

Jusqu'où dynamiser la sylviculture du pin sylvestre en région Centre ?

Les enseignements issus du réseau expérimental du Cemagref

Les divers essais installés depuis 1966 pour le pin sylvestre en plaine forment, avec le recul, un réseau expérimental qui couvre une large gamme de situations sylvicoles. Le Cemagref a analysé les résultats de croissance et branchaison à l'échelle du réseau pour dessiner un « optimum technique » répondant aux enjeux actuels de la sylviculture. Ce travail, arbitré d'après l'ensemble des contraintes, a nourri les scénarios du nouveau guide de sylviculture des pineraies des plaines du Centre et du Nord-Ouest.

L'introduction du pin sylvestre en région Centre remonte à la fin du 18^e siècle (Plinguet 1789). Initialement introduit par semis en plein, puis par semis en bande, des plantations sont réalisées à grande échelle dans le massif d'Orléans à partir de 1875, facilitées par la création d'une pépinière sur le domaine des Barres à Nogent-sur-Vernisson (Le Grix 1876). Par la suite, des reboisements importants sont encore entrepris, par plantation, notamment après la création du Fonds Forestier National institué en 1946. Aujourd'hui, la régénération naturelle tend à être plus généralement privilégiée.

Depuis ces trente dernières années, une tendance nette se dessine : la gestion de peuplements denses avec des éclaircies faibles cède progressivement le pas à une sylviculture plus dynamique, basée notamment sur la réduction des densités au stade juvénile. L'argument avancé est de permettre la croissance plus forte d'un nombre moindre de tiges et d'améliorer simultanément la biodiversité par un couvert plus clair, autorisant plus de

mélange. Les motivations sont également de réduire les coûts de main-d'œuvre et de limiter la production de petits bois, aux débouchés toujours plus incertains. La production de bois d'œuvre de la plus haute qualité possible reste l'objectif visé par les gestionnaires. Deux options sont alors envisageables : produire au même âge des arbres plus gros ou réduire la durée de révolution à diamètre d'exploitabilité constant. Aujourd'hui, la gestion en peuplements clairs est aussi encouragée pour renforcer la résilience des écosystèmes forestiers face aux changements climatiques attendus. La réduction du capital sur pied, en favorisant la vitalité des arbres, vise à améliorer la résistance aux stress hydriques. L'atteinte plus précoce des diamètres d'exploitabilité devrait également limiter l'exposition aux aléas accidentels tels les vents violents. Dans ce sens, l'alternative de raccourcir les révolutions semble prévaloir.

Quelle conséquence peut-on craindre de ces évolutions sur la croissance et la qualité des bois produits : forme des tiges, nodosité en

relation avec la branchaison, largeur de cernes ? La bibliographie relative au pin sylvestre en France ne donne que peu d'éléments quantitatifs sur les effets de la sylviculture, en particulier concernant la qualité du bois.

Le réseau expérimental du Cemagref couvre une gamme très étendue de scénarios sylvicoles issus de plantations ou de semis artificiels. Son installation ancienne offre un recul important qui apporte un bon éclairage sur les conséquences des choix sylvicoles. L'objectif de cet article est d'apporter des éléments quantifiés sur les effets de la sylviculture sur la croissance et la branchaison du pin sylvestre en futaie régulière issue de régénération artificielle.

Le réseau d'expérimentation sur la sylviculture du pin sylvestre

Pour orienter le développement de peuplements artificiels de pin sylvestre, le gestionnaire forestier peut intervenir sur trois points clés. Le premier concerne la **densité de plantation** exprimée en nombre de

Département	Localisation	Peuplement	Origine génétique	Année et Hédom à l'installation	Facteur étudié	Modalités	Nombre de blocs
Essai 1	45 FD d'Orléans Parcelle 805	Plantation en 1966	Pologne Olisztyn	1966	Densité initiale de plantation	10 000, 4 440, 2 500 et 1 320 plt/ha	2
Essai 2	67 Forêt Indivise de Haguenau Parcelle 207	Semis en ligne en 1976	Non connue	1988 7,3 m	Intensité de dépressage	Témoïn non dépressé Dépressage à 3 000, 2 000, et 1 000 t/ha	-
Essai 3	45 FD d'Orléans Parcelle 497	Plantation à 4 300 plt/ha en 1978	Pologne Sieldce et Campine belge	1990 6,0 m	Intensité de dépressage	Témoïn non dépressé Dépressage à 2 000, 1 500 et 1 000 t/ha	-
Essai 4	45 FD d'Orléans Parcelle 1089	Plantation à 4 440 plt/ha en 1980	Hanau, regarnis en Haguenau	1991 6,8 m	Intensité de dépressage	Témoïn non dépressé Dépressage à 3 000, 2 200 et 1 500 t/ha	-
Essai 5	(1) FD d'Orléans Parcelle 805	Plantation en 1966	Pologne Olisztyn	1984 8,6 à 10,7 m	type et intensité de la 1 ^{re} éclaircie sans dépressage préalable	Éclaircie systématique 1/3 Éclaircie sélective modérée : prélèvement de 26 à 49 % des tiges Éclaircie sélective intensive : prélèvement de 59 à 65 % des tiges	-
Essai 6	(2) FD d'Orléans Parcelle 805	Plantation en 1966	Pologne Olisztyn	1990 12,6 à 13 m	Intensité de la 2 ^e éclaircie	Témoïn sans 2 ^e éclaircie Éclaircie sélective modérée : prélèvement de 37 à 43 % des tiges Éclaircie sélective intensive : prélèvement de 52 à 58 % des tiges	-
Essai 7	45 FD d'Orléans Parcelle 582	Plantation à 3 500 plt/ha en 1972	Non connue	1991 11 m	Intensité de la 1 ^{re} éclaircie sans dépressage préalable	Témoïn non éclairci Éclaircie sélective à 1 800, 1 500, 1 200 et 1 000 t/ha	3
Essai 8	18 Brinon sur Sauldre	Plantation à 2 800 plt/ha en 1968	Non connue	1993 13,3 m	Intensité de la 1 ^{re} éclaircie sans dépressage préalable	Témoïn non éclairci Éclaircie sélective à 1 400 t/ha	-
Essai 9	18 Ménétréol sur Sauldre	Plantation à 4 440 plt/ha en 1976	Non connue	1994 10,2 m	Intensité de la 1 ^{re} éclaircie sans dépressage préalable	Témoïn non éclairci Éclaircie sélective à 1 200 t/ha	-

(1) essai installé dans le bloc 2 de l'essai 1

(2) essai installé dans le bloc 1 de l'essai 1

Tab.1 : caractéristiques des essais

plants installés à l'hectare lors de la constitution du boisement. Le deuxième est le **dépressage**, opération sylvicole qui consiste à réduire le nombre de tiges à un stade juvénile (éliminant en priorité les tiges dominées et les tiges vigoureuses les moins bien conformées) : il vise à répartir la production sur un nombre réduit d'individus en abaissant la pression de compétition dans leur voisinage. Son niveau d'intensité est exprimé en nombre de tiges restant après intervention. Le dernier est le facteur d'**intensité d'éclaircie** ; les éclaircies interviennent généralement après la fermeture du couvert, lorsque les arbres ont atteint des dimensions commercialisables, mais leur réalisation reste en pratique très dépendante de la situation particulière de chaque peuplement et du contexte économique général et local.

Pour répondre aux interrogations des gestionnaires, ces trois points clés ont été étudiés au travers d'essais mis en place entre 1966 et 1994. Le tableau 1 présente les principales caractéristiques des essais. Les essais concernés testent ainsi :

- la densité de plantation (1 320, 2 500, 4 440 et 10 000 plt/ha) ;
- le dépressage, à partir de plantations à 4 300 et 4 440 plt/ha et de semis en ligne à très forte densité ;
- la 1^{re} et/ou 2^e éclaircie (à partir des densités 1 320, 2 500, 3 500, 4 440 et 10 000 plt/ha) et sans dépressage préalable. Au sein du réseau expérimental, le stade de réalisation de la 1^{re} éclaircie varie de 8,6 à 13,3 m de hauteur dominante. Il est important de noter que les éclaircies ont été étudiées dans des peuplements non dépressés.

Le réseau représente un total de 42 placettes. Les objectifs initiaux de test de modalités de dépressage ou éclaircie ont largement été atteints, mais continuer à mesurer ces essais permet d'évaluer à moyen terme les conséquences des choix sylvicoles. La majorité des essais sont donc tou-

jours suivis par le Cemagref. Trois essais néanmoins ont dû être abandonnés : l'un à la suite de la tempête de 1999 et deux autres suite à des difficultés de réalisation des interventions en forêt privée.

À l'exception d'un essai alsacien, l'ensemble du réseau est situé en région Centre, dans un contexte climatique océanique à tendance continentale. Les peuplements, issus de plantations à partir d'origines génétiques diverses et parfois non connues, sont installés sur des sols acides de texture sableuse reposant sur des argiles qui apparaissent à des profondeurs variables et qui permettent le développement de nappes perchées temporaires. Bien que des nuances stationnelles existent sur un même essai, l'homogénéité était recherchée lors de leur installation. L'espacement initial des plantations varie de 1,5 x 1,5 m (soit 4 440 plt/ha) à 1,9 x 1,9 m (soit 2 770 plt/ha), sauf dans l'essai de densité de plantation (voir tableau 1).

Les mesures relatives à la croissance

Les essais ont fait l'objet de mesures et d'observations rigoureuses et régulières par suivi individualisé des tiges : circonférence à 1,30 m, hauteur totale (hauteur dominante puis hauteur d'un échantillon), hauteur d'insertion de la 1^{re} branche vivante. La mortalité et l'état sanitaire des peuplements ont été suivis. On dispose ainsi aujourd'hui de séries de mesures de 14 à 24 ans et jusqu'à 40 ans lorsque l'on considère la continuité entre essais de densité de plantation et essais d'éclaircie, pour évaluer la croissance du pin sylvestre en fonction de différents scénarios sylvicoles.

Les dépressages et éclaircies modifient instantanément les caractéristiques dendrométriques du peuplement, dans une proportion variable selon la nature et la vigueur de l'intervention : le prélèvement des arbres dominés entraîne une aug-

mentation du diamètre de l'arbre moyen du peuplement ; à l'opposé, le prélèvement d'arbres dominants mal conformés entraîne une réduction du diamètre dominant. Il s'agit d'effets purement techniques (Rondeux 1993). En diminuant la pression de compétition entre les arbres, l'intervention entraîne ensuite une modification du rythme de croissance des arbres : on parle de réaction à l'éclaircie. Celle-ci est étudiée à l'échelle du peuplement, puis à l'échelle de l'arbre. Pour se dégager des effets techniques, on a utilisé des sous-populations d'arbres, comparables d'une sylviculture à l'autre : celle des arbres d'avenir désignés à raison de 200 arbres par hectare ou, en l'absence de désignation, celle des 400 plus gros arbres par hectare, ce qui permet de travailler sur un nombre correct d'arbres au regard de la surface des placettes expérimentales.

La croissance n'est pas l'unique critère à considérer. Aussi avons-nous cherché à coupler résultats en croissance et résultats en qualité.

Des mesures récentes de branchaison permettent d'apprécier l'effet sur la qualité

Entre 2001 et 2004, les dispositifs expérimentaux ont fait l'objet de descriptions détaillées de branchaison pour répondre objectivement aux interrogations portant sur la qualité des bois produits selon les différentes modalités de sylviculture. Les mesures ont été réalisées sur un échantillon stratifié d'arbres par placette. Ces tiges ont été sélectionnées pour représenter la distribution en surface terrière du peuplement, et abattues pour faciliter les mesures (photo 1). Ont été précisément mesurés : hauteurs et diamètres successifs de la tige, depuis la souche jusqu'à l'apex, nombre de branches, état vital des branches, diamètre à leur insertion et angle d'insertion. Outre la reconstitution précise de la forme de la tige, on



C. Couteau, Cemagref

1 - Pin sylvestre abattu, préparé pour mesures de branchaison
FD d'Orléans, parcelle 805, 35 ans après plantation

obtient ainsi la répartition le long de la tige des types de nœuds (nœuds noirs/nœuds sains) et le profil des diamètres de branches en fonction de la hauteur dans l'arbre.

Présentation des résultats

La présentation des résultats de chaque dispositif pourrait prendre l'allure d'une «liste à la Prévert», rapidement rebutante. Nous avons donc choisi de synthétiser les résultats de croissance et de les présenter dans l'ordre chronologique du développement des peuplements. Les résultats concernant la branchaison sont regroupés en 2^e partie.

Effets de l'espacement initial de plantation

L'essai 1 de densité initiale de plantation suivi en FD d'Orléans montre qu'en l'absence de dépressage au stade juvénile, le diamètre à 1,30 m est très lié à la densité de plantation. Ainsi, à 18 ans

et 11 m de hauteur dominante correspondant idéalement au stade de la première éclaircie, le diamètre quadratique moyen varie de 8 cm à 15 cm sur la gamme des densités testées (10 000 à 1 320 plt/ha). En outre, la densité initiale induit des différences dans la répartition des tiges par catégorie de diamètre : la catégorie 10 cm est majoritairement représentée dans les plus fortes densités (4 440 et plus) alors que la classe 15 cm est prépondérante dans les autres cas.

Les fortes densités de plantation repoussent la date de la 1^{re} éclaircie commercialisable

En pratique, la 1^{re} éclaircie est généralement déclenchée lorsque le diamètre moyen des tiges à 1,30 m atteint un niveau commercialisable, soit 13-14 cm dans le cas général, sous réserve des variations liées au contexte économique global ou à l'existence de débouchés locaux. Dans les plantations à forte densité (4 440 et plus), pour un hauteur dominante de 10-11 m, le diamètre est très en-dessous de ce seuil et la première éclaircie risque de fait d'être repoussée à des âges et hauteurs dominantes plus élevés, fragilisant le peuplement vis-à-vis du vent ou de la neige lourde par exemple. La plantation à 2 500 plt/ha apporte un gain de 2 cm sur le diamètre de l'arbre moyen par rapport à une densité initiale de 4 440 plt/ha, mais le diamètre moyen (12-13 cm) reste encore un peu faible pour une bonne commercialisation, ce qui n'est pas le cas à 1 320 t/ha.

L'intérêt du dépressage

L'objectif du dépressage dans les peuplements issus de plantation est généralement d'améliorer les conditions de réalisation de la 1^{re} éclaircie ; il s'agit de la rendre commercialisable et de l'exécuter dans un peuplement de stabilité satisfaisante, autrement dit : atteindre

Définitions

- Le diamètre quadratique moyen (Dg) est le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne.
- Le diamètre dominant est le diamètre quadratique moyen des 100 plus gros arbres par hectare.
- La hauteur dominante (Hdom) est la hauteur moyenne des 100 plus gros arbres par hectare.
- Le facteur d'élancement, ou Hdom/Dg, est le rapport entre la hauteur dominante et le diamètre quadratique moyen.
- La production nette en surface terrière est la somme des surfaces terrières des arbres vivants sur pied et des arbres vivants prélevés au cours des éclaircies successives. Ne prenant pas en compte la surface terrière perdue par mortalité naturelle dans les modalités à forte densité, la production nette est inférieure à la production biologique, mais elle est plus pertinente pour qui s'intéresse aux volumes commercialisables.
- L'accroissement net en surface terrière correspond à la différence entre les surfaces terrières des arbres vivants sur pied mesurés à deux dates successives. Dans le réseau d'essais, il est calculé sur des périodes de 7 à 11 ans et exprimé en m²/ha/an : il s'agit donc d'un accroissement moyen périodique.
- Une perte de production rapporte la différence entre une quantité réellement produite sur une période donnée et la quantité attendue compte tenu de la capacité de production du site : il peut s'agir par exemple de la surface terrière.

assez tôt un diamètre suffisant. Le dépressage est aussi et avant tout une opération sylvicole visant à améliorer la qualité du peuplement. Ne disposant d'aucun essai en régénération naturelle, nous n'abordons ici que la question du dépressage des plantations ou semis artificiels en ligne.

L'intensité du dépressage joue sur la stabilité future des peuplements

Le facteur d'élancement - Hdom/Dg - augmente avec la croissance en hauteur du peuplement. En l'absence d'intervention sylvicole, il se détériore progressivement et atteint des valeurs proches de 100, voire nettement supérieures selon l'espacement initial de plantation. Les dépressages, en réduisant sensiblement la population des arbres dominés de faible diamètre et une partie des dominants et codominants améliorent instantanément cet indice de stabilité. Il s'agit d'un effet purement technique. Ils permettent ensuite de ralentir la progression du facteur d'élancement, voire de l'abaisser, en fonction de la réduction de compétition opérée.

Un dépressage qui ramène la densité vers 2 000 t/ha à 6-7 m de hauteur dominante permet d'orienter le peuplement vers une stabilité raisonnable, sous réserve de la réalisation d'une 1^{re} éclaircie assez énergique vers 11-12 m de hauteur dominante. Passé ce stade, les peuplements entrent en zone de risque important face aux vents (zone 2, selon la définition de Riou-Nivert 2000 ; voir figure 1). Le dépressage à 1 500 t/ha autorise le report de la 1^{re} éclaircie vers 14 m de hauteur dominante, et le dépressage à 1 000 t/ha procure quant à lui un peuplement composé d'arbres plus trapus et coniques, restant plus longtemps en zone de risque faible du point de vue de la stabilité (figure 1).

Dépresser dynamise la croissance individuelle...

La réaction individuelle des arbres au dépressage est très bonne. L'effet sur l'accroissement courant annuel en circonférence est immédiat et durable pour l'ensemble des intensités de dépressage testées : on observe une différence significative entre modalités dépressées et témoins non dépressés dès les 2 années suivant l'intervention. L'accroissement cou-

rant annuel, comparé aux témoins, est encore significativement différent entre les 6^e et 9^e années après intervention (figure 2).

Sur une période de 9 années après dépressage, l'accroissement annuel des 400 plus gros arbres par hectare est d'autant plus fort que le dépressage a été intensif. La largeur moyenne de cerne varie de 4 mm à 2 000 t/ha à plus de 5 mm à 1 000 t/ha contre moins de 3,5 mm en l'absence d'intervention (figure 2).

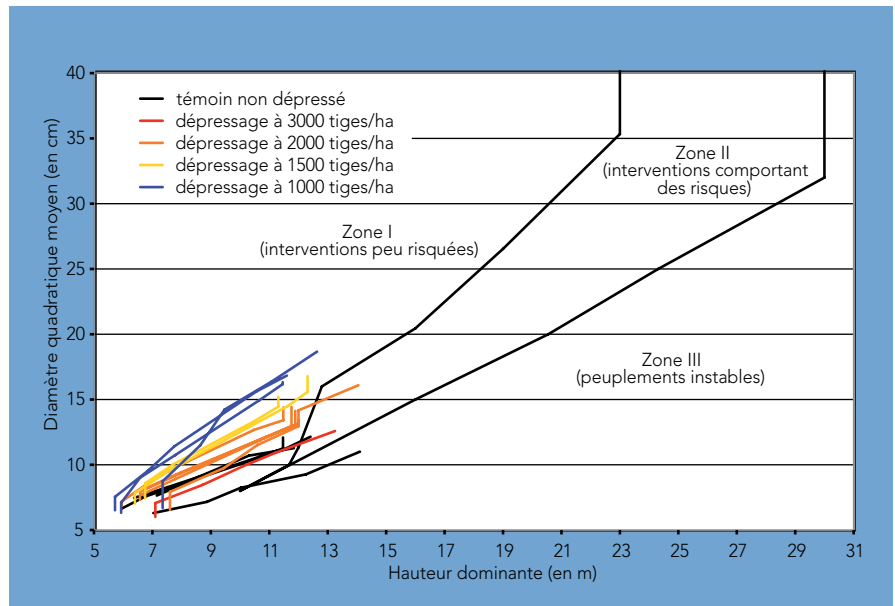


Fig. 1 : évolution des peuplements suite au dépressage dans les zones de stabilité face au vent définies par l'IDF (Riou-Nivert, 2000)
FD d'Orléans (essais 3 et 4) et FI de Haguenau (essai 2)

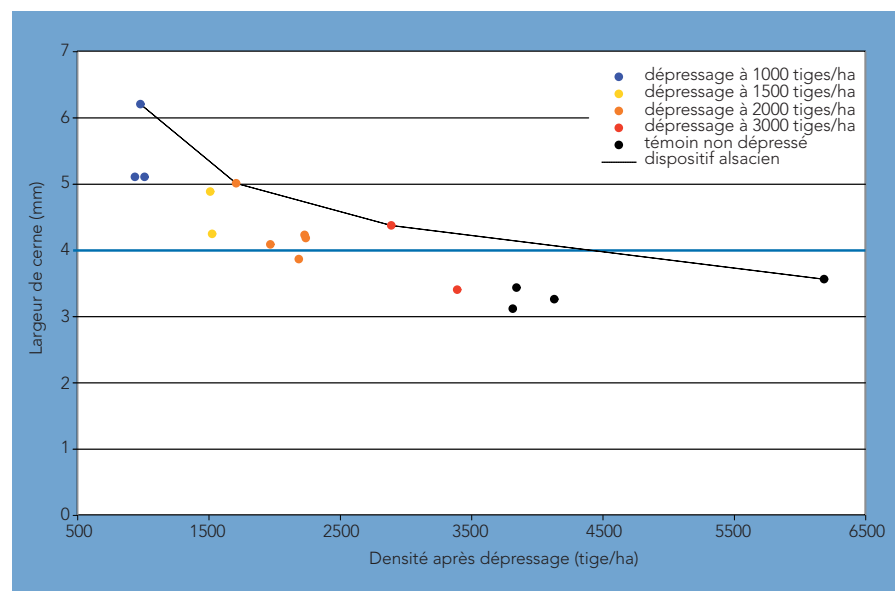


Fig. 2 : Largeur moyenne de cerne des 400 plus grosses tiges/ha en fonction de la densité après dépressage

FD d'Orléans (essais 3 et 4) et FI de Haguenau (essai 2) ; moyennes établies sur une période de 9 ans après intervention

Cependant, les différences entre modalités de dépressage ne sont pas toujours statistiquement significatives.

À 12 m de hauteur dominante, le diamètre quadratique moyen atteint en moyenne 13 cm dans les modalités dépressées à 2 000 t/ha, 15 et 17 cm respectivement à 1 500 et 1 000 t/ha, contre seulement 11 cm dans les témoins.

...mais provoque des pertes de production

À l'échelle du peuplement, les dépressages dynamiques entraînent une réduction de l'accroissement net en surface terrière (voir définition en encadré) : cette réduction constitue une perte par rapport à la capacité de production du site, ou production optimale, que nous pouvons estimer grâce aux modalités témoins. L'importance de cette réduction dépend de l'intensité du prélèvement : le dépressage à 1 000 t/ha conduit ainsi à une réduction de plus de 20 % de l'accroissement par rapport au témoin sur une période de 9 ans.

Il faut en outre considérer que les pertes de production en volume sont supérieures aux pertes en surface terrière, du fait de la conicité accrue des tiges en peuplement intensément dépressé. La décroissance métrique moyenne peut ainsi atteindre 150 % de celle du témoin. Une croissance en peuplement clair influence ainsi fortement la conicité de la bille.

Ces résultats concernent des peuplements de 6-7 m de hauteur dominante au moment du dépressage et initialement plantés à forte densité. Pour des espacements initiaux très larges, la densité de plantation elle-même conduit à des pertes de production, comme nous le verrons plus loin.

Faut-il s'inquiéter de ces pertes de production intervenant avant la 1^{re} éclaircie commercialisable ? Dans

l'état actuel du marché des bois, nous serions tentés de répondre non. Mais on évoque de plus en plus le bois comme source d'énergie renouvelable et, dans ce contexte, le volume de bois produit par unité de surface pourrait prendre plus d'importance.

Dynamiser la sylviculture de manière raisonnée

Nos essais de modalités d'éclaircie ont été conduits dans des peuplements issus de plantations et non dépressés.

Sur la production : effets croisés de la densité initiale et de l'intensité d'éclaircie

Nous avons analysé les conséquences des scénarios d'éclaircie sur la production nette en surface terrière (voir définition en encadré). Les nombreux scénarios sylvicoles testés dans les essais 5 et 6, portant sur la densité initiale de plantation et l'intensité des 1^{re} et 2^e éclaircies, ont généré des accroissements nets en surface terrière variant de 0,68 à 1,57 m²/ha/an pour des périodes de 7 à 11 ans, situées entre 1984 et 2001. Il en résulte une gamme de surface terrière sur pied de 17,7 à 40,8 m²/ha, 35 ans après plantation.

Nos essais montrent que les plantations à 1 320 et 2 500 pl/ha (toutes modalités d'éclaircie confondues) ont des accroissements en surface terrière plus faibles que ceux des plantations à 4 440 et 10 000 pl/ha, et que la réalisation d'éclaircies fortes réduit encore cet accroissement : nous avons enregistré des pertes variant de 20 à 52 % de l'accroissement net en surface terrière pour des éclaircies prélevant entre 27 et 57 % de la surface terrière avant éclaircie. Le choix d'une sylviculture très dynamique, associant faible densité de plantation et éclaircie forte, peut ainsi provoquer des pertes cumulées d'accroissement en surface terrière atteignant 40 à 50 % de la capacité de production du site. L'effet

est durable dans le temps, puisque toujours d'actualité 35 ans après plantation.

Il faut noter que les peuplements à densité maximale biologique ne génèrent pas la production maximale en surface terrière nette compte tenu de la mortalité naturelle qui caractérise ces peuplements. Nous avons enregistré la production la plus forte dans les plantations de fortes densités (4 400 et plus) éclaircies sélectivement par la suite (voir tableau 1) : la production totale nette en surface terrière à 35 ans atteint en effet 60 m² pour la densité initiale 4 440 t/ha alors qu'elle n'est que de 46,1 m² pour la densité 2 500 t/ha éclaircie fortement et de 36,5 m² pour la densité 1 320 t/ha éclaircie modérément. Les accroissements moyens nets respectifs valent 1,71 m²/ha/an, 1,32 m²/ha/an et 1,04 m²/ha/an sur 35 ans. Dans le cas des densités de plantation fortes, les éclaircies sélectives dynamiques, dans la gamme testée prélevant en 1^{re} éclaircie jusqu'à 61 % de la surface terrière, n'engendrent pas de pertes de production par rapport à des éclaircies plus modérées pratiquées dans des peuplements de même densité initiale. Par contre, les éclaircies systématiques, prélevant une ligne sur trois (33 à 37 % de la surface terrière), donnent un accroissement net en surface terrière plus faible que les éclaircies sélectives : nous avons enregistré des écarts atteignant 11 % en 10 ans.

Sur la largeur de cerne : effet net de l'éclaircie mais réponse limitée

Pour analyser l'effet de l'intensité d'éclaircie à l'échelle de la révolution, nous proposons d'étudier la largeur de cerne des arbres d'avenir, *a priori* destinés à constituer le peuplement final.

La largeur moyenne de cerne des arbres d'avenir varie pour l'ensemble des essais de 1,8 à 3,8 mm selon les périodes (de 7 à 11 ans) et les placettes. On soulignera tout d'abord

l'effet nettement significatif des éclaircies sur la largeur de cerne par rapport à l'absence d'éclaircie. Cependant la réaction à l'intensité de l'éclaircie est plus modérée : en appliquant différentes intensités d'éclaircie à des peuplements de même densité initiale, on constate que la largeur de cerne n'est jamais significativement différente entre modalités (figure 3), et que les gains supplémentaires pour une éclaircie forte (rapportés à ceux d'une éclaircie modérée) sont d'autant plus modestes que la densité de plantation était faible (figure 3). Ils atteignent 8, 10, 13 et 20 % respectivement pour les densités de 1 320, 2 500, 4 440 et 10 000 t/ha, après la 2^e éclaircie. En valeurs, les écarts n'atteignent que 2/10^e de millimètres à 1 320 t/ha, ce qui paraît négligeable : cela ne représente en effet qu'un gain de 4 mm sur le diamètre en 10 ans ! Des résultats analogues sont obtenus dans une plantation à 3 500 plt/ha, où nous montrons qu'un prélèvement de plus de 50 % de la surface terrière n'apporte pas de gain substantiel sur la largeur moyenne de cerne des arbres d'avenir par rapport à un prélèvement de 35 – 40 % (figure 4).

En résumé

Sur le seul plan de la production matière, **pour des densités initiales de plantation inférieures ou égales à 2 500 tiges par hectare**, nous conseillons **des premières éclaircies prélevant 30 à 35 % de la surface terrière** (avec une éclaircie par le haut cela représente 40 % du nombre de tiges). Des éclaircies plus intensives engendrent des pertes de production et un très faible gain sur la durée de révolution des peuplements.

Effets des choix sylvicoles sur la grosseur des branches

La dimension et la fréquence des nœuds affectent la qualité du bois produit. Ces critères interviennent dans le classement d'aspect des sciages résineux ainsi que dans le classement en structure (CTBA 1999).

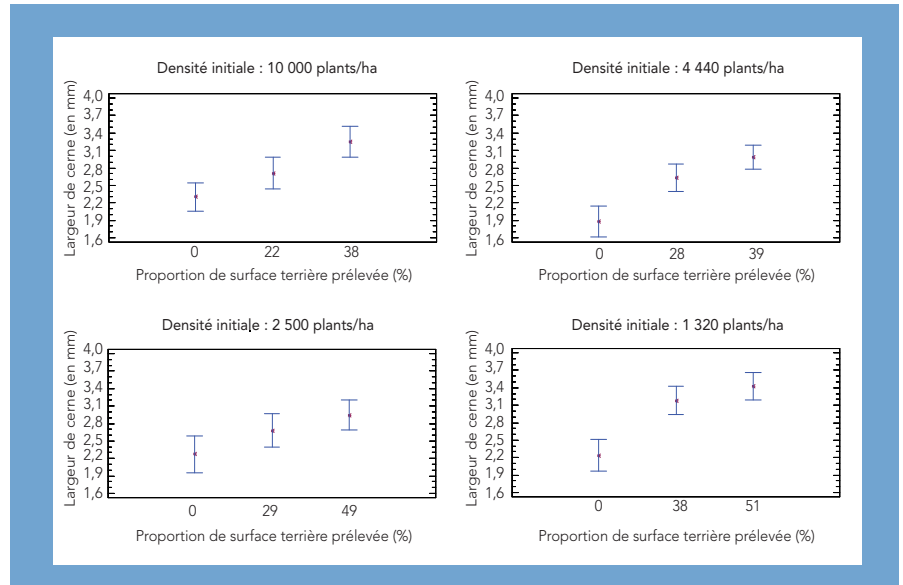


Fig. 3 : largeur moyenne de cerne après la 2^e éclaircie en fonction de la densité initiale de plantation et de l'intensité de l'intervention
FD d'Orléans, essai 6 ; valeurs moyennes établies sur les arbres d'avenir (200/ha) sur une période de 11 ans après la 2^e éclaircie

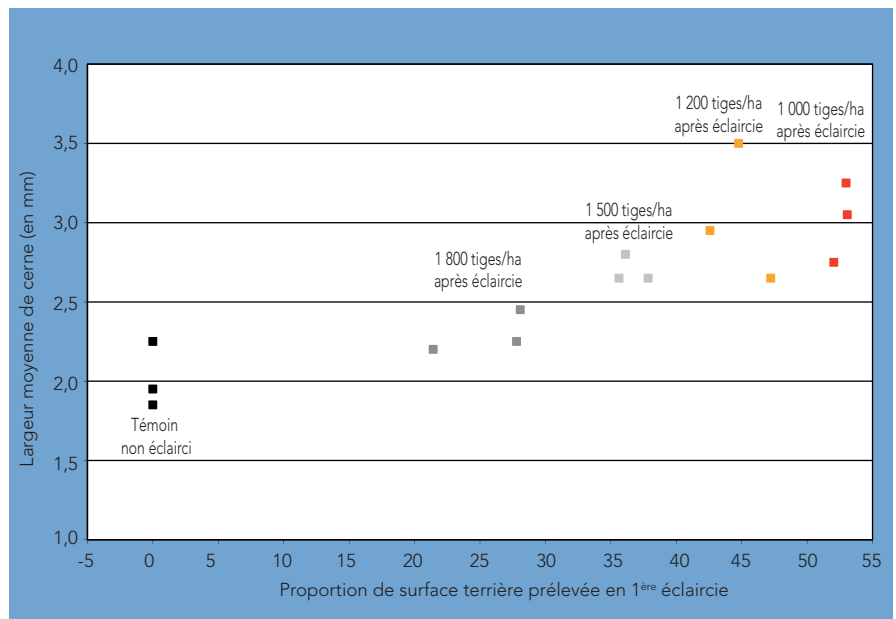


Fig. 4 : largeur moyenne de cerne des arbres d'avenir en fonction du taux de prélèvement en surface terrière à la 1^{re} éclaircie
FD d'Orléans, essai 7 ; valeurs moyennes établies sur une période de 6 ans après la 1^{re} éclaircie

Les valeurs seuils admises dépendent du type de classement utilisé et varient entre classes. Il est plus commode d'interpréter les effets d'une sylviculture sur la qualité des bois en les rapportant aux règles de classement ; il faut cependant choisir parmi les multiples comparaisons possibles. Pour le pin sylvestre, la valeur

de 30 mm de diamètre des nœuds constitue un seuil pour les sciages de choix 1 en classement sur deux faces dans le cas de pièces de 100 mm de largeur (et pour la classe de structure ST II en tant que critère sur la rive). Nous avons donc jugé cette valeur intéressante, utilisable en tant qu'indicateur de qualité.

La densité de plantation a une influence primordiale sur la grosseur des branches

Nous avons analysé l'influence de la densité de plantation sur la grosseur des branches à partir d'un échantillon d'arbres sélectionnés dans 10 placettes de l'essai de densité de plantation suivi en FD d'Orléans – essai 1 - et transformé par la suite en essais d'éclaircie (voir tableau 1). Au moment de cette analyse, le peuplement était âgé de 35 ans (depuis la plantation) et atteignait en moyenne 17 m de hauteur dominante. Nos observations montrent que les branches de plus de 30 mm de diamètre sont nombreuses dans les modalités plantées à 1 320 plt/ha et sont présentes dès 2 m de hauteur. À 2 500 plt/ha, elles sont présentes en dessous de 4 m, alors qu'il n'y en a pas avant 6 m dans les modalités installées à 4 440 t/ha (figure 5).

On peut en conclure que **planter à 2 500 plt/ha et moins favorise le développement de grosses branches (photo 2) et peut entraîner le déclassement des bois.** La récupération d'une « qualité correcte » ne peut alors se faire qu'en compensant par des élagages artificiels, si le potentiel du peuplement le permet ; à moins que le maintien d'un accompagnement ligneux puisse limiter ce phénomène, ce qui reste à prouver.

Le dépressage augmente la grosseur des branches

Nous avons analysé l'influence du dépressage sur la grosseur de branches à partir des deux essais de dépressage suivis en FD d'Orléans. Cette analyse a été conduite 9 et 11 ans après le dépressage (selon les essais) : les peuplements étaient alors âgés de 21-22 ans (depuis la plantation) et atteignaient en moyenne 11,5 et 11,8 m de hauteur dominante. La figure 6 présente le classement qualitatif des 400 plus grosses tiges par hectare pour

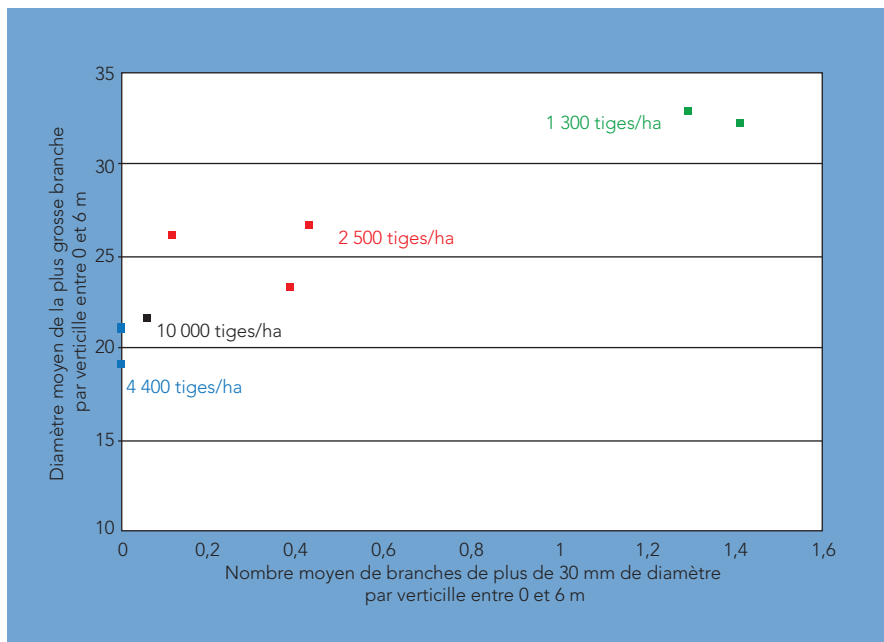


Fig. 5 : effet de la densité initiale de plantation sur le nombre de grosses branches (en abscisse) et le diamètre moyen de la plus grosse branche par verticille (en ordonnée) entre 0 et 6 m de hauteur

FD d'Orléans, essais 5 et 6 issus de l'essai 1 ; valeurs moyennes établies sur un échantillon de tiges abattues, 35 ans après plantation



2 - Pins sylvestres de 35 ans issus d'une plantation à 1 320 tiges/ha
FD d'Orléans, essai 5

chaque intensité de dépressage. Dans la modalité la plus fortement dépressée, 10 % de ces tiges sont de bonne qualité, mais de faible diamètre, et 25 % des tiges sont « très branchues », portant plus de 2 grosses branches de qualité rédhibitoire. Comparés aux dé-

pressages modérés, les témoins peuvent présenter une branchaison plus développée résultant de la conjonction entre avantages sociaux anciens (arbres dominants) et absence de sélection de la part du sylviculteur (résultats obtenus entre 6 et 12 m, non figurés).

F. Milano, Cemagref

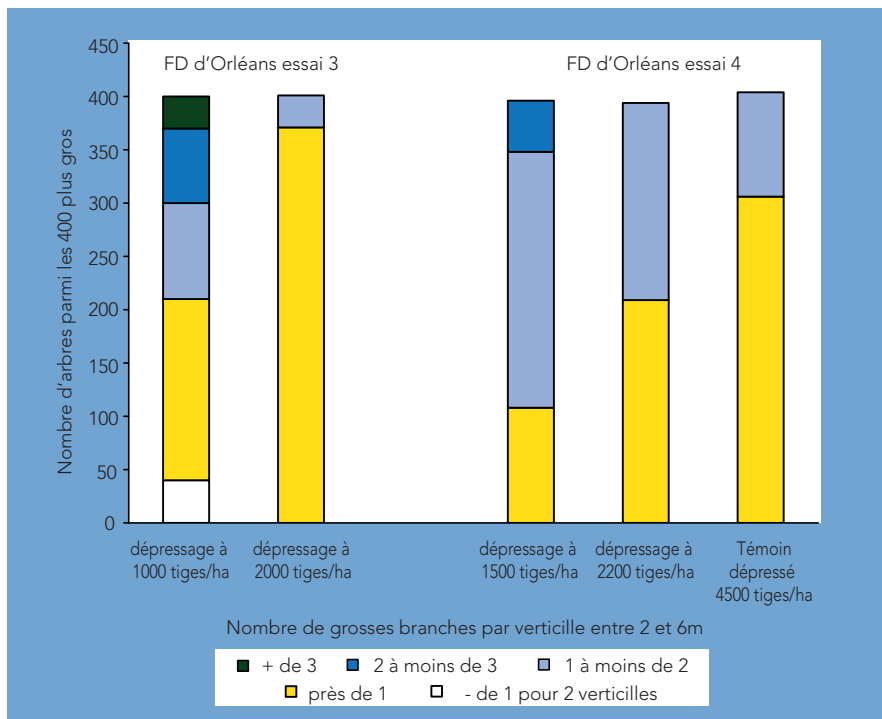


Fig. 6 : répartition des 400 plus grosses tiges/ha en fonction du nombre moyen de branches de plus de 30 mm de diamètre par verticille entre 2 et 6 m de hauteur

Valeurs estimées à partir de relations basées sur la circonférence à 1.30 m établies sur un échantillon de tiges abattues 21 et 22 ans après plantation

Ces résultats illustrent bien l'effet sélectif bénéfique du dépressage. Néanmoins, au-delà d'une certaine intensité, cet effet est dépassé par le facteur croissance, ce qui tend à produire des arbres à forte branchaison. Ainsi, **au stade de 6-7 m de hauteur dominante, dépresser à 1 000 t/ha conduit à dégrader la qualité du peuplement. La densité après dépressage de 1 500 t/ha présente un meilleur compromis croissance-qualité.**

Conclusions : un optimum technique à confronter aux contraintes économiques

Les résultats présentés proviennent d'expérimentations en peuplements de moins de 40 ans, purs et issus de régénération artificielle et s'inscrivent dans un objectif de production de bois de qualité. D'autres objectifs peuvent conduire à des arbitrages différents. Par ailleurs, nos

conclusions présentent un optimum technique qui peut être infléchi par des considérations économiques (comme le coût de plantation, le coût des dépressages ou de l'éclaircie, et la valeur des bois produits). Les modalités d'intervention expérimentées sont contemporaines des interrogations formulées à l'époque par les gestionnaires ; elles ne couvrent pas forcément le champ des pratiques actuellement en cours ou envisagées. Citons par exemple le cas des régénérations naturelles ou des plantations à faible densité avec pré-cloisonnement d'exploitation.

Malgré son étendue, le réseau expérimental ne comporte que peu de répétitions ; par ailleurs, les interventions sylvicoles de type dépressage ou éclaircie s'étalent sur la décennie 1984-1994, qui a été climatiquement marquée par des déficits hydriques répétés en période estivale. La puissance statistique du

réseau expérimental est donc limitée et restreint les possibilités de généralisation des résultats. Néanmoins, la convergence des résultats obtenus permet de dégager de notre réseau expérimental sur le pin sylvestre, les principales idées directrices suivantes :

- la densité de plantation initiale a un impact durable sur le niveau de production ;
- elle conditionne la grosseur des branches dans le bas de la tige ;
- des dépressages forts dégradent la qualité du bois en favorisant la croissance des branches basses ;
- le pin sylvestre a une croissance modérée, que l'on ne peut accélérer que dans une faible proportion ;
- les prélèvements forts conduisent à des pertes de production dans le cas de densités initiales de plantation faibles.

Pour produire des bois de qualité, nous déconseillons ainsi de planter à moins de 2 500 plt/ha. La densité idéale se situerait même plutôt entre 3 000 et 4 000 plants par hectare. Outre la forme des arbres, c'est la production totale du peuplement qui est affectée lorsque l'on diminue les densités de plantation. La capacité de croissance relativement faible du pin sylvestre ne permet pas de garantir le niveau de production à l'hectare en cas d'abaissement de densité. Dans nos essais, des pertes de production liées aux faibles densités initiales s'observent encore à 35-40 ans.

Le pin sylvestre est une essence pionnière : il supporte mal la compétition. Les interventions précoces doivent donc être privilégiées pour stimuler la croissance, à un stade où croissance et capacité de réaction sont encore bonnes. À partir de peuplements de plus de 3 000 t/ha nous conseillons d'intervenir entre 6 et 7 m de hauteur dominante en abaissant la densité vers 1 500 t/ha. Une intensité plus forte (1 000 t/ha) provoque des pertes de production et diminue la qualité du peuplement en favorisant la croissance ra-

diale des branches et la conicité des tiges. Une intensité plus faible (de l'ordre de 2 000 t/ha après dépressage) ne favorise pas suffisamment la croissance radiale de la tige ; la compétition entre les tiges réapparaît rapidement et la stabilité du peuplement se dégrade à nouveau, au-delà de 12 m de hauteur dominante.

À partir de la 1^{re} éclaircie commerciale (sans dépressage préalable), pour des densités initiales de plantation de 2 500 plt/ha ou moins, il est vain d'augmenter les prélèvements au-delà d'un seuil dans l'espoir d'accroître la croissance individuelle et de raccourcir les révolutions. Le seuil de prélèvement à la 1^{re} éclaircie peut être fixé à 35 % de la surface terrière avant éclaircie ; au-delà, avec 40 voire 50 %, le risque de perte de production est accru, sans pour autant permettre de réduire la durée de révolution. Pour des densités initiales de plantation de plus de 2 500 plt par hectare, les prélèvements peuvent être portés à 40 %. Des taux de prélèvement de 50 % seront réservés aux densités initiales fortes, supérieures à 4 440 t/ha. Ce scénario est compatible avec une production en volume importante. Il est cohérent de ce fait avec les principes de production soutenue et de stockage du carbone en forêt.

Ces résultats peuvent-ils être extrapolés à des peuplements issus de schémas d'installation différents (régénération naturelle, densités ou espacements différents...) ou à des stades de développement différents ? Les raisonnements de base le peuvent certainement, mais la définition des seuils (de densité, d'intervention) devra être adaptée à chaque cas particulier. De même, ces seuils pourraient être modulés si l'élagage artificiel était considéré ou si on avait l'assurance que le maintien d'un accompagnement feuillu limite la formation de

grosses branches. À notre sens, il faut maintenir un effort de recherche sur cette essence intéressante dans le contexte du changement climatique annoncé.

Sandrine PERRET

Christian GINISTY

Cemagref Nogent-sur-Vernisson

Unité Ecosystèmes Forestiers

Sandrine.perret@cemagref.fr

Christian.ginisty@cemagref.fr

Remerciements

Ce réseau expérimental a été soutenu au cours du temps par le ministère de l'Agriculture, le conseil régional Centre (via Arbocentre) et l'Office national des forêts dans le cadre de la convention cadre Cemagref/ONF 2002-2007. L'agence ONF du Loiret et celle de Haguenau ont également contribué à maintenir ce réseau et nous les remercions.

L'expérimentation en forêt est affaire de patience... Nous voudrions également remercier les générations de techniciens et stagiaires qui se sont investis dans cette lourde tâche et qui nous ont permis de disposer aujourd'hui de ces données.

Bibliographie

CTBA, 1999. Choisir les sciages résineux... C'est simple, c'est facile : suivez la norme européenne. Plaquette CTBA

LE GRIX E., 1876. Une excursion forestière dans l'inspection de Lorris. Revue des Eaux et Forêts, pp. 217-230

PERRET S., COUTEAU C., MILANO F., PEROT T. et PIROCHE J. N., 2003. Influence de la sylviculture sur la qualité du bois du pin sylvestre. Rapport final convention DERF-Cemagref, 57p.

PLINGUET J., 1789. Traité sur les réformations et les aménagements des forêts avec application à celles d'Orléans et de Montargis. Orléans : JACOB aîné.

RIOU-NIVERT P., 2000. Chablis : la sylviculture est-elle en cause ? Forêt-Entreprise n° 131, pp. 70-76

RONDEUX J., 1993. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Gembloux : Presses agronomiques de Gembloux. 521p

Prise en compte des résultats expérimentaux dans le guide de sylviculture des pineraies des plaines du Centre et du Nord-Ouest

Les résultats des dispositifs du Cemagref ont constitué une référence majeure pour l'élaboration des scénarios sylvicoles pour le pin sylvestre. Le Cemagref (Sandrine Perret et Christian Ginisty) était membre du groupe de travail constitué pour l'élaboration du guide, lequel a donc pu bénéficier constamment des apports de la recherche. La confrontation de ces résultats, traduits en préconisations techniques, aux considérations économiques et commerciales, auxquelles s'ajoute l'expérience personnelle des experts du groupe de travail, a permis d'établir les scénarios sylvicoles, dont les orientations en lien avec les résultats du présent article sont détaillées ci-après.

Densité de plantation

La densité basse préconisée a été retenue, soit 2 500 t/ha. L'optimum technique de 3 000-4 000 t/ha n'a pas été retenu car il ne présente pas le meilleur compromis technico-économique. En effet, planter à une telle densité implique des surcoûts de mise en place très importants (de près de 1 000 €/ha jusqu'à 3 mètres de haut), et nécessite ensuite un dépressage, le tout rendant plus qu'aléatoire la valorisation de l'investissement au vu de la faible croissance du pin sylvestre et des recettes attendues. La densité de plantation retenue va de pair avec les préconisations suivantes, pour optimiser la qualité du peuplement :

- travaux préparatoires respectueux de l'ambiance forestière et interventions en dégagement maintenant un accompagnement feuillu,
- utilisation de provenances issues de vergers à graines, pour lesquelles le compromis vigueur-forme est amélioré ;
- intervention en élagage artificiel avant la première éclaircie (qui peut à cette densité survenir à 11-12 m de hauteur dominante avec une hypothèse de commercialisation pour un diamètre moyen de 13-14 cm) pour garantir une production de haute qualité sur un minimum de tiges.

Stratégie de dépressage

Le dépressage a été jugé indispensable et prioritaire dans les jeunes peuplements denses, et ce pour atteindre plusieurs objectifs :

- obtenir un gain précoce sur la croissance, qui participe à l'obtention du diamètre d'exploitabilité (révolution raccourcie),

- permettre une commercialisation précoce de la première éclaircie à 11-12 m de hauteur dominante, grâce à l'atteinte du diamètre moyen de 13-14 cm,
- constituer un peuplement stable,
- permettre le maintien de feuillus en accompagnement.

La stratégie retenue est une intervention vers 5-6 m de haut qui ramène la densité à 1 500 t/ha. Seules les régénérations naturelles très denses (non couvertes par les essais) ont un traitement différent puisqu'il est apparu qu'une intervention plus précoce vers 2-3 m était nécessaire, pour ramener la densité à 2 000-2 500 t/ha. Le tableau 2 résume la stratégie retenue, avec le stade recommandé en optimum, ou le stade possible en rattrapage.

Gestion des éclaircies

La faible réaction du pin sylvestre à l'intensification des premières éclaircies au-delà d'un taux de prélèvement de l'ordre de 40 % de la surface terrière initiale et les pertes de production qui s'ensuivent ont été un point fondamental pour la mise au point des scénarios sylvicoles.

Cela a été pris en compte en proposant deux scénarios : l'un dit à première éclaircie précoce et l'autre dit à première éclaircie tardive. Le choix entre ces deux scénarios se fait à 11-12 m de hauteur dominante selon le caractère commercialisable ou non de la première éclaircie à ce stade, ce qui dépend des caractéristiques dendrométriques du peuplement (résultat de son historique, densité de plantation, régénération naturelle dépressée ou non) et du contexte économique du moment.

À partir de 17 m de hauteur dominante, la gestion des peuplements s'opère en se calant sur une proportion de la surface terrière maximale biologique, en retenant le niveau présentant le meilleur compromis technico-économique, sans oublier la stabilité du peuplement. Les surfaces terrières maintenues après éclaircie, variables selon les fertilités, s'étalent de 50 % (fertilité 3) à 60 % (fertilité 1) du maximum biologique.

Ludovic CHABAUD

Direction Forêt DT IDF-NO

Rédacteur principal du guide « Pineraies de plaines du Centre et du Nord-Ouest »

Origine des peuplements	Densité	Hauteur (en mètres)								
		0	2	3	5	6	8	10		
Plantation ou semis artificiel	> 3 000 t/ha	Attendre			Nettoiemnt Dépressage 1 500 t/ha		Éventuel nettoiemnt		Attendre	
	≤ 3 000 t/ha	pour toute			Éventuel nettoiemnt		ou		la première	
Régénération naturelle	dense (≥ 10 000 t/ha)	intervention		Dégagement dépressage (2000 - 2500 t/ha)		nettoiemnt-dépressage				
	moyennement dense (3 000 <N/ha < 10 000)	de réduction			Nettoiemnt Dépressage (1 500 t/ha)		de rattrapage		éclaircie	
	peu dense (≤ 3 000 t/ha)	de densité			Éventuel nettoiemnt		(1 500 t/ha)		commercialisable	

Tab. 2 : stratégie d'intervention dans les régénérations de pin sylvestre, retenue dans le guide de sylviculture des pineraies des plaines du Centre et du Nord-Ouest

En vert le stade recommandé en optimum, en bleu le stade possible en rattrapage ; les opérations en vert et en bleu ne se cumulent pas.