

La fertilité des sols forestiers : quels sont ses déterminants ?

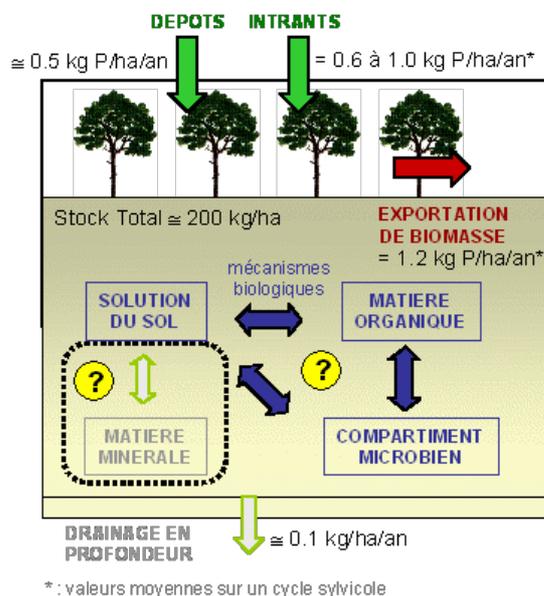
La fertilité d'un sol est sa capacité à soutenir une production plus ou moins élevée et à assurer de nombreuses fonctions essentielles pour la qualité de la vie sur Terre. Elle a trois composantes : physique, chimique et biologique. Le concept de fertilité des sols forestiers est notablement différent de celui appliqué aux sols agricoles, entre autres parce que la gestion des forêts a toujours été extensive (elle utilise très peu d'intrants) et que l'écosystème entier s'est adapté à cet état de fait. Quels sont les déterminants de la fertilité des sols ? Est-elle exposée à des risques ? La gestion forestière peut-elle en tenir compte ?

La fertilité chimique des sols en forêt : état statique ou dynamique ?

Par rapport au concept de **fertilité chimique** des sols agricoles, celui appliqué aux sols forestiers diffère notablement. En effet, pour ces derniers, et en particulier les plus pauvres qui sont aussi les plus abondants, le réservoir en éléments minéraux mobilisables est faible et ne permet qu'une productivité limitée de ces écosystèmes forestiers, bien que significative. La fertilité chimique a une composante **statique** déterminée par la roche mère originelle, l'âge du sol et la réactivité des constituants organiques et minéraux, mais aussi, une composante **dynamique liée à la capacité de recyclage des éléments dans l'écosystème**. De plus, la géométrie du réservoir disponible pour la végétation varie avec l'état hydrique du sol, car les plantes disposent d'un système racinaire dimensionné en profondeur pour parer aux éventuels déficits en eau : cela leur permet des prélèvements de nutriments dans les couches profondes du sol. Le terme de **cycle biogéochimique** caractérise l'ensemble des processus qui conduisent à l'intégration puis au maintien des éléments sous forme active dans le système (cf. fig.1) : capture des apports atmosphériques, prélèvement dans les horizons profonds du sol, recyclage puissant par les litières, transferts internes à la plante d'éléments des organes sénescents vers les organes en croissance, en cycle régulier ou en mobilisation « d'urgence ». Cette dernière a lieu lors des stress hydriques, quand la plante doit prélever dans les horizons profonds du sol, où tous les éléments ne sont pas disponibles pour assurer sa nutrition (c'est le cas de l'azote).

Figure 1. Dynamique du phosphore dans une forêt plantée des Landes

La forêt landaise se caractérise par une grande pauvreté en phosphore (P). Les phases organiques et microbiologiques présentent jusqu'à 60% du P biodisponible. Pour cet élément très conservé dans l'écosystème, les intrants par fertilisation sont les seuls significatifs, alors que l'exportation de biomasse représente l'essentiel des sorties. Selon le type de station, ce niveau de pauvreté de P se fait plus au moins sentir (dans les dunes, l'azote est plus limitant que le P). Des travaux sont en cours pour préciser les différents flux et comment le type de sylviculture va peser sur ce bilan de fertilité en P (source L. Augusto, INRA)



La **biodiversité des sols forestiers** (ensemble des macro et micro organismes qui s’y trouvent) présente des caractéristiques très contrastées liées à leurs caractéristiques physiques et chimiques. Les sols riches au pH neutre, ont une grande diversité. A l’inverse, elle est très réduite en sol acide. Toutefois, la relation entre biodiversité et fonctions est complexe, la biologie s’étant fortement adaptée à l’acidité en système stable, où elle est probablement plus efficace qu’en sol riche. Le maintien d’une activité biologique des sols est une des conditions du recyclage des éléments minéraux, dont le rôle est capital quand la biodisponibilité est limitée. Le fonctionnement des écosystèmes forestiers est bien adapté à la situation de réserves limitées, grâce à l’efficacité remarquable des mécanismes en jeu pour l’utilisation des ressources (eau, éléments minéraux), mais l’**équilibre est fragile**, rendant l’écosystème assez **vulnérable**. Ces caractéristiques doivent absolument être prises en compte pour toute décision d’intensification des pratiques sylvicoles ; celle-ci se traduit souvent par une augmentation de la récolte de bois et donc de l’exportation d’éléments minéraux, qui devrait être compensée par des apports, ce qui n’est généralement pas le cas ; la mécanisation dégradant la structure du sol est tout aussi préoccupante. Les questions de l’entretien des sols forestiers acides par amendement (long terme), voire fertilisation (court terme) restent donc entières, malgré un intérêt largement démontré.

Pourquoi le maintien de la fertilité des sols est-il impératif ?



Figure 2. *Dégradation rapide d’un sol sensible en Lorraine*
À gauche, le sol limoneux en surface et argileux en profondeur est structuré et sain. À droite, 8 ans après des travaux ayant généré un tassement, sa structure est très dégradée et révèle son hydromorphie (taches rouilles, concrétions, fin horizon ferrugineux). Source INRA

Le sol est une ressource dont les caractéristiques sont peu ou pas renouvelables à l’échelle humaine. Sa dégradation naturelle, ou provoquée par des pratiques inappropriées peut être très rapide, en fonction de ses caractéristiques : quelques mois suffisent après un tassement modéré, pour faire basculer un sol sain mais sensible, vers un milieu hypoxique (déficit d’oxygène) et hydromorphe (excès d’eau), inapte à soutenir une production forestière (cf. fig. 2). De plus, la restauration de la porosité sera d’autant plus lente que le sol sera pauvre chimiquement, soulignant la forte interaction entre physique, chimie et biologie des sols. La collecte des résidus d’exploitation (branches, houppiers) pour la bio-énergie est tout aussi critique en système acide, car ces parties de l’arbre, riches en éléments minéraux, sont la base de fertilité pour les générations forestières

futures : cette énergie ne sera renouvelable que si la fertilité du sol l’est aussi. L’histoire forestière fournit des exemples d’épuisement des sols par les récoltes intensives de bois (Ardennes, Massif Central, Morvan) !

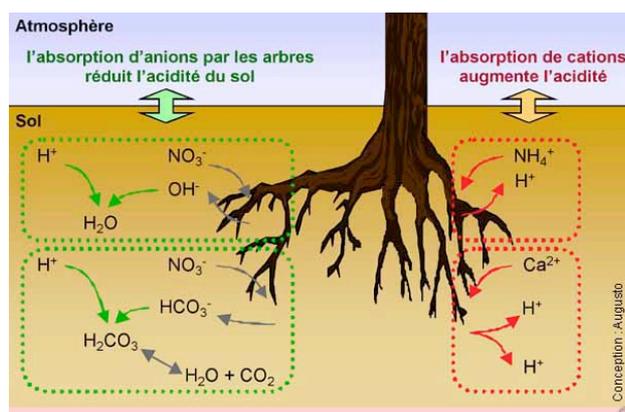
Les essences forestières ont des optimums et des amplitudes écologiques, qui définissent les domaines d’adaptation aux conditions naturelles de milieu, et permettent d’encadrer les pratiques sylvicoles. Toute essence en «station», c’est à dire dans un contexte pédo-climatique qui lui convient, est par définition mieux apte à résister aux stress qu’une essence en limite d’aire. Cette adaptation est mal connue et souvent très complexe, avec de nombreuses confusions d’effets de différents facteurs. Quel que soit le degré de tolérance d’une essence aux contraintes du milieu, plus le sol sera riche avec une structure stable, meilleure sera l’expression du potentiel de l’essence et de sa croissance.

Les sols forestiers et leur fertilité sont-ils exposés à des risques ?

Trois risques primaires pèsent sur les sols forestiers : l'acidification, la dégradation physique et les effets des changements climatiques, avec leur cohorte de conséquences. L'une d'entre elles, majeure, concerne l'évolution de la biodiversité, avec des modifications potentiellement drastiques et rapides de fonctions essentielles, en particulier celles ayant trait à la mise à disposition pour la plante d'éléments sous forme chimique adéquate (minéralisation des matières organiques, biodégradation des structures minérales), mais aussi à l'absorption minérale (associations diverses entre les microorganismes et la racine, symbiotiques ou non favorisant la biodisponibilité ou limitant l'absorption d'éléments toxiques), ceci en très forte interaction avec la richesse chimique actuelle du sol. L'**acidification** est inéluctable (cf.fig. 3) sous nos climats pour tous les sols, mais l'histoire et les pratiques appliquées aux sols forestiers les rendent particulièrement concernés par ce processus : sols pauvres réservés à la forêt, pratiques anciennes appauvrissantes, restitutions quasiment inexistantes, pratiques sylvicoles parfois intensives. Le recours au «bois-énergie», a priori pertinent, soulève la question d'une nouvelle intensification de pratiques à fort impact sur la pérennité du système, en l'absence d'apport minéral de compensation. Les conséquences sont multiples puisque la résilience des sols forestiers, donc leur capacité de restauration, est limitée par leur fertilité minérale actuelle voire par leur biodiversité.

Figure 3. Processus d'acidification des sols

L'arbre, comme tous les organismes vivants, est soumis aux lois de la physiologie : lorsqu'il consomme des cations nutritifs, il doit éliminer d'autres cations pour conserver son équilibre électrique. Par exemple, s'il consomme un calcium (Ca^{2+}), il excrète deux protons (2H^+). Ce faisant, **l'absorption de cations acidifie le sol**. À l'inverse, l'absorption d'anions est alcalinisante : par exemple, la consommation d'un nitrate (NO_3^-) conduit à l'efflux d'un OH^- et donc à la neutralisation d'un proton. Les arbres consommant plus de cations que d'anions, leur croissance **acidifie le sol**. La récolte de biomasse amplifie l'acidification, en exportant des alcalins et alcalino-terreux, diminuant ainsi la capacité du sol à neutraliser les acides (source : INRA).



La dégradation physique des sols forestiers est un problème récent lié au développement rapide de la mécanisation. Tout sol sec est résistant, mais plus sa texture est limoneuse, plus il est sensible au tassement à l'état humide ; sa dégradation peut conduire rapidement à l'évolution hydromorphe du sol, avec des conséquences importantes pour sa biologie. La restauration assistée par voie mécanique n'existe pratiquement pas en milieu forestier, seule la restauration «naturelle» permet à la porosité des sols de se reconstituer ; elle est le fait de facteurs physiques (climat), et/ou biologiques (rôle des racines ou des fonges). Cette restauration sera d'autant plus lente que le sol sera pauvre, l'activité biologique se réduisant considérablement avec l'acidité du sol.

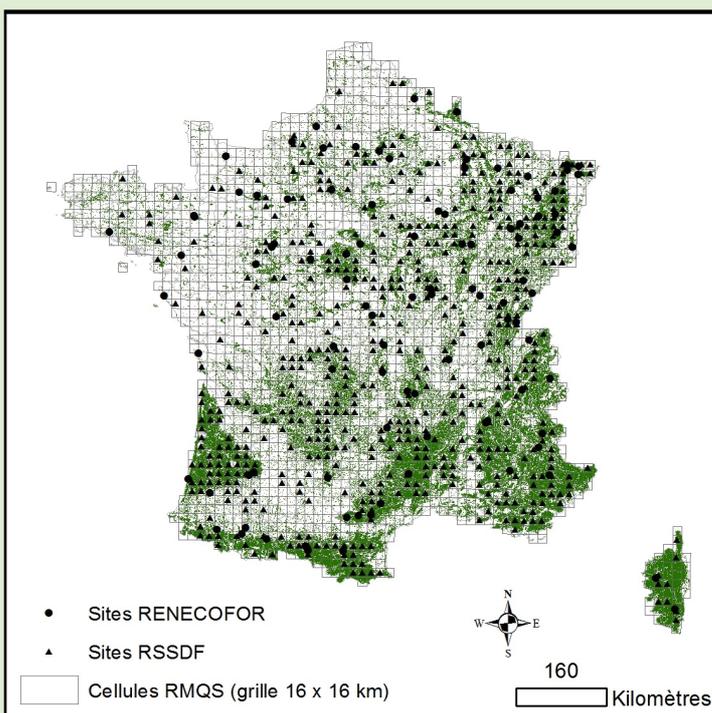
Les sols forestiers aussi sont impactés par les changements climatiques. La longévité des arbres forestiers conduit à prendre en compte les processus d'atténuation des effets et d'adaptation des espèces et des traitements aux évolutions climatiques déjà à l'oeuvre. Les incertitudes pesant sur ces changements compliquent le traitement de cette question et entachent les prévisions des modèles. De plus, la plupart de ces simulations se font à propriétés constantes des sols dans le temps. Or, les changements climatiques sont justement susceptibles d'influer rapidement sur bon nombre d'entre elles, directement ou indirectement (activité biologique, vitesse de minéralisation de la matière organique, nature et restitutions d'éléments, prélèvement racinaire, structuration en horizons, agrégation, infiltration, rétention en eau etc.). La gestion actuelle des écosystèmes nécessite cependant d'intégrer d'ores et déjà le changement climatique, en particulier pour l'adéquation essence-milieu, et le maintien de la qualité des sols.

L'**érosion** et la **contamination** ne concernent que marginalement les sols forestiers en France. Le couvert végétal vivant et mort protège le sol forestier contre l'**érosion** physique. Celle-ci peut survenir dans des situations de forte pente et/ou suite à certaines pratiques (coupe à blanc et maintien du sol nu, tassement excessif), ou en zone méditerranéenne, suite aux incendies : ravinement, ablation de la couche fertile de surface, inondations boueuses en aval, peuvent en résulter. La **contamination ponctuelle ou diffuse** concerne peu les sols forestiers gérés extensivement (peu ou pas d'intrants). Toutefois, les contaminations diffuses d'origine atmosphérique plus ou moins lointaine les affectent significativement par l'interception de couverts denses : les effets de ces apports dépendent de leur nature et de la dose apportée : fertilisant ou polluant.

La **baisse des teneurs en matière organique** concerne peu les sols forestiers qui contiennent en France 2,5 fois plus de carbone organique que les sols cultivés. Les risques de perte de matière organique (et donc de flux de CO₂ associés vers l'atmosphère), proviennent des changements d'usage (déforestation) et d'un effet éventuel du changement climatique (minéralisation de la matière organique et/ou diminution des restitutions de C), voire d'une intensification trop forte des prélèvements de bois. A l'échelle de la France, les sols forestiers sont un puits de carbone en augmentation, principalement du fait de l'extension des surfaces boisées (accrus et forêts).

Évaluer les évolutions de la fertilité : les réseaux de surveillance des sols forestiers

La fertilité des sols résulte de processus induits par des facteurs internes et externes opérant à court et long terme. La stabilité des écosystèmes forestiers et la qualité des sols font l'objet de mesures et observations depuis plus de 25 années, grâce à un réseau de dispositifs de plusieurs niveaux, très intensifs (observatoires de recherche), moyennement intensifs (réseau Renecofor), et plus ponctuels (réseau 16 x 16 km RSSDF). Ces réseaux complémentaires ont une triple vocation : surveiller, comprendre et permettre de simuler les évolutions attendues.



- La lecture de cette fiche est à rapprocher de celle de la fiche 2.05
- Pour en savoir plus : n° spécial de la Revue Forestière Française 2014 sur les sols forestiers

Ce qu'il faut retenir

- La fertilité des sols forestiers est conditionnée par la dynamique de processus biologiques, physiques et chimiques au sein de l'écosystème.
- La fertilité des sols est vulnérable du fait des facteurs adverses, dont le changement climatique, auxquels ils ont été exposés
- Les pratiques de la gestion forestière durable doivent intégrer le maintien de la fertilité sur long terme
- Le « monitoring » de l'évolution des sols grâce aux réseaux de mesure et observations est une nécessité