

FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

foretnature.be

Rédaction : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. info@foretnature.be. T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :
librairie.foretnature.be

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :
foretnature.be

Retrouvez les anciens articles de la revue
et d'autres ressources : **foretnature.be**



LES JEUNES PEUPELEMENTS MÉLANGÉS DE HÊTRES ET DE BOULEAUX

étude bibliographique sur la forme des hêtres

SÉBASTIEN KISS

Enseignant en sciences forestières

HUGUES CLAESSENS

Assistant, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux,
Unité de Gestion et Économie forestière

Avec cet article sur la mise en place de l'architecture du hêtre, de la plantule à l'arbre adulte, et sur les causes de sa malformation, nous entamons un cycle de deux cahiers techniques dédiés à la sylviculture du hêtre en mélange avec le bouleau. Les premières parties abordent la définition d'une architecture d'arbre idéal et le rôle de la concurrence sur la forme des hêtres. Ces notions permettront, dans les parties ultérieures, de mieux désigner les individus destinés à devenir des arbres « objectif » et à comprendre le rôle des essences compagnes dans les plantations mélangées. Le bouleau servira d'essence de bourrage pour l'élaboration d'une sylviculture d'arbres adaptée aux mélanges.

Étude bibliographique issue d'un travail de fin d'étude réalisé à la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.

Partie 1 : introduction à la mauvaise forme du hêtre

Depuis plusieurs années, les forestiers signalent la très mauvaise forme des hêtres plantés à découvert¹⁻²⁻³⁻⁴⁻⁵⁻⁶.

Le hêtre est une essence de très grande variabilité. Celle-ci apparaît au sein d'une même parcelle et on ne peut manquer d'être frappé par le fait, sans doute unique chez nos espèces naturelles, qu'on rencontre souvent côte à côte des hêtres droits et des tordus, des individus à dominance apicale* et des fastigiés ou encore à développement anarchique du houppier et à branches

finies et horizontales, des rhytidomes* bruns, acajous, gris pâles, gris foncés, verts ou noirs, des arbres à fibre torse (dextorse* ou senestorse*), à débourement plus ou moins tardif⁷. Cette mauvaise forme des arbres en plantation pose problème puisque lors de la première éclaircie, vers quinze mètres de hauteur dominante, il est parfois difficile de trouver 200 tiges potentielles d'avenir, dans des plantations n'ayant jamais subi d'éclaircie, ni de taille de formation ou de défouillage⁵.

En fait, il ne faut pas oublier que le hêtre est une essence d'ombre, amatrice d'abri, même latéral dans son jeune âge. Même si, en vieillissant, elle a besoin de beaucoup de lumière, ainsi que d'espace, afin de produire le pré-



© FW

forme. Des semis naturels et des plants, poussant dans le même site, présentent les mêmes défauts de forme²⁻³⁻⁴. On peut donc écarter la cause d'un traumatisme du système racinaire lors de la plantation et affirmer que la mauvaise forme et la plantation en plein découvert sont associées.

En effet, en plein soleil, les jeunes hêtres issus de semis naturels ou issus de plantations ont en commun un certain nombre d'autres caractéristiques propres aux hêtres à découvert² :

- ◆ des fourches, simples ou multiples, après destruction du bourgeon terminal pendant l'hiver ;
- ◆ de grosses branches latérales ;
- ◆ le développement de la cime peut se faire dans plusieurs plans ;
- ◆ une marcescence* très prolongée ;
- ◆ un diamètre au collet important ;
- ◆ l'existence d'une deuxième ou d'une troisième pousse (une pousse normale d'été, une pousse parfois absente de fin d'été et une pousse secondaire d'automne) ; on parle alors de polycyclisme ou de « pousse d'août » ou encore de « pousse de la Saint-Jean ». Celle-ci semble n'avoir ni le temps de s'aoûter, ni de reconstituer un bourgeon terminal normal avant les période de froid. Le méristème* terminal est donc détruit pendant l'hiver ;
- ◆ le bourgeon terminal peut simplement s'ouvrir sans présenter d'allongement des entre-nœuds ou s'allonger jusqu'à plusieurs centimètres, avec des étapes intermédiaires ;
- ◆ les hêtres débourent plus tard⁸.

Or, sous abri, les semis naturels de même âge adoptent une forme tout à fait différente, caractérisée par le développement de la partie aérienne dans un plan privilégié². Ainsi, en semis naturels sous abri :

- ◆ 75 % des semis n'ont jamais fourché ;
- ◆ les semis sont très peu marcescents* ;
- ◆ le diamètre au collet est faible ;
- ◆ les branches latérales sont très fines ;
- ◆ la pousse annuelle est unique, monocyclique et adopte un caractère nettement plagiotrope* ;
- ◆ la pousse terminale se termine par un bourgeon parfaitement confor-

mé, avec des écailles protégeant parfaitement le méristème et les jeunes feuilles préformées ;

- ◆ les hêtres débourent plus tôt⁸.

Il faut savoir qu'un abri excessif est aussi mauvais que le manque d'abri : dans l'un ou l'autre cas, les jeunes tiges seront mal formées, courbées ou fourchues⁹.

Partie 2 : construction et mise en place des organes architecturaux du hêtre

LA MISE EN PLACE DES ORGANES ARCHITECTURAUX DU HÊTRE

L'étude de la forme du hêtre exige une connaissance approfondie de la mise en place et du mode de développement des organes architecturaux de l'essence. La croissance du hêtre semble contrôlée par un programme précis, basé sur les différents mécanismes de développement de l'axe principal et des axes latéraux. Il est nécessaire d'expliciter ces mécanismes pour comprendre l'impact qu'aura le bouleau dans l'élaboration d'un hêtre bien conformé.

Par définition, on considérera qu'un axe est produit par un seul méristème terminal, depuis l'apparition de ce dernier jusqu'à son arrêt de fonctionnement³.

Au niveau des plantules d'un an

À la sortie de la faine, le premier bourgeon (B1), le bourgeon juvénile, se forme à l'extrémité de l'axe* principal, après le développement de deux cotylédons (C) et de deux feuilles (F1) à peu près identiques. Ces feuilles sont différentes de celles d'un arbre adulte : elles sont plus foncées, leur limbe est plus épais et le nombre de nervures est moins grand. Elles sont opposées-décussées*. On les dénomme feuilles

* Les termes suivis d'une astérisque sont ceux repris dans le glossaire page 13.

cieux « Okoumé européen », au départ, cette essence est délicate et sensible aux variations brutales de température, à la neige lourde et aux gelées précoces ou tardives. La plantation en plein découvert n'offre donc pas les meilleures possibilités pour la constitution d'arbres de haute qualité.

La mauvaise forme se traduit par un manque de dominance apicale, des fourchaisons répétées, des branches latérales de grosse dimension, un très mauvais élagage², un tronc flexueux, courbe, à fibre torse... Parmi tous ces défauts, c'est la fourchaison qui est le plus important par sa fréquence⁵.

En outre, il semble que les semis naturels en découvert ne diffèrent pas des hêtres plantés du point de vue de la

Les « bosses » et fibres torsées sont des caractères génétiques héritables. Une bonne provenance peut éviter ce genre de défauts.



© FW



© FW

juvéniles. Elles axillent des ébauches de bourgeons latéraux (b1)¹⁰.

Après l'ouverture du bourgeon B1, l'axe principal s'allonge à la verticale et un nouveau bourgeon terminal (B2) se forme. Les feuilles F2 qui s'insèrent sur l'axe principal entre les deux bourgeons B1 et B2 sont aussi des feuilles juvéniles mais sont cette fois alternes et disposées en spirale sur l'axe de la tige. Leur nombre varie d'un plant à l'autre. Elles axillent des bourgeons latéraux (b2). Certains plants font alors, la même année, de nouvelles pousses, parfois jusqu'à cinq cycles¹⁰. L'observation de la figure 1 nous permet de mieux visualiser la mise en place des organes de la jeune plantule.

Lorsque le bourgeon terminal, que se soit B1, B2..., avorte, un axe latéral peut alors se développer verticalement. Cet axe porte des feuilles juvéniles en disposition alterne spiralee. La ramification est cependant un phénomène rare au cours de la première année (10 % des cas) et paraît être la réponse à un traumatisme¹⁰.

Pour résumer, la première année, tous les axes sont orthotropes*, tant par la

direction de croissance verticale que par la phyllotaxie* spiralee des feuilles, dont les limbes sont disposés dans plusieurs plans autour de l'axe¹⁰.

Au niveau des individus de deux ans

L'allongement annuel des pousses peut se produire rapidement au printemps, en un seul cycle de croissance : la pousse est alors monocyclique et correspond à une unité de croissance. Mais son développement peut être discontinu et s'effectuer en plusieurs cycles de croissance, se prolongeant au cours de la saison de végétation. La pousse est alors polycyclique et est formée de plusieurs unités de croissance¹³.

Pendant le premier cycle d'allongement, le bourgeon terminal hiverné produit un axe plagiotrope. Celui-ci porte des feuilles semblables à celles d'un arbre adulte, c'est-à-dire une cou-

leur claire, un limbe mince et un nombre de nervures élevé. Ces feuilles, d'un nouveau type sont dénommées feuilles adultes. La phyllotaxie est distique*. L'axe principal présente une croissance prépondérante et se dégage³⁻¹⁰.

Lors du premier cycle d'allongement, de nombreux axes latéraux se développent. Il s'agit soit :

- ◆ d'axes au développement immédiat ou anticipé¹¹ ou sylleptique*¹² qui se forment sur les parties en cours d'édification, sans formation d'un bourgeon latéral.
- ◆ d'axes à développement retardé¹¹ ou proleptique*¹², issus de bourgeons latéraux, hivernés, situés sur les parties mises en place lors de la première année de vie.

Dans les deux cas, l'axe latéral est toujours plagiotrope.

Quand un second cycle d'élongation se manifeste (dans le cas de pousses

polycycliques), l'ouverture du bourgeon fugace met en place une portion d'axe orthotrope, se redressant verticalement et portant des feuilles juvéniles, alternes, en spirale et dont les limbes sont disposés dans plusieurs plans autour de l'axe³⁻¹³.

Les feuilles juvéniles n'apparaissent que sur des parties orthotropes alors que les feuilles adultes n'apparaissent que sur des parties plagiotropes. Les cycles orthotropes sont issus de bourgeons fugaces dont les cicatrices s'effacent rapidement au bout de 4 à 5 ans.

Au niveau des individus de trois ans et plus

La croissance du hêtre se poursuit la troisième année comme au cours de la deuxième, c'est-à-dire que le premier cycle de croissance de l'année fournit des axes plagiotropes et les cycles supplémentaires (polycyclisme) des axes orthotropes¹⁰⁻¹³.

La disposition des axes verticaux et obliques permet d'étaler un nombre maximum de feuilles dans la cime du plant, zone où elles reçoivent le rayonnement direct¹⁰.

Par ailleurs, d'une année à l'autre, la vigueur des axes latéraux est plus grande, de sorte que le houppier s'inscrit dans un triangle renversé dont le sommet repose sur le sol¹⁰.

Le rôle du polycyclisme dans l'architecture du hêtre

Le polycyclisme est important dans le développement et la forme d'un axe. En effet, lorsque les pousses annuelles successives sont monocycliques, l'axe présente la même organisation (ramification distique) et il est rectiligne. Par contre, lorsque les pousses sont plagiotropes puis orthotropes, l'axe présente deux types d'organisation (ramification distique et spiralée) et il devient sinueux³. Ainsi, depuis la première année, chaque axe est formé d'une succession de parties verticales et obliques, donnant une forme en escalier persistant pendant un an ou deux. L'architecture varie donc selon que les pousses annuelles sont mono ou polycycliques¹⁰.

D'après DUPRÉ¹⁴, le polycyclisme :

- ◆ est très fréquent chez le hêtre (souvent supérieur à 50 %) ;
- ◆ va de pair avec une vigueur importante ;
- ◆ diminue la dominance apicale et peut produire de nombreuses fourches ;
- ◆ est influencé par le milieu (il est plus fréquent sur stations fertiles et en plein découvert) ;
- ◆ diminue avec l'âge. Il est un phénomène juvénile³ ;
- ◆ semble être influencé par la génétique.

Le polycyclisme semble être le facteur clé influençant le plus la forme du plant³. Il exprime la vigueur végétative d'un axe. Les pousses polycycliques étant plus longues que les pousses monocycliques, elles sont plus vigoureuses. Selon THIEBAUT et MOYEN¹⁵, lorsque le polycyclisme se manifeste simultanément sur la tige principale et sur des axes latéraux qui deviennent alors compétitifs, la dominance apicale diminue, et le polycyclisme peut favoriser l'apparition de fourches. Par contre, quand il n'apparaît que sur la tige principale, la dominance apicale est accusée, mais la tige devient sinueuse et le houppier étriqué, de sorte que la croissance en circonférence de la tige principale peut être affectée en l'absence d'un houppier bien établi.

Si, à l'inverse, les ressources du plant sont réparties de manière équitable entre plusieurs axes, alors le plant

« hésite » et perd un caractère architectural important pour le forestier : la prédominance de l'axe principal¹⁰.

Le polycyclisme est sous la dépendance de facteurs internes, mais aussi de facteurs externes tels que la luminosité, la fertilité, l'eau, l'espace vital. Il permet de tirer profit de ces ressources abondantes. Un excès d'abondance pour le hêtre peut donc conduire à un fort polycyclisme.

Les années chaudes et humides favorisent le polycyclisme et profitent davantage à la tige principale qu'aux axes latéraux, accentuant la dominance apicale³. Les provenances de plaines produiraient plus de pousses polycycliques que les provenances de montagne⁸.

GALOUX⁸ signale que les jours longs favorisent l'émission de pousses d'août.

Le rôle de la dominance apicale dans l'architecture du hêtre

Dans une ramification, le développement des axes est hiérarchisé par une dominance apicale plus ou moins nette qui influence qualitativement et quantitativement leur croissance. Quatre voies sont possibles³ (figure 2) :

- ◆ La dominance apicale est forte et localisée dans un même méristème qui élabore la tige principale. Si les autres méristèmes donnent des axes latéraux, ces derniers sont obliques et petits. La tige principale est droi-

FIGURE 1 – DÉVELOPPEMENTS DE PLANTS DE HÊTRE D'UN AN

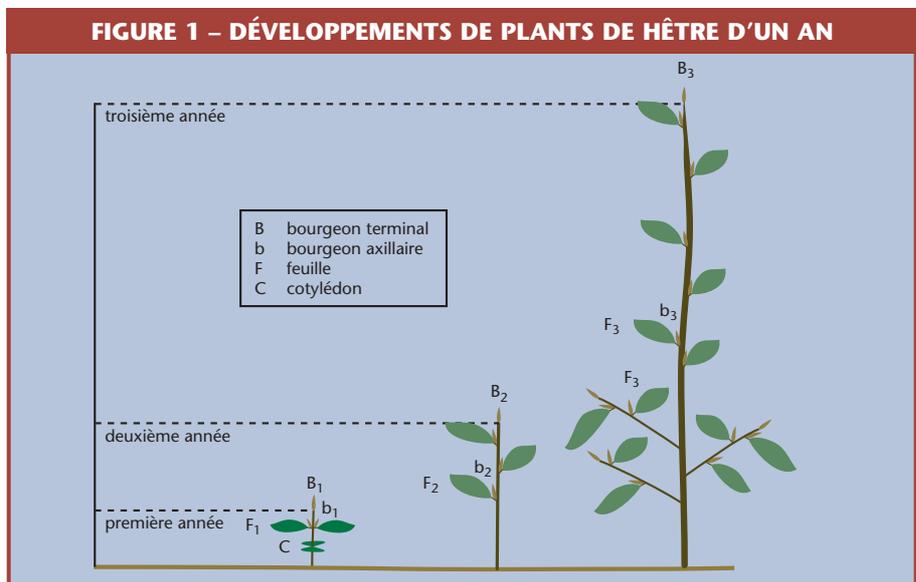
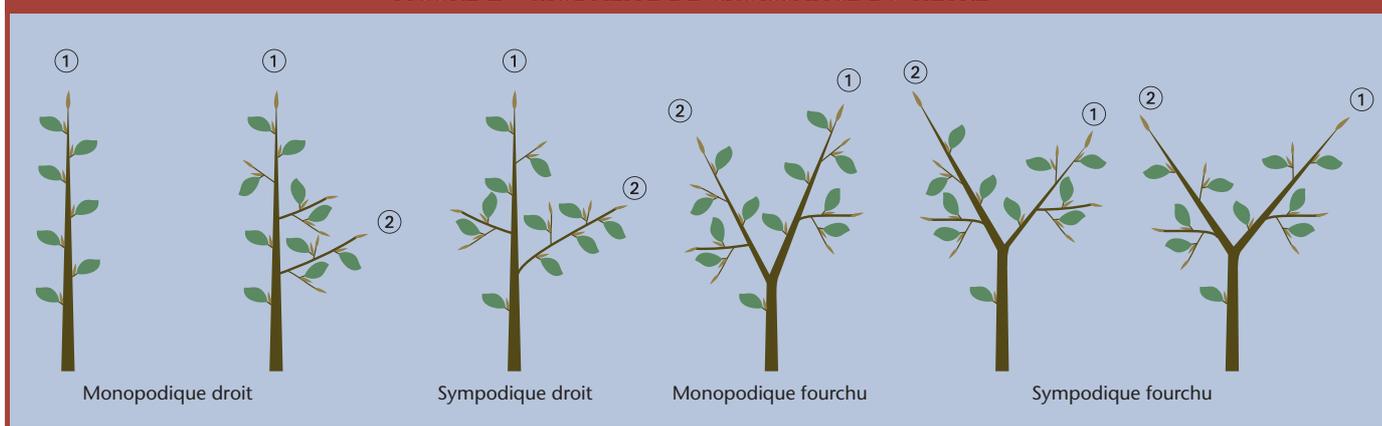


FIGURE 2 – MODALITÉ DE CROISSANCE DU HÊTRE³



te, formée d'un seul axe : son fonctionnement est monopodique-droit.

- ◆ Tout en restant forte, la dominance apicale peut être transférée d'un méristème à un autre ; l'ancien méristème dominant devient dominé et l'extrémité de l'axe primaire se latérise. Un méristème latéral poursuit l'élaboration de la tige principale ; celle-ci est droite mais formée de plusieurs axes : son fonctionnement est sympodique-droit.
- ◆ Lorsque la dominance apicale est faible et exercée par un seul méristème, la tige principale est oblique et monopodique ; elle est concurrencée par des axes latéraux et des fourches apparaissent : le fonctionnement est monopodique-fourchu.

- ◆ Lorsque la dominance apicale est faible et exercée successivement par plusieurs méristèmes, la tige principale est oblique et sympodique. Et quand la dominance est exercée simultanément par deux ou plusieurs méristèmes équivalents, il n'y a plus de tige principale distincte ; dans les deux cas, le fonctionnement est sympodique-fourchu.

À chaque ramification, l'importance de la dominance apicale entre les bourgeons terminaux et latéraux a une influence déterminante sur la forme de la tige principale : selon l'importance de la dominance, la tige est droite ou fourchue, selon la préséance entre les deux bourgeons, la tige est monopodique ou sympodique¹⁶.

Conclusions

Le polycyclisme et la dominance apicale nous semblent être les facteurs clés pour comprendre les différences de forme qu'il peut exister entre un arbre fourchu et un arbre non fourchu. En effet, un arbre ayant moins de ressources semble réserver ses forces pour ériger une pousse unique mais dirigée vers la lumière. On obtient alors un arbre droit mais plus filiforme. Au contraire, un arbre ayant

À la sortie de la faine, le premier bourgeon se forme juste après le développement des deux cotylédons et des deux feuilles juvéniles, plus foncées, plus épaisses et ayant un nombre de nervures moins grand que les feuilles suivantes.



d'abondantes ressources pourra faire plusieurs pousses au cours d'une même année. Celles-ci ne pointeront pas spécialement vers le ciel et tenteront, au contraire, d'explorer et d'exploiter aux mieux toutes les ressources présentes. La dominance apicale est alors moins nette et le hêtre perd un élément majeur de la constitution de son houppier. Le rôle du bouleau comme essence compagne semble donc bien d'obliger le hêtre à se développer dans des conditions de compétition au niveau de la lumière, de l'eau et des éléments minéraux et d'adopter une stratégie de survie en produisant une pousse unique mais pointée vers le ciel, vers la lumière. Il favorise également la dominance apicale du bourgeon terminal. Le bouleau réduit donc la vigueur du hêtre et favorise la mise en place de pousses monocycliques et droites.

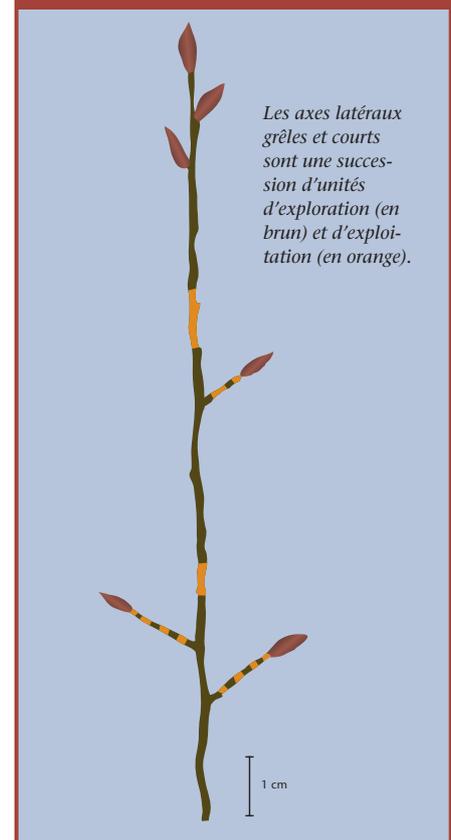
De plus, lorsque le hêtre ne développe qu'une seule pousse par an, son bourgeon terminal est bien protégé, bien aoûté. Il sera moins surpris par une gelée accidentelle. Le bouleau jouera aussi le rôle d'abri et tamponnera mieux les fluctuations de température. Le bourgeon terminal du hêtre sera alors mieux protégé et risquera moins de mourir de manière accidentelle.

La figure 3 résume les facteurs favorisant les risques de fourchaison.

LA CONSTRUCTION DES HÊTRES ADULTES DU POINT DE VUE DE LA FORME

Tous les axes aériens du hêtre ont une croissance rythmique caractérisée par des vagues successives d'allongement, qui alternent avec des périodes de faible élancement ou de repos¹⁷. Ainsi, l'axe est formé par une succession d'unités de croissance correspondant chacune à un cycle d'allongement¹⁸. Le rameau de l'année prolonge le rameau de l'année précédente par accroissement monopodique¹⁹. Les bourgeons dormants hivernés laissent sur l'écorce de plants à faible croissance des cicatrices caractéristiques, visibles pendant 20 à 30 ans, qui permettent de repérer avec précision les pousses annuelles successives le long d'un axe. La longueur des pousses annuelles varie. On y distingue des pousses courtes et non ramifiées, dites pousses d'exploitation, et des pousses longues et toujours ramifiées, dites pousses d'exploration. L'auteur ajoute que l'allongement des pousses courtes se produit au printemps en un cycle de croissance. Il est toujours monocyclique et formé d'une seule unité de croissance (monocyclique). Par contre, l'allongement des pousses longues peut présenter un ou plusieurs cycles (mono- ou polycyclique). Un dimorphisme foliaire est associé à ces

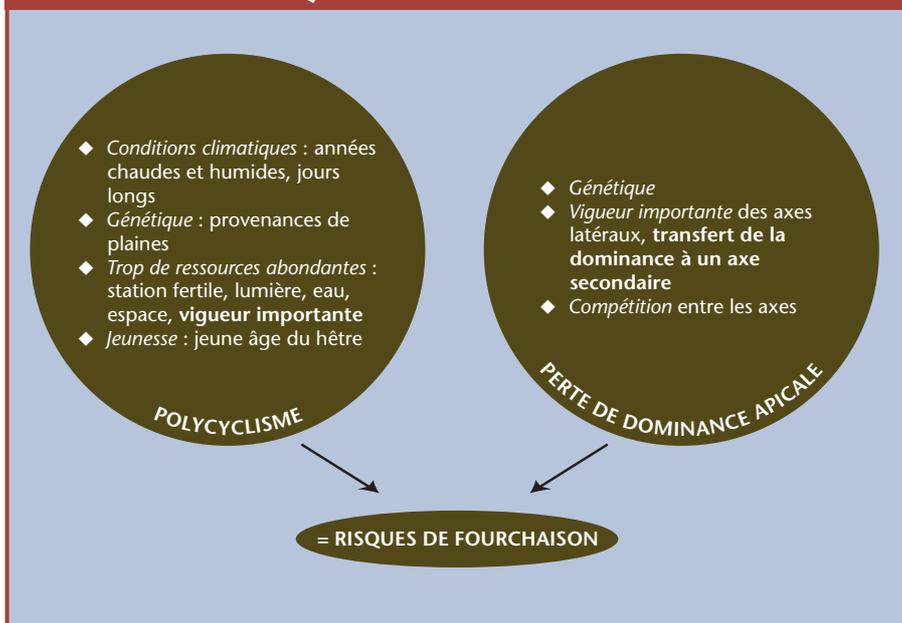
FIGURE 4 – SCHÉMA DES AXES LATÉRAUX²⁰



deux modes de fonctionnement de l'axe. Les feuilles portées par les pousses d'exploitation sont de formes régulières alors que les feuilles portées par les pousses d'exploration portent des feuilles aux formes variées. Les pousses courtes ne représentent que 37 % du poids sec de la ramure annuelle. Leur rôle reste discret dans l'élaboration de la charpente. Par contre, elles porteraient 77 % des feuilles et contribuent fortement à augmenter la surface chlorophyllienne pour exploiter au mieux le milieu. Les pousses longues ont un rôle charpentier important, dont la fonction est d'explorer le milieu. La forme de l'axe dépend en grande partie de la nature des pousses annuelles qui le composent. Certains de ces axes sont uniquement formés de pousses d'exploitation. Ceux-ci sont courts, grêles et non ramifiés¹⁹. Les axes latéraux grêles et courts sont une succession d'unités d'exploration et d'exploitation (voir figure 4).

Au bout d'une même branche, on peut observer trois types de fonctionnement qui représentent trois phases successives dans le développement de la branche¹⁹ : une partie en ramification, une partie en élancement et une

FIGURE 3 – REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DES FACTEURS FAVORISANT LES RISQUES DE FOURCHAISSON DU HÊTRE



partie en croissance ralentie. Ainsi, l'axe principal connaît d'abord une croissance optimale au cours de la première phase. Ensuite, il se ramifie et s'étire en explorant le milieu puis, ayant acquis ses axes latéraux, sa croissance diminue et il exploite le milieu dans une direction privilégiée. Enfin, sa croissance se stabilise et l'axe sera ensuite soumis à un élagage naturel. Les axes latéraux fonctionnent de la même manière. Certaines branches peuvent manifester certaines capacités d'adaptation aux variations du milieu sans modifier fondamentalement l'ordre de ces trois phases. En conséquence, l'extrémité d'une branche peut présenter trois formes distinctes (ramifiée dans le cas de pousses d'exploration, en écouvillon dans le cas de pousses d'exploitation et enfin linéai-

re dans le cas de pousses en stabilisation) selon la phase de développement en cours. Ces trois phases de développement, observées à l'extrémité des branches ainsi qu'à différents niveaux de la couronne traduisent des vigueurs différentes en rapport avec des ressources et des états physiologiques distincts des organes. Cette règle est particulièrement intéressante puisqu'il faut attendre que des pousses arrivent au troisième stade pour voir le processus d'élagage naturel commencer, ce qui explique que le hêtre a un élagage naturel tardif.

Quand il existe différentes strates, le nombre de ramifications et de tiges sympodiques augmente de haut en bas quand la luminosité diminue, ce qui favorise l'édification d'un houp-

pier en éventail. La stratification a donc un rôle dans l'architecture de l'arbre¹⁶.

COLETTE²² détermine quatre hêtres-moyen-types dont les caractéristiques sont reprises dans le tableau 1. On peut y voir que les brins ont un rapport D/d plus grand chez les petits arbres. Ce rapport ne doit pas tomber en dessous de 20, ce qui oblige de desserrer les arbres à partir de la dimension d'un moderne. Le rapport h/D nous indique que la cime prend de plus en plus de place en vieillissant.

FACTEURS INFLUENÇANT LA FORME DES HÊTRES

Les facteurs influençant la mise en place de l'architecture du hêtre peuvent être classés en trois catégories : génétiques, sylvicoles et écologiques. D'une manière ou d'une autre, ce sont des facteurs qui ont un impact direct sur les pousses annuelles (dégâts divers) ou sur leur développement (polycyclisme, dominance apicale...).

L'influence de la provenance sur l'architecture semble importante¹⁰. Il y a trente ans, KRAHL-URBAN²³ a montré que des caractères liés à la forme, à la branchaison, et à la qualité du bois (rectitude du fût, angle des branches, types de couronnes, fibre torse), sont très vraisemblablement héréditaires. D'après GALOUX⁸, le nombre de fourches est un caractère qui porte une certaine hérédité, sauf pour les fourches uniques. Selon TEISSIER DU CROS²⁴, la fertilité de la station joue aussi un rôle important et sa variabilité, d'un site à l'autre, bouleverse les classements.

Les provenances de moyenne et de haute altitude ont une forme satisfaisante mais ne sont pas assez productives quand elles sont transférées à basse altitude³. Même si c'est loin d'être une règle absolue, elles ont aussi tendance à débousser plus tôt que les provenances de basse altitude²⁴.

L'analyse comparative de plusieurs provenances a permis de montrer que certains caractères morphologiques (la dimension des feuilles, la rectitude du tronc, l'apparition des pousses polycy-

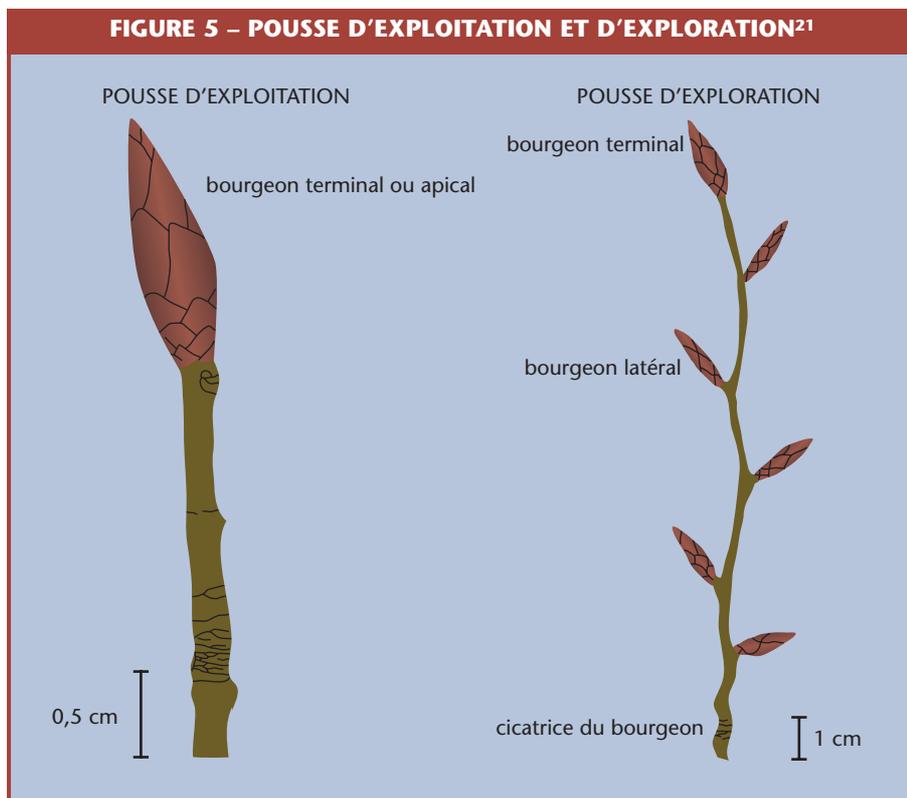


Tableau 1 – Divers paramètres de forme en fonction de la circonférence et du diamètre²²

Appellation	C150	d	D/d	h/H	h/D
Baliveau	0,65	0,21	23	0,48	1,9
Moderne	1,10	0,35	19	0,52	1,9
Petits anciens	1,65	0,53	20	0,55	1,4
Gros anciens	2,35	0,75	20	0,56	1,05

C150 représente la circonférence à 1 m 50
d le diamètre à 1 m 50
D le diamètre du houppier
h la hauteur de cime allant du début du houppier jusqu'au bourgeon terminal
H la hauteur totale de l'arbre

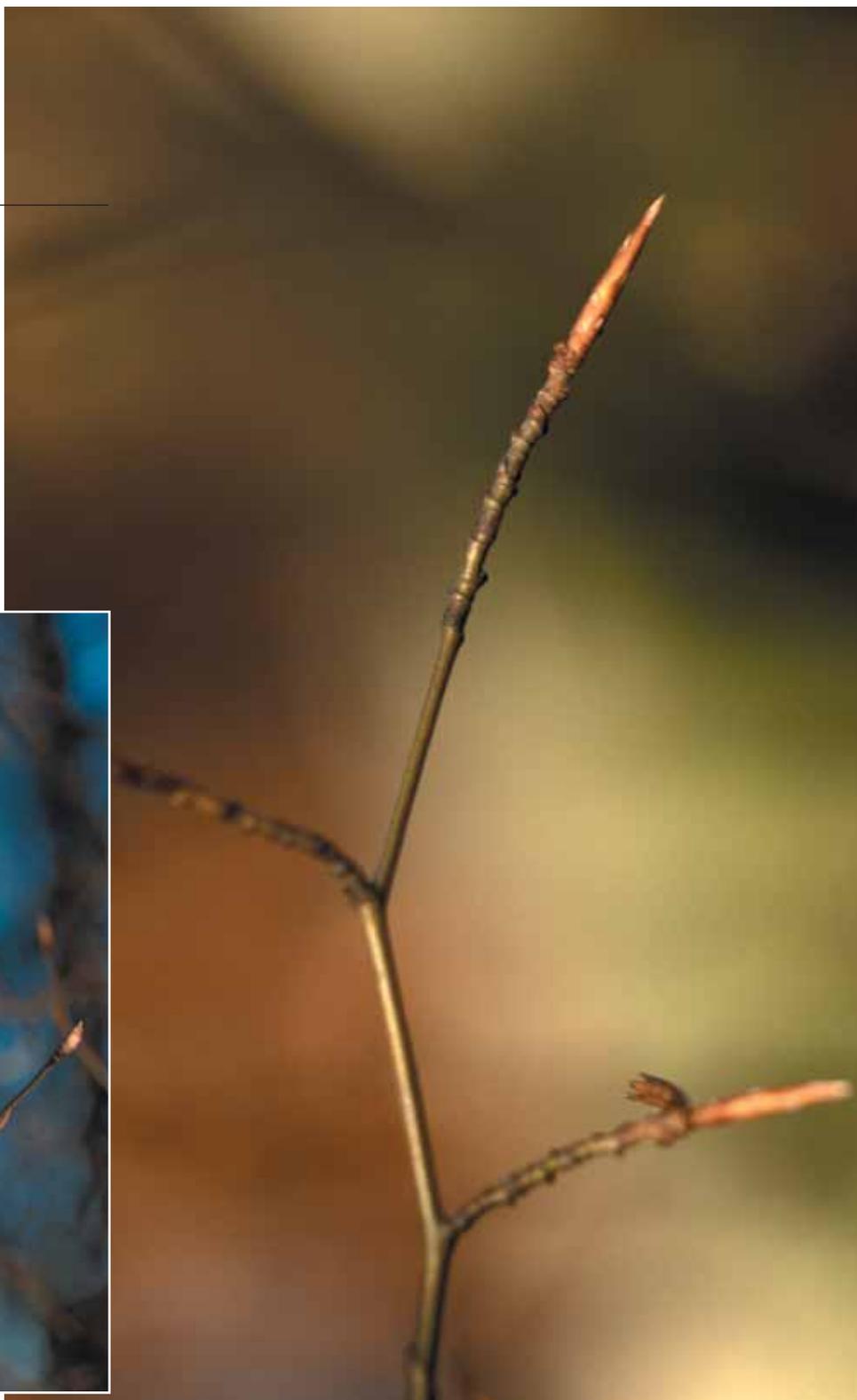
cliques, la fibre torse, l'écorce fissurée, les fourches répétitives et la croissance annuelle en hauteur) présentent un déterminisme complexe sous la dépendance du milieu. De plus, il n'est pas exclu que la plasticité individuelle soit elle-même en rapport avec le génotype et traduise ainsi une vigueur végétative en relation avec une compétence génétique individuelle¹³. DUPRÉ *et al*⁴ ont montré que la provenance avait un effet sur la vigueur des plants.

TEISSIER DU CROS *et al*²⁵ ont montré que le débourrement tardif, recherché pour les plantations en plein découvert dans des sites sensibles aux gelées tardives, est soumis à un fort contrôle génétique. Ce caractère est stable dans le temps et dans l'espace.

Les opérations sylvicoles qui ont un impact sur l'éclaircissement des plants ou la concurrence entre individus vont modifier la tendance au polycyclisme, à l'or-

thotropie et à la dominance apicale, autant de processus qui déterminent la forme du plant. Une forte densité et surtout un léger sur-étage vont favoriser l'émergence d'une tige droite et unique et de branches latérales étalées. En effet, les fortes luminosités, alliées à de faibles densités semblent favoriser l'apparition de fourches¹⁰. Le degré de ramification augmente à la lumière. La meilleure forme est obtenue en demi-lumière (entre 25 et 75 % de recouvrement au

Les axes latéraux fonctionnent de la même manière que l'axe apical : dans un premier temps, ils développent une croissance optimale, c'est la phase d'exploration ou d'élongation. Ensuite, ils se ramifient et s'étirent dans différentes directions, c'est la phase d'exploitation. Enfin, leur croissance diminue et ils exploitent une direction privilégiée. C'est uniquement après cette troisième phase, et la stabilisation de la croissance, que l'élagage naturel pourra commencer.



sol), alors que le nombre de fourches est plus important à l'ombre, et surtout à la lumière⁴. À la demi-lumière (en lisière de forêt par exemple), l'amplitude des variations observées est la plus grande dans les formes architecturales¹³.

D'autre part, l'élimination physique des arbres de mauvaise forme lors des nettoiements, ou encore la correction des défauts par la taille de formation et l'élagage ont bien entendu un impact important sur la forme générale d'un peuplement.

GALOUX⁸ avance le rôle de l'écoclimat : dans une plantation jeune à découvert, les températures nocturnes printanières sont plus faibles que sous le couvert, ce qui retarde la feuillaison et augmente les risques de gelées hors-saison qui détruisent les pousses mal aoûtées (gelées hâtives) ou les jeunes pousses (gelées tardives).

En ce qui concerne les facteurs écologiques, différents accidents climatiques (neiges collantes, grêle, vent, gelées hors-saison...) peuvent aussi modifier la forme des hêtres par la destruction de la pousse terminale. Des facteurs biotiques tels que les chancres, les insectes et les lianes (la clématite, *Clematis vitalba* L. et le chèvrefeuille, *Lonicera periclymenum* L.)⁵ jouent aussi un rôle non négligeable sur la forme des hêtres.

Partie 3 : méthodes sylvicoles pour l'amélioration architecturale des hêtres

OBJECTIFS SYLVICOLES POUR LA PRODUCTION D'UN BEAU HÊTRE

Il faut entendre par « beau hêtre » un individu dont la forme est appréciée

par le trancheur qui le valorisera. C'est toutefois l'œil du forestier, parfois subjectif, qui sélectionne les arbres d'avenir.

Si la futaie régulière dense produit des « beaux » arbres mais à houppier étriqué avec de faibles accroissements radiaux (synonymes de mauvaise qualité), on constate que les réserves de taillis-sous-futaie à fût court et à houppier très développé ont des grumes à accroissements larges et de meilleures qualités, convenant plutôt aux acheteurs. Il faut donc produire des billes de pied courtes [de 6 à 8 (10) m], à gros diamètre et à houppier très développé, en éduquant le hêtre en futaie claire et mélangée, et en adaptant le matériel sur pied aux potentialités des stations²⁶. Les houppliers devront être développés car les bois des hêtres sont d'autant plus tendres que leur houppier est peu volumineux²⁷. On fournira aux meilleurs individus des conditions de développement optimales grâce à un régime d'éclaircies dynamiques dès le moment où la hauteur de fût recherchée est atteinte⁶, car les contraintes de croissance chez les hêtres sont d'autant moins élevées qu'ils sont soumis à des éclaircies plus vigoureuses²⁷. DELVINGT et LEMOINE⁶ préconisent la production de grumes de première qualité par une sylviculture dynamique au terme d'une révolution de l'ordre de 100 à 120 ans, produisant alors des arbres de 200 cm de circonférence, pour un prix de 100 à 135 € le m³ (bois blanc) ou de 50 à 75 € le m³ (bois rouge), avec des accroissements réguliers et tendant vers le maximum.

Du point de vue de l'architecture d'un arbre mûr, BASTIEN et WILHELM²⁸ sélectionnent des individus suivant plusieurs critères, c'est à dire :

- ◆ dont le rapport hauteur du houppier vivant sur hauteur totale de l'arbre est supérieure ou égale à 50 %, avec des arbres dont la plus grande largeur du houppier est

située le plus bas possible dans le houppier ;

- ◆ dont la longueur de la bille de pied est comprise entre 5 et 10 m ;
- ◆ dont les charpentières* sont formées de branches vivantes proches les unes des autres. Elles seront au moins trois, afin d'éviter les problèmes de fourches, et constitueront un bon plancher pour le houppier.

D'après DUPLAT et ROMAN-AMAT²⁹, le bois d'œuvre recherché pour les usages de déroulage, tranchage ou ébénisterie consiste en des billons de 150 cm de circonférence au milieu. L'optimum consiste donc en la formation d'une bille de pied de 8 m de long au maximum et de 50 cm de diamètre à 1,3 m au minimum (70 cm de diamètre semble un maximum et 60 cm un optimum) dont on tirera deux billons de 3 m. L'objectif retenu est d'obtenir cette bille de pied nette de branche par élagage naturel.

Les objectifs doivent être modulés en fonction de la fertilité de la station. Ils sont résumés au tableau 2. La classe de fertilité d'un peuplement peut être déduite de la hauteur dominante atteinte, ou attendue, à cent ans.

Lorsque le peuplement se trouvera nettement en dehors des classes définies ci-dessus, les objectifs seront adaptés par réduction de l'âge ou du diamètre d'exploitabilité en fertilité très basse.

AMÉLIORATION DE LA FORME DES HÊTRES

Souvenons-nous que la forme du hêtre est soumise à des facteurs internes et externes. L'apport de solutions est donc possible en sélectionnant des individus alliant vigueur et bonne forme ou en adoptant des techniques sylvicoles adaptées.

TABLEAU 2 – OBJECTIFS SYLVICOLES POUR LES TROIS PRINCIPALES CLASSES DE FERTILITÉ²⁹

Fertilité	Âge d'exploitabilité (ans)	Nombre de tiges/ha (étage principal)	Diamètre moyen d'exploitabilité (cm)	Hauteur de bille (m)	Hauteur dominante (m)
I : Bonne	100	70	65-70	8-10	32
II : Moyenne	110	90	60-65	7-9	28
III : Médiocre	120	120	50-60	6-8	24



Les cicatrices de bourgeons terminaux sont souvent bien visibles chez le hêtre. Elles ne correspondent pas forcément à une année de croissance mais plutôt à une phase de croissance. Il peut donc y en avoir plusieurs dans une pousse annuelle.

Par l'augmentation de la densité de plantation

La forte densité de plantation réduit le risque de fourchaison et, surtout, augmente les possibilités de choix du sylviculteur au moment des premières éclaircies sélectives¹⁻³⁻²⁴⁻²⁵. Les régénérations naturelles ont des densités atteignant, vers 3,5 m de hauteur dominante, des valeurs de l'ordre de 50 000 à 100 000 tiges à l'hectare et sont de qualité très supérieure aux plantations. Pour des raisons économiques, il est difficilement envisageable de dépasser les 10 000 plants à l'hectare. Il faut donc trouver d'autres solutions⁵. Malgré des densités de plantation de 20 000 plants à l'ha, des différences sont encore détectables à 20 ans. Pour DUPRE *et al*³, les normes suggérant 5 000 plants par hectare ont été revues à la hausse et on demande une densité locale de 10 000 plants par ha. En effet, en dessous de cette densité, on court le risque d'obtenir un nombre trop élevé de plants à forme inacceptable. Les vieilles plantations ont été réalisées à de relativement fortes densités, voisines des 10 000 plants à l'ha. Ainsi, la forêt de Soignes a été constituée de façon entièrement artificielle et sa forme générale est excellente. On la régénère par des plantations en trouées, étendues progressivement à raison de 10 000 plants à l'ha¹. En Belgique, des densités de l'ordre de 10 000 plants à l'ha (planté à 1 x 1 m) coûtent environ 6 500 € à l'ha (chiffres de 1996)⁶.

Par l'installation d'un peuplement de bourrage

La présence d'essences d'accompagnement peut favoriser la forme du hêtre par l'augmentation de la densité locale du peuplement. Ce bourrage peut être spontané ou avoir été introduit¹. Un dosage adéquat des dégagements permet de contrôler le bourrage et sa composition, tout en guidant le gestionnaire forestier vers une optique de peuplements mélangés⁵. Les héliophiles de type saules, trembles, bouleaux jouent un rôle d'abri et d'ombrage vis-à-vis des régénérations et sont utiles tant qu'ils ne deviennent pas trop encombrants⁷. Le bourrage, en augmentant la compétition, réduit la vigueur du hêtre. Dès lors, celui-ci semble réserver ses forces pour une seule pousse par an. La fourchaison est alors réduite et la forme améliorée.

Le bourrage doit être installé tôt car la lutte entre les arbres pour la place au soleil commence très tôt, et la destinée d'un collectif d'arbres se joue en quelques années après sa création³⁰.

En plantant sous abri supérieur

La plantation de hêtres sous abri diminue significativement la proportion d'arbres fourchus, mais ralentit la croissance en hauteur et en diamètre (diminue la vigueur). Le mélange est transitoire. Le danger peut survenir lors de l'enlèvement du couvert, par l'exploitation de l'étage supérieur ainsi que par une fragilisation de la plantation de hêtre mise à nue (coup de froid, coup de soleil, apparition de nouvelles fourches...)⁵. Cette technique est d'usage, notamment lors de la transformation de pineraies ou de pessières.

Par des tailles de formation, des défourchages, des élagages

Il semble que l'élagage entraîne un gain de croissance en hauteur des plants – d'autant plus sensible que la taille a été sévère – mais que la croissance en diamètre diminue si l'intensité de l'élagage augmente. Le gain de croissance en hauteur s'estompe rapidement, après environ deux ans, alors

que la perte en diamètre reste marquée plusieurs années. Certains plants en sont même traumatisés. Le seul avantage de l'élagage artificiel consiste à éliminer des grosses branches basses et à rectifier un peu la mauvaise aptitude des hêtres à l'élagage naturel⁵. L'élagage artificiel est donc une amélioration temporaire, éphémère et déséquilibrant l'arbre (le rapport h/d augmente). De plus, il est coûteux, et doit s'opérer sur une hauteur suffisante. Il laisse le bois exposé à des organismes extérieurs pouvant déprécier fortement le bois, tel le chancre des rameaux (*Nectria ditissima*). Le bois de hêtre étant particulièrement sensible, les risques d'infections parasitaires sont donc non négligeables.

En choisissant une provenance adaptée

En France, un réseau de provenances alliant débourrement végétatif tardif, vigueur et fourchaison faible a été mis en place. Le choix des provenances est difficile mais faisable, essai par essai²⁵. Les provenances de Châtillon, Compiègne, Sousceyrac et Perche-Trappe présentent probablement le meilleur compromis pour ces trois caractères s'il existe un risque de gelées tardives. Les essais étaient encore trop jeunes en 1989 pour prendre en compte des observations précises de l'hérédité des caractères de forme²⁴.

En Belgique, la sélection des arbres plus se base sur une sélection d'arbres alliant vigueur et belle forme. On évitera de prendre des arbres avec une légère courbure locale, indiquant la présence d'une ancienne fourche morte mais dépréciant le bois interne. Pour information, une expérience internationale basée sur plus de 70 provenances de hêtres de toute l'Europe est en cours de réalisation à Paliseul. Elle permettra de mettre à jour de nouvelles provenances recommandables pour la Belgique³¹.

En privilégiant la régénération naturelle

La qualité phénotypique des hêtres en régénération naturelle, sous couvert des semenciers, est meilleure que les

plants de même âge en régénération artificielle. Toutefois, les semis naturels fourchent également si on les expose de façon brutale à la lumière. En Ardenne, DELVINGT et LEMOINE⁶ recommandent de n'exploiter le couvert que de façon légère et régulière afin d'éviter la formation de fourches ainsi que l'arrivée massive de lumière au niveau du sol et de voir la parcelle envahie de fougère aigle, voire de ronces sur des stations à niveau trophique élevé, et enfin d'éviter les gelées tardives. On exploite alors le peuplement en deux coupes à la rotation de 4 à 6 ans.

CONCLUSION

Ces premières parties nous ont bien fait comprendre les problèmes de forme que rencontrent les plantations de hêtres en plein découvert. Ces problèmes n'ont bien souvent que des solutions contraignantes et coûteuses, basées essentiellement sur les tailles et élagages ainsi que sur la recherche en génétique.

La suite de cet article développera une solution plus sylvicole, basée sur l'utilisation d'un bourrage de bouleau. Celui-ci peut en effet avoir un impact positif sur la forme du hêtre en raison de la concurrence qu'il exerce.

Nous proposerons différents itinéraires pour la conduite de ces peuplements mélangés, via une sylviculture d'arbres de place. ■

SÉBASTIEN KISS

Mobile : 0478 76 08 12

E-mail : kiss-s@tiscalinet.be

HUGUES CLAESSENS

FUSAGx

passage des Déportés, 2

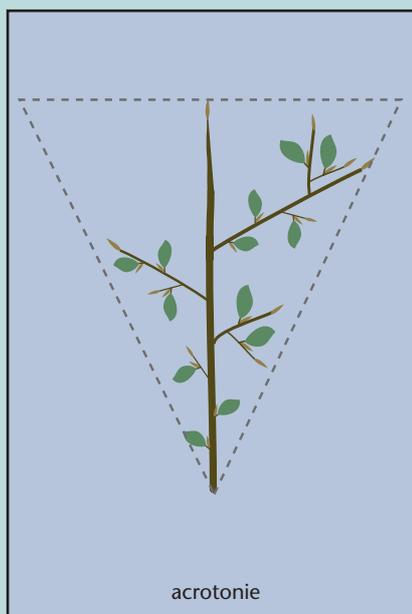
5030 Gembloux

Tél. : 081 62 23 81

E-mail : claessens.h@fsagx.ac.be

ACROTONIE

On parle d'acrotonie lorsque la longueur des ramifications latérales émises par l'allongement annuel d'un axe décroît régulièrement du haut vers le bas. Le houppier s'inscrit alors dans un triangle dont le sommet repose sur le sol.



APICAL

Relatif à la partie sommitale d'un organe.

AXE

Un axe est produit par un seul méristème* terminal depuis son apparition jusqu'à l'arrêt de son fonctionnement.

BOURGEON AXILLAIRE

Bourgeon situé le long de l'axe, en opposition au bourgeon apical ou sommital, situé à l'extrémité de l'axe.

CHARPENTIÈRE

Grosses branches basses situées à la base du houppier.

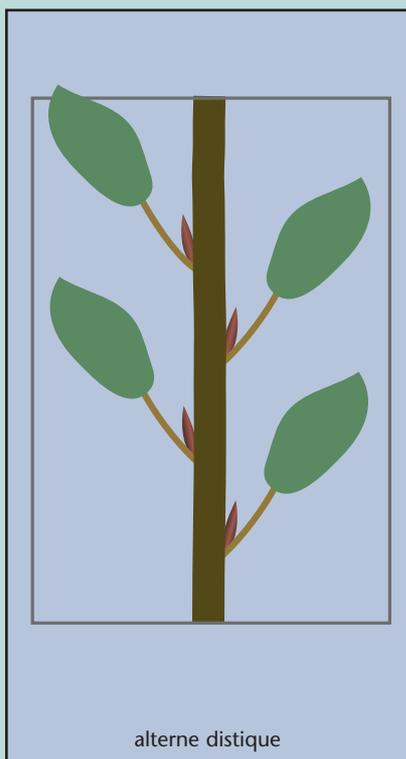
DEXTORSE/SENESTORSE

Lorsque les fibres de bois ne sont pas parallèles à l'axe de l'arbre, on

parle de fibres torses. Selon leur direction, de haut en bas, on parle de fibres dextorses si elles partent vers la droite ou senestorses si elles partent vers la gauche.

DISTIQUE

Se dit d'organes alternes disposés sur deux rangs opposés, et donc situés dans un même plan.



FASTIGIÉ

Se dit d'un arbre dont les ramifications se dressent serrées les unes contre les autres, ce qui lui donne un port étroit et pointu (ex : Peuplier d'Italie).

MARCESCENT

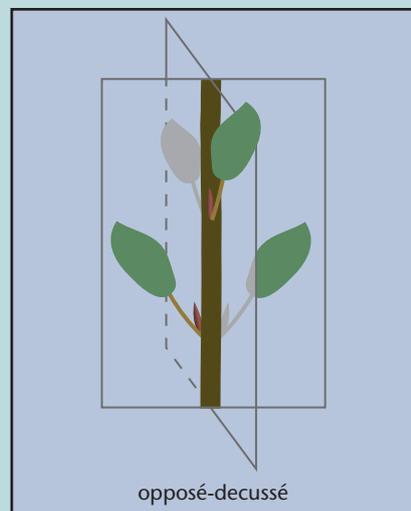
Se dit d'une feuille ou d'une corolle persistant après dessèchement sur le végétal.

MÉRISTÈME

Tissu jeune dont les cellules sont en active division et qui forme les zones embryonnaires de la plante, dont les bourgeons.

OPPOSÉ-DÉCUSSÉ

Se dit d'organes opposés dont les paires successives se croisent à angle droit.



ORTHOTROPE

Qui est orienté à la verticale.

PHYLLOTAXIE

Manière dont les feuilles sont disposées sur une tige.

PLAGIOTROPE

Qui se développe dans un plan, souvent horizontal mais peut être oblique.

PROLEPTIQUE

Lorsque la croissance des axes latéraux est retardée par rapport à celle de l'axe principal et ne s'effectue que l'année suivante, après passage par le stade de bourgeon hivernal, on parle de développement proleptique.

RHYTIDOME

Partie la plus externe de l'écorce d'un arbre.

SENESTORSE

Voir Dextorse.

SYLLEPTIQUE

Quand les axes latéraux ont leur croissance simultanée avec celle de l'axe principal, on parle de développement sylleptique.

Bibliographie

- ¹ BUFFET M., LE TACON F. & TEISSIER DU CROS [1981] - Comportement des plantations. In : *Le hêtre*. Éd. INRA, Départ. Rech. For., Paris. p 264-271.
- ² LE TACON F. [1983] - La plantation en plein découvert : une des causes de la mauvaise forme du hêtre dans le Nord-Est de la France. In *Revue forestière française*. 35(6). p 452-459.
- ³ DUPRÉ S., THIEBAUT B. & TEISSIER DU CROS E. [1985] - Polycyclisme, vigueur et forme chez de jeunes hêtres plantés (*Fagus sylvatica* L.). In *Revue forestière française*, 37(6). p 456-464.
- ⁴ DUPRÉ S., THIEBAUT B. & TEISSIER DU CROS E. [1986] - Morphologie et architecture des jeunes hêtres (*Fagus sylvatica* L.). Influence du milieu, variabilité génétique. In *Ann. Sci. For.* 43(1). p 85-102.
- ⁵ FALCONE P., KELLER R., LE TACON F. & OSWALD H. [1986] - Facteurs influençant la forme des feuillus en plantation. In *Revue forestière française*, 38(3). p 315-323.
- ⁶ DELVINGT W. & LEMOINE N. [1996a] - Cours de sylviculture appliquée. Le hêtre. (notes de cours). FUSAGX, 36 p.
- ⁷ LANIER L. [1986] - *Précis de sylviculture*. Éd. École nationale du génie rural, des eaux et des forêts, Nancy. 468 p.
- ⁸ GALOUX A. [1966] - La variabilité génécologique du hêtre commun (*Fagus sylvatica* L.) en Belgique. In *Travaux Station de Recherches des Eaux et Forêts Groenendaal*, Sér. A, 11. 121 p.
- ⁹ SILVY-LELIGEOIS P. [1960] - Les problèmes sylvicoles de la hêtraie en Europe occidentale. In *bulletin technique de l'institut agronomique et des stations de recherches de Gembloux*. Série extraordinaire, Volume 1.
- ¹⁰ THIEBAUT B. & PUECH S. [1983] - Développement du hêtre commun : morphologie et architecture de l'arbre. 1^{ère} partie : Le développement des plants. In *Rev. For. Fr.* 35(6). p 443-451.
- ¹¹ CHAMPAGNAT P. [1954] - Recherches sur les rameaux anticipés des végétaux ligneux. In *Rev. Cytol. Biol. Végét.* 15. p 1-15. (Cité dans THIEBAUT & PUECH, 1983 et dans THIEBAUT *et al*, 1985).
- ¹² HALLE F., OLDEMAN R.A.A. & TOMLINSON P.B. [1978] - *Tropical trees and forests. An architectural analysis*. Ed. Springer-Verlag, New York. 441 p. (Cité dans THIEBAUT & PUECH, 1983).
- ¹³ THIEBAUT B., CUGUEN J. & DUPRÉ S. [1985] - Architecture des jeunes hêtres *Fagus sylvatica*. In *Can. J. Bot.* 63. p 2 100-2 110.
- ¹⁴ DUPRÉ S. [1984] - *Morphologie et architecture de jeunes plants de hêtre (Fagus silvatica L.) influence du milieu et de la variabilité génétique*. Mémoire de 3^{ème} année École nationale des ingénieurs des travaux des eaux et forêts. (Cité dans THIEBAUT *et al*, 1985 et dans FALCONE *et al*, 1986).
- ¹⁵ THIEBAUT & MOYEN [1982] cité dans DUPRÉ *et al*, 1985.
- ¹⁶ THIEBAUT B., COMPS B., RUCART M., SOROSTE S. & NTSAME OBWO C. [1992a] - Développement des plants de hêtre (*Fagus sylvatica* L.) dans une régénération équienne âgée de 18 ans. In *Ann. Sci. For.* 49(2). p 111-132.
- ¹⁷ WAREING P.F. [1944] - Photoperiodism in woody species. In *Forestry*. 22. p 1-211. (Cité dans THIEBAUT *et al*, 1985).
- ¹⁸ HALLE & MARTIN [1968] cité dans DUPRÉ *et al*, 1985.
- ¹⁹ THIEBAUT B. [1981] - Observation sur le polymorphisme des axes du hêtre commun (*Fagus sylvatica* L.), orthotropie et plagiotropie. In *C.R. Acad. Sci. Ser. 3*, 293. p 483-488.
- ²⁰ THIEBAUT B. & PUECH S. [1984] - Développement du hêtre commun : morphologie et architecture de l'arbre. 2^{ème} partie : Le développement des arbres. In *Rev. For. Fr.* 36(1). p 45-48.
- ²¹ THIEBAUT B. [1981a] - Formation des rameaux. In *Le hêtre*. Éd. INRA, Départ. Rech. For., Paris. p 169-174.
- ²² COLETTE L. [1951] Le développement du hêtre-type en futaie jardinée. In *Bulletin de la société Royale forestière de Belgique*. 58(10). p 415-420.
- ²³ KRAHL-URBAN J. [1962] - Buchen : Nachkommenschaften. In *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung*. 33(2). p 29-38. (Cité dans TEISSIER DU CROS, 1989).
- ²⁴ TEISSIER DU CROS E. [1989] - Étude de la variabilité du hêtre en France : nouveaux résultats. In *Rev. For. Fr.* 41(1). p 29-38.
- ²⁵ TEISSIER DU CROS E. & THIEBAUT B. [1988] - Variability in beech : budding, height growth and tree form. In *Ann. Sci. For.* 45(4). p 383-398.
- ²⁶ BASTIEN Y. [1997] - Pour l'éducation du hêtre en futaie claire et mélangée. In *Revue forestière française*, 49(1). p 49-68.
- ²⁷ POLGE H. [1980] - Un défaut méconnu du hêtre : les contraintes de croissance. In *bulletin technique de l'office national des forêts n°12*. p 31-40.
- ²⁸ BASTIEN Y. & WILHELM J.C. [2000] - Une sylviculture d'arbres pour produire des gros bois de qualité. In *Revue forestière française*, 52(5). p 407-424.
- ²⁹ DUPLAT P. & ROMAN-AMAT B. [1996] - Sylviculture du hêtre. In *Bulletin technique* 31. p 29-33.
- ³⁰ ZARBOVICAN R. & TRENCIA J. [1987] - Croissance de l'éraable à sucre et du hêtre à grande feuille selon la position sociale dans le peuplement. In *Ann. Sci. For.* 44(2). p 211-226.
- ³¹ NANSON A. (comm. pers.)
- ³² HUBERT M. & COURRAUD [1994] - *Élagage et taille de formation des arbres forestiers*. Éd. Institut pour le développement forestier, Paris. 303 p.
- ³³ DELVINGT W., LEMOINE N., QUIVY V. & VANDER ELST X. [1996b] - La régénération naturelle assistée du hêtre : du peuplement adulte au fourré. *Division de la Nature et des Forêts, direction de l'aménagement et du Génie forestier, Fiche technique n°8*. 37 p.
- ³⁴ DELVINGT W., LEMOINE N., QUIVY V. & VANDER ELST X. [1996c] - Étude de la régénération des peuplements de hêtre. Rapport final. FUSAGX, 85 p.
- ³⁵ THIEBAUT B., COMPS B., RUCART M., SOROSTE S. & NTSAME OBWO C. [1992b] - Reclassement des plants de hêtre (*Fagus sylvatica* L.) au cours de leur développement dans une régénération équienne âgée de 18 ans. In *Ann. Sci. For.* 49(2). p 133-148.