



Une sylviculture d'arbres pour produire des gros bois de qualité.

Yves Bastien, Georg Joseph Wilhelm

► To cite this version:

Yves Bastien, Georg Joseph Wilhelm. Une sylviculture d'arbres pour produire des gros bois de qualité.. Revue forestière française, 2000, 52 (5), pp.407-424. <10.4267/2042/5376>. <hal-03443427>

HAL Id: hal-03443427

<https://hal.science/hal-03443427v1>

Submitted on 23 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

technique et forêt

UNE SYLVICULTURE D'ARBRES POUR PRODUIRE DES GROS BOIS DE QUALITÉ

Y. BASTIEN – G.J. WILHELM

NDLR

Cet article porte sur un sujet fondamental en sylviculture et aborde un domaine sur lequel tout est loin d'avoir été dit ; il formule un certain nombre d'idées et s'avère en cela propice à la réflexion ; nul doute qu'il est de nature à susciter un débat que la Revue forestière française se fera un plaisir d'accueillir dans ses colonnes.

Note des auteurs

L'article qui suit rassemble les réflexions de deux sylviculteurs — l'un allemand, l'autre français — qui développent, dans un cadre de peuplements réguliers, le concept d'une sylviculture d'arbres respectueuse de l'évolution naturelle de la forêt. Les auteurs, qui n'ignorent pas que le sujet emprunté prête à discussion, ont, sur bien des points de la sylviculture d'arbres, une vision commune. Cependant, ils ont délibérément choisi de ne pas gommer leurs points de différence au cours d'une réflexion qui se veut avant tout pragmatique dans un domaine où les observations demandent à être validées par l'expérimentation scientifique. Ils prient par avance les lecteurs de bien vouloir leur pardonner les interrogations que cet article pourra susciter et de leur adresser toutes remarques utiles.

L'approche allemande présentée concerne uniquement les Länder de la Sarre et de la Rhénanie-Palatinat (Wilhelm, Letter, Eder, 1999). Elle n'a pas la prétention de refléter la tendance allemande générale. En fait, toutes les administrations forestières allemandes essaient désormais de mettre en œuvre une sylviculture proche de la nature, mais diverses sensibilités s'expriment pour nuancer les approches sylvicoles dans les différents Länder.

Dans l'article qui suit, les différences d'opinion qui sont exprimées sur certains points sont précédées de la mention "l'auteur allemand" ou "les forestiers allemands", ou "l'auteur français".

PRÉAMBULE

L'érosion de la rentabilité de la gestion forestière

Ces trente dernières années, caractérisées par une évolution très rapide des économies des pays occidentaux, ont vu baisser progressivement la rentabilité de la gestion forestière. Les causes en sont bien connues : les coûts de production liés à la main-d'œuvre ont fortement augmenté alors que les prix des bois ont plutôt baissé, abstraction faite d'évolutions conjoncturelles pour certaines essences. Cette tendance affecte encore davantage les petits bois dont la commercialisation de plus en plus difficile risque de déboucher sur une impasse sylvicole. Cette baisse générale de la rentabilité de la production forestière, malgré les gains de productivité obtenus, notamment avec le développement de la mécanisation, semble s'inscrire dans une perspective durable. En effet, la forêt a besoin d'une main-d'œuvre très qualifiée qu'il faudra mieux payer, même si la mécanisation progresse, notamment au niveau de l'exploitation des premières éclaircies. Cette évolution menace la fonction de production alors qu'on assiste à une montée en puissance des fonctions non marchandes de la forêt. Conscient de la nécessité d'une gestion multifonctionnelle pour mieux répondre aux besoins de la société, le forestier s'interroge légitimement sur ses objectifs de production et les moyens techniques à mettre en œuvre pour améliorer le bilan économique de sa gestion.

Une stratégie : produire mieux au moindre coût

Produire mieux, c'est améliorer la production de bois de qualité à partir d'une double action qui se décline dans le temps :

- **à court terme**, dans la gestion quotidienne, en appliquant un principe de bon sens, celui de retarder l'exploitation de tout arbre de belle qualité, vigoureux, et non encore arrivé à maturité. En clair, il faut éviter de couper des beaux arbres d'avenir, les élites ⁽¹⁾ qui n'ont pas encore atteint le diamètre d'exploitabilité ;

- **à long terme**, en fixant un objectif de production de bois de haut de gamme caractérisé par des arbres de gros diamètres ⁽²⁾ aux qualités reconnues, avec en particulier des accroissements réguliers, sans défauts, avec des nœuds concentrés dans le noyau central de l'arbre — cœur de diamètre inférieur à 20 cm — et de couleur claire et homogène.

Produire au moindre coût, c'est apprendre d'abord à bien observer la forêt et intervenir de façon plus fine en accompagnant son évolution naturelle, c'est en particulier :

- réduire les interventions sylvicoles inutiles ; on est trop souvent perfectionniste et chaque gestionnaire connaît les résultats de l'acharnement sylvicole ⁽³⁾ ;

- laisser jouer les processus de régulation naturelle ⁽⁴⁾ qui permettent aux arbres d'élites de s'individualiser. On peut citer en particulier le rôle utile du gainage, de la perméabilité du couvert, des espèces pionnières comme le Bouleau par exemple et l'action formatrice des arbres concurrents dans la phase de compression ;

(1) Les arbres d'élite combinant vigueur et grande qualité sont trop peu nombreux pour être récoltés avant leur terme d'exploitabilité. Ils font évidemment partie des arbres d'avenir appelés aussi arbres-objectif, arbres sur lesquels est concentrée la production de qualité. Dans le texte, c'est le terme d'arbre-objectif qui sera le plus souvent utilisé.

(2) Au moins égal à 60 cm de diamètre. Si les forestiers allemands se sont fixé cet objectif, on admet en France des diamètres plus faibles pour les résineux de qualité courante (Sapin et Épicéa de qualité charpente) dans les stations de qualité moyenne. En Sarre et en Rhénanie-Palatinat, la production de cette qualité courante ne constitue plus un objectif sylvicole.

(3) Notamment dans les domaines des dégagements, compléments de régénération, regarnis de plantation, pour lesquels le degré d'intensité a souvent été supérieur à ce qui était nécessaire.

(4) Schütz (1996) souligne l'importance des rationalisations biologiques dans la gestion forestière dont le mode de traitement en futaie jardinée est l'expression la plus élaborée. On parle aussi d'automation biologique comme processus de régulation de la production. Selon l'encyclopédie Quillet, « l'automation est l'utilisation de techniques de fabrication permettant de réduire au minimum l'intervention manuelle... ».

— concentrer les travaux sur une fraction limitée du peuplement dans les phases de constitution (régénération) et de différenciation ou d'élaboration de la qualité (compression) en s'appuyant sur un réseau de cloisonnements sylvicoles pour faciliter les interventions dans les jeunes peuplements, et en les limitant au profit des élites qui commencent à se différencier. Lors de cette opération, les forestiers allemands distinguent, parmi les arbres prédominants, les tiges de qualité correcte des tiges déficientes. Ces dernières sont alors progressivement éliminées au fur et à mesure qu'elles se montrent gênantes.

Ces orientations peuvent se conjuguer de différentes manières et s'inscrire dans une large palette d'itinéraires sylvicoles. Parmi tous les "possibles", la sylviculture d'arbres offre des perspectives intéressantes dans la mesure où elle est attentive à la vigueur et à la qualité, ainsi qu'au coût de la production. Elle répond bien aux deux impératifs énoncés en préambule.

DÉVELOPPER UNE SYLVICULTURE D'ARBRES

Un concept ancien qui s'est affirmé au gré de l'évolution de la sylviculture

Le concept de la sylviculture d'arbres, basé sur la sélection d'arbres-d'avenir ou objectif sur lesquels est concentrée la production de gros bois de qualité, s'est développé dans la première moitié du XX^e siècle. Les précurseurs parmi lesquels on peut citer Michaelis (1907) en Allemagne, Ducellier (1930) en France, et Möller (1931) au Danemark, ont, à leur époque, défini les bases d'une sylviculture novatrice. Ces bases se sont enrichies progressivement des réflexions et de l'expérience de divers gestionnaires éclairés parmi lesquels on peut citer pour la France : Lorne (1956), Venet (1968), Mormiche (1969), de Saint-Vaulry (1969) et Martinot-Lagarde (1973).

Avec le développement des élagages des résineux d'abord, puis des feuillus, cette sylviculture d'arbres a trouvé un terrain de prédilection. Une application de la méthode à la hêtraie mélangée de feuillus précieux a été proposée par Bastien (1997). Les idées ont certes évolué mais les axes de la sylviculture d'arbres demeurent et reposent sur les principes de base suivants :

- l'objectif de production définit une architecture d'arbre "idéale", en privilégiant une bille de pied plutôt courte, de 5 à 10 m, et un houppier pleinement développé ;
- la qualification de la tige nécessite une phase de compression préalable qui détermine la longueur de la bille de pied propre de nœuds ;
- la longueur de la bille de pied élaguée et sans défauts est conditionnée, pour une essence et pour une durée de compression données, par la hauteur totale finale de l'arbre, celle-ci étant liée à la fertilité de la station ;
- après obtention de la longueur objectif de la bille de pied, la phase de grossissement succède à la phase de compression. Les opérations d'éclaircies ⁽⁵⁾ fortes par le haut et rapprochées assurent à l'arbre-objectif sélectionné les conditions d'un développement rapide du houppier pour obtenir une croissance optimale du fût.

Une sylviculture qui s'appuie sur l'évolution naturelle de la forêt

L'évolution de la futaie régulière s'inscrit dans un processus de sylvigénèse qui se décompose en quatre phases bien distinctes.

(5) Les forestiers allemands parlent de détournage pour des éclaircies ponctuelles qui détournent fortement les houppiers des arbres-objectif sans intervenir dans le peuplement intersticiel auquel est dévolue une fonction de bourrage et d'éducation des élites.

- *Phase de constitution*

Elle correspond à la phase de régénération du peuplement. Pour une station donnée, la dynamique des essences est fonction de leur tempérament, de leur vitesse de croissance et des conditions d'éclairement. Les espèces pionnières se développent rapidement.

- *Phase de qualification ou de compression*

La concurrence intra et interspécifique est très marquée (forte compression latérale). Cette phase est caractérisée par une forte élongation des tiges et la formation des fûts (élagage naturel). Les tiges d'élites se qualifient au sein des collectifs denses.

- *Phase de grossissement*

Les arbres les plus forts passent dans l'étage dominant. L'écart entre arbres dominants et dominés s'accroît. Parfois des groupes d'arbres ⁽⁶⁾ se différencient. Les espèces pionnières peuvent être encore présentes.

- *Phase de maturation*

Les arbres dominants à fort houppier arrivent progressivement à maturité. Certaines essences à croissance rapide atteignent le diamètre d'exploitabilité. La différenciation entre arbres dominants et dominés est de plus en plus marquée. La régénération naturelle commence à s'installer.

La sylviculture d'arbres s'appuie sur la différenciation ⁽⁷⁾ des élites et intervient lorsque la phase de compression a permis de qualifier les beaux arbres définis à partir des objectifs de production et de l'architecture idéale, notamment la hauteur minimale de bille de pied. Elle concerne donc essentiellement les phases de grossissement et de maturation. Les éléments essentiels qui vont être déterminants pour cette sylviculture sont les suivants :

- dans la définition des objectifs : quelle architecture d'arbres viser ?
- quels moyens mettre en œuvre en s'inspirant des phases sylvigénétiques ?

Pour y répondre, nous présentons au préalable quelques éléments d'analyse d'évolution de peuplements.

QUELQUES ÉLÉMENTS D'ANALYSE RELATIFS À L'ÉVOLUTION DES PEUPELEMENTS

Les jeunes peuplements dans les phases de constitution et de compression

- *La dynamique de croissance en hauteur*

Le travail de Bénard (1996) donne une idée de la dynamique de croissance moyenne des régénérations de Hêtre mélangées de feuillus divers sur plateaux calcaires de la Haute-Marne. L'étude porte sur l'accroissement moyen en hauteur d'arbres échantillon de moins de 10 m de hauteur en mélange dans des régénérations mélangées de Hêtre poussant en plein découvert sur la période

(6) D'après Bastien et Otto (1998), un groupe d'arbres est constitué par l'agrégation de deux ou plusieurs arbres qui vivent ensemble, qui n'exercent pas de compétition mutuelle et qui connaissent des interactions favorables pour chacun des partenaires. Quand il s'agit d'arbres de qualité, le respect des groupes permet de mieux tirer parti du potentiel de qualité du peuplement, surtout lorsque celui-ci est pauvre en belles tiges.

(7) Le processus de différenciation est gouverné par la compétition. Les caractères d'élite, reposant sur des critères de vigueur et de qualité, sont en partie sous dépendance de la génétique (caractères héréditaires).

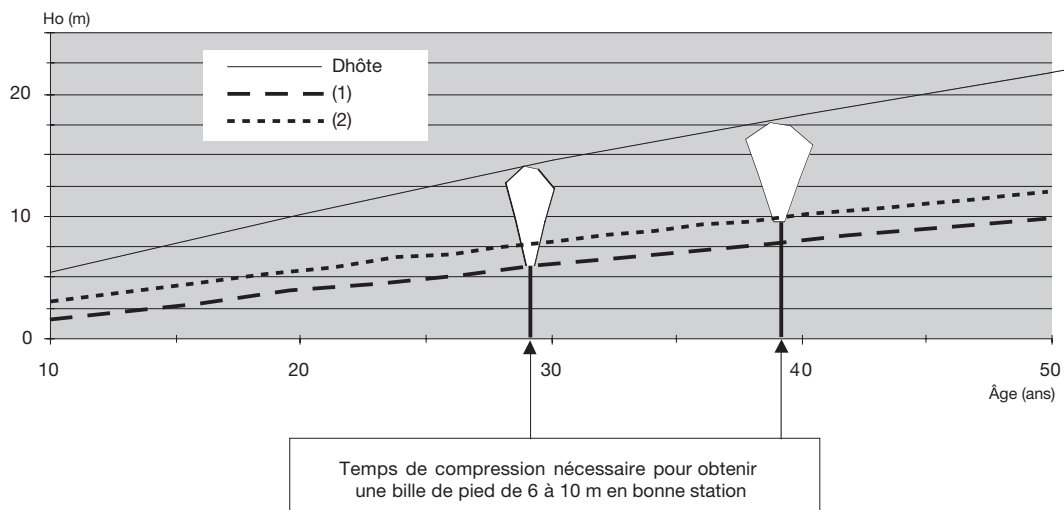
1994-1996. Le Hêtre se situe au milieu avec une croissance supérieure aux Charme, Érable champêtre, Alisiers blanc et torminal, mais inférieure aux Merisier, Frêne, grands Érables et Orme. Cependant, la variabilité des accroissements en hauteur pour une même essence est très grande et met en évidence des performances individuelles liées non seulement à la génétique mais aussi au tempérament de l'essence vis-à-vis de la lumière, à la perméabilité plus ou moins grande du couvert, à la concurrence du recrû et à la microstation. Ces résultats, qui concernent des régénérations de futaie régulière, ne sont donc pas transposables aux peuplements irréguliers dans lesquels l'effet trouée joue un rôle important.

• L'élagage naturel

En général, les essences de lumière, tolérant moins l'ombrage de leur feuillage, s'élaguent plus rapidement que les essences d'ombre (cas du Frêne, Merisier ou Chêne par rapport au Hêtre). Pour le Hêtre, Demolis (1991) met en évidence, dans des jeunes peuplements de Franche-Comté de 7 à 14 m de hauteur dominante et faisant l'objet d'une sylviculture prudente, une relation liant la hauteur de la première branche verte (Hbv) en fonction de la hauteur dominante (Ho) comme suit : $Hbv = 0,51 \times Ho - 1,31$, ces deux hauteurs étant exprimées en mètres. En Allemagne dans les Länder de Rhénanie-Palatinat et de Sarre, et en Roumanie ⁽⁸⁾ dans les forêts naturelles, dans les jeunes peuplements denses de Hêtre, la hauteur moyenne de la première branche verte est située entre 50 et 60 % de la hauteur dominante. La figure 1 (ci-dessous) rend compte de l'évolution possible de la hauteur de la bille de pied sous branche verte pour le Hêtre. On remarque ainsi que, selon les cas, une hauteur de bille de pied de 6 à 10 m nécessitera pour le Hêtre un temps de compression correspondant à une hauteur dominante de 14 à 18 m, fourchette des hauteurs auxquelles les premières éclaircies sont réalisées.

Figure 1

RELATION ENTRE HAUTEUR DOMINANTE ET HAUTEUR ÉLAGUÉE POUR LE HÊTRE EN BONNE STATION



Les courbes (1) Demolis (1991) et (2) données allemandes ci-dessus donnent l'évolution de la hauteur de la première branche verte en fonction de la hauteur dominante modélisée pour le Hêtre dans les meilleures stations de Lorraine (Dhôte, 1996). Pour éviter la remontée ultérieure du houppier, l'éclaircissement des basses branches des arbres-objectif devra être permanent.

(8) Dumitru Tarziu (communication personnelle).

Un nécessaire compromis devra être trouvé entre le choix d'une première éclaircie pas trop tardive et la hauteur d'élagage naturel pour limiter le risque d'une trop grande remontée du houppier, notamment des essences de lumière, lors de la phase d'éclaircie-détourage qui suivra.

La compétition qui s'exerce au sein des gaulis - bas perchis joue un rôle très important et, d'une manière générale, il est constaté que les mélanges d'essences donnent d'excellents résultats pour qualifier les tiges des essences moins tolérantes à l'ombre. Les mélanges Hêtre-Épicéa ou Hêtre et divers résineux sont remarquables. On peut citer aussi le rôle précieux du Charme dans la chênaie et, en général, des essences de lumière à couvert léger qui sont des bons auxiliaires ⁽⁹⁾ comme le Bouleau, le Sorbier des Oiseleurs, voire le Tremble.

La phase de grossissement

• *L'évolution des arbres-objectif*

Pardé (1981), après une analyse des places d'expériences de 1882 installées dans des peuplements presque purs de Hêtre en forêt domaniale de Haye, constate une perte d'environ 40 % des arbres d'avenir entre 50 et 120 ans dans tous les placeaux d'essai. Cette perte porte essentiellement sur les arbres dominés en 1904, à l'époque de leur désignation.

D'autres données d'expérience ou de suivi de gestion vont dans le même sens pour mettre en évidence la nécessité de choisir des arbres **dominants** et **vigoureux** pour réduire les pertes au minimum. Entre un arbre dominé de qualité remarquable et un gros dominant de qualité moyenne, **il est préférable de parier sur le gros** qui aura toutes les chances de se maintenir dans le peuplement final avec une bonne production et que, de toute façon, le forestier n'osera pas enlever au profit de son voisin plus petit. Ce critère est essentiel pour une sylviculture d'arbres reposant sur la sélection précoce des élites. Il faut cependant noter que, dans la hêtraie, par des éclaircies fortes par le haut au profit des arbres-objectif (détourages), il est possible de sauver des petites tiges codominantes (Bouchon, Dhôte, Lanier, 1989). Cette étude fait apparaître l'importance des détourages chez le Hêtre.

• *Développement des houppiers des arbres-objectif*

Les relations fortes entre développement du houppier et croissance du fût sont bien connues. Les réserves à cime ample de taillis-sous-futaie atteignent très rapidement de gros diamètres et des travaux anciens cités par Perrin (1964) font état pour le Hêtre d'un rapport diamètre de houppier/diamètre de fût variant de 17 à 30. En futaie régulière, différentes études ont mis en évidence des liens étroits entre croissance de houppier et largeur de cernes pour différentes essences (Spiecker, 1991), d'une part, et entre surface terrière individuelle et surface de projection du houppier pour le Hêtre (Le Goff, 1998), d'autre part. La forme du houppier est très importante et sa hauteur est un bon critère de productivité. En effet, la zone de houppier actif — à photosynthèse active — est située au-dessus de la partie la plus large du houppier (Burger et Badoux, *in* : Schütz, 1990) et suit le développement du houppier, s'allongeant avec celui-ci en l'absence de contrainte liée à la concurrence d'arbres voisins.

Un facteur décisif pour l'optimisation du grossissement des arbres-objectif consiste donc à maintenir les houppiers bien éclairés pour éviter le dessèchement des grosses branches basses, les charpentières présentes au moment de la première éclaircie, et dont le maintien et le développement seront bien entendu liés à des éclaircies-détourages d'intensité suffisante.

(9) Une espèce auxiliaire est une espèce pionnière qui permet l'installation et le développement des dryades (espèces qui constituent la forêt climacique) sous son couvert léger. Elle disparaît assez rapidement du peuplement par la suite.

• L'étalement des classes de diamètre des arbres-objectif

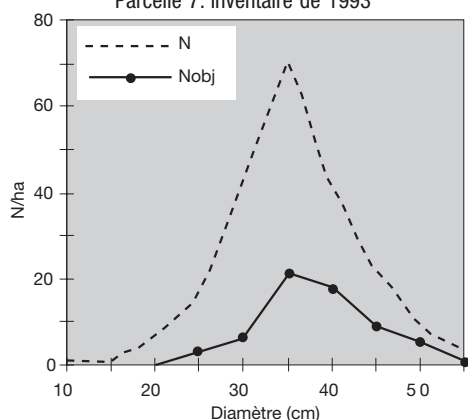
L'analyse des différentes courbes de fréquence des diamètres ou circonférences (figure 2, ci-dessous) montre que, pour différentes espèces, les arbres-objectif présentent au même âge un étalement important des classes de grosseur.

Il s'agit d'inventaires récents de peuplements réguliers en station homogène, sur des placettes sylvicoles de surface comprise entre 0,15 et 1 hectare et portant sur des arbres-objectif de qualité, appartenant à l'étage dominant ou codominant.

Figure 2 **COURBES DE FRÉQUENCE DU DIAMÈTRE OU DE LA CIRCONFÉRENCE D'ARBRES-OBJECTIF POUR DIFFÉRENTES ESSENCES**

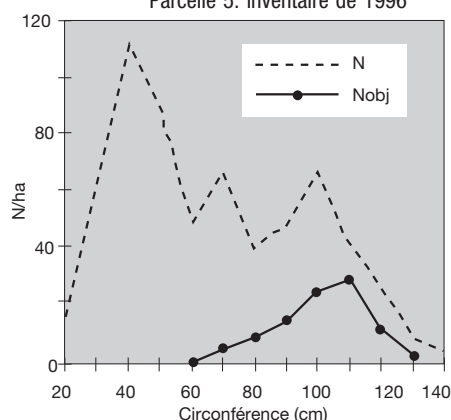
N est le nombre de tiges à l'hectare, Dg le diamètre moyen, Cg la circonférence moyenne

Chêne sessile. Forêt de Brin (Meurthe-et-Moselle)
Parcelle 7. Inventaire de 1993



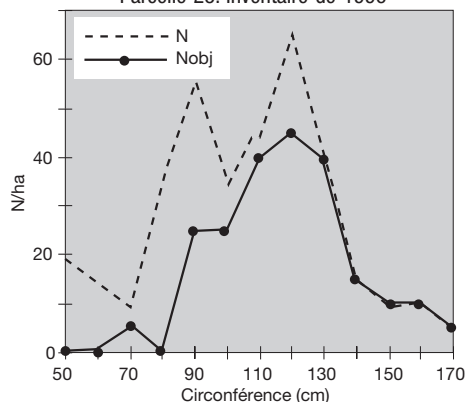
Sol brun mésotrophe sur limon et marnes liasiques
Futaie âgée de 135 ans. N = 73. Dg = 36 cm
Désignation en 1968

Hêtre. Forêt de Grandvillers (Vosges)
Parcelle 5. Inventaire de 1996



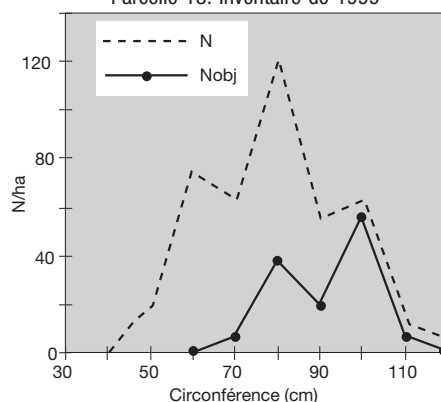
Sol brun acide sur grès intermédiaire
Perchis âgé de 80 ans. N = 90. Cg = 104 cm
Désignation en 1987

Douglas. Forêt de Fays (Vosges)
Parcelle 25. Inventaire de 1996



Sol brun acide sur grès vosgien
Plantation âgée de 35 ans. N = 218. Cg = 121 cm
Désignation en 1981

Pin sylvestre. Forêt de Grandvillers (Vosges)
Parcelle 18. Inventaire de 1999



Sol podzolique sur grès vosgien
Perchis âgé de 47 ans. N = 125. Cg = 92 cm
Désignation en 1981

Cette dispersion des diamètres, souvent rencontrée dans les peuplements équiennes, nous amène à nous interroger sur les modalités de la récolte des arbres-objectif qui n'atteindront pas tous en même temps le diamètre d'exploitabilité, même si certains arbres retardataires et sans avenir risquent de disparaître avant.

QUELLE SYLVICULTURE METTRE EN ŒUVRE ?

Un objectif clair

Ainsi que nous l'avons énoncé en préambule, l'objectif vise une production haut de gamme avec des bois de gros diamètre, homogènes et sans défauts, en l'adaptant aux potentialités de station

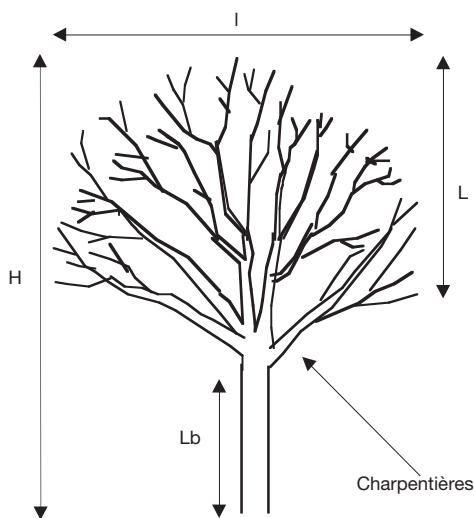


Figure 3

ÉLÉMENTS D'ARCHITECTURE D'UN ARBRE MÛR

H = hauteur totale de l'arbre exploitable ;
L = longueur du houppier vivant dont la partie inférieure est située au niveau des rameaux feuillés inférieurs ;
I = largeur du houppier (au niveau de sa plus grande largeur) ;
Lb = longueur de la bille de pied ;

Charpentières : grosses basses branches situées à la base du houppier.

Objectifs :

$L/H \geq 50\%$ et I située le plus bas possible dans le houppier
 $5\text{ m} \leq Lb \leq 10\text{ m}$.

avec $Lb = 0,25 \times H_0$, H_0 variant selon la fertilité des stations (de 20 à 40 m).

Nota : chez les feuillus, les grosses branches inférieures prennent généralement une direction oblique et, plus l'arbre a un port fastigié, plus l'écart entre le niveau d'implantation des charpentières sur le fût et l'extrémité des rameaux inférieurs est important. La nature et la position des premières basses branches vertes sont déterminantes pour l'obtention d'une bille de pied de qualité comme l'indique la figure 4 ci-dessous.

Figure 4
ÉVOLUTION DES BASSES BRANCHES VERTES

Exemple d'évolution de deux types de branches à l'issue de la phase de qualification.

(a) arbre après compression :

1 : branche oblique et 2 : branche subhorizontale.

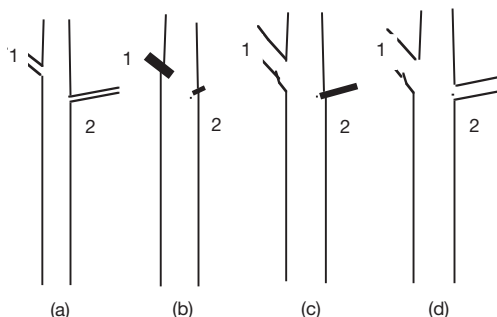
Pour une essence donnée, l'évolution de ces branches va être commandée par la sylviculture selon les scénarios suivants :

(b) éclaircie faible : mort des branches 1 et 2. La branche oblique 1 qui meurt plus tard peut entraîner un nœud gouttière à l'origine d'altération.

La remontée progressive du houppier et la formation d'une surbille sont d'autant plus importantes que l'essence est exigeante en lumière.

(c) éclaircie-détourage par le haut : la branche horizontale inférieure 2 sèche, alors que la branche oblique 1 reste verte. Il est essentiel que cette branche qui grossit rapidement reste vivante. La longueur de la surbille est fonction de la différence de niveaux entre les branches de type 1 et 2.

(d) arbre en croissance libre : les deux branches restent vivantes. Si elles sont proches l'une de l'autre, elles peuvent constituer de bonnes charpentières. La surbille voit son développement limité. Les charpentières devront être constituées d'au moins trois branches pour éviter les problèmes de fourches. **Ce scénario nous paraît préférable.**



bien entendu ⁽¹⁰⁾. Cet objectif passe par la définition d'une architecture "idéale" des arbres selon le schéma des figures 3 et 4 (p. 414) applicable au Hêtre.

La longueur de la bille de pied est conditionnée par l'élagage naturel, lui-même fonction, pour une essence donnée et une station donnée, de la sylviculture qui maintient les arbres en forte concurrence pour permettre la qualification des tiges. On évite, surtout pour les feuillus, une trop longue durée de compression des arbres, qui serait préjudiciable à leur bonne stabilité et à leur capacité de produire de manière optimale un bois de qualité ; ce souci conduit à privilégier les billes de pied plutôt courtes. Le Chêne à longue durée de production dans les forêts à grand crû (Bercé, Tronçais par exemple) fait toutefois exception à cette règle. On admet toutefois qu'il puisse y avoir une fourchette assez large dans la mesure où l'élagage naturel est aussi dépendant de la hauteur dominante du peuplement et donc de la fertilité de la station (cf. paragraphe "Élagage naturel", p. 411). À cet égard, les forestiers allemands intègrent l'effet-station. Ils préconisent une longueur de la bille de pied égale, dans l'idéal, à 25 % de la hauteur finale de l'arbre. Ils constatent que cette longueur-objectif est achevée, pour une essence donnée en concurrence ininterrompue, à un âge caractéristique et cela à peu près indépendamment de la fertilité de la station (par exemple à 15 ans pour le Bouleau, à 20 ans pour le Merisier, à 27 ans pour le Chêne sessile et l'Épicéa, à 35 ans pour le Hêtre). Le Hêtre et le Douglas peuvent atteindre, voire dépasser, à maturité, 40 m de hauteur totale en bonne station, avec des fûts de 20 m et des billes de pied de 10 à 12 m. La distinction entre bille de pied et partie supérieure du fût est très importante. Le fût comprend, au-dessus de la bille de pied, une partie élaguée plus tardivement à la faveur du phénomène de la remontée du houppier liée au dessèchement progressif de ses basses branches. C'est ce qui se passe normalement dans tous les peuplements de futaie régulière lors de la fermeture du couvert. Ce phénomène, au processus très rapide avec les essences de lumière comme par exemple les Frênes, Chênes et Pins, est à l'origine d'altérations importantes au niveau des grosses branches sèches au-dessus de la bille de pied (nœuds noirs recouverts, colorations anormales, nœuds gouttières, pourritures). Il apparaît donc essentiel de limiter le processus de remontée du houppier dès que les grosses branches basses (les charpentières) sont en formation à l'issue de la phase de compression. Cet objectif implique la mise en œuvre d'éclaircies-détourages énergiques dans la phase de grossissement.

Des moyens adaptés en s'inspirant des phases sylvigénétiques

Il s'agit de mettre en œuvre une sylviculture s'appuyant sur les processus de régulation naturelle et les principes de rationalisation biologique évoqués au paragraphe (p. 408).

La sylviculture d'arbres proposée se déclinera alors selon les trois phases suivantes :

- phase de qualification : interventions limitées pour assurer la qualification des beaux arbres définis à partir des objectifs de production et de l'architecture idéale, notamment la hauteur minimale de bille de pied ;
- phase de grossissement : désignation des arbres-objectif et éclaircies-détourages fortes à courte rotation par le haut à leur profit ;
- phase de maturation : éclaircies plus espacées à caractère sanitaire et récolte progressive au diamètre d'exploitabilité ⁽¹¹⁾.

(10) La notion de niche permet de mieux qualifier les stations favorables. Lorsque la variabilité des stations est grande, à l'échelle de fines mosaïques, par exemple sur plateaux calcaires du Nord-Est, le comportement de l'arbre "*in situ*" peut donner une bonne idée des réelles potentialités des conditions locales, parfois à l'échelle de l'arbre.

(11) Dans cette optique, il s'agit d'un diamètre minimum d'exploitabilité. Il est en effet souhaitable de laisser grossir les élites pour optimiser le revenu économique et tirer parti de leur excellent potentiel de régénération. Parallèlement, les gros bois de mauvaise qualité seront enlevés.

• *Phase de qualification ou de compression*

Sa durée est conditionnée, nous l'avons déjà dit, par l'objectif de production et donc le moment où les arbres auront atteint en moyenne la hauteur objectif de bille de pied. Elle varie, bien entendu, selon les essences. Elle prend fin pour une fourchette de hauteur dominante comprise entre 14 et 18 m correspondant *grosso modo* à 50 % de la hauteur dominante finale du peuplement.

Des nettoiemnts utiles pour assurer la diversité des essences

Des interventions sont toutefois nécessaires pour contrôler l'évolution dynamique du peuplement en tenant compte des essences et de la station qui conditionne la vigueur du recrû. Les nettoiemnts sont donc utiles non seulement pour réaliser le dosage des essences mais aussi pour faire des opérations sanitaires (problème du chancre dans la hêtraie par exemple) et contrôler les "loups" ⁽¹²⁾ qui ne doivent pas être systématiquement enlevés car ils jouent un rôle d'éducation important.

"L'auteur allemand" pense qu'il faut limiter strictement les interventions au profit des seules élites qui se différencient en veillant à diversifier les essences. "L'auteur français" croit à la nécessité de doser les essences en travaillant plutôt en plein pour tirer au maximum parti des potentialités, notamment dans les peuplements pauvres en tiges de qualité. Le coût de ces opérations doit être limité par un travail s'appuyant sur un réseau de cloisonnement sylvicole.

Des dépressages à limiter, voire à ne plus pratiquer

Il est préférable de limiter ces opérations coûteuses et d'éviter d'interrompre le processus naturel de qualification des tiges s'appuyant sur la compression. Une opération assimilable à une première éclaircie peut s'envisager pour certaines essences à bois coloré comme le Chêne et le Pin sylvestre, dont les premières éclaircies sont difficiles à commercialiser. Pour en réduire le coût, cette intervention est concentrée au profit des plus belles tiges dont le nombre sera compris entre 1,5 et 2 fois la population finale. Des élagages artificiels pourront être utiles pour obtenir une longueur minimale de bille de pied de 5 à 6 m, parfois moins pour tirer parti des feuillus précieux souvent minoritaires comme les fruitiers. Les Allemands n'envisagent pas du tout de dépressages, considérant que ces opérations sont nuisibles à la qualification des tiges.

• *Phase de grossissement*

La phase de grossissement intervient dès lors que la hauteur moyenne élaguée du peuplement atteint la hauteur minimale de bille de pied fixée par l'objectif de production (cf. paragraphe "Objectifs", p. 414). Il s'agit alors pour "l'auteur français" de sélectionner les arbres-objectif et d'éclaircir le peuplement, ou pour "l'auteur allemand" de détourner uniquement les arbres-objectif afin d'interrompre le processus de compression. On peut intervenir sur l'ensemble du peuplement ou au fur et à mesure que les candidats se qualifient par groupe d'essences pour mieux suivre l'évolution des arbres. Cette dernière démarche est spécialement mise en pratique en Allemagne dans les peuplements mélangés.

Sélection des arbres-objectif

Le choix doit porter sur les plus beaux arbres du peuplement qui répondent à un certain nombre de critères parmi lesquels on placera en premier **la vigueur et la qualité**.

(12) Cette opération n'est à réserver que lorsque les potentialités de croissance des belles tiges sont menacées.

La vigueur doit être placée en premier car seuls les arbres dominants ou codominants ont les plus grandes chances de se retrouver dans le peuplement final (Pardé, 1981). Les Allemands choisissent uniquement les arbres prédominants en prenant le risque de ne trouver qu'un nombre limité de tiges mais ils se donnent une marge supplémentaire en désignant les élites au fur et à mesure qu'elles se qualifient.

La qualité peut se définir simplement par une hauteur minimale de bille de pied sans branche verte et une absence de défauts ou altérations susceptibles de déclasser la bille. Parmi les défauts rédhibitoires, on peut citer : les inclinaisons ou les courbures marquées de tiges, fibre torse, grosse branche sèche avec nœud plongeant (risque de nœud gouttière potentiel), les fourches marquées (surtout pour le Hêtre), gourmands (souvent de stress suite à la compression) et des défauts spécifiques tels que la gélivure, picots, brogne pour le Chêne.

L'arbitrage entre vigueur et qualité conduit à privilégier la vigueur et à choisir donc les plus beaux des plus gros arbres.

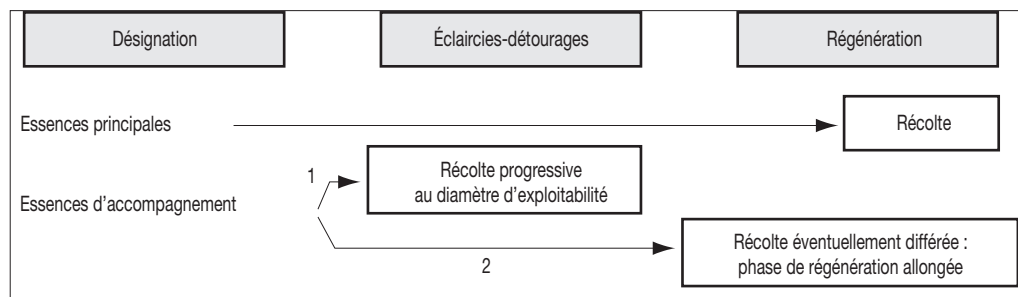
Mélange d'essences

Le mélange d'essences est souhaitable à de nombreux points de vue. Le cadre de la futaie régulière conduit à privilégier une ou plusieurs essences principales d'âges d'exploitabilité voisins. Il n'exclut pas le mélange d'autres essences dites associées qui accompagnent le peuplement principal. Ces essences associées peuvent être transitoires lorsqu'elles sont à récolter lors de la phase de grossissement des essences principales, en raison de leur croissance plus rapide en général (exemple : Frêne, Merisier, Douglas ⁽¹³⁾). Dans ce cas, le maintien du cadre régulier nécessite que le mélange temporaire doit être réalisé intimement pied par pied ou par groupe d'arbres ⁽¹⁴⁾ pour limiter les trouées résultant de leur récolte anticipée. Pour les essences dont la longévité est supérieure à celle des essences principales, il est nécessaire de les maintenir au-delà de la période de récolte des essences principales (cas du Chêne et du Pin sylvestre). Si l'on souhaite mener une sylviculture d'arbres plus fine, la complexité des mélanges et la récolte progressive d'arbres arrivés à maturité entraîneront l'ouverture de trouées et le développement de régénération, et se traduiront ainsi par une irrégularisation progressive des peuplements.

On peut alors envisager le schéma suivant dans un cadre de futaie régulière :

Figure 5

LES INTERVENTIONS DANS UN CADRE DE FUTAIE RÉGULIÈRE



1. La récolte progressive en éclaircie-détourage d'arbres de qualité améliore nettement le bilan économique. Pour que cette notion n'entretienne pas une certaine ambiguïté auprès des lecteurs, nous les renvoyons à la note de bas de page (p. 416). En effet, Il ne saurait être question d'écimer les beaux arbres avant de pouvoir tirer parti de leur potentialité de régénération afin d'éviter toute dérive génétique.

2. L'allongement de la phase de régénération apporte toute la souplesse nécessaire et participe aux fonctions de biodiversité — optimisation de la production de gros bois — et patrimoniale.

(13) Une option longue de production de gros bois est possible pour lui.

(14) Au sens défini par Bastien et Otto (1998).

Nombre d'arbres et espacement

En général, le nombre théorique correspond à la densité finale du peuplement liée aux essences, aux potentialités de station et aux objectifs de production. Les approches allemandes et françaises sont assez convergentes pour les grandes essences dans un objectif de production de gros bois. Toutefois il convient de préciser que le critère le plus important est l'espace vital dont bénéficie l'arbre mature pour conserver l'intégrité de son houppier, sans dessèchement tardif de ses branches basses. Par conséquent, il est plus pertinent, surtout pour les feuillus précieux asociaux pour lesquels la notion de nombre d'arbres à l'hectare par essence n'a aucun sens, de parler de surface de la projection horizontale au sol du houppier de l'arbre adulte.

Tableau I Surface du houppier d'arbres-objectif et densité théorique équivalente

Essences	Nombre maximal à l'hectare	Surface du houppier (m ²)
Hêtre - Chêne	70-80	120-140
Frêne	—	160-180
Merisier - Alisier torminal	—	80-100
Grands érables	—	
Pin sylvestre	—	100-120
Épicéa - Sapin	—	80-100

La surface du houppier correspond à la surface de sa projection horizontale.

Pour les feuillus précieux cultivés le plus souvent en mélange, le nombre doit être inférieur à la fourchette préconisée pour le Hêtre et Chêne. Pour les résineux, la fourchette qui peut varier dans de fortes proportions est supérieure.

Le nombre de tiges est donné à titre indicatif sachant que le développement des houppiers est plus important à prendre en compte. Ce nombre théorique est déduit de la projection de la surface horizontale du houppier. La notion de nombre maximal n'a de sens que pour indiquer une densité finale et un espacement moyen. En pratique, ce nombre est rarement atteint compte tenu du niveau d'exigence des critères de choix. Pour les feuillus précieux, il apparaît difficile d'avancer un chiffre, s'agissant d'essences asociales. La notion d'écartement minimal considère que deux arbres voisins, dont la distance est inférieure au minimum indiqué, risquent de se concurrencer avant la récolte finale. Les forestiers allemands s'imposent de respecter un écartement minimum assez grand, par exemple 10 m pour le Hêtre en fixant un minimum. En France, dans la pratique actuelle, cette notion n'est pas respectée à la lettre mais les gestionnaires évitent de désigner des arbres de l'essence principale à moins de 4-5 m de distance pour que ceux-ci développent un houppier bien équilibré. L'auteur français pense qu'il est très important de privilégier la vigueur et la qualité par rapport à l'espacement car on trouve très rarement le nombre maximum d'arbres-objectif en forêt et la pratique de cloisonnement d'exploitation ⁽¹⁵⁾ rapproché restreint encore sensiblement les choix. La recherche du meilleur compromis conduit à mettre en œuvre les principes suivants en fonction des peuplements existants :

- peuplement de qualité offrant une liberté de choix : veiller à la régularité des espacements,
- choix restreint d'arbres-objectif : subordonner l'espacement à la qualité des tiges rencontrées en descendant si nécessaire en dessous de l'écartement minimum ⁽¹⁶⁾.

On pourra accepter des nombres de tiges très inférieurs au nombre optimum théorique mais il est essentiel que **toutes les tiges d'élites (rares par définition) soient favorisées là où elles se trouvent.**

(15) La désignation d'arbres-objectif en bordure des cloisonnements n'est pas souhaitable compte tenu des risques de dégâts de débardage qu'ils courent.

(16) On privilégiera les groupes d'arbres effectivement identifiés comme tels — c'est-à-dire de beaux arbres voisins qui se tolèrent — en évitant les surdensités locales.

Éclaircies et détourages

L'approche allemande repose sur des détourages très forts et progressifs au profit des seuls arbres-objectif à la rotation de 3 à 6 ans. Le peuplement intersticiel voué à une fonction d'éducation — gainage — est réduit progressivement en fonction de la place demandée par l'extension des houppiers des arbres-objectif. En cas d'insuffisance du mélange, des arbres minoritaires appartenant à d'autres essences peuvent être favorisés en tant qu'arbres à intérêt écologique.

L'auteur français est résolument pour une éclaircie sélective sur l'ensemble du peuplement en poursuivant les buts suivants ⁽¹⁷⁾ :

- dosage des essences ;
- développement des houppiers des arbres-objectif ;
- éclaircie du peuplement intersticiel ;
- culture d'un sous-étage.

Dosage des essences

Selon "l'auteur français", cette opération est essentielle. Outre le mélange d'essences-objectif, il est nécessaire de travailler au profit, soit d'espèces minoritaires (fruitiers par exemple), soit d'espèces d'accompagnement cultural (Charme, Bouleau, Tilleul). Les éclaircies d'intensité suffisante (voir ci-après) permettent d'arriver à cette fin. On veillera tout particulièrement à ce que les essences de lumière soient bien représentées. Dans le cas de la hêtraie, la présence importante de feuillus de lumière constitue un indicateur de bonne gestion. Leur disparition progressive est un signe de concurrence marquée et de houppiers qui ne se développent plus.

Pour "l'auteur allemand", le mélange est régi par la désignation des arbres-objectif d'essences différentes. Les interventions ne concernent que ces seuls arbres, mais pas l'ensemble du peuplement.

Développement des houppiers des arbres-objectif

Les éclaircies ont alors pour but de favoriser le développement maximum des houppiers pour que l'architecture des arbres-objectif évolue progressivement vers l'architecture idéale définie au paragraphe "Objectifs" (p. 414). Pour ce qui concerne le houppier, il faut insister sur la nécessité de favoriser les formes de houppier à base élargie afin d'éviter l'ombrage des branches inférieures, leur dessèchement à l'origine d'altérations importantes de la bille de pied ou de cannelure chez le Hêtre ⁽¹⁸⁾. Des éclaircies fortes et par le haut sont indispensables pour stimuler la croissance des houppiers et élargir leur base. Elles contribuent à façonner des houppiers plus longs et plus productifs. L'intérêt de favoriser très précocement le développement des houppiers, outre l'amélioration de la croissance des arbres, portera aussi sur la limitation des risques de gourmands et une meilleure stabilité individuelle des tiges par abaissement de leur centre de gravité. Les éclaircies se poursuivent à courte rotation (5-8 ans) et doivent être très attentives à l'évolution des arbres-objectif pour lesquels des modifications de choix ne sont pas exclues.

Éclaircie du peuplement intersticiel

Pour "l'auteur français", cette opération est essentielle au départ pour doser les essences et éclaircir les cellules sans arbres-objectif. L'expérience montre toutefois qu'en présence d'une distribution spatiale régulière de belles tiges, toute éclaircie par le haut d'un peuplement désigné, comportant moins de 600 tiges à l'hectare et de hauteur dominante supérieure à 25 m, intervient nécessairement au profit d'un arbre-objectif.

(17) On n'abordera ici que les buts essentiels. Les interventions classiques d'éclaircie à caractère sanitaire sont sous-entendues.

(18) Les branches ombragées sont à l'origine de cannelures qui descendent le long du fût, depuis le point d'insertion de la branche sur des longueurs plus ou moins grandes, pouvant aller jusqu'au pied de l'arbre.

Culture du sous-étage

Le développement d'un abondant sous-étage est une réponse à la pratique d'éclaircies fortes par le haut, créant en continu des ouvertures dans le couvert des grands arbres. La forte dynamique du recru, notamment dans les peuplements d'essences de lumière (Chêne et Pin sylvestre), peut conduire à jardiner ou fureter le sous-étage pour réduire la concurrence des plus gros éléments vigoureux s'infiltrant dans l'étage dominant, éliminer des brins frotteurs et relancer les brins traînants. Ces interventions auront pour but d'interrompre le processus de régularisation du sous-étage aboutissant à une strate unique beaucoup moins efficace qu'un étagement gradué du couvert, pour assurer un bon écran protecteur aux fûts et au sol.

Les prélèvements

Ils sont à moduler en fonction des essences et de l'accroissement courant des peuplements. Pour éviter la capitalisation excessive des peuplements, les éclaircies à rotation de 5-8 ans prélèvent de 70 à 100 % de l'accroissement courant. D'une manière générale, ce dernier est sous-estimé. Sans rechercher la précision extrême, le forestier peut consulter utilement les données issues des tables de production, des modèles de croissance ou des résultats d'inventaire. Les forestiers allemands ont une démarche analogue sur ce point.

• Phase de maturation

Des éclaircies attentives à la gestion de la qualité...

Cette phase débute avec la chute de l'accroissement en hauteur et le ralentissement de la croissance du houppier. Les arbres, bien espacés, exercent une faible concurrence entre eux et leurs réactions à l'éclaircie deviennent généralement limitées. L'accroissement en volume et en valeur des gros bois est important par suite d'une croissance sur le diamètre encore soutenue. Les éclaircies plus espacées (rotation de 8-10 ans) vont poursuivre les opérations pratiquées antérieurement mais s'en différencient par la récolte progressive d'arbres-objectif arrivés à maturité, tout d'abord parmi les essences associées moins longévives, ensuite parmi les autres essences. On récoltera, dans un premier temps, les tiges de moins bonne qualité, s'adaptant ainsi à la variabilité observée dans les diamètres des arbres-objectif (cf. figure 2, p. 413).

... et qui préparent l'avenir

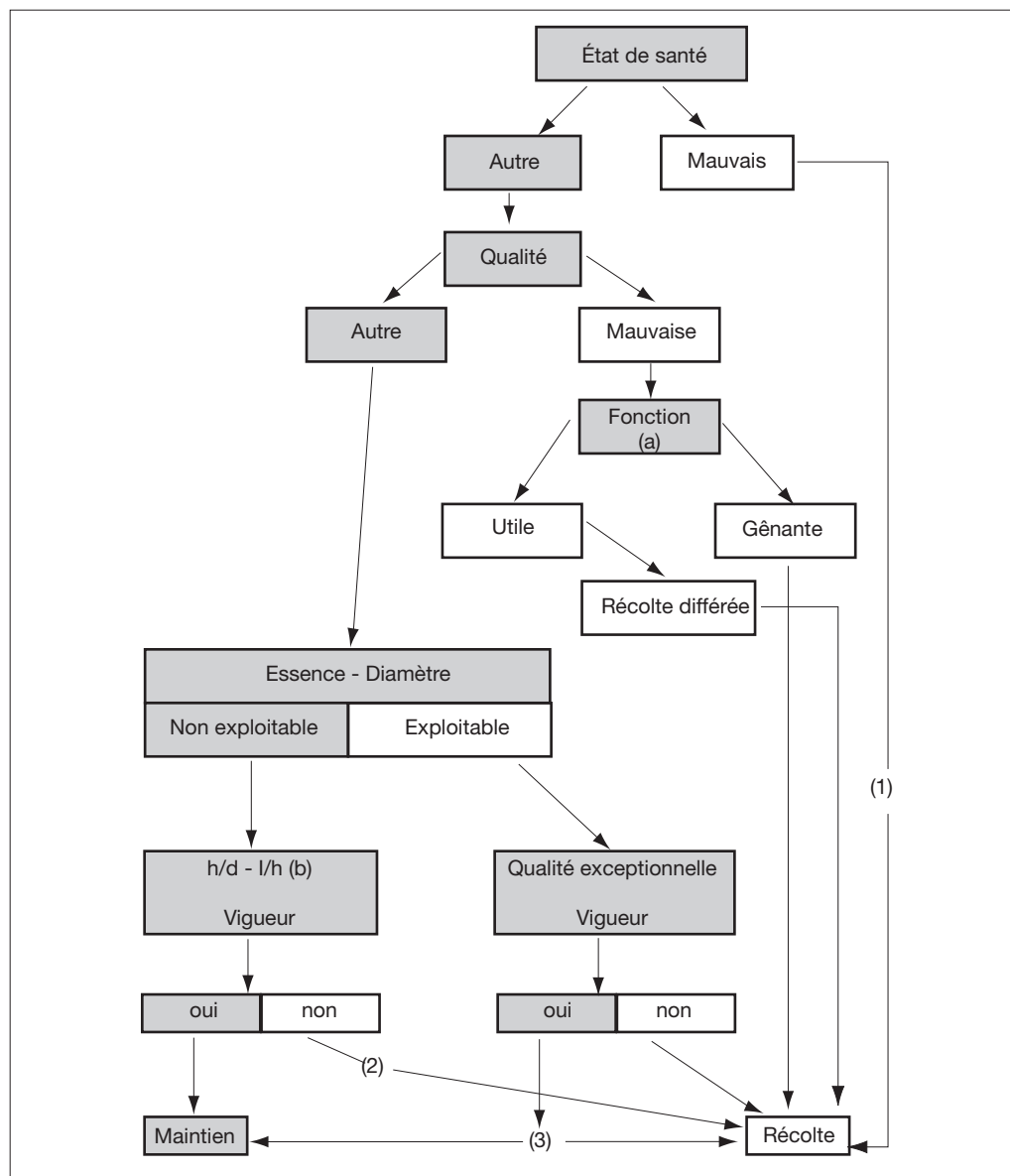
La récolte progressive de gros bois mûrs et de grande qualité peut être conjuguée avec la mise en valeur de beaux bois moyens à la périphérie, de perches de qualité issues du sous-étage, et le développement de régénérations prometteuses. Ainsi que nous l'avons indiqué précédemment, il ne saurait être question en effet de récolter des beaux gros bois vigoureux avant de pouvoir tirer parti de leur régénération naturelle. Cela peut être aussi l'occasion, dans les trouées les plus importantes (chablis), d'introduire d'autres essences pour diversifier les peuplements purs (cas de la hêtraie ou de la sapinière).

La gestion du peuplement au stade de sa maturation peut être considérée comme la gestion d'un stock dans lequel chaque arbre prend une part importante et nécessite un choix individuel raisonné. L'étalement de la récolte doit permettre à chaque bel arbre d'atteindre le diamètre d'exploitabilité. Le tableau II (p. 421) donne une idée de la démarche sous forme d'une clé de choix dichotomique.

Un cadre de futaie pour une sylviculture d'arbres à la frontière entre le régulier et l'irrégulier

Comme on l'a vu, l'allongement de la phase de récolte conduit à moins différencier les phases de régénération et d'amélioration. On peut alors résumer les différents itinéraires de sylviculture d'arbres (cf. figure 6, p. 422).

Tableau II Critères de récolte au diamètre d'exploitabilité des futaies en cours de maturation



(1) Maintien possible si intérêt écologique (biodiversité) ou autre fonction utile (cf. fonctions de l'arbre).

(2) Maintien possible si utilité de fonctions (cf. fonctions de l'arbre (a)).

(3) Choix selon considérations diverses : potentiel de qualité de la régénération naturelle, richesse en gros bois, intérêt particulier du propriétaire.

(a) **Fonctions de l'arbre** : peuvent se ranger en 2 groupes :

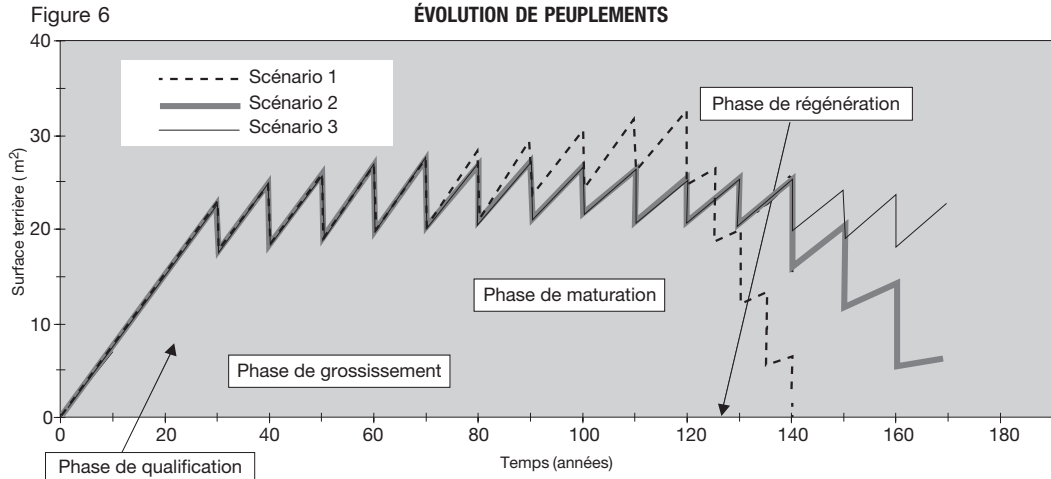
— **utiles** : production, éducation, écologique (biodiversité), sociale (patrimoniale) ;

— **génantes** : compétition - concurrence, par exemple vis-à-vis de la régénération, de perches ou d'arbres de qualité.

(b) **Éléments d'architecture de l'arbre**

h/d : hauteur totale sur diamètre à 1,30 m, exprimés en mêmes unités.

l/h : longueur du houppier vivant l sur la hauteur totale h de l'arbre (limite inférieure du houppier vivant significative). Ces deux caractéristiques architecturales jouent sur la vigueur et la stabilité des arbres et, lorsqu'elles sont défavorables, favorisent le développement de gourmands chez de nombreux feuillus, après ouverture du peuplement.



Les trois scénarios ont un parcours commun dans les phases de qualification et de grossissement. Ils se différencient ensuite comme suit.

Scénario 1 : le matériel sur pied augmente progressivement pendant la phase de maturation jusqu'à la mise en régénération du peuplement → cadre de futaie régulière.

Scénario 2 : baisse progressive du matériel par suite des récoltes des essences associées arrivées à maturité et de l'allongement de la régénération allant jusqu'à la récolte totale du peuplement → cadre de futaie régulière à régénération allongée.

Scénario 3 : scénario identique au précédent avec maintien de bois **vigoureux** et de **qualité** non arrivés au diamètre d'exploitabilité. La régénération s'incorpore aux arbres restants. Il y a superposition des phases de régénération et de qualification → cadre de futaie irrégulière.

On remarque que ce schéma ouvre beaucoup de choix selon l'importance des mélanges et l'homogénéité ou non des arbres-objectif de l'essence principale.

CONCLUSIONS

Les objectifs sylvicoles visant à produire des gros bois de qualité peuvent reposer sur des stratégies différentes tant la diversité des cas de figure est grande. De la chênaie cultivée à grande révolution à la douglaie à croissance rapide en passant par la hêtraie mélangée, la marge est grande. Elle s'agrandit encore avec la variabilité des stations et des sylviculteurs... Face à une forêt de possibles, il convient de faire des choix. Dans ce cadre et compte tenu des diverses contraintes, notamment économiques, que nous avons évoquées en préambule, la sylviculture d'arbres offre des perspectives intéressantes. Cette sylviculture, qui s'inspire de la sylvigénèse, se différencie selon trois phases :

- une phase de qualification : avec des interventions limitées en laissant jouer la compression pour que se différencient les élites ;
- une phase de grossissement caractérisée par des éclaircies fortes par le haut au profit des arbres-objectif sélectionnés aussi tôt que possible ;
- une phase de maturation avec une récolte progressive des arbres arrivant à maturité.

Nous n'avons pas abordé la phase de régénération qui devrait succéder à la phase de maturation. Dans cette perspective, on remarque que le choix de l'itinéraire pourra être très large en fonction de l'évolution des peuplements. En effet, entre la récolte accélérée des gros bois lorsqu'elle s'impose ou le maintien prolongé d'arbres sains, vigoureux et de qualité, susceptibles de prendre de la valeur, différentes options sont possibles. Nous n'avons pas la prétention de tout prévoir et il nous paraît important, dans un itinéraire incertain, de laisser des choix pour le futur tant la forêt se joue parfois avec aisance du prétendu prévisible.

Yves BASTIEN
Professeur de Sylviculture
ÉCOLE NATIONALE DU GÉNIE RURAL,
DES EAUX ET DES FORÊTS
(ENGREF)
14, rue Girardet
CS 4216
F-54042 NANCY CEDEX

Georg Josef WILHELM
Directeur de la Production forestière
DIRECTION CENTRALE
DE L'ADMINISTRATION DES FORÊTS
DE RHÉNANIE-PALATINAT
POSTFACH 1320
D-54203 TRIER (ALLEMAGNE)

Avec la collaboration de : Walter EDER, Directeur de la Sylviculture au ministère de l'Environnement et de la Forêt de Rhénanie-Palatinat à Mayence et Hans Albert LETTER, Directeur de la Production biologique à l'Office des Forêts de la Sarre à Sarrebrück.

BIBLIOGRAPHIE

- BASTIEN (Y.). — Pour l'éducation du Hêtre en futaie claire et mélangée. — *Revue forestière française*, vol. XLIX, n° 1, 1997, pp. 49-68.
- BASTIEN (Y.), OTTO (H.J.). — La Théorie des groupes d'arbres : application aux éclaircies de futaie régulière. — *Revue forestière française*, vol. L, n° 3, 1998, pp. 251-262.
- BÉNARD (V.). — Gestion de la dynamique et de la qualité du mélange d'essences dans les jeunes peuplements réguliers à objectif Hêtre, sur les plateaux calcaires de Haute-Marne. — 1996. — 92 p. + annexes (Mémoire de 3^e année FIF).
- BOUCHON (J.), DHÔTE (J.-F.), LANIER (L.). — Réaction individuelle de Hêtres (*Fagus silvatica* L.) d'âges divers à diverses intensités d'éclaircie. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 46, n° 3, 1989, pp. 251-259.
- DEMOLIS (C.). — Influence de la sylviculture de l'égagement du Hêtre. — *Bulletin technique de l'Office national des Forêts*, n° 21, 1991, pp. 31-42.
- DHÔTE (J.-F.). — Définitions de scénarios sylvicoles d'éclaircie pour le Hêtre et le Chêne. — *Revue forestière française*, vol. XLVII, n° spécial "Modélisation de la croissance des arbres forestiers et de la qualité des bois", 1995, pp. 106-110.
- DUCELLIER (U.). — La Forêt de Bellême et une nouvelle méthode d'éclaircie. — *Revue des Eaux et Forêts*, vol. 68, n° 4, 1930, pp. 263-278.
- LE GOFF (N.). — Dynamique de la croissance individuelle et collective du Hêtre sous contrainte concurrentielle. Hêtraie de basse altitude (volet 2). — Convention de recherche du GIP ECOFOR. Rapport scientifique final, 1998, pp. 21-34.
- LORNE (R.). — À la recherche de la qualité et de gros diamètre dans les futaies de Chêne. — *Revue forestière française*, vol. VIII, n° 11, 1956, pp. 754-768.
- MARTINOT-LAGARDE (P.). — Les Arbres de place. — *Bulletin technique de l'Office national des Forêts*, n° 4, 1973, pp. 23-33.
- MICHAELIS (K.-A.). — Wie bringt Durchforsten die grössere Stärke und Wertzunahme des Holzes. — Verlag von J. Neumann-Neudamm, 1907. — 43 p.
- MÖLLER (C.M.). — Starke Durchforstung in dänischer Beleuchtung. — *Zeitschrift für das Forst und Jagdwesen*, 1931, pp. 369-393.

- MORMICHE (A.). — Note technique à l'usage des personnels du centre de gestion d'Épinal-Nord. — Office national des Forêts, 1969.
- PARDE (J.). — De 1882 à 1976/80 les places d'expérience de sylviculture du Hêtre en forêt domaniale de Haye. — *Revue forestière française*, vol. XXXIII, n° spécial "Sylvicultures en futaies feuillues", 1981, pp. 41-64.
- PERRIN (H.). — Sylviculture. Tome II. Le traitement des forêts. Théorie et pratique des techniques sylvicoles. Théorie du traitement en taillis-sous-futaie, pp. 237-279. — Nancy : École nationale des Eaux et Forêts, 1964. — 394 p.
- SAINT-VAULRY (M. de). — À la recherche d'une autre sylviculture : l'individualisation précoce des arbres d'avenir. — *Revue forestière française*, vol. XXI, n° 2, 1969, pp. 83-100.
- SCHÜTZ (J.-Ph.). — Sylviculture 1. Principes d'éducation des forêts. — Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 1990. — 234 p.
- SCHÜTZ (J.-Ph.). — Bedeutung und Möglichkeiten der biologischen Rationalisierungen in Forstbetrieb. — *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, vol. 147, n° 5, 1996, pp. 315-349.
- SCHÜTZ (J.-Ph.), OLDEMANN (R.A.A.). — Gestion durable par automation biologique. — *Revue forestière française*, vol. XLVIII, n° spécial "La gestion durable des forêts tempérées", 1996, pp. 65-74.
- SPIECKER (H.). — Zur Steuerung des Dickenwachstums und der Astreinigung von Trauben- und Stieleichen. — *Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg*, 72, 1991, 155 p.
- VENET (J.). — Pratique de la prédésignation des arbres de place. — *Revue forestière française*, vol. XX, n° 3, 1968, pp. 157-169.
- WILHELM (G.J.), DUCOS (Y.). — Suggestions pour le traitement de l'Alisier torminal en mélange dans les futaies feuillues sur substrats argileux du Nord-Est de la France. — *Revue forestière française*, vol. XLVIII, n° 2, 1996, pp. 137-143.
- WILHELM (G.J.), LETTER (H.A.), EDER (W.). — Qualifizieren - Dimensionieren. Konzeption einer naturnahen Erzeugung von starkem Wertholz. — *Allgemeine Forst Zeitschrift/Der Wald*, n° 5, 1998, pp. 232-246.

UNE SYLVICULTURE D'ARBRES POUR PRODUIRE DES GROS BOIS DE QUALITÉ (Résumé)

La sylviculture d'arbres s'est progressivement affirmée au cours du XX^e siècle, tant en Allemagne qu'en France. Elle vise à produire mieux au moindre coût et à maintenir ainsi une certaine rentabilité à la gestion forestière. Elle s'appuie sur les phases successives par lesquelles passe un peuplement relativement équienné et est guidée par des considérations sur l'architecture des arbres. Les deux auteurs français et allemand en développent les principes et les modalités en faisant ressortir, le cas échéant, les différences de point de vue qui les distinguent l'un de l'autre.

SILVICULTURAL SYSTEMS FOR PRODUCING HIGH QUALITY LARGE TIMBER (Abstract)

During the course of the 20th century, silvicultural systems gradually became established both France and Germany. Their goal is produce at lowest cost so as to maintain profitability of forestry. They are based on the successive phases which relatively even-aged stands go through and are guided by considerations relating to the growth habit of trees. The two authors — French and German — describe the principles and methods implemented, while highlighting, where applicable, the differences in their respective outlooks.
