

C. Diversité des sols

(Naissance et évolution des sols, D. Baize, 2021

Le sol vivant, J.-M. Gobat et al, 2010

Diverses sources indiquées sur les diapositives)

Généralités

Les sols sont très divers, et ceci à différentes échelles d'observation. A l'échelle globale, selon les grandes zones climatiques, différents types de sols sont rencontrés. Il en va de même à l'échelle du paysage ou d'un versant. Cette diversité des sols résulte de leurs processus de formation (processus dits pédologiques) qui dépendent de plusieurs facteurs qui vont être développés ci-après.

La **pédogenèse**, représente l'ensemble des processus pédologiques (physiques, chimique et biologiques) qui, en interaction les uns avec les autres, aboutissent à la formation, la transformation ou la différenciation des sols. L'étude faite des constituants chimiques, physiques, biologiques, ainsi que des propriétés qu'ils confèrent au sol, permet de replacer tous ces éléments dans le contexte global du sol, et de lui ajouter la **notion de temps**.

La formation du sol est un phénomène multidimensionnel, contrôlé par une combinaison de **cinq facteurs écologiques**, qui vont vous être présentés dans la première partie de ce chapitre (C.1.). Dans un deuxième temps (C.2.), les **étapes de la pédogenèse** seront abordées avec les trois phases de la formation d'un sol, et principalement la formation d'horizons bien différenciés due aux différents **processus de pédogenèse**. Finalement, les différents **types de sols** rencontrés dans nos régions (climat tempéré) seront présentés (C.3.).

C.1. Les différents facteurs de pédogenèse

Plusieurs facteurs interviennent pour orienter les processus qui gouvernent la formation et l'évolution des sols. Le climat est l'un des plus importants, notamment au niveau global, mais d'autres facteurs ont une action qui, localement, peut devenir prépondérante : la géologie, la biologie, notamment l'influence de la végétation, la géomorphologie et la topographie, l'âge des sols et naturellement les actions humaines qui peuvent orienter fortement, sur des temps courts, l'évolution des sols, parfois dans un sens négatif d'ailleurs

Climat

Le climat correspond selon le contexte au macroclimat, au mésoclimat, voire au climat interne au sol que l'on nomme le pédoclimat. Le macroclimat est déterminant à l'échelle du globe, où l'on rencontre une zonation climatique qui va déterminer la zonation pédologique. Il est représenté d'une part par le climat général d'une partie du globe (ou d'une région), d'autre part par la végétation qui lui est étroitement liée, la formation végétale climatique souvent appelée biome. Ces deux facteurs combinés permettent de définir les grandes zones de végétation et de sol, suivant la latitude, et qui peuvent se définir et s'observer ensuite à plus petite échelle. A un niveau global, le temps de formation entre aussi en jeu. A l'échelle régionale, le macroclimat n'est que rarement déterminant, c'est le mésoclimat qui va intervenir. Finalement à l'échelle du sol lui-même, c'est le pédoclimat qui intègre par exemple le rôle de l'eau.

Le climat agit en fonction de deux paramètres, la température moyenne d'un part et les précipitations, qui traduisent l'humidité générale du climat. Ces deux paramètres agissent d'une manière directe en augmentant les réactions. En effet, les processus biologiques et d'altération, sont généralement favorisés par une augmentation de la température, pour autant que l'humidité

soit suffisante. Les précipitations agissent par une augmentation des transferts dans le sol, avec souvent comme conséquence une migration descendante de matières, par les processus de lessivage des argiles ou de lixiviation (perte de bases amenant à une acidification). Si la pluviométrie est nettement plus importante que l'évaporation, on aura donc un drainage, mouvement du haut vers le bas. Dans les climats arides (climat chaud et sec), l'eau va remonter par ascension capillaire puis s'évapore au contact de l'air. Elle entraînera avec elle des éléments dissous qui précipitent dans les couches supérieures du sol ou à sa surface.

Roche mère

La roche mère ou matériel parental est le dépôt géologique qui a donné naissance au sol. Cependant, une même roche mère peut donner naissance à plusieurs types de sols dans l'espace et dans le temps. C'est surtout à travers l'importance quantitative (en termes d'épaisseur, par exemple dans le cas de dépôts) et qualitative (selon la composition minéralogique) de ce matériau parental que ce facteur agit sur la diversité des sols. Il y a également l'aptitude à la fracturation qui va intervenir : les roches carbonatées vont présenter tous les degrés de fissurations possibles, alors que les roches cristallines vont être plus résistantes à la fracturation.

Relief - topographie

A climat et roche semblables, la pédogenèse peut être modifiée par la situation topographique du sol, par des éboulements, des glissements de terrain, du colluvionnement ou de l'érosion. La pente et le relief se combinent pour déterminer soit des apports, soit des pertes. En cas d'apports, le sol reçoit du matériel supplémentaire, encore minéral et non altéré comme au pied d'une falaise rocheuse, ou déjà évolué par une précédente pédogenèse. Dans le cas de pertes, le sol est rajeuni par l'érosion et le décapage de ses couches superficielles, surtout s'il est en position sommitale. Une nouvelle évolution commence alors à partir des couches sous-jacentes. Les paramètres à prendre en compte ici sont l'intensité, l'exposition et la forme des phénomènes qui peuvent ainsi se produire. Le relief va également influencer l'hydromorphie. Dans un bassin-versant, on peut observer toute une gamme de sols entre ceux des endroits secs et ceux des lieux humides en bas de versant ou dans les cuvettes, avec plusieurs intermédiaires possibles.

Activité biologique au sens large (y compris activités humaines)

La végétation, engendre une diversité de sols, par la production de biomasse, le type de litière et leur capacité de décomposition. La végétation a une importance quantitative, mais également qualitative (cf. chapitre dédié aux composants organiques avec des litières de type améliorante, acidifiante, ou mixte). Cette importance de la végétation est nettement prédominante par rapport à celle des autres organismes du sol, et va même dictée la présence de tel ou tel groupe de microorganismes par la libération de certaines substances par exemple. Mais ceci ne doit pas minimiser les rôles clés de l'ensemble de la biocénose du sol pour la pédogenèse, notamment les microorganismes, les champignons et toute la pédofaune.

Dans certains cas, les activités humaines accélèrent l'évolution des sols lors de plantations de monocultures de résineux par exemple. Au contraire, les activités agricoles peuvent ralentir la lixiviation du potassium par exemple, par recharge du complexe adsorbant, à l'aide d'engrais potassiques répandus de manière raisonnable sur un sol trop acide par exemple. Des actions mécaniques telles que le labour ou la compaction peuvent également influencer l'évolution des sols. Finalement, les déplacements de matériaux terreux lors d'une construction (après décapage) ou les réaménagements de sols urbains reconstitués sont également des actions modifiant les sols.

Temps

Le facteur temps peut être considéré en termes de degré d'évolution (cf. séquence d'évolution des sols jusqu'au climax). Ce facteur temps, nécessaire au déroulement complet d'un cycle d'évolution, peut être très variable. Il oscille entre un millénaire environ pour certains sols à développement rapide, c'est notamment le cas des sols rencontrés chez nous datant d'environ dix à douze mille ans (dernière période glaciaire), à plus d'un million d'années, voire plusieurs millions pour ceux qui évoluent lentement notamment dans les régions intertropicales.

Il est également nécessaire de faire la distinction entre âge du sol, en années, qui correspond au temps écoulé depuis le début de la pédogenèse jusqu'à aujourd'hui, et le degré d'évolution, qui se traduit par la transformation d'un type de sol à un autre, à travers une séquence de types de sols, et qui découle de différents processus pédologiques vu précédemment. La concordance entre ces deux concepts est assez rare. On peut avoir un sol jeune, mais dit évolué, et un sol vieux, mais qui n'a pas subi les processus pédologiques dit évolués.

La diversité et la répartition spatiale des sols ne dépendent généralement pas d'un seul facteur de pédogénèse, mais de l'interaction entre plusieurs facteurs, et de l'importance relative de chacun de ces facteurs qui varie selon les sols. Le climat est par exemple prédominant dans le cas des brunisols en climat tempéré par exemple. La roche devient prédominante, notamment dans le cas d'une roche-mère calcaire pour la formation des sols de type rendosols ou calcosols. La pente est d'une première importance s'il s'agit de sols d'érosion ou de sols hydromorphes. Et l'activité biologique est souvent peu prépondérante, sauf dans le cas des podzosols ou des sols anthropisés. Finalement, une séquence évolutive différente peut être possible pour un même climat et une même roche-mère.

C.2. Les étapes de formation et processus de pédogenèse

La formation des sols, de la roche brute à un système équilibré, se subdivise en trois phases (dia 18 du cours). A partir d'une roche-mère, des petites particules minérales apparaissent, les sables, limons et argiles, avec ou sans modifications minéralogiques ; c'est l'altération physique et chimique (phase 1). Les organismes du sol interviennent ensuite à travers les processus de transformation des matières organiques (processus de minéralisation et d'humifications ; phase 2), qui se poursuivent durant toute l'évolution du sol, tant que de nouveaux apports existent. Les matières organiques humifiées sont liées aux matières minérales fines au sein du complexe argilo-humique (formation de l'horizon A). Peu à peu, d'autres horizons vont se former et le sol s'organise ainsi en couches bien différenciées (phase 3). De manière classique (définie ici), l'apparition de ces horizons s'explique par des transferts de matières variés, au sein du solum (tranche verticale du sol décrit par un profil ; figure 1) ou latéralement. L'eau est le vecteur principal des matières. En climat tempéré, où les précipitations surpassent l'évaporation, les migrations descendantes dominent (c'est l'inverse en climat tropical sec). Les transferts latéraux dépendent des conditions locales, en particulier de la pente et de la perméabilité des roches sous-jacentes.

Transformations de matières et liaisons entre constitutants

La brunification (dias 19-20) est considérée comme le processus « climatique » dans les zones à climat tempéré. Il s'observe sur tous matériaux, bien drainés, non calcaires ou décarbonatés (ou en cours de décarbonatation), mais libérant en quantités suffisante de l'argile et des oxydes de fer libres ; sur matériaux contenant des carbonates, la phase de brunification suit souvent celle de décarbonatation. La brunification se caractérise par la formation d'un horizon S d'altération, coloré

en brun par les oxydes de fer liés à l'argile. Dans les agrégats, le fer ferrique joue un rôle de liaison entre la matière organique et les argiles (pour l'horizon A), et entre les argiles (pour l'horizon S).

Transferts de matières

Trois migrations descendantes sont dues à l'eau (dias 21-24) :

La lixiviation : elle représente la migration, aux dépens du sol ou de certaines parties du sol, des cations, des anions ou de petites molécules solubles. Elle a trois effets sur l'évolution du sol selon dans quel milieu on se trouve. En milieu non calcaire, elle désature le complexe adsorbant et l'acidifie par les mécanismes d'échange ; en milieu calcaire, elle entraîne les carbonates, après dissolution de la calcite ; fixé sur le complexe, le calcium résiste mieux mais il finit par être lui aussi évacué. La décalcification correspond à la lixiviation du calcium, souvent remplacé par des protons sur le complexe adsorbant.

Le lessivage : ce processus correspond à l'entraînement mécanique des particules fines du sol, principalement des argiles à l'état dispersé (argiles fines et hydroxydes de fer qui leur sont liés), par les eaux de gravité. Depuis les horizons supérieurs (horizons éluviaux E : appauvris et partiellement décolorés), ces particules fines sont entraînées vers les horizons profonds (horizon illuviaux BT : enrichis et donc plus colorés). Dans les sols riches en calcium, l'argile est floculée, ce qui empêche son lessivage. Mais dès qu'apparaît la décalcification, la liaison argile-humus s'affaiblit, provoquant l'entraînement mécanique de certaines argiles très fines. Si la décalcification continue, accompagnée d'une forte baisse du taux de saturation et du pH, le lessivage des argiles s'intensifie et se traduit par la formation des horizons éluvial E et illuvial BT.

La chéluviation ou podzolisation : les feuillettes d'argile éclatent et libérant l'aluminium et le fer qui se fixent à ces molécules organiques complexantes, notamment les acides fulviques. Les chélates ainsi formés sont entraînés en profondeur. Morphologiquement, la chéluviation se marque par les horizons éluvial E (horizons appauvris) et illuviaux BPh (précipitation des molécules organiques après rupture des chélates) et BPs (précipitation des sesquioxydes – oxydes métalliques - de fer et d'aluminium horizons d'accumulation). Ce processus est à la base de la formation des PODZOSOLS, sous végétation à litière acidifiante (forme d'humus de type mor).

Trois types de migrations ascendantes où l'eau est le vecteur principal ont été reconnus (dia 21) :

Les remontées par évaporation : en climat chaud et sec, l'eau remonte par ascension capillaire puis s'évapore au contact de l'air. Elle entraîne avec elle des éléments dissous, qui précipitent dans les couches supérieures du sol ou à sa surface au moment de la vaporisation. C'est le cas du fer (colorant le sol en rouge) et de l'aluminium en régions tropicales, ou du sodium, qui peut former des efflorescences blanches à la surface des sols à forte évaporation (croule saline, cf. photos).

Les remontées par fluctuation d'une nappe phréatique (et/ou ascension capillaire) : en conditions d'hydromorphie, le fer est généralement à l'état peu soluble (FeCO_3) dans la partie du sol saturée d'eau en permanence (horizon Gr). Dans une première phase, les précipitations atmosphériques arrivant au sol traversent la zone d'enracinement, où elles se chargent de CO_2 ; au contact de la nappe, elles solubilisent le fer sous forme de $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. Dans un deuxième temps, l'ascension capillaire amène l'eau phréatique, contenant le fer dissous, à proximité de la surface, où elle se mélange avec l'eau de pluie, plus riche en oxygène. L'augmentation du potentiel redox qui en résulte provoque la précipitation du fer sous forme $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ou son oxydation biologique par des bactéries du type *Gallionella ferruginea*. Si l'assèchement est intense, la précipitation a lieu sous forme de Fe_2O_3 (horizon Go).

Les remontées par le cycle biologique : les plantes vasculaires, en particulier les arbres, sont capables de contrebalancer les migrations descendantes, maintenant ainsi le sol à un certain degré d'évolution. Pour se nourrir, elles pompent les bioéléments par leurs racines (mobilisation racinaire) et les amènent dans les feuilles ; ces bioéléments retournent ensuite à la surface du sol par chute de litière.

Finalement, la bioturbation où le mouvement des matières est dû aux déplacements des organismes vivants (dia 25). Les animaux du sol, en particulier les vers de terre anéciques, les fourmis et les termites, sont capables de forts brassages. L'eau, les sols minéraux et des composés organiques sont également déplacés par le mycélium des champignons.

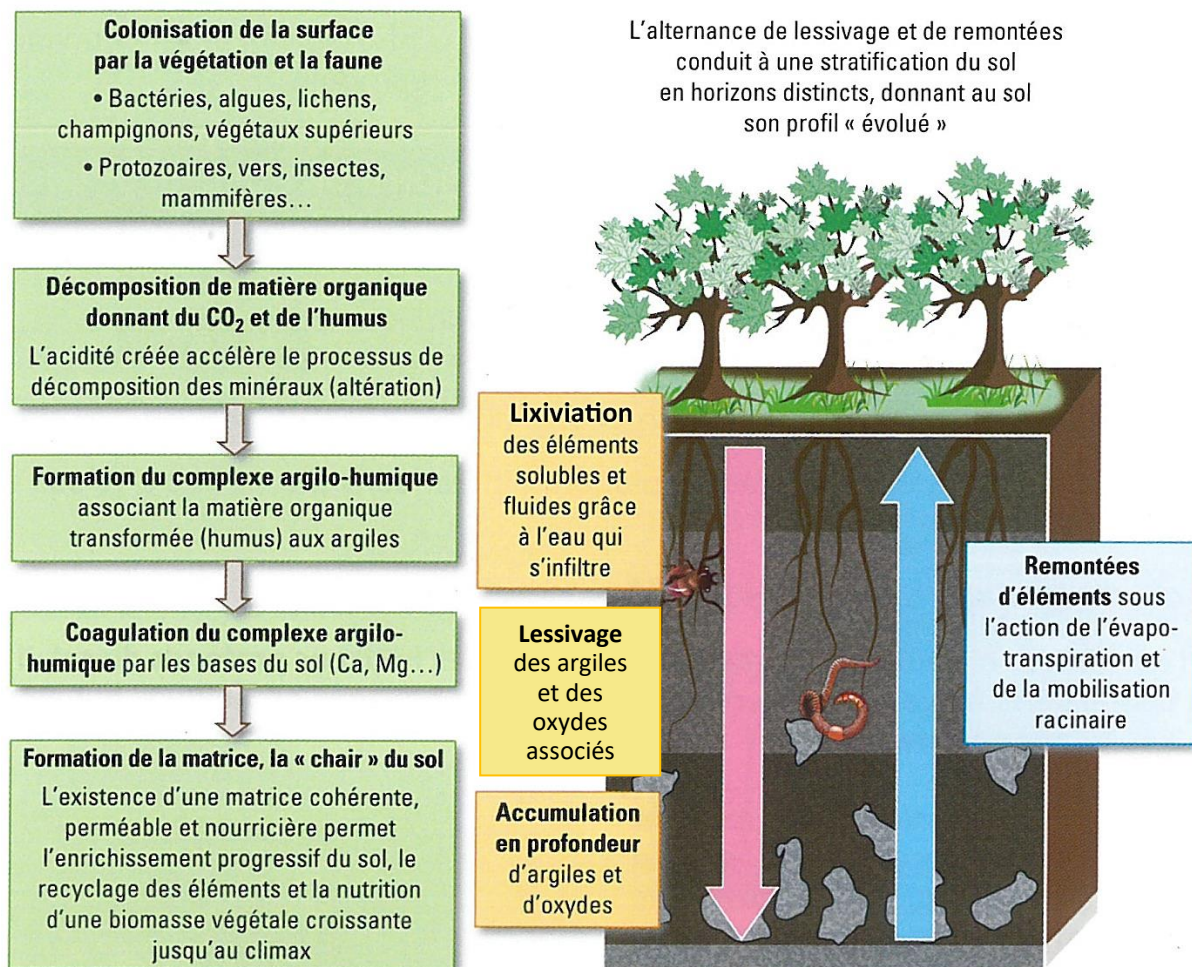


Figure 1 : Exemples de processus pédologiques qui permettent la formation des horizons distincts dans naissance au sol (image web adaptée)