



HAL
open science

Gestion du couvert et régénération de la hêtraie : les intérêts d'un abri léger.

Isabelle Vinkler

► **To cite this version:**

Isabelle Vinkler. Gestion du couvert et régénération de la hêtraie : les intérêts d'un abri léger.. Revue forestière française, 2005, 57 (2), pp.159-174. 10.4267/2042/5033 . hal-03449366

HAL Id: hal-03449366

<https://hal.science/hal-03449366>

Submitted on 25 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.

GESTION DU COUVERT ET RÉGÉNÉRATION DE LA HÊTRAIE : LES INTÉRÊTS D'UN ABRI LÉGER

ISABELLE VINKLER

En plantation comme en régénération naturelle, le renouvellement du jeune Hêtre peut poser problème. Difficultés d'installation liées à un couvert excessif, forte sensibilité à la sécheresse estivale ou aux gels tardifs, mais aussi problèmes de forme ont motivé par le passé un grand nombre d'études sur le sujet. Les réflexions actuelles sur les orientations sylvicoles des hêtraies, particulièrement en structure hétérogène (mêlée ou irrégulière), mais également en futaie régulière où l'on envisage parfois l'allongement des durées de régénération, mettent au cœur du débat la question de la gestion du couvert et de son incidence sur la régénération. L'enjeu est important puisqu'il s'agit de proposer des itinéraires sylvicoles garantissant au moindre coût l'acquisition et la croissance d'une régénération de qualité, sans compromettre l'obtention et le maintien des mélanges.

Cet article porte sur l'incidence du couvert sur le développement du Hêtre au cours de sa phase juvénile, depuis les premières années après installation jusqu'à 8 à 10 m de haut. Il décrit les propriétés des tiges (croissance, forme) et certaines caractéristiques de la régénération en fonction du niveau d'éclairement, permettant ainsi de préciser le comportement d'essence d'ombre du Hêtre, et de définir une fourchette d'éclairement favorable. Ces résultats sont ensuite discutés dans une perspective d'application sylvicole.

Les résultats présentés illustrent des situations **d'abri**, caractérisées par la présence d'un **couvert réduisant l'éclairement incident au sommet des tiges** (à bien différencier du gainage latéral au sein de la régénération) : régénérations naturelles en trouée, plantations sous abri vertical ou latéral. L'abri en conditions naturelles ne doit pas être compris uniquement en termes d'éclairement, car il est associé à une modification globale des conditions microclimatiques (température, humidité atmosphérique, vent...) et de concurrence racinaire. En exploitant des observations faites en milieu naturel, où ces différents paramètres sont toujours corrélés, c'est donc plus précisément l'incidence de l'ambiance forestière qui est étudiée.

DES OBSERVATIONS EN MILIEU NATUREL

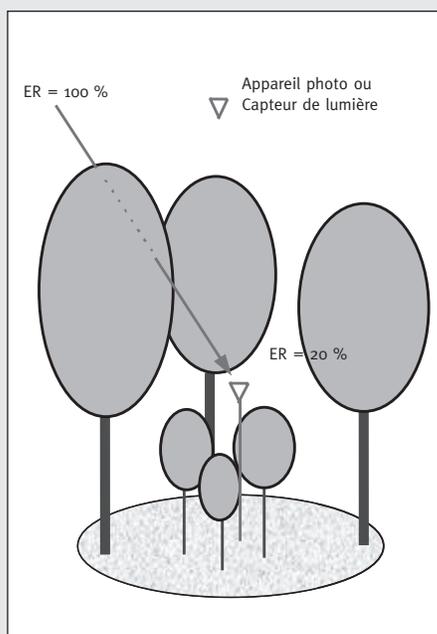
Les résultats présentés s'appuient principalement sur un dispositif constitué de 28 petites placettes de régénérations de Hêtre (moins de 1 are chacune), localisées en Forêt domaniale de Compiègne (Planchais, 1998). Le choix des placettes a été guidé par l'objectif de réunir, dans un périmètre restreint et très favorable au Hêtre sur un plan stationnel, un ensemble équilibré de placettes associant des niveaux contrastés d'éclairement incident (au sommet des tiges) et de densité locale de tiges. Le dispositif comporte **18 jeunes régénérations naturelles denses** (tableau I, p. 161), presque pures et approximativement équiennes : ces régénérations, de hauteur

comprise entre 2 et 10 m, sont localisées dans des trouées de dimensions variables, issues des chablis de 1984 principalement. Elles illustrent ainsi une très large fourchette d'éclairement incident, du couvert fermé jusqu'au plein découvert. Le dispositif inclut en outre **des placettes d'arbres isolés** issus de plantation (à découvert ou avec abri) et de régénération naturelle en trouée.

Pour chacune des placettes étudiées, aucune intervention sylvicole n'a été pratiquée dans le peuplement adulte depuis la mise en place de la trouée. C'est pourquoi le niveau d'éclairement observé au moment de l'étude au sommet de la régénération a été supposé représentatif des 5 dernières années, période sur laquelle portent les résultats de croissance présentés.

La régénération n'a fait l'objet d'aucune intervention sylvicole en travaux depuis son origine. La très forte densité de tiges et l'éclairement très faible mesuré sous les régénérations denses illustrent une situation de densité maximale biologique (concurrence latérale maximale entre les tiges) (tableau I, p. 161). L'environnement lumineux a été mesuré par des techniques appropriées (voir encart 1, ci-dessous), de façon à caractériser **l'éclairement relatif (rapporté au plein découvert) au sommet des arbres** : un éclairement de 100 % correspond à la situation de plein découvert. Un échantillonnage destructif de 4 arbres dominants dans chaque placette a ensuite permis de réaliser des mesures rétrospectives de croissance ainsi que des mesures de forme (voir encart 2, p. 161).

ENCART 1

Mesure de l'environnement lumineux au sommet de la régénération

La mesure du microclimat lumineux en forêt pose d'importantes difficultés liées à sa forte variabilité spatiale et temporelle. Afin de disposer de mesures précises et représentatives de l'ensemble de la saison de végétation, nous avons utilisé des capteurs de rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) et la technique des photographies hémisphériques.

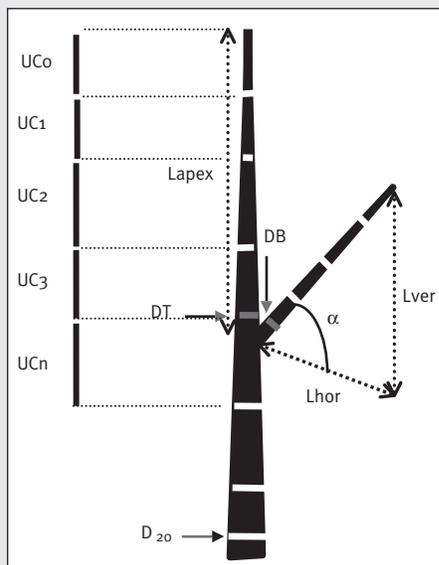
Ces deux méthodes complémentaires ont permis d'estimer l'éclairement relatif (ER) transmis au sommet des régénérations étudiées, pour une journée couverte (rayonnement incident à découvert supposé uniforme), et pour une journée ensoleillée moyenne de la saison (variations horaires et saisonnières prises en compte).

Les deux estimations (photographies hémisphériques et capteurs) montrent une excellente corrélation ($r^2 = 0,991$, pente non significativement différente de 1) (Planchais, 1998).

L'éclairement relatif défini par la moyenne de ces deux valeurs (journées ensoleillée et couverte) a été utilisé pour indiquer le niveau d'ombrage au sommet de chaque placette (tableau I, p. 161).

ENCART 2

Étude de la forme des arbres



Dans chaque placette, 4 arbres dominants ou codominants ont été sélectionnés au hasard.

Une rondelle prélevée à 20 cm du sol a permis de reconstituer la croissance en diamètre au cours des 5 dernières années. L'observation des cicatrices sur la tige a ensuite permis d'identifier les unités de croissance annuelles (UC) et de reconstituer ainsi la croissance en hauteur passée. Pour chaque UC du tronc, la branche la plus longue a été repérée et plus particulièrement étudiée à partir de mesures classiques (inclinaison moyenne de la branche, diamètre relatif à l'insertion, hauteur relative de l'apex de la branche). Ces observations ont été utilisées pour apprécier sur une base objective si chaque branche pouvait être qualifiée ou non de fourche. 3 critères doivent être simultanément réunis :

- $\alpha > 60^\circ$
- $D_B / D_T > 2/3$
- $L_{ver} / L_{apex} > 0,5$

TABEAU I Caractéristiques des régénérations naturelles denses de l'étude

Sont donnés : moyenne (écart-type)

Indice foliaire (surface foliaire de la régénération par m² au sol) établi de façon indirecte par mesure de l'éclairement au sommet et au bas de la régénération. Paramètres d'inclinaison et agencement des feuilles tirés de Planchais et Pontailier (1999).

Éclairement incident (%)	60-100 %	25-40 %	10-25 %	< 10 %
Moyenne (%)	89 (16)	29 (5)	17 (2)	7 (4)
Nombre de placettes	5	5	4	4
Hauteur des dominants-codominants (m)	7,6 (1,5)	7,8 (0,7)	6,7 (2,3)	3,4 (0,9)
Âge des dominants-codominants (ans)	16,2 (2,7)	19,2 (4,3)	22,3 (3,2)	22,5 (8,8)
Densité de tiges (/ha) (hors sous-étage)	11 450 (3 600)	6 280 (1 830)	6 760 (560)	9 080 (3 180)
Densité de tiges dominantes et codominantes (/ha)	7 890 (2 000)	4 512 (1 420)	4 660 (840)	5 780 (1 940)
Surface terrière (hors sous-étage) (m ² /ha)	28,7 (11,2)	10,0 (2,6)	6,1 (3,5)	2,4 (0,8)
Éclairement relatif au sol (%)	0,6 (0,4)	0,4 (0,2)	0,5 (0,2)	1,2 (0,7)
Indice foliaire	7,1 (0,9)	5,6 (0,7)	5,2 (0,3)	2,3 (1,0)

ABRI ET CROISSANCE DES TIGES

Les dangers d'un couvert excessif

Du fait d'une assimilation photosynthétique plus faible à l'ombre, la croissance du Hêtre, comme celle de toutes les espèces, est réduite par l'ombrage, et de façon drastique lorsque le couvert se ferme. En Forêt domaniale de Compiègne, un éclairciment proche de 5 % du plein découvert amène ainsi une croissance en hauteur des tiges inférieure de plus de 60 % au plein découvert (- 75 % pour la croissance en diamètre) (figure 2, p. 163). Outre la mortalité de semis directement consécutive au manque de lumière, les difficultés de régénération rencontrées dans les hêtraies très denses peuvent être liées plus en amont à une fructification trop peu abondante (mise en lumière insuffisante des houppiers). Elles sont également accrues dans certains contextes stationnels par un humus épais défavorable à l'installation des semis, ou par le développement d'espèces concurrentes, le plus souvent à la faveur d'une mise en lumière trop brutale. Ces difficultés ont conduit depuis une vingtaine d'années à recommander une décapitalisation progressive des hêtraies régulières avant mise en régénération, suivie d'une accélération des coupes de régénération.

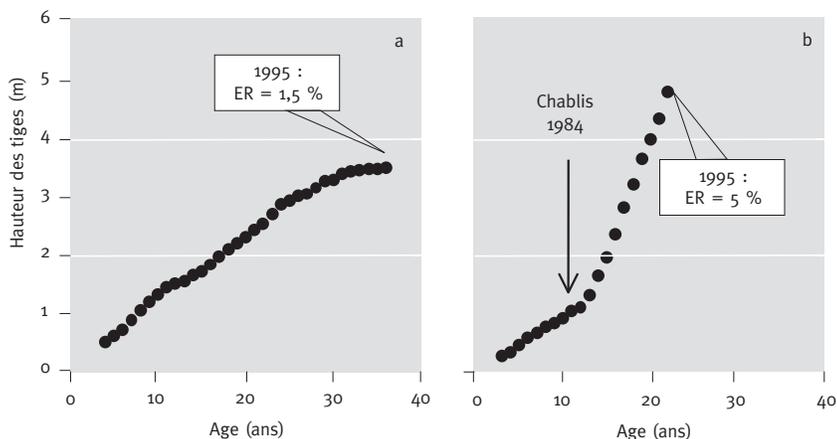
Une grande tolérance à l'ombrage

L'observation de cette croissance réduite à l'ombre, et des difficultés de régénération associées aux peuplements trop denses, ont parfois conduit à remettre en cause le comportement d'essence d'ombre du Hêtre (Chollet, 1997).

Pourtant, les observations en milieu naturel illustrent sa très grande faculté à supporter l'ombrage : dans des conditions de très bonne fertilité (Forêt domaniale de Compiègne), sous un couvert de Hêtre totalement fermé (éclairage relatif inférieur à 2 % du plein découvert), on peut encore observer de jeunes tiges en limite de survie, âgées d'une trentaine d'années et d'une hauteur proche de 2 mètres (figure 1a, ci-dessous). Cette **capacité de survie en situation de très**

FIGURE 1 RECONSTITUTION DE LA CROISSANCE EN HAUTEUR PASSÉE DE 2 PLACETTES DE RÉGÉNÉRATION NATURELLE DENSE

- a) Tiges restées pendant plus d'une trentaine d'années sous couvert fermé (Éclairage relatif en 1995 égal à 1,5 %)
- b) Tiges ayant bénéficié d'une petite ouverture à la faveur des chablis de 1984 (Éclairage relatif en 1995 égal à 5 %)



fort ombrage s'accompagne d'une **très bonne réactivité à la mise en lumière** : on enregistre en effet une accélération de la croissance en hauteur dès l'année suivant la mise en lumière (figure 1b, p. 162), et cette capacité de réaction semble conservée quel que soit l'âge des tiges, au moins pour des tiges de moins d'une vingtaine d'années (Planchais, 1998 ; Collet *et al.*, 2001).

Pour un ombrage un peu moins marqué, le comportement sciophile du Hêtre s'exprime dans sa capacité à **maintenir une croissance en hauteur soutenue malgré un bilan photosynthétique nettement réduit** : une assez faible ouverture du couvert permet par exemple, pour des tiges d'une hauteur de 7 m environ bénéficiant d'un éclairage égal à 17 % du plein découvert, une croissance en hauteur déjà très conséquente (55 cm/an contre 73 cm/an en plein découvert, soit une réduction de seulement 25 % de la croissance, figure 2). On peut globalement considérer que **la croissance en hauteur annuelle chute très significativement en deçà de 20 à 30 % du plein découvert**. La croissance en diamètre est quant à elle réduite un peu plus fortement par l'ombrage.

FIGURE 2 **INCIDENCE DE L'ÉCLAIREMENT AU SOMMET DE LA RÉGÉNÉRATION**
SUR LA CROISSANCE EN HAUTEUR (symboles blancs) ET EN DIAMÈTRE (symboles noirs)

Valeurs moyennes par placette (n = 18) établies sur la période 1991-1995 sur des tiges dominantes et codominantes issues de régénérations naturelles denses (tableau I, p. 161).

Croissance en hauteur (trait pointillé) : $y = 73,3 (1 - \exp(-0,08325 x))$; $R^2 = 0,89$

Largeur de cerne à 20 cm (mm) (trait plein) : $y = 0,257 (1 - \exp(-0,0459 x))$; $R^2 = 0,89$

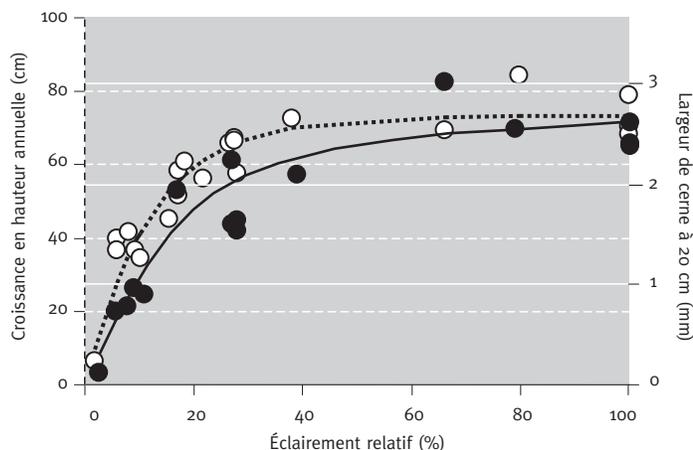


TABLEAU II **Incidence de l'éclairage sur différentes caractéristiques des tiges**

Les branches mesurées (n = 519) sont les branches structurantes du houppier (voir encart)
Effet de l'éclairage (analyse de variance et test Kruskal-Wallis) hautement significatif ($p < 0,0001$)
pour chacune des 4 variables présentées

Éclairage relatif (rapporté au plein découvert) . . .	60-100 %	25-40 %	10-25 %	< 10 %
	Croissance en hauteur (1991-1995)			
Longueur cycle printanier (cm) . . .	61,7	61,3	55,3	37,9
Longueur cycles estivaux (cm) . . .	12	5,5	2,8	0,3
Fréquence polycyclisme	0,47	0,32	0,14	0,02
Angle moyen des branches (° / l'horizontale)	59	48	42	32

La décomposition de la croissance en hauteur annuelle en cycles printanier et estival montre que le polycyclisme (présence d'au moins une pousse estivale) augmente très fortement avec l'éclaircissement (tableau II, p. 163) : alors que la longueur du cycle printanier est quasiment insensible à l'éclaircissement au-delà de 25 % du plein découvert (environ 61 cm/an), la croissance réalisée lors d'un deuxième ou troisième cycle estival passe de 5,5 cm/an pour un abri léger (25-50 % du plein découvert) à 12 cm/an au-delà de 50 % du plein découvert.

La qualité des tiges compromise en situation de fort ombrage

La croissance en diamètre est plus fortement réduite par l'ombrage que la croissance en hauteur. Cet investissement relatif plus élevé à l'ombre dans la croissance en hauteur que dans la crois-

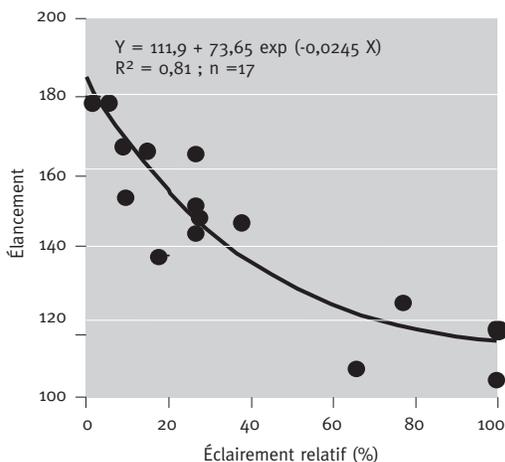


FIGURE 3
INCIDENCE DE L'ÉCLAIREMENT
AU SOMMET DE LA RÉGÉNÉRATION
SUR L'ÉLANCÉMENT DES TIGES
(hauteur / diamètre à 20 cm)

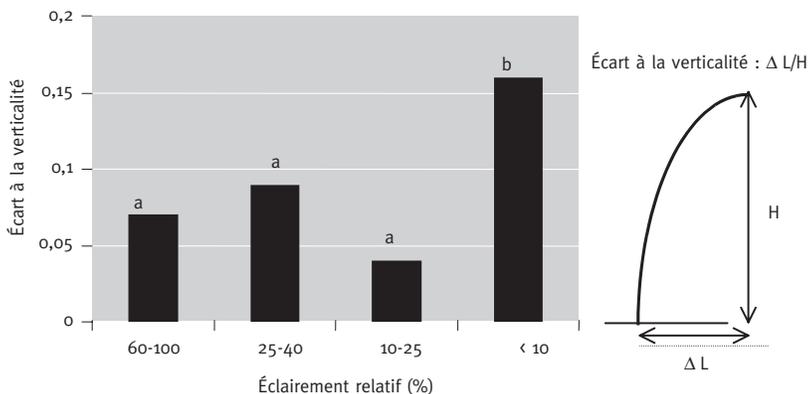
Valeurs moyennes par placette (n = 17) établies sur des tiges dominantes et codominantes issues de régénérations naturelles denses (tableau I, p. 161)

FIGURE 4
INCIDENCE DE L'ÉCLAIREMENT AU SOMMET DE LA RÉGÉNÉRATION
SUR L'ÉCART À LA VERTICALITÉ DES TIGES

Valeurs moyennes par placette (n = 17) établies sur des tiges dominantes et codominantes issues de régénérations naturelles denses (tableau I, p. 161)

Effet de l'éclaircissement très significatif (test Kruskal-Wallis, p < 0,001)

Comparaison des classes d'éclaircissement : test de comparaisons multiples (2 lettres différentes indiquent que les moyennes diffèrent au seuil de 1 %)



sance en épaisseur s'accompagne donc d'une forte élévation de l'élancement des tiges (rapport de la hauteur au diamètre) à mesure que l'ombrage augmente (figure 3, p. 164). Cette élévation est génératrice d'instabilité, puisque les tiges, au-delà d'un certain seuil d'élancement, s'affaissent sous leur propre poids. On dit souvent qu'elles "font la table", ou qu'elles présentent une croissance plagiotrope. Néanmoins, **la verticalité des tiges n'est significativement compromise qu'en deçà de 10 % du plein découvert** (figure 4, p. 164). De plus, un tel niveau d'ombrage devient clairement néfaste car il entraîne souvent une perte de dominance apicale : l'écart de croissance entre le tronc et les branches se réduit, le houppier se développant alors préférentiellement en largeur. La valeur d'avenir de la tige est alors le plus souvent perdue, même si le potentiel de réaction de la croissance à une mise en lumière est conservé.

L'abri léger comparé au plein éclaircissement

Pour des tiges d'un certain âge dont le système racinaire est bien installé, la croissance maximale est observée en plein découvert (figure 2, p. 163). Un abri léger (25 à 50 % du plein éclaircissement) n'empêche cependant pas une croissance soutenue : on observe, en comparaison du plein découvert, une réduction de 12 % de la croissance en hauteur et de 31 % pour la croissance en diamètre. En revanche, pour des tiges plus jeunes ou dans des contextes stationnels moins favorables sur le plan hydrique, l'intérêt d'un abri léger est manifeste : le suivi de plusieurs plantations expérimentales sous abri montre une croissance en hauteur égale ou supérieure à celle observée à découvert, une croissance en diamètre en général équivalente, et un taux de mortalité nettement réduit (Morel et Planchais, 1999 ; Balandier, communication personnelle ; Ningre et Frochot, communication personnelle). En limitant les risques associés au démarrage des régénérations (coups de chaleur, gels printaniers), l'abri léger apparaît donc particulièrement profitable durant les premières années.

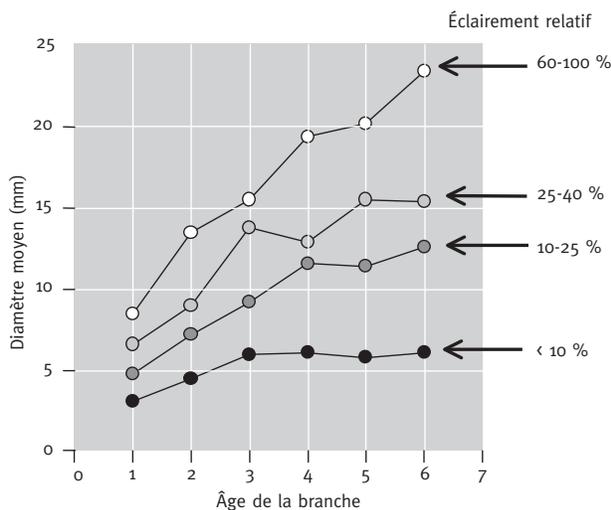
ABRI ET FORME DES TIGES

Une ramure plus fine et plus horizontale à l'ombre

L'ombrage limite fortement la croissance en diamètre des branches : cette incidence favorable de l'abri est très marquée, y compris pour les branches les plus jeunes, situées dans la partie apicale de l'arbre (figure 5, ci-dessous). De plus, on observe un ralentissement de croissance des

FIGURE 5
INCIDENCE DE L'ÉCLAIRCISSEMENT
AU SOMMET DE LA RÉGÉNÉRATION
SUR LE DIAMÈTRE MOYEN
DES BRANCHES

Valeurs moyennes établies sur des tiges dominantes et codominantes issues de régénérations naturelles denses (tableau I, p. 161). Voir protocole de mesure de la forme des tiges en encart.



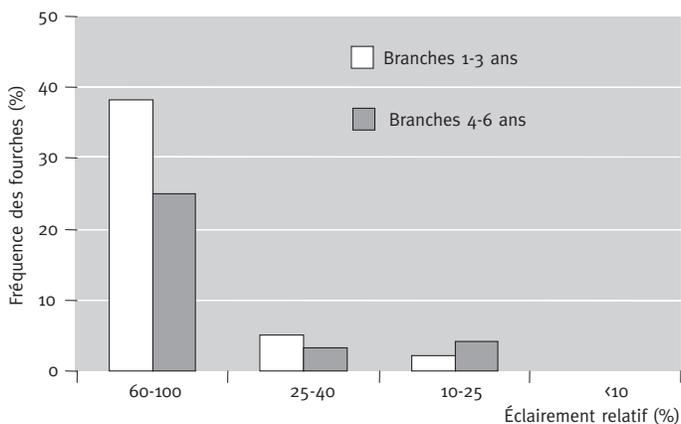
branches à mesure de leur vieillissement, qui intervient d'autant plus tôt que l'ombrage est fort : les branches d'arbres situés à découvert maintiennent en effet une croissance en diamètre plus soutenue dans le temps en raison de leur verticalité plus importante qui renforce l'accès à la lumière. Le tableau II (p. 163) illustre ainsi la très forte sensibilité à l'éclairage de **l'inclinaison des branches, qui varie de 59° en moyenne à découvert contre 32° en situation de fort abri** (inclinaison par rapport à l'horizontale). Cet effet de l'ombrage sur l'inclinaison des branches est le plus marqué chez les branches jeunes (1 à 3 ans), le vieillissement des branches conduisant ensuite progressivement à une plus grande horizontalité.

Cette ramure plus légère et plus horizontale des hêtres bénéficiant d'un abri constitue finalement un élément très favorable sur le plan de la dominance apicale des tiges. Néanmoins, **un abri très fort (éclairage inférieur à 10 % du plein découvert) devient néfaste** car il compromet la verticalité et la dominance apicale de la tige (cf. § "La qualité des tiges...", p. 164).

Un risque plus faible de fourchaison à l'ombre

La figure 6 (ci-dessous) montre la fréquence des pousses annuelles du tronc qui portent une fourche, en fonction du niveau d'abri. Les résultats illustrent de façon spectaculaire le rôle très bénéfique de l'abri : dans la partie supérieure du houppier (branches âgées de 1 à 3 ans), 38 % des pousses annuelles du tronc portent une fourche en situation de plein éclairage contre seulement 5 % en situation d'abri léger. Dans la partie médiane du houppier (branches âgées de 4 à 6 ans), la fréquence des fourches est un peu plus faible, car une partie d'entre elles régressent spontanément du fait de la concurrence latérale. **L'intérêt de l'abri est donc manifeste puisque la fréquence des fourches est globalement réduite d'un facteur 7 grâce à un abri léger.**

FIGURE 6 **INCIDENCE DE L'ÉCLAIREMENT AU SOMMET DE LA RÉGÉNÉRATION SUR LE RISQUE DE FOURCHAISON DES TIGES**



La figure décrit la proportion des pousses annuelles du tronc qui portent au moins une fourche. Valeurs moyennes établies sur des tiges dominantes et codominantes issues de régénérations naturelles denses (tableau I, p. 161). Voir protocole de mesure de la forme des tiges et définition de la fourche en encart.

Abri et élagage des tiges

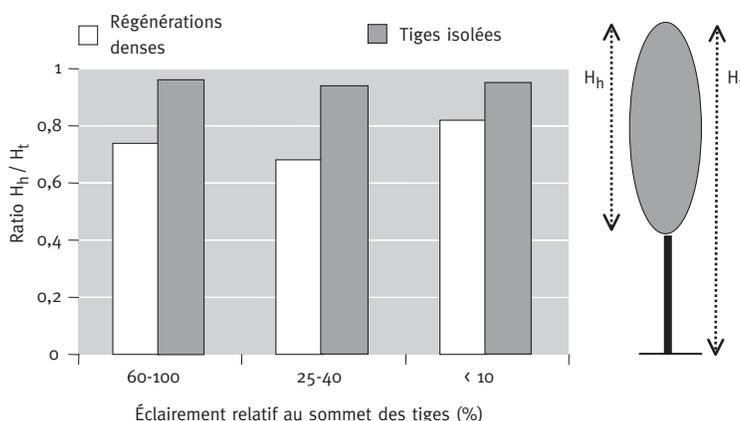
Des tiges isolées (sans contact physique avec des arbres voisins) présentent un niveau d'élagage très faible, largement inférieur à celui observé en régénération naturelle dense, et **cela quel que**

soit le niveau d'abri (figure 7, ci-dessous). Le couvert, même lorsqu'il est très dense, ne suffit donc pas pour assurer l'élagage naturel : une concurrence latérale directe est nécessaire. Ce résultat peut s'interpréter par le fait que le niveau d'éclairement nécessaire à l'élagage des branches chez le Hêtre est particulièrement faible : les mesures d'éclairement réalisées au bas des régénérations étudiées ont établi des valeurs de moins de 1 % du plein éclairement (tableau I, p. 161) : seule une concurrence latérale directe, qui plus est d'une essence suffisamment ombrageante, peut procurer un tel niveau d'ombrage.

FIGURE 7
EFFET DE L'ABRI ET DE LA CONCURRENCE LATÉRALE
SUR LE NIVEAU D'ÉLAGAGE DES TIGES

Valeurs moyennes établies sur des tiges dominantes et codominantes issues de régénérations naturelles denses (tableau I, p. 161) et sur des tiges isolées (aucun contact avec houppiers voisins).

Résultats de l'analyse de variance : effet abri non significatif ; effet concurrence latérale hautement significatif.



Vers une meilleure compréhension de la compétitivité du Hêtre

Des observations faites sur des branches d'ombre et de lumière (Planchais et Sinoquet, 1998) ont démontré le pouvoir très ombrageant du Hêtre : les branches de lumière, grâce à une densité de pousses très élevée, absorbent en moyenne 70 % du rayonnement qu'elles reçoivent. Les indices foliaires élevés mesurés montrent que le Hêtre est capable d'exploiter de forts niveaux d'éclairement, expliquant ainsi son excellente réaction aux éclaircies. Les branches d'ombre présentent sensiblement la même capacité d'absorption (70 % du rayonnement incident) malgré un investissement en surface foliaire beaucoup plus faible (indice foliaire égal à seulement $1 \text{ m}^2/\text{m}^2$ contre $1,6 \text{ m}^2/\text{m}^2$ en pleine lumière). Cette forte optimisation de l'interception de lumière à l'ombre s'explique par une plus grande horizontalité des feuilles, une plus faible densité de pousses courtes, conjuguée à une répartition plus régulière des feuilles dans les branches. Elle contribue ainsi à expliquer pour partie la tolérance à l'ombrage du jeune Hêtre (mais voir aussi article Dreyer *et al.*, dans ce numéro).

D'autres éléments, dont ceux évoqués au paragraphe "Une grande tolérance à l'ombrage" (p. 162), sont déterminants pour comprendre la grande compétitivité du Hêtre dans la dynamique forestière. Le maintien, en situation d'ombrage, d'une croissance en hauteur soutenue, et plus généralement d'une croissance en longueur importante de l'ensemble des axes du houppier, joue notamment un rôle essentiel dans sa capacité très élevée d'occupation de l'espace. Cette

croissance primaire soutenue est rendue possible grâce à une forte plasticité du rapport “longueur/diamètre” des axes, en relation étroite avec les contraintes biomécaniques propres au Hêtre. Enfin, le niveau d'éclairement très faible nécessaire à l'élagage des branches et à la survie de l'arbre laisse imaginer des processus physiologiques d'adaptation à l'ombrage qui sont encore aujourd'hui mal compris.

CONSÉQUENCES SYLVICOLES

L'abri léger : un bon compromis sur le plan des propriétés individuelles des tiges

Ces éléments, confortés par d'autres études (Le Tacon, 1983 ; Nicolini et Caraglio, 1994), plaident en faveur **d'un abri léger, caractérisé par un éclairage compris entre 25 et 50 % du plein découvert**. Afin de tenir compte de l'augmentation des besoins en lumière des tiges avec l'âge, on peut considérer que 20 à 25 % du plein découvert est suffisant dans les tous premiers temps d'une régénération (moins de 1 mètre), alors qu'il faut souhaiter un niveau d'éclairement nettement plus important (40 à 50 % du plein éclairage) pour des tiges de 8 à 10 mètres de haut. Cet abri léger offre un très bon compromis entre croissance et forme des tiges : la croissance est faiblement réduite par rapport au plein découvert. Dans les premières années après installation, elle est même souvent supérieure à celle observée à découvert, et permet une réduction très appréciable des risques liés aux gels et aux stress hydriques. Sur le plan de la forme des tiges, le bénéfice est considérable : des branches plus fines et plus horizontales favorisent nettement la dominance apicale de l'arbre, réduisant très fortement la fréquence des fourches et grosses branches. Malgré l'élévation de l'élancement des tiges avec l'ombrage et le risque d'instabilité qui en résulte, un abri léger ne compromet pas la verticalité des tiges.

Il convient de ne pas négliger les risques associés au maintien durable d'un abri plus dense (éclairage inférieur à 20 %, et plus encore s'il est inférieur à 10 %) : des tiges peu vigoureuses très grêles (H/D élevé) sont très vraisemblablement plus sensibles aux aléas climatiques (givre, neige lourde) et aux risques sanitaires (chancre). De plus, le risque de perte de dominance apicale est bien présent, et peut bien souvent compromettre la valeur d'avenir des tiges.

Abri et structure de la régénération

- *Abri et densité de la régénération*

De façon générale, l'abri limite le développement de la végétation concurrente et la densité du recrû ligneux. Le suivi de plusieurs modalités de régénération en Forêt domaniale d'Auberive, sur un taillis-sous-futaie vieilli à dominante de Hêtre, montre par exemple une réduction sensible de la densité du bourrage ligneux (Charme et Érable champêtre) et une clématite beaucoup moins envahissante lorsqu'on évite la mise en lumière immédiate des semis (ONF-STIR Est, 1999). Les conséquences financières sont substantielles, puisqu'on observe dans ces conditions une réduction sensible des investissements en dégagements.

En Forêt domaniale de Compiègne, dans les taches de régénération naturelle denses et homogènes étudiées ici, on constate également, en l'absence complète d'intervention en travaux, une incidence très forte de l'abri sur la structure de la régénération : surface terrière et indice foliaire de la régénération diminuent fortement avec l'ombrage (tableau I, p. 161), ce qui est la conséquence d'une compétition entre les tiges accrue par la réduction de la ressource lumineuse. La lumière disponible fixe en effet une limitation naturelle à l'indice foliaire puisque des feuilles dont le bilan photosynthétique est négatif ne peuvent se maintenir. Cette concurrence exacerbée

en situation d'abri et la mortalité naturelle qui en découle limitent ainsi fortement la surface terrière de la régénération, processus parfois qualifié à ce stade d'"autodépressage". Une mise en lumière progressive de ces tiges peut ainsi permettre d'éviter un investissement en travaux.

Ces observations ont été acquises sur de petites zones de régénérations en trouée, à la fois très denses, pures et homogènes. À l'échelle d'une parcelle bénéficiant d'un abri plus diffus, on observe des variations d'éclairement au sol assez importantes, qui, conjuguées aux variations d'âge des tiges, amènent une hétérogénéité de la régénération bien plus marquée : de fortes variations de densité locale de tiges sont généralement observées, ainsi qu'une différenciation verticale de la régénération beaucoup plus importante. Si l'abri est suffisamment léger, on observe généralement une densité importante de tiges vigoureuses, et il sera le plus souvent aisé d'identifier parmi ces bouquets de régénération de belles tiges dominantes, vigoureuses et de très belle forme, qui se différencient spontanément.

En limitant la végétation concurrente et la densité de la régénération, en favorisant la différenciation naturelle des tiges, l'abri léger peut finalement permettre une forte réduction des investissements en dégagement et dépressage. L'objectif d'une régénération très dense et homogène est alors abandonné au profit d'une structure plus hétérogène, dans laquelle on peut se contenter d'interventions très légères et ponctuelles au profit des plus belles tiges.

Un abri très dense aura quant à lui l'inconvénient de réduire encore la densité de la régénération, au risque de perdre une part importante du potentiel d'avenir des tiges : un important gainage latéral est en effet indispensable à l'élagage naturel (cf. § "Abri et élagage des tiges", p. 166).

- *Abri et composition de la régénération*

Les connaissances concernant l'incidence d'un abri léger sur l'acquisition et le maintien du mélange restent aujourd'hui très fragmentaires : dans certains cas, l'abri léger peut permettre de favoriser au moindre coût le Hêtre au détriment d'espèces très dynamiques plus héliophiles. Un allongement de la durée de régénération est ainsi souvent préconisé pour la maîtrise du Frêne sur les stations de plateau calcaire où il n'est pas bien adapté. Mais, dans le cas le plus général, il faut évidemment craindre que la très forte compétitivité du Hêtre ne soit encore accrue en situation d'abri, et ne constitue un frein supplémentaire au maintien de la diversité. L'abri léger est certes parfaitement compatible avec le mélange, mais au prix d'une vigilance accrue, à la fois dans la gestion du couvert (éviter un couvert trop fermé) et le suivi de la régénération.

Gestion du couvert et traitement sylvicole

Ces résultats amènent quelques réflexions sur les perspectives concrètes de valorisation sylvicole du couvert lors de la phase d'éducation juvénile du Hêtre.

- *En plantation*

En plantation tout d'abord, on rappellera l'importance de privilégier la plantation sous abri surtout en conditions stationnelles ou climatiques difficiles. Outre le rôle très bénéfique du couvert, il est essentiel de ne pas se priver du rôle protecteur du peuplement d'accompagnement qui contribue à l'ambiance forestière et conditionne l'élagage naturel des tiges. Les travaux de préparation et de dégagements devront donc veiller à maintenir au maximum le recrû ligneux. À défaut, ce dernier devra être introduit. Pour davantage d'informations sur les modalités de mise en place d'un abri, le lecteur pourra se reporter utilement à l'ouvrage "*Le Hêtre, autrement*" (Armand, 2002), ainsi qu'à Morel et Planchais (1999).

- *En futaie régulière*

En futaie régulière, l'allongement des durées de régénération sur 20 à 30 ans, voire 40 ans, peut être un choix sylvicole cohérent pour favoriser l'éducation des tiges par le couvert, limiter les investissements en travaux, tout en profitant de la croissance simultanée du peuplement restant sur pied et de la jeunesse. Cet itinéraire est par exemple bienvenu lorsqu'un peuplement encore peu âgé est de belle qualité, fortement différencié en diamètre, et que l'installation de la régénération y est aisée. Le respect de la fourchette d'éclaircissement recommandée (25 à 50 % du plein éclaircissement) semble dans ce contexte relativement réaliste.

L'allongement de la durée de régénération pose malgré tout des contraintes qu'il convient de mentionner. En cas de problème sanitaire généralisé (chancre) dans le peuplement adulte, il devra être évité car la superposition des générations augmente fortement le risque de transmission de la maladie aux jeunes tiges, et cela d'autant plus que les semis sont peu vigoureux. Sur le plan de la conduite des coupes, une organisation et une vigilance particulière sont nécessaires pour éviter les dommages à la régénération. Compte tenu de la fragilité de l'écorce du Hêtre, les risques de coups de soleil au peuplement laissé sur pied sont également nettement accrus. Enfin, une attention particulière devra être maintenue lorsqu'on souhaite une régénération très mélangée.

D'autre part, il est important de se poser la question de la durée souhaitable de maintien du couvert. Une mise en lumière assez rapide, alors que la hauteur des tiges ne dépasse pas un ou deux mètres, aura facilité l'installation des semis, mais, en revanche, n'amènera qu'un bénéfice restreint sur le plan de la qualité des tiges et de la structure de la régénération. Un maintien plus durable de l'abri est donc souhaitable, dès lors que le couvert est suffisamment léger, et que les tiges bénéficient au sein de la régénération d'un gainage latéral suffisant. Dans ces conditions, un couvert maintenu jusqu'à ce que les tiges atteignent 8, voire 10 mètres de haut, facilitera l'obtention d'une bille de pied élaguée et de belle qualité sur les 6 à 8 mètres souhaités.

La difficulté consiste en revanche à gérer correctement la suite des interventions, l'idéal étant d'opérer une transition **très** progressive vers le plein éclaircissement. Une mise en lumière brutale de houppiers dont la structure est adaptée à l'ombrage peut en effet s'avérer très préjudiciable au plan sylvicole : risque d'apparition de fourches, risque d'étalement horizontal du houppier avec perte de dominance apicale. Ces risques, d'autant plus marqués que la concurrence latérale (au sein de la régénération) est faible, peuvent constituer une forte contrainte dès lors que l'on vise un passage rapide vers le plein éclaircissement. La gestion du couvert lors d'un allongement de la régénération n'est donc pas exempte de difficultés. Gageons que des futaies claires et mélangées donneront au forestier, grâce à la présence d'un sous-étage bien différencié, de nouvelles possibilités de dosage de l'ambiance forestière, facilitant ainsi d'autant l'acquisition et l'éducation de la régénération.

- *En futaie irrégulière*

Le traitement en irrégulier du Hêtre offre lui aussi la perspective d'une valorisation du couvert pour l'éducation de la régénération, en même temps qu'il lève les risques associés à une transition brutale vers le plein éclaircissement. Mais il constitue, surtout en peuplement pur, un exercice difficile : comme nous l'avons montré, un abri léger est souhaitable sur le plan de la vigueur et de la qualité des tiges. Cet abri suffisamment léger est également favorable à l'obtention de bouquets de régénération de dimensions suffisantes (quelques ares), qui offriront des conditions de concurrence latérale suffisamment durables dans le temps pour permettre l'élagage naturel des tiges. Or le maintien de cet abri léger reste très délicat dans la pratique. En traitement jardiné pied à pied, les tiges auront vraisemblablement à tolérer durant leur prime jeunesse un

niveau de couvert bien plus important que celui recommandé. Un traitement par bouquet devrait se révéler sur ce plan plus favorable, bien qu'il amène d'autres contraintes de gestion. En l'absence de traduction des niveaux d'éclaircissement mentionnés en variables dendrométriques (voir § "La gestion du couvert", ci-dessous), il est pour l'instant difficile d'apprécier les possibilités concrètes de mise en pratique des niveaux d'éclaircissement recommandés. Il n'empêche : le pouvoir très ombrageant et la très grande capacité d'expansion des houppiers de Hêtre impliquent qu'un niveau de capital très faible doive être maintenu, ce qui nécessite interventions fréquentes et grande vigilance de la part du forestier.

La gestion du couvert : des questions en perspective

- *Doser le couvert : une opération délicate en pratique*

Le dosage de l'éclaircissement reste délicat en pratique, et largement affaire d'empirisme. En plantation en bandes avec abri, on sait que des bandes de largeur égale à la hauteur de l'abri correspondent approximativement à un niveau d'éclaircissement au sol satisfaisant, proche de 50 % (bandes orientées nord-sud) (Morel et Planchais, 1999). Dans les situations de trouée, on peut conseiller, pour respecter la fourchette d'éclaircissement recommandée (25 à 50 % du plein découvert), de faire en sorte que le rapport du diamètre moyen de la trouée à la hauteur du peuplement alentour soit compris entre 0,75 (début de la régénération) et 1,5 (stade perches). Cela conduit par exemple, dans un peuplement de hauteur égale à 30 m, à des trouées de surface comprise entre 4 et 16 ares (tableau III, ci-dessous). Dans les premiers temps de la régénération, et surtout en l'absence de sous-étage, il est préférable d'éviter un trop fort ensoleillement direct en visant le bas de la fourchette, et en donnant à la trouée une forme elliptique dont le petit axe sera orienté selon un axe sud – sud-ouest / nord – nord-est. Mais, dans la situation la plus générale d'un abri diffus, on ne dispose pas encore d'éléments permettant de relier le niveau d'éclaircissement à des paramètres dendrométriques accessibles au forestier. Une difficulté particulière consiste à pouvoir apprécier l'impact du sous-étage qui, lorsqu'il est présent, offre de précieuses possibilités de dosage de l'éclaircissement. Des connaissances plus fines doivent également être développées de façon à mieux pouvoir anticiper le rythme de fermeture du couvert entre deux passages en coupe. En attendant des indications plus précises, il faudra donc garder à l'esprit que la fourchette d'éclaircissement recommandée correspond à une ouverture large du couvert (figure 8, p. 172), résultant d'un faible matériel sur pied.

- *Des questions non résolues*

Cet article définit une fourchette optimale d'éclaircissement pour le développement des jeunes tiges (de 0 à 10 m de haut), en s'appuyant sur l'observation de régénérations à la fois pures et

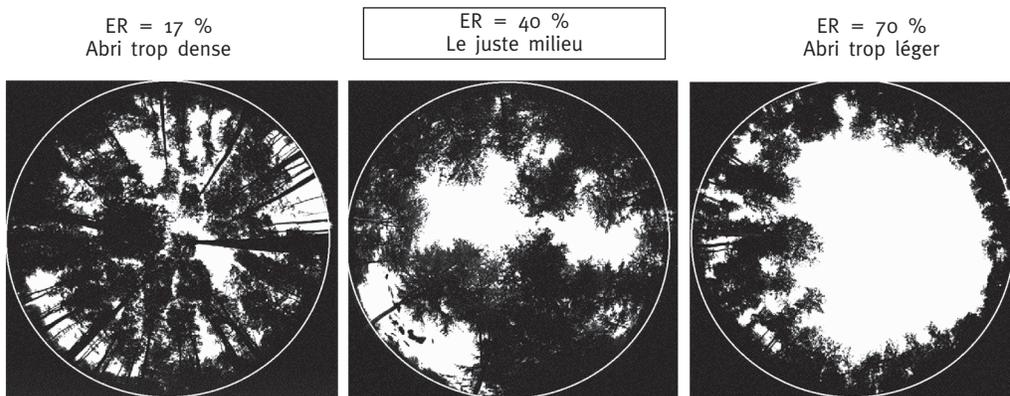
TABLEAU III Surface approximative des trouées permettant de respecter la fourchette d'éclaircissement recommandée (voir § "La gestion du couvert", ci-dessus)

	Hauteur dominante (H_0) du peuplement alentour			
	20 m	25 m	30 m	35 m
Limite inférieure d'éclaircissement Diamètre trouée / $H_0 = 0,75 \dots$	2 ares	3 ares	4 ares	5 ares
Limite supérieure d'éclaircissement Diamètre trouée / $H_0 = 1,5 \dots$	7 ares	11 ares	16 ares	21 ares

FIGURE 8

**EXEMPLES DE PHOTOGRAPHIES HÉMISPÉRIQUES ILLUSTRANT
LE NIVEAU D'ÉCLAIREMENT RECOMMANDÉ**

ER = éclairage relatif (100 % = plein découvert)



denses en fertilité élevée. Il ouvre un large champ de questions associées à développer, parmi lesquelles :

- comment adapter cette fourchette dans des contextes de fertilité moindre ?
- quel est l'impact du maintien d'un abri plus dense que celui recommandé : quel est le continuum "intensité/durée de compression" tolérable sans compromettre les potentialités de forme des tiges ? quelles sont les conséquences à moyen ou long terme d'un épisode de très forte compression (potentialités de croissance et de forme, cœur rouge) ?
- comment l'effet éducatif du voisinage influe-t-il sur le comportement des tiges soumises à cette compression verticale ? quelles sont les conséquences d'une situation de mélange dans la régénération ? quel est l'impact d'une individualisation précoce des perches (élagage, dominance apicale, développement du houppier, y compris développement éventuel de gourmands) ?

Autant de questions qu'il conviendra d'approfondir dans la perspective d'une meilleure maîtrise de la gestion du couvert dans la hêtraie.

Isabelle VINKLER

Service Recherche et Progrès technique
Direction territoriale Lorraine
OFFICE NATIONAL DES FORÊTS
— Actuellement —

LERFOB - Équipe Croissance-Production
ÉCOLE NATIONALE DU GÉNIE RURAL,
DES EAUX ET DES FORÊTS
14, rue Girardet
CS 14216
F-54042 NANCY CEDEX
(vinkler@engref.fr)

Remerciements

L'auteur remercie l'Office national des Forêts pour avoir financé la thèse dont les résultats sont ici présentés, ainsi que les nombreuses personnes associées à la réalisation de cette étude. Nos pensées chaleureuses vont plus particulièrement à M. J.-Y. Pontailleur (Laboratoire Écologie, Systématique et Évolution - Université Paris-Sud Orsay), Mme B. Pilard-Landeau et son équipe (ONF STIR Nord-Ouest), M. V. Van Pevenage.

BIBLIOGRAPHIE

- ARMAND (G.), coordinateur. — Le Hêtre autrement. — Paris : Institut pour le Développement forestier, 2002. — 263 p.
- CHOLLET (F.). — La Régénération naturelle du Hêtre. — *Bulletin technique de l'ONF*, n° 32, 1997, pp. 15-25.
- COLLET (C.), LANTER (O.), PARDOS (M.). — Effects of canopy opening on height and diameter growth in naturally regenerated beech seedlings. — *Annals of Forest Science*, vol. 58, 2001, pp. 127-134.
- LE TACON (F.). — La Plantation en plein découvert : une des causes de la mauvaise forme du Hêtre dans le Nord-Est de la France. — *Revue forestière française*, vol. XXXV, n° 6, 1983, pp. 452-459.
- MOREL (P.-J.), PLANCHAIS (I.). — Plantation de Hêtre sous abri : une technique à préconiser. Exemple d'une plantation expérimentale en forêt communale de Montbéliard (Doubs). — *Bulletin technique de l'ONF*, n° 39, 1999.
- NICOLINI (E.), CARAGLIO (Y.). — L'Influence de divers caractères architecturaux sur l'apparition de la fourche chez *Fagus sylvatica* L., en fonction de l'absence ou de la présence d'un couvert. — *Canadian Journal of Botany*, vol. 72, 1994, pp. 1723-1733.
- ONF. — Conduite des coupes de régénération sur des semis de Hêtre - essai en Forêt domaniale d'Auvergne. — Document ONF - Section technique interrégionale Est, 1999.
- PLANCHAIS (I.). — Modélisation de la croissance et de l'architecture du jeune Hêtre : effet de l'éclaircissement. — Université Paris-Sud, 1998. — 199 p. (Thèse).
- PLANCHAIS (I.), PONTAILLEUR (J.-Y.). — Validity of leaf areas and angles estimated in a beech forest from analysis of gap frequencies, using hemispherical photographs and a plant canopy analyser. — *Annals of Forest Science*, vol. 56, 1999, pp. 1-10.
- PLANCHAIS (I.), SINOQUET (H.). — Foliage determinants of light interception in sunny and shaded branches of *Fagus sylvatica*. — *Agric. For. Meteorol.*, vol. 89, 1998, pp. 241-253.

GESTION DU COUVERT ET RÉGÉNÉRATION DE LA HÊTRAIE : LES INTÉRÊTS D'UN ABRÍ LÉGER (Résumé)

Cet article s'appuie sur les résultats d'une étude consacrée à l'incidence de l'éclaircissement sur le développement du Hêtre au cours de sa phase juvénile. Il décrit les propriétés des tiges et certaines caractéristiques de la régénération en fonction du couvert. Un abri léger (25 à 50 % du plein éclaircissement) est particulièrement favorable sur un plan sylvicole car il offre un très bon compromis entre croissance et forme des tiges : la croissance est faiblement réduite en comparaison du plein découvert, tandis que la forme des tiges est très nettement améliorée. En limitant la végétation concurrente et la densité du recrú ligneux, en favorisant la différenciation naturelle des tiges, l'abri léger peut également permettre une réduction sensible des investissements en travaux dans la régénération. Ces résultats sont ensuite discutés dans la perspective concrète d'une valorisation sylvicole du couvert lors de la phase d'éducation juvénile du Hêtre.

**MANAGING CANOPY COVER AND REGENERATION IN BEECH GROVES – BENEFITS OF A MODERATE SHELTERWOOD METHOD
(Abstract)**

This article is based on the results of a study that investigated the impact of illumination on the development of beech during the juvenile stage. It describes the stem properties and a number of regeneration characteristics depending on the canopy. A moderate shelterwood scheme (25 to 50 % of full illumination) presents major silvicultural advantages as it offers a very good compromise between growth and stem shape – growth is only slightly impeded as compared to full illumination, while stem shape is considerably improved. By restraining competing vegetation and the density of woody regrowth and fostering natural stem differentiation, a light shelterwood scheme also allows expenditure on regeneration interventions to be significantly reduced. These results are then discussed with a view to practically upgrading the canopy during the juvenile stage of beech when education is taking place.
