

## Compte-rendu de la cinquième

# Matinée Pro Silva

*Présentation de Bruno GRATIA*

## *Nos choix sylvicoles face aux écosystèmes forestiers*

*Matinée organisée par Jacques Hazera le samedi 2 février 2013 à Joué, au Centre Équestre Le Volcelest (Belin-Béliet), dans une salle mise à disposition gracieusement par son gérant Frédéric San José. Étaient présentes 24 personnes.*

Compte-rendu rédigé grâce aux notes aimablement fournies par Bernadette Messagier, Dominique Lanusse, et Gabriel Merlaut.

**Préambule** : *le respect des bases de la biologie est un préalable fondamental pour qui veut mener une sylviculture intelligente, rentable, et surtout pérenne. C'est ainsi la troisième fois que le thème choisi est centré sur les caractéristiques et le fonctionnement de notre outil de production : l'écosystème forestier.*

*Bruno Gratia, notre invité du jour, est un jeune ingénieur forestier. Il est également enseignant à Meymac, et prépare une thèse axée sur le douglas. La veille a déjà eu lieu une journée pour le G.P.F. Sud-Gironde avec un groupe de 35 personnes (même thème, même ordre du jour, mais avec une partie de terrain consacrée à l'étude d'une fosse pédologique à Hostens).*

Sujets abordés :

- importance du sol (composition chimique, texture, compacité, réserve en eau...)
- fonctionnement des végétaux entre eux (intra-spécifique et inter-spécifique, anastomoses, exsudats, associations, concurrences, symbioses, statut social...)
- rôle des autres organismes présents (microfaune, bactéries, mycorhizes...)
- risques de dégradation liés aux travaux forestiers (tassements, orniérages, décapages, blessures, perturbations diverses...)
- incidence des travaux forestiers sur la production (labour, fertilisation, débroussaillage, entretiens divers, dépressages, nettoyages...)
- prospection racinaire et travail du sol (mythes, réalités...)
- incidence de la durée du cycle de production (cycles courts ou longs, perte ou maintien de fertilité, cycle des nutriments, cycle du carbone...)
- incidence de nos objectifs de production et de nos pratiques sur l'évolution du milieu (bois-énergie / bois d'œuvre, petits bois / gros bois, exportation d'éléments, rendement-matière...)
- perspectives de diversification (des feuillus ? lesquels ? pour quels objectifs ?...)
- intérêt des mélanges (par exemple : aulne glutineux et pin maritime en lande humide...)
- intérêt de certaines pratiques alternatives (par exemple : pour avoir du chêne planter du bouleau...)

Bruno Gratia a présenté son exposé en deux parties :

- 1) les bases de fonctionnement du *continuum sol/plantes/atmosphère* et ses exigences ;
- 2) les conséquences à en tirer pour nos pratiques forestières.

# 1)- Bases du fonctionnement du sol

## Ce qu'est un sol

Le sol est un milieu de transition. Il est constitué d'un mélange de matière minérale et de matière organique. C'est l'objet de la pédologie, quand la géologie a pour objet le domaine minéral de la *roche-mère* sous-jacente (ou *matériau parental*).

Pour bien comprendre le fonctionnement d'un sol, les pédologues utilisent généralement des fosses pédologiques. Ces fosses permettent une description fine et précise des couches successives présentes (les *horizons*), en se basant notamment sur l'observation de leurs couleurs. La couleur d'un horizon peut être due soit à la présence de matières organiques (couleur brun-noir), soit à la présence de fer (couleurs rouille ou gris-bleu selon les conditions hydriques). Ces éléments peuvent cependant se trouver dans des états physico-chimiques très divers, ce qui entraîne une diversité de leur aspect. Par ailleurs, il convient de tenir compte également de certaines autres caractéristiques importantes telles que :

- la capacité du sol à retenir l'eau, mais sans excès ;
- la présence d'une nappe d'eau permanente, ou juste d'engorgements épisodiques ;
- la présence d'oxygène (zone aérobie), ou son absence (anaérobie) ;
- la texture du substrat : sableuse (assez grossière), limoneuse (fine), argileuse (ultra-fine), sachant qu'elle est fréquemment une des multiples combinaisons possibles de ces trois éléments, à quoi s'ajoutent parfois des éléments très grossiers (cailloux et pierres) ;
- la compacité, c'est-à-dire le degré de dureté, dont la conséquence est que les racines des végétaux pourront se développer plus ou moins aisément dans ce milieu ;
- le degré d'acidité (pH), etc..

C'est l'équilibre entre ces diverses caractéristiques qui fera qu'un sol est bon : équilibre de la texture, bonne disponibilité en eau (mais sans engorgement), acidité modérée (au-dessous de 4,8 de pH, les bactéries – dont les bactéries nitrifiantes – sont absentes ou très peu actives, l'idéal étant autour de 5,5), bonne aération (mais sans que le sol soit *soufflé*)... ce que Bruno Gratia a illustré en citant plusieurs fois Paracelse : « *C'est la dose qui fait le poison.* »\* Le cas de nos landes est assez particulier car, bien que gisant sur un sous-sol totalement calcaire (dépôts marins), les horizons de surface sont constitués d'une couche importante de sables quartzeux presque purs (dépôts éoliens).

Nous avons donc des sols peu propices au développement des végétaux puisque leur texture est déséquilibrée (texture sableuse, grossière), puisqu'ils retiennent très mal l'humidité (très filtrants, alors que la nappe d'eau peut être très proche de la surface pendant les mois d'hiver, et donc très pénalisante pour la survie des arbres), puisque leur composition chimique est très pauvre en éléments nutritifs (le sable n'est que de la silice broyée, matériau qui, ne se dégradant pas, n'enrichit pas le milieu). À ces contraintes de sol s'ajoutent en outre celles du climat qui peut être assez brutal puisque, pour répondre aux fortes chaleurs, les végétaux ont de grands besoins hydriques en été, mais qu'ils ne peuvent pas les satisfaire du fait que le développement de leurs systèmes racinaires a généralement été bloqué l'hiver par la hauteur de la nappe d'eau (plus de 90% des racines fines meurent chaque année pour se renouveler en fin d'hiver). À cela s'ajoute encore fréquemment la présence d'une couche très compacte d'altérites (concrétion faite de sable, de fer, et d'aluminium). Ce n'est pas fini : une partie de la matière organique (qu'on peut considérer comme une réserve de nutriments potentiels), se trouve alors, du fait que le sol est filtrant, entraînée en profondeur dans une zone anaérobie (elle devient hors de portée pour les végétaux : c'est un congélateur plein, mais inaccessible, fermé à clef, et débranché de surcroît !), et de toutes façons elle reste à l'état organique du fait que l'acidité du sol ralentit sa dégradation en éléments minéraux (or les végétaux ne se nourrissent pas de matières organiques, mais seulement de minéraux). Ce n'est toujours pas fini : l'acidité qui s'accumule constamment (naturellement engendrée par les acides humiques de cette matière organique), augmente constamment du fait de l'accumulation des couches d'*humus*.

Face à de telles contraintes et à de tels déséquilibres, remercions le Ciel d'avoir inventé le pin maritime !

\* Paracelse : « *Tout est poison, rien n'est poison, c'est la dose qui fait le poison !* » et aussi : « *Nous enseignons que ce qui guérit l'homme peut aussi le blesser ; et que ce qui l'a blessé peut le guérir.* »

## Le milieu

Le sol n'est qu'un des multiples éléments composant le milieu, au même titre que le climat. Ce dernier représente une contrainte considérable : c'est le climat qui fixe les règles. Chacune de ses caractéristiques est absolument primordiale : vents, fréquence des tempêtes, précipitations, ensoleillement, températures, ampleur des gelées, durée de la période sèche, durée de la saison de végétation, allongement du jour, etc., mais tout est interdépendant et intimement lié : un même sol se serait développé différemment sous des latitudes différentes et, inversement, le sol exerce aussi une influence sur le climat.

Sur la Terre, la multitude des conditions de milieu existantes a été simplifiée en un petit nombre de *macro-écosystèmes*, ou *biomes*. Celui dans lequel est située l'Aquitaine, ainsi qu'une grande partie de l'Europe, s'appelle, selon les sources, soit le *biome des forêts feuillues caducifoliées tempérées*, soit le *biome des forêts de feuillus et forêts mixtes tempérées*. Disons pour simplifier : le *biome tempéré*. Dans ce biome, on observe un apport constant de matières organiques tant à la surface (3 tonnes par hectare et par an d'aiguilles, de cônes, de rameaux...), qu'à l'intérieur des sols (92% des racines fines renouvelées chaque année, ce qui correspond à 500 ou 600 kg d'apports annuels par hectare, plus environ 60 kg de débris animaux... Ces déchets sont ainsi, chaque année, remis dans le circuit). Les aiguilles du douglas (*Pseudotsuga menziesii*) ont une durée de vie de 3 ans environ ; celles de notre pin maritime (*Pinus pinaster*), de 5 à 6 ans.

Il s'agit-là de découvertes relativement récentes. La recherche forestière n'en est encore qu'à ses balbutiements, notamment pour l'étude de la vie souterraine, extrêmement difficile à observer. Un ouvrage signé de Christophe Drénou fait le point des connaissances récentes : « *Les racines, face cachée des arbres.* » (I.D.F. 2006).

Face aux difficultés, les êtres vivants ont eu le génie d'inventer la *symbiose*. Hormis de très rares exceptions, tous les végétaux s'associent à des champignons pour former des mycorhizes et se donner ainsi les moyens de prospecter des zones inaccessibles : par exemple trop éloignées (souvenons-nous que l'hyphe d'un champignon peut mesurer un kilomètre !), ou trop fines (le diamètre d'un filament mycélien est bien inférieur à celui des poils absorbants d'une racine fine, et le réseau mycorhizien est extrêmement dense). Par ailleurs, certains champignons sécrètent des *acides uroniques* capables de décomposer des éléments et de les rendre ainsi disponibles. On peut se reporter au compte-rendu de la quatrième Matinée Pro Silva, car c'est le sujet que Jean-Yves Bousserieu avait fort bien développé à cette occasion.

## Les principales fonctions d'un sol

Un sol peut être considéré comme un réservoir. Certains sont grands, d'autres tout petits, d'autres moyens... C'est un réservoir *trophique* (il contient des éléments nutritifs pour les plantes, c'est-à-dire des minéraux), et c'est aussi un réservoir hydrique (il contient de l'eau). Par leurs systèmes racinaires, dont le pouvoir est démultiplié grâce aux mycorhizes, les plantes aspirent un jus plus ou moins riche en nourriture. Cette nourriture est composée d'éléments minéraux assimilables par les plantes, c'est-à-dire des éléments que leur système est capable de métaboliser, à savoir : azote, phosphore, calcium, potassium, magnésium, soufre (ainsi qu'un certain nombre d'oligo-éléments, tout à fait vitaux bien qu'en infime quantité).

L'arbre fournit donc du carbone, sous forme de sucres, à son champignon symbiotique, sucres que ce dernier serait lui-même incapable de se procurer seul, n'étant pas équipé pour réaliser la photosynthèse. En contrepartie, le champignon fournit à l'arbre une capacité démultipliée de prospection des ressources du sol. Cette association a cependant des limites : ainsi, les champignons sont absents des milieux engorgés tels que les marécages, et des solutions alternatives apparaissent alors, comme l'association avec certaines bactéries captant l'azote atmosphérique : c'est le cas par exemple de l'association de l'aune glutineux (*Alnus glutinosa*) avec la bactérie *Frankia* sp..

Les plantes n'ont pas toutes des besoins identiques, c'est pourquoi certaines se développent mieux sur certains sols que sur d'autres. Ce qu'on appelle un sol riche est donc une notion à moduler selon les plantes à nourrir. Par exemple, certaines fuient les sols dits *calcaires*, et d'autres les recherchent. Un sol riche fournira aux plantes qui lui sont adaptées les nutriments dont elles ont besoin. En cas de mauvaise adaptation, la plante subira des privations engendrant forcément une fragilité. Les forestiers insistent toujours sur cette nécessité fondamentale de choisir des essences adaptées à la station, d'autant plus qu'il s'agit en forêt de cultures de très longue durée et qu'il peut arriver que les symptômes n'apparaissent que tardivement. Lorsqu'on cherche à introduire une essence exogène, il est fréquent que les champignons symbiotiques qui lui sont propres ne soient pas présents dans son nouveau milieu, ce qui peut expliquer nombre d'échecs.

La richesse trophique ne fait pas tout : le sol le plus riche ne serait rien sans eau. C'est l'exemple d'une plantation de mélèzes (*Larix decidua*) dans les Causses du Massif Central que Bruno Gratia nous a montrée, où l'on voit de pauvres arbres de 8 ans extrêmement rachitiques, et même morts pour certains. Explication : manque d'eau, aggravée par la concurrence importante des graminées présentes.

En forêt, le sol a aussi une autre fonction tout à fait essentielle : l'ancrage racinaire. Le sol joue un rôle fondamental dans la stabilité des peuplements, mais la moindre perturbation est susceptible de réduire sa capacité à tenir les ensouchements. On a vu bien souvent que le passage du rouleau landais accroît pendant plusieurs années la fragilité au vent. La tendance actuelle nous incite à la mécanisation dans le Massif Landais, mais évitons les pièges de la mécanisation à outrance !

## Le potentiel forestier

Ce qu'on vient de voir plus haut peut se résumer par trois critères qui permettent d'apprécier le potentiel de production d'un sol forestier :

- sa capacité à stocker l'eau, puis à la restituer en fonction des besoins ;
- sa capacité à fournir des éléments nutritifs ;
- sa capacité à éliminer les excès d'eau.

## • Capacité à stocker l'eau

Une étude menée par Thomas Curt a montré la relation très étroite existant entre la disponibilité en eau et la croissance des arbres. Il a par exemple observé un doublement de la hauteur dominante entre deux stations : l'une à réserve utile de 30 mm, et l'autre à réserve utile de 150 mm. Il s'agit donc bien d'une propriété fondamentale du sol.

Cette eau, en réserve dans le sol, peut avoir trois origines : les précipitations (pluies, neige, grêle, etc.), la capillarité (circulation de proche en proche par une sorte de phénomène de contagion), et les écoulements latéraux (cas des sols en pente). Cette réserve subit également des pertes à déduire, liées par exemple à l'évaporation, aux infiltrations, ou au drainage (sols en pente). Ce qu'il faut prendre en compte, c'est le bilan : les apports doivent au moins compenser les pertes, sans quoi la végétation risque de subir un stress hydrique.

Ce qui retient l'eau, ce sont deux réseaux de petites cavités, complémentaires et indispensables :

- d'une part la *macroporosité*, constituée par les vides de « grande taille » entre les particules du sol. L'eau y circule rapidement après une pluie, par gravité, puis l'air peut ensuite s'y installer à nouveau. Les grains de sable (taille inférieure à 2 mm) sont suffisamment gros pour constituer ce réseau de macroporosité. Il s'agit là de *l'eau libre*.
- et d'autre part la *microporosité*, constituée par les vides de petite taille. C'est dans ce réseau qu'est retenu l'essentiel de l'eau consommée par les plantes au fur et à mesure de leurs besoins. Elle y circule par capillarité. C'est *l'eau liée*.

L'absence de l'une des deux est préjudiciable, ce qui est le cas de nos sols sableux landais, quasiment dépourvus de microporosité : ils sont filtrants et s'assèchent très vite. Dans le cas opposé, les sols sont alors pénalisés par des nappes d'eau temporaires.

Pour déterminer approximativement la réserve d'eau disponible (la *réserve utile*), il existe des techniques assez simples faisant appel à nos sens (le sable gratte et crisse entre les doigts, le limon est doux mais salit les doigts, et l'argile légèrement humide se laisse malaxer comme une pâte à modeler), et à l'application d'une table de calcul rudimentaire.

## • Capacité à fournir les éléments nutritifs

La nourriture des plantes est, comme on l'a vu, composée de minéraux. À l'état brut, nos sables sont pratiquement dépourvus de minéraux. Dans ce cas, la matière minérale assimilée par les végétaux ne peut être issue que de la décomposition (minéralisation et *humification*) de la matière organique (racines, feuilles mortes, branchettes, cadavres d'insectes...). En agriculture, la charge en matière organique est généralement voisine de 2 à 3%. Dans un sol forestier, elle est de l'ordre de 8%, mais c'est une erreur classique de croire que la fertilité serait directement proportionnelle à cette charge ; au contraire, une telle accumulation est due à la lenteur de sa décomposition, ce qui signifie simplement que, biologiquement, le sol est peu actif, comme une entreprise où les fournitures s'accumuleraient indéfiniment faute d'ouvriers. Les meilleurs sols tournent en flux tendu : la matière organique y disparaît très vite.

En outre, la matière organique génère de l'acidité, ce qui ralentit l'activité des organismes décomposeurs. Bien-sûr, les couches les plus chargées en matière organique sont proches de la surface. Toutefois, il arrive souvent qu'une partie importante soit entraînée en profondeur par l'infiltration des eaux, jusqu'à ce qu'elle se trouve bloquée à un certain niveau et forme progressivement, en combinaison avec les atomes de fer et d'aluminium, un horizon compact, *l'aliôs*, le stade ultime de cet aliôs étant une pierre très dure, *la garluche*. Ce type d'évolution est caractéristique des sols dénommés *podzols* (anciennement : *podzols*). La matière organique bloquée au-dessus de la couche d'aliôs, bien visible sur une fosse pédologique, est quasiment perdue pour l'alimentation des végétaux car elle ne se trouve plus dans les conditions propices à sa minéralisation : c'est notre congélateur plein de bonnes choses en train de pourrir !

Le travail du sol tel que le labour profond présente l'inconvénient d'enfouir en profondeur la partie la plus riche en matière organique, et de faire remonter de la terre stérile. C'est donc une pratique à mener avec discernement, car elle peut avoir des conséquences très fâcheuses à long terme. De même, certaines interventions mécanisées risquent de compromettre gravement la fertilité du sol, notamment par le biais des tassements (engendrés par le simple poids des engins) ou des diverses perturbations aux systèmes racinaires (engendrées par les outils de travail du sol).

Il peut également exister des éléments nutritifs assimilables par la plante (car présents dans la solution du sol) mais qui, pour une raison quelconque, soit ne sont pas métabolisables, soit sont toxiques (cas de l'aluminium) : le poison dissous dans l'eau est ingurgité par la plante. Lorsque le phosphore est lié chimiquement à la matière organique, il en est captif. Pour résoudre ce type de blocage, il peut suffire d'apporter un amendement (apport calco-magnésien).

La vie du sol représente des quantités phénoménales d'individus. Les bactéries (deux millions de bactéries dans un gramme de sol !) jouent un rôle primordial dans les processus de dégradation. Elles opèrent en peu de temps (quelques mois) une minéralisation primaire de 60 à 80% de la matière organique déjà fragmentée et décomposée par d'autres organismes vivants (arthropodes, collemboles, acariens, myriapodes, etc.). La partie non minéralisée de la matière organique est stockée à long terme sous une forme stable, par humification. Certains facteurs externes ont une incidence sur la vigueur de l'activité biologique : c'est le cas de la chaleur (tributaire de *l'albédo*, ou coefficient de réflexion de la lumière : un couvert clair renvoie la chaleur, alors qu'un couvert sombre la conserve). La disponibilité

en calcium est également très importante. Cette vigueur de l'activité biologique peut être jaugée à l'examen de la forme d'humus. Il existe trois grandes formes d'humus. Des plus dynamiques aux moins actifs :

- les humus de forme *mull* : la matière organique disparaît très vite tellement l'activité biologique est vigoureuse et affamée (c'est le congélateur d'une équipe de rugby !);
- les humus de forme *moder* : l'activité est ralentie, et ce sont les champignons qui assurent une bonne part de la dégradation (c'est le congélateur d'une agence de mannequins !);
- les humus de forme *mor* : l'activité est très faible (c'est le congélateur d'un hospice de vieillards !).

#### • Capacité à éliminer les excès d'eau

Dans certains cas, il peut arriver que l'eau envahisse durablement à la fois la macroporosité et la microporosité. L'engorgement en eau rend alors le milieu pauvre en oxygène, ou *hypoxique*, ce qui n'est pas du goût de la plupart des arbres. Le pire pour eux se produit lorsque l'hiver est inondé et que l'été est sec. En effet, c'est en fin d'hiver que les arbres reconstituent leurs racines fines (plus de 90% comme on l'a vu plus haut), or elles ne se développent pas en milieu hypoxique. En conséquence, ces jeunes racines ne peuvent prospecter que les couches superficielles du sol. Lorsque l'été arrive, et qu'il est sec, les besoins en eau sont à leur maximum mais l'eau s'est retirée en profondeur et les racines sont alors incapables de la puiser. C'est la chanson du petit poisson et du petit oiseau...

La vitesse de ressuyage d'un sol dépend entre autres de sa texture. Dans le cas d'un orage ayant versé 30 mm de pluie, il faudra un mois pour ressuyer les terres lourdes, au rythme d'un millimètre par jour (argiles, limons), mais seulement quatre heures pour les terres légères, au rythme de sept millimètres par heure (sables).

La forêt de Vierzon, particulièrement sinistrée depuis 2003, offre un triste exemple de dépérissements engendrés par l'engorgement hivernal, avec 70% des peuplements de chênes ravagés.

À défaut d'un sol qui se drainerait naturellement, on peut avoir recours à un tour de magie : la plantation d'aulnes ! En effet, planter une ligne sur deux d'aulnes glutineux (nos vergnes) permet d'abaisser la nappe d'eau de 25 cm car c'est une essence qui se plaît bien dans l'eau (les ruisseaux sont presque toujours bordés d'aulnes) et qui en puise de grandes quantités, ce qui permet donc à d'autres essences du voisinage de profiter d'un sol plus sain.

## Les enjeux sylvicoles

L'évolution climatique constatée depuis un demi-siècle offre aux arbres des conditions de croissance plus favorables qu'autrefois. Par exemple, la température moyenne a augmenté (les 14 années les plus chaudes jamais enregistrées se concentrent sur les deux dernières décennies), la teneur de l'atmosphère en CO<sub>2</sub> a augmenté (rejets énergétiques), de même que sa teneur en azote (rejets industriels). La saison de végétation est donc plus longue, et la disponibilité en nutriments d'origine atmosphérique augmente. De nos jours, sur un hectare, l'atmosphère dépose environ 65 kg par an d'azote. Ainsi, sauf dans les cas où la disponibilité en eau est restreinte, la croissance des arbres a augmenté.

Cette évolution favorable risque cependant de ne pas durer. Par exemple, il se pourrait que le Gulf Stream change son cours et, en conséquence, perde l'influence qu'il a actuellement sur notre climat qui, d'après certaines hypothèses très sérieuses, pourrait évoluer vers un type continental tel que celui de Washington, avec augmentation des caractères extrêmes (hivers très rigoureux et étés très secs). Dans ces conditions, la croissance des arbres cesserait probablement d'en bénéficier.

Parallèlement à ces conditions stationnelles, certains choix d'origine humaine ont également une incidence directe très forte sur le destin de nos forêts. Par exemple, les contraintes engendrées par la mécanisation poussent à ne plus couper que des arbres standardisés de faibles dimensions, c'est-à-dire jeunes. Les marchés émergents sont presque tous focalisés sur cette tendance, qu'il s'agisse de bois-énergie bien sûr, mais même des nouveaux procédés en matière de bois d'œuvre (charpente en bois massif abouté, ou en bois massif reconstitué). Dans le Massif Landais, cela fait déjà longtemps que les petits bois mènent la danse, avec en vedette palette et trituration. Les conséquences sont très fâcheuses, car elles entraînent une dégradation en chaîne des milieux forestiers : d'abord sur les habitats, puis sur les ressources, puis sur les réserves et, finalement, sur la fertilité, la santé et la capacité de résilience des peuplements.

Il y a plus grave. Le marché du bois-énergie, par exemple, ne se contente pas d'extraire de la forêt seulement le bois, mais au contraire d'extraire la totalité de la biomasse, c'est-à-dire les arbres entiers : le tronc, les branches, l'écorce, les rameaux, le feuillage et même, si possible, la souche et les racines. Qu'il ne reste rien ! Le sylviculteur qui vendrait tout ça au prix du lingot d'or ferait certes une très bonne affaire, mais ce n'est pas le cas. Il n'est payé qu'au prix du blé en herbe : une demi-cacahuète à l'hectare, mais en outre on appauvrit son sol, on dégrade son milieu, et on dévaste les habitats et les paysages.

Certaines alternatives simples permettraient d'éviter cet enchaînement néfaste ; par exemple l'adoption de densités plus faibles, de peuplements mélangés ou mixtes, de structures moins homogènes, de cycles plus longs... Une étude sur des éclaircies de hêtre a montré que les exportations de nutriments sont maximales lorsqu'on exploite des arbres jeunes (moins de 20 ans), qu'elles sont équilibrées pour des arbres d'âge moyen (20 à 40 ans) mais que, dans le cas d'arbres âgés (plus de 40 ans), les choses s'inversent et c'est alors le milieu qui devient bénéficiaire.

Un autre phénomène a été mis en lumière récemment : la *récréation*. Certaines substances contenues dans les feuilles sont échangées avec l'eau de pluie (les feuilles libèrent des cations ; en échange elles absorbent de l'ammonium et des protons dont la pluie est chargée), puis ces substances ruissellent jusqu'au sol. Elles deviennent ainsi de nouveau disponibles, et directement assimilables par les racines. Le cycle de ces nutriments est ainsi court-circuité. Ce phénomène s'amplifie avec la taille du houppier, et donc avec l'avancement en âge. Ainsi les vieux arbres ont donc, dans une certaine mesure, la capacité à s'auto-alimenter ! Il ne s'agit pas là d'un phénomène anecdotique : c'est le calcium issu de ses aiguilles, puis ainsi ré-absorbé, qui permet au douglas de résister aux stress hydriques.

Outre cette magique récréation, d'autres phénomènes aussi surprenants se déroulent dans le silence des fibres. L'arbre est capable de déplacer les réserves qu'il a stockées. Par exemple, il peut au besoin retirer des nutriments stockés dans l'aubier pour les envoyer vers les aiguilles. De telles stratégies de résistance et d'adaptation montrent le degré d'évolution de ces êtres mais, sans ce génie, comment auraient-ils pu traverser tant de millénaires ?

Raccourcir les révolutions revient donc à épuiser les sols. Or les sols forestiers ont la particularité d'être, par principe, parmi les plus pauvres. C'est bien compréhensible : les bons sols ont été défrichés pour être affectés à des usages agricoles.

## Caractéristiques des sols landais

Allez, nos mauvais sols ont quand même des atouts !

- Ils sont généralement profonds, ce qui est primordial pour les arbres, qui peuvent ainsi envoyer leurs racines explorer une zone importante de la *rhizosphère*. Bien sûr, ce n'est pas toujours le cas, notamment en présence d'alias, lorsque ce dernier n'est pas fissuré.
- Dans l'ensemble, ils sont meubles et facilement prospectables par les racines.
- Un autre atout de ces sols et que le drainage y est rapide. On a vu plus haut que les conséquences d'un mauvais drainage peuvent être catastrophiques. Malheureusement, le drainage n'est pas toujours optimal notamment lorsque, du fait des faibles pentes naturelles, la nappe d'eau demeure haute.
- La présence de matière organique compense certains défauts. Par exemple, elle a la capacité à retenir quelques éléments nutritifs, mais surtout beaucoup d'eau. Elle joue ainsi un peu, en son absence, le rôle de l'argile.
- Ils se réchauffent aisément (albédo faible des horizons de surface lié à leur forte teneur en matière organique), et ce d'autant plus qu'ils sont bien drainés (l'humidité ralentit le réchauffement).
- L'absence de relief facilite le travail du forestier, qu'il chevauche ou non ses engins.

Ces atouts ne sont pas rien : ils ont permis la constitution du massif forestier artificiel le plus vaste d'Europe, et la création d'une filière économique de première importance, mais ces atouts s'arrêtent là, et il faut aussi mentionner leurs défauts. La texture grossière du sable entraîne souvent un déficit hydrique important en pleine saison de végétation. L'excès de matière organique a tendance à séquestrer le calcium. Le sol est pauvre (notamment en phosphore), acide, ingrat, et n'a qu'une activité biologique bien peu vigoureuse.

Qu'il s'agisse de lande humide, de lande sèche, ou de lande mésophile, on peut affirmer que chacune a ses avantages et ses inconvénients, mais que toutes sont fragiles.

## 2)- Incidences des pratiques forestières

Nos pratiques peuvent avoir des incidences non négligeables sur les propriétés et sur la pérennité des pédosystèmes forestiers. Elles peuvent porter atteinte à l'intégrité des sols, altérer leurs propriétés physiques et leurs propriétés chimiques.

### Dégradations physiques des sols

Le F.C.B.A. a mené une étude en suivant l'exploitation d'une coupe de bois par deux engins : un débusqueur et un porteur. Aucune consigne n'avait été donnée aux exploitants, car il s'agissait simplement d'observer les pratiques courantes. On s'est rendu compte que ni le débusqueur ni le porteur n'ont utilisé le cloisonnement existant. En fin d'exploitation, ce sont 48% de la surface totale du parterre de la coupe qui avaient été parcourus par ces deux engins ! Or c'est au premier passage que les dégâts sont les plus forts : le sol subit 70% du tassement dès le premier passage, et seulement 80% au second (ce qui montre bien qu'il faut impérativement éviter de passer partout). Toutes les couches du sol en sont affectées. On observe pourtant que les engins d'exploitation se comportent comme s'ils étaient en parcours libre. Les photos aériennes en sont des preuves indiscutables, or le tassement du sol, ça peut tuer un arbre ! Le tassement détruit la macroporosité, et réduit considérablement l'aération du sol. Le tassement est grave dans tous les cas, mais certains sols sont encore plus sensibles que d'autres : les sols acides tels que les nôtres, pénalisés par une activité biologique faible, ont besoin d'une longue période pour s'en remettre, et l'humidité est un facteur aggravant.

Une autre étude a été menée, toujours par le F.C.B.A., afin d'examiner l'effet des pneumatiques et du poids des machines sur la compacité du sol. On a comparé deux engins dont la pression de contact est identique (1,04 kg/cm<sup>2</sup>), l'un de 15 tonnes environ, équipé de 6 roues relativement étroites (60 cm) et l'autre de 25 tonnes, équipé de 8 roues larges (1,05 m). Le second est donc bien plus lourd que le premier. Le résultat de cette étude montre bien que le poids total de l'engin est un paramètre crucial, et que c'est bien l'engin le plus lourd qui cause le plus de dégâts, bien que son poids soit réparti sur une surface d'empreinte beaucoup plus grande (9.859 cm<sup>2</sup> contre 2.645 cm<sup>2</sup>). L'engin le plus lourd cause en effet un tassement sensible, à chaque pneu, sur une largeur de 1,30 m et sur une profondeur de plus d'un mètre, et la pression mesurée à 40 cm de profondeur varie du simple au double (0,45 kg/cm<sup>2</sup> contre 0,93 kg/cm<sup>2</sup>). C'est donc toute la zone de prospection des racines qui est ainsi détériorée par un seul passage de ces engins. Or cette détérioration est subtile : personne ne la voit ! Conclusion : les pneus qu'on nomme *pneus à basse pression* ne sont pas en soi une solution adaptée pour réduire les dégradations ; ce qui est vraiment déterminant, c'est le poids total des engins.

Une fosse a été ouverte à l'aplomb du passage d'un engin, dans laquelle on a pu observer entre 15 et 45 cm de profondeur la présence d'une zone grisâtre due à la stagnation de l'eau (décoloration due à l'hydromorphie). L'origine de cette stagnation était tout simplement liée au tassement provoqué par le passage de l'engin.

Les solutions sont bien connues, et relativement simples : ouverture de cloisonnements (par exemple tous les 12 à 18 mètres d'axe en axe), étalement des rémanents d'exploitation sur ces cloisonnements afin qu'ils participent à une meilleure répartition de la charge, adaptation des engins aux chantiers, exploitation hors période humide, et respect des consignes !

Bien que différent du tassement, l'orniérage peut lui aussi avoir des effets dévastateurs sur le milieu. Il arrive par exemple que l'orniérage provoque des atteintes directes au système racinaire des arbres (blessures, coupures, arrachages...), en plus du décapage bien visible de la surface, ou *scalpage*, et peut s'accompagner de tassements autour de la zone des ornières.

Le guide intitulé « Prosol », édité par l'O.N.F. et le F.C.B.A. est consacré à ces problèmes et propose une clé très simple de détermination de la fragilité des sols vis-à-vis des risques de tassement.

## Dégradations chimiques

Les pratiques sylvicoles peuvent aussi engendrer des détériorations chimiques. Une étude faite sur le douglas met en évidence un certain nombre de phénomènes. Par exemple :

- selon la saison : l'exploitation faite en période de végétation exporte davantage de *minéralomasse* (c'est-à-dire des nutriments potentiels) que si elle est faite pendant le repos hivernal, et ce indépendamment de l'âge des arbres ;
- selon l'âge : plus les arbres sont jeunes lors de la coupe rase, et plus on appauvrit le milieu ;
- selon la maturité : à partir de l'âge de 66 ans, le douglas commence à avoir un bilan positif et devient, pour le milieu, importateur d'éléments nutritifs.

Une autre étude, faite par Laurent Augusto sur notre pin maritime, s'est attachée à comparer les teneurs en phosphore et en azote dans les différents *compartiments* (c'est-à-dire le bois, l'écorce, les aiguilles, etc.). Elle montre clairement que ce sont les compartiments les plus fins (surtout les aiguilles, mais aussi les rameaux) qui sont les plus riches en phosphore et en azote, contrairement au bois lui-même. Ainsi, l'éventualité de commercialiser les aiguilles de pin – en plus du tronc – priverait la forêt de 87% du phosphore et de 27% de l'azote contenus dans les arbres. Rappelons qu'il s'agit-là de marchés qui existent déjà. On voit grâce à cette étude qu'il est judicieux de bien peser les avantages et les inconvénients avant de signer la vente. Les prix généralement proposés pour l'achat des souches oscillent autour de 2 € la tonne. Sachant qu'on extrait environ 40 tonnes de souches à l'hectare, on voit que la recette reste extrêmement modeste (80 €/ha !), encore faudra-t-il par la suite procéder à une coûteuse fertilisation afin de remettre à niveau le réservoir de phosphore. On est fondé à penser que des phénomènes similaires se produisent pour les autres éléments indispensables (azote, potassium, calcium, magnésium...). La restauration d'un écosystème est toujours beaucoup plus coûteuse que la prévention.

Deux récoltes de pins de 20 ans exportent 346% de phosphore en plus par rapport à une seule récolte de pins de 40 ans (dans ce dernier cas, l'exportation de phosphore n'est plus alors que de 27%). Lorsqu'on exporte des branches, des aiguilles et des souches, c'est beaucoup de phosphore qui s'en va. Avec les souches, on exporte aussi beaucoup de calcium et de magnésium. Tout comme les rameaux, plus les racines sont fines, plus elles sont riches en éléments nutritifs.

Les dégradations chimiques sont bien plus insidieuses que les dégradations physiques, car on ne les découvre que bien tard. En effet, dans le cas de carences provoquées par des exportations exagérées lors de la coupe rase, les premiers symptômes ne seront décelables que bien après l'installation du nouveau peuplement. On peut remédier préventivement à ces carences en apportant systématiquement une fertilisation de compensation... mais alors à quoi bon vendre à vil prix pour ensuite réparer à grands frais ? Bien sûr, le jour où l'aiguille de pin se vendra au gramme et que sa valeur sera indexée sur celle de l'or massif, alors ce jour-là c'est volontiers qu'on reverra notre position !

Nous devons en tous cas garder en tête un principe fondamental : ce n'est pas l'exportation de bois qui risque d'appauvrir les sols. En effet, le bois est composé presque exclusivement d'éléments issus non pas de la terre, mais de l'air : 99% du bois descend du ciel (50% de carbone, 42% d'oxygène, 6% d'hydrogène, et 1% d'azote). Si l'on se contentait donc

d'exporter exclusivement du bois (sans feuillage, sans écorce, sans rameaux fins...), la fertilité de nos sols demeurerait éternellement stable. L'armoire de grand-mère est donc une contribution civique à l'équilibre planétaire et à la lutte contre l'effet de serre mais soulignons que cette caractéristique forestière est aux antipodes des pratiques agricoles. En agriculture, on extrait au contraire les éléments les plus riches en nutriments : feuilles, racines, fruits, graines... mais c'est la rançon de notre survie : il faut bien se nourrir !

L'A.D.E.M.E. a rédigé un petit fascicule (téléchargeable) permettant de guider nos choix à propos de la récolte des rémanents. Ce guide fournit lui aussi une clé de détermination, très simple d'utilisation. Or la rédaction de ce guide ne s'est pas faite gentiment dans la paix de la filière, bien au contraire ! Après une première mouture il a fallu – sous la pression d'on-ne-sait-qui – que le G.I.P. Éco.For constitue un groupe de travail spécial afin d'en rédiger une version moins contraignante et faisant sortir en douce le Massif Landais de la « zone rouge ». Ni vu ni connu !

## Solutions

On a vu que la fragilisation des milieux peut avoir plusieurs origines (techniques sylvicoles, incitations commerciales, pressions politico-économiques...), et des effets divers (dégradations physiques, dégradations chimiques...). En face de ces risques, plusieurs solutions sont à notre disposition.

### • Recours aux amendements

Il convient de bien distinguer la fertilisation de l'amendement. La fertilisation consiste à augmenter, par des apports spécifiques, la disponibilité de tel ou tel élément. Par exemple, l'apport d'acide phosphorique ou de scories potassiques est une fertilisation. D'une manière générale, la fertilisation est destinée à compenser les carences naturelles ou les exportations d'éléments.

L'amendement, quant à lui, a pour objectif d'améliorer les conditions du milieu et a des effets à plus long terme. Par exemple, l'amendement peut chercher à modifier le pH (c'est-à-dire l'acidité) afin de dynamiser l'activité biologique. Il peut aussi consister à apporter un élément chimique (du calcium par exemple) destiné à en rendre un autre, déjà présent mais captif (le phosphore), accessible aux plantes. Il peut aussi s'agir de lutter contre la toxicité de certains ions (cas de l'aluminium), ou de rééquilibrer les proportions entre certains éléments. Dans le cas de nos sols landais, il semble qu'un amendement calco-magnésien pourrait résoudre bon nombre de problèmes (attention : il ne s'agit pas de chaulage !). Le rapport doit être inférieur à 5 entre le calcium et le magnésium car, au-delà de 5 mesures, l'excès de calcium rend le magnésium inassimilable. L'apport de cendres peut également être intéressant (bore, zinc, cuivre...).

Voici quelques exemples de niveaux d'acidité observés localement dans nos milieux :

- lande sèche à callune (*Calluna vulgaris*) : pH 3,5 à 4 ;
- lande mésophile à fougère-aigle (*Pteridium aquilinum*) : pH 4 à 4,5 ;
- lande humide à molinie (*Molinia caerulea*) : pH 4 à 4,5 ;
- ancien champ à ronce (*Rubus* sp.) : pH 4,5 à 5.

C'est par l'amendement qu'on pourrait maintenir la croissance des essences forestières en dépit de la succession des cycles de production. Or les diverses essences ont des besoins et des comportements divers (exemple : différences de réaction entre l'épicéa et le douglas).

C'est peut-être aussi par des amendements qu'on pourra aider les espèces forestières à s'adapter aux changements climatiques, et qu'on parviendra à améliorer leur tolérance à des aléas tels que les rudesses climatiques qu'on nous promet. On pourrait discuter longtemps sur les choix à faire en matière de politique forestière face aux changements climatiques à venir, mais le choix radical consistant à changer les essences n'est pas forcément le moins risqué.

### • Recours au mélange d'essences

Les peuplements composés de plusieurs essences sont qualifiés de *mélangés* lorsque ces essences sont exclusivement feuillues ou exclusivement résineuses. Exemples : hêtre et chêne, aulne et frêne, ou mélèze et douglas... Ils sont qualifiés de *mixtes* lorsqu'ils sont composés à la fois d'essences feuillues et d'essences résineuses. Exemples : hêtre et sapin, chêne et pin... Il faut considérer le peuplement comme une équipe, et la complémentarité de ses membres est un atout, chacun ayant son propre rôle. D'ailleurs, par le biais des *anastomoses* notamment (soudures entre les racines), les communications, les échanges, et l'entraide sont infinis entre les individus.

Si l'on essaie de perpétuer des cycles identiques (exemple : plusieurs générations de pins maritimes se succédant sur la même parcelle), on finit par constater un certain épuisement des ressources : à la 3<sup>ème</sup> ou 4<sup>ème</sup> génération apparaissent des symptômes de morbidité. Exemple du douglas : il produit 13 m<sup>3</sup>/ha/an. À la deuxième génération, il conserve la même productivité mais devient sensible au fomès (*Heterobasidion annosum*), puis il montre une carence en oligo-éléments, puis il est sujet à des défoliations, et ainsi chaque nouveau cycle fragilise un peu plus les arbres.

Les peuplements mélangés ou mixtes offrent plusieurs avantages :

- leur résilience est supérieure ;
- sauf cas particuliers, leur résistance aux parasites est généralement meilleure ;
- ils supportent mieux la pression cynégétique ;
- certaines essences ne se régénèrent que lorsqu'elles sont mêlées à d'autres ;
- l'ambiance est plus forestière, et en outre elle est souvent mieux stratifiée ;
- la productivité est souvent meilleure ;
- l'aspect esthétique est amélioré.

Dans le cas du sapin pectiné (*Abies alba*) et de l'épicéa commun (*Picea abies*), on a observé que la proportion du mélange joue un rôle important sur la productivité globale et peut engendrer un gain réel. De même, la présence de quelques chênes (*Quercus* sp.) au milieu des pins est bénéfique pour les pins. Les bouleaux (*Betula pendula*) ont un effet répulsif sur la chenille processionnaire du pin (*Taumatopoea pityocampa*). Bon nombre d'études montrent une nette réduction des dégâts dus aux pathogènes (cf. le site du G.I.P. Éco.For) lorsque les peuplements ne sont pas purs.

### 3)- Échanges

- Question : quel est l'impact de l'andainage ?

- Réponse : l'andainage tel qu'il se pratique généralement est réalisé au bulldozer, et c'est de fait un véritable décapage. En même temps que les rémanents, c'est la terre riche de surface qui est entraînée. Ce procédé est néfaste pour la fertilité, dans la mesure où les zones qui se trouvent à proximité des andains sont fortement enrichies par ces apports (ce qui engendre en outre l'explosion des plantes adventives dans ces zones), alors que le reste de la parcelle est appauvri. Toutefois, ce procédé n'est pas appliqué de la même façon ici, dans le Massif Landais. Ici, c'est une pelle mécanique qui soulève les souches de chablis, les démembrer, les purge de la terre, et les rassemble en cordons espacés. Réalisé de cette façon, et, hormis l'extraction en soi des souches, l'andainage est alors relativement peu préjudiciable.

- Question : quel peut être le délai de récupération d'un sol après qu'il a été tassé ?

- Réponse : l'enrichissement en calcium peut être une bonne solution. Cet apport permet de stimuler l'activité biologique, notamment celle des lombrics. Or ce sont eux les véritables laboureurs de nos sols : ils les aèrent grâce à leurs galeries, ils les enrichissent grâce au transit des éléments dans leur tube digestif, ils améliorent la macroporosité, et tout ça gratos ! Dans ces conditions, il semble qu'il suffit d'une période relativement réduite (peut-être 7 à 10 ans) pour que le sol retrouve ses conditions initiales. D'autres solutions peuvent être envisagées, telles que la plantation de genêts, plante relativement autonome sur le plan de l'azote, et dont la puissante racine pivotante peut décompacter le sol. Abandonnés à leur sort, les sols les plus fragiles peuvent nécessiter plusieurs décennies pour guérir. Lorsqu'on a atteint le stade où les joncs s'installent en population dense, alors on sait que le tassement en est à son pire degré. Ce stade de dégradation est alors quasiment irréversible.

- Question : quel est l'impact des engins équipés de chenilles ?

- Réponse : la partie adhérente de la *tuile* (unité de base de la chenille) est relativement faible. Même si l'adoption de chenilles permet de mieux répartir la charge, ce n'est qu'une médiocre solution. De plus, les chenilles font de gros dégâts lors des manœuvres (virages, demi-tours...). En revanche, les mini-pelles offrent des avantages intéressants : poids modeste (autour de 3,5 tonnes), chenilles en caoutchouc ou en nylon... C'est à peu près l'équivalent du débarbage à cheval.

- Question : on dit que le labour permet d'ameublir le sol. Qu'en est-il exactement ?

- Réponse : le principal intérêt du labour est de réduire la concurrence de la végétation adventive en détruisant son système racinaire. Malheureusement, la puissance mise à disposition par les engins modernes incite à en faire beaucoup plus que ce qui serait nécessaire. Le labour pourrait être une pratique intéressante à condition qu'on adopte une technique sans retournement. Les labours sont aujourd'hui bien trop profonds et présentent plusieurs inconvénients.

- La terre de surface, riche en matière organique, est enfouie dans les couches profondes où elle se trouve brusquement dans un milieu anaérobie qui empêche le travail de minéralisation des organismes décomposeurs.
- En contrepartie, la terre stérile est remontée à la surface, et c'est dans cette terre que sont introduits les plants ou les graines.
- On sait aujourd'hui que le fameux mélange des horizons, qui fut un des principaux arguments mis en avant pendant plusieurs décennies pour pousser au labour, n'a en réalité aucun intérêt.
- En ce qui concerne l'ameublissement du sol, là encore c'est un faux argument : ce n'est pas en triturant 40 cm de sol qu'on peut l'ameublir après qu'il a été tassé sur un mètre de profondeur par des engins en parcours libre.

- De plus, le tracteur qui tire la charrue provoque lui-même non seulement des tassements, mais aussi des dégâts supplémentaires du fait de la force d'arrachage due à la puissance de traction des roues nécessitée par la charrue.
- Le labour provoque une déperdition importante de matière organique, d'une part par largage de carbone dans l'atmosphère du fait notamment du surplus de lumière reçue directement, et d'autre part par entraînement dans le sous-sol puis dans les nappes phréatiques.

- Question : quels sont les avantages du rouleau landais ?

- Réponse : le rouleau landais permet de lutter efficacement contre les adventices. Il agit par le hachage des végétaux et peut même sectionner une partie des racines, notamment celles des *poacées* (anciennement graminées). Ainsi, les arbres sont mieux armés pour s'approvisionner en eau. Son efficacité est liée au poids, mais une vitesse d'avancement élevée joue aussi un rôle important ce qui, en comparaison des girobroyeurs, permet donc de réduire les coûts. De plus, c'est un outil très rustique, très solide, et assez peu contraignant pour le tracteur. Il présente aussi l'avantage d'être idéal pour préparer un bon lit de semence lorsqu'on cherche à provoquer la levée d'une régénération naturelle. Habituellement, il n'est utilisé que pour « faire propre » et limiter les risques d'incendie. Cela n'a pas grand intérêt pour la croissance des arbres, mais on continue par la force de l'habitude. À noter que le tracteur peut avoir un effet bien plus néfaste que le rouleau lui-même. Heureusement, bon nombre de sylviculteurs commencent à ne le passer que partiellement : une ligne sur deux par exemple, voire moins.

- Question : la destruction de la végétation concurrente augmente-t-elle les pertes en eau, ou permet-elle au contraire de conserver une meilleure disponibilité ? Pour aller plus loin, un sol mis à nu est-il favorable à la conservation des réserves hydriques, ou bien est-il au contraire davantage sujet aux pertes ?

- Réponse : une mission de recherche a été créée à cet effet au sein de l'I.N.R.A. de Nancy (mission M.G.V.F. : Mission de Gestion de la Végétation Forestière). Le n° 206 de la revue technique Forêt-Entreprise rapporte les premiers résultats de cette mission qui tendent à démontrer que quels que soient les moyens retenus (chimiques, mécaniques, thermiques ou autres), la maîtrise de la végétation adventice se traduit souvent par une amélioration de la disponibilité en eau pour les essences forestières, et par un regain de vigueur... Les résultats de ces travaux – qui se sont surtout intéressés au contexte du Nord-Est de la France – ne peuvent pas être systématisés et transposés à toutes les situations. D'autres instrumentations, prenant en compte les spécificités des facteurs de production des Landes, mériteraient d'être installées afin de mettre en lumière les synergies positives ou négatives entre essences forestières *objectifs* et plantes adventices...

---

*Clôture de la Matinée à 13 heures par obligation de libérer la salle. Merci à tous.*

Jacques Hazera

Références :

- « Les racines, face cachée des arbres » – Christophe Drénou – I.D.F. 2006
- « Prosol » – Didier Pishedda – O.N.F. et F.C.B.A.
- « La récolte raisonnée des rémanents en forêt » – A.D.E.M.E. 2006
- Pour commander le n° 206 de Forêt-Entreprise : <http://www.foretpriveefrancaise.com/foret-entreprise-n-206-pdf-348627.html>
- Pour lire l'introduction au dossier thématique Forêt-Entreprise n° 206 : <http://www.foretpriveefrancaise.com/data/info/346340-FE206p18.pdf>