

Les sols forestiers : supports physiques ou écosystèmes vivants ?

Les arbres ne sont que très rarement enracinés directement dans la roche. Leurs racines sont général installées dans des couches de matériaux issus de l'altération de cette roche sous l'effet de processus physiques, chimiques et biologiques. L'ensemble de ces couches forme ce que l'on appelle le sol. La limite entre le sol et l'atmosphère est claire. A l'inverse, la frontière entre le sol et la roche mère est parfois imprécise. Bien sûr, les caractéristiques physiques et chimiques de la roche mère influencent fortement celles du sol. Quelles relations les forêts entretiennent-elles avec leurs sols, et quelle est l'importance de ces relations ?

Comment décrit-on un sol ?

Une observation attentive du sol (photo 1) livre beaucoup d'informations sur :

- **sa profondeur** : sous climat tempéré, elle peut varier de quelques centimètres à 1,5m voire plus ; les sols peu épais sont moins favorables à la forêt que les sols épais ;
- **les différentes couches** (on parle d'« horizons ») qui le constituent : au sommet du sol, les horizons sont riches en matière organique (litière, humus), de couleur sombre ; en profondeur, les horizons peuvent être appauvris ou enrichis en matière organique ou en éléments minéraux, ce qui se traduit souvent dans leur couleur ;
- **sa texture**, qui correspond aux proportions de particules de différentes grosseurs ; la terre fine est constituée d'argiles (< 2 microns), de limons (de 2 à 50 microns), et de sables (> 50 microns) ; les éléments grossiers ont plus de 2 mm : graviers, cailloux et blocs ; seuls la matière organique et les éléments fins, argiles et limons, retiennent l'eau et les éléments minéraux dont se nourrissent les plantes ;
- **sa porosité**, (volume et taille des vides contenant, air et eau) qui dépend de la texture et de l'arrangement des différents constituants dans l'espace, par exemple de la constitution de « structure » en agrégats de différentes formes (grumeaux, polyèdres ; les sols peu poreux, compacts, dans lesquels l'eau et l'oxygène circulent mal, sont difficilement colonisables par les racines des plantes ; les sols très poreux, à cause d'une forte teneur en sable ou éléments grossiers, retiennent mal l'eau et les éléments minéraux.



Figure 1. Sur ce profil de sol, on distingue nettement de haut en bas : un horizon noir de matière organique mal décomposée, un horizon blanc de sable très pauvre, une roche mère en blocs, colonisée par les racines des arbres.

Photo : B. Jabiol

Quelles relations entre les arbres forestiers et le sol des forêts ? D'abord une affaire de physique ...

- Ancré au sol, le système racinaire assure la stabilité mécanique de l'arbre

L'ancrage des racines dans le sol permet à l'arbre de résister au vent et, en montagne, au poids de la neige. L'architecture du système racinaire varie d'une espèce à l'autre et on distingue :

- les systèmes étalés en surface (dits « traçants ») : épicéa commun, hêtre, tilleul à feuilles en cœur, bouleaux, frêne (voir fig. 2)
- les systèmes pivotants : chênes, cèdre de l'Atlas, sapin pectiné, pin sylvestre ;
- les systèmes mixtes : douglas.

Mais en réalité, la profondeur prospectée par les racines dépend très fortement des propriétés du sol (texture, porosité). Les racines, qui respirent, ont besoin d'un sol bien aéré, ce qui suppose d'éviter les excès d'eau et le tassement. Lorsque le sol ne permet pas la croissance des racines en profondeur, soit pour des raisons mécaniques (horizons du sol ou roche mère compacts) soit pour des raisons chimiques (déficit en oxygène), les arbres ne possédant que des racines traçantes, risquent d'être renversés par les vents violents : on parle de « chablis ». Dans les Landes, l'expérience des tempêtes de 1999 et 2009 a montré que les pins maritimes enracinés à moins de 80 cm étaient particulièrement exposés aux chablis.

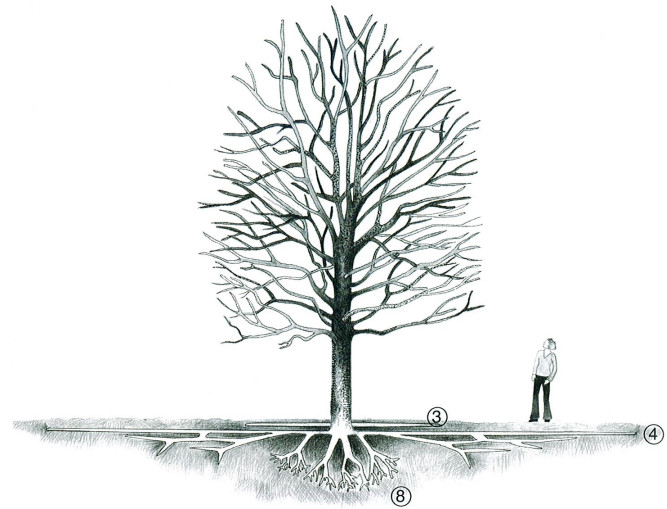


Figure 2. Exemple de système racinaire traçant : le hêtre. Les racines sont principalement superficielles : (3) et (4) ; les racines plongeantes sont minoritaires et courtes : (8). Source : C Drenou, IDF.

- Le réservoir du sol alimente l'arbre en eau

L'arbre puise l'eau dans le sol et la transpire par ses feuilles. La réserve en eau du sol est calculée sur la profondeur prospectée ou sur une profondeur d'un mètre (on sait mal évaluer l'eau disponible pour la végétation à plus grande profondeur), et est exprimée dans les mêmes unités que la pluviométrie : en mm. L'encadré ci-contre présente les différentes quantités d'eau contenues dans un sol. La réserve utile pour les plantes, RU, varie fortement d'un sol à l'autre : entre 25 et 225 mm, la médiane étant de 130 mm environ. Cette réserve est mobilisée quand l'évapo-transpiration dépasse la pluviométrie. En début de printemps, le plus souvent $RER = 1$; pendant la saison de végétation, l'arbre consomme progressivement la réserve utile du sol, en commençant par les horizons supérieurs du sol dans lesquels la matière organique peut retenir jusqu'à 90 % de son poids d'eau.

Réserve en eau du sol (calculée en général sur une profondeur d'un mètre)

- REM : Réserve maximale : quantité maximale d'eau qui peut être contenue dans le sol ;
- RE_m : Quantité d'eau fortement fixée par le sol et donc inutilisable par les plantes (elles commencent à flétrir) ;
- Réserve utile : $RU = REM - RE_m$;
- Réserve courante : RE : quantité d'eau effectivement contenue dans le sol à un moment donné ;
- Réserve en eau relative : $RER = (RE - RE_m) / (RU)$, comprise entre 0 et 1.

En été, seules les racines profondes ont encore accès à l'eau. Quand RER descend en-dessous de 0,4, la croissance des arbres s'arrête : sans transpiration, pas de photosynthèse. A l'automne, le « réservoir » sol se remplit à nouveau.

... puis une affaire de chimie : l'arbre trouve dans le sol les minéraux dont il a besoin ...

On trouve des forêts sur tous types de sols, mais beaucoup sont sur des sols trop pauvres pour l'agriculture. Plusieurs paramètres permettent d'apprécier la richesse d'un sol en éléments minéraux : voir encadré ci-contre.

Le rapport C/N est directement lié à la vitesse de décomposition de la matière organique ; c'est un indicateur clé de la dynamique de l'azote, élément essentiellement lié à la matière organique du sol ; un C/N de 15 traduit une dégradation rapide, conduisant à la libération dans le sol d'azote sous forme minérale (en particulier de nitrates), seule forme assimilable par les plantes ; un C/N supérieur à 25, indique que la dégradation est très lente, la matière organique tend à s'accumuler et ne libère pas d'azote disponible ; dans ce cas, les plantes peuvent être en « faim d'azote ».

Les argiles et la matière organique comportent des sites chargés négativement, capables de fixer les ions chargés positivement (cations): on parle de « complexe adsorbant ». On distingue les cations jouant un rôle majeur dans la nutrition des plantes (calcium, magnésium, potassium, ammonium) et les autres (hydrogène, aluminium surtout). La capacité d'échange cationique (CEC) augmente avec la teneur en argiles et en matière organique. L'acidité, la CEC et le taux de saturation sont liés. Dans les sols à pH voisin de 7, le taux de saturation atteint 100%, la totalité du complexe adsorbant étant occupée par les cations nutritifs. Quand le pH diminue (acidité), le taux de saturation diminue : l'hydrogène et l'aluminium prédominent sur les cations nutritifs. Du point de vue des plantes, l'acidification correspond donc à un appauvrissement chimique du sol. Le phosphore, élément également important pour la nutrition des plantes, est en général très énergiquement fixé au sol : sur l'aluminium à pH bas (acide), sur les carbonates à pH élevé (alcalin). Lorsque l'aération du sol est faible ou nulle, et que la quantité d'oxygène diminue, le fer, le manganèse et certains composés organiques sont mis en solution et peuvent être toxiques pour les racines.

Paramètres liés à la richesse chimique du sol

- rapport Carbone/Azote (« C/N) des horizons de surface ; plus le C/N est élevé, moins la dégradation de la matière organique est rapide ;
- pH, indicateur d'acidité (lié à la concentration en ions H+) ; un sol à pH inférieur à 5 est considéré comme acide, peu acide à neutre entre 5 et 7 ; un pH supérieur à 7 est basique;
- Capacité d'échange cationique (CEC) : quantité de cations que peut fixer le sol ; La CEC est jugée faible en-dessous de 9 meq/100g, moyenne entre 9 et 15, élevée au-dessus de 15 ;
- Taux de saturation (S/T) : proportion des cations « nutritifs » Ca, Mg, K, auxquels on ajoute Na, parmi l'ensemble des cations de la CEC.... » .

...et aussi une affaire de biologie

En forêt tempérée, une quantité importante de matière végétale revient au sol chaque année : environ de 8 à 12 tonnes par ha et par an de litière (feuilles, brindilles, fruits ...) et de 7 à 9 tonnes de racines fines qui meurent aussi en fin de saison. Le sol reçoit aussi, en moindres quantités, divers apports organiques d'origine animale et microbienne. Cette matière organique alimente tout un ensemble d'êtres vivants comme indiqué dans l'encadré ci-contre.

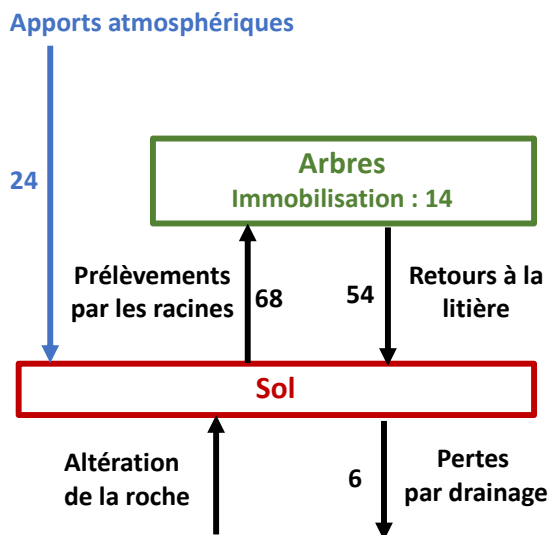
Ordres de grandeur de la biomasse vivante du sol, en grammes/m²

Bactéries :	2 à 200
Protozoaires :	30 à 40
Champignons :	100 à 150
Algues :	5 à 20
Animaux :	50 à 500

Schématiquement, la décomposition de la matière organique commence par sa fragmentation physique, assurée par des animaux, arthropodes ou vers. Suivent des phases de « digestion » chimique qui sont aussi l'œuvre des champignons et bactéries. Les constituants de la matière végétale, cellulose et lignine en majorité, sont transformés en molécules plus petites. Les produits ultimes de cette décomposition sont des molécules simples: CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- (carbone et azote minéralisés) qui quittent le sol rapidement mais aussi les éléments majeurs Ca, Mg et K qui alimentent le stock de nutriments disponibles pour les plante. La décomposition produit aussi des molécules organiques complexes qui vont rester longtemps dans le sol (acides humiques, humine). Cette matière organique associée aux composants minéraux du sol, en particulier par les lombrics, forme ce qu'on appelle le complexe argilo-humique.

L'essentiel des éléments nutritifs absorbés par les arbres (azote, cations) proviennent des horizons de surface riches en matière organique, décrits en tant que « formes d'humus ». Chaque année, les retours d'éléments dans la litière compensent de 70 à 90 % des prélèvements effectués par les arbres. Les reste est fourni par les apports atmosphériques et par la décomposition de la roche. *On parle de cycle biogéochimique*, dont le fonctionnement est essentiel à l'écosystème forestier tout entier, sol et peuplement.

Les organismes du sol sont aussi dépendants les uns des autres au sein de longues chaînes alimentaires. Bien sûr, les communautés de décomposeurs dépendent étroitement du climat (régimes des températures et des pluies), de la roche mère (acidité) et de la végétation. Ainsi, la communauté de décomposeurs dépend du rapport C/N de la litière, lui-même très lié au rapport C/N des feuilles des arbres, et on ne trouvera pas de lombrics dans les sols nettement acides. A chaque forme d'humus correspond une communauté d'espèces qui lui est propre. Il faut aussi souligner l'importance des champignons mycorrhiziens qui vivent en symbiose avec les racines des arbres et les aident à absorber eau et éléments minéraux. Le sol constitue ainsi un compartiment essentiel de l'écosystème forestier.



Ce qu'il faut retenir

- L'ancrage en profondeur des arbres doit être favorisé.
- La réserve en eau et la richesse chimique du sol sont des déterminants essentiels de la vie et la croissance des arbres forestiers.
- La matière organique du sol forestier est à la fois une conséquence et un facteur de l'existence et de la croissance du peuplement forestier.
- Une gestion forestière durable évite le tassement des sols et préserve leurs horizons organiques et leur richesse en nutriments.

Figure 3 : schéma du cycle biogéochimique de l'azote dans une hêtraie de 120 ans. Les chiffres indiquent les flux annuels en kg/ha. D'après Ulrich, 1973 . 15 % seulement de l'azote en circulation est immobilisé par les arbres.