

FORÊT



COMPRENDRE LES SOLS POUR MIEUX GÉRER LES FORÊTS

Bernard JABIOL
Gérard LÉVY
Maurice BONNEAU
Alain BRÊTHES

Bernard JABIOL
Gérard LÉVY
Maurice BONNEAU
Alain BRÊTHES

COMPRENDRE LES SOLS POUR MIEUX GÉRER LES FORÊTS

Contraintes et fragilités des sols, choix des essences,
précautions sylvicoles, améliorations



AgroParisTech ENGREF – Centre de Nancy

Photographies de la couverture : © François LEBOURGEOIS

© AgroParisTech ENGREF – Centre de Nancy, 2009
ISBN 978-2-85710-081-2

Adresse de l'éditeur : AgroParisTech ENGREF
Service Éditions
14, rue Girardet – CS 14216
F-54042 NANCY CEDEX

Toute reproduction ou représentation, intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, du présent ouvrage, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit, est illicite (article 122-4 du Code de la Propriété intellectuelle).

L'autorisation d'effectuer des photocopies à usage collectif doit être obtenue auprès du Centre français d'Exploitation du droit de copie (CFC) – 20, rue des Grands Augustins – 75006 PARIS.

SOMMAIRE

Préface, par Bernard ROMAN-AMAT	3
Avant-propos et remerciements	5
Sommaire	7
Introduction générale	9
Quelques rappels de pédologie	11
Bibliographie générale	19
Première partie : l'offre et la demande : les besoins des arbres face aux propriétés des sols	21
CHAPITRE 1 : Propriétés du sol et enracinement des arbres	23
CHAPITRE 2 : L'alimentation en eau des peuplements forestiers	39
CHAPITRE 3 : La nutrition minérale des peuplements forestiers	71
Deuxième partie : à chaque sol sa forêt : choisir les essences et les méthodes de gestion en fonction des contraintes exercées par le sol	97
Introduction à la deuxième partie.....	99
Clé de détermination du chapitre auquel il convient de se reporter	102
Légende des symboles utilisés dans les schémas de sol	104
Abréviations utilisées dans les tableaux d'analyses de sol	105
CHAPITRE 1 : Les sols des tourbières.....	107
CHAPITRES 2 : Les sols non tourbeux à nappe permanente	123
CHAPITRE 2A : Les sols à nappe permanente et horizon réduit à moins de 50 cm de profondeur	127
CHAPITRE 2B : Les sols à nappe permanente sans horizon réduit à moins de 50 cm de profondeur	153

Sommaire

CHAPITRE 3 : Les sols à nappe temporaire	189
CHAPITRE 4 : Les sols fortement argileux	243
CHAPITRE 5 : Les sols podzolisés à profil fortement différencié	281
CHAPITRE 6 : Les sols très acides non superficiels, podzolisés ou non, à profil peu différencié ..	313
CHAPITRE 7 : Les sols sableux épais, bien drainés, peu ou non acides et non caillouteux	341
CHAPITRE 8 : Les sols très caillouteux dès la surface ou presque, mais sans substrat rocheux avant 50 cm de profondeur	361
CHAPITRE 9 : Les sols à substrat rocheux situé à moins de 50 cm de profondeur	393
CHAPITRE 10 : Les sols à terre fine carbonatée à moins de 25 cm de profondeur	427
CHAPITRE 11 : Les sols développés sur matériaux volcaniques sous climat montagnard ou subalpin humide.....	471
CHAPITRE 12 : Les sols à contraintes actuelles absentes ou modérées	495
CHAPITRE 13 : Études des relations station-production et assimilées	573
Conclusion générale	591
Annexes	593
Annexe 1 : Définitions succinctes des principaux horizons du sol	595
Annexe 2 : Correspondances possibles entre les principales catégories de la classification CPCS et le Référentiel pédologique 2008	598
Table des matières – Index	603
Table des matières	605
Index des noms de sols cités et de quelques qualificatifs.....	621

Extrait du chapitre 5

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La prise en compte des sols forestiers, pourquoi ?

La forêt remplit diverses fonctions importantes. Elle joue bien sûr un rôle économique de base : sa production alimente la filière-bois — de la sylviculture aux industries de transformation, soit 500 000 actifs en France. Du point de vue écologique, l'ensemble des milieux forestiers constitue une réserve de biodiversité végétale et animale tout à fait fondamentale. Par son rôle de protection, dans les régions montagneuses ou dans les vallées exposées aux crues notamment, elle s'oppose à l'érosion des sols et assure la stabilité des sites habités et des aménagements (génie civil, etc.). Enfin, la fonction socio-éducative de la forêt se développe avec l'urbanisation et les besoins de loisirs et de détente (randonnée, chasse, cueillette) de nos contemporains.

Aujourd'hui, les gestionnaires forestiers s'accordent pour infléchir, si besoin, les modes de gestion, et répondre au mieux à l'ensemble de ces fonctions et aux préoccupations actuelles et à venir de notre société. L'objectif de production ne doit pas, dans le contexte actuel, être envisagé sans que l'on s'interroge sur la capacité de l'écosystème à le supporter à moyen ou long terme sans dommage : c'est la définition d'une gestion durable, préservant les potentiels de production, les paysages, la biodiversité ou les écosystèmes eux-mêmes.

La gestion forestière dite "multifonctionnelle" et "durable" ainsi définie doit s'appuyer sur une connaissance multidisciplinaire. En font partie les connaissances des relations entre le sol et les arbres ou les peuplements forestiers. Le sol constitue en effet à la fois le support physique et le réservoir d'air, d'eau et d'éléments nutritifs nécessaires au peuplement forestier ; c'est l'un des trois facteurs écologiques, en plus du climat et de la topographie, dont dépend la croissance des arbres. Mais ce potentiel de production constitué par le sol n'est pas forcément pérenne et la fragilité de certains sols oblige à prendre en compte dans la gestion les risques de dégradation de certains de leurs caractères : propriétés physiques (risques de tassements, par exemple), chimiques (risques d'acidification, de pollutions, par exemple), biologiques.

Ce livre n'est pas ...

un livre sur la formation des sols et la pédogenèse (voir pour cela par exemple Duchaufour, 1983 et 2001 ; Legros, 2007), il ne détaille pas l'origine des propriétés chimiques, physiques ou biologiques des sols (voir par exemple Gobat *et al.*, 2003), ce n'est pas un traité sur la classification des sols (voir Duchaufour, 1983 et 2001 ; Baize et Girard, 1995 ; AFES, 2009), et ce n'est pas non plus un manuel méthodologique de description des sols (voir Baize et Jabiol, 1995).

C'est tout d'abord un ouvrage à l'usage des gestionnaires des forêts ou des milieux naturels, c'est aussi un ouvrage de référence sans précédent sur les propriétés des sols forestiers français vis-à-vis des peuplements.

Il a pour objectif de guider les gestionnaires, au travers d'un examen attentif et rigoureux du sol, vers le choix de la fonction dominante de la forêt, puis des essences et de la sylviculture appropriées, en accord avec les objectifs et précautions exposés ci-dessus.

Dans une première partie ...

il explique, en s'appuyant notamment sur les résultats les plus récents de la recherche, comment les propriétés du sol conditionnent le développement et la croissance des arbres : leur **enracinement** (dont dépend leur stabilité et les différents prélèvements dans le sol) (chapitre 1), leur alimentation en **eau** (chapitre 2), leur nutrition **minérale** (chapitre 3). C'est en effet à ces trois niveaux tout à fait fondamentaux pour l'arbre que les **contraintes**, physiques ou chimiques, que présentent la plupart des sols, interviendront, avec des conséquences souvent considérables sur les caractéristiques et l'avenir de la forêt.

C'est dans une seconde partie seulement ...

la plus volumineuse, et qui correspond le plus directement aux besoins pratiques des gestionnaires forestiers, que ceux-ci trouveront des indications concrètes sur les **différents "types de sols"**. La présentation en est faite en fonction des **contraintes** qui nuisent à la croissance des arbres et à la gestion durable des forêts. Ce type de présentation est tout à fait original et novateur. Mieux que tout autre, il devrait permettre au gestionnaire de raisonner les choix sylvicoles qu'il est amené à effectuer. Celui-ci pourra également s'appuyer, pour ce faire, sur les orientations de **mise en valeur** proposées dans l'ouvrage et fondées sur l'ensemble des connaissances actuellement à notre disposition sur le comportement des diverses essences.

Ce livre s'adresse donc ...

d'abord aux **gestionnaires forestiers**, comme on l'a vu, mais ses deux aspects scientifiques novateurs — rassemblement des connaissances de base sur le rôle du sol sur la croissance durable des forêts, et présentation des sols en fonction des contraintes qu'ils opposent aux arbres — expliquent qu'il s'adresse également aux **enseignants, chercheurs et étudiants** en foresterie, écologie ou pédologie, pour qui il devrait constituer un **ouvrage de référence**.

Les principales notions de base nécessaires à la compréhension de l'ouvrage sont résumées dans les **rappels** (p. 11) ; un certain nombre d'entre elles sont d'ailleurs développées dans sa première partie. Pour en savoir davantage sur les processus de pédogenèse et les propriétés générales des sols, le lecteur pourra se reporter, s'il le souhaite, aux ouvrages référencés dans la **bibliographie générale** faisant suite à ces rappels.

Avertissement

Ce livre prend en compte l'ensemble des sols forestiers de la France métropolitaine, mais non ceux des DOM-TOM.

DEUXIÈME PARTIE

Chapitre 5

LES SOLS PODZOLISÉS À PROFIL FORTEMENT DIFFÉRENCIÉ

I. OBJET

Ce chapitre concerne les sols qui résultent du processus pédogénétique de podzolisation (dégradation des argiles avec migration de matière organique chargée de fer et d'aluminium) qui s'est déroulé avec assez d'intensité pour que **différents horizons** se soient nettement différenciés (voir par exemple photos 36 et 37, p. 386) :

— sous des horizons organiques généralement épais, un horizon de couleur claire (blanchâtre, gris clair, parfois violacé), très appauvri en fer, aluminium et argile (horizon "de départ" ou "éluvial", E) ;

— dessous, un ou deux horizons bien nets et colorés (horizons d'accumulation, "B podzoliques", BP) : le premier, brun à brun rouge (parfois brun chocolat) à noir (enrichi principalement en matière organique) (BPh), le second de couleur brun-ocre à rouille (enrichi davantage en fer et aluminium) (BPs). Certains des types de sols relevant de ce chapitre possèdent ces deux horizons (parfois imbriqués l'un dans l'autre), d'autres un seul ; l'un de ces sols est même dépourvu de tout horizon BP.

Le processus de podzolisation est suffisamment visible et surtout les **contraintes** qui y sont associées suffisamment spécifiques et marquées pour que ces types de sols fassent l'objet d'un chapitre particulier. Le chapitre 6 traite de sols à podzolisation plus discrète.

Cependant, la présence d'une dalle ou d'un horizon induré avant 50 cm, ou bien d'un pourcentage d'éléments grossiers supérieur à 40 % en volume dès la surface, ou encore d'une nappe (permanente ou temporaire) parfois superficielle créeront des contraintes qui pourront être au moins aussi prononcées que celles dues à la podzolisation. On se reportera alors en priorité respectivement au chapitre 9, 8, 2 ou 3, puis à ce chapitre 5 en second lieu (voir clé, p. 102).

Les sols décrits dans ce chapitre sont généralement pauvres sur le plan chimique et retiennent peu l'eau.

II. LA PODZOLISATION : CONDITIONS STATIONNELLES ET DIFFÉRENTS TYPES DE SOLS

II-1. Définition du processus de podzolisation

La podzolisation se produit sous des humus de type moder, mais surtout dysmoder ou mor, dans lesquels prennent naissance de grandes quantités de matière organique soluble, donc mobile. Ces matières organiques provoquent, en migrant vers la profondeur, une intense altération (destruction)

des minéraux de la partie supérieure du sol, y compris des argiles. Le fer et l'aluminium, libérés des réseaux cristallins, sont complexés par la matière organique en migration, puis migrent avec elle avant de précipiter plus bas dans le profil. Ainsi prennent naissance les horizons E et BP décrits plus haut.

L'intensité de l'expression morphologique de la podzolisation dépend :

— en partie de la quantité de matières organiques solubles qui prennent naissance dans les niveaux organiques avant de percoler à travers le sol. Cette quantité dépend elle-même essentiellement de l'activité biologique (plus elle est faible, moins ces molécules seront dégradées) et des facteurs qui la régissent (conditions de température, pluviosité, acidité du sol), du type de végétation (plus ou moins productrice de molécules complexantes) et de l'âge du processus ;

— en partie de la sensibilité à la podzolisation des horizons minéraux que ces substances humiques traversent lorsqu'elles migrent avec l'eau de percolation. Si ces horizons sont riches en hydroxydes de fer et d'aluminium et en argile, ces constituants vont rapidement provoquer l'insolubilisation des complexes : l'horizon clair appauvri (E) peut ne pas se former ou ne s'approfondit que lentement. Plus ces horizons sont pauvres en ces constituants et plus ils sont filtrants, plus la podzolisation s'exprime au contraire rapidement et profondément dans le profil ;

— en corollaire aux conditions précédentes, elle dépend aussi en partie de la texture des matériaux. Plus le matériau est filtrant (sables, éléments grossiers), plus la migration des complexes sera importante (horizons E plus épais).

Le type de sol qui en résulte dépend donc de la combinaison des facteurs précédents. Lorsque la quantité de matière organique acide soluble produite a été forte en regard des réserves de la partie supérieure du solum en minéraux, en argile et en fer, l'horizon appauvri (E) est épais (10 à 50 cm, voire exceptionnellement plus en France) et bien typé (couleur très claire, aspect cendreuse, texture sableuse). Le profil est donc fortement différencié en horizons. C'est ce type de sol dont il sera question dans ce chapitre, tandis que seront étudiés dans le chapitre suivant les sols à podzolisation plus discrète, dans lesquels l'horizon clair appauvri (E éluvial) reste discontinu ou même non exprimé, malgré la réalité du processus d'appauvrissement en argile, aluminium et fer.

II-2. Localisation et conditions stationnelles des sols podzolisés à profil différencié

Les sols podzolisés supposent, d'après ce qui précède, des humus de type dysmoder ou mor, et donc :

— des climats froids et arrosés entraînant une déficience de la minéralisation des couches organiques de surface. Cette condition est réalisée essentiellement, en France, en montagne humide ;

— ou/et un matériau parental acide, pauvre en cations nutritifs échangeables (Ca^{++} , Mg^{++} et K^+), en argile et en fer. C'est pourquoi les sols podzolisés se trouvent souvent sur des matériaux sableux, mais pas obligatoirement (voir plus loin) ;

— ou/et un type de végétation susceptible d'aggraver les facteurs ci-dessus, notamment en favorisant les formes d'humus de type dysmoder ou mor (par exemple à base d'Éricacées ou de résineux).

Si, en France, la seconde condition (matériaux acides) peut suffire pour engendrer des sols podzolisés, la première condition (climatique) ne le peut, à elle seule, qu'à l'étage subalpin, et la troisième n'est jamais suffisante. Ces trois conditions sont le plus efficaces lorsqu'elles s'ajoutent : c'est le cas des sols pauvres (sur grès acides, granites leucocrates, schistes très quartzeux) dans les **montagnes** soumises à une forte pluviosité.

En **plaine**, où la pluviosité est moindre et la température plus élevée, la podzolisation peut intervenir sur des matériaux très sensibles (sables sédimentaires, grès acides, altérites anciennes fortement évoluées), déjà sous la forêt feuillue naturelle, mais il s'agit alors de sols podzolisés peu développés. Ces forêts feuillues, qui, dans les conditions de plus faible réservoir en eau, produisent un bois de faible qualité, et qui sont sensibles à la dégradation (dessèchement en cas de coupe à blanc sur de grandes surfaces, appauvrissement chimique en cas de surexploitation), ont souvent régressé, sous l'influence de l'homme, à l'état de landes à Callune, et sont aujourd'hui remplacées par des plantations de résineux. Ces deux dernières formations végétales provoquent une dégradation de l'humus et la podzolisation s'accélère avec, cette fois, apparition d'un BP très humifère (BPh) et même parfois induration

des horizons BP. Par ailleurs, les horizons E des anciens sols fortement lessivés et acides constituent en quelque sorte un matériau "nouveau", plus ou moins limoneux mais très acide, et donc très sensible à la podzolisation.

Les **formations forestières** correspondantes sont très variées, principalement en fonction des conditions climatiques, mais elles sont non spécifiques à ces types de sols puisqu'elles peuvent être rencontrées sur des sols très acides moins ou non podzolisés relevant du chapitre 6. Ce sont des sapinières ou sapinières - hêtraies, ou plus souvent pessières de montagne, des hêtraies - chênaies atlantiques ou chênaies sessiliflores ligériennes sur roches-mères pauvres, des peuplements de Pin sylvestre ou de Pin maritime de création artificielle en plaine, sur des matériaux pauvres où la chênaie était de médiocre qualité ou de régénération difficile. La flore associée, acidiphile ou hyperacidiphile, est pauvre en espèces et banale, mais certains habitats sont concernés par la Directive européenne, comme par exemple les hêtraies acidiphiles à Houx de Bretagne, les chênaies à Chêne tauzin du Sud-Ouest ou de Sologne, les hêtraies-sapinières à Luzule blanchâtre, etc.

II-3. Différents types de sols

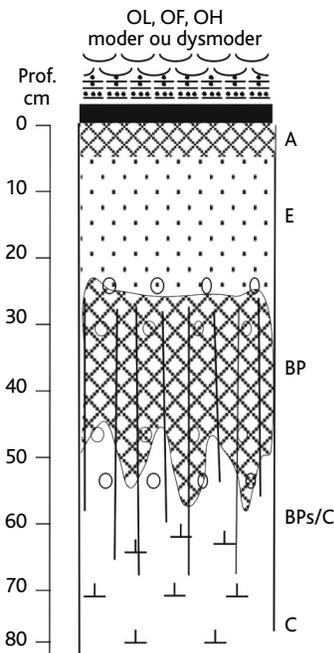
Selon l'expression des horizons E et BP cités au § I, plusieurs types de profils de sols podzolisés peuvent être rencontrés. Lorsque ces profils correspondent à des contraintes spécifiques, ils seront distingués dans les paragraphes suivants, notamment celui consacré à la mise en valeur.

Lorsque la forme d'humus est un véritable mor, l'horizon A est généralement absent. Dans la succession d'horizons, on le notera ci-dessous (A).

II-31. Sols podzolisés à horizons E et BP nets mais peu contrastés et meubles

Voir les exemples 1 (p. 296) et 2 (p. 298) et figure 51 (ci-dessous).

L'horizon E n'est pas "cendreuse", plutôt "beige sale", encore légèrement coloré par le fer. La transition entre l'horizon E et l'horizon BP est assez progressive. L'horizon BP est plutôt un BP_s, plus ocre que le matériau initial mais peu vif, il n'y a pas de BPh bien marqué. L'accumulation de fer en BP se fait sans cimentation des particules minérales (BP meuble).



On peut remarquer que, à l'échelle de certaines régions, ces sols à podzolisation peu contrastée se rencontrent dans des stations plus favorables sur le plan hydrique que celles où la podzolisation est plus marquée (contrastes de couleur importants, indurations) : en effet, les difficultés d'alimentation hydrique rendant difficile la dynamique de la végétation naturelle dans les stations les plus sèches, celles-ci ont souvent connu des phases de dégradation à Éricacées ayant accentué les processus de podzolisation.

La succession d'horizons est **O / A / E / BP / C**.

Les sols correspondent à une partie des **Podzosols Meubles** (ce sont les **sols podzoliques** de la CPCS) (photos 34 et 35, p. 385).

FIGURE 51 : Schématisation d'un Podzosol Meuble (sol podzolique à BP meuble)

On les trouve :

— fréquemment en **moyenne montagne** (montagnard moyen ou montagnard supérieur), sous Sapin ou forêt mixte Sapin-Hêtre, sur des roches-mères cristallines encore relativement riches en minéraux altérables, qui ne seraient pas podzolisées à l'étage collinéen. On les trouve également sur roches plus acides, sous végétation et conditions stationnelles ne favorisant pas la podzolisation, par exemple sur les grès vosgiens sous sapinière et en exposition nord ;

— à l'**étage collinéen**, sous forêt feuillue, sur des matériaux très sensibles à la podzolisation : matériaux sableux pauvres où les humus sont de type moder ou dysmoder (par exemple dans les chênaies ou hêtraies-chênaies de l'Ouest et de l'Ile-de-France), mais aussi limons acidifiés par un long lessivage. Ce dernier cas est fréquent, en France, dans les plaines atlantiques, par exemple sur les limons qui surmontent les argiles à silex. Dans ces sols, en raison de l'existence en profondeur de l'ancien BT, l'engorgement temporaire est fréquent ; si cet engorgement est très accusé et relativement superficiel, cette contrainte prend le pas sur la contrainte liée à la podzolisation (les sols correspondants sont alors traités au chapitre 3).

II-32. Sols podzolisés avec un E très blanchi (cendreux) et un ou deux BP très foncés et contrastés mais meubles

Voir les exemples 4 (p. 302), 5 (p. 304) et 9 (p. 311) et figure 52 (ci-dessous).

La différenciation est maximale, le profil est très contrasté : l'horizon E devient plus épais (sauf dans les podzols subalpins : cf. § IV.23) et cendreux ; des horizons BP se distinguent nettement, leur couleur est très affirmée : brun noir pour BPh (qui cependant n'existe pas toujours) et rouille sombre pour BPs, mais les particules minérales ne sont pas cimentées par les oxydes de fer ou d'aluminium ou la matière organique : l'horizon BP est prospectable par les racines.

Le profil est fréquemment du type :

O / (A) / E / BPh / BPs / C

(cas où les deux horizons BP existent).

Les sols correspondent alors à une autre partie des **Podzols Meubles** ; lorsque BPh et BPs sont présents tous les deux, ce sont les **podzols humo-ferrugineux** de la CPCS (photos 36 et 37, p. 386).

Aux étages collinéen et montagnard, leur formation est liée, par rapport aux sols du premier type (§ II-31), à la présence d'une roche encore plus acide et/ou particulièrement pauvre en fer ou minéraux altérables, souvent plus caillouteuse et/ou sableuse, ou parfois à des conditions stationnelles plus sèches ayant permis une phase de dégradation, moins poussée cependant que celle signalée ci-dessous pour les sols à horizon BP induré. À l'étage subalpin, ces sols peuvent être climaciques, liés aux conditions climatiques défavorables à l'activité biologique (podzols subalpins).

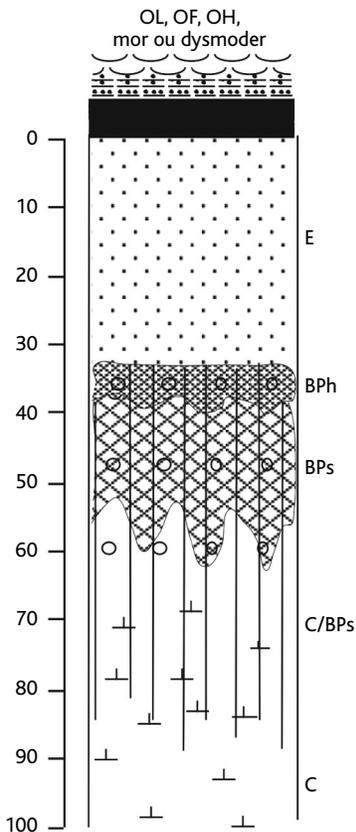
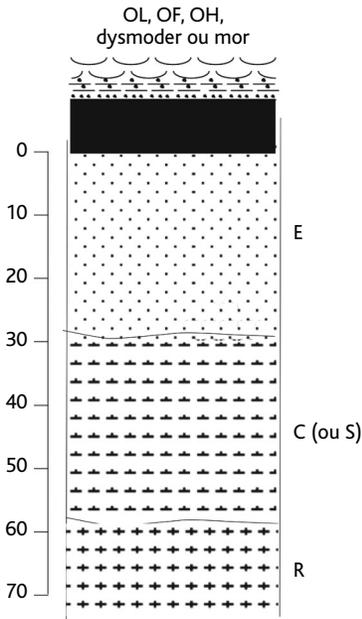


FIGURE 52 : Schématisation d'un Podzsol Meuble (podzol humo-ferrugineux)

II-33. Sols podzolisés à horizon E très blanchi et parfois infiltré de matière organique, mais pratiquement sans BPh ni BPs

Voir l'exemple 6 (p. 306) et figure 53 (ci-dessous).



La succession d'horizons est de type :

O / (A) / E / C / R.

Ce sont des **Podzols Éluyiques (sols humo-cendreux)** (photo 38, p. 386).

Ces sols sont souvent de texture grossière et développés en haut de versants à pente relativement forte ; ils reposent sur des roches-mères pauvres et dures, peu profondes et peu fragmentées.

Leur situation topographique explique que la migration du fer, de l'aluminium et de la matière organique se soit faite latéralement le long du versant et non verticalement. La formation des horizons BP est donc reportée à l'aval, plus ou moins loin du sol qui a subi l'éluviation.

FIGURE 53 : Schématisation d'un Podzsol Éluyique (sol humo-cendreau)

II-34. Sols podzolisés à horizons BP indurés

Voir les exemples 7 (p. 308) et 8 (p. 309).

Le profil est le même que celui des sols podzolisés très différenciés (§ II-32 ci-dessus), mais il comprend un ou deux horizons BP indurés par cimentation des particules minérales par la matière organique ou par les hydroxydes de fer et d'aluminium. Ces horizons deviennent alors peu ou non pénétrables par les racines, ce qui crée sur ces sols des conditions très sèches. Les horizons indurés sont appelés "alios" dans les Landes de Gascogne, mais ce terme peut être utilisé de manière plus générale pour ce type d'horizons.

Les sols sont des **Podzols Duriques (podzols humo-ferrugineux** pour la CPCS, sans distinction entre indurés et non indurés).

L'induration a souvent pour origine une **forte accumulation** de matière organique et/ou d'hydroxydes de fer à ce niveau. Ce sont alors des podzols "secondaires", qui se sont développés dans des zones de plaine ou de basse montagne. La dégradation du manteau forestier feuillu, liée il y a plusieurs centaines ou milliers d'années à des défrichements, des difficultés de régénération ou à des incendies, a conduit, dans ces stations, au remplacement de la forêt par des landes à Callune, parfois plus ou moins pâturées. Cette phase d'envahissement par la Callune a été la cause de migration de quantités importantes de matière organique à travers le sol. Celle-ci a conduit à la constitution d'horizons BPh épais et souvent cimentés, souvent au-dessus d'un horizon BPs antérieurement développé lors d'un processus de podzolisation sous feuillus. Ce fut le cas par exemple en Sologne (stations sèches) et en forêt de Fontainebleau, ou sur grès armoricain en Bretagne, et plus encore sur des formations sablo-graveleuses tertiaires dans l'Ouest de la France. Les reboisements en Pin sylvestre, qui ont généralement succédé au XIX^e siècle à la phase à Callune ou ont parfois remplacé directement la chênaie, ont continué à favoriser le processus de podzolisation.

L'induration peut également être liée à des **apports d'eau** contenant en solution des sels de fer qui précipitent au contact de BP lorsque l'eau de la nappe s'évapore. Il peut s'agir de nappes étendues et

superficielles comme dans les Landes (exemple 8, p. 309), ou de nappes de versant qui s'écoulent à une rupture de pente, comme dans certaines forêts de l'Ouest (Bercé par exemple). Il s'agit alors souvent de podzols hydromorphes qui sont traités dans d'autres chapitres (cf. § II-35 ci-dessous), mais il se peut aussi que la nappe se soit abaissée (par drainage par exemple dans les Landes de Gascogne) et que l'induration subsiste sans engorgement actuel.

II-35. Sols podzolisés hydromorphes

Certains sols podzolisés peuvent présenter une **hydromorphie relativement profonde**, les caractères des horizons profonds étant modifiés par une nappe permanente (apparition à grande profondeur d'un horizon réductique Go et/ou Gr) (photo 39, p. 387 et figure 55, ci-dessous) ou par une nappe temporaire (apparition à plus de 25 cm d'un horizon rédoxique g, voir exemple 3, p. 300 et figure 54, ci-dessous). Cette hydromorphie est accompagnée parfois par la présence d'un horizon Eh noir (à ne pas confondre avec BP) témoin de périodes plus engorgées (voir chapitre 2B) (photo 40, p. 387). Mais, dans ce chapitre, l'engorgement ne concerne qu'au plus les horizons BP, à l'exclusion de E. Les sols podzolisés à horizons fortement différenciés qui ont, en outre, des contraintes fortes d'engorgement, permanent ou temporaire, à un niveau relativement superficiel, sont renvoyés respectivement aux chapitres 2A (contrainte forte d'engorgement permanent), 2B (contrainte plus faible d'engorgement permanent) et 3 (contrainte d'engorgement temporaire).

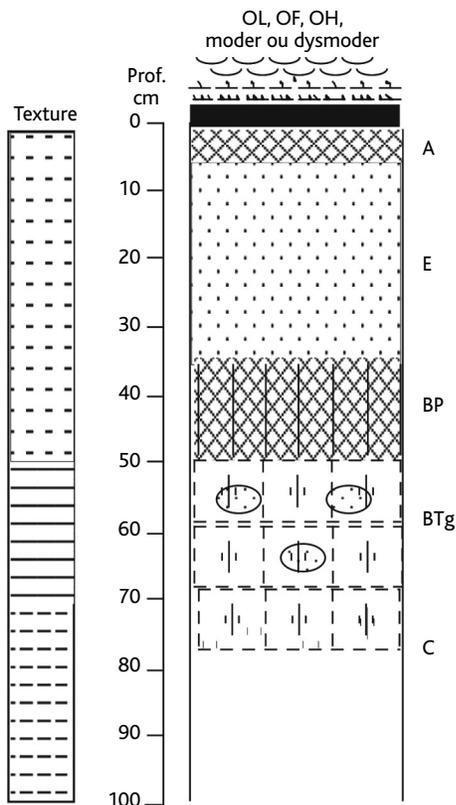


FIGURE 54 : Schématisation d'un Podzsol Meuble rédoxique (sol podzologique à pseudo-gley) sur ancien sol lessivé

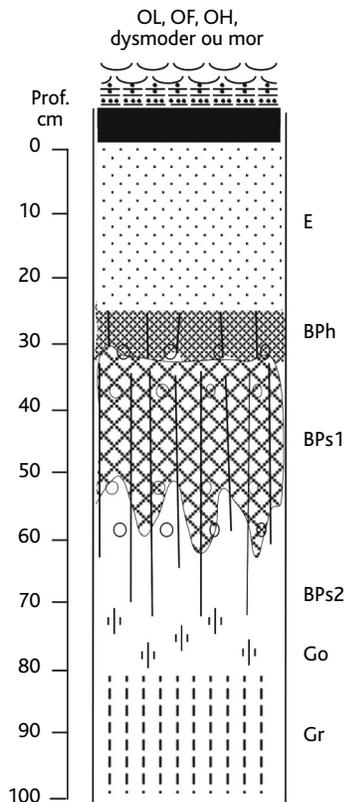


FIGURE 55 : Schématisation d'un Podzsol Meuble réductique (podzol humo-ferrugineux à gley)

III. CONTRAINTES GÉNÉRALES POUR LES ARBRES

Ces sols sont soumis à deux types de contraintes, le manque de réserve en eau et la pauvreté minérale. Ces contraintes sont plus ou moins prononcées selon le type de sol concerné.

III-1. Contraintes hydriques

Les sols podzolisés sont réputés comme ayant fréquemment une **faible** réserve utile maximale (**RUM**) en eau. Ceci résulte de textures qui sont très souvent initialement sableuses, et est aggravé par la destruction des argiles en E, et éventuellement par une pierrosité élevée. La faiblesse de la RUM est spécialement sévère dans les sols à horizon BP induré, ou dans les sols podzolisés peu épais, en raison de la faible profondeur de sol prospecté par les racines.

Mais, inversement, la texture sableuse peut être compensée par une très grande profondeur prospectable dans des matériaux sableux aérés : c'est le cas par exemple sur sables de Fontainebleau où la prospection atteint parfois plus de quatre mètres de profondeur, assurant ainsi une réserve maximale de plus de 250 mm à l'arbre adulte. De même, dans les sols podzolisés secondaires développés à partir d'anciens sols lessivés, la texture est plus fine et, comme en général ces sols podzolisés ne sont pas indurés, l'ancien BT plus argileux reste accessible aux racines : la réserve maximale est alors convenable. Les sols podzolisés issus de gaize (Argonne) ont également une texture limoneuse et donc de meilleurs réservoirs en eau (à profondeur égale).

III-2. Contraintes trophiques

Dans tous les cas, les **teneurs** du sol en éléments nutritifs assimilables sont faibles et, bien que ces éléments soient facilement cédés par un complexe adsorbant peu développé, les arbres ont des difficultés à trouver leur alimentation. Ces contraintes nutritionnelles sont atténuées si la pénétrabilité du profil est bonne et permet aux racines de prospecter un volume de sol important, ou, surtout, lorsqu'il existe en profondeur une couche plus riche (argile ou même parfois calcaire, comme par exemple en forêt de Fontainebleau ou en forêt de Compiègne). Cette contrainte minérale peut au contraire être accentuée par une forte pierrosité ou par une épaisseur limitée due à une induration ou à la présence d'une roche cohérente, entraînant de très faibles **stocks** d'éléments minéraux à l'hectare.

La faible saturation en **cations nutritifs échangeables** (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+) induit des difficultés d'alimentation minérale dues, comme on l'a vu, à la pauvreté en ces éléments, mais aussi à la grande abondance d' **Al^{+++} échangeable**. Cette forme d'aluminium agit, en effet, d'une part par antagonisme d'absorption par les plantes, et d'autre part en empêchant les éléments nutritifs libérés lors de la minéralisation de se fixer sur le complexe adsorbant. Sa grande abondance peut en outre le rendre toxique (voir chapitre 1 de la première partie). Les difficultés d'alimentation concernent surtout le calcium et le magnésium.

De plus, la minéralisation lente de l'humus provoque une immobilisation dans les horizons holorganiques, pendant plusieurs années ou même dizaines d'années, des éléments nutritifs qui avaient été ramenés au sol par la litière (grâce au cycle biologique). Cela a pour conséquence de réduire encore les réserves biodisponibles, qui sont souvent à peine plus élevées que les quantités que devrait normalement prélever annuellement un peuplement de production correcte.

Le faible taux de minéralisation de la matière organique entraîne plus particulièrement des difficultés d'alimentation en **azote**, difficultés qui tiennent bien sûr à une faible production d'azote minéral (sous forme ammoniacale NH_4^+), mais aussi à une faible nitrification de ce NH_4^+ . Cette contrainte d'alimentation azotée est souvent plus nette que pour Ca, Mg ou K, car ces derniers cations sont en partie présents dans les horizons OH ou même OF sous forme échangeable et donc assimilable.

Mais il est des cas où la contrainte en **phosphore** domine encore largement la contrainte en azote. En effet, cet élément est, sur ces types de roches, essentiellement présent sous forme organique dans les litières (comme l'azote), et de surcroît très fortement insolubilisé dans les horizons minéraux sous forme de phosphates d'aluminium, en raison de l'abondance d'aluminium échangeable Al^{+++} . Celui-ci provoque en outre la régression de la mycorhization indispensable à une bonne nutrition en phosphore ; les champignons mycorhiziens sont supplantés par une "microflore délétère" de champignons microscopiques et l'alimentation minérale est rendue plus difficile (Devêvre *et al.*, 1994). À noter aussi l'émission, par les racines de la Callune, fréquente sur ces types de sols, de composés organiques antagonistes (Handley, 1961) qui empêchent l'implantation des champignons mycorhiziens de certaines espèces de reboisement à l'état juvénile (Douglas, Épicéa) (Le Tacon *et al.*, 1984). Cette prédominance de la contrainte d'alimentation en phosphore par rapport à la contrainte azotée est typique dans les sols landais, dont le matériau initial est déjà excessivement pauvre en P.

IV. FRAGILITÉ DES SOLS ET MISE EN VALEUR

IV-1. Mesures générales favorisant ou préservant le potentiel nutritionnel des sols

Les contraintes physiques, faible réserve en eau ou induration des horizons BP, ne sont guère modifiables. Les contraintes de nutrition vont par contre conduire le gestionnaire à adopter un certain nombre de règles :

— **dans le cadre d'une gestion durable** destinée à conserver, à long terme, le potentiel nutritionnel de ces écosystèmes très fragiles sur le plan trophique, il conviendra, pour l'ensemble des sols du chapitre, d'adopter des mesures tendant à :

- éviter la perte excessive d'éléments nutritifs du sol (points a et b ci-dessous),
- favoriser le cycle biologique par amélioration de l'humus (point c),
- voire, dans certains cas, compenser la perte d'éléments nutritifs conduisant à un appauvrissement inexorable des réserves (particulièrement calciques et magnésiennes), afin de rééquilibrer à moyen terme les "entrées et sorties" de l'écosystème (amendements, point d) ;

— **dans le cadre de la recherche d'une amélioration des conditions de production** actuelles (sylviculture intensive), il sera indispensable d'effectuer un apport d'éléments nutritifs (fertilisation, point e).

Les conseils suivants peuvent donc être avancés :

- a) **Minimiser les pertes minérales** liées à l'exportation des produits de la forêt.

Dans des conditions très peu productives en particulier, il peut s'agir de renoncer à l'exploitation des bois et laisser la totalité de la biomasse végétale retourner au sol.

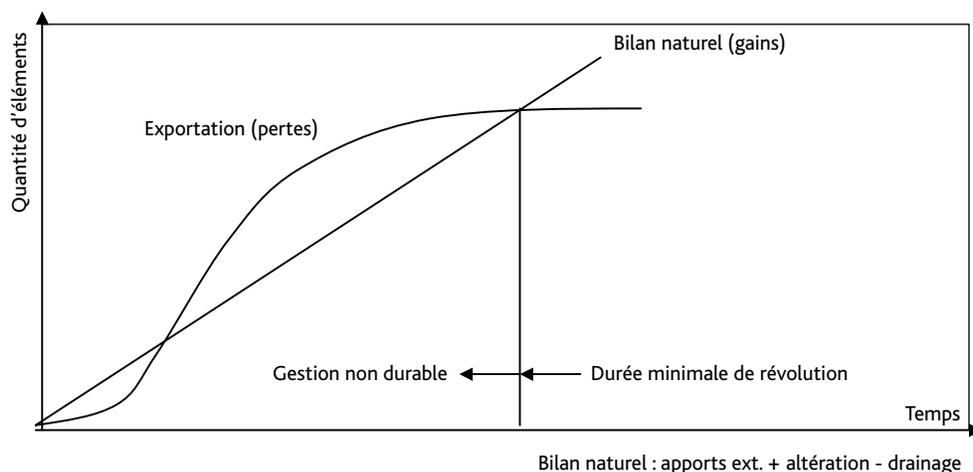
En cas d'exploitation, il convient :

— de pratiquer une sylviculture économe qui n'exporte que des grumes, si possible écorcées (ou avec restitution sur l'ensemble du parterre de la coupe des écorces après broyage). On proscriera en particulier l'exportation des rémanents d'exploitation ;

— de pratiquer des révolutions longues (réduire les exportations dans les phases juvéniles) permettant, pendant une grande partie de la révolution, de faire fonctionner l'écosystème dans sa phase la plus économique et d'atteindre la "*révolution écologique*" (voir figure 56, p. 289), c'est-à-dire une révolution suffisamment longue pour que les apports d'éléments (altération, atmosphère), supposés constants chaque année au cours de la révolution, finissent par compenser la consommation du peuplement, d'abord élevée quand il est jeune, puis de plus en plus réduite lorsqu'il vieillit. Autrement dit, conduire le peuplement jusqu'à un âge suffisant pour que les bilans positifs de fin de révolution équilibrent les bilans négatifs du début. Noter toutefois que d'autres contraintes, comme par exemple les risques liés aux tempêtes, poussent au contraire, en futaie régulière, à un raccourcissement des révolutions.

D'une manière générale, il faut penser également que toute substitution d'essences se traduisant par une augmentation de la productivité augmente en même temps les exportations minérales.

FIGURE 56 : Illustration de la notion de révolution écologique



b) Veiller à ne pas perdre les éléments stockés dans les couches holorganiques ou les rémanents, que ce soit par exploitation de la terre de bruyère, piétinement et érosion, exploitation forestière ou travail du sol mal conduits.

Il faut proscrire absolument l'enlèvement de "terre de bruyère" (horizons O), qui correspond cependant à une demande du marché, à moins de restituer, sous forme d'engrais ou d'amendements, les quantités d'éléments enlevées (Bonneau, 1986). Toutefois, cette pratique compensatoire ne restitue pas la matière organique elle-même. Elle peut par exemple conduire à des baisses de la biodiversité au sein de ces sols.

Il faut éviter l'**andainage**, dont le résultat est de concentrer sur des zones réduites les éléments minéraux qui seront libérés par la minéralisation des rémanents, et ainsi favoriser leur perte par les eaux de drainage. De plus, l'andainage a souvent comme conséquence un décapage au moins partiel des horizons O, voire même en cas de chantier très mal conduit, d'une partie des horizons A, ce qui serait catastrophique. Pour les mêmes raisons, le brûlage des rémanents est à éviter (perte du carbone et de l'azote libérés sous forme gazeuse).

Des **travaux** du sol **trop intenses** favoriseraient une minéralisation accélérée des horizons organiques et donc, là aussi, des pertes par lixiviation (entraînement dans les eaux de drainage), surtout dans le cas de sols à faible capacité d'échange (CEC). En cas de plantations, il faut donc préférer un travail du sol par potets ou par bandes étroites. Les couches holorganiques sont souvent gênantes pour les régénérations naturelles, de Pins par exemple, et l'on peut être tenté de les enfouir par un travail du sol en plein. Mais ce dernier risque de favoriser la minéralisation de ces horizons dans les premières années qui suivent le travail du sol, à un moment où le jeune peuplement est encore loin d'occuper la totalité du sol, tant en surface qu'en profondeur. Les éléments minéralisés et non consommés vont donc être perdus par lixiviation. Pour l'éviter, il vaudrait mieux travailler le sol par bandes étroites, et laisser intact l'interbande. Ce système a été réellement pratiqué. Par exemple en forêt de Roumare, près de Rouen, la régénération naturelle du Pin sylvestre s'est pratiquée par ouverture de raies à la charrue décapreuse, mettant à nu l'horizon E. Il est actuellement pratiqué dans les Vosges. Les semis germent en abondance sur ce sable nu. L'espace entre raies accumule les couches O laissées en place et celles rejetées de la raie de décapage, donc l'intégralité des réserves minérales. Un système analogue, mais moins intégralement conservateur, s'est pratiqué dans les Landes jusque vers 1970.

Certains auteurs préconisent cependant d'incorporer les couches holorganiques au sol minéral par labour lorsque les conditions topographiques le permettent. Ils estiment que la minéralisation ne sera pas rapide et que les pertes d'éléments nutritifs par lessivage resteront limitées. Seules des expérimentations précises permettraient de valider l'un ou l'autre de ces points de vue opposés.

c) **Essayer d'améliorer le cycle biologique.**

Les **Pins**, essences particulièrement frugales et souvent présentes sur les sols podzolisés, sont en ce sens peu favorables à cause de la mauvaise qualité de leurs litières. Leur couvert léger permet cependant de favoriser le mélange, soit avec des essences comme, selon les conditions climatiques, le Chêne sessile, le Hêtre, le Sapin, à litière de meilleure qualité, soit de feuillus de deuxième grandeur ou de mort bois (Sorbier des oiseleurs, Bouleaux, etc.), ou si possible des légumineuses (Sarotamne, Genêts, Ajoncs, ...). Le dosage de la lumière est cependant délicat car le mélange d'essences doit assurer un couvert suffisant pour empêcher les *Ericacées* héliophiles (Bruyères, Callune, Myrtille) d'envahir les parcelles. Le sous-bois peut également, dans certaines régions, représenter un risque d'incendies. L'Épicéa est encore plus dégradant que les Pins puisqu'à une litière défavorable il ajoute, dans les conditions de sylviculture les plus fréquemment rencontrées, un couvert important qui, s'il s'oppose aux espèces héliophiles, n'en est pas moins extrêmement défavorable à l'activité biologique et au mélange spontané d'espèces.

Des peuplements ne comportant que des **feuillus** ou des résineux peu dégradants pourront et devront être favorisés au maximum lorsque cela sera possible, c'est-à-dire là où le réservoir utile en eau est le moins faible.

Par ailleurs, l'apport d'amendements conseillé au paragraphe d) ci-dessous peut favoriser l'activité des microorganismes et un retour de l'humus vers un état plus actif, notamment si on le renouvelle en plein après quelques années.

d) **Lorsque des sols à réserves extrêmement faibles** se trouvent dans des conditions de pollution acidifiante importantes, leurs réserves minérales s'amenuisent irrémédiablement, même avec des règles de gestion des peuplements peu exportatrices. Cela peut conduire à l'apparition de déséquilibres importants des écosystèmes forestiers et aquatiques, et des dépérissements des peuplements en place. Le sylviculteur a alors tout intérêt à prévenir cette catastrophe en restaurant le statut chimique de ces sols, par exemple par épandage d'amendements calciques et magnésiens.

C'est ce que l'on peut observer sur les granites les plus pauvres des Vosges ou sur les schistes de l'Ardenne primaire. À Aubure par exemple (sur granite leucocrate du massif vosgien), le déficit dans un peuplement d'épicéas a été évalué à environ 9 kg/ha/an pour le calcium (Dambrine *et al.*, 1997), pour un stock assimilable dans le sol ne dépassant pas actuellement 100 à 200 kg par hectare. Les travaux effectués dans le cadre des recherches sur le dépérissement, dans les années 1980, ont montré que le jaunissement des peuplements de Sapin et d'Épicéa des Vosges et des Ardennes allait de pair avec une faible nutrition magnésienne et calcique (Landmann *et al.*, 1987) et pouvait en grande partie être corrigé par épandage de dolomie. Des essais sont actuellement en cours sur trois bassins versants des Vosges afin d'étudier les conséquences de ces chaulages sur l'ensemble de l'écosystème, y compris sur la qualité des eaux des rivières.

e) **Dans l'objectif d'une sylviculture intensive**, favoriser l'alimentation minérale des peuplements par une fertilisation rationnelle.

Le forestier peut faire le choix, sur ce type de sol, d'une culture d'essences à forte production, mais, dans ce cas, une fertilisation complémentaire est indispensable. Celle-ci sera d'autant plus efficace que le sol est plus pauvre chimiquement. Elle dépendra évidemment des contraintes propres à la station considérée (déterminées par analyse foliaires et de sol). Un apport sera indispensable en cas de carence ; il sera utile en cas de simple déficit dans le cadre d'une sylviculture intensive.

Globalement, la fertilisation concerne essentiellement phosphore, potassium et magnésium dès que le jeune peuplement est en place, azote un peu plus tard, dolomie broyée (Ca et Mg) et azote avant fermeture du couvert. De plus, en cours de révolution, il est bon d'apporter, périodiquement (tous les 30 ans environ), sur les sols les plus pauvres, des éléments minéraux pour couvrir les immobilisations dans la biomasse. On peut suggérer, en moyenne par hectare, 30 kg de P_2O_5 , 30 kg de K_2O , 200 kg de CaO et MgO et 100 kg d'azote tous les 20 ans, doses à aménager suivant les caractéristiques d'alimentation minérale du peuplement qu'on peut déterminer par analyse foliaire. Mais il ne faut pas oublier que cette fertilisation ne sera rentable sur le plan économique que si une contrainte hydrique très prononcée ne s'oppose pas à une croissance convenable des peuplements.

Pour toute précision sur l'ensemble de ces apports minéraux, on consultera l'ouvrage de M. Bonneau (1995) sur la fertilisation des forêts.

IV-2. Mise en valeur en fonction des contraintes réelles

IV-21. Les sols podzolisés non subalpins à contrainte hydrique modérée

Il s'agit pour bon nombre d'entre eux :

— des sols limoneux, rencontrés essentiellement à l'étage collinéen : soit issus de gaize (Argonne) ou de schistes (Ardennes, Massif armoricain, etc.), soit issus de podzolisation secondaire sur sols lessivés à horizon argileux profond, souvent au moins partiellement prospectable ;

— des sols sableux épais et peu caillouteux, issus de sables acides (forêt de l'Ile-de-France), ou de sols plus caillouteux mais à grande profondeur prospectable (grès ou quartzites de l'étage collinéen, formations à silex) ;

— des sols de l'étage montagnard issus de roche cristalline ou volcanique acide, présentant des arènes souvent épaisses (mais ces sols relèvent le plus souvent du chapitre 6) ;

— des sols de l'étage montagnard issus de grès ou quartzites, en situation fraîche car, en exposition chaude, les sols sont le plus souvent beaucoup moins épais et plus caillouteux.

Le plus souvent, mais non exclusivement, il s'agit de sols à horizons de podzolisation peu contrastés décrits plus haut au § II-31 (sols podzoliques), et donc dans lesquels les contraintes trophiques peuvent être un peu moins fortes du fait du moins grand blocage de la matière organique. Cependant, il existe des matériaux très sensibles à la podzolisation (car pauvres en fer et en argile), et donc à profil contrasté (§ II-32), dont les réserves en éléments nutritifs sont supérieures à celles de matériaux moins fortement podzolisés : il n'est pas possible de faire un parallélisme parfait entre degré de podzolisation et nutrition ; l'examen des humus et l'analyse chimique sont nécessaires à un diagnostic précis.

Les recommandations générales visant à éviter la perte d'éléments nutritifs présents dans le sol et accélérer le cycle biologique (§ IV-1) restent néanmoins valables ici et devront être prises en compte lors de l'aménagement des forêts sur ces types de sols.

Comme pour la plupart des sols traités dans ce chapitre, des amendements pourront être utiles, voire une fertilisation en cas de choix d'une sylviculture intensive.

Les essences présentes sont bien sûr toutes frugales en éléments minéraux, et se répartissent selon les conditions du climat général : Chêne sessile, Hêtre, Sapin, Épicéa, Alisier blanc, Alisier torminal, Bouleau verruqueux, etc.

À l'**étage collinéen**, le Chêne sessile sera le meilleur feuillu sur les sols limoneux épais, d'autant que ceux-ci présentent souvent des engorgements, au moins en profondeur, préjudiciables à l'enracinement et la stabilité du Hêtre. Les chênaies-hêtraies ou les chênaies sessiliflores sont bien représentées sur ces sols dans les forêts d'Ile-de-France, de la Région Centre, des Pays de Loire. Dans ces dernières, la chênaie sessiliflore se mélange judicieusement et progressivement, sous l'influence du forestier, à du Pin sylvestre ou maritime au fur et à mesure que la contrainte de sécheresse ou d'engorgement augmente. Cependant, la qualité du Chêne et du Hêtre sera très liée au niveau trophique et parfois au niveau de dégradation podzologique : c'est ainsi que le Chêne est très sensible à la gélivure sur sol fortement désaturé ; par ailleurs, Brêthes (1984), dans le catalogue des stations de Haute-Normandie, distingue des stations à sol podzolisé de deux sous-types : à flore mésotrophe, dans lesquels le Chêne sessile a une production et une qualité intéressantes, et à flore acidiphile, où il ne donne pas de produits économiquement valables. Les chênaies - hêtraies sur sables soufflés de l'Ile-de-France profitent, sur certaines stations, à la fois de la grande épaisseur des sables (prospectables sur plusieurs mètres) et de la présence de calcaire en profondeur, assurant très probablement un "complément nutritionnel" aux peuplements adultes et contribuant à alimenter le cycle biochimique (Robin, 1993) : c'est ainsi que les hêtraies sur podzol de la forêt de Compiègne sont de très belle venue !

À l'**étage montagnard** des montagnes humides, le Sapin, accompagné du Hêtre, est tout à fait à sa place sur ces types de sols bien alimentés en eau, mais il est absent généralement des expositions chaudes. Les structures irrégulières souvent rencontrées dans ces milieux sont très favorables au mélange d'essences et à l'activité biologique.

Dans les climats à atmosphère sèche et à bonne luminosité, le Mélèze est capable de fournir de beaux peuplements produisant un bois de qualité. En plus de l'étage subalpin, où il est autochtone (mais voir paragraphe IV-23), il est utilisable dans l'étage montagnard, de préférence aux ubacs (Jacamon, 2002).

La palette d'**essences résineuses** de reboisement (auxquelles il faudra faire appel en cas de forte contrainte nutritionnelle) peut être importante sur ces types de sols, car bon nombre sont peu exigeantes en éléments minéraux. Mais bon nombre également, citées précédemment (Pin sylvestre, Pin maritime, Épicéa), sont peu favorables à une bonne biodégradation et on ne peut que conseiller, dans ces cas, de laisser la place aux essences feuillues ou les favoriser en accompagnement.

Le **Douglas** n'a pas cet inconvénient. Son enracinement fin utilise bien les possibilités des sols sableux ou limoneux non compactés (De Champs *et al.*, 1985). Il peut être employé en climat bien arrosé si l'altitude n'est pas trop élevée (étage montagnard inférieur et moyen, tout comme au collinéen sous climat atlantique). Mais, dans un souci de gestion durable, il devra paradoxalement être mené par des sylvicultures relativement intensives : il faudra proscrire les sylvicultures peu dynamiques ne permettant pas, à cause du couvert dense, le mélange d'essences, mais éviter aussi les exploitations d'arbres jeunes dont les fortes exportations ne seraient pas compensées par des apports fertilisants.

Parmi les **Pins**, sans doute le Pin laricio pourrait-il convenir aussi, mais son couvert est plus dense que celui du Pin sylvestre et, dans les mélanges avec les feuillus, il concurrence davantage le Chêne pour la lumière dans les phases de jeunesse.

Le Chêne rouge pourrait être utilisé, mais son statut d'invasive tend à le faire écarter.

Dans les **montagnes méditerranéennes**, le Pin laricio de Corse, le Pin sylvestre, le Pin de Salzmann, le Cèdre de l'Atlas et le Sapin de Nordmann sont assez bien adaptés dans la partie supérieure de l'étage supraméditerranéen et à l'étage montagnard méditerranéen. À l'étage montagnard méditerranéen et au subalpin méditerranéen (oro-méditerranéen), le Pin à crochets, le Pin sylvestre et, dans les stations les plus humides, l'Épicéa ou le Sapin pectiné, conviennent bien. Toutes ces essences sont capables d'assurer une production intéressante en qualité et quantité. Le mélange cultural de feuillus reste conseillé et le Hêtre peut convenir à partir de l'étage montagnard méditerranéen. Dans les étages inférieurs, il faut recourir à des espèces plus xérophiles : Châtaignier et Aulne à feuilles en cœur, Chêne pubescent au supra-méditerranéen.

Voir les exemples 1 (p. 296), 2 (p. 298) et 3 (p. 300).

IV-22. Les sols podzolisés non subalpins à contrainte hydrique élevée

Il s'agit de sols généralement sableux et/ou fortement caillouteux, souvent dans les conditions suivantes :

— sols de l'étage collinéen issus de matériaux très caillouteux et/ou peu épais et/ou sur sables grossiers : grès ou quartzites, alluvions anciennes, épandages tertiaires sableux, etc. Il peut s'agir aussi de sols sur formations limoneuses (texture de limon ou de limon sableux) à très forte charge en silex. Lorsque le pourcentage d'éléments grossiers dépasse 40 % en volume dès la surface, on se reportera en outre au chapitre 8 ;

— sols de pente à roche proche de la surface, sans horizon BP marqué (Podzols Éluviés = podzols humo-cendrés, décrits au § II-33) ;

— sols à horizon BP induré suite à une phase de dégradation (décrits au § II-34) (les sols à BP induré à nappe permanente sont traités aux chapitres 2A et 2B).

Dans le premier cas, il s'agit le plus souvent de sols à profil très contrasté (podzols *sensu stricto*, décrits au § II-32) car, on l'a vu, les conditions de sécheresse ont pu amener facilement, à l'époque historique, à des phases de dégradation à landes à Éricacées, dont l'évolution extrême conduit à l'induration des sols du troisième cas. Ce peut être, comme par exemple dans les Vosges gréseuses, les sols des versants exposés au sud, où une exposition sèche se conjugue avec une charge en cailloux et une épaisseur plus défavorables. Les conditions hydriques sont extrêmes dans le cas des sols à alios, où la réserve utilisable maximale peut ne pas dépasser une trentaine de millimètres (voir aussi le chapitre 9, § VI).

Les deux **contraintes** que subissent les arbres sont donc particulièrement **marquées** dans ces stations. En effet, les conditions nutritionnelles ont toutes chances d'être, tout comme les conditions hydriques, plus sévères encore que précédemment : car le volume de sol prospecté est plus faible, et donc également le stock d'éléments assimilables disponible, et car, dans le cas des sols plus dégradés, la minéralisation des matières organiques est encore plus faible.

Outre les mesures générales préconisées pour éviter une dégradation du statut nutritionnel des sols, amendement ou fertilisation pourront être très efficaces sur ces sols et indispensables en cas de choix d'une sylviculture intensive (cf. § IV-1) ; mais si la contrainte hydrique est trop forte (on peut avancer de l'ordre de RUM < 60 mm en plaine) et limite fortement la production, même celle des espèces frugales, l'intérêt économique de la fertilisation pourra disparaître. Dans les Landes de Gascogne, la croissance du Pin maritime bénéficie de la fertilisation phosphatée autant sur sols à alios que sur sol à BP meuble, mais en valeur relative, compte tenu de la réduction de production causée par le manque d'eau.

Excellents terrains de chasse car très claires, les forêts feuillues "naturelles", lorsqu'elles sont présentes sur ces stations, sont donc très peu productives, comme c'est le cas par exemple sur de grandes surfaces en Sologne. Mais ces types de sols ont été largement **enrésinés** à partir du XIX^e siècle, avec une utilisation importante du Pin sylvestre dans de nombreuses régions (Normandie, Ile-de-France, Vosges gréseuses) ou du Pin maritime plus au sud ou dans la région Ouest (Pays de Loire), avec des résultats tout à fait satisfaisants en termes de production dès lors que les provenances étaient contrôlées. Au montagnard supérieur, la forte pluviosité diminue les risques de sécheresse, et l'Épicéa peut éventuellement convenir, avec en mélange le Hêtre ou le Sapin en sous-étage.

Les précautions à prendre pour la sylviculture de résineux sont citées au § IV-1 et, dans tous les cas, le mélange de feuillus est à recommander. Sur le plan physique, on peut aussi penser à briser les horizons indurés par sous-solage, mais cela suppose qu'ils ne soient ni trop profonds, ni trop durs, ni trop épais, et que la topographie de la station permette l'emploi de tracteurs puissants. En fait, il n'y a guère d'exemples probants. Il faudrait d'ailleurs que des mesures additionnelles empêchent l'alios de se reformer. Ce dernier risque est toutefois beaucoup moins grand dans les podzols non soumis à nappe permanente que dans les podzols où cette nappe peut, par ascension capillaire de fer, provoquer une reconstitution rapide des alios.

Voir les exemples 4 (p. 302) à 8 (p. 309).

IV-23. Les sols podzolisés subalpins

Ces sols sont des cas particuliers de sols fortement podzolisés à horizons BP meubles (décrits au § II-32). La podzolisation est ici essentiellement climatique. Ce sont donc des podzols primaires. Ces sols se développent sous végétation de résineux et d'Éricacées, sur roches-mères non calcaires, ou éventuellement, sur roche calcaire, sur des replats ou des pentes faibles, où la décarbonatation et la décalcification ont pu se poursuivre, permettant ainsi la podzolisation. Ils se développent particulièrement dans les montagnes humides, mais sont présents dans tout l'arc alpin. L'effet de la végétation et celui du climat sont ici à leur maximum. Cependant l'horizon E, bien que très net, est peu épais (10 à 20 cm), ce qui s'explique par le fait que les roches-mères sont le plus souvent des granites, gneiss, schistes ou micaschistes, assez riches en fer et aluminium. Un autre facteur important de leur morphologie et de leurs propriétés est qu'il s'agit presque toujours de sols jeunes, constamment rajeunis par l'érosion, active en montagne.

L'humus est le plus souvent un dysmoder à horizon OH épais, ou même un mor.

La contrainte hydrique est faible, sauf si elle est liée à un gel profond du sol, car la pluviosité est la plupart du temps forte, le drainage climatique (P – ETP) important et les horizons du podzol facilement prospectables, ainsi que la roche-mère sous-jacente si elle est fragmentée. La contrainte d'alimentation minérale est également faible, dans la mesure où E est peu épais et les horizons BP meubles : sauf cas des grès quartzeux, les racines ont donc accès à une roche en altération contenant de substantielles réserves en éléments minéraux. Cependant, à cause du faible taux de minéralisation de la matière organique, l'alimentation azotée peut ne pas être optimale. Le choix des essences est limité par la rigueur du climat, ce dernier représentant la contrainte majeure. Il faut avoir recours aux espèces naturelles de l'étage subalpin : Pin à crochets, Épicéa, Pin cembro, Mélèze d'Europe et, comme feuillus associés, le Hêtre et l'Érable sycomore au subalpin inférieur et l'Érable sycomore et le Sorbier des oiseleurs au subalpin supérieur, éventuellement l'Aulne vert en station fraîche et humide.

Voir exemple 9 (p. 311).

V. CONCLUSION

Les sols podzolisés à horizons différenciés sont relativement variés. Si les horizons BP ne sont pas indurés, les contraintes hydriques peuvent rester compatibles avec un objectif de production, même pour des essences feuillues : si les Pins s'adaptent bien à ce type de sols, il ne faut pas oublier que le Chêne sessile et le Sapin pectiné devraient leur être préférés dans les sols les plus fertiles du groupe, si la texture n'est pas trop grossière. En cas d'induration des horizons BP, la fertilité est évidemment plus médiocre. Dans les cultures résineuses, un mélange de feuillus est souhaitable, en privilégiant, lorsque c'est possible, les espèces fixatrices d'azote et les espèces locales (mais privilégier aussi des éclaircies fortes pour limiter la concurrence pour l'eau). Au niveau des techniques d'installation, il est opportun de sauvegarder, autant que faire se peut, la réserve minérale des couches holorganiques, en évitant un travail du sol généralisé si l'on craint une minéralisation trop rapide de la matière organique enfouie (températures élevées, sol peu exposé à la dessiccation et à l'excès d'humidité) et si les racines du peuplement nouveau ne sont pas susceptibles de coloniser rapidement le sol en profondeur. Des amendements calco-magnésiens peuvent être indispensables pour préserver l'équilibre à moyen terme de ces écosystèmes ou aider l'activité biologique, et profiter aussi indirectement à la croissance des peuplements. En sylviculture intensive, une fertilisation, à adapter en fonction des analyses foliaires et de sol, pourra remédier à la pauvreté chimique générale et être très profitable.

BIBLIOGRAPHIE

- BONNEAU (M.), 1989. — À propos de l'enlèvement de terre de bruyère en forêt. — *Bulletin d'information des producteurs de bois des Pays de la Loire*, 18, pp. 1-2.
- BONNEAU (M.), 1995. — Fertilisation des forêts dans les pays tempérés. — Nancy : ENGREF. — 367 p.
- BONNEAU (M.), FAIVRE (P.), GURY (M.), HETIER (J.-M.), LE TACON (F.), 1978. — Carte pédologique de la France au 1/100 000, feuille de St-Dié. — Versailles : INRA. — 159 p.
- BONNEAU (M.), LANDMANN (G.), ADRIAN (M.), 1992. — La Fertilisation comme remède au dépérissement des forêts en sol acide : essais dans les Vosges. — *Revue forestière française*, vol. XLVI, n° 3, pp. 207-223.
- BRÊTHES (A.), 1984. — Catalogue des stations forestières du nord de la Haute-Normandie. — Office national des Forêts. — 433 p.
- DAMBRINE (E.), BONNEAU (M.), RANGER (J.), 1997. — Bilan minéral dans les écosystèmes : rêves et réalités. — *Compte rendu des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*, vol. 83, n° 6, pp. 141-149.
- DE CHAMPS (J.), TOUZET (G.), HEINRICH (J.-C.), 1985. — La Culture du Sapin de Douglas. — Nangis : Association Forêt Cellulose. — 178 p.
- DEVÈVRE (O.), GARBAYE (J.), ROQUEBERT (M.-F.), 1994. — Jaunissement de l'Épicéa commun sur sol acide dans les Vosges et champignons rhizosphériques. — *Revue forestière française*, vol. XLVI, n° 2, pp. 117-126.
- DUCHAUFOR (Ph.), BONNEAU (M.), DEBAZAC (E.-F.), PARDÉ (J.), 1961. — Types de forêt et aménagement : forêt de la Contrôlerie en Argonne. — *Annales de l'École nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et expériences*, vol. 18, n° 1, pp. 33-44.
- GELPE (J.), LEFROU (G.), 1986. — Essai de fertilisation minérale à Mimizan (Landes). Résultats après la 26^e année. — *Revue forestière française*, vol. XXXVIII, n° 4, pp. 394-400.
- GUILLET (B.), 1972. — Relations entre l'histoire de la végétation et la podzolisation dans les Vosges. — Université de Nancy I. — 112 p. (Thèse de Doctorat d'État).
- GUINAUDEAU (J.), ILLY (G.), MAUGÉ (J.-P.), DUMAS (P.), 1963. — Essai de fertilisation minérale sur Pin maritime à Mimizan (Landes). — *Annales de l'École nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et expériences forestières*, tome XXIII, n° 1, pp. 3-71.
- HANDLEY (W.R.), 1961. — Further evidence for the importance of residual leaf protein complexes in litter decomposition and the supply of nitrogen for plant growth. — *Plant and Soil*, vol. 15, n° 1, pp. 37-73.
- JACAMON (M.), 2002. — Guide de Dendrologie. — 4^e édition. — Nancy : ENGREF. — 349 p.

Chapitre 5 – Les sols podzolisés à profil fortement différencié

- JACTEL (H.), LUNG (B.), GOULARD (M.), 1998. — Rôle fonctionnel de la biodiversité dans la résistance d'un écosystème forestier aux insectes ravageurs et champignons pathogènes. — Rapport 1997-1998 au GIP ECOFOR. — 29 p.
- LANDMANN (G.), BONNEAU (M.), ADRIAN (M.), 1987. — Le Dépérissement du Sapin pectiné et de l'Épicéa commun dans le massif vosgien est-il en relation avec l'état nutritionnel des peuplements ? — *Revue forestière française*, vol. XXXIX, n° 1, pp. 5-11.
- LE TACON (F.), LAMOURE (D.), GUIMBERTEAU (J.), FICKET (C.), 1984. — Les symbiotes mycorhiziens de l'Épicéa commun et du Douglas dans le Limousin. — *Revue forestière française*, vol. XXXVI, n° 4, pp. 325-338.
- ROBIN (A.-M.), 1993. — Catalogue des principales stations forestières de la Forêt de Fontainebleau. — Université Pierre et Marie Curie ; Office national des Forêts. — 371 p.
- WILBERT (J.), 1978. — Carte pédologique de Lesparre. Carte pédologique de la France. — INRA – SESCO. — Notice 229 p.

Deuxième partie – À chaque sol sa forêt

Exemple 1 : Sol podzolisé à horizons E et BP nets mais peu contrastés, et meubles, issu de substrat très sableux. Voir § II-31 et IV-21.

Source : Carte pédologique de la France au 1/100 000, feuille de Saint-Dié (Bonneau *et al.*, 1978), profil 20.

Localisation : forêt domaniale de Rambervillers (Vosges), lieu-dit "les Grands Fins".

Conditions écologiques : altitude 310 m, versant exposé à l'ouest, pente de l'ordre de 35 %.

Matériau parental : colluvium de grès vosgien.

Peuplement : pineraie de 130 à 150 ans.

Végétation : *Leucobryum glaucum*, *Vaccinium myrtillus*.

Type de sol : Podzosol Meuble (RP), sol podzologique (CPCS).

Profil : (proche figure 51, p. 283)

	Forme d'humus : mor.
13-9 cm	OL : litière d'aiguilles peu transformées.
9-4 cm	OF : couche fibreuse, rougeâtre.
4-0 cm	OH : matière organique fine de couleur rougeâtre.
0-4 cm	E1 gris foncé, plus clair par places, assez riche en matière organique, sableux, structure fondue meuble.
4-17 cm	E2 gris clair avec bigarrures plus foncées, sableux, structure particulière avec légère tendance nuciforme.
17-28 cm	BPs1 bigarré gris et rouille, sableux, structure nuciforme très fragile.
28-70 cm	BPs2 ocre rouille avec taches de matière organique, sableux, structure identique à celle de l'horizon sus-jacent.
70-87 cm	BPs3 rouille, sableux avec quelques cailloux.
> 87 cm	C rosé, grès vosgien plus ou moins décomposé.

Analyses :

Horizon	Granulométrie (%)			C/N	MO (%)	pH eau
	A	L	S			
OH.....				42	68	3,6
E1.....	3	5	82	34	8	3,8
E2.....	4	5	88	45	2	3,9
BPs2.....	4	4	86	41	3	4,3
BPs3.....	5	7	82	26	3	4,5
C.....	3	6	90			4,3

Horizon	Éléments échangeables et CEC* (cmol+/kg)				100 S/T	Fer libre Deb (%)	Al libre Tamm (%)
	Ca++	Mg++	K+	CEC			
OH.....	4,5	1,52	0,86	75	9		
E1.....	1,0	0,32	0,21	19	8	0,16	0,7
E2.....	0,4	0,07	0,10	3	20	0,20	0,5
BPs2.....	0,2	0,05	0,07	10,3	3	0,37	3,5
BPs3.....	0,2	0,05	0,08	6	5	0,37	5,5
C.....	0,2	0,04	0,03	2	13	0,22	0,8

* méthode : mesure de CEC à pH7

Chapitre 5 – Les sols podzolisés à profil fortement différencié

Commentaires :

À cette exposition et sous le couvert des Pins, c'est un mor typique qui s'est développé. Le pH est extrêmement acide jusqu'à 30 cm de profondeur. Le C/N est très élevé dans tout le profil, bien que s'atténuant en BPs2. Les teneurs en calcium et magnésium sont très faibles, mais la teneur en potassium est bonne, compte tenu de la texture grossière. Le "ventre" d'aluminium en BP est bien net.

La pineraie est la seule mise en valeur possible. Il faudrait favoriser un mélange de feuillus (Alisier blanc, Bouleau verruqueux). Une fertilisation calcique et magnésienne (modérée car la capacité d'échange est faible) serait utile pour relever le taux de saturation de OH et améliorer les conditions de vie des micro-organismes. Mais la faible rétention d'eau utile de ce sol sera toujours l'obstacle principal à une évolution plus favorable de l'humus, bien qu'elle soit tempérée par le climat vosgien à pluviométrie assez forte et généralement bien répartie.

Exemple 2 : Sol podzolisé à horizons E et BP nets mais peu contrastés, et meubles, issu de limon sur argile à silex. Voir § II-31 et IV-21.

Source : *Catalogue des stations forestières du nord de la Haute-Normandie* (Brêthes, 1984), type de station 322.

Localisation : forêt domaniale de Verte (Seine-Maritime), parcelle 49.

Conditions écologiques : altitude 135 m. Haut de versant, exposition sud, pente 21 %.

Matériau parental : limon à silex sur argile à silex.

Peuplement : jeune futaie d'Épicéa avec un peu de Chêne sessile, de Bouleau pubescent et de Châtaignier.

Végétation : *Pteridium aquilinum*, *Dicranum scoparium*, *Mespilus germanica*, *Dicranella heteromalla*, *Lonicera periclymenum*, *Ilex aquifolium*, *Mnium ornum*.

Type de sol : Podzosol Meuble (RP), sol podzologique (CPCS).

Profil :

	Forme d'humus : mor.
5-0 cm	litière d'aiguilles peu épaisse passant rapidement à OF fibreux, peu humifié, brun-rouge puis à OH bien humifié, brun noir, particulière à nombreux silex.
0-5 cm	A liseré noirâtre (10 YR 3/1), peu épais, nombreux petits silex jusqu'à 5 cm, transition irrégulière.
5-10 cm	E grisâtre à gris clair (7,5 YR 5/2 puis 10 YR 4/1 à 5/1), limoneux à très forte charge en silex jusqu'à 10 cm de diamètre, structure grumeleuse à particulaire, meuble et aéré, enracinement abondant, transition irrégulière.
10-22 cm	BPh brun-chocolat (5 YR 4/3 à 5/3), limoneux à forte charge en silex, silex jusqu'à 12 cm de diamètre, recouverts d'une patine brun-chocolat, structure finement polyédrique, assez cohérent, bon enracinement, transition nette et ondulée.
22-50 cm	BPs d'abord brun clair (10 YR 6/6) - BPs1- puis brun jaunâtre (10 YR 6/4) - BPs 2, limoneux à forte charge en silex, structure finement grumeleuse, meuble, enracinement moyen, transition nette et ondulée.
50-65 cm	II BPs /C horizon de transition brun-rouge et brun-jaune (5 YR 5/6 à 7,5 YR 6/6), argileux à argilo-limoneux, forte charge en silex surtout gros, assez compact, enracinement faible, transition nette.
> 65 cm	II C argile brun-rouge (5 YR 5/6) et rouge-brique (2,5 YR 4/6), compact, structure polyédrique, nombreux gros silex, enracinement faible.

Analyse :

Voir tableaux, p. 299.

Commentaires :

C'est un bon exemple de sol podzologique développé sur formation limoneuse, mais les propriétés physiques et chimiques sont fortement altérées par l'abondance des silex. La persistance d'un C/N élevé en profondeur est caractéristique des sols podzolisés. Le pH est très bas et la teneur en calcium, magnésium et potassium est faible. L'horizon II C, encore un peu enraciné, argileux, plus riche et plus saturé, atténue un peu les

Chapitre 5 – Les sols podzolisés à profil fortement différencié

propriétés défavorables des horizons supérieurs. La pauvreté d'un tel sol est néanmoins grande. Les feuillus sont difficiles à réinstaller comme peuplement principal, mais doivent subsister en mélange. Le Pin sylvestre serait sans doute plus judicieux que l'Épicéa, en raison de sa plus grande tolérance à la sécheresse (le réservoir en eau utile n'est que de 60 à 70 mm) et de son couvert plus clair qui favorise la décomposition de l'humus. Ce dernier, réservoir essentiel d'éléments nutritifs, doit être attentivement préservé et amélioré progressivement par le mélange feuillu et la fertilisation. Pour une production soutenue, cette dernière est indispensable en tous éléments, à la plantation, à la fermeture du couvert et à plusieurs reprises au cours de la révolution, mais à doses modérées et fréquentes plutôt qu'à doses élevées et à grands intervalles de temps.

Horizon	Granulométrie (%)			C/N	MO (%)	pH eau
	A	L	S			
O-A				27	26,3	3,4
E	11,5	60,3	28,2	32	11,2	3,7
BPh.....	12,1	52,1	35,8	31	5,9	3,7
BPs1.....	12,9	54,0	33,1	27	2,6	4,3
BPs2.....	14,9	57,8	27,3			4,4
II C.....	54,9	8,7	36,4			4,4

Horizon	Éléments échangeables et CEC* (cmol+/kg)				100 S/T	P ₂ O ₅ ** (g/kg)	Fer libre Deb (%)
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	CEC			
O-A	2,0	0,26	0,19	29,6	8,3	0,07	
E	0,3	0,09	0,11	9,0	5,6		0,33
BPh.....	0,1	0,05	0,07	7,1	3,0		0,74
BPs1.....	0,1	0,02	0,05	3,8	4,4		0,68
BPs2.....	0,1	0,02	0,05	4,3	4,0	0,03	0,73
II C.....	2,7	0,63	0,20	15,8	22,4		1,37

* méthode : mesure de CEC à pH7

** méthode : Duchaufour

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cet ouvrage a pour objectif pratique de permettre au gestionnaire de **mettre en valeur** le mieux possible les **sols** et les stations forestières auxquels il s'intéresse. Mais il n'aura vraiment atteint le but fixé que s'il l'amène à mettre lui-même en évidence les contraintes auxquelles les arbres y sont soumis et à en tirer les conséquences en termes de gestion.

La prise en compte des facteurs du milieu ne se limite cependant pas aux caractéristiques du sol. En particulier, les **contextes bioclimatiques**, à l'origine de contraintes de températures ou de pluviosité, définissent des aires de répartition naturelle des espèces ou des limites d'introduction d'espèces non indigènes que le forestier sait prendre en compte. Mais actuellement, le gestionnaire doit aussi raisonner en termes d'**environnement changeant** : augmentation des températures, diminution des pluies estivales et aggravation des déficits hydriques, augmentation de productivité et donc augmentation de la demande en eau et en éléments minéraux, sont les éventualités les plus avancées actuellement. La prise en compte du sol, que nous avons toujours intégrée dans des conditions méso- et topoclimatiques, doit maintenant se faire en regardant aussi vers l'avenir. Non pour changer radicalement les options sylvicoles, mais pour minimiser les risques éventuels. Ce n'est certainement pas le recours systématique à des essences allochtones qui est actuellement considéré comme la méthode la plus apte à minimiser ces risques, le comportement de ces essences n'étant pas forcément le mieux connu ou, surtout, le mieux prévisible. Devant l'incertitude de l'ampleur des changements, devant le manque de connaissances sur la capacité de résistance des espèces ou de réaction et d'adaptation des peuplements, la prudence oriente actuellement vers la diversité des essences (essences introduites comprises) et vers certaines options sylvicoles, encore débattues, telles que, par exemple, la diminution de densité des peuplements (partage de l'eau disponible entre un nombre plus réduit d'individus). La notion d'aménagement forestier pourrait elle-même en être bouleversée, en orientant désormais vers des aménagements à plus court terme, "ajustables" selon l'observation des peuplements et de leur capacité de réaction face aux événements.

Dans ce contexte, l'approche du sol par l'analyse des facteurs du milieu et par **type de contrainte**, que nous avons préconisée, est certainement la meilleure, car elle permettra toujours au gestionnaire une adaptation aux changements. Un réservoir en eau donné n'aura cependant certainement plus la même signification dans quelques décennies, de la même façon qu'il n'a actuellement pas la même signification dans le Sud-Ouest et le Nord-Est de notre pays. Aussi, si la prise en compte des changements amorcés, mais de conséquences encore inconnues, n'a pu être faite dans nos préconisations, celle-ci sera toujours possible à l'avenir à partir des analyses du milieu réalisées.

Nous avons vu que l'état chimique de certains **sols hyperacides** nécessitait une surveillance, voire un "redressement" par amendements calco-magnésiens afin qu'il ne conduise pas à des dépérissements massifs. Ces dernières opérations, nécessaires suite aux surexploitations passées ou suite aux apports atmosphériques acidifiants liés aux activités humaines, doivent être conduites avec précaution, et des recherches et expérimentations sont ainsi orientées vers la mesure de leurs impacts possibles sur l'environnement. Les résultats actuels sont encourageants et permettent d'envisager, par l'utilisation de

Conclusion générale

doses modérées (moins de trois tonnes de CaCO_3 à l'hectare), des améliorations sensibles des sols, des eaux et des peuplements, sans préjudice pour d'autres composantes des écosystèmes. Par ailleurs, sur un plan plus général, les augmentations de productivité observées actuellement dans de très nombreux peuplements (mais qui pourraient peut-être à l'avenir être contrecarrées par des déficits hydriques accrus) militent aussi en faveur de ces amendements ou fertilisations, puisqu'elles accélèrent la consommation des éléments minéraux nutritifs. C'est le cas en particulier du phosphore, qui pourrait devenir très déficient dans bon nombre de situations où il n'était que "limite", comme tendent à le montrer les résultats du suivi de placettes permanentes (réseau RENECOFOR). La fertilisation phosphatée pourrait ainsi devenir justifiée dans des conditions où elle n'était pas envisagée jusqu'à présent, même sous des peuplements adultes d'essences autochtones. L'exploitation accrue des biomasses ligneuses, qui correspond à une demande sociétale actuelle forte, nécessite les mêmes précautions et la surveillance de l'évolution des potentialités nutritionnelles des sols, car elle est source d'exportations minérales très fortes ; or l'on sait que certains sols ne sont pas aptes à fournir du bois-énergie sans que leur fertilité ne soit fortement affectée à court terme.

La prise en compte des risques de **dégradation des propriétés physiques** du sol ne dépend pas, elle, des changements environnementaux ! Depuis plusieurs décennies, le sylviculteur connaît ainsi les risques de remontée de la nappe en sols hydromorphes (même si le diagnostic de ceux-ci n'est pas toujours aisé pour lui) ; il connaît aussi les précautions permettant de les limiter (éviter les grandes ouvertures, associer des Aulnes aux essences de reboisement...) ou les travaux d'amélioration éventuellement possibles (assainissement). Mais c'est beaucoup plus récemment que la nécessité de préserver les structures de surface du sol s'est imposée, avec le constat que les dégradations physiques (tassements, orniérage), au-delà de leurs effets visuels parfois spectaculaires, étaient capables de provoquer des phénomènes de dépérissement, même sur peuplements adultes. Cette nécessité, bien que concernant tous les sols, est d'autant plus impérieuse que l'on sait maintenant que dans certains milieux (limons acides en particulier), le retour à un état normal est quasiment impossible, des tassements poussés pouvant entraîner définitivement des difficultés de percolation de l'eau et donc des engorgements extrêmement néfastes aux peuplements actuels et futurs.

Il est bien certain que la compétence des auteurs en matière de mise en valeur (essences, interventions possibles, sylviculture), malgré les nombreuses situations qu'ils ont rencontrées au cours de leur carrière, les expérimentations qu'ils ont réalisées et les connaissances d'origine bibliographique qu'ils ont acquises, n'est pas illimitée. Le **gestionnaire** aura donc à prendre lui-même *in fine* un parti, en tenant aussi compte de sa propre expérience et d'une connaissance précise du contexte actuel, et si possible à venir, dans lequel il agit. Il devra en outre, et c'est peut-être là la difficulté principale, intégrer les conclusions tirées de l'analyse du milieu, sans oublier celles venant de l'observation du comportement des peuplements face aux changements environnementaux, aux contraintes socio-économiques qui s'imposent à lui. Qu'il soit gestionnaire privé ou public, qu'il ait en charge un bois ou un massif, la décision finale sera certainement différente, mais elle sera la sienne propre : nous espérons qu'il pourra désormais la prendre en ayant en main un maximum de cartes.

**COMPRENDRE LES SOLS
POUR MIEUX
GÉRER LES FORÊTS**

Bernard JABIOL
Gérard LÉVY
Maurice BONNEAU
Alain BRÊTHES

Bien comprendre les relations entre le sol et les peuplements forestiers constitue un des préalables essentiels à une **gestion durable** des forêts. Cet ouvrage, grâce en particulier à la conception novatrice de chacune de ses deux parties, devrait permettre d'y parvenir.

La première partie du livre rassemble et synthétise les **connaissances scientifiques** actuelles relatives à l'influence du sol sur l'enracinement des arbres, leur alimentation en eau, leur nutrition minérale. La seconde partie présente les différents "types de sols" en fonction des **contraintes** qu'ils opposent à la croissance des arbres et à la gestion durable des forêts, et propose des orientations de mise en valeur.

Le gestionnaire forestier pourra ainsi s'appuyer sur cet ouvrage pour prendre, dans chaque contexte particulier, les décisions appropriées en matière d'objectifs, d'essences et de sylviculture. Ce livre devrait également constituer une référence pour les enseignants, chercheurs et étudiants en foresterie, écologie ou pédologie.

Bernard Jabiol, Maître de Conférences en pédologie forestière à AgroParisTech ENGREF, a formé, depuis 25 ans aux Barres puis à Nancy, ... plus de 1 000 ingénieurs forestiers et techniciens.

Gérard Lévy, Directeur de recherches e.r. à l'INRA, a consacré ses travaux à l'autécologie et l'écophysiole des essences forestières en liaison avec le sol, notamment sur sols engorgés ou secs.

Maurice Bonneau, Directeur de recherches e.r. à l'INRA, a travaillé durant toute sa carrière sur la nutrition des arbres forestiers et le dépérissement des forêts.

Alain Brêthes parcourt les forêts, en particulier domaniales, depuis plus de 30 ans, en tant que pédologue chargé de recherches à l'ONF ; il est spécialiste des stations forestières, réalise des diagnostics de potentialité et dispense de nombreux conseils.

AgroParisTech ENGREF
Nancy, 2009
ISBN 978-2-85710-081-2
Prix : 60 €

