agriculture (remembrement rural) ou l'aménagement urbain.

Références bibliographiques :

- (1) <http://agronomie.info/fr>
- (2) Org, Etudes et prospections pédologiques en vue de l'irrigation : Food & Agriculture 1990, pp : 110-111)
- (3) <http://echangetv.levantin.free.fr>
- (4) Soil-net.com
- (5) <http://www.futura-sciences.com/>
- (6) (NF ISO 10381, qualité du sol: échantillonnage) MEA (Millenium EcosystemAssesment). 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- (7) Girard M.-C., Schvartz C., Jabiol B.: Étude des sols. Description, cartographie, utilisation. Dunod éd., Paris , 2011.
- (8) <http://www.omafra.gov.on.ca/french/index.html> : (Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales Ministère de l'Agriculture de l'Alimentation et des Affaires rurales)
- (9) Jean-Michel Gobat, Michel Aragno, Willy Matthey : Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols, édition 3, 2010 ,pages : 817) Dossier d'information pour Johannesburg/ Fiche 18 : Dégradation des sols / page : 2
- (10) https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9gression_et_d%C3%A9gradation_des_sols