

le sol, l'épiderme vivant de notre planète

publié le 07.05.20 | par [clément mathieu](#)

les sols forment, à la surface de la lithosphère, une fine pellicule d'épaisseur et de composition variables en fonction, notamment, du climat et de la nature des matériaux parentaux. les hommes emploient les sols de diverses manières mais les pressions qu'ils leur font subir menacent l'utilisation à long terme de ce fragile patrimoine.

cet article est une version adaptée de *le sol ou l'épiderme vivant de la planète terre*, la cohorte, 2009, 195, 15-28, smih, paris.

1. connaissez-vous les sols ?

1.1. le sol, première ressource pour la vie de la planète...

ressource pour la production alimentaire, support des activités humaines, source de minerais et de matériaux de construction, système épurateur, réserve d'eau... le sol est un élément vital et fondamental pour l'humanité. il est donc essentiel à la vie et fait partie du quotidien des hommes.

et pourtant, constat étonnant, le sol n'est pas, ou très mal connu des hommes, y compris de ceux qui l'utilisent directement et quotidiennement.

toutes les sociétés humaines ont utilisé ou utilisent le sol chacune à leur manière : cultures, élevage, forêts, matériaux pour les habitations et les routes, épandage des déchets agricoles, industriels et urbains, zones récréatives. le sol est d'ailleurs conçu de manière fort différente selon le mode de vie de chacun.

il est peut-être pour certains une simple interface entre l'atmosphère et la lithosphère. pour le carrier, par exemple, il devient même le « stérile » lorsqu'il recouvre le matériau rocheux solide sous-jacent et utilitaire.

il est aussi considéré comme une simple superficie. c'est l'approche classique des personnes traitant du « foncier » : remembrement, plans d'occupation des sols, classement des terres, etc.

il est l'objet de diverses réglementations en matière d'usage : droit de passage, drainage, plantations, etc.

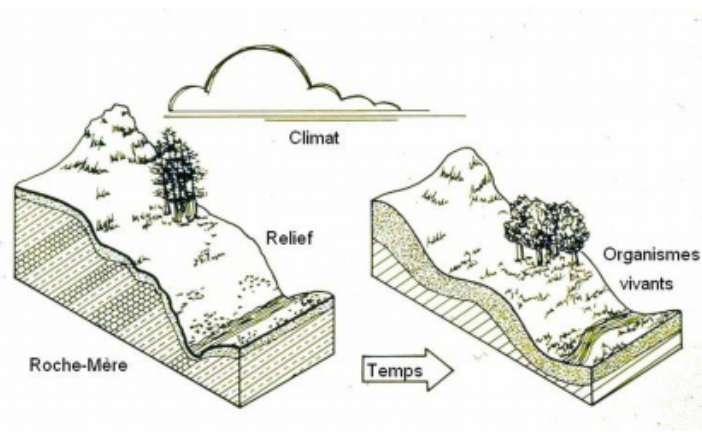


figure 1 - les principaux facteurs de formation des sols
source : *properties, classification and management of oxisols*, usda-nrcs, 1996

auteur(s)/autrice(s) : usda-nrcs, 1996

licence : [reproduit avec autorisation](#)

pour l'agronome et le pédologue, le sol est le produit de l'altération, du remaniement et de l'organisation des couches supérieures de la croûte terrestre sous l'action de la vie, de l'atmosphère et des échanges d'énergie qui s'y manifestent. c'est donc une structure quadridimensionnelle (espace, temps) (figure 1).

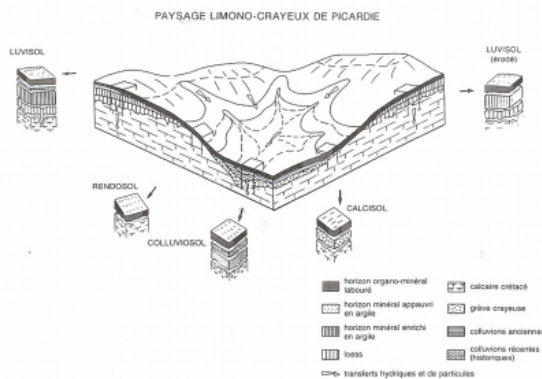


figure 2 - horizon, profil pédologique et couverture pédologique

auteur(s)/autrice(s) : clément mathieu, d'après begon et jamagne, techniques agricoles, 1994, 1110, 1-24 licence :

[reproduit avec autorisation](#)

c'est aussi un volume organisé, structuré et continu : la couverture pédologique présente une grande variété spatiale et est un milieu en perpétuelle transformation. elle fait donc partie des paysages et est elle-même composée de volumes plus petits, les couches de sol que les spécialistes appellent horizons. ces derniers s'organisent dans le paysage en relation avec la nature des matériaux parentaux, la géomorphologie, la couverture végétale, l'occupation des sols et l'empreinte des activités humaines (figure 2).

1.2. ... mais sa méconnaissance est importante



figure 3 - le sol n'est pas toujours directement observable
ici dans le bocage de thiérache (département de l'aisne, france), la prairie et le bocage ne laissent pas apparaître le sol. ni la couleur, ni la profondeur, ni les caractéristiques pédologiques du sol ne sont observables sans l'intervention d'un outil (pelle manuelle ou mécanique).

auteur(s)/autrice(s) : clément mathieu
licence : [reproduit avec autorisation](#)

cependant cette organisation complexe et définie par un système de lois reste bien moins connue des hommes que d'autres populations d'objets naturels comme les oiseaux, les plantes, les minéraux, etc.

dans notre environnement, cette méconnaissance vient du fait que le sol s'impose très peu au regard :

- quand la végétation le couvre, il n'est pas visible (figure 3).



figure 4 - la surface du sol
le sol est cette couche de « terre » encore trop souvent appelée « terre arable ». il ne nous apparaît distinctement que lors des labours. ici sur les plateaux limoneux de la brie (bassin parisien, france). mais cette couche est-elle peu épaisse ou a-t-elle plusieurs mètres d'épaisseur ?

auteur(s)/autrice(s) : clément mathieu
licence : [reproduit avec autorisation](#)

- quand il est à découvert, ses couleurs rouge, noire, ocre, blanche, brune dominent les paysages ; mais ce qu'on en voit n'est que la surface (figure 4), or le sol est un volume qui se transforme continuellement. bien que faisant partie du paysage, il est difficile en circulant simplement de le percevoir dans son intégralité.
- son matériel originel ou la couche sous-jacente, n'est souvent visible qu'à l'occasion de fronts de carrière, ou de tranchées de routes.



figure 5 - les fosses pédologiques permettent l'étude des sols le pédologue creuse une fosse d'une profondeur variant selon les circonstances agronomiques (profondeur d'enracinement de la culture) ou naturelles (apparition de la roche mère sous-jacente) ou ses propres préoccupations (moyen en temps, en matériel...).

dans la plupart des cas, la profondeur est d'environ 1,50 m à 1,80 m. grâce à cette fosse, le pédologue va pouvoir faire des observations morphologiques et des prélèvements pour l'analyse en laboratoire (les boîtes sur le côté de la fosse servent à emporter les échantillons prélevés).

auteur(s)/autrice(s) : clément mathieu

licence : [reproduit avec autorisation](#)

- enfin, sa surface, visible ou non, ne laisse pas facilement deviner son organisation interne avec ses caractéristiques et ses propriétés analytiques et qualitatives. son étude détaillée ne peut se réaliser qu'en creusant des fosses et en réalisant des inventaires spatiaux comme la cartographie des sols (figure 5).

1.3. son existence a été longue à être reconnue

la conscience de l'existence du sol en tant que formation naturelle organisée, soumise à un fonctionnement et à une évolution, susceptible de lentes et/ou rapides transformations ainsi que de dégradations irréversibles a été très longue à apparaître.

si les auteurs de l'antiquité mentionnent bien quelques méthodes physiques d'amélioration du sol agricole, ils ont eu d'énormes difficultés à concevoir le rôle chimique du sol. le moyen âge perpétue les idées du monde gréco-romain et même olivier de serres, en 1600, ignore toujours le rôle des éléments fertilisants. les premiers progrès réels n'apparaissent qu'en 1750. duhamel de monceau met l'accent sur le travail du sol et wallerius affirme l'importance primordiale de l'humus dans la nutrition des plantes.

avec liebig, boussingault et lawes (vers 1840), la chimie du sol prend triomphalement naissance et on n'ignore pas l'altération des roches comme facteur de formation.

à la fin du xix^e siècle, dokouchaev en russie avec l'étude du chernozem dans les plaines de l'ukraine, mais aussi müller au danemark et hilgard aux états-unis abordent enfin l'étude conjointe et dialectique de l'ensemble des caractéristiques du milieu (boulaine, 1989). la pédogenèse et la cartographie des sols sont nées.

le sol n'est donc plus considéré comme un matériau, résidu de la transformation des roches, mais comme une entité naturelle. c'est un complexe matériel structuré et doué de régimes cycliques (journaliers et annuels) qui évolue au cours des temps et dont les caractères sont en relation avec la répartition des facteurs de différenciation. le sol est « *doué d'historicité et de géographicité* » (boulaine, 1989).

à partir de ce moment-là, les institutions agronomiques se mettent en place. parallèlement, l'industrie des engrais, celle des machines agricoles, les syndicats de drainage se développent progressivement. la demande de connaissances sur les sols se développe petit à petit. mais c'est surtout à partir de 1950 (donc, bien tardivement) que les travaux de recherche, d'inventaire et les bureaux d'études sur les sols se multiplient. si en même temps les progrès des techniques physico-chimiques et autres (microscopie des sols, minéralogie des argiles, télédétection, traitement statistique des données) se développent ainsi que l'inventaire des sols, toutes ces recherches vulgarisent peu la connaissance des sols, non seulement pour l'ensemble du public, mais aussi pour les principaux utilisateurs de cette ressource.

pourtant les applications des recherches sont largement exploitées en matière de fertilisation, de travail du sol, de drainage, d'irrigation, de plan de reforestation, etc. ainsi qu'en conservation des sols.

1.4. la conservation des sols, une préoccupation majeure

la conservation des sols devient un projet majeur à l'échelle mondiale. tous les continents sont concernés : érosion, compaction, pluies acides, pesticides, métaux lourds, salinisation, constituent des facteurs importants de la dégradation des sols.

les effets de l'érosion s'aggravent dans diverses régions du monde. souvent, on ne s'attendait pas à y rencontrer des problèmes d'une telle ampleur au niveau, non seulement des parcelles et des bassins versants amont, mais aussi à l'aval avec les conséquences catastrophiques sur l'atterrissement (c'est-à-dire le dépôt) des sédiments, le comblement des exutoires et les inondations de plus en plus fréquentes qui en résultent.

des effets indésirables se produisent sur la qualité de l'eau avec les diverses pollutions chimiques (nitrates, phosphates, pesticides) et physiques (suspensions solides).

les sols sont non seulement soumis à des dégradations physiques (perte de porosité, tassement, érosion) et chimiques (salinisation, alcalinisation) mais également à des pollutions d'origines variées : pollutions liées aux retombées atmosphériques (pluies acides), en particulier de substances issues des combustibles fossiles (oxydes d'azote et de soufre, plomb, chlore, fluor par l'industrie, les transports et le chauffage), à la fertilisation agricole et aux modes de culture (excès d'engrais, pesticides), à la pratique non raisonnée des épandages de résidus organiques des zones urbaines ou d'industries agroalimentaires (boues d'épuration, composts urbains, effluents agro-industriels - laiteries, brasseries, abattoirs, etc.) sans parler des pollutions accidentelles ou clandestines (enfouissement de déchets toxiques, décharges sauvages).

1.5. le sol, restera-t-il un inconnu ?

parallèlement à ces problèmes liés aux dégradations et aux pollutions des sols, la demande de connaissance de la ressource sol s'accroît et se diversifie ; les acteurs et les demandeurs deviennent beaucoup plus nombreux, ils connaissent cependant moins bien les sols que les agriculteurs du passé.

la gestion des sols se fait aussi en fonction d'objectifs finalisés correspondant à des

aspects très variés. les questions posées sont du type : zones sensibles à l'érosion, zones irrigables ou à drainer, zones d'implantation des diverses espèces forestières, plantation des taillis à courte rotation, impact des produits phytosanitaires sur la qualité de l'eau (capacité de filtrage du sol)...

malheureusement, la connaissance des sols dans le monde, en europe, et même en france, reste insuffisante et, actuellement, difficilement mobilisable. or on a pourtant largement démontré que la fertilisation et les conditions d'utilisation d'un sol, tant en productions végétales, forestières qu'animales, mais également en matière de conservation, sont fonction des caractères morphologiques, biologiques et chimiques du sol.

mais les propriétés du sol sont très différentes selon les matériaux parentaux d'origine et les divers climats qui ont fabriqué ce sol ; d'où l'existence d'une multitude de sols très différents dans une même région soumise à un même climat et à plus forte raison entre régions ayant des climats très différents. d'où une nécessité de plus en plus évidente de mieux le connaître, de le comprendre davantage pour mieux le conserver et l'utiliser. il est donc indispensable de poursuivre la diffusion des connaissances ainsi que les études et les inventaires concernant cet inconnu. le sol est un élément crucial pour un développement durable intégré à un contexte environnemental socio-économique de progrès.

2. les fonctions vitales du sol

le sol est un patrimoine pour toute la planète, qu'il convient de protéger et de conserver en raison de ses fonctions par rapport à la vie et à la santé de l'homme. on connaît depuis longtemps le sol pour son rôle dans la production agricole. mais on ignore encore trop souvent les fonctions du sol qui sont vitales pour l'humanité : source de matière première extractive, habitat biologique et réserve génétique, filtre et tampon, paysage... (figure 6).

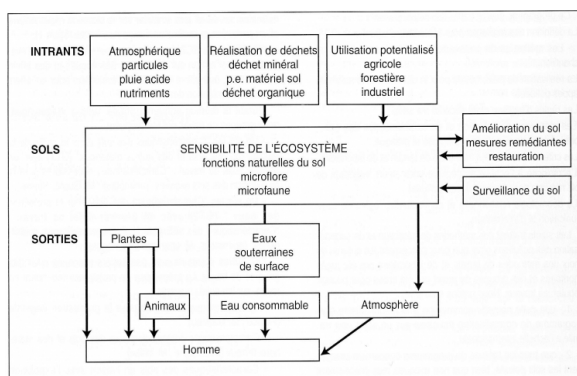


figure 6 - la place du sol dans les problèmes d'environnement

auteur(s)/autrice(s) : clément

mathieu, 1996 licence :

reproduit avec autorisation

par rapport à la vie en général et plus particulièrement par rapport aux besoins et à la santé de l'homme, le sol assure quatre fonctions essentielles.

2.1. des fonctions biologiques

le sol abrite de très nombreuses espèces animales et végétales. les organismes du sol appartiennent d'une part à tous les groupes connus des micro-organismes (bactéries et en particulier actinobactéries, champignons, algues, protozoaires et virus) et d'autre part à certains groupes d'animaux, surtout des nématodes et des annélides, des

arthropodes, en particulier des insectes, voire de petits mammifères (figure 7).



figure 7 - le sol abrite de nombreuses espèces animales

a : en france, dans le bocage limousin, les taupinières indiquent une très forte activité de brassage de l'horizon humifère par de très nombreuses taupes.

b : les turricules manifestent à la surface du sol une très forte activité des vers de terre. zone tropicale, république centrafricaine.

c : développement des termitières en forme de champignon ; les sols sous-jacents sont cuirassés et les termites vont chercher l'argile à plusieurs mètres de profondeur. zone tropicale république centrafricaine.

auteur(s)/autrice(s) : clément mathieu licence : [reproduit avec autorisation](#)

nous savons que la faune et la microfaune du sol jouent des rôles fondamentaux dans le maintien de la fertilité physique et chimique des sols (évolution de la matière organique, stabilité de la structure, aération du sol). ainsi de nombreux cycles biologiques passent par le sol et l'incluent donc comme élément constitutif de nombreux écosystèmes. c'est un habitat essentiel pour la biodiversité.

2.2. des fonctions alimentaires

les éléments indispensables aux végétaux se trouvent dans le sol (calcium, potassium, azote, eau, air, etc.). le sol joue ainsi le rôle de réservoir, de « garde-manger » qui selon les cas est plus ou moins rempli. il retient aussi l'eau nécessaire aux plantes qu'il leur restitue en fonction de leurs besoins. en définitive, une grande partie de ce que les plantes absorbent provient du sol (figure 8) et pas seulement de la partie supérieure du sol, car les racines des plantes peuvent descendre jusqu'à plusieurs mètres de profondeur.



figure 8 - un potager à kiwenza, région de kinshasa climat tropical humide (république démocratique du congo).

auteur(s)/autrice(s) : clément mathieu licence : [reproduit avec autorisation](#)

2.3. des fonctions de filtre et de tampon

le sol exerce une fonction de tampon vis-à-vis des éléments exogènes qu'il reçoit (pluies acides, fertilisation, pesticides...). le sol remplit aussi un rôle majeur dans la séquestration du dioxyde de carbone (CO_2) de l'atmosphère sous forme de matière organique. il émet également un certain nombre de gaz à effet de serre (méthane, protoxyde d'azote).

le sol est un milieu poreux et il exerce vis-à-vis de l'eau qui le traverse un rôle de filtre et de réacteur chimique et biologique pour les nitrates, phosphates et pesticides... le sol devient un système épurateur, la qualité chimique et biologique des eaux dépend des propriétés des sols. mais cette fonction épuratrice dans l'écosystème a ses limites car si elle n'est pas suffisante, la pollution du sol peut être définitive.

2.4. des fonctions matériau

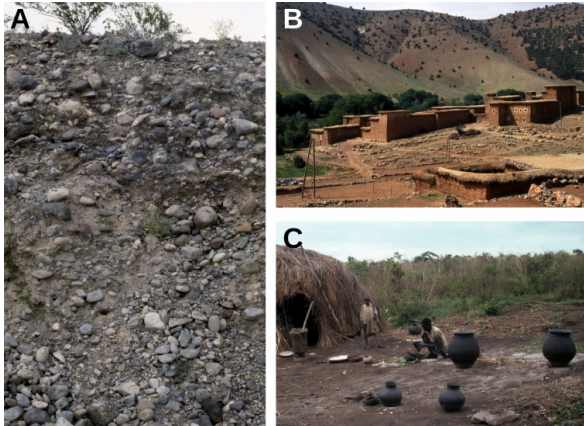
le sol sert de matériau de construction dans de nombreux cas. les sols argileux en particulier permettent la fabrication de briques mais également de maisons en torchis. c'est ainsi qu'ont été édifiées de nombreuses villes et de villages en terre à travers le monde (figure 9b), il en est de même des barrages en terre. les galets des sols très caillouteux sont utilisés pour le béton (figure 9a) ou pour les routes. le sol est aussi utilisé comme matériau pour des objets de la vie courante, comme les poteries (figure 9c) ou pour en extraire des éléments comme l'aluminium (bauxite) et le fer (craie ferrallitiques).

figure 9 - les fonctions de matériau du sol

a : les graviers sont utilisés à travers le monde pour la construction des habitations et des routes (terrasse du rio grande, texas).

b : au maroc, dans le haut-atlas (vallée de l'aït bouguemez), village construit avec des matériaux limono-argileux extraits du sol.

c : au burundi, dans le bweru, fabrication de poteries usuelles avec de la terre argileuse provenant du sol.



auteur(s)/autrice(s) : clément mathieu
licence : [reproduit avec autorisation](#)

2.5. le sol, essentiel aux hommes

or, « *tout est question d'équilibre entre les capacités fonctionnelles et de renouvellement des sols et la pression anthropique* » (ruellan et dosso, 1993). à travers le monde, les exemples de sols dégradés, suite à leur mise en valeur ne manquent pas. citons l'érosion hydrique et l'érosion éolienne, les tassements, l'appauvrissement en matière organique et en activité biologique, l'accumulation des sels, les pollutions... au total toutes les fonctions majeures du sol sont affectées. le sol perd sa fertilité et ses fonctions régulatrices.

l'équilibre entre les potentialités du sol et la pression des activités humaines est seul garant de l'avenir. or, cet équilibre n'a de chance d'être respecté que si l'homme apprend à connaître le sol.

— ruellan et dosso, 1993

3. un milieu structuré et organisé, des particules aux paysages

si, comme nous l'avons rappelé, on parle de sol depuis l'antiquité, ce n'est que depuis la fin du xix^e siècle avec dokouchaev que le sol est défini en tant qu'objet et qu'on l'étudie comme tel.

le premier niveau d'observation du sol s'est d'abord fait à partir de coupes sur le

terrain qu'on a appelées profils pédologiques (figure 5). en étudiant ces profils, on s'est très vite aperçu que le sol présentait des arrangements spatiaux de ses constituants qui n'étaient jamais quelconques et on a ainsi défini des structures. pour mieux comprendre ces organisations structurales, tant dans leur configuration que dans leur genèse, on s'est efforcé depuis plusieurs dizaines d'années, d'étudier leurs constituants à l'aide du microscope (microscope optique puis microscope électronique) allant de plus en plus vers le petit, vers les particules élémentaires du sol (argiles, limons, sables), les feuillets d'argile ou les cristaux de calcite, d'hématite, etc.

par l'étude de terrain, on s'est aussi très vite rendu compte que les sols formaient un volume continu et tridimensionnel. cette couverture pédologique, est située entre la lithosphère et l'atmosphère, et évolue en continu. elle est formée de constituants minéraux et organiques et elle est organisée en couches ou horizons qui sont eux-mêmes des volumes.

l'organisation spatiale de la couverture pédologique intégrée à d'autres éléments paysagiques (substrat géologique, hydrologie, géomorphologie, occupation végétale et activités humaines) va définir le paysage pédologique ou pédopaysage (figure 2).

le sol possède une architecture interne à plusieurs niveaux d'organisation qui peuvent s'observer, depuis l'échelle des constituants élémentaires jusqu'à la couverture continue ; nous y reconnaissons quatre grands niveaux d'organisation : les organisations élémentaires, les éléments structuraux, les horizons et la couverture pédologique.

3.1. les organisations élémentaires

la fraction minérale du sol provient de la désagrégation et de l'altération des roches sous-jacentes ou des paysages amont (pour les sols alluviaux par exemple). ces constituants minéraux peuvent être distingués selon leur taille par l'analyse granulométrique du sol. on distingue ainsi les argiles de taille inférieure à 2 μm , les limons fins entre 2 et 20 μm , les limons grossiers entre 20 et 50 μm et les sables de 0,05 mm (50 μm) à 2 mm ; leur proportion relative définit la texture du sol.

les constituants minéraux les plus petits, les argiles et les oxyhydroxydes de fer et d'aluminium, ont une grande réactivité chimique due à leur surface spécifique et aux charges électriques qu'ils développent.

cette fraction minérale associée à l'humus - la matière organique décomposée du sol - va constituer des associations organominérales qui sont la base des organisations élémentaires. celles-ci, sous les microscopes (optiques et électroniques), se décrivent donc en termes de constituants (squelette, plasma, vide...) et de relations entre les constituants (accumulation, séparation, concentration...) (figure 10).

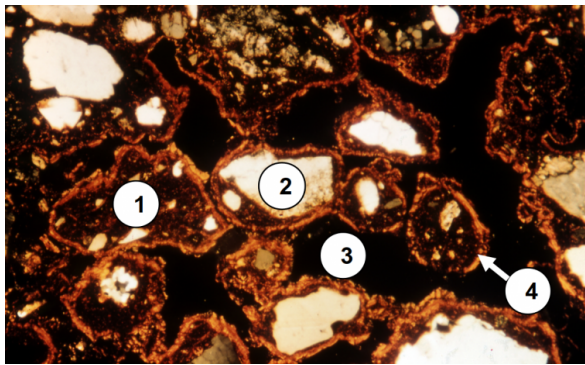


figure 10 - un exemple de microstructure

1 : assemblage riche en argile et limon ; 2 : grains de squelette ; 3 : vides ; 4 : revêtements argileux issus du lessivage des niveaux supérieurs dans le sol.

auteur(s)/autrice(s) : roy brewer, fabric and mineral analysis of soils, 1964 licence : [reproduit avec autorisation](#)

3.2. les éléments structuraux

dans une coupe de sol, on observe aisément des volumes pédologiques individualisés dont la taille varie du millimètre (de très fins grumeaux) à parfois quelques décimètres (souvent en forme de colonnes ou de prismes). en fait, ce ne sont pas des fragments dus à la cassure d'objets existants mais bel et bien des volumes naturels, qu'on dénomme agrégats. ils résultent de l'agencement d'organisations élémentaires sous l'action conjuguée des cycles de dessiccation-humectation, de l'activité microbienne et des racines et constituent un niveau d'organisation visible à l'œil nu (figure 11).



figure 11 - macrostructure montrant des agrégats polyédriques en place, laissant apparaître les vides entre les agrégats

la photographie montre une zone de 15 cm de large.

auteur(s)/autrice(s) : roy brewer, fabric and mineral analysis of soils, 1964 licence : [reproduit avec autorisation](#)

les agrégats vont être associés à des vides, des concentrations de constituants (revêtements, nodules...), des traces d'activités biologiques, des couleurs, etc.

les caractéristiques des agrégats, à savoir leur forme, leur taille, leur netteté et leur porosité interne et externe, déterminent les conditions de circulation de l'eau et des gaz dans le sol ainsi que ses propriétés mécaniques.

3.3. les horizons



figure 12 - les horizons d'un sol calcaire

les horizons superposés subhorizontaux d'un sol calcaire moyennement différencié sur calcaire lacustre (étage stampien), peyriac-sur-mer, département de l'aude, france.

**1 : horizon a argilo-humifère. ;
2 : horizon b, altération et décarbonatation ; 3 : horizon c, roche calcaire altérée et désagrégée.**

auteur(s)/autrice(s) : clément mathieu licence : [reproduit avec autorisation](#)

les horizons sont des volumes pédologiques apparaissant en couches plus ou moins parallèles à la surface du sol (figure 12), mais pas toujours (figure 13), d'une épaisseur qui va de quelques centimètres à quelques décimètres. la relative homogénéité morphologique de ces couches correspond à une certaine homogénéité de constitution et de structure. latéralement l'extension d'un horizon est très variable : du mètre... jusqu'à plusieurs kilomètres ; il n'est cependant jamais infini.

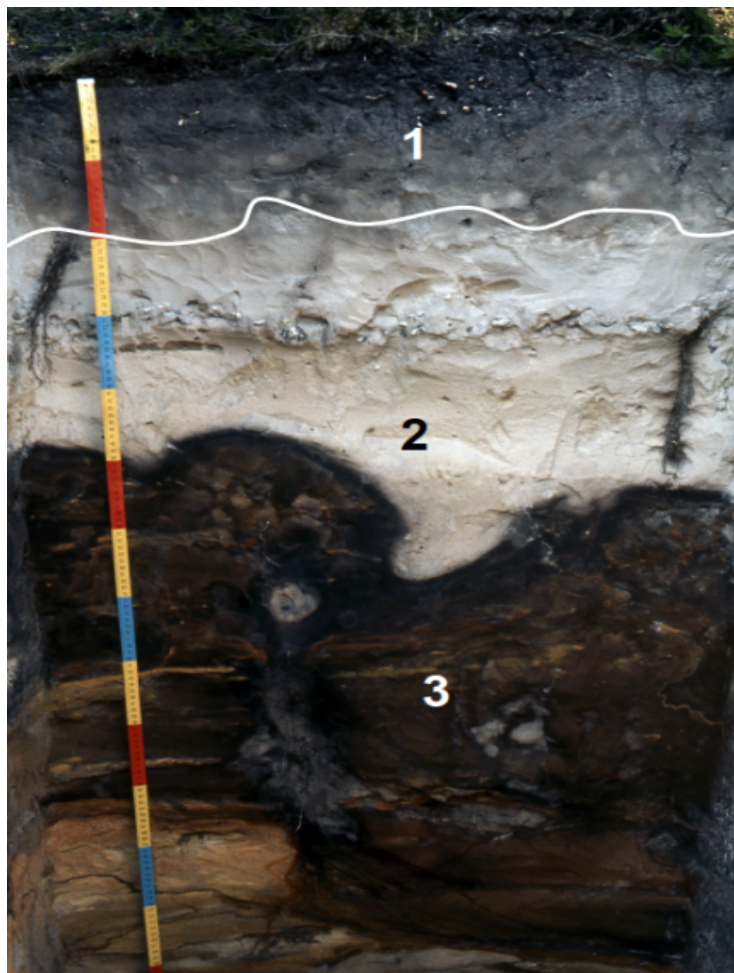


figure 13 - un podzol très différencié les horizons de ce sol ne sont pas tous horizontaux. podzol très différencié. lande de versigny, département de l'aisne, france.

1 : horizon a, sablo-organique ; 2 : horizon e, complètement sableux, hormis la silice tous les éléments ont été entraînés en profondeur ; 3 : horizon b, d'accumulation, légèrement cimenté par les oxydes de fer et les complexes organo-minéraux.

auteur(s)/autrice(s) : clément mathieu

licence : [reproduit avec autorisation](#)

dans une première approche, les horizons peuvent être répartis en quatre grands ensembles de la surface du sol vers la profondeur.

- les horizons organiques, composés essentiellement de débris végétaux plus ou moins transformés, mais encore reconnaissables à la surface du sol.
- les horizons organo-minéraux, généralement appelés horizons a où les constituants minéraux très largement majoritaires sont mélangés à la matière organique humifiée sus-jacente.
- les horizons minéraux où s'observent les processus de réorganisation de l'assemblage des constituants et l'altération géochimique de ces constituants et/ou de départ ou au contraire d'accumulation d'éléments (argiles, fer, aluminium...) (ce sont les horizons b ou e).
- enfin les horizons c qui correspondent à la roche sous-jacente, plus ou moins altérée ou désagrégée.

mais les horizons sont avant tout le résultat de l'histoire du sol, c'est-à-dire de la pédogenèse ou l'ensemble des transformations et des déplacements des constituants minéraux organiques au cours du temps. durant toute l'histoire du sol, les transformations subies par les matériaux et les déplacements des constituants contribuent à la différenciation des horizons. chaque type de pédogenèse est à l'origine d'horizons bien particuliers que le pédologue appelle horizons diagnostiques, c'est-à-dire ayant des propriétés de référence destinées à qualifier le type de sol selon son évolution.



figure 14 - dépôts de loess superposés
ce ne sont pas des horizons différents d'un même sol mais deux matériaux loessiques éoliens superposés et déposés durant des phases successives du quaternaire récent (würm iii). briqueterie d'épouville, département de la seine-maritime, france.

auteur(s)/autrice(s) : clément mathieu
licence : [reproduit avec autorisation](#)

attention, surtout ne pas confondre une succession d'horizons d'un même sol avec la superposition de matériaux d'origine différente (sédimentaire, d'apports successifs) (figure 14).

3.4. la couverture pédologique

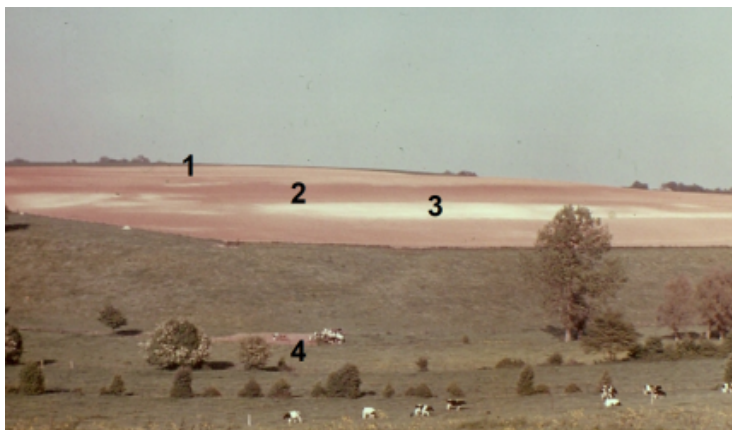


figure 15 - un exemple de toposéquence
pédopaysage en thiérache montrant une toposéquence avec limons des plateaux (1), argile à silex de décarbonatation (2), craie à silex du crétacé (3) et colluvions (4). marfontaine, département de l'aisne, france.

auteur(s)/autrice(s) : clément mathieu
licence : [reproduit avec autorisation](#)

la superposition des horizons forme un profil pédologique et l'ensemble des horizons distribués dans l'espace constitue la couverture pédologique (figure 2). toutes les structures pédologiques - organisations élémentaires, agrégats, horizons et couverture - constituent un système cohérent caractérisé par un type de dynamique évolutive sous l'influence de processus de pédogenèse qui peuvent être très anciens, tout particulièrement dans la zone intertropicale. sous climats tempérés, les processus de

pédogenèse à l'origine des sols actuels ne se sont développés que postérieurement à la dernière grande glaciation, soit il y a environ 10 000 ans. ces processus de pédogenèse, dont le façonnement des paysages (par l'érosion géologique), sont lents et font évoluer le sol sur des pas de temps très longs (figure 15).

l'organisation de la couverture pédologique est donc à quatre dimensions : trois spatiales et une temporelle.

4. les propriétés non visibles sur le terrain

des propriétés chimiques mais également physiques et biologiques échappent totalement aux facultés d'observation ou de mesure sur le terrain et requièrent des procédés d'analyse et de mesure en laboratoire.

la première propriété à évoquer, celle qui favorise ou au contraire entrave la disponibilité des éléments nutritifs, est l'acidité du sol. elle s'apprécie par la mesure de la concentration de la solution du sol en ions h^+ selon un protocole normalisé de laboratoire et elle s'exprime par le ph. les sols sont ainsi qualifiés de sols acides, de sols neutres ou de sols basiques ou encore alcalins.

le sol est un double réservoir d'eau et d'éléments nutritifs dont il faut pouvoir mesurer la capacité.

la propriété du sol de stocker de l'eau et de la mettre à disposition des plantes est appréhendée par l'appui conjugué de l'enquête de terrain et les mesures de laboratoire. la réserve utile pour la plante sera définie par la différence entre la capacité de rétention[1] et l'humidité au point de flétrissement[2]. ces « bornes » d'humidité sont mesurées au laboratoire.

le réservoir des éléments nutritifs est constitué par les colloïdes du sol essentiellement formés d'argiles et d'humus (appelé complexe argilo-humique) sous climats tempérés et d'argiles et d'oxyhydroxydes de fer et d'aluminium sous les climats tropicaux. ce réservoir est appelé la capacité d'échange cationique (cec). c'est la quantité totale de cations (ions chargés positivement) que le sol peut adsorber sur son complexe et échanger avec la solution du sol dans des conditions de ph bien définies. les méthodes de mesure utilisées donnent une vision assez réaliste de la capacité d'échange des éléments.

si les concentrations d'éléments essentiels aux végétaux comme l'azote (nitrate et ammonium), le calcium, le potassium, le magnésium et le phosphore mais aussi les oligo-éléments (mn, na, s, bo, cu, zn...) et d'éléments pouvant être toxiques (l'aluminium dans les sols très acides) ne peuvent être appréciés que par des mesures de laboratoire, même celles-ci ne vont toutefois fournir qu'une image imparfaite de la réalité nutritionnelle du sol.



figure 16 - l'humus
la couche superficielle de ce sol forestier (sol brun acide) doit sa couleur sombre à la présence d'humus. mais quelle est la quantité d'humus présent ainsi que sa qualité ? (ausignan, département des pyrénées orientales).

auteur(s)/autrice(s) : clément mathieu
licence : [reproduit avec autorisation](#)

la couleur sombre de l'horizon de surface nous renseigne sur la présence de la matière organique décomposée dans cet horizon (figure 16). mais il n'existe aucune méthode de terrain pour évaluer la quantité et la qualité de l'humus présent dans l'horizon. ici, encore le recours à l'analyse de laboratoire est indispensable pour mesurer cette propriété fondamentale du sol.

une autre propriété, le plus souvent indiscernable sur le terrain, est sa porosité, c'est-à-dire le rapport entre le volume de la phase solide et le volume des vides. ce sont les vides qui conditionnent la phase liquide et la phase gazeuse du sol : microvides qui retiennent la solution du sol indispensable à la nutrition de la plante, macrovides qui assurent le drainage du sol et son aération.

5. la diversité locale et mondiale des sols

5.1. dans un même espace climatique

dans une même région, dans une même parcelle, nous n'avons pratiquement jamais le même type de sol. prenons l'exemple le plus simple : celui de la parcelle. celle-ci n'est jamais rigoureusement horizontale et à supposer que le matériau parental soit le même pour toute la superficie, les faibles variations de pente engendrent des différences dans l'épaisseur des horizons de surface. on observe aussi très souvent des variations du régime hydrique ou de l'acidité ou de la teneur en calcaire, etc. les différentes propriétés du sol varient rapidement d'un point à l'autre de l'espace.

si cette parcelle s'étend sur un pédopaysage semblable à la figure 15, celle-ci

présentera des sols très variés, des sols acides aux sols calcaires.

dans les régions tempérées comme la France, avec un climat humide et frais (pluviométrie annuelle oscillant autour de 800 mm et une température moyenne autour de 12 °C), l'action de la pédogenèse est ménagée, c'est-à-dire ni trop intense, ni trop réduite. on observe une élimination lente et progressive des cations résultant de l'altération des silicates primaires ou de la dissolution du calcaire, d'où une tendance inéluctable à une acidification des sols. mais c'est encore le matériau parental qui est l'agent principal de la distribution des principaux sols :

- sur les roches acides (sables, grès, granite) où l'évolution acidifiante est favorisée dès le départ, nous aurons des sols bruns acides puis des sols podzolisés (figure 13).
- sur les roches calcaires, le phénomène majeur est la dissolution du CaCO_3 , mais celle-ci n'est pas suffisamment intense pour décarbonater complètement le sol. ceux-ci restent donc saturés et même calcaires. il s'agit de sols calcimagnésiques (rendzines, figure 18), sols bruns calcaires (figure 12)...
- sur toutes les autres roches (limons, schistes, argiles...) l'évolution par acidification suit son cours normal, inéluctable mais lent ; c'est le grand ensemble des sols bruns aux sols lessivés.

globalement, dans le contexte climatique assez homogène de la France métropolitaine, c'est le matériau parental qui par son rôle de frein ou d'accélérateur, règle le jeu de la pédogenèse, avec toutefois une limite en ce qui concerne les variations d'altitude. lorsque le climat devient plus froid et plus humide, en haute montagne, l'activité pédogénétique est nettement ralentie ; c'est alors qu'apparaissent des formations particulières propres aux régions froides et humides.

5.2. à l'échelle de la planète

la répartition mondiale des sols traduit l'influence majeure des climats sur la pédogenèse. nous illustrerons cette influence à partir d'un transect allant de l'équateur au pôle nord (figure 17) (Pédro, 1985).

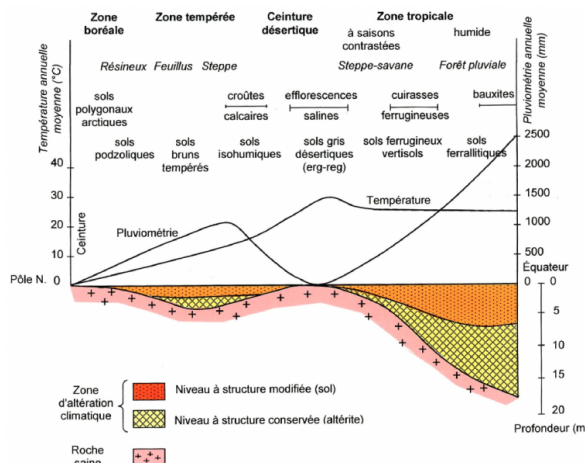


figure 17 - influence des facteurs climatiques sur la pédogenèse

auteur(s)/autrice(s) : Clément Mathieu, d'après Pédro, Cultivar, 1985, 184, page 80
licence : [reproduit avec autorisation](#)

selon le climat et l'âge de la couverture pédologique, on constate que la profondeur de l'altération est très différente : l'épaisseur des horizons à structure modifiée d'une part et celle des altérites d'autre part sont maximales en régions tropicales et équatoriales. cette épaisseur est nulle ou très réduite dans les déserts.

d'après le devenir du silicium et de l'aluminium libérés par l'hydrolyse des minéraux primaires des roches (quartz, feldspaths, micas...) sous des climats différents, on a pu ainsi distinguer quatre grands types d'altération.



figure 18 - sol lessivé très dégradé
développé dans un limon lœssique sous
futaie
pisseleux, le valois, département de
l'aisne

auteur(s)/autrice(s) : clément mathieu
licence : [reproduit avec autorisation](#)

tout d'abord, l'altération avec une hydrolyse partielle des minéraux, où l'élimination de la silice est faible. dans ce premier cas de figure, si le lessivage de tous les cations libérés par l'altération est moyen, avec suffisamment de silice, il y a formation d'argiles des types illite et vermiculite. c'est généralement le cas d'une pédogenèse des zones climatiques tempérées avec l'apparition des sols bruns et des sols lessivés (figure 18).



figure 19 - sol marron sur dalle calcaire épaisse en climat semi-aride méditerranéen
plaine du garet, maroc

auteur(s)/autrice(s) : clément mathieu
licence : [reproduit avec autorisation](#)

si le lessivage est quasi-nul avec une accumulation de tous les cations issus de l'altération, il y a alors néoformation d'argiles gonflantes (montmorillonite). ce type d'altération caractérise surtout les milieux où les pluies sont insuffisantes pour lessiver les éléments en profondeur ; nous sommes en zones semi-arides et arides de part et d'autre du sahara, en présence de sols isohumiques, de sols calcimorphes (figure 19) parfois salins.

le second type d'altération se caractérise par une hydrolyse importante de minéraux dans des milieux beaucoup plus lessivés. la quantité de silicium et de cations restant dans le sol est si faible qu'elle ne permet que la néoformation de l'argile kaolinite. il reste trop peu de silicium pour former d'autres types d'argile. ce type d'altération concerne les zones tropicales humides, les sols correspondants sont les sols ferrugineux tropicaux lessivés et certains sols ferrallitiques avec cuirasses ferrugineuses (figure 20).



figure 20 - cuirasse ferrugineuse en bordure d'un plateau tabulaire résiduel en climat tropical humide
région de kara, togo

auteur(s)/autrice(s) : clément mathieu
licence : [reproduit avec autorisation](#)

le troisième type d'altération est défini par une hydrolyse extrême des minéraux sous climat équatorial très humide et très chaud où le drainage des sols est maximum. tous les cations et une grande partie du silicium sont lessivés. il ne reste pas assez de

cations pour s'associer à la totalité de l'aluminium : à côté de la kaolinite, la gibbsite se forme. ce sont des zones à sols ferrallitiques très désaturés, des cuirasses ferrugineuses et des bauxites dans les cas ultimes de l'allitisation.

le dernier type d'altération qu'on appelle podzolisation est un processus de destruction des argiles dans des matériaux relativement pauvres en minéraux altérables et très filtrants. cette destruction est due à l'acidité et à l'activité complexante des humus mal décomposés (figure 13). le fer et l'aluminium complexés migrent en profondeur créant ainsi des horizons de surface de silice résiduelle. la podzolisation est surtout une caractéristique des régions froides et humides de l'hémisphère nord.

6. en conclusion

le sol qui est la base de la production alimentaire reste le grand oublié de l'environnement (ifen, 1998). utilisé par le passé comme un support de la culture ou comme matériau pour la construction des habitations ou encore comme simple filtre conditionnant la qualité de l'eau, le sol doit être enfin considéré comme un milieu vivant, complexe et fragile qu'il importe de préserver pour l'avenir, comme un patrimoine à ménager.

depuis de nombreuses années, des pressions de plus en plus fortes s'exercent sur lui. dans les pays industrialisés : surexploitation agricole, pollutions industrielles, épandages des boues... dans les pays du sud : érosion hydrique et éolienne, déforestation, perte de matière organique, salinisation...

la protection des ressources en sols contre toutes ces formes de dégradation doit être ressentie comme un objectif prioritaire par tous les pays du monde. pourtant l'absence d'une prise de conscience de l'importance et de la valeur du sol est très répandue dans l'opinion publique et chez ceux-là même qui l'utilisent et le gèrent directement. cependant, la nécessité de réaliser des études pédologiques afin d'utiliser au mieux le sol agricole, tout en le préservant des multiples sources de dégradation, est unanimement admise par la communauté scientifique.

aussi la poussée démographique mondiale et la montée des préoccupations alimentaires et environnementales d'une part, la limitation de la ressource en sols de notre planète et le déséquilibre croissant entre la vitesse de dégradation des sols et la vitesse de leur régénération d'autre part, incitent-elles à une révision profonde des attitudes humaines vis-à-vis des ressources naturelles de manière générale et des sols en particulier. et ce, sans négliger son intérêt en tant que matériau (construction, poterie), minéral (aluminium, fer, or...) et support (habitation, routes et canaux).

mais on peut s'interroger sur le paradoxe qui existe entre l'urgence reconnue de sauvegarder cette ressource essentielle qu'est le sol et l'oubli politique à responsabiliser les diverses communautés à la gestion durable de cette ressource en particulier.

7. références

- anonyme, 1998 « *déclaration de klingenthal iii concernant les sols* », fondation charles léopold mayer, paris.
- begon j.-c. et jamagne m., 1994 « *genèse, typologie et utilisation des sols* », techniques agricoles, 1110, (3-944), 1-24.
- boulaine j., 1989 « *histoire des pédologues et de la science des sols* », inra.
- ifen, 1998 « *le sol, un patrimoine à partager* », les données de l'environnement, n° 38.

- jamagne m., 2011 « *grands paysages pédologiques de france* », éditions quae.
- mathieu c., 1996 - "structures et programme de la normalisation" qualité des sols", étude et gestion des sols, 3, 2, 115-134
- mathieu c., 2009 « *les principaux sols du monde, voyage à travers l'épiderme vivant de la planète terre* », tec et doc, lavoisier.
- mathieu c. et lozet j., 2011 « *dictionnaire encyclopédique de science du sol* », tec et doc, lavoisier.
- pédro, 1985 « *les sols de france* » et « *les grandes tendances des sols mondiaux* », cultivar, 184, 74-81.
- robert m. et stengel p., 1999 « *sols et agriculture : ressources en sol, qualité et processus de dégradation* », cahiers d'agriculture, 8, 301-308.
- ruellan a. et dosso m., 1993 « *regards sur le sol* », foucher, aupelf.

CRÉDITS

AUTEUR(S)/AUTRICE(S)

[clément mathieu](#)

agronome et géologue de formation, professeur honoraire de science du sol et d'agronomie tropicale. ancien fonctionnaire principal de la fao, membre de l'académie des sciences d'outre-mer. clement.mathieu@club-internet.fr

MISE EN LIGNE

[pascal combemorel](#)

agréé de svt, il est le responsable éditorial du site planet-vie depuis septembre 2016.

LICENCE DU TEXTE DE L'ARTICLE



[creative commons - attribution](#)

notes

1

la capacité de rétention d'un sol est la quantité maximale d'eau que peut retenir un sol après ressuyage, c'est-à-dire une fois que l'eau excédentaire s'est écoulée par gravité.

2

le point de flétrissement caractérise la situation d'humidité d'un sol au moment où les plantes commencent à flétrir.