

C'est quoi un sol ?

par Jean-Paul Legros

Directeur de Recherche INRA (h), président de l'A.F.E.S (2009-2010)

Ce texte, mis en ligne en avril 2012, s'adresse prioritairement à des personnes sans connaissances antérieures en Science du Sol. Son objet est de présenter très succinctement les sols et principalement leur organisation, leur interaction avec les composants de l'environnement, leur diversité, enfin les fonctions qu'ils assurent sur la planète Terre. Pour en savoir plus sur le sujet, on consultera prioritairement la plaquette AFES "[Les sols pour l'avenir de la Planète Terre](#)". Elle est mentionnée en bibliographie... et gratuite.

I. Organisation du sol à toutes échelles

Dans cette section I, nous allons montrer que le terre, matériau brunâtre sur la quelle on marche et qui salit les chaussures, n'est que la partie superficielle du sol. Celui-ci s'étend vers le bas jusqu'à la roche non altérée. Il est superbement organisé à toutes les échelles.

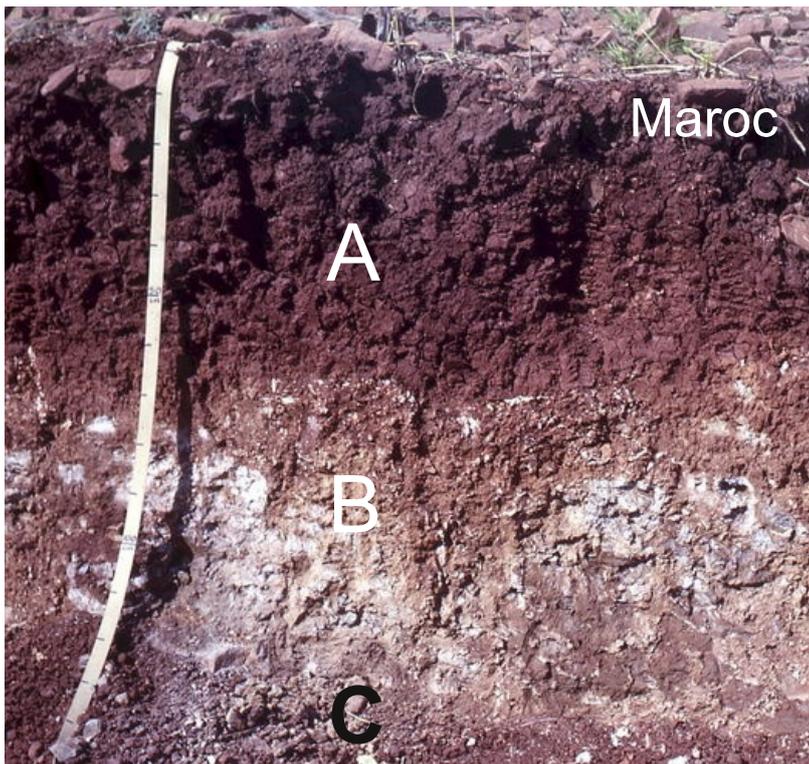
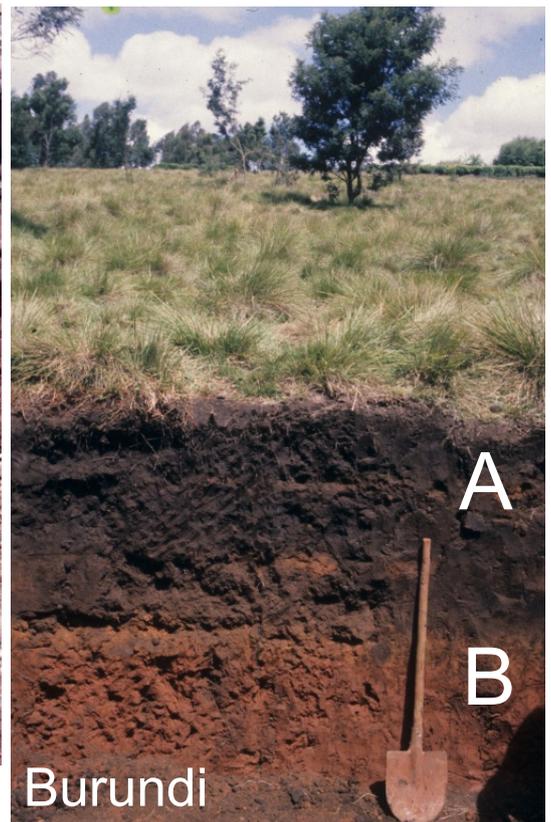


Photo Alain Ruellan, site WEB AFES



Sauf mention contraire, les photos sont de l'auteur

Dans une tranchée, appelée "**profil de sol**", on observe que le sol présente plusieurs couches superposées. Comme elles sont plus ou moins horizontales, au moins en zone plane, on les appelle "**horizons**" et on les nomme de haut en bas avec les premières lettres de l'alphabet. "**A**" correspond à la couche humifère, "**B**" à la couche médiane souvent enrichie en différents composés (fer, argile, carbonate de calcium...); "**C**" fait transition avec la roche sous-jacente. Ces horizons matérialisent principalement les différentes étapes de transformation de la roche au contact des agents d'altération agissant à partir de la surface : pluies et phénomènes chimiques, agents biologiques.

A l'échelle centimétrique ou décimétrique, les nombreux constituants du sol sont agglomérés en « agrégats » de formes et dimensions variées.



Lorsqu'ils sont gros, anguleux et déterminent des plans de discontinuité à dominante verticale, on parle de "**structure prismatique**". Il est évident que ce type d'arrangement des constituants laisse peu d'espaces vides subsister. Or les vides sont indispensables pour les racines qui y trouvent l'eau qu'elles pompent et l'air dont elles ont besoin pour respirer. Donc les structures prismatiques, ou cubiques, ne sont pas favorables du point de vue agricole.

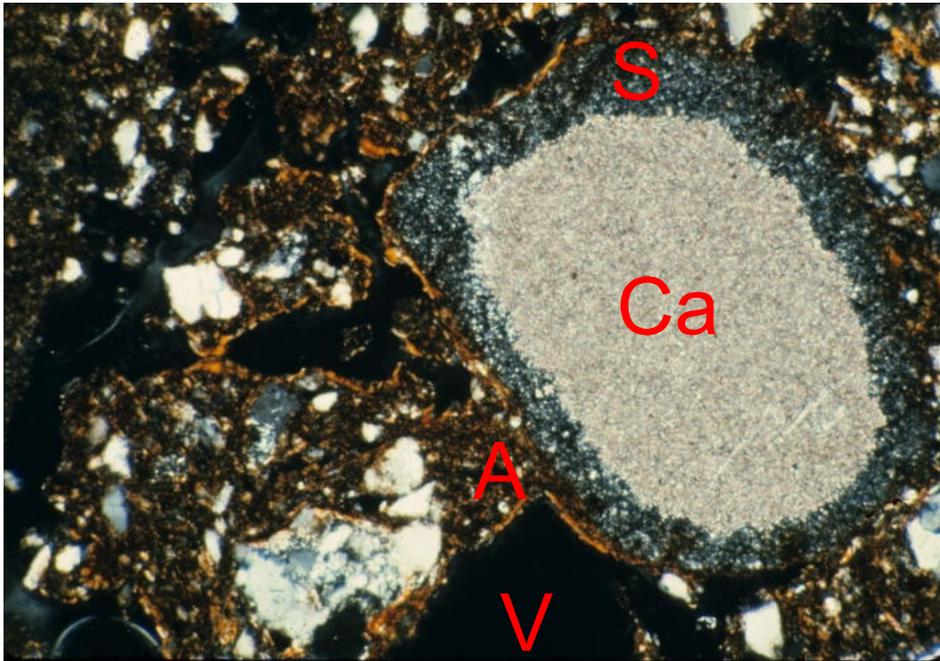


Au contraire, des agrégats petits, anguleux et moins bien entassés, déterminent par exemple une "**structure polyédrique**". Dans ce cas les vides peuvent représenter 50% du volume total. Ceci est favorable à la végétation : l'air pénètre; les racines peuvent facilement passer pour coloniser la phase solide ; l'eau est retenue en quantité suffisante. Pour apprendre à décrire les sols, on consultera le "[Guide pour la description des sols](#)". Voir aussi "[Regards sur le sol](#)". Les deux sont mentionnés en bibliographie.



Les agents responsables de la structuration du sol sont de deux types: (i) agents climatiques, en particulier alternance de phases d'humectation par la pluie et de dessiccation entre les épisodes pluvieux ; (ii) agents biologiques car une part importante du sol est remaniée par les organismes vivants qui l'habitent. En particulier, les vers de terres rejettent les "turricules" que chacun a pu voir à la surface des gazons et prairies.

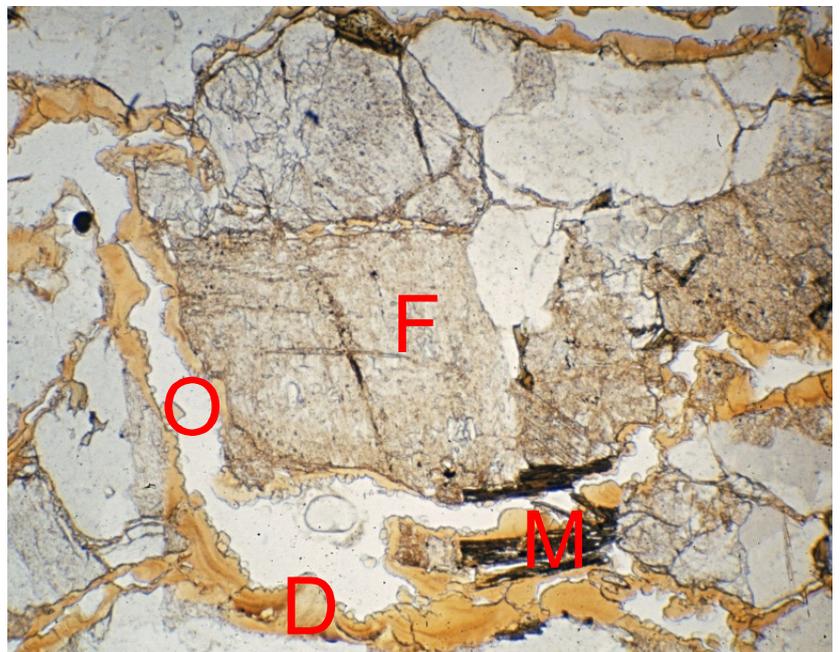
Après avoir durci un échantillon de sol et taillé en son sein une très fine lame de matière de trois centièmes de mm d'épaisseur, observons là sous microscope à faible grossissement. Les espaces vides apparaissent ici en noir (V). Le blanc correspond à du sable calcaire (Ca). Le gris représente une fine pellicule de calcaire attaquée par la dissolution en périphérie du grain de sable (S). Le brun correspond à des matériaux très fins (fer, argiles) dont on peut montrer qu'ils préexistent à l'état de traces dans le calcaire (A). On a donc là le résumé de l'histoire du sol : le calcaire de la roche se divise en grains de petite taille ; les particules ainsi fabriquées se solubilisent progressivement à partir de leur surface et elles s'arrondissent ; ce faisant, elles libèrent les très faibles quantités de matériaux non solubles qu'elles contenaient au départ.



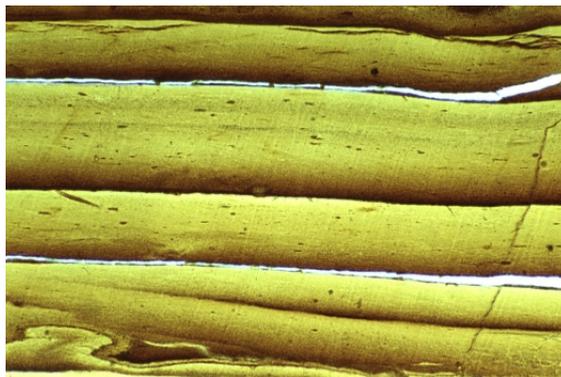
*Photo
Michel Bornand*

in : Bornand M. et Legros JP, 2009. Notice de la carte pédologique à 1/100.000ème de St-Etienne, 281 p., Ed. INRA Orléans-INFOSOL.

Sur matériel calcaire (cas précédent) la roche libérait son argile. Sur matériel acide (ci-dessous) l'altération fabrique cette argile à partir des minéraux de départ. Sur granite les minéraux parents des différentes argiles obtenues sont principalement des micas (M) et des feldspaths (F). Les argiles formées sont des particules très fines et aplaties, qui ne dépassent pas quelques millièmes de mm dans leur plus grande dimension. Elles sont susceptibles de se déplacer avec l'eau, en particulier dans les fissures ou conduits ouverts par les racines ou la dessiccation (O). Ces argiles tapissent alors les parois des conduits, en particulier la partie inférieure où elles s'accumulent en strates successives dans les creux et autres irrégularités (D).



On peut observer ces dépôts argileux sous microscope optique à fort grossissement. Dans chaque épisode de dépôt, la base de la couche d'argile est foncée tandis que la partie haute est plus claire. Cela s'explique peut-être par des différences de densité optique favorisant plus ou moins le passage de la lumière. Au début du dépôt, l'eau abonde si bien que les particules d'argile, sous forme de plaquettes, peuvent sédimenter et se ranger à plat comme des feuilles mortes tombant dans l'air. A la fin de l'épisode de dépôt, l'eau vient à manquer. Les plaquettes s'empilent sans ordre, ménageant entre elles des trous ; la densité optique diminue.



Etudions maintenant cette argile à l'échelle atomique. Sans entrer ici dans les détails, on découvre que ce minéral phylliteux (en feuillet) est magnifiquement organisé sur la base de deux types principaux d'arrangements : des octaèdres dans lesquels 6 atomes d'oxygène (O) ou bien alors trois atomes d'oxygène d'un côté et trois oxhydryle (OH) de l'autre viennent se placer en quinconce pour enserrer un atome d'aluminium (nous avons ajouté des flèches pour montrer que les atomes se referment sur l'aluminium) et des tétraèdres de silice dans lesquels 4 oxygènes forment une sorte de petite pyramide enserrant un silicium.

Tout cela résulte des caractères des atomes. Leur charge électrique et leur capacité plus ou moins grande à échanger des électrons font qu'ils ne se rangent pas n'importe comment. Finalement, une argile est à l'échelle atomique plus complexe, pour ne pas dire plus belle, que du diamant.

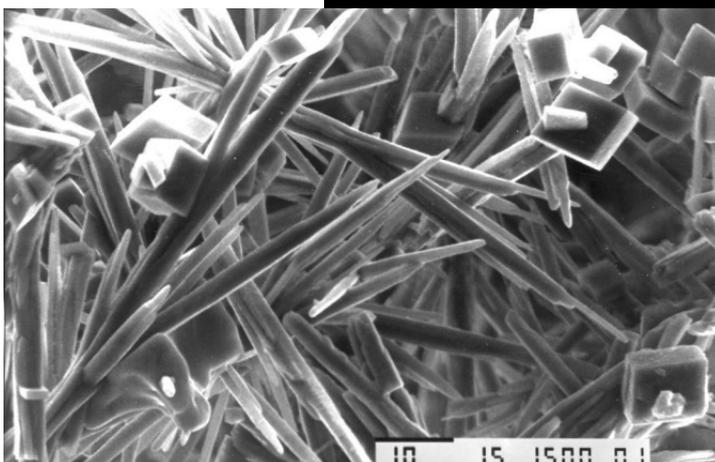
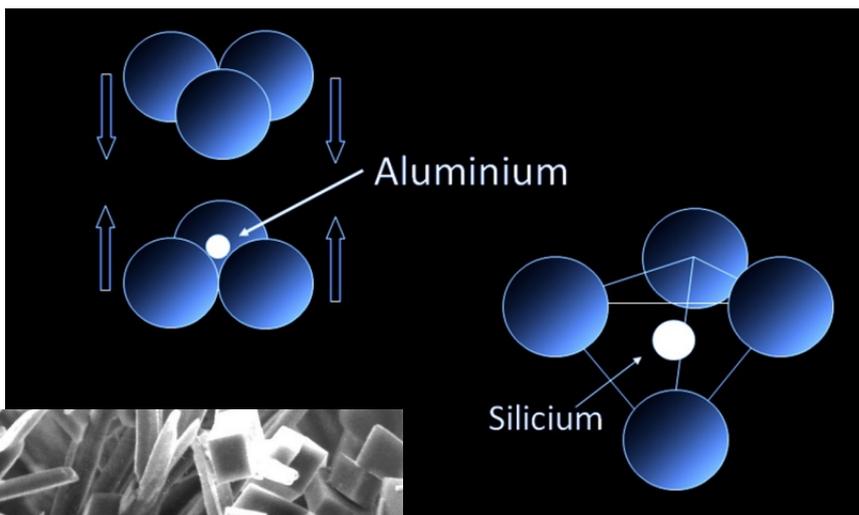


Photo : André Guyon

Revenons à une échelle légèrement moins détaillée et observons maintenant au microscope électronique à balayage les espaces entre les particules, ceux que nous avons antérieurement qualifiés de « vides ». Quelquefois, sur roche calcaire, ils contiennent des aiguilles d'un minéral appelé « lublinite » et des rhomboèdres de calcite (formes voisines de petits cubes). Ces formes de cristallisation spectaculaires sont liées au dessèchement et matérialisent aussi le fait que les atomes, ici le calcium, ne se disposent pas n'importe comment dans l'espace. Bref, la terre sur laquelle nous marchons n'est pas une purée informe !

Au plan biologique aussi le sol est d'une particulière richesse et d'une grande diversité. On a l'habitude de dire que les organismes vivants sous une prairie, constituent une masse biologique (vers, bactéries, champignons, etc.) telle que les vaches que l'on voit en surface représentent peu de chose en poids par rapport à tout ce qui grouille dessous. Il est vrai que l'on dépasse parait-il un milliard de micro-organismes par gramme de terre !

Pour en savoir plus, on consultera l'ouvrage "**Le sol vivant**". Il est mentionné en bibliographie.

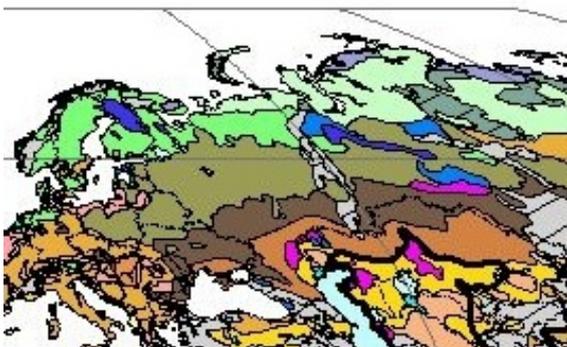
Image de Joseph de la Bouère (extraite du film : "**Connaître et comprendre le sol**", 2010, EDUCAGRI, publié avec le concours de l'AFES et du Fonds Social Européen). Voir Bibliographie.



II. Le sol au coeur de l'environnement

Passons à la Section II du module. Elle a pour objet de replacer le sol dans l'environnement dont il est à la fois le reflet et une composante majeure.

Le russe **Vassili Vassiliévitch Dokuchaev** (1846-1903) est considéré comme le père de la discipline. Géologue de l'université des Saint-Pétersbourg, il fut chargé par le gouvernement russe d'étudier les sols de la Russie d'Europe, et principalement les fameux « Chernozem », afin de comprendre les raisons des famines qui affectaient l'empire, vers la fin du 19e siècle. Il saisit, le premier, que le sol était le résultat de l'interaction de 5 facteurs : le climat, les organismes vivants, la topographie, la roche, le temps. Ses travaux connurent un immense succès car, à l'époque, on croyait la nature du sol déterminée presque exclusivement par la roche dont il était censé dériver directement.



Climat. Rétrospectivement, il est facile de vérifier, sur une moderne carte du Monde (site WEB de la FAO), que les principaux types de sols ont une répartition liée aux grandes zones climatiques de la planète : sols des déserts, sols de la zone intertropicale, sols des hautes latitudes. Mais, au 19e siècle, il a fallu beaucoup de discernement et beaucoup de travaux de terrain pour réaliser que température, pluviométrie et végétation associée, jouaient un rôle essentiel dans la géographie des sols. Dokuchaev l'a compris après avoir, parait-il, parcouru à cheval ou à pied plus de 10.000 kms au travers de l'empire russe.

Organismes vivants. Les agents biologiques du sol interviennent de toutes sortes de façons. Voyons à titre d'exemple l'action du type de végétation. En forêt (photo de gauche), les arbres vivent longtemps. Leur vie durant, ils restituent au sol, sous forme de feuilles ou aiguilles, le carbone qu'ils ont pris à l'atmosphère via la photosynthèse. Donc les résidus organiques sont principalement posés à la surface du sol et ne peuvent être incorporés dans la terre que grâce à toutes sortes d'animaux (insectes, vers...). En conséquence, seule la partie supérieure du sol est riche en matière organique. Au contraire, sous lande ou prairie (photo de droite), les graminées ont leurs feuilles mangées par les herbivores. Par ailleurs, comme leur durée de vie est faible (un ou deux ans en général), leurs racines pourrissent sur place en donnant de l'humus. Dans ce second cas, la restitution de carbone au sol ne nécessite pas le franchissement de l'interface atmosphère/sol. La répartition de la matière organique est donc meilleure au sein du profil comme on le voit bien sur la photographie. La quantité totale de carbone immobilisé est alors souvent plus importante que dans le cas de la forêt !



Parmi les agents biologiques d'évolution du sol, **l'homme** mérite une mention particulière. Son rôle est considérable, positif ou négatif. Certes, l'homme est responsable de phénomènes de dégradation de la couverture végétale: érosion, appauvrissement, salinisation, pollution... Mais le plus souvent son action est positive. Siècle après siècle, il a défoncé les sols pour les approfondir, il a épierré, fertilisé, mis en terrasses pour limiter la pente, assaini... Des terrains inexploitablement sont devenus de bons sols agricoles : pentes fortes d'Asie, marais côtiers, etc.

Topographie. En zone plane, la différenciation du sol en horizons se fait suivant la verticale. Sur pente au contraire, on observe des transferts latéraux de matières solides (argiles), d'ions divers et surtout d'eau. C'est particulièrement net dans le Massif Central (voir ci dessous) lorsque la roche est imperméable (granites, gneiss) alors que les sols résultants sont sableux. Alors, les terres sont sèches et superficielles en haut des pentes où elles ne conviennent qu'à la forêt. En bas de pente elles sont profondes et très humides, valorisées par des prairies permanentes. A mi pente, ni trop secs, ni trop humides, les sols permettent les cultures. Olivier de Serres, dans son célèbre traité d'agriculture daté de 1600 avait déjà observé et décrit ce type d'organisation !



Roche. Le sol étant le résidu de l'altération de la roche, sa matière constitutive dépend en général de cette dernière. Mais le climat peut localement déterminer des transformations importantes. Par exemple, il est très fréquent d'observer sur calcaire des sols acidifiés car le carbonate de calcium est soluble. En outre, sur une roche donnée, on peut trouver parfois une couverture de sol allochtone c'est-à-dire venue d'ailleurs (limon éolien, alluvions fluviales). Donc, méfiance : la lecture de la carte géologique est insuffisante pour bien comprendre ce qu'est le sol !



Sol non calcaire sur roche calcaire en montagne humide

Temps. Le dernier facteur de la différenciation des sols est le temps. Par exemple l'altération en argile des minéraux dans les horizons B des sols, couplée avec une dégradation de ces argiles dans les horizons A et renforcée par une migration des argiles entre A et B, amène progressivement un fort contraste entre ces deux types d'horizons. Dans la fraction fine, le

premier horizon est limoneux, le second est beaucoup plus argileux. Pour obtenir cela il faut du temps. Par exemple, dans la vallée du Rhône, il faut environ 100 000 ans pour obtenir le contraste de couleur et de composition correspondant à la photo de droite. Les géologues du 19e siècle, pas encore formés à la Science du Sol, ont cru à la superposition de deux matériaux fluviaux différents! Il n'en est rien. Toutes sortes de déterminations analytiques démontrent que bas et haut du sol correspondent à l'altération en place d'un matériau homogène au départ.

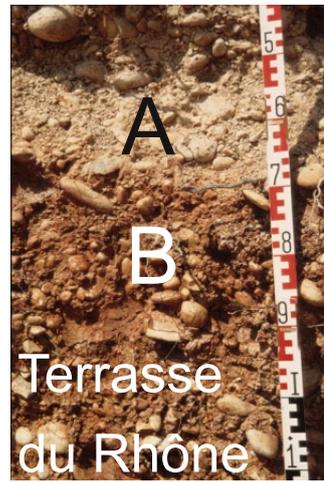


Photo M. Bornand

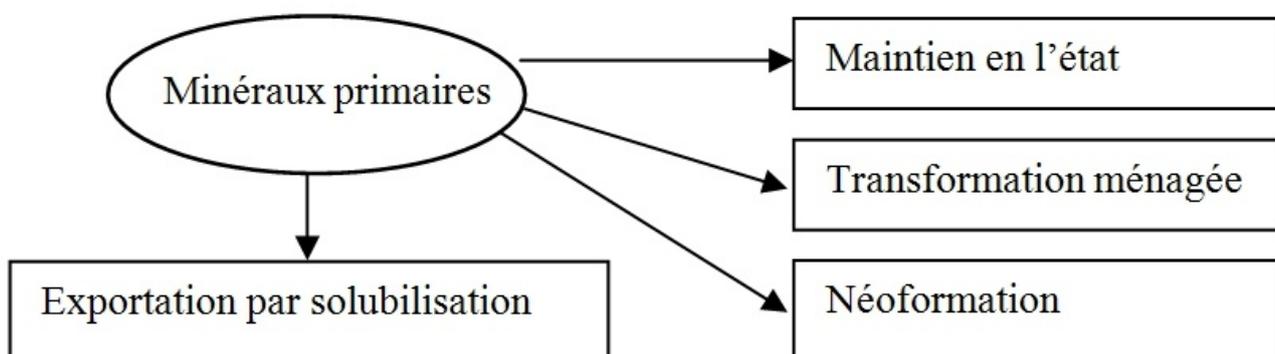
in:
Notice de la carte
pédologique de
St-Etienne, déjà
citée.

Pour comprendre comment se forment les sols et à quelle vitesse ils évoluent, consulter l'ouvrage "[Les grands sols du Monde](#)". il est cité en bibliographie.

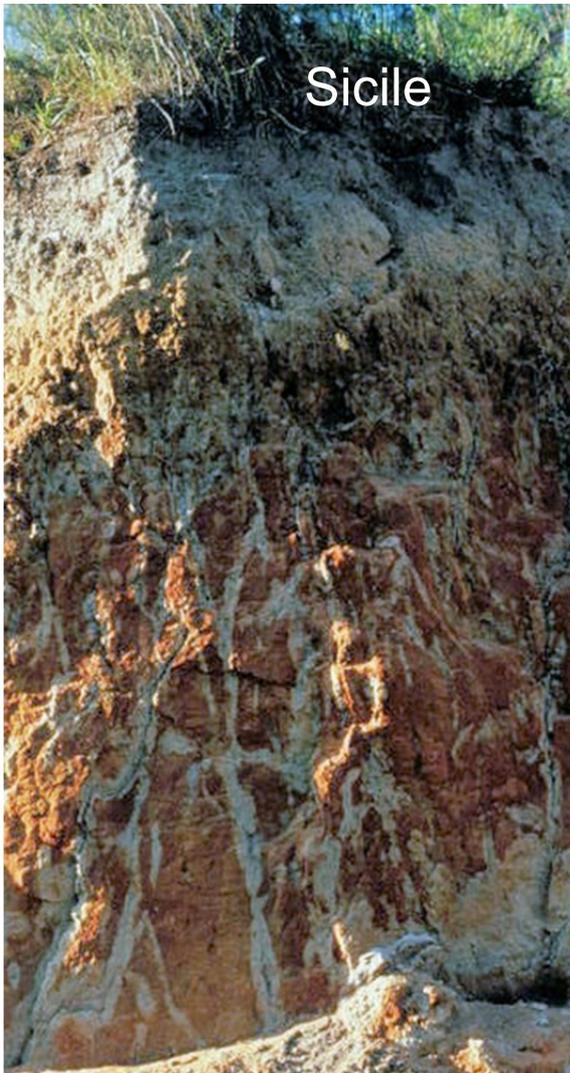
III. Une fabuleuse diversité

Tous les facteurs de différenciation passés en revue sont en interaction, ce qui entraîne une fabuleuse diversité des sols.

C'est d'autant plus vrai que, dans la roche, chaque minéral va évoluer pour son propre compte. Prenons l'exemple d'un granite qui, à la surface, subit l'altération en climat tempéré. Certains de ses minéraux résistent et sont maintenus en l'état (ex : quartz), d'autres sont lentement transformés en argile (micas), d'autres encore sont solubilisés et leurs ions sont exportés ou bien précipités sous la forme de minéraux nouveaux (néoformés). Ce dernier type d'évolution affecte en particulier les feldspaths qui donnent des argiles.



Interviennent aussi et fortement, les conditions d'oxygénation du sol. Quand le sol est aéré, le fer est sous forme oxydée (Fe^{+++}) ; il demeure insoluble, intégré dans des oxydes rougeâtres. En revanche, si le sol manque d'oxygène, le fer est réduit et passe sous la forme Fe^{++} qui correspond à des oxydes et hydroxydes bleuâtres, verdâtres ou grisâtres. Les minéraux contenant du fer sous la forme réduite sont solubles dans l'eau et peuvent donc disparaître du sol. Alors celui-ci blanchit. Le manque d'oxygène qui affecte certains sols est surtout lié à l'excès d'eau. En effet, ce liquide bouche les pores du sol et constitue une barrière efficace à la pénétration de l'oxygène !



Sicile

En période sèche, beaucoup des phénomènes d'oxydo-réduction affectant le fer restent visibles. Tout au long de l'année, dans les sols temporairement humides, on observe donc des oxydes de fer de différentes couleurs et des zones blanchies, si bien que le sol prend un aspect bariolé. Bref, on détecte l'excès d'eau même en l'absence de cette dernière !



Bordelais

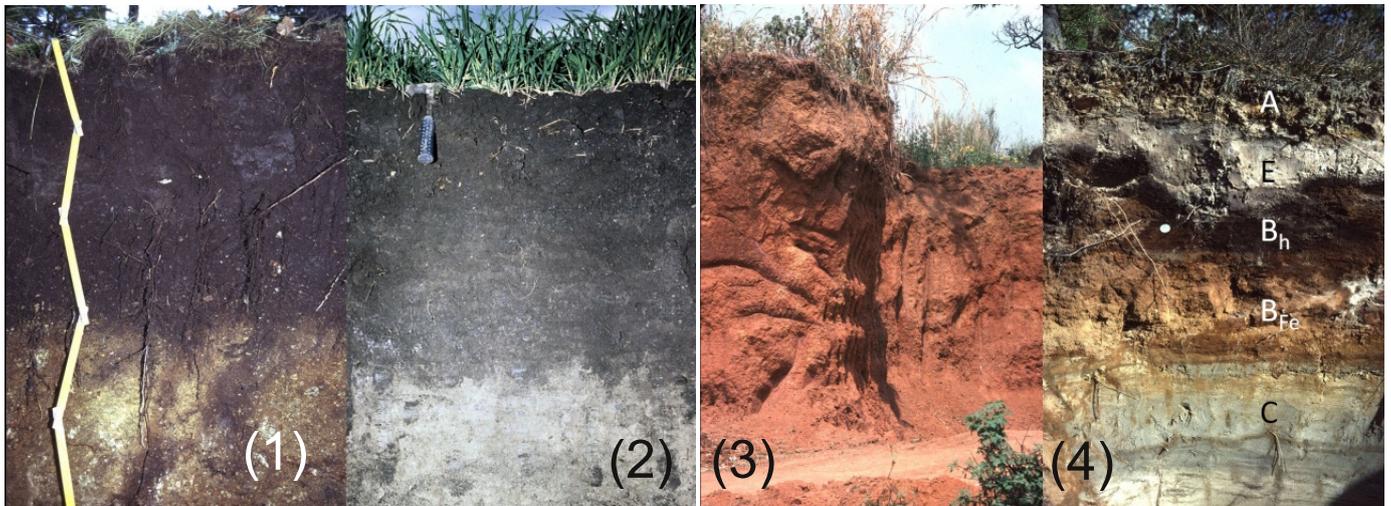
Voyons maintenant quelques exemples de cette fabuleuse diversité des sols. Ci-dessous, à gauche ce sol brun peu différencié sur matériel volcanique à 1000 m d'altitude a l'air de bonne qualité. En réalité, ses propriétés physico-chimiques sont médiocres. Il retient trop fortement le phosphore et trop fortement l'eau si bien qu'il empêche les plantes de s'alimenter convenablement.



Photo Jacques Moineau

A droite, la couleur bleuâtre de l'horizon B de ce sol de vigne indique qu'il est périodiquement affecté par l'excès d'eau. Cela limite l'extension des racines vers le bas. En conséquence, la vigne souffre et est un peu chétive... chose excellente puisqu'il s'agit d'un terroir de très haute qualité. Nous sommes à Saint-Emilion, dans le vignoble du «*Château Cheval Blanc*», un des plus célèbres de France pour la qualité de son vin. Bref, en matière de sol, il ne faut pas trop se fier aux apparences !

Ci-dessous, à gauche **(1)** on observe le sol caractéristique des "hauts" du Massif Central tel qu'il se présente au Mont Lozère, vers 1600 m d'altitude. En d'autres temps on appelait ce sol «*terre de bruyère* ». Il est humifère, sableux et acide. Il est très pauvre et convient tout juste aux pelouses et bois. La «*terre noire de Limagne*» **(2)** constitue un autre sol humifère. Contrairement au précédent, il est calcaire et riche en argile. C'est l'un des meilleurs de France.



Ci-dessus, en troisième position **(3)**, figure la très célèbre latérite de la zone intertropicale. Elle est dénommée maintenant «*Ferralsol* ». Elle est extraordinairement épaisse (jusqu'à 20 m ou plus), argileuse (jusqu'à 60%), riche en oxydes de fer (couleur rouge) et aluminium. Son développement a demandé des millions d'années. Tout à fait à droite **(4)**, est reproduit un *podzol*, caractéristique des hautes latitudes de la planète. Il affecte les forêts de résineux, taïga russe en particulier. Il est caractérisé avant tout par un niveau blanchi appelé E, situé entre le A de surface et les horizons B colorés observés au milieu du profil. Son développement complet ne demande que 5000 ans environ. Avec ses horizons très différenciés et vivement colorés, ce sol pauvre est sans doute l'un des plus spectaculaires de la nature.

Dans des coupelles, on a disposé ici quelques pincées de différents sols de France sans chercher l'exhaustivité des teintes. Il manque par exemple les couleurs bleues mentionnées plus haut. C'est assez cependant pour réaliser que la terre n'est pas uniformément marron ! De très nombreux autres exemples de sols sont accessibles sur le site WEB de l'AFES.



IV. Les fonctions multiples du sol

Les sols ne sont pas seulement beaux à toutes les échelles et variés. Ils intéressent l'homme et la nature au travers de leurs différentes fonctions. Examinons rapidement ces dernières.

Le sol nourrit les plantes qui sont la base de l'alimentation des herbivores et partant des carnivores. L'homme dépend donc du sol pour sa survie.



Les sources font les petits ruisseaux... qui font les grandes rivières. Le sol intervient dans le cycle de l'eau, dans celui du carbone, de l'azote, etc. Voir: "[Les sols pour l'avenir de la Planète Terre](#)" en bibliographie. **Le sol est l'un des compartiments essentiels de la biosphère.**



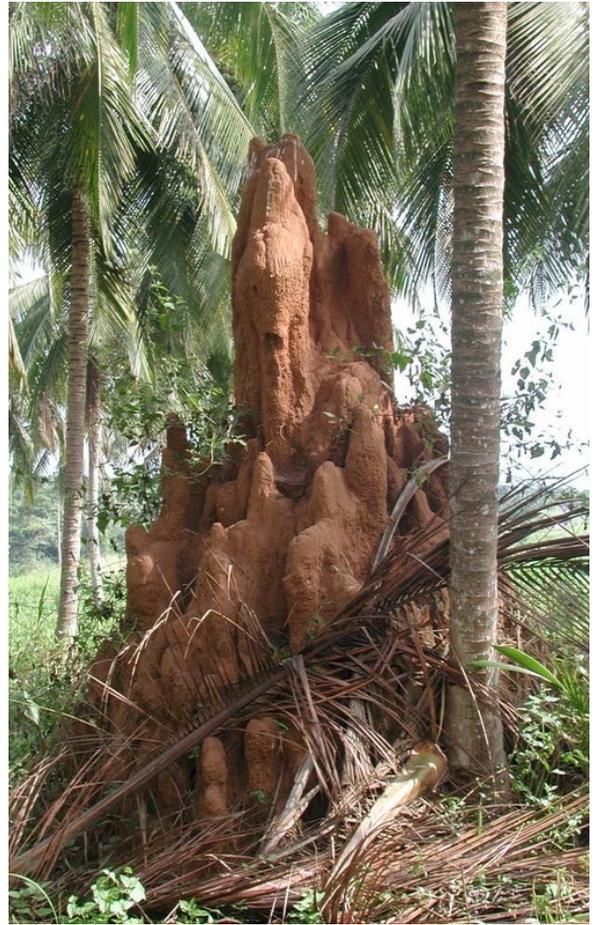
Habitat. Même en 2012, la moitié des habitations du monde sont en terre. Ici une kasbah du sud marocain avec ses nids de cigognes.



Certes on retrouve des objets dans des épaves, en mer ou dans les fleuves, mais il ne faut pas oublier que **l'essentiel des vestiges du passé sont conservés enfouis dans les sols.** Ici un vase chinois en bronze (206 avant JC, musée de Shanghai).

Le sol est une formidable **réserve de vie et de biodiversité**. Les vers, les bactéries, les insectes, les champignons qu'il contient ne sont pas tous connus. C'est de la terre que proviennent les antibiotiques. Or, les antibiotiques actuels manquent d'efficacité contre certaines bactéries. Des découvertes restent à faire !

Collection AFES : termitière, Côte d'Ivoire, photo de Pascal Jouquet IRD



Enfin le sol est aussi l'endroit où on enterre les morts ; Il a donc une fonction culturelle. Ici un cimetière au Togo. C'est peut être pourquoi, instinctivement, le sol exerce une sorte de répulsion ; personne ne souhaite se retrouver trop rapidement « six pieds sous terre ». En même temps, et d'une manière très pragmatique, sa capacité de digestion des résidus divers est bien utile. Sans cela, depuis que la vie existe sur Terre, nous nagerions dans les débris organiques et les cadavres de toutes sortes...



Références principales

BAIZE D, JABIOL B., 2012. *Guide pour la description des sols*. Editions Quae, 430 p.

GOBAT J.M., ARAGNO M., MATTHEY W., 2010. *Le sol vivant*, Presses Polytechniques Romandes, nouvelle édition, 844 p.

LEGROS J.P., 2007. *Les grands sols du Monde*, Presses Polytechniques Universitaires Romandes 574 p.

RUPELLAN A., DOSSO M., 1995. *Regards sur le sol*, Ed. Foucher, AUPELF, 192 p.

RUPELLAN A., POSS R. *Les sols pour l'avenir de la planète Terre*, plaquette AFES (avec le soutien des Ministères de l'enseignement et de l'Agriculture, IRD, ADEME, GIS-SOL, CCSTI Centre, TOTAL), 16 p.

