les sols et leur formation sous climats tempérés

publié le 21.04.20 |par denis baize

les sols se forment suite à l'altération, notamment par l'eau et les êtres vivants, de matériaux parentaux de natures variées. après avoir défini ce que sont les sols et les principaux éléments qui les caractérisent, cet article présente les principaux facteurs qui influencent leur formation.

1. qu’est-ce que la pédogenèse ?

la pédogenèse correspond à la formation puis à l’évolution d’un sol au cours du temps, à partir d’un matériau parental ou, parfois, de plusieurs matériaux parentaux superposés.

quant aux processus pédogénétiques, ce sont tous les phénomènes, naturels ou liés aux actions humaines, d’altérations, néogenèses, transferts, remaniements, concourant à la formation et à l’évolution des sols (voir ci-après).

pour étudier la pédogenèse, observer correctement les différents horizons et pouvoir réaliser des prélèvements afin d’effectuer des analyses, il faut creuser des fosses[1]. ces observations doivent être complétées par l’interprétation de toute une série d’analyses bien choisies, confiées à des laboratoires compétents.

aujourd’hui, en observant un sol dans une fosse pédologique, nous constatons le résultat de la somme des fonctionnements journaliers, mensuels et annuels sur 1 000, 10 000, 100 000 ou 1 000 000 d’années. sur des périodes aussi longues, il peut y avoir eu des changements climatiques et des phases d’érosion ou de nouveaux dépôts. les sols ont donc souvent une structure complexe.

2. le sol ne se réduit pas à la couche de surface, labourée ou non, riche en matières organiques

pour le pédologue c’est évident (car cette couche est seulement une partie du sol). pour l’agronome ce devrait l’être aussi ! en effet, sauf si des obstacles existent, l’enracinement des plantes annuelles est bien plus profond. par exemple, le blé peut, en cas de sécheresse, s’enraciner jusqu’à 1,50 m de profondeur pour trouver de l’eau. l’enracinement des plantes pérennes (vignes, arbres fruitiers, essences forestières) intéresse généralement toutes les couches du sol, y compris les matériaux sous-jacents, parfois sur plusieurs mètres d’épaisseur. l’enracinement joue sur la biomasse produite, aussi bien sur la qualité (« terroirs ») que sur la quantité.

les autres couches non situées en surface jouent également un rôle important : pour les

réserves en eau disponibles pour les plantes ; en ce qui concerne la facilité ou la difficulté de ressuyage[2] spontané des eaux de pluies ; pour filtrer ces eaux avant qu'elles n'atteignent les nappes phréatiques profondes ; comme réservoir en calcium et autres éléments minéraux (majeurs, oligoéléments) ; laissant accès ou non à l'enracinement des plantes pérennes (arbustes, arbres) selon la structure, la compacité…

3. en quoi un sol diffère-t-il d'une roche ?

pour passer d'une roche (au sens large) à un sol, trois séries de transformations interviennent :

- des transformations chimiques de certains minéraux : les altérations
  - exemple 1 : la disparition relativement rapide des micas noirs des granites, et leur transformation en minéraux argileux ;
  - exemple 2 : la dissolution progressive de la calcite dans les sols et les sédiments calcaires, etc.
- l'apparition de nouvelles espèces minérales : des néogenèses ou néoformations.
  - exemple 1 : la formation de silicates en feuillets (les minéraux argileux),
  - exemple 2 : la formation d'oxydes de fer, non présents initialement dans la roche,
- l'installation et l'action d'organismes vivants grâce à l'abondance relative du dioxygène : bactéries, champignons, micro-arthropodes, vers de terre, racines des plantes, etc.

il en résulte une organisation spécifique, une structure pédologique qui, le plus souvent (mais pas toujours) se traduit par l'apparition d'agrégats.

4. biologie et pédologie : deux mondes différents, des concepts distincts

dans ses débuts, la science que nous appelons aujourd'hui pédologie a été très influencée par les concepts et le vocabulaire de la biologie. les premières classifications de sols ont été inspirées de la classification linnéenne et étaient très lourdement hiérarchisées et basées, au moins implicitement, sur l'idée de l'existence d'individus-sols, idée réfutée aujourd'hui. ainsi on a pu parler de « la génétique des sols » (titre d'un ouvrage d'albert demolon, publié en 1949).

dans le tableau ci-dessous, nous avons mis face à face, sur deux colonnes, un certain nombre de concepts classiques de la biologie et de la pédologie. certains des concepts majeurs de la biologie n'ont *aucun équivalent* en pédologie ! les autres n'ont que des équivalents approximatifs signalés par un astérisque *.

biologie et pédologie, deux domaines d'études différents aux concepts distincts.

biologie	pédologie
gène, adn, génotype	aucun équivalent
caractère	caractère
phénotype	morphologie*
individu	aucun équivalent
parent	roche-mère*, matériau parental*
espèce	type*
reproduction	aucun équivalent
hérédité, génétique	héritage*
phylogénie, évolution	pédogenèse*, évolution*
phylum, lignée évolutive	phylum évolutif*

sols et foncier

un sol est étroitement localisé et ne peut pas se déplacer (à la différence de l'air, de l'eau, des animaux sauvages…). chaque sol doit donc être défini par ses coordonnées géographiques. à la différence de l'air et de l'eau, il a généralement un propriétaire et, souvent, un exploitant distinct du propriétaire. mais c'est également un bien commun qui rend aux sociétés humaines des services écosystémiques irremplaçables. on peut donc s'attendre à des conflits entre intérêts privés individuels et intérêts collectifs…

5. la notion d'horizon

la notion d'« horizon » est un concept clé pour les pédologues, mais ce mot n'a pas la même signification que quand il est employé par les géologues, pour lesquels un horizon est un niveau mince que l'on peut distinguer au sein d'une série sédimentaire.

Profondeur (cm)	CRITÈRES DE TERRAIN					AU LABORATOIRE	
	Matières organiques	Texture	Structure	Revêtements argileux rougeâtres	Autres traits	pH eau	Teneurs en argiles (%)
10	abondantes	limono-argileux	grumeleuse	non		5,0	18 - 25
60	un peu	limono-argileux	polyédrique sub-anguleuse faiblement exprimée	non		4,8	25 - 30
80	très peu			oui	volumes plus clairs	5,2	30 - 40
130	très peu	argileux	polyédrique anguleuse fine très nette	très nombreux	films noirs nombreux	5,2	45 - 55
160	très peu	argileux	idem à sur-structure prismatique	très nombreux	films noirs nombreux	5,5	50 - 60
180	très peu	argileux lourd	polyédrique anguleuse fine			7,4	60 - 70

Roche sous-jacente : dalle calcaire

figure 1 - la distinction d’horizons au sein d’un sol repose sur des traits morphologiques observés sur le terrain
l’exemple du sol de la forêt de lichères (yonne) est un cas assez complexe relatif à un sol très épais (1,80 m). grâce à quelques critères déterminants, on distingue six horizons (remarque : dans beaucoup de sols, les pédologues ne distinguent que 2 ou 3 horizons). ce sol est granulométriquement différencié, non calcaire et développé dans les argiles de décarbonatation de calcaires jurassiques.

auteur(s)/autrice(s) : denis baize licence : cc-by-nc-nd

pour les pédologues, les horizons sont les couches superposées d’un sol qui ont des propriétés différentes les unes des autres (figure 2). en effet, les sols montrent en général des différenciations selon un axe vertical. vus en coupe, les horizons apparaissent le plus souvent comme des couches horizontales plus ou moins épaisses. mais parfois leur aspect, vu dans une tranchée verticale, est beaucoup plus complexe (figure 3).

on peut distinguer un horizon dès qu’un caractère jugé important varie nettement. ce découpage doit être raisonné, s’appuyant sur des traits morphologiques observés sur le terrain (couleurs, texture, structure). les limites ne sont pas toujours très nettes.

figure 2 - les sols peuvent présenter un aspect complexe sol issu d'alluvions anciennes de l'yonne à appoigny. les horizons argileux rougeâtres pénètrent de façon irrégulière dans la « grève » alluviale calcaire (décarbonatation). les traces blanches, verticales et équidistantes, correspondent aux marques laissées par un engin mécanique à dents sur le front de taille.

auteur(s)/autrice(s) : denis baize licence : cc-by-nc-nd

dans tous les cas, les horizons sont des volumes, qui paraissent macroscopiquement homogènes ; ce sont des sous-ensembles de la couverture pédologique[3] étudiée. comme leur épaisseur se compte en centimètres, ils sont directement perceptibles à l'œil nu, dans une fosse pédologique. l'horizon est le niveau d'investigation le plus commode pour décrire, échantillonner et définir les sols.

les horizons sont l'objet d'une typologie en fonction de leur aspect, de leurs fonctionnements et de l'interprétation pédogénétique que les pédologues en donnent. à cette typologie sont associés des codes : horizons h, o, a, e, – g, s, bt…

6. épaisseurs des sols

il n'est pas toujours facile de savoir où s'arrête le sol en profondeur et où commence le matériau parental plus ou moins altéré (figure 4). sous les climats européens on peut dire que les sols « jeunes » présentent une épaisseur comprise entre 10/15 cm et 2 m (figures 5 et 6). mais les très vieux sols peuvent atteindre des épaisseurs de 10 à 20 mètres (sols des cailloutis rhodaniens).

figure 3 - la limite entre sol et roche n’est pas toujours facile à distinguer
sol développé dans une argile toarcienne feuilletée (pouilly-en-auxois). le débit en plaquettes du matériau parental est conservé jusqu’à une faible profondeur. le sol, en tant qu’objet structuré en agrégats, est en réalité peu épais (35 à 40 cm).

auteur(s)/autrice(s) : denis baize licence : cc-by-nc-nd

figure 4 - sol alpin mince
sol mince, très humifère, sur calcaire dur. alpes italiennes.

auteur(s)/autrice(s) : denis baize licence : cc-by-nc-nd

figure 5 - sol profond développé dans un lœss
le sol fait ici environ 1,60 m d'épaisseur. noter la structure prismatique grossière en profondeur. le lœss intact, de couleur jaune, est visible sur les 40 derniers centimètres.

auteur(s)/autrice(s) : j. roque licence : reproduit avec autorisation

sous climats équatoriaux ou intertropicaux humides d'afrique ou du brésil, on peut considérer que les sols, vieux de plusieurs millions d'années, peuvent atteindre des épaisseurs comprises entre 10 et 25 m.

7. les couleurs des sols

depuis l'antiquité, les « terres » ont été caractérisées et nommées par leur couleur, le plus souvent par la couleur de leurs horizons de surface, observables en absence de végétation.

mais la couleur de l'horizon de surface ne peut pas fournir une description suffisante de données essentielles (telles que la texture, la structure, la profondeur, la différenciation d'horizons) ni de caractéristiques chimiques en rapport avec la fertilité potentielle, ni de caractères fonctionnels comme le régime hydrique.

les couleurs sont cependant des éléments essentiels à prendre en compte lors de la description des sols. elles guident le pédologue pour distinguer les différents horizons avant de commencer la description systématique qui s'opère horizon par horizon. la couleur n'est pas un caractère trompeur : chaque modification est significative d'un changement dans les proportions d'un ou plusieurs constituants, ou bien d'un changement de leur état (cas du fer).

les quatre principaux agents colorants des sols sont :

- le fer, par ses oxydes (au sens large) : colorations rouges, orangées, violacées, rouille ou brunes en milieux aérés, bleuâtres ou verdâtres en milieu réducteur ;

- les matières organiques qui superposent des colorations noires, grises ou brunes ;
- le manganèse dont les divers oxydes, plus ou moins associés au fer, se concentrent dans certains horizons de sols où se produisent des engorgements intenses mais temporaires. se forment alors des nodules, des enduits, des revêtements, de couleur noire ;
- et le calcaire qui donne une coloration blanche.

en l'absence de calcaire, les couleurs très claires, surtout nettes quand le sol est sec, sont l'indice d'horizons peu humifères et très pauvres en fer. il peut s'agir d'une teinte initiale ou du résultat d'une décoloration par un phénomène pédologique. dans tous les cas, c'est la couleur des minéraux résiduels qui s'impose, principalement celle du quartz.

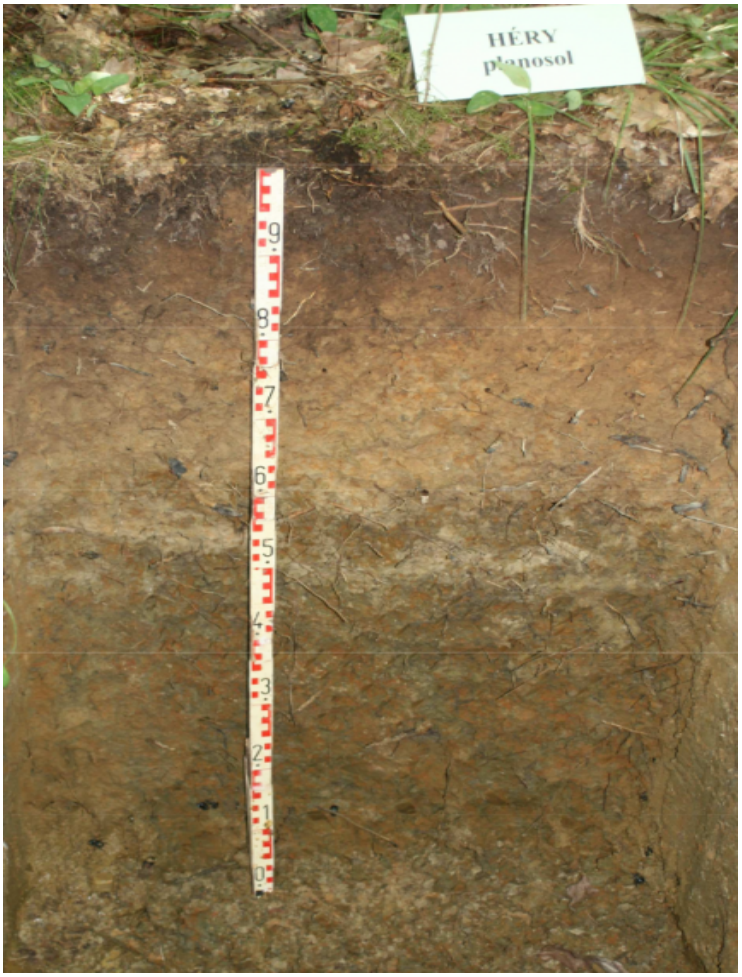

figure 6 - sol glauconieux vert
sol très acide, sableux dans ses horizons de surface, développé à partir d'une argile sableuse verte, elle-même résultant de l'altération des « sables verts » glauconieux de l'albien. héry (yonne). noter les volumes blancs visibles à la partie supérieure des horizons argilo-sableux verts. ces volumes ont perdu la totalité de leurs particules argileuses par un processus pédogénétique.

auteur(s)/autrice(s) : denis baize
licence : cc-by-nc-nd

un certain nombre de sols présentent cependant une couleur directement héritée du matériau dont ils sont issus. citons les sols roses développés à partir du grès rose des vosges ou les sols verts issus de l'altération de grains de glauconie (figure 7). pour les autres, au contraire, la couleur des différents horizons est due aux constituants qui se sont individualisés, accumulés ou concentrés au cours de la pédogenèse (argiles, fer, calcaire, matières organiques).

8. les six facteurs de la pédogenèse

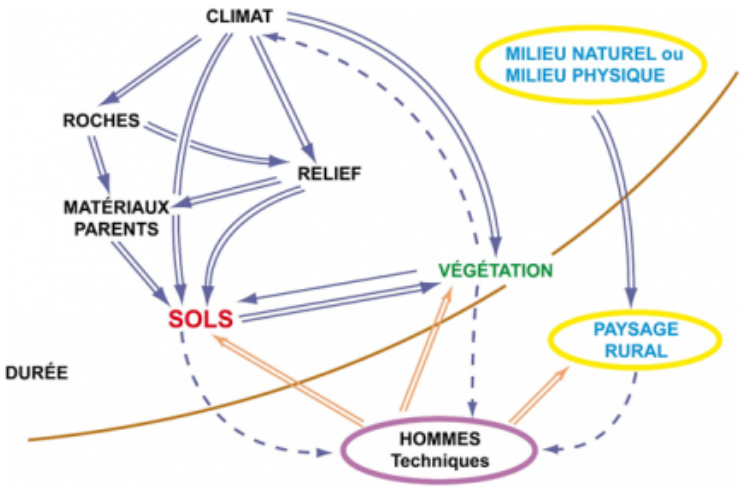

figure 7 - schéma simplifié des relations entre les sols et les différents facteurs de pédogenèse
la ligne brune sépare les phénomènes qui caractérisent le « milieu naturel » et tout ce qui a trait aux actions humaines aboutissant à la création du « paysage rural ».

auteur(s)/autrice(s) : denis baize
licence : cc-by-nc-nd

la figure 8 présente les différents facteurs de la pédogenèse mais également leurs interrelations. en effet, par exemple, l'existence des matériaux parents dépend étroitement de la combinaison de la nature des roches et de la position dans le relief ; les sols ont un impact important sur la végétation mais cette dernière a, en retour, une influence sur les sols via la forme d'humus. dernier exemple : s'il est évident que le climat détermine fortement la végétation, celle-ci, en retour, a une influence sur le climat local (mésoclimat plus frais et humide dans une zone forestière).

qu'est-ce que l'humus ?

attention au mot « humus », terme ambigu aux significations variées. le comifer en a donné cette définition : « ensemble des constituants organiques du sol qui n'ont plus d'organisation biologique (végétale, animale, bactérienne) identifiable et qui sont issus de l'évolution biochimique lente des diverses matières organiques des sols ». pour ce sens restreint, les scientifiques préfèrent désormais la formule « matières organiques des sols ».

attention aux autres acceptions de ce mot :

- dans le langage courant, l'humus est la « terre noirâtre formée par la décomposition des végétaux » (*petit robert*) ;
- en pédologie, il désignait fautivement l'ensemble des horizons de surface holorganiques et organominéraux comportant beaucoup de matières organiques. on préférera désormais le terme d'« épisolum humifère ».

8.1. nature et état des matériaux parentaux

les matériaux sous-jacents sont les roches ou les formations superficielles peu ou non altérées, effectivement observées sous le sol, au fond d'une fosse pédologique.

si ce « matériau sous-jacent » est bien celui qui a donné naissance au sol (et cela ne sera avéré qu'après une étude un peu détaillée) on doit l'appeler matériau parental[4] du sol.

les matériaux parentaux peuvent être des roches : granites, gneiss, basaltes, marnes, craies, grès, argilites, etc. ou, pour certaines, leurs altérites[5]. mais les matériaux parentaux sont aussi toutes sortes de formations superficielles qui sont très souvent les véritables matériaux dans lesquels les sols se sont développés :

- les alluvions (caillouteuses ou fines) et les colluvions (fines) ;

- les lœss et les formations lœssoïdes (formations calcaires redistribuées au cours du quaternaire), les limons des terrasses de la garonne ou des gaves pyrénéens ;
- les moraines ;
- les formations de pentes grossières (éboulis, « grèzes », « graveluches »), mais aussi les formations de pente fines ou à composantes fines importantes (formations gélifluées à blocs, formations argilo-caillouteuses de versants) ;
- les paléosols et paléosols cryoturbés ;
- les argiles résiduelles de décarbonatation de roches calcaires dures (argiles à chailles, « terres d'aubues » de basse bourgogne, « limons de l'auxois ») ou de roches calcaires tendres (argiles à silex).

beaucoup de ces formations sont volontairement négligées ou mal signalées par les cartes géologiques (surtout les plus anciennes qui ne présentent qu'un « écorché » et privilégient les roches intactes et situées plus en profondeur).

sous nos climats tempérés, le matériau parental détermine de façon très stricte la plupart des propriétés du futur sol ; l'influence du climat et de la végétation reste longtemps très limitée. les caractéristiques importantes du matériau parental, qui influenceront la composition et la structure du sol, sont :

- sa granulométrie (cailloutis, argile lourde, sédiment sableux, limon éolien) ;
- la granulométrie du résidu de décarbonatation dans le cas des matériaux parentaux carbonatés ;
- le caractère plus ou moins altérable des minéraux primaires (par exemple le quartz est inaltérable tandis que la biotite est rapidement altérable) ;
- la nature minéralogique des minéraux argileux hérités ou néoformés (kaolinite, smectites) ;
- la nature pétrographique du matériau parental et les caractéristiques physico-chimiques qui en découlent. par exemple, les sols de craie héritent d'une composition extrêmement calcaire qui perdure très longtemps ;
- sa géochimie fine : les sols développés à partir de « roches vertes », très riches en chrome et nickel, sont eux-mêmes très riches en ces deux métaux.

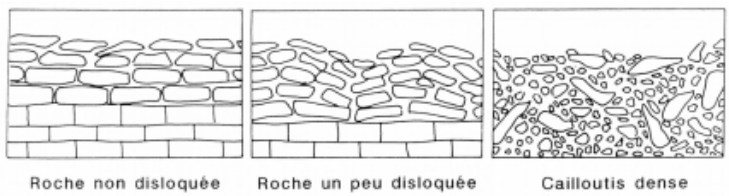

figure 8 - trois états possibles d'un même calcaire dur (vus en coupe)

auteur(s)/autrice(s) : denis baize
licence : cc-by-nc-nd

en ce qui concerne le rôle de l'état d'un matériau sous-jacent, nous prendrons l'exemple des calcaires durs. il est clair que les différents états de dislocation d'une même roche dure (figure 9) ont une influence majeure sur les capacités d'enracinement des plantes pérennes comme les arbres forestiers ou la vigne. il en va de même en ce qui concerne les plantes annuelles (blé, colza) qui peuvent trouver un peu (ou beaucoup) de terre interstitielle entre les pierres, terre susceptible de fournir un peu d'eau en période sèche. ainsi, une végétation pourra s'installer plus facilement sur un cailloutis dense que sur une roche non disloquée, et le sol s'y formera plus vite.

8.2. microclimat et pédoclimat

le climat général (grandes zones climatiques du globe) est plus ou moins modifié par les conditions locales où chaque sol se situe (relief, position topographique, exposition) : c'est le microclimat. ce dernier est modifié par certaines propriétés intrinsèques du sol lui-même (par exemple sa couleur de surface, la présence de niveaux imperméables générant un engorgement durable). on peut ainsi définir le climat interne du sol ou « pédoclimat ».

les conditions pédoclimatiques régnant dans le lointain passé ont régi les processus pédogénétiques les plus anciens. elles sont généralement très différentes des conditions actuelles qui régissent le fonctionnement présent des sols. ainsi, certains sols présentent aujourd'hui des teintes rouges qui correspondent à des climats beaucoup plus chauds et secs que l'actuel.

8.2.1. précipitations

on définit le flux potentiellement percolant comme le flux d'entrée moins le flux évapotranspiré. en climat tempéré, le flux potentiellement percolant est positif car les précipitations sont très supérieures à l'évapotranspiration. plus ces flux d'eau sont importants et plus il y a de transferts de matières (solutions, particules argileuses), verticaux ou latéraux.

le flux potentiellement percolant est plus ou moins modifié selon la position topographique. par exemple, les bas de versants sont susceptibles de recevoir des eaux de ruissellement venant de plus haut.

la neige joue un rôle particulier :

- elle occasionne un retard à l'écoulement (la précipitation va s'écouler bien après sa chute) et elle provoque l'engorgement du sol par l'eau au moment de sa fonte ;
- elle constitue un manteau isolant protégeant le sol du gel à condition d'être tombée avant la baisse de la température.

8.2.2. température moyenne annuelle et températures saisonnières

plus la température est élevée, plus les réactions chimiques et biochimiques sont rapides (altération des minéraux primaires, activité biologique, minéralisation des matières organiques) ; en revanche ce sont les eaux froides qui dissolvent le mieux le calcaire.

inversement le gel prolongé ou permanent a des effets mécaniques (désagrégation, cryoturbation) mais ralentit ou stoppe toute activité biologique et toutes les altérations.

8.3. position dans le relief

le fonctionnement du sol (donc, à long terme, son évolution générale) dépend de sa position dans le relief. c'est le cas, notamment, de l'orientation plutôt verticale ou plutôt latérale des flux d'eau et de matières déplacées. la forme des versants est dépendante de la nature plus ou moins dure et de la succession des roches sous-jacentes. en conséquence, des sols différents se succèdent sur ces versants en fonction uniquement de leur position (toposéquence de sols ou chaîne de sols) ou également en

fonction de la variation des roches (topolithoséquence de sols).

8.3.1. en positions de plateaux

sur les plateaux, la dynamique de l'eau et des transferts est plutôt verticale. il y a donc peu ou pas d'érosion. cependant, rares sont les plateaux qui ne présentent pas du tout de relief. il n'y a pas besoin de beaucoup de pente pour qu'il puisse se développer ruissellement et érosion quand les horizons de surface sont à structure très instable et donc très sensibles à la battance[6] et à l'érosion hydrique. c'est par exemple le cas des plateaux du bassin versant du petit morin en seine-et-marne ou de ceux du pays de caux.

8.3.2. haut et milieu de versants

en haut de versants, il y a pertes d'eau et de matières dissoutes ou en suspension sans compensation. la tendance est à des sols secs et minces (car érodés). au milieu des versants, les pertes d'eau et de matières dissoutes vers le bas sont compensées par des apports depuis le haut, d'où un bilan équilibré.

les expositions sud (adrets) sont chaudes et plus sèches (la végétation y est plutôt thermophile, voire xérophile) ; les expositions nord (ubacs) sont plutôt froides.

8.3.3. bas de versants et fonds de vallons

en bas de versants et fonds de vallons, les flux d'eaux sont très supérieurs aux précipitations, ce qui génère des engorgements plus ou moins prolongés voire permanents ou quasi permanents (tourbières). il y a également accumulations de matières solides déplacées (colluvions) et formation ou présence de matériaux parentaux spécifiques (alluvions fluviatiles, alluvions lacustres). dans ces situations, on observe donc généralement des sols épais, voire surépaissis (colluviaux).

les bas de versants et fonds de vallons correspondent à des zones d'accumulations de produits dissous plus haut sur le versant qui précipitent (oxydes de fer et de manganèse, bicarbonates de calcium sous forme de calcaire) ou se fixent sur le complexe adsorbant (sols saturés en calcium).

la valeur de la pente d'un terrain, combinée à son exposition[7], déterminent la plus ou moins grande quantité de rayonnement solaire apportée au sol et à la végétation. c'est pour cette raison que les vignobles les plus réputés, tels le vignoble barséquanais de champagne ou celui de chablis, privilégient les expositions sud-est et sud et les pentes assez fortes ou fortes. c'est dans ces conditions que le rayonnement solaire est maximum car parvenant perpendiculairement au terrain.

8.4. végétation et activité biologique (au sens large)

la microflore pionnière est constituée de bactéries, d'algues, d'hyphes de champignons ou de lichens. grâce à son adhérence aux surfaces des roches et des minéraux, et à des biofilms bactériens, elle initie les premières altérations dont les figures sont visibles au microscope électronique (robert et coll., 1983). la pénétration des hyphes a comme premier effet une désagrégation ou une microdivision des minéraux, par exemple en se développant entre les paquets de feuillets des micas. les phénomènes de dissolution apparaissent ensuite, localisés à des microsites au contact entre les êtres vivants et les minéraux (figure 10).

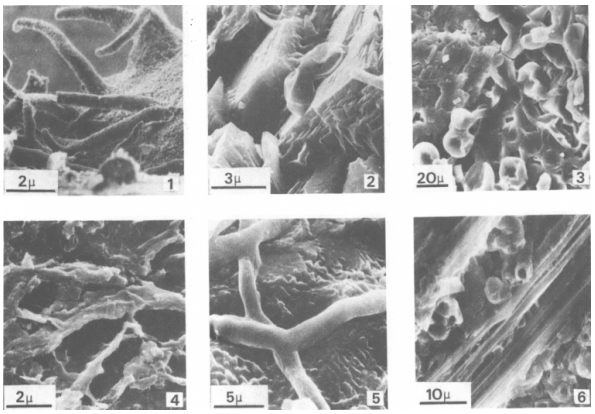

figure 9 - interactions entre êtres vivants et minéraux
1 : *umbilicaria cylindrica* (lichen foliacé) sur mica. 2 : algues à l'intérieur d'une quartzite. 3 : colonie d'algues sur plagioclase altéré. 4 : hyphes de champignons. 5 : hyphes de *rhizocarpon* sur feldspath. 6 : pénétration de *rhizocarpon* dans des micas.

auteur(s)/autrice(s) : robert et coll.,1983 licence : cc-by-nc-nd source : sciences géologiques, bulletins et mémoires

l'altération du matériau parental se fait également sous l'action des racines. en effet, dans la rhizosphère (volume de sol directement sous l'influence des exsudats et des bactéries et ectomycorhizes associées), des acides organiques et le co_2 dégagés sont susceptibles d'altérer certains minéraux et de dissoudre le calcaire.

la faune (micro, méso et macrofaune) est également adaptée à la nature du sol. elle joue elle aussi un rôle majeur dans la formation du sol :

- par la décomposition des débris végétaux en petites molécules ;
- par l'absorption des nutriments (p, k, ca, mg), ou d'éléments en traces potentiellement polluants au niveau des racines ;
- par la formation des agrégats à structure grumeleuse de certains horizons de surface humifères par la réorganisation des turricules de lombrics.

en retour, le sol a une influence importante sur les êtres vivants qu'il héberge. en particulier, la végétation naturelle spontanée est étroitement dépendante de certaines propriétés de ce sol : acidité, engorgements, sécheresse relative, richesse en calcium échangeable, en azote, en calcaire fin dit « actif ». c'est pourquoi l'on observe, en fonction de la nature du sol, des espèces et associations végétales dites acidiphiles, hygrophiles, xérophiles, calcicoles, nitrophiles, calcaricoles ou calcarotolérantes.

les parties aériennes des plantes qui retombent à la surface du sol peuvent être « acidifiantes » ou riches en azote (dites « améliorantes »). au bout d'un certain temps (siècles, millénaires) un équilibre se crée entre le sol, la végétation spontanée et le climat.

le cycle biogéochimique naturel (sols-plantes-sols)

des éléments présents dissouts dans la solution du sol, indispensables au développement des plantes (tels le phosphore, le potassium, le calcium, les oligoéléments) ou inutiles voire potentiellement toxiques (comme les éléments en traces), sont absorbés par les racines des végétaux, et ce dans tous les horizons effectivement prospectés par lesdites racines.

une fois absorbés par les plantes, ces éléments sont transférés dans leurs différents organes (tiges, feuilles, fruits, graines, branches, troncs).

après la mort du végétal, ces éléments retournent finalement au sol soit directement

dans le sol (décomposition *in situ* des racines mortes) soit en tombant à sa surface (débris des parties aériennes, litières forestières). c'est là que les matières organiques fraîches vont être décomposées plus ou moins rapidement par l'activité biologique (micro-arthropodes, nématodes, collemboles, lombrics, filaments de champignons, algues, bactéries) jusqu'à, dans les formes d'humus les plus « actives », une minéralisation complète et donc la libération des éléments chimiques sous des formes assez mobiles et plus facilement biodisponibles.

on assiste ainsi à un cycle de matières allant du sol au sol, en passant par la végétation. cependant, il faut noter que la majorité des éléments absorbés sur toute l'épaisseur de sol prospectée par les racines retombe à la surface. ceci explique, avec la bonne aération qui y règne, que l'activité biologique la plus intense s'observe dans les premiers centimètres. en milieu naturel, même très pauvre chimiquement (forêt amazonienne, forêts tempérées sur sols acides), le cycle biogéochimique suffit au maintien de l'écosystème en équilibre.

que se passe-t-il quand le cycle est rompu, par exemple quand l'homme prélève une partie ou la totalité des végétaux (épis de blé, salades, carottes, pommes de terre, fourrage, troncs d'arbres), qu'ils soient cultivés ou non, et les emporte ailleurs ? une part plus ou moins importante de la biomasse est « exportée » avec les éléments qu'elle contient. très généralement, les produits alimentaires (farine, légumes, fruits), le bois et leurs déchets (balle de blé, épluchures, excréments humains ou animaux, sciure, cendres de foyers) ne sont pas restitués à l'endroit où ils ont été prélevés. il en résulte un appauvrissement progressif du milieu au fur et à mesure des récoltes. les écosystèmes « pauvres » sont assez rapidement mis en déséquilibre et dépérissent. sous agriculture intensive, où les exportations sont massives, il est donc indispensable de rapporter aux sols tous les éléments (n, p, k, ca, oligoéléments, matières organiques) qui leur ont été enlevés, c'est la raison de l'apport des fertilisants et des amendements (organiques, calcaires).

8.5. activités humaines

depuis longtemps l'homme a un impact sur la nature et le fonctionnement des sols. cet impact va croissant sous l'influence de moyens techniques toujours plus puissants et perturbateurs et à cause de la nécessité de produire davantage pour nourrir une population toujours plus nombreuse.

- action sur la végétation : l'homme perturbe directement la végétation en installant volontairement :
  - des plantations forestières monospécifiques (douglas, sapins de noël, peupliers) ;
  - des monocultures (blé, orge, maïs, vigne, pommiers) ;
  - des prairies "naturelles" (où les animaux d'élevage broutent sélectivement) ;
  - des prairies semées ;
  - … ou bien il laisse se développer des friches…
  - dans les forêts qui nous semblent naturelles, il privilégie certaines espèces aux dépens d'autres, élimine certaines strates…
- actions chimiques : apports volontaires de fertilisants, d'oligoéléments, d'amendements organiques (fumiers, lisiers, composts, boues d'épuration), de calcium (chaulage) d'où la remontée du ph et la resaturation du sol principalement par des ions calcium ; apports involontaires de polluants minéraux ou organiques.

- apports répétés de matières organiques ou minérales (sels contenus dans les eaux d'irrigation) qui s'accumulent.
- actions « hydriques » : drainage, assainissement (tuyaux enterrés, réseaux de fossés), abaissement du niveau de la nappe (marais, tourbières), inondation de rizières, irrigations. ces interventions humaines modifient totalement le régime hydrique naturel initial.
- actions mécaniques agricoles :
  - labours ;
  - compactage ;
  - sous-solages : travail du sol ayant pour objet de l'ameublir en profondeur sans remonter d'éléments en surface ;
  - défoncements : labours très profonds (40 cm à 1 m) réalisés exceptionnellement pour disloquer des horizons profonds indurés ou des roches dures situées en profondeur et améliorer ainsi l'enracinement de la vigne ou d'arbres fruitiers et forestiers.
  - création de planches et billons : bandes de terrain allongées, surélevées pour éviter un excès d'eau superficiel. la planche diffère du billon, en ce que le centre de la planche n'est pas bombé et qu'elle est plus large.
  - ces actions mécaniques ont pour conséquences l'homogénéisation de l'horizon labouré et parfois le mélange d'horizons.
- autres actions mécaniques (travaux publics) : restructuration de pentes fortes en terrasses ou terrassettes (ceci dès l'antiquité), décapages, goudronnages.
- déplacements de matériaux terreux pour la construction de sols urbains reconstitués, réaménagement d'anciennes carrières ou gravières.

8.6. durée

le temps est un acteur majeur, mais souvent oublié, de la formation des sols. celle-ci est toujours lente et nécessite des milliers ou des dizaines de milliers d'années pour générer quelques décimètres de sol.

certaines évolutions récentes sont plus rapides (sur certains matériaux favorables) et peuvent affecter la partie supérieure du sol sur quelques décimètres. par exemple, à partir d'un sol déjà très acidifié, une néopodzolisation peut seulement demander 100 ans pour s'exprimer nettement sur une quinzaine de centimètres.

dans le nord de la france, beaucoup de pédogenèses ont débuté à la fin de la dernière glaciation (10 000 – 12 000 ans). soit les anciens sols ont été entièrement érodés (par exemple décapés par les glaciers), soit de nouveaux dépôts superficiels ont constitué de nouveau matériaux parentaux et une nouvelle pédogenèse a alors démarré (nouveau dépôt de lœss, mise en place de formations de pentes).

mais il existe aussi des sols beaucoup plus anciens et des paléosols. voici deux séries d'exemples, mais il y en a beaucoup d'autres.

figure 10 - « terre d'aubue » de basse bourgogne
sol non calcaire, moyennement épais (1 m), limono-argileux en surface, argileux en profondeur, développé dans une argile de décarbonatation (yonne).

auteur(s)/autrice(s) : denis baize
licence : cc-by-nc-nd

exemples 1 : un certain nombre de sols sont développés dans des formations argileuses résiduelles accumulées suite à la décarbonatation totale de roches calcaires : les argiles à silex, les argiles à chailles, les sols argileux et ferrugineux de la plate-forme sinémurienne en auxois (baize et chrétien, 1994), les « terres d'aubues » des plateaux de basse bourgogne (baize, 2012, figure 11). tous ces sols sont âgés d'au moins un ou deux millions d'années.

exemples 2 : les sols des très hautes terrasses des cailloutis rhodaniens. le matériau parental de ces dépôts est constitué de cailloutis fluvio-glaciaires originaires des alpes, contenant des galets calcaires mais également des éléments de roches cristallines. ces derniers sont la source principale de tous les produits d'altération résiduels, notamment des argiles. dans sa thèse, bornand (1978) a décrit 5 stades d'évolution pédologique qu'il a étudiés sur les diverses terrasses de la vallée moyenne du rhône, datées du würm (pour les plus basses) jusqu'au villafranchien (pour les plus hautes). la durée totale d'évolution des sols développés dans les dépôts les plus anciens a été estimée entre 1,8 et 2,3 millions d'années.

9. références

- baize d. et chrétien j., 1994 – les couvertures pédologiques de la plate-forme sinémurienne en bourgogne. particularités morphologiques et pédo-géochimiques. étude et gestion des sols, 1, 2, pp. 7-27.
- baize d., 2012 – les « terres d'aubues » de basse bourgogne : nouvelle synthèse et bilan de matières à très long terme. étude et gestion des sols, 19, 3-4, pp. 139-161.

- bornand m., 1978 – altération des matériaux fluvioglaciaires, genèse et évolution des sols sur terrasses quaternaires dans la moyenne vallée du rhône. thèse, université de montpellier 2, 329 p.
- robert m., berrier j., evralde j., 1983 – rôle des êtres vivants dans les premiers stades de l'altération des minéraux. sciences géologiques. mémoire 73, pp. 95-103. https://www.persee.fr/doc/sgeol_0302-2684_1983_act_73_1_2033

CRÉDITS

AUTEUR(S)/AUTRICE(S)

denis baize

docteur ès sciences, spécialiste de pédologie générale, de typologie et de cartographie des sols. il a été l'animateur et le coordinateur du référentiel pédologique (afes, inra, 2008). il a écrit plusieurs ouvrages de pédologie.

MISE EN LIGNE

pascal combemorel

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

LICENCE DU TEXTE DE L'ARTICLE

creative commons - attribution - pas d'utilisation commerciale - pas de modifications

notes

1. des observations faites avec une tarière (appelée aussi sonde) ne permettent pas d'observations satisfaisantes ni de prélèvements convenables.
2. retour progressif et spontané d'un horizon ou d'un sol à un état d'humidité proche de la capacité au champ par percolation d'un excès d'eau gravitaire. la capacité au champ est la teneur maximale en eau non mobilisable par la seule force de gravité.
3. comme le mot « sol » est très polysémique et que les sols s'étendent sur la quasi-totalité des territoires de plaines, les pédologues utilisent désormais couramment la notion de « couverture pédologique ». les couvertures pédologiques sont de très grands volumes de sols formant un continuum qui varie dans les trois dimensions de l'espace.
4. autrefois, on parlait de roche-mère mais ce terme n'était pas parfaitement adapté dans la mesure où d'autres matériaux que des roches peuvent donner naissance au sol.
5. une altérite est une formation résultant de l'altération et de la fragmentation sur place d'une roche, sans structuration pédologique notable.

6 destruction des agrégats fragiles à la surface de certains sols sous l'impact des gouttes de pluie (ou de certains dispositifs d'irrigation), conduisant à la formation d'une mince croûte (0,5 à 5 mm) à structure litée, plus ou moins continue. cette croûte de battance fait obstacle à l'infiltration de l'eau dans le sol. il en résulte la formation de flaques d'eau et, souvent, du ruissellement, stade initial de l'érosion.

7 par exemple, en cas de vallons étroits, le milieu est peu ensoleillé.