

Dossier



Mécanisation des premières éclaircies feuillues

De nombreuses régions se heurtent à des difficultés de réalisation des premières éclaircies feuillues. Les retards s'accumulent. Or l'enjeu est considérable, car ces premières éclaircies conditionnent l'avenir des peuplements. La mécanisation peut-elle être une solution, et dans quelles conditions ? C'est l'objet du projet « Mécanisation des premières éclaircies feuillues » (2010-2013) retracé dans ce dossier.

- p. 12 Le projet « Mécanisation des premières éclaircies feuillues en forêt publique » – Introduction
par Erwin Ulrich et Didier Pischedda
- p. 16 Caractéristiques des peuplements feuillus au stade des premières éclaircies en forêt publique et critères à considérer pour la mécanisation
par Erwin Ulrich, Didier Pischedda, Maryse Bigot, Emmanuel Cacot et Philippe Ruch
- p. 21 Choix des systèmes d'exploitation testés pour des premières éclaircies feuillues
par Erwin Ulrich, Didier Pischedda, Maryse Bigot, Emmanuel Cacot, Philippe Ruch et al.
- p. 28 Onze chantiers tests de premières éclaircies feuillues mécanisées : caractéristiques des peuplements, prélèvement et productivité des machines
par Erwin Ulrich, Didier Pischedda, Philippe Ruch, Maryse Bigot, Emmanuel Cacot, Xavier Montagny, Pascal George et Julien Fraichot
- p. 36 Enseignements du suivi des impacts sur les chantiers tests : une exploitation mécanisée des premières éclaircies feuillues respectueuses du sol et du peuplement
par Philippe Ruch, Julien Fraichot, Xavier Montagny, Maryse Bigot, Emmanuel Cacot, Erwin Ulrich, Pascal George, Dominique Goetsch, Didier Pischedda
- p. 42 Chantiers tests de premières éclaircies feuillues mécanisées : résultats économiques
par Philippe Ruch, Emmanuel Cacot, Erwin Ulrich, Didier Pischedda, Maryse Bigot
- p. 49 Conseils pratiques pour la réalisation des premières éclaircies mécanisées et voies d'améliorations des pratiques sylvicoles actuelles
par Erwin Ulrich, Didier Pischedda, Philippe Ruch, Maryse Bigot et Emmanuel Cacot

Le projet « Mécanisation des premières éclaircies feuillues en forêt publique »

Introduction

La problématique des premières éclaircies feuillues

La forêt française est feuillue à près de 70%. Les jeunes peuplements feuillus qui arrivent chaque année au stade où la première ou deuxième éclaircie est nécessaire représentent des surfaces considérables. En forêt publique, ce sont essentiellement des chênaies et hêtraies, pures ou en mélange avec d'autres feuillus ; selon les estimations ONF il s'agit chaque année d'au moins 12 000 ha pour un volume estimé de 450 000 à 540 000 m³. Sont surtout concernées par ce type de peuplements les régions situées dans la grande moitié nord de la France, c'est-à-dire les directions territoriales Centre-Ouest-Auvergne-Limousin, Ile-de-France-Nord-Ouest, Bourgogne-Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace et Franche-Comté.

Dans les peuplements feuillus, la première et la deuxième éclaircie présentent de nombreuses similitudes en termes de conditions d'exploitation et de produits commercialisables : bois bûche, bois d'industrie et, depuis une dizaine d'années, bois énergie pour la production de plaquettes. Aussi dans ce dossier, le terme de « premières éclaircies » désigne ces deux types de coupe. Il convient de rappeler que le principe de ces éclaircies est bien de mobiliser des bois commercialisables dans les meilleures conditions sylvicoles et économiques.

Or depuis une vingtaine d'années on assiste dans plusieurs régions à une diminution de l'achat sur pied de ces coupes par les particuliers ou par les exploitants forestiers, même si certaines forêts échappent à cette tendance (en Picardie par exemple). Une des raisons principales identifiées

est l'érosion et le vieillissement de la population rurale qui avait l'habitude de réaliser une grande partie de ces opérations. Une autre raison est la pénibilité du travail dans ces peuplements serrés : une bonne condition physique est indispensable car, très souvent, les tiges coupées s'encroent et il faut un grand effort pour les faire tomber. Une troisième raison est la productivité journalière en bûcheronnage manuel, qui est très faible et la rentabilité économique est difficile à atteindre. Ceci conduit donc à de nombreux retards d'éclaircie et à des peuplements dont la hauteur dominante dépasse de 2 à 3 mètres le stade préconisé pour ces opérations. Ces peuplements sont à éclaircir d'urgence et en priorité, pour que la situation n'en vienne pas à menacer plus tard leur stabilité. Certains retards viennent aussi de ce que le peuplement n'a pas bénéficié d'un dépressage au bon moment.

Les motifs et objectifs du projet

D'un point de vue sylvicole, le problème est donc double : comment réduire rapidement les retards pris dans les premières éclaircies et assurer celles des nouveaux peuplements au bon stade en application des guides de sylvicultures ?

Fin 2010, le directeur technique et commercial bois de l'ONF, Bernard Gamblin, a demandé à la R&D d'étudier les possibilités de mécanisation des premières éclaircies dans les peuplements feuillus. Les avantages seraient multiples : (1) réduction importante de la pénibilité, (2) organisation plus simple des opérations (maximum deux intervenants), (3) exécution plus rapide des chantiers, d'où (4) plus de surfaces éclaircies chaque année et (5) mise à disposition, de manière organi-



Erwin Ulrich, ONF

Chênaie en attente de première éclaircie en forêt domaniale du Der (52)

sée, d'un volume important de bois pour le marché du bois énergie ou d'industrie. Ce dernier point n'est pas négligeable dans la perspective de besoins croissants liés au développement des centrales biomasse (cf. Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables 2009-2020).

Le projet a démarré en juillet 2010; il s'agissait d'expertiser et de développer les méthodes d'exploitation mécanisée adaptées aux premières éclaircies feuillues. Il fallait répondre aux contraintes imposées par les chantiers, répondre aux besoins sylvicoles, limiter l'impact au peuplement restant (blessures) et au sol (orniérage et tassement), garantir la faisabilité technique (qualité du travail, productivité, durabilité des machines), expertiser la viabilité financière (coût de revient vs prix de vente), trouver des solutions permettant le travail mécanisé sur une période plus longue qu'actuellement et dans des parcelles difficilement exploitables. Enfin, il ne faut pas oublier d'optimiser le revenu net du propriétaire, dans la limite du possible. Remarquons que, depuis le lancement du projet, le contexte économique évolue : les prix du bois énergie (BE) et d'industrie (BI) ont fortement augmenté. Mais si cette évolution a un impact positif sur le bilan financier, elle ne change pas le questionnement technique de départ.

Méthode de travail

Au début du projet, un groupe de travail national a été constitué, rassemblant un à trois représentants des directions territoriales les plus concernées, ainsi que les experts nationaux en matière de mécanisation. FCBA a fortement contribué, sous contrat ONF, à bâtir une méthode et à co-animer le groupe de travail afin de synthétiser les connaissances des deux établissements pour préciser les enjeux et défis de la mécanisation. À la fin de ce premier travail, une démarche auprès des constructeurs a permis de sélectionner des engins susceptibles



Erwin Ulrich, ONF

Exploitation mécanisée d'une première éclaircie de chêne en forêt domaniale du Der (52)

de travailler dans ces types d'exploitation. Onze chantiers test ont alors été organisés en collaboration avec certains constructeurs pour suivre en détail les paramètres préalablement identifiés par le groupe de travail. En outre, un grand nombre d'autres chantiers ont été expertisés, afin de gagner en expérience et valider ou invalider certains éléments.

Présentation des résultats

L'objet du présent dossier est de présenter les principaux résultats et recommandations pratiques pour une mise en œuvre progressive de la mécanisation au profit des premières éclaircies feuillues.

D'abord sont présentés les caractéristiques des peuplements entrant dans le champ des premières éclaircies feuillues, ainsi que les critères à respecter lors de ces opérations (= cahier des charges de la solution technique attendue). Ensuite les systèmes d'exploitation susceptibles de réaliser ce type d'éclaircies sont explicités. Puis trois articles exposent les résultats des chantiers test conduits en situation réelle et

opérationnelle dans le cadre de ce projet : l'un concerne la productivité des machines et évalue la manière dont ces systèmes répondent efficacement au cahier des charges établi, le suivant analyse les impacts au peuplement restant et au sol et le troisième rend compte des questions de coûts techniques et de faisabilité financière. Pour conclure, un article récapitule les conseils pratiques pour le gestionnaire et l'opérateur.

Erwin Ulrich

ONF, département
R&D-Innovation

Didier Pischedda

ONF, département
Commercial Bois

Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement tous les gestionnaires locaux et tous les services des agences et directions territoriales concernés pour leur important soutien personnel et logistique sans lequel aucun des chantiers n'aurait pu être réalisé correctement.

Références

Les lecteurs intéressés par le rapport final détaillé de ce projet et par les synthèses individuelles des chantiers peuvent les demander par courriel à Erwin Ulrich (erwin.ulrich@onf.fr)



Erwin Ulrich, ONF

Visite d'un peuplement de hêtre préalablement à la première éclaircie

L E X I Q U E

Pour la lecture du dossier

Les mots marqués par un « ^L » reprennent entièrement la définition du Vocabulaire Forestier (Y. Bastien et C. Gauberville Coord., 2011. Éditeurs : AgroParisTech-CNPF-IDF-ONF)

Abattage^L : opération visant à provoquer la chute d'un arbre.

Bois ronds^L : bois exploité et façonné avant toute transformation.

Catégorie des machines de bûcheronnage : petite \Leftrightarrow 4-10 tonnes ; moyenne \Leftrightarrow 11-17 tonnes ; grande \Leftrightarrow 17-40 tonnes.

Catégorie des porteurs, classement en fonction de la charge utile : petite \Leftrightarrow 2-7 tonnes et poids total à charge maximale 4-14 tonnes ; moyenne \Leftrightarrow 8-14 tonnes et poids total à charge maximale 18-27 tonnes ; grande \Leftrightarrow 15-20 tonnes et poids total à charge maximale 27-42 tonnes.

Classe de diamètre^L : intervalle de diamètre habituellement de 5 cm, centré sur la valeur qui permet de dénommer cet intervalle. Ex. : la classe de diamètre 20 comprend les arbres de diamètre compris entre 17,5 cm et 22,5 cm ; l'intervalle est centré sur la valeur 20 cm.

Cloisonnement d'exploitation : réseau de couloirs de circulation pérennes au sein d'une parcelle forestière dédié à la circulation des machines d'exploitation (machines de bûcheronnage, porteurs, skidders...).

Cloisonnement sylvicole : réseau de layons parallèles de circulation pédestre (écartement de 5-8 m), destiné à faciliter l'accès des ouvriers forestiers au sein de la parcelle pour la réalisation des travaux sylvicoles (ex. nettoiemnts, dégagements ou dépressages). L'entretien est mécanisé (tracteur + broyeur).

Combi : machine conçue pour réaliser deux types d'opérations distinctes.

Coût de revient technique : c'est la somme des coûts purement techniques liés à une machine. Il s'agit des charges fixes (amortissement ou crédit-bail de la machine, frais financiers liés au crédit, assurance de la machine,...), des frais de fonctionnement (carburant, lubrifiants,

outillage et fourniture, entretiens, réparations, service après-vente, frais de transfert entre chantiers,...) et des frais de personnel (salaires, primes et charges, frais de déplacement des conducteurs de machines...).

Cycle de débardage : notion utilisée pour l'analyse des chantiers et qui désigne une phase élémentaire de débardage, un aller-retour (enlèvement, trajet, dépôt et retour) entre la zone d'abattage et un lieu accessible aux camions.

Débardage^L : Transfert des bois par des moyens appropriés entre la zone où ils ont été abattus et un lieu accessible aux camions.

Débusquage : transport des produits forestiers entre le point d'abattage et un dépôt transitoire accessible aux porteurs mais pas aux camions grumiers. Dans le cadre du sujet traité dans ce dossier, le débusquage consiste, au sein de la parcelle, à rapprocher les produits du cloisonnement d'exploitation d'où ils pourront être repris par le porteur.

Ébranchage^L : action de couper les branches d'un arbre sur pied ou abattu.

Étage principal^L : expression liée aux peuplements réguliers. Ensemble des houppiers des arbres dominants, co-dominants et dominés. Il est distinct du sous-étage.

Façonnage^L : [dans le cadre de l'exploitation] ensemble des opérations qui suivent l'abattage d'un arbre : ébranchage, choix des découpes, tronçonnage.

Foisonnement (d'un produit forestier) : c'est le rapport entre le volume occupé (volume d'encombrement) et le strict volume de bois. Exemple, pour des billons enstérés de 1 m de long : 1 m³ occupé (= 1 stère) représente un volume réel de bois de 0,63 à 0,77 m³ ; le coefficient de foisonnement est donc de 1,30 à 1,59).

Fonction de productivité (en lien avec les machines forestières intervenant en exploitation) : régression mathématique permettant de calculer les volumes produits par unité de temps en fonction d'un critère initial, par exemple le volume unitaire des arbres d'un peuplement.

Hauteur dominante (normalisée)^L : hauteur issue de la moyenne des 100 plus gros arbres à l'hectare.

Interbande : espace entre deux cloisonnements sylvicoles ou d'exploitation.

Loup^L : terme imagé désignant un arbre vigoureux et mal conformé, dominant les arbres voisins.

Machine de bûcheronnage : engin permettant d'abattre et éventuellement d'ébrancher et de découper un arbre en tronçons.

Marquage en abandon : marquage des tiges à couper.

Marquage en réserve : marquage des tiges qui doivent rester sur place après coupe.

Ornière : trace plus ou moins profonde creusée par les roues des machines dans le sol.

Portance du sol : capacité d'un sol à supporter sans déformation la pression qu'exercent sur lui les pneus ou chenilles d'un engin, les pieds d'un homme ou les sabots d'un animal. Cette pression se calcule en faisant le rapport entre la masse de l'engin ou de l'individu et la surface de contact avec le sol.

Portée de la grue : distance horizontale maximale de travail d'une grue avec l'outil fixé au bout (ex. tête de bûcheronnage, tête de cisaille, grappin scie ou grappin seul).

Porteur (forestier) : engin permettant de débarder des produits forestiers du lieu de production/stockage dans la parcelle vers une place de dépôts hors parcelle, sans traîner les produits par terre. Voir également « catégorie des porteurs ».

Prélèvement^L : quantité de bois sur pied exploitée dans un peuplement forestier par une coupe.

Productivité (moyenne ou instantanée, en lien avec le machinisme forestier) :

Productivité moyenne = quantité totale d'un produit obtenu par une machine rapportée au nombre total d'heures machine passées sur un chantier. Ces heures machines comprennent tous les déplacements de la machine au sein de la parcelle et vers le lieu d'entretien ou ravitaillement (gasoil), les petites pauses de l'opérateur, le travail technique réalisé, etc.

Productivité instantanée = quantité totale d'un produit obtenu par une machine rapportée au temps correspondant exclusivement aux phases de travail technique objectif (ex. somme des phases de bûcheronnage, ébranchage, façonnage et gestion des produits, comme rangement des rémanents ou empilement des produits).

Produit (forestier) : c'est le résultat du façonnage réalisé sur le chantier d'exploitation, avec l'objectif de satisfaire au cahier des charges de la vente, pour une destination spécifiée. Les produits forestiers sont définis selon 3 caractéristiques : l'essence (ou groupe d'essences), le type de produit (bois rond, arbre entier ou en tronçons, houppier...), les dimensions (longueur, diamètre...).

Skidder (aussi appelé « débusqueur ») : engin forestier à 4 ou 6 roues permettant de sortir (tracter) des grumes en toute longueur pour les mettre généralement sur un lieu de dépôt, en forêt ou en bord de route.

Sous-étage^L : en structure régulière, espace occupé par l'ensemble des houppiers des arbres situés nettement en dessous de celui des arbres de l'étage principal.

Système d'exploitation : ensemble de machines nécessaire pour réaliser toutes les phases d'une intervention sylvicole (coupe) jusqu'au stockage des produits sur place de dépôt.

Ranchers : barres verticales disposées en bordure de la plate forme d'un porteur forestier ou d'une remorque destinées à retenir les charges (billons, etc.).

Tassement du sol : déformation verticale due à l'application de contraintes extérieures (ex. poids appliqué via la surface de contact d'une roue ou d'une chenille, voire le pied de l'homme ou le sabot du cheval).

Tête de bûcheronnage : outil monté sur la grue d'un porte-outil permettant de couper un arbre, éventuellement de l'ébrancher et de le découper en tronçons.

Tête de cisaille : outil monté sur la grue d'un porte-outil permettant de couper un arbre et de le découper en tronçons, mais sans l'ébrancher.

Tracks (pour machine) : ensemble de tuiles métalliques ou en matière plastique, reliées entre elles à la façon d'une chenille pour entourer deux ou trois roues de chaque côté, afin de répartir le poids de la machine sur une plus grande surface de contact et de diminuer ainsi la pression au sol.

Volume unitaire moyen (VUM) : volume total prélevé (ou à prélever) lors d'une coupe, divisé par le nombre de tiges coupées (ou à couper).

Caractéristiques des peuplements feuillus au stade des premières éclaircies en forêt publique et critères à considérer pour la mécanisation

Au démarrage du projet, la première tâche a été d'établir les caractéristiques des peuplements concernés par les premières éclaircies et dresser l'inventaire des critères influençant les possibilités de mécanisation. Ces critères concernent les peuplements, les sols, les chantiers et les moyens techniques : les principaux d'entre eux sont présentés ci-dessous. Pour certains, des solutions ont été proposées et discutées dès cette étape par le groupe de travail en vue d'une meilleure faisabilité de la mise en œuvre des solutions mécanisées, notamment dans les chantiers test.

Les caractéristiques des peuplements à éclaircir et des interventions à réaliser

Selon les guides des sylvicultures en vigueur à l'ONF, la première éclaircie doit intervenir avant que le peuplement atteigne une certaine **hauteur dominante**, qui dépend de l'essence et de la fertilité des sols. Ce « plafond » se situe, en fonction de la fertilité, entre 12 et 14 m en chênaie atlantique, 12 et 15 m dans les chênaies continentales, 17 et 18 m dans les hêtraies et hêtraies sapinières des Pyrénées et entre 14 et 16 m dans les hêtraies continentales. La deuxième éclaircie interviendra, selon les guides et selon qu'il s'agit d'une gestion normale ou de rattrapage, 4 à 10 ans après la première éclaircie.

Cependant les jeunes peuplements en retard d'éclaircie, où les hauteurs dominantes dépassent de 2 à 3 m les recommandations sylvicoles, occupent des surfaces conséquentes.

Bon nombre d'agences territoriales sont confrontées à ce problème.

La **densité totale des tiges**, c'est-à-dire celles de l'étage principal et du sous-étage, a une influence sur la visibilité et sur les conditions de déploiement d'une tête d'abattage jusqu'aux tiges à enlever. Or, seul l'étage principal est ordinairement inventorié lors de la préparation des coupes (martelage) et sa densité se situe, selon l'essence, l'origine (artificielle ou naturelle) et le passé du peuplement, entre 1 300 et 2 500 tiges/ha. Il est cependant important de considérer aussi la densité du sous-étage (classe de diamètre 5, soit : $2,5 \text{ cm} \leq \varnothing < 7,5 \text{ cm}$), laquelle est très variable : entre 50 et plus de 3 500 tiges/ha. On ne compte pas la « souille » (brins de diamètre $< 2,5 \text{ cm}$), que la tête d'abattage peut facilement plier ou casser en passant entre les tiges (la taille, le poids de la tête d'abattage et la puissance de la grue suffisent).

Le **diamètre moyen des tiges à prélever** et donc le **volume unitaire moyen (VUM)** conditionneront le type de tête d'abattage à utiliser et le dimensionnement du porte-outil. En première éclaircie le diamètre se situe le plus souvent entre 12 et 15 cm ; en deuxième éclaircie il peut monter jusqu'à 17 cm. Mais il n'y a pas de limite distincte entre les VUM observés en première et deuxième éclaircie : le VUM est fortement influencé par le nombre de tiges, notamment en sous-étage où la densité varie beaucoup d'un peuplement à l'autre, que ce soit avant la première ou avant la deuxième éclaircie. En moyenne, les VUM des premières éclaircies au sens large se situent entre 0,06 et 0,2 m³.

La **proportion de loups et de gros arbres, surtout branchus ou mal conformés, en cépée ou de franc pied**, peut conditionner le choix du type de machine d'abattage et du système d'exploitation. Le groupe de travail (GT) a donc envisagé différents scénarios, selon la proportion de loups et de gros arbres dans les tiges à couper :

- (1) si c'est moins de 5 %, ces arbres ne seront pas coupés ;
- (2) de 5 % à 20 %, il faudra trouver une solution pour les prendre en compte (ex. système mixte : bûcheronnage manuel et reprise avec façonnage par la machine) ;
- (3) au-delà de 20 %, il faudra chercher une autre solution technique pour réaliser l'éclaircie (ex. abattage et façonnage manuel en plus de la machine de bûcheronnage).

Le **type d'intervention**, en plein ou ciblé au profit d'arbres objectifs, a un effet sur la productivité de la machine de bûcheronnage (plus élevée dans le premier cas), les dégâts occasionnés aux arbres de réserve (plus faibles dans le premier cas) et le prélèvement à l'hectare (plus fort dans le premier cas). Le GT a donc préconisé un prélèvement en plein.

Le **type de marquage** (en réserve, en abandon, sans) et la visibilité du marquage sont cruciaux pour le chauffeur de la machine de bûcheronnage. Le marquage doit dans tous les cas être adapté aux enjeux sylvicoles et à l'organisation du chantier. En particulier, il doit être visible des deux côtés de la tige depuis le cloisonnement, selon qu'on y progresse dans un sens ou dans l'autre.

Le **volume minimal à prélever** par hectare a été évalué par le GT à 30 m³/ha. Il est lié à la rentabilité économique de l'opération : en dessous de 30 m³/ha le prélèvement est considéré comme défavorable à la mécanisation. Le volume minimal par chantier est de 250 m³ et il est conditionné, entre autres, par la rentabilité économique du broyage pour la production de plaquettes.

Critères de praticabilité – accès

Le premier critère, et le plus important, est la **sensibilité des sols au tassement et à l'ornièrage**. À dire d'expert, le GT a considéré qu'au moins 80 % des peuplements feuillus se trouvent sur des sols très sensibles et impraticables une partie de l'année. Cette forte proportion de sols fragiles a orienté le travail de recherche de solutions mécanisées, notamment en ce qui concerne les porteurs.

Le deuxième critère est la **fertilité**. L'interdiction de prélever les menus bois sur certaines stations (sols trop pauvres) complique le bûcheronnage mécanisé, à cause de l'obligation d'abandon sur coupes des menus bois (< 7 cm), d'où des pertes de productivité : découpe des tiges récoltées, prélèvement volume inférieur à l'hectare. Toutefois, utiliser les menus bois en tapis sur les cloisonnements d'exploitation peut être avantageux pour ménager leur praticabilité.

La **topographie** conditionne la possibilité d'emploi et la productivité des machines. Le GT a considéré à dire d'expert qu'au moins 80 % des chantiers se trouvent sur terrain plat ou en légère pente (pente < 20 %), donc dans des conditions topographiques favorables à l'emploi des machines.

Les **cloisonnements d'exploitation** et surtout la **distance entre les cloisonnements** ont un impact fort sur les résultats d'une intervention



Erwin Ulrich, ONF

Jeune hêtraie de 1938 tiges/ha avant éclaircie (FD Ecouves, p^{lle} 524)

mécanisée. Plus la distance entre cloisonnements est proche de l'optimum préconisé (Note de service ONF n° NDS-09-T-297), plus facile est l'exploitation complète de l'interbande (= surface boisée entre deux cloisonnements d'exploitation). L'entre-axe optimum est de 18 m, dans une fourchette de 14 à 20 m au maximum. Lorsqu'ils n'existent pas encore, la création des cloisonnements d'exploitation à l'occasion de la première éclaircie présente l'avantage d'augmenter significativement le volume à récolter, ce qui peut jouer un rôle important pour l'équilibre financier de l'opération.

Quand ils existent, il est encore fréquent qu'ils ne correspondent pas aux caractéristiques demandées. On peut alors distinguer deux situations :

- celle où les entre-axes excèdent 30 m (jusqu'à 40 m), qui permet d'ouvrir un cloisonnement intermédiaire pour ramener l'entraxe à 16-18 m ;
- celle où les entre-axes sont compris entre 20 et 30 m, nettement plus problématique et malheureusement très fréquente.

Dans la situation b, la portée de la grue, 7-9 mètres au mieux dans les meilleures conditions (faible densité totale des tiges, pas d'autres obstacles), ne permet pas d'atteindre la partie centrale de l'interbande. D'autre part, il n'est pas envisageable d'y recouper les interbandes, car la surface productrice en serait bien trop réduite : il ne resterait plus que 60 % pour 10 m d'entraxe (contre 73 % pour un entraxe de 15 m, 78 % pour 18 m et 80 % pour 20 m). Dans de telles situations il est proposé de ne pas intervenir dans la partie inaccessible de l'interbande (2-4 m de large si on emploie une machine de bûcheronnage classique) et d'attendre la prochaine éclaircie (2^e ou 3^e) pour prélever les tiges qui s'y trouvent. C'est surtout possible si la largeur du milieu de bande non accessible n'est que de 2-4 m. Mais si on dispose d'une petite machine de bûcheronnage (1,80 à 2,30 m de large), une alternative est envisageable : l'utilisation éphémère de cloisonnements sylvicoles (voir. encadré).

La **période favorable pour l'abattage, le façonnage et le débardage** a une influence sur le nombre potentiel de

jours de travail, donc sur la productivité annuelle du système d'exploitation. Pour l'abattage et le façonnage, sous réserve de portance des sols et de la visibilité dans de l'interbande (feuillage), cette période s'étendrait dans le meilleur des cas (= hors période de végétation « active ») du 1^{er} juillet au 31 mars pour le chêne et du 15 août au 31 mars pour le hêtre. Pour toutes les opérations, la période favorable est aussi déterminée par les possibilités de circulation des engins :

- les sols en pente sont praticables toute l'année dès lors qu'ils sont ressuyés ;
- les sols portants sans pente sont praticables toute l'année sous réserve des précautions préconisées sur sols humides ;
- les sols sensibles ne sont praticables, sous réserve d'intempéries, que du 15 juin au 15 novembre et quelques semaines en hiver (variation de la praticabilité pendant cette période : 10 à 90 % selon les années).

Il faut donc pouvoir proposer des chantiers alternatifs le reste de l'année pour les systèmes d'exploitation, notamment si les types d'engins utilisés sont spécifiques aux premières éclaircies. En effet, l'amortissement de ces matériels est en général réalisé sur une période de l'ordre de 6-8 ans.

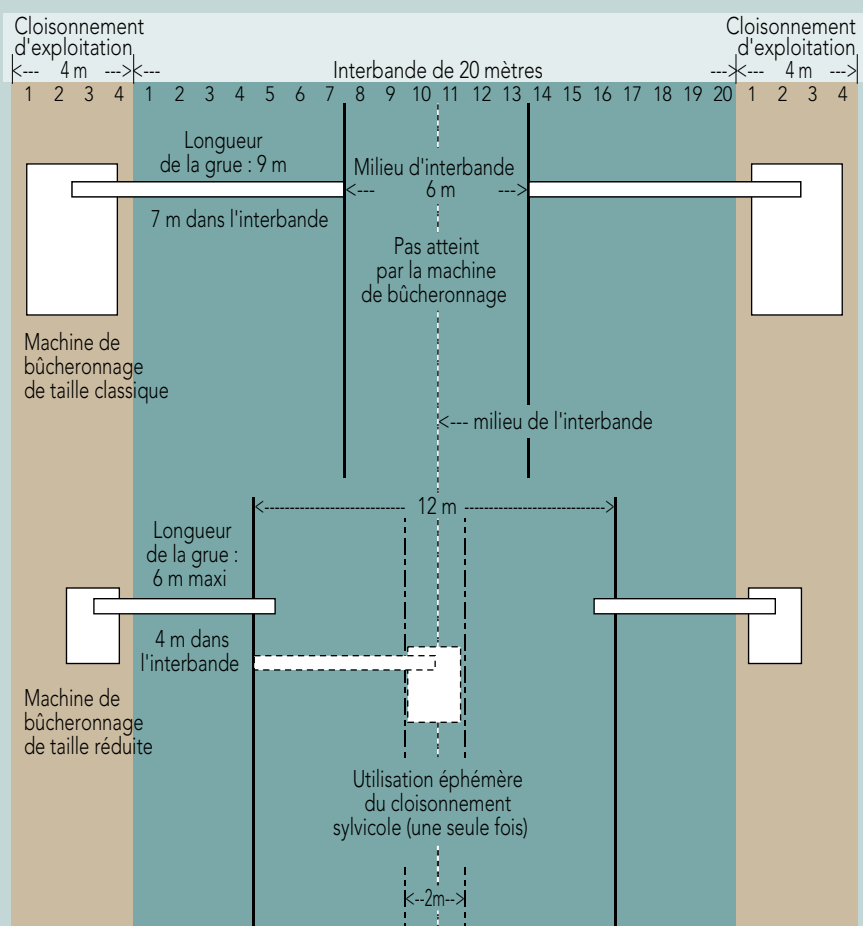
Quant aux **produits à récolter**, le GT recommande fortement de ne prévoir qu'**un seul produit par chantier en première éclaircie** (bois énergie en arbre entier, si besoin recoupé en 2 ou 3, ou sous forme de billons), **éventuellement deux produits en deuxième éclaircie** (bois bûche ou bois d'industrie + bois énergie). Vouloir faire plusieurs produits par chantier complique beaucoup l'organisation et demande plus de temps ; cela augmente le coût des opérations et pénalise la viabilité économique. Par conséquent, cette modalité doit être réservée aux chantiers pour lesquels le produit le plus valorisé représente au minimum 20 % du volume récoltable.

Utilisation éphémère de cloisonnements sylvoles par une petite machine de bûcheronnage

Lorsqu'on fait intervenir une petite machine de bûcheronnage, la faible portée de sa grue ne permet d'accéder, depuis le cloisonnement d'exploitation, qu'à une partie plus ou moins réduite de l'interbande. On peut alors envisager l'utilisation éphémère de cloisonnements sylvoles.

Peu importe que le cloisonnement d'exploitation existe déjà ou qu'il soit ouvert à l'occasion de l'éclaircie en élargissant certains cloisonnements sylvoles qui, dès lors, deviennent définitivement cloisonnements d'exploitation ; le principe reste le même.

Il s'agit pour cette petite machine d'emprunter un cloisonnement sylvole au milieu de l'interbande de façon à pouvoir accéder à tous les arbres marqués et mettre les produits à disposition du porteur vers le cloisonnement d'exploitation le plus proche. Elle ne fait qu'un passage sur les cloisonnements sylvoles qu'elle emprunte et son impact au sol sera très faible, comparable à celui des tracteurs forestiers utilisés pour créer et entretenir ces cloisonnements (travail par temps et sol secs). Ce schéma pourrait être reconduit pour la deuxième éclaircie si les conditions (la taille des produits notamment) conviennent encore pour une petite machine de bûcheronnage. Mais il doit être abandonné au plus tard à la 3^e éclaircie vu la taille et le poids des arbres à manipuler, trop importants pour ce type de machine de bûcheronnage.



Principe de l'utilisation éphémère d'un cloisonnement sylvole par une petite machine de bûcheronnage (en bas)

L'entre-axe du cloisonnement d'exploitation étant ici de 24 m [non-conforme à la NDS -09 - T-297], une machine de bûcheronnage classique (en haut) n'a pas accès à toutes les tiges. NB : dans tous les cas, le porteur reste sur le cloisonnement d'exploitation



Erwin Ulrich, ONF

Portée de la grue : petit combi



Erwin Ulrich, ONF

Portée de la grue : pelle hydraulique

Critères liés aux engins

La discussion sur la **taille des engins** au regard du type d'éclaircie à réaliser conduit à privilégier des engins de taille réduite (petits modèles des gammes existantes, entre autres), plus petits que ceux utilisés couramment dans les résineux. Les gros engins sont plus chers à l'achat donc difficiles à rentabiliser dans des petits bois, et leur encombrement peut être un handicap dans certains cas, notamment quand on doit envisager l'utilisation éphémère de cloisonnements sylvicoles pour le bûcheronnage mécanisé (cf. encadré). Des engins plus lourds et plus puissants permettent l'usage de grues à plus grande portée qui en théorie permettent d'accéder aux arbres du milieu de l'interbande, mais cet avantage ne pourra pas forcément être pleinement exploité du fait de la densité des peuplements. Des exemples sont donnés dans l'article suivant.

La **portée de la grue** est essentielle pour la machine de bûcheronnage ; elle a un impact fort sur la façon dont l'abattage et le façonnage peuvent être réalisés en fonction de la distance-entraxe des cloisonnements (surtout les cloisonnements existants). La portée de grue est liée à la masse de la machine et à la puissance des pompes hydrauliques. Les deux premiers mètres sont en moyenne « perdus » sur le cloisonnement. Les

grandes machines ont donc au mieux une portée de 7-8 m dans l'interbande (même si leur bras complètement déplié a une longueur de 10 m) et les plus petites une portée de 4-5 m.

La portée des grues des porteurs, même de plus petite taille, ne devrait pas poser de problème, sous condition que les produits (billons, cimes ou arbres entiers) soient déposés en tas à leur portée en bordure de cloisonnement.

Les **têtes de bûcheronnage et cisailles** doivent permettre d'exploiter des bois « durs » et être résistantes dans la durée. S'agissant des premières éclaircies feuillues, donc d'arbres de faible diamètre et de poids limité, il ne semble généralement pas pertinent d'utiliser les grandes têtes de bûcheronnage/cisailles (encombrantes, chères, lourdes) capables de couper des diamètres de plus de 40 cm ; cependant les capacités, pour l'exploitation des feuillus, des têtes développées pour les plus petits diamètres ne sont pas encore bien connues, exception faite des cisailles et des têtes testées sur les chantiers étudiés.

La **résistance mécanique des matériaux de construction des engins**, dans un contexte d'utilisation professionnelle intensive, est un critère clé pour toutes les nouvelles machines,

notamment les plus petites. Nous n'avons pas encore suffisamment de recul sur cette question, à l'exception des cisailles de quelques marques utilisées en France. Le défi pour les professionnels est de sélectionner des engins capables de résister à un usage professionnel dans le contexte des premières éclaircies feuillues.

Faire le lien entre critères de la mécanisation et systèmes d'exploitation : un classement des peuplements concernés

Pour pouvoir proposer une sélection de systèmes d'exploitation répondant aux enjeux (cf. article d'introduction) et aux critères évoqués ici pour une approche « machine » appropriée, il fallait d'abord avoir une vision claire et représentative du terrain : une vision synthétique des types de peuplements en attente d'éclaircie. Pour ce faire, le groupe de travail (GT) a établi un classement des peuplements ; il prend en compte à la fois leurs caractéristiques et les capacités techniques des différents types d'engins, notamment ceux qui réalisent l'abattage et éventuellement l'ébranchage et le façonnage. La pertinence des caractéristiques retenues a été vérifiée sur le terrain en parcourant une quarantaine de peuplements répartis sur l'ensemble des régions concernées.

La différenciation principale (1^{er} niveau de la clé, figure 1) est la densité totale avant éclaircie, incluant toutes les tiges de diamètre $\geq 2,5$ cm (à 1,30 m). Ce seuil de comptage peu habituel correspond au diamètre à partir duquel une machine de bûcheronnage doit couper une tige gênante pour l'accès aux tiges à abattre dans l'étage dominant ou co-dominant. Plus la densité est forte, plus le travail mécanisé est jugé difficile, en particulier si le sous-étage doit être maintenu (chênaies). L'approche a conduit à distinguer deux grandes classes : jusqu'à 2 500 tiges/ha, le travail mécanisé devrait être relativement facile, avec une assez bonne productivité ; à plus de 2 500 tiges/ha le GT a estimé que cette densité représentait le vrai challenge de la recherche de solutions mécanisées.

Le diamètre moyen (à 1,30 m) des tiges à prélever constitue le 2^e niveau

de la clé. Ce diamètre conditionnera la taille de la machine et de la tête d'abattage à faire intervenir ; il est donc nécessaire de le connaître pour choisir une machine appropriée avant le début du chantier. Ce diamètre conditionne aussi fortement la productivité et le type de produit que l'on peut extraire des tiges à prélever. Pour chacune des deux classes de densité la clé indique, par catégorie de diamètre, le lien avec les préconisations d'interventions des guides sylvicoles en vigueur à l'ONF, une estimation des volumes à prélever par hectare d'après les expériences des membres du GT ainsi que les produits envisageables.

Conclusion

Le nombre de critères à prendre en considération est relativement important pour la réalisation d'une exploitation à la hauteur des attentes des

gestionnaires forestiers et des enjeux de commercialisation. Ce challenge a guidé les phases de travail suivantes : sélection des types de machine et des systèmes d'exploitation, des types de produits à récolter, etc. Les articles qui suivent décrivent les méthodes mises en œuvre et les résultats obtenus.

Erwin Ulrich

ONF, département R&D-Innovation

Didier Pischedda

ONF, département Commercial Bois

Maryse Bigot*

Emmanuel Cacot

Philippe Ruch

FCBA, équipe Exploitation Forestière et Approvisionnement Bois

* Aujourd'hui à l'ONF, département Commercial Bois

Type d'opération	Densité des tiges (étage principal et sous-étage) N _{tot} $\geq 2,5$ cm \emptyset	Diamètre moyen à 1,30 m des tiges à prélever Classe (numéro)	Préconisations selon les guides de sylviculture : stades concernés	Volumes probables à exploiter	Produits attendus (préconisation : seulement un produit par chantier)
Première et deuxième éclaircie en peuplements feuillus	$\leq 2\,500$ tiges/ha (régé nat. ou plantation)	1 < 12 cm	Vérifier l'opportunité d'intervenir *(attendre ?)	très variable 20 à 70 m ³ /ha	Plaquettes
		2 12 à 17,5 cm	1 ^{er} écl. CHP 2 ^e écl. CHS 1 ^{er} écl. HET		Plaquettes et/ou Bois ronds**
		3 > 17,5 cm	2 ^e écl. CHS ou CHP 1 ^{er} écl. HET		Bois Ronds**
	> 2 500 tiges/ha	4 < 12 cm	Dépressage chêne à 10-12 m de Ho 1 ^{er} écl. CHS (CHP) 1 ^{er} écl. HET	très variable 20 à 70 m ³ /ha	Plaquettes
		5 12 à 17,5 cm	2 ^e écl. CHS ou CHP 1 ^{er} ou 2 ^e écl. HET		Plaquettes et/ou Bois ronds**
		6 > 17,5 cm	2 ^e écl. CHX ou HET en rattrapage 3 ^e écl. CHX avec sous-étage abondant		Bois Ronds*
		7 5-30 cm (beaucoup plus grande variabilité des diamètres que dans les types 4 à 6)	2 ^e ou 3 ^e écl. CHX ou HET, peupl. hétérogène ou avec sous-étage abondant à maîtriser		Plaquettes et/ou Bois ronds**

* cas de figure nécessitant a priori rarement une intervention de type nettoyage-dépressage ou éclaircie

** Bois ronds : destination trituration ou destination énergie sous forme de bûches

Fig. 1 : clé de classement des peuplements feuillus pour la mécanisation des premières éclaircies
CHP = chêne pédonculé, CHS = chêne sessile, CHX = chêne pédoncule et sessile, HET = hêtre, Ho = hauteur dominante.

Choix des systèmes d'exploitation testés pour des premières éclaircies feuillues

Les caractéristiques de peuplements et critères à considérer étant bien définis, le groupe de travail s'est employé à rechercher des systèmes d'exploitation adaptés et les machines associées. Il a utilisé pour cela les journaux spécialisés en mécanisation forestière ainsi que les ressources d'Internet et s'est renseigné en direct auprès de constructeurs français et étrangers, représentés ou pas en France.

L'objectif était de trouver, pour chaque catégorie du classement préalablement établi (cf. article précédent) et classe de sensibilité des sols, des systèmes d'exploitation possibles combinant abattage ou bûcheronnage mécanisé, débusquage éventuel et débardage. Des rencontres ont eu lieu en avril-mai 2011 avec plusieurs constructeurs européens pour présenter notre démarche et voir de près les matériels commercialisés pouvant répondre à nos attentes. Les propositions qui en résultent sont récapitulées dans le tableau 1.

Deux catégories de systèmes d'exploitation

Pour l'aspect bûcheronnage, il faut distinguer les porte-outils et les « têtes » qui peuvent leur être associées selon le travail souhaité : abattage seul ou abattage et façonnage, avec ou sans ébranchage. Lors des premières approches, le débusquage (rapprochement des produits de l'intérieur des bandes boisées vers les cloisonnements d'exploitation) a été jugé nécessaire dans les cas où la distance entre les cloisonnements d'exploitation était trop importante et où l'utilisation éphémère de cloisonnement sylvicoles n'était pas

possible (cloisonnements sylvicoles inexistantes ou fortes objections liées au souci de protection du sol).

Une attention particulière a été portée aux moyens de débardage, pour qu'ils soient adaptés au type de produits à sortir tout en respectant la sensibilité du sol au tassement et à l'orniérage (selon le guide PROSOL, Pischedda, 2009). La prise en compte de cette sensibilité est essentielle si on veut que la mécanisation puisse se développer avec succès. C'est pourquoi ne sont proposés que des porteurs 8 roues de petite à moyenne gamme, en partie tracksés, ou des porteurs à chenilles souples. Les porteurs 6 roues et skidders ont été écartés à cause de la moindre surface cumulée des roues et parce que les produits seront toujours de

faible volume unitaire (le skidder n'est donc pas approprié).

Schématiquement, nous avons donc les systèmes d'exploitation suivants :

- système à 2 machines : machine de bûcheronnage de petite à moyenne taille (4-17 tonnes), qui abat, parfois ébranche et parfois tronçonne, suivie d'un porteur de petite à moyenne taille (10-27 tonnes de poids total, machine+charge);
 - système à 1 machine : petit « combi », réalisant aussi bien le bûcheronnage sommaire (sans ébranchage, mais selon les besoins avec façonnage) que le débardage.
- Ces systèmes sont classiques; ce qui ne l'est pas, c'est la taille et le type de certaines machines de bûcheronnage ou porteurs.



Erwin Ulrich, ONF

Portée de la grue : petite machine de bûcheronnage

PEUPLEMENT		SOL	SYSTÈMES			
Classe ≤ 2500 t/ha	Classe > 2500 t/ha	Critères PROSOL	PORTE OUTIL pour abattage, tronçonnage et ébranchage	Abattage	TÊTE Tronçonnage	Ébranchage
1 Diamètre moyen des tiges à prélever : < 12 cm 1 seul produit : Bois Énergie ou alors laisser sur place	4	Sol praticable toute l'année avec peu de précautions	Petite machine de bûcheronnage 4 roues (4-10 tonnes à vide) ou petit combi, qui coupe et débarde (4-5 tonnes de charge utile)	Tête d'abattage à scie circulaire, avec fonction d'accumulation des tiges	Petit grappin découpeur	
		Sol praticable toute l'année moyennant certaines précautions	Idem ci-dessus	Tête de coupe à scie circulaire sans récupération des produits		
		Sol très sensible et impraticable une partie de l'année	Idem ci-dessus avec pneus larges	Tête d'abattage à scie circulaire, avec fonction d'accumulation des tiges	Petit grappin découpeur	
			Petite machine de bûcheronnage (4-5 tonnes à vide) avec pneus larges (minimum 500 mm)	Tête de coupe à scie circulaire sans récupération des produits		
Sols très sensibles et impraticables toute l'année	Chenillard à chenilles très souples et larges (600 à 700 mm)	Petite à moyenne tête de bûcheronnage (400-600 kg)				
2 Diamètre moyen des tiges à prélever : 12 à 17,5 cm 1 seul produit : Bois Énergie ou Bois Ronds	5		Petite machine de bûcheronnage 4 roues (4-10 tonnes à vide)	Tête d'abattage à scie circulaire, avec fonction d'accumulation des tiges		
			Pelle hydraulique adaptée forestière	Cisaille avec fonction accumulation et diamètre de coupe jusqu'à 40 cm		
			Petite à moyenne machine de bûcheronnage 4-6 roues (4-17 tonnes)	Petite à moyenne tête de bûcheronnage (400-600 kg), si possible avec adaptation mécanique à la dureté des feuillus		
			Idem ci-dessus	Idem ci-dessus		
			Chenillard avec des chenilles très souples et larges (600 à 700 mm)	Petite à moyenne tête de bûcheronnage (400-600 kg)		
3 Diamètre moyen des tiges à prélever : > 17,5 cm 2 produits possibles : Bois Énergie et Bois Ronds	6		Machine de bûcheronnage de taille moyenne	Tête de bûcheronnage de taille moyenne (600-1400 kg)		
			Pelle hydraulique adaptée forestière	Cisaille avec fonction accumulation et diamètre de coupe jusqu'à 40 cm		
		Idem ci-dessus pour les mêmes classes de sensibilité des sols				
Diamètre moyen des tiges à prélever : entre 5 et 30 cm 2 produits possibles : Bois Énergie et Bois Ronds	7	Idem ci-dessus pour les mêmes critères PROSOL	Idem classes 2 et 5 pour les mêmes critères PROSOL avec une part importante de bûcheronnage manuel =>			

Tab. 1 : systèmes d'exploitation proposés par classe de peuplement (diamètre moyen des tiges à prélever) et selon la sensibilité des sols au tassement et à l'orniérage
Le seuil de prélèvement de 30 m³/ha est lié à la rentabilité économique de l'opération ; en dessous la situation est jugée défavorable à la mécanisation. Mieux vaut alors généralement une intervention manuelle laissant les produits sur place (travaux).

D'EXPLOITATION		
Observations	DÉBUSQUAGE (si nécessaire)	DÉBARDAGE
BE : Prélèvement > 30 m³/ha	Pas nécessaire, car utilisation éphémère des cloisonnements sylvicoles et mise à disposition du côté des cloisonnements d'exploitation	Porteur de petite à moyenne charge utile (5-9 tonnes)
Prélèvement < 30 m³/ha : produits laissés sur place : TRAVAUX		
	Idem ci-dessus	Porteur de petite à moyenne charge utile (5-9 tonnes), mais à pneus larges (500 à 600 mm pour les petits porteurs et 700 à 800 mm pour les moyens porteurs)
Prélèvement < 30 m³/ha	Idem ci-dessus	Porteur de moyenne charge utile (9-10 tonnes) et à pneus très larges (940 mm) Porteur chenillard de moyenne charge utile et à chenilles très souples et larges (600-700 mm)
	Produits laissés sur place : TRAVAUX	
BE : Prélèvement > 30 m³/ha	Débusquage vers le cloisonnement : petit chenillard téléguidé sans cabine ou cheval	Porteur chenillard de moyenne charge utile (10-13 tonnes) et à chenilles très souples et larges (600-700 mm)
BE	Pas nécessaire, car utilisation éphémère des cloisonnements sylvicoles et mise à disposition du côté des cloisonnements d'exploitation Ou bien débusquage vers le cloisonnement : petit chenillard téléguidé sans cabine ou cheval	Porteur de petite à moyenne charge utile (5-9 tonnes) ou petite à moyenne machine combi (coupe et débardé)
BE		
BE ou BR		
Idem ci-dessus	Idem ci-dessus	Porteur de petite à moyenne charge utile (5-9 tonnes), mais avec pneus large (500 à 600 mm pour les petits porteurs et 700 à 800 mm pour les moyens porteurs)
BE ou BR	Idem ci-dessus	Porteur de moyenne charge utile (9-10 tonnes) et à pneus très larges (940 mm) Porteur chenillard avec moyenne charge utile et avec chenilles très souples et larges (600-700 mm)
	Débusquage vers les cloisonnements : petit chenillard téléguidé sans cabine ou cheval	Porteur chenillard avec moyenne charge utile (10-13 tonnes) et avec chenilles très souples et larges (600-700 mm)
Avec une part de bûcheronnage manuel	L'entraxe des cloisonnements ne doit pas dépasser 18 m pour éviter le débusquage. Vu la grosseur des produits, la taille des machines de bûcheronnage interdit l'utilisation éphémère de cloisonnements sylvicoles. Seule alternative pour un cloisonnements plus espacé : petit chenillard téléguidé sans cabine ou cheval	Idem ci-dessus pour les mêmes classes de sensibilité des sols
>=>=> Système mixte		

Influence de la densité des tiges ?

La densité totale des tiges a été considérée par le groupe de travail (GT) comme un premier critère de segmentation du classement des peuplements. Cependant, la densité a surtout une influence sur la productivité et la qualité du travail de la machine, quel que soit l'engin : il ne s'agit donc pas d'un critère de choix entre telle ou telle machine, mais plutôt d'un critère concernant la faisabilité de l'utilisation d'une machine. Par conséquent le véritable critère déterminant pour le choix de la machine de bûcheronnage est ici, comme dans les autres types de coupes, le diamètre moyen (et le volume unitaire moyen) des tiges à prélever.

Pour chaque catégorie de peuplement (diamètre moyen des tiges à prélever) et classe de sensibilité de sol, le GT a proposé un ou plusieurs systèmes d'exploitation (tableau 1). Certains systèmes conviennent à plusieurs classes de peuplements ou classes de sensibilité des sols, et cette « flexibilité » peut être considérée comme un avantage.

Lorsque le diamètre moyen des tiges à prélever est faible (<12 cm), on ne devrait raisonnablement recourir qu'aux systèmes utilisant des engins

de petite catégorie, *a priori* plus aptes à minimiser l'impact au sol et au peuplement restant. Mais lorsque le diamètre moyen des tiges à prélever augmente, il devient nécessaire de recourir à des engins de plus grande puissance, et par conséquent de taille et masse plus importantes.

Masse des machines

La masse des machines reste modérée chez les porte-outils employés pour l'abattage, le tronçonnage et éventuellement l'ébranchage (4 à 19 tonnes). La masse des porteurs testés avec leur charge utile maximale est plus grande (12-27 tonnes). Le seul moyen de contrebalancer cette augmentation, pour diminuer l'impact au sol, est d'augmenter fortement la surface de contact entre les pneus et le sol, c'est-à-dire augmenter la largeur des pneus. On passe ainsi chez les petits porteurs d'une largeur de 400 mm jusqu'à une largeur de 600 mm et, chez les porteurs de moyenne gamme, d'une largeur de 700 mm jusqu'à une largeur de 940 mm, largeur maximale disponible sur le marché pour ce type d'engins. Une alternative intéressante est l'utilisation de porteurs à chenilles dont le développement a pris récemment un nouvel essor grâce à des chenilles souples, s'adaptant aux irrégularités du terrain et permettant donc de profiter constamment de la surface

maximale de contact pour réduire la pression au sol (largeurs des chenilles : 620 – 780 mm). La grande inconnue, dans cette phase de choix préalable aux chantiers test, était l'impact réel, sur sol humide, des porteurs de la nouvelle gamme à pneus ou chenilles très larges, présentés comme « vertueux » par les constructeurs.

Lors du choix de systèmes d'exploitation entre également en compte au niveau régional la réalité de terrain de l'organisation de la circulation au sein des parcelles : les entre-axes des cloisonnements sylvicoles et/ou cloisonnements d'exploitation. Les plus faibles valeurs d'entre-axes (5-6 m pour les cloisonnements sylvicoles et 14-16 m pour les cloisonnements d'exploitation) permettent l'utilisation de machines plus petites et l'utilisation éphémère des cloisonnements sylvicoles par des petites à moyennes machines de bûcheronnage (cf. article précédent). Les écartements plus importants (18 à 24 m) obligent à s'orienter vers des porte-outils plus gros, pour pouvoir bénéficier de la plus grande portée de leur grue.






Présentation des machines testées

Afin d'illustrer les propositions présentées dans le tableau 1, les tableaux 2 à 4 présentent plusieurs engins dont l'emploi est apparu optimal dans les peuplements de classes ② et ⑤, qui dans l'immédiat représentent le plus grand challenge pour la mécanisation : les produits qui y sont récoltés trouvent des débouchés commerciaux et les surfaces concernées sont importantes. Dans les classes ① et ④ (diamètre moyen des tiges à prélever < 12 cm) les produits sont le plus souvent susceptibles de rester sur place car leur diamètre, trop faible, les rend beaucoup moins intéressants pour la production de bois énergie sous forme de plaquettes, au moins dans la période actuelle (qualité inférieure pour un coût d'exploitation plus



Erwin Ulrich, ONF

Moyenne machine de bûcheronnage en première éclaircie de hêtre

Engins de bûcheronnage	Chantier test (forêt), cf. article suivant
Petite machine de bûcheronnage 4 roues	
<p>VIMEK 404 T4 (4,1 tonnes) 4*4, hydrostatique intégrale, 60 chevaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • largeur 1,80 m • longueur 3,35 m sans porte-outil, grue d'une portée de 4,0 m, montée à l'avant de la cabine, • largeur pneus 405 mm 	 <p>Der 1 Der 2</p>
Moyennes machines de bûcheronnage 4-6 roues	
<p>SIFOR 414 (10 tonnes) 4X4, hydrostatique intégrale, 130 chevaux,</p> <ul style="list-style-type: none"> • largeur 2,50 m, • longueur 5,30 m sans porte-outil, grue d'une portée de 6,80 m montée à l'arrière de la cabine, • largeur pneus 500 mm 	 <p>Bourse Ecouves</p>
<p>HSM 405 H1 (17 tonnes) 6*6, transmission hydromécanique, 238 chevaux, largeur 2,70 m, longueur 7,79 m, grue d'une portée de 10 m, montée à l'avant de la cabine, largeur pneus 710 mm</p>	 <p>Languimberg 1 Languimberg 2 Fénétrange</p>
Pelle hydraulique	
<p>DOOSAN 140DX (poids à vide environ 16,6 tonnes avec blindage forestier, sans cisaille; avec cisaille : 18,9 tonnes) hydrostatique intégrale, 95 chevaux,</p> <ul style="list-style-type: none"> • largeur 2,50 m • longueur 4,30 m sans grue, grue d'une portée de 7,80 m, • largeur chenilles 500 mm 	 <p>Lyons Cherlieu 1+2</p>
Petit combi (coupe et débarde en même temps)	
<p>VIMEK BOKOMBI 608/610 (poids à vide 4,9 tonnes, charge utile 5 tonnes) 6*6 (dont 4 roues motorisées au choix), transmission hydrostatique, 60 chevaux,</p> <ul style="list-style-type: none"> • largeur 1,97 m • longueur 6,8 m sans porte-outil, grue d'une portée de 5,2 m (capacité de levage à 5,2 m : 330 kg), pneus avant 500 mm, pneus arrières 400 mm 	 <p>Haut-Juré</p>

Tab. 2 : exemples de machines de bûcheronnage, pelle hydraulique et « combi » pouvant intervenir lors des premières éclaircies feuillues principalement dans les peuplements de classes ② et ⑤ (cf. tableau 1)

élevé, la faiblesse du volume unitaire moyen et du prélèvement à l'hectare faisant chuter la productivité). Quant aux systèmes d'exploitation susceptibles de travailler dans les classes 3 et 6 (diamètre moyen des tiges à prélever > 17,50 cm), ils se rapprochent des systèmes classiques déjà utilisés dans l'exploitation des peuplements résineux.

Les machines présentées dans les tableaux 2 à 4 ne sont que des exemples, dans la mesure où plusieurs marques produisent des machines comparables. Ce sont ces machines qui ont été testées dans les chantiers et dont les articles suivants retracent les résultats.

Erwin Ulrich

ONF, département R&D-Innovation

Didier Pischedda

Maryse Bigot
ONF, département Commercial Bois

Maryse Bigot*

Emmanuel Cacot

Philippe Ruch

FCBA, Equipe Exploitation Forestière et Approvisionnement Bois

et les






membres du groupe de travail

* Aujourd'hui à l'ONF, département Commercial Bois






Bibliographie

Pischedda D. (coord.), 2009. Guide pratique – pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PROSOL », ONF-FCBA, 110 p.

Tab. 3 :
exemples de têtes de bûcheronnage, cisailles ou grappin scie pouvant être utilisés sur les machines de bûcheronnage ou combi présentés dans le tableau 2

Outils de bûcheronnage		Chantier test (forêt), cf. article suivant
Têtes de bûcheronnage (coupent, ébranchent et façonnent)		
<p>KETO Forst Eco Masse 297 kg, diamètre maximal de coupe 30 cm et d'ébranchage de 25 cm ; • pression hydraulique nécessaire de 200 bar</p>		Der 1 Der 2
<p>SIFOR 450 Masse 830 kg, diamètre maximal de coupe 50 cm et d'ébranchage de 42 cm ; • pression hydraulique nécessaire de 300 bar</p>		Bourse Ecouves
<p>CTL 40 HW (HSM) Spéciale feuillus, masse de 720 kg, diamètre maximal de coupe 53 cm et d'ébranchage de 45 cm ; • pression hydraulique nécessaire de 260 bar</p>		Languimberg 1 Languimberg 2 Fénétrange
Tête de cisaille pour pelle hydraulique (coupe uniquement)		
<p>JACQUIER C360 Avec fonction accumulateur de tiges, masse 1250 kg, diamètre maximal de coupe 36 cm ; • pression hydraulique nécessaire de 280 bars</p>		Lyons Cherlieu 1 Cherlieu 2
Grappin découpeur pour petite machine de bûcheronnage ou combi (coupe uniquement)		
<p>VIMEK Masse 125 kg, diamètre maximal de coupe 36 cm ; • pression hydraulique nécessaire de 200 bar ; • dispose d'un frein permettant de maintenir les tiges à la verticale pour les sortir du peuplement et donc éviter de blesser les arbres restants</p>		Haut-Juré

Photos : Erwin Ulrich, ONF

Engins de débardage		Chantier test (forêt), cf. article suivant	
Porteur 8 roues à faible charge utile			
<p>NOVOTNY LVS 5000 ou 520 (12 tonnes avec charge maximale)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8*8 roues, hydrostatique intégrale, 90 chevaux, • largeur 2,10 m, longueur 7,80 m sans porte-outil, • grue d'une portée de 6,10 m, • pneus 500 mm de large, • poids à vide environ 7 tonnes, • charge utile de 5 tonnes, • capacité de charge en volume : 5,5-6 m³ d'encombrement 		Erwin Ulrich, ONF	Bourse Ecouves
Porteur 8 roues à charge utile moyenne			
<p>HSM 208 F 9 (21 tonnes avec charge maximale)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8*8 roues, hydrostatique mécanique, 141 chevaux, • largeur 2,60 m (avec tracks), longueur 8,71 m sans porte-outil, • grue d'une portée de 10 m, • pneus 710 mm, • poids à vide environ 12,2 tonnes, • charge utile de 9 tonnes, • capacité de charge en volume : 14 m³ d'encombrement 		Erwin Ulrich, ONF	Languimberg 1
<p>HSM 208 F 11/12 (27 tonnes avec charge maximale)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8*8 roues, hydrostatique mécanique, 210 chevaux, • largeur 2,98 m, longueur 9,91 m sans porte-outil, • grue d'une portée de 8,6 m, • pneus 940 mm, • poids à vide environ 15-16 tonnes, • charge utile de 11 tonnes, • capacité de charge en volume : 17-18 m³ d'encombrement 		Erwin Ulrich, ONF	Languimberg 2 Fénétrange
<p>LOGSET 5F (28 tonnes avec charge maximale),</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8*8 roues, hydrostatique intégrale, 125 chevaux, • largeur 2,80 m, longueur 9,12 m sans porte-outil, • grue d'une portée de 8 m, • pneus 710 mm de large, • poids à vide environ 16 tonnes, • charge utile de 12 tonnes, • capacité de charge en volume : 15,5-20 m³ d'encombrement 		Xavier Montagny, FCBA	Lyons Cherlieu 1+2
Porteur sur chenilles souples à moyenne charge utile			
<p>LIGHTLOGG C (marque TIMBEAR ; 27 tonnes avec charge maximale)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hydrostatique intégrale, 3 parties chenillées (cabine et moteur, deux remorques), 130 chevaux, • largeur 2,20 m, longueur 11,5 à 13,5 m, • grue d'une portée de 8 m, • largeur chenilles 620 mm, • poids à vide environ 14 tonnes, • charge utile de 13 tonnes, • capacité de charge en volume : environ 24 m³ d'encombrement 		Erwin Ulrich, ONF	Der 1 Der 2

Tab. 4 : exemples de porteurs à roues ou à chenilles pouvant intervenir lors des premières éclaircies feuillues (selon les indications du tableau 1)

Onze chantiers tests de premières éclaircies feuillues mécanisées : caractéristiques des peuplements, prélèvement et productivité des machines

Les systèmes d'exploitation et notamment les machines sélectionnées par le groupe de travail (voir article précédent) ont fait l'objet de 11 chantiers test, situés dans les directions territoriales Ile-de-France-Nord-Ouest, Bourgogne-Champagne-Ardenne, Lorraine et Franche-Comté. Ils concernent une surface totale de 83 ha, la surface des chantiers s'échelonnant de 3 à 15 ha. Dans tous les chantiers, les arbres ont été marqués à la peinture en abandon par le service local dans le cadre de la gestion ordinaire, sauf à Fénétrange où un marquage en réserve a été pratiqué. En outre, le chantier en forêt d'Ecouvès a fait l'objet d'une comparaison entre les deux types de marquage, en abandon ou en réserve.

Les chantiers ont couvert une large gamme de densité totale (figure 1), tout en restant à l'intérieur des classes ② et ⑤ de la classification initiale (clé p. 20) où le diamètre moyen des tiges à prélever est de 12 à 17,5 cm. Ce choix est volontaire : il s'agit de se placer dans la gamme de diamètres intermédiaires, afin de pouvoir extrapoler, avec toutes les précautions nécessaires, aux catégories voisines (diamètres inférieurs comme supérieurs). Autre décision, celle de tester des chantiers à deux produits malgré la recommandation initiale de se limiter à un seul, pour évaluer le caractère pénalisant ou non d'un tel choix.

Les constructeurs et propriétaires des machines, de même que l'ensemble des agents ONF de terrain, ont contribué de manière importante, soit à l'organisation des travaux, soit au

déroulement des chantiers. Tous les suivis des chantiers ont été réalisés selon le même protocole, ce qui permet de présenter les résultats sous une forme synthétique harmonisée en ce qui concerne la densité des tiges, la proportion d'arbres problématiques (très branchus, torus...), le prélèvement à l'hectare et la productivité des machines.

Densité totale des tiges

Comme indiqué dans l'article sur les critères à considérer, la densité totale des tiges et surtout celle des petites tiges est susceptible d'impacter la productivité de la machine de bûcheronnage en rendant l'accès aux tiges à couper plus difficile. Lors de la préparation des martelages la plus petite classe de diamètre inventoriée est la classe 10 cm, dont les diamètres à 1,30 m s'échelonnent de 7,5 à 12,5 cm. Dans les parcelles

des chantiers test, les inventaires ont aussi pris en compte les tiges de classe 5 cm (2,5 à 7,5 cm) car, selon la structure des peuplements, la proportion de ces petites tiges peut être assez importante.

Sur l'ensemble des chantiers tests, la proportion de petites tiges avant éclaircie varie entre 4 et 70 % d'un peuplement à l'autre ; l'éclaircie a prélevé entre 14 et 66 % des tiges de l'étage dominant, mais aussi 1 à 100 % des petites tiges, le plus souvent en sous-étage (tableau 1). Il faut nuancer ce dernier constat : ce pourcentage élevé s'observe dans les peuplements ne comportant que très peu de petites tiges, car le sous-étage y est presque absent (71 tiges/ha à Cherlieu-2, ne représentant que 4,3 % des tiges du peuplement, à comparer aux 140 à 3 767 petites tiges/ha dans les autres peuplements). Dans ce cas, le prélèvement, même d'un

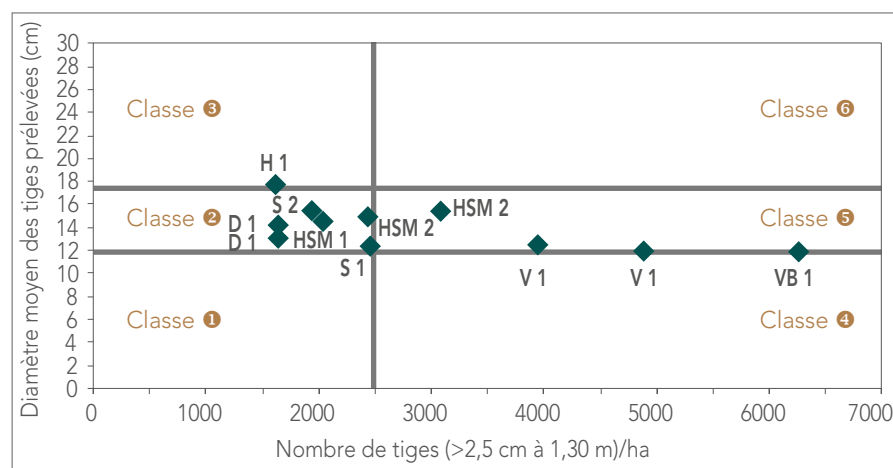


Fig. 1 : positionnement des chantiers test dans le classement des peuplements correspondant aux premières (=1) et deuxièmes éclaircies (=2) de chêne et de hêtre

Code des machines de bûcheronnage utilisées (H = Hyundai LCR 149; D = Doosan 140 DX; V = Vimek 404 T4; VB = Vimek Biokombi; S = Sifor 414; HSM = HSM 405 H1)

faible nombre de tiges à l'hectare, conduit à une forte proportion. Dans les peuplements où la densité des petites tiges est plus forte (600 à 3 400 tiges), la proportion de prélèvement est plutôt faible : 2 à 26 %. Il faut souligner que les consignes données concernant le respect du sous-étage étaient variables et surtout fonction de l'essence objectif : plus strictes pour le chêne, pas de consignes particulières pour le hêtre.

Ces résultats montrent que les machines employées sont tout à fait capables de travailler dans des peuplements denses, et de ménager si besoin le sous-étage. Les cas où une proportion plus importante du sous-étage a été coupée sont plutôt liés à l'opérateur de la machine qui, n'ayant pas eu de consigne particulière concernant le sous-étage, a voulu « faire plus propre » que nécessaire.

Ces prélèvements ne sont donc pas liés à une demande expresse du gestionnaire, ni à la nécessité technique de pouvoir accéder à des tiges éloignées du cloisonnement.

Proportion d'arbres problématiques pour la mécanisation

Du point de vue de la mécanisation, un pourcentage élevé d'arbres mal conformés, à forte fourchaison et très branchus est problématique, car le temps de travail par arbre augmente ainsi que l'usure des têtes de bûcheronnage. Les mesures réalisées sur les chantiers étudiés révèlent que la proportion d'arbres problématiques reste heureusement relativement limitée (tableau 2). En moyenne, le pourcentage d'arbres à conformation problématique est en effet de 16 % et celui des arbres fortement bran-

chus de 17 %. Les arbres avec une fourche à moins de 5 m représentent en moyenne 28 % et il n'y a que très peu d'arbres à fourchaison multiple. Lors des observations sur le terrain, les machines de bûcheronnage ont montré qu'elles pouvaient venir à bout des défauts d'architecture des arbres. Plusieurs allers-retours dans la tête permettent aux coupeurs d'ébrancher les arbres tordus et très branchus. Pour les fourchus, une ou plusieurs reprises sont nécessaires, précédées par la découpe de la fourche. Par contre, le travail avec la cisaille n'est pas pénalisé par des arbres même moyennement branchus ou avec des fourches, car elle dispose de suffisamment de puissance pour les casser ou les écraser avec les bras accumulateurs. De même, le petit grappin scie n'est pas gêné par l'architecture des arbres, car il est court et peut découper une tige sur pied en 2 à 3 portions.

Direction Territoriale	Forêt	Type d'éclaircie	Essence (et guide de référence)	Inventaire classique ($\geq 7,5$ cm de diamètre)			Diagnostic sylvicole après éclaircie en référence au guide concerné	Inventaire « petites tiges » (2,5 à < 7,5 cm de diamètre)			Proportion de petites tiges avant éclaircie
				Densité/ha avant éclaircie	Densité/ha après éclaircie	% de prélèvement		Densité/ha avant éclaircie	Densité/ha après éclaircie	% de prélèvement	
Ile-de-France Nord-Ouest	Bourse	Première	Chêne (1)	1571	1215	22,7 %	① à peu près conforme au scénario moyen pour le chêne sessile fertilité 1 ou 2	880	866	1,6 %	35,9 %
	Ecouves	Deuxième	Hêtre (3)	1373	968	29,5 %	③ proche de l'itinéraire IT2	565	558	1,2 %	29,2 %
	Lyons	Première	Chêne (1)	1482	1061	28,4 %	① proche de la densité objectif pour la fertilité 2, sauf que G est plus importante (+2,5 m ²)	140	79	43,6 %	8,6 %
Bourgogne-Champagne-Ardennes	Der 1	Première	Chêne (2)	1481	1032	30,3 %	② environ deux fois trop dense	3437	3115	9,4 %	69,9 %
	Der 2	Première	Chêne (2)	1676	1245	25,7 %	② environ deux fois trop dense	2288	1940	15,2 %	57,7 %
Lorraine	Haut-Juré	Première	Hêtre (4)	2500	1622	35,1 %	④ environ 340 tiges/ha en trop	3767	3446	8,5 %	60,1 %
	Languimberg 1	Deuxième	Hêtre (4)	1479	1016	31,3 %	④ environ 100 tiges/ha en trop	948	880	7,2 %	39,1 %
	Languimberg 2	Deuxième	Hêtre (4)	1080	592	45,2 %	④ environ 140 tiges/ha de moins que préconisé	2000	1480	26,0 %	64,9 %
Franche-Comté	Fénétrange	Première retardée	Chêne (2)	1271	1100	13,5 %	② inclassable, car trop dense, trop haut, avec des diamètres trop faibles	757	686	9,4 %	37,3 %
	Cherlieu 1	Première	Chêne (2)	1383	473	65,8 %	② proche du référentiel « dynamique » en fertilité 2	254	61	76,0 %	15,5 %
	Cherlieu 2	Première	Chêne (2)	1574	605	61,6 %	② proche du référentiel « dynamique » en fertilité 2	71	0	100,0 %	4,3 %
				Médiane	30,3 %				Médiane	9,4 %	37,3 %
				Moyenne	35,4 %				Moyenne	27,1 %	38,4 %
				CV	45,3 %				CV	121,3 %	59,4 %

Tab.1 : comparaison des densités avant et après éclaircie pour les petites tiges ($\varnothing < 7,5$ cm) et celles de l'inventaire classique ($\varnothing \geq 7,5$ cm) et proportion de petites tiges avant éclaircie

Guides sylvicoles concernés : (1) = Chênaies atlantiques (Jarret, 2004); (2) = Chênaies continentales (Sardin, 2008); (3) = Hêtraies atlantiques (Pilard-Landau et Simon, 2008); (4) = Hêtraies continentales (Sardin et al., 2011). ①②③④ = classe de peuplement (après éclaircie).











Les gammes de pourcentages observés pour les différentes classes du tableau 2 sont larges, ce qui montre que les caractéristiques des arbres peuvent varier beaucoup d'un peuplement à un autre. Toutefois, les conformations défavorables ne dépassent jamais le tiers des arbres et les très fortes branchaisons et multiples fourchaisons restent rares. Seule la somme des classes de moyenne et forte branchaison, calculée par peuplement, peut atteindre la moitié des arbres, surtout dans les hêtraies (résultats non présentés dans le tableau).

Prélèvement à l'hectare

Le prélèvement est le volume de bois, tous produits confondus, qui a été récolté et commercialisé. Deux types d'informations sont disponibles : le prélèvement estimé suite au martelage et le prélèvement réel, issu des tonnages de plaquettes ou des stérages bord de route. Il est à noter que l'estimation après martelage concerne le bois fort tige, diamètre fin bout de 7 cm. Or, dans la plupart des chantiers étudiés, le prélèvement a inclus des produits de diamètre fin bout plus petit, notamment des houppiers entiers, correspondant à un diamètre fin bout de 0 cm. Dans la plupart des cas, le prélèvement réel devrait donc être plus important que le prélèvement estimé.

Le tableau 3 compare, pour chaque chantier et en rappelant l'essence principale et les types de produits, le prélèvement mesuré (réel) au prélèvement estimé. En règle générale, les prélèvements réalisés sont supérieurs, voire très supérieurs aux estimations des gestionnaires, la différence étant de 20 à 168 %, indépendamment des types de produits. Ils sont cependant inférieurs dans 3 cas sur les 11, mais l'écart n'excède pas 18 %.

Ce constat d'un prélèvement réel plus important que l'estimation n'est pas lié à la mécanisation. Les peuplements sont éclaircis « normalement » (c'est-à-dire conformément au marquage

Caractéristiques	Moyennes par classe en % (et gammes de % observés)			
Conformation	 54 (30 à 79)	 30 (16 à 45)	 16 (5 à 32)	
Branchaison	 63 (18 à 83)	 19 (12 à 29)	 13 (3 à 41)	 4 (0 à 13)
Fourchaison	 68 (50 à 85)	 28 (15 à 46)	 4 (0 à 16)	

Tab. 2 : moyennes générales et gammes observées de la distribution des arbres par classes de conformation, branchaison et fourchaison
7 peuplements analysés (4 chênaies et 3 hêtraies; 5 premières et 2 deuxièmes éclaircies);
n = 820 arbres notés.

réalisé) et restent même souvent, après l'intervention, en surdensité par rapport au référentiel sylvicole de l'ONF (tableau 1). Il s'agit plutôt de la difficulté d'estimer le volume dans ces petites classes de diamètre.

En synthèse : des machines techniquement adaptées au travail à réaliser

Les machines testées ont réalisé un travail conforme aux objectifs et toutes se sont révélées adaptées au travail qui leur a été demandé. Les plus petites machines ont été employées dans des classes de peuplements correspondant bien à leur plus faible capacité.

Seul le petit combi (qui coupe et débarde en même temps) testé sur le chantier du Haut-Juré a montré quelques faiblesses au niveau de la puissance moteur, du grappin découpeur et au niveau de la transmission vers les roues; cela n'a pas eu d'impact sur la qualité du travail, mais seulement sur la productivité. Au demeurant, ces faiblesses ont été prises en compte par le constructeur (le moteur est maintenant bien plus puissant : 60 chevaux au lieu de 25 chevaux initialement, transmission complètement repensée), et tout laisse à penser que le modèle revu aura une bien meilleure productivité que celle indiquée ci-après.

Productivité des machines : machines de bûcheronnage

Au-delà de l'adaptation des machines à ce type d'éclaircies, la grande inconnue, en particulier pour les machines de bûcheronnage, était leur productivité, point central de tous les calculs : coûts de revient techniques, bilan économique de chaque chantier, besoins en équipes pour pouvoir traiter les volumes annuels, etc. C'est pourquoi un suivi détaillé des temps de présence, temps de travail productif, heures machines etc., ainsi que des séances de chronométrage des phases de travail pendant les heures machines productives ont été réalisés. Les résultats synthétiques et leurs enseignements sont présentés ci-après.

Les données de productivité sont présentées soit en m³ par heure machine, soit en m³ par heure machine productive. Dans le premier cas, il s'agit d'une moyenne sur le chantier qui repose sur le nombre total d'heures machine (c'est-à-dire toute la durée cumulée des heures pendant lequel le moteur tourne, pendant le façonnage des produits mais aussi pendant les déplacements permettant à la machine de rejoindre le lieu de coupe, les pauses et autres activités (ex. repérages)). Dans le deuxième cas il s'agit d'une productivité « instantanée », déterminée

Système d'exploitation	Forêt	Essence	Type de produits	Surface travaillée (ha)	Prélèvement estimé par le gestionnaire (m ³ /ha)	Prélèvement réel (m ³ /ha)	Différence entre Prélèvement réel et estimé (%)	Part de bois énergie pour transformation en plaquettes
Petit combi	Haut Juré	Hêtre	Bois énergie en vrac, comprenant houppiers, 5-8 m	8,50	30,0	40,9	36 %	100 %
Petite MB et moyen porteur chenillard	Der - 1	Chêne	Billons de 4 m, ébranchés Houppiers laissés sur place	12,43	34,0	32,6	-4,1 %	100 %
	Der - 2			12,49	30,0	35,9	19,7 %	100 %
MB moyenne et petit porteur	Bourse	Chêne	Billons de 3 m, ébranchés	14,78	22,5	18,4	-18,2 %	100 %
			Houppiers laissés sur place					
MB moyenne et petit porteur	Ecouves	Hêtre	Bois bûche de 2 m, ébranche	11,20	31,0	45,1	45,5 %	69 %
			Bois énergie de 3 m, houppiers ébranchés					
MB moyenne et moyen porteur	Languimberg - 1	Hêtre	Billons de 4 m et	7,72	30,0	55,7	85,7 %	42 %
			Bois énergie (houppiers essentiellement), 4-7 m					
	Languimberg - 2	Hêtre	Billons de 4 m et Bois énergie (houppiers essentiellement), 4-7 m	6,10	33,0	70,4	113 %	39 %
	Fénétrange	Chêne	Billons de 4 m et Bois énergie (houppiers essentiellement), 4-7 m	2,85	20,0	53,6	168,0 %	29 %
Cisaille moyenne et moyen porteur	Lyons	Chêne	Bois énergie en vrac, non ébranché, 3 - 6 m	3,20	76,0	70,7	-7 %	100 %
	Cherlieu - 1	Chêne	Bois énergie en vrac, non ébranché	2,00	50,0	122,6	145 %	100 %
	Cherlieu - 2			1,40	75,0	137,0	83 %	100 %
Total				49,25				
Moyenne					42,2	71,7	77 %	

Tab. 3 : comparaison par chantier du prélèvement estimé (après martelage) avec le prélèvement réel, issu des tonnages plaquettes ou des stérages bord de route

MB = machine de bûcheronnage.

sur une courte durée (ex. 1-2 heures d'observation) qui porte uniquement sur le temps dédié au bûcheronnage des produits (temps de pauses ou dédiés à d'autres activités exclus). Le deuxième cas représente une sorte de productivité maximale dans les conditions observées (qui ne sont toutefois pas toujours représentatives de l'ensemble du chantier).

La productivité moyenne des 5 machines testées (tableau 4) est globalement de 4,1 m³/heure machine, la gamme allant de 2,5 à 5,6 m³/heure machine. Le combi (Vimek Biokombi) n'est pas pris en compte dans cette moyenne globale car sa productivité de 2,1 m³/heure machine comprend aussi la phase de débardage. Il faut remarquer que la productivité moyenne par chantier des pelles hydrauliques avec cisailles (chantiers de Lyons et Cherlieu) se trouve plutôt dans la moyenne de l'ensemble des machines. C'est que ces outils inaptes au façonnage élaboré doivent

consacrer du temps à une autre tâche, l'empilement/rangement des tronçons de tiges coupées (11-13 % du temps), qui n'existe pas pour une tête de bûcheronnage classique puisqu'elle s'inscrit dans la phase d'ébranchage et de façonnage sans nécessiter de mouvement spécifique supplémentaire.

Quant à **la productivité instantanée**, elle varie entre 3,9 et 9,7 m³/heure machine productive. Les plus fortes productivités instantanées ont été observées chez les pelles hydrauliques équipées de cisailles Jacquier, qui produisent du bois énergie en vrac. Il est évident que plus on travaille les produits (ex. ébranchage, billonnage), plus on y passe du temps, ce qui diminue la productivité de la machine.

La puissance ne va pas toujours de pair avec la productivité

La large gamme de productivités peut surprendre (tableau 4). La puissance

supérieure d'un engin n'est pas un gage de productivité plus importante dans toutes les situations. La machine HSM (17 tonnes), forte de ses 238 chevaux et équipée d'une tête de bûcheronnage adaptée au bois dur n'a pas, sur les chantiers Languimberg 1 et 2, une meilleure productivité que la machine SIFOR (10 tonnes) avec ses 130 chevaux dans un peuplement comparable à Ecouves. La productivité est en effet influencée par des critères tels que la puissance moteur, puissance de la tête de bûcheronnage et portée de la grue mais elle est surtout dépendante (c'est un fait établi en matière de bûcheronnage mécanisé, quel que soit le type de coupe) du volume unitaire des tiges, qui est ici très faible, et dans une moindre mesure de facteurs comme le nombre de tiges à prélever, la proportion de tiges à problème, la visibilité du marquage, le degré d'optimisation de l'organisation du trafic au sein de la parcelle, la distance

Type de porte-outil et tête de coupe	Forêt	Nombre de produits	Type de produits	Densité initiale totale N/ha ($\varnothing \geq 2,5$ cm)	Nombre de tiges prélevées N/ha ($\varnothing \geq 2,5$ cm)	Diamètre moyen des tiges prélevées (cm)	Volume unitaire moyen (VUM) des tiges prélevées (m^3)	Part des petites tiges ($\varnothing 2,5$ à $7,5$ cm) prélevées sur la densité initiale totale (%)	Productivité moyenne chantier à l'heure machine, HM (m^3 /HM)	Productivité à l'heure machine productive, HMP (m^3 /HMP)	Nombre moyen de tiges coupées à l'heure machine productive (HMP)
Très petit combi	Haut Juré	1	Bois énergie en vrac	6267	1199	11,9	0,081	5,1 %	2,1	2,2	30
Très petite machine de bûcheronnage et petite TB	Der-1	1	Billons 4 m	4918	771	12,1	0,095	6,5 %	3,1	4,4	67
	Der-2			3964	779	12,5	0,105	8,8 %	3,1		
Petite machine de bûcheronnage avec moyenne TB	Bourse	1	Billons 3 m	2451	370	12,3	0,091	0,6 %	2,5	6,4	77
	Ecouves	2	Bois bûche 2 m Billons de 3 m	1938	412	15,4	0,157	0,4 %	5,6		
Moyenne machine de bûcheronnage avec moyenne TB	Languimberg-1	2	Billons 4 m Houppiers 4-7 m	2427	531	14,9	0,206	2,8 %	5,6	4,3 (E1) 3,9 (E2)	67
	Languimberg-2			3080	1008	15,5	0,177	16,9 %	5,2	95	
	Fénétrange			2028	242	14,5	0,157	3,5 %	5,3		
Moyenne pelle hydraulique et moyenne cisaille	Lyons	1	Bois énergie en vrac	1622	482	17,8	0,188	3,8 %	3,8	9,7	73
	Cherlieu-1			1637	1103	14,1	0,131	11,8 %	4,1	7,3	61
	Cherlieu-2			1645	1040	13,1	0,106	4,3 %	3,1		
Moyenne				2103,5	Moyenne sans Biokombi				4,1		

Tab. 4 : productivité des machines de bûcheronnage et cisailles en lien avec la densité totale initiale ($\varnothing_{130} \geq 2,5$ cm) des peuplements et le nombre et la proportion de petites tiges prélevées

Bistre = prudence pour les comparaisons, le combi coupe et débarde en même temps; Gris = pas de mesures; TB = tête de bûcheronnage; E1, E2 = première, deuxième éclaircie

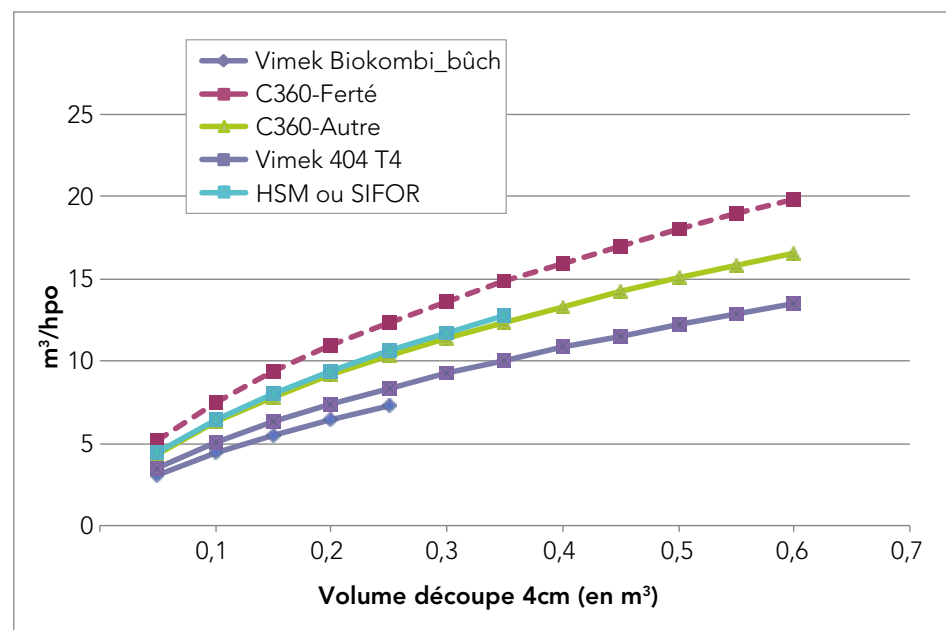


Fig. 2 : stratification de la productivité instantanée (en m^3 par heure machine productive) des machines de bûcheronnage, de 3 pelles hydrauliques et des phases dédiées au bûcheronnage de la Vimek Biokombi

Analyse = régression non linéaire avec test F pour comparer les différents modèles; réalisée avec données homogénéisées.

maximale des tiges à prélever depuis le cloisonnement. Or, à part les caractéristiques machines, ces conditions changent beaucoup d'un chantier à un autre.

La figure 2 présente la productivité des machines ou groupes de machines suivies en fonction du volume unitaire des tiges coupées. Il s'agit ici de la productivité à l'heure machine productive, ce qui est très différent de la productivité au niveau du chantier, bien plus faible. En outre, cette productivité calculée est exempte des aléas des chantiers. En effet, pour pouvoir comparer sur la même base les performances des différentes machines, les temps correspondant aux phases de travail qui dépendent de circonstances particulières ont été moyennés sur l'ensemble des chantiers, et c'est cette moyenne qui a été utilisée dans le calcul.

La plus forte productivité a été observée avec la cisaille C360 de Jacquier sur pelle hydraulique, sur un chantier supplémentaire en forêt de La Ferté (71) : une première éclaircie de chêne à un seul produit (bois énergie en vrac en toutes longueurs). Suivent *ex æquo* les machines de bûcheronnage HSM 405 H1 et SIFOR 414, sur des chantiers variés à deux produits (Bourses, Ecouves, Fenérange, Languimberg 1 et 2). Le travail avec la cisaille C360 de Jacquier sur pelle hydraulique a quasiment la même productivité dans les premières éclaircies de chêne de Lyons et Cherlieu pour du bois énergie en vrac en toutes longueurs avec, dans l'un des chantiers, l'obligation de laisser les houppiers sur place donc de les façonner. Les productivités les plus faibles sont observées chez les plus petites machines : la Vimek 404 T4 dans une première éclaircie de chêne en réalisant des billons de 4 m de long, suivie par la Vimek Biokombi dans une première éclaircie de hêtre et pour du bois énergie en vrac en toutes longueurs.

Plus on façonne, plus la productivité instantanée diminue... mais pas forcément celle du chantier

La proportion de temps passé pour le façonnage, indépendamment du type d'engin et du peuplement, est de 18 à 38 % pour un seul produit (plus ou moins « fini ») et elle augmente à 40-45 % pour deux produits, qui nécessitent inévitablement des manipulations. L'allongement du temps de façonnage grève la productivité instantanée du bûcheronnage.

Cependant, au vu des résultats obtenus sur les chantiers d'Ecouves et Languimberg 1 et 2, le fait de faire deux produits par chantier (ex. : billons et houppiers en vrac) ne fait pas obligatoirement baisser la productivité moyenne au niveau du chantier. Plusieurs arguments peuvent aller dans le sens de produits élaborés distincts : (i) cela permet de laisser les menus bois en forêt pour préserver la fertilité du sol ; (ii) des produits bien calibrés facilitent le chargement lors du débardage, augmentent la productivité des porteurs et diminuent les impacts aux arbres (pas de frottement par des produits dépassant largement du panier du porteur) ; (iii) on peut valoriser des produits destinés à un usage plus rémunérateur.

La densité totale joue certainement un rôle sur la productivité

La densité totale est très variable selon les chantiers (1622 à 6267 tiges/ha \geq 2,5 cm de diamètre), mais il est impossible de mesurer son influence sur la productivité, à cause des autres influences : la variabilité de la proportion de petites tiges prélevées (0,4 à 16,9 %) et les 5 groupes de produits (tableau 4).

Comme le montre la figure 1, les plus petites machines ont été employées dans les peuplements les plus denses, de presque 3900 à plus de 6000 tiges à l'hectare. Indépendamment

de la puissance, cette différence de densité peut expliquer en partie leur plus faible productivité : d'une part la proportion des petites tiges dans le prélèvement est plus importante ; d'autre part cela représente une plus forte densité d'obstacles exigeant que l'opérateur passe du temps à les contourner pour ne pas les casser ou devoir les enlever, notamment s'il s'agit du sous-étage.

Marquage en abandon et marquage « en réserve » : productivité a priori semblable

En forêt d'Ecouves, une partie de parcelle avait été marquée en abandon et l'autre marquée « en réserve ». Les guillemets s'imposent car il y a là un abus de langage, s'agissant en réalité d'une sélection d'arbres d'avenir, l'éclaircie devant se faire à leur profit (un véritable marquage en réserve aurait désigné tous les arbres à laisser sur pied). Quoiqu'il en soit, la comparaison de la productivité du bûcheronnage n'a pas conduit à observer un changement important entre les deux parties : 5,6 m³/heure machine pour la première et 5,4 pour la seconde. Il faut en outre nuancer le résultat du marquage « en réserve » par le fait que le chauffeur de la machine avait pour la première fois à choisir lui-même les tiges à prélever. Ce n'était donc pas un travail de routine pour lui, et il est fort probable qu'il n'y ait à terme aucune différence notable de la productivité entre les deux types de marquage. À confirmer avec d'autres suivis...

L'opérateur influence la productivité

Le nombre de chantiers suivis ne suffit pas pour faire ressortir un effet « opérateur » et encore moins le chiffrer. Toutefois, les observations lors des chronométrages et lors du suivi global de chaque chantier nous ont permis de constater des différences importantes d'auto-organisation. Par exemple, à Cherlieu-1, l'opérateur a passé 20 % de son temps à éliminer

du sous-étage et de la souille, alors qu'il n'avait pas de consigne en ce sens et que ce n'était techniquement pas nécessaire. Plusieurs mises au point avec lui n'ont pas réussi à lui permettre de perdre cette habitude, encore très fréquente, de « faire propre ». Ce type d'interventions demande, pour les opérateurs, des formations spécifiques.

Productivité des machines : les porteurs

La productivité des porteurs est très variable (tableau 5). Elle peut être classée en fonction de la charge utile (donc la puissance) des porteurs. En règle générale, c'est alors la distance de débardage qui est déterminante : pour une même catégorie d'engin, les productivités les plus fortes correspondent aux chantiers où les distances de débardage sont les plus courtes. En revanche, il ne semble pas y avoir

de lien avec le nombre et le type des produits à débarder. On aurait pu penser que les houppiers ou le bois énergie en vrac (regroupant tiges et houppiers) feraient baisser la productivité, comparés aux autres produits à moindre foisonnement (bois bûche de 2 m, billons de 3 à 4 m), mais les résultats observés ne confirment pas particulièrement cette hypothèse.

Performance des nouveaux engins ?

Les petits porteurs (charge utile de 4,5 à 9 tonnes), dont l'emploi est très limité jusqu'à présent en France, ont une productivité allant de 2,7 à 6,8 m³/heure machine et les moyens porteurs (11 à 13 tonnes) de 5,9 à 20,4 m³/heure machine. Le porteur chenillard (13 tonnes charge utile) testé sur les chantiers Der-1 et Der-2 a une productivité plutôt faible du fait d'une distance de débardage assez longue, mais aussi parce qu'il ne peut

pas se déplacer aussi vite qu'un porteur sur roues. De plus, les produits qu'il a débardés (billons de 4 m) n'occupaient pas toute la longueur potentielle de ses deux paniers ; une longueur de 5 mètres aurait été plus adaptée pour optimiser sa capacité. La productivité aurait donc pu être 25 % plus élevée, c'est-à-dire 7,4 à 7,6 m³/heure machine.

Au-delà des questions de productivité, le test de nouveaux porteurs petits à moyens porte aussi sur la comparaison de leurs impacts avec ceux des moyens porteurs plus classiques ; cet aspect est traité dans un article distinct (article suivant).

Charge moyenne par cycle de débardage ?

Le foisonnement important des produits, notamment du bois énergie en vrac (tiges et houppiers mélangés) ou des houppiers seuls, ne permet pas

Charge utile des porteurs	Forêt	Nombre de produits	Type de produits	Distance moyenne de débardage (m)	Productivité moyenne chantier (m ³ /heure machine, HM)	Productivité à l'heure machine productive, HMP (m ³ /heure machine)	Part de bois énergie pour transformation en plaquettes
Combi (4,5 tonnes)	Haut Juré	1	Bois énergie en vrac	400	2,1	2,2	100 %
5 tonnes	Bourse	1	Billons 3 m	350	2,7	5,7	100 %
	Ecouves	2	Bois bûche 2 m Billons 3 m	175	3,6		69 %
9 tonnes	Languimberg - 1	2	Billons 4 m Houppiers 4 - 7 m	300	4,5		42 %
	Languimberg - 2			300	6,8		39 %
11/12 tonnes	Languimberg - 2	2		300	10,0		39 %
12 tonnes	Fénétrange	2		500	11,2		29 %
	Cherlieu - 1	1	Bois énergie en vrac	233	20,4	34,0	100 %
	Cherlieu - 2			350	16,0		100 %
13 tonnes - chenillard	Der - 1	1	Billons 4 m	400	6,1		100 %
	Der - 2			400	5,9	12,1	100 %
Moyenne sans combi					8,7		

Tab. 5 : productivité des porteurs en lien avec la distance de débardage, le nombre et type de produits
Bistre = prudence pour les comparaisons, le combi coupe et débarde en même temps ; Gris = pas de mesures

de profiter pleinement de la charge utile des porteurs. La figure 3 montre qu'elle n'est jamais atteinte.

En moyenne, les porteurs travaillent 49 % en dessous de leur charge utile (gamme 39 à 65 %), même s'ils ont l'air de circuler toujours complètement chargés, jusqu'en haut du panier voire plus.

Conclusions

Les principaux enseignements des 11 chantiers de premières éclaircies que nous avons suivis de 2011 à 2013 sont les suivants :

- les machines testées ont réalisé un travail conforme aux objectifs techniques et toutes se sont révélées adaptées au travail qui leur a été demandé ;
- la densité totale des tiges à prendre en considération en tant qu'obstacles éventuels pour le

- bûcheronnage mécanisé (toutes les tiges de plus de 2,50 cm de diamètre à 1,30 m) peut facilement dépasser 3 000 tiges/ha. Elle a un effet sur la productivité, mais qui est difficile à chiffrer à cause du nombre important d'autres facteurs qui interviennent également ;
- les petites tiges (entre 2,50 et 7,50 cm de diamètre à 1,30 m) représentent en moyenne 38 % et au maximum 70 % de cette densité totale ; 2 à 26 % d'entre elles sont coupées pour faciliter l'accès de la tête de coupe aux tiges marquées, puis enlevées comme les produits d'éclaircie ou laissées sur place ;
- le sous-étage peut être préservé si nécessaire (cf. consignes sylvicoles) ; les cas de prélèvement supplémentaire dans le sous-étage ne viennent pas d'un impératif technique : ils sont plutôt liés aux habitudes des opérateurs des machines.

- les peuplements feuillus (chêne et hêtre) ayant bénéficié de dépressage au jeune stade sont en général composés d'arbres ayant une bonne conformation, une faible branchaison et un faible taux de fourchaison lors de la première éclaircie. Ces peuplements conviennent donc à une intervention mécanisée ;
- l'estimation volume des prélèvements à réaliser n'est pas précise avec les méthodes actuelles et la différence avec le prélèvement effectif est parfois assez importante ;
- la productivité des machines de bûcheronnage et des cisailles est faible (2,5 à 5,6 m³/heure machine), d'une part cause de la nécessité de préserver les tiges restantes (étage dominant et sous-étage) et d'autre part à cause du faible volume unitaire ; le travail à réaliser par tige ne peut pas être réduit ou rendu plus rapide avec la technologie actuelle ;
- la gamme de productivité des porteurs est plus étendue (2,7 à 20 m³/heure machine), principalement en fonction de la charge utile (porteurs testés : 5 à 13 tonnes) et de la distance de débardage (175 à 500 m).

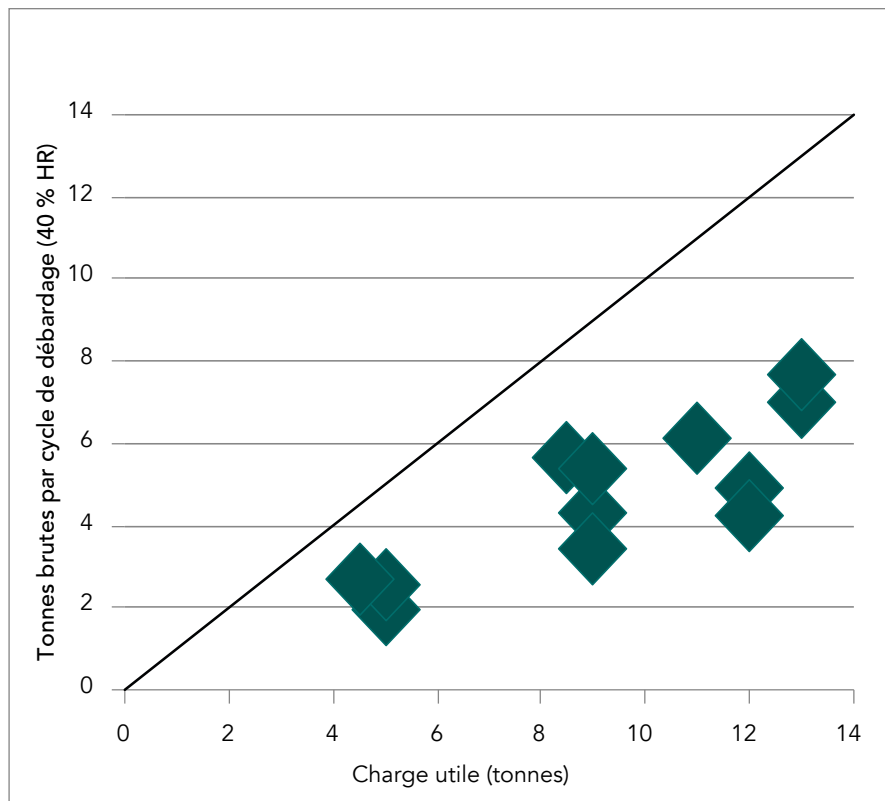


Fig. 3 : comparaison du tonnage moyen par cycle de débardage, calculé pour l'ensemble de la durée de chaque chantier, avec la charge utile des porteurs testés. HR = humidité relative

Erwin Ulrich

ONF, département
R&D-Innovation

Didier Pischedda

ONF, département
Commercial Bois

Philippe Ruch

Maryse Bigot*

Emmanuel Cacot

Xavier Montagny

FCBA, Equipe
Exploitation Forestière et
Approvisionnement Bois

Pascal George

ONF, département
R&D-Innovation

Julien Fraichot

FCBA, Equipe
Exploitation Forestière et
Approvisionnement Bois

* Aujourd'hui à l'ONF, département Commercial Bois

Enseignements du suivi des impacts sur les chantiers tests : une exploitation mécanisée des premières éclaircies feuillues respectueuse du sol et du peuplement

La mécanisation des opérations forestières suscite de nombreuses questions chez les propriétaires et les gestionnaires mais aussi dans le grand public, notamment en ce qui concerne l'impact des machines sur les arbres et sur le sol. S'agissant d'interventions dans des peuplements jeunes, ces interrogations sont particulièrement importantes et légitimes : il ne faut pas risquer d'altérer le capital sol ni compromettre la qualité des tiges d'avenir, lesquelles doivent encore croître pendant plusieurs décennies.

C'est pourquoi des relevés d'impacts au sol et aux arbres ont été effectués sur les 11 chantiers-tests de première ou deuxième éclaircie, de 2011 à 2013. L'objectif est de mesurer les incidences de la mécanisation de ces opérations et d'en tirer les enseignements nécessaires pour mener à bien ce type d'opération. Ces résultats complètent ainsi l'analyse globale des systèmes d'exploitation étudiés.

Différents types de matériels ont pu être évalués tant pour les machines dites de bûcheronnage (machines

conventionnelles équipées de tête de bûcheronnage de divers gabarits et pelles hydrauliques munies de cisaille), que pour les engins de débardage (du très petit porteur de 5 T de charge au moyen porteur plus conventionnel de 12 T de charge, ainsi qu'un engin chenillé à faible pression au sol). La liste des matériels inclut aussi un petit « harwarder », engin combiné réalisant l'abattage (*harvester* en anglais) et le débardage des arbres (*forwarder*). Ces tests ont impliqué 9 entreprises de travaux forestiers, certaines intervenant sur 2 voire 3 chantiers.

Forêt domaniale	Région	Essences principales	Type de produits récoltés	Machine de bûcheronnage (motricité – masse à vide)		Tête de récolte	Machine de débardage	Capacité de charge
Écouves	Normandie	Hêtre	Billons	4x4	10 T	Tête de bûcheronnage	Très petit porteur 8x8	5
Bourse	Normandie	Chêne	Billons	4x4	10 T	Tête de bûcheronnage	Très petit porteur 8x8	5
Der 1	Champagne Ardenne	Chêne	Billons	4x4	4 T	Tête de bûcheronnage	Porteur moyen chenillé	13
Der 2	Champagne Ardenne	Chêne	Billons	4x4	4 T	Tête de bûcheronnage	Porteur moyen chenillé	13
Fénétrange	Lorraine	Chêne	Billons	6x6	17 T	Tête de bûcheronnage	Porteur moyen 8x8 pneus de 940 mm	11
Lamguimberg 1	Lorraine	Chêne et hêtre	Billons	6x6	17 T	Tête de bûcheronnage	Porteur moyen 8x8 Pneus de 710 mm	9
Lamguimberg 2	Lorraine	Hêtre	Billons	6x6	17 T	Tête de bûcheronnage	Porteur moyen 8x8 pneus de 940 mm	11
Haut-Juré	Lorraine	Hêtre	Arbre entier	Petit harwarder avec grappin tronçonneur, 4x4, capacité de charge 4,5 t				
Lyons	Normandie	Chêne et hêtre	Arbre entier	Chenilles 16 T		Cisaille	Porteur moyen 8x8 pneus de 600 mm	11
Cherlieu 1	Franche-Comté	Chêne	Arbre entier	Chenilles 16 T		Cisaille	Porteur moyen 8x8 pneus de 710 mm	12
Cherlieu 2	Franche-Comté	Chêne	Arbre entier	Chenilles 16 T		Cisaille	Porteur moyen 8x8 pneus de 710 mm	12

Tab. 1 : principales caractéristiques des systèmes d'exploitation utilisés

Pour plus de détails voir dans ce dossier l'article sur les systèmes d'exploitation adaptés aux premières éclaircies feuillues.
NB : les couleurs des machines de débardages sont reprises dans la figure 1

Un protocole simplifié de relevé d'impacts

Le protocole mis en place pour cette étude a été défini conjointement par l'équipe Approvisionnement de l'institut technologique FCBA et par la cellule R&D Mécanisation de l'ONF. Il s'appuie sur le protocole harmonisé européen AIR3-CT94-2097, revu et simplifié pour les besoins de l'étude. L'objectif est d'évaluer facilement et rapidement la qualité des opérations d'exploitation forestière mécanisées à l'aide de trois indicateurs :

- le taux d'arbres blessés parmi les arbres dominants et codominants du peuplement,
- le taux de surface circulée, c'est-à-dire la surface parcourue par les engins rapportée à la surface de la parcelle,
- le taux d'orniérage (pourcentage du linéaire circulé qui est orniéré) réparti en 2 classes de profondeur : 5 à 15 cm et plus de 15 cm.

Ces éléments sont observés le long d'un transect qui traverse la parcelle (voir encadré).

Les impacts aux arbres : sensibiliser les pilotes pour une exploitation réussie

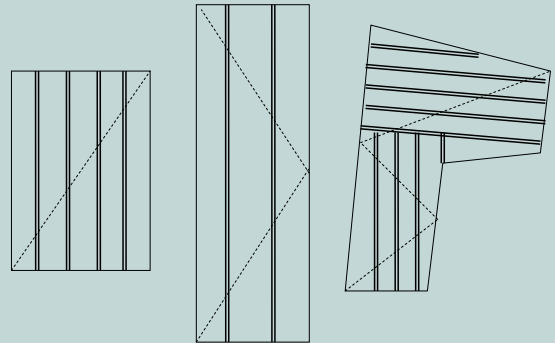
En ce qui concerne les dégâts aux arbres (figure 1), les résultats sont assez variables d'un chantier à l'autre avec des taux d'arbres blessés allant de 2 % pour les meilleurs chantiers jusqu'à 19 % pour le moins bon. Si l'on se réfère aux seuils définis par Cacot *et al.* en 2006 dans le cadre de l'Observatoire des impacts de l'exploitation forestière, 5 chantiers, c'est-à-dire près de la moitié, sont classés comme bons voire très bons avec un taux de blessures inférieur ou égal à 5 %. Il y en a cependant 5 autres qui, avec des taux de blessures de 11 à 19 %, sont de catégorie médiocre tandis qu'un seul, avec 6 %, est considéré comme moyen.

Plusieurs paramètres ont été analysés pour mettre en évidence leur éventuelle incidence sur le taux de blessure obtenu. Cette analyse ne

Description du protocole simplifié de relevés d'impacts

Détermination du transect : à partir du plan de la parcelle sur lequel sont reportés les cloisonnements, éventuellement subdivisé en zone homogène, il faut tracer la (ou les) diagonale(s) positionnée(s) à 45° (ou aussi près que possible de 45°) par rapport aux cloisonnements.

Exemples de tracés de transects (en pointillé), selon la forme de la parcelle et à l'orientation des cloisonnements



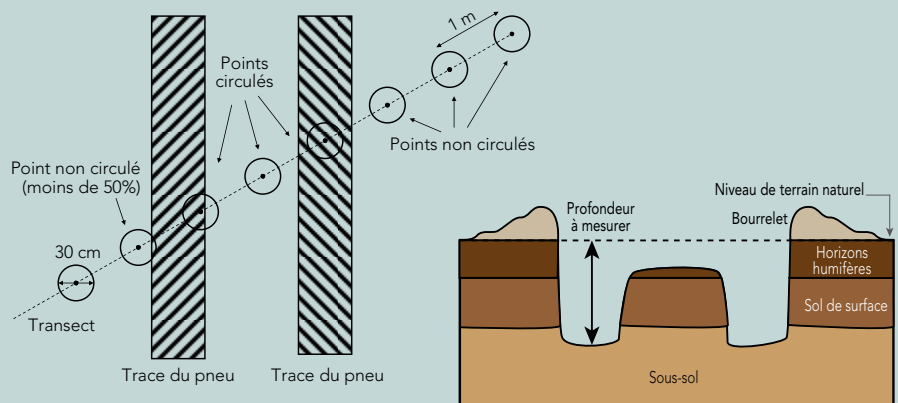
Les relevés liés aux arbres : le long du transect, et sur une bande de 2 ou 4 m de large selon la densité du peuplement pour inventorier au moins 200 arbres, on note le statut de tous les arbres de l'étage supérieur (dominant D, codominant CD) et la présence ou non d'une blessure. Une blessure est notée à partir du moment où l'écorce est décollée voire arrachée, sans considération de taille. On en déduit le taux de blessure par statut social, c'est-à-dire le nombre d'arbres blessés du statut considéré rapporté au nombre total d'arbres de ce statut. Les impacts aux arbres dominés ainsi qu'au sous-étage n'ont pas été évalués.

Les relevés liés aux impacts au sol : tous les mètres le long du transect on relève, dans un cercle de 30 cm de diamètre autour du point d'inventaire, l'état du sol le plus représenté en surface (par exemple, si la surface circulée représente moins de 50 % de la surface de ce disque, la surface est considérée comme non circulée ; voir schéma ci-dessous). À chaque point d'inventaire on note :

- 1/ si la machine a circulé et si c'est dans le cloisonnement ou en-dehors, en considérant comme circulée toute la surface entre le bord extérieur droit de la trace de pneu et le bord extérieur gauche de l'autre pneu, y compris l'espace entre les roues ;
- 2/ si la surface est orniérée, dans la classe 5-15 cm de profondeur ou dans celle de plus de 15 cm, sachant qu'une ornière se comptabilise dès que la trace s'enfonce de plus de 5 cm par rapport à la surface initiale du sol, sans tenir compte des éventuels bourrelets de terre latéraux (voir schéma ci-dessous).

À partir de ces relevés on calcule :

- le taux de surface circulée (mètres linéaires circulés/longueur du relevé au topofil),
- le taux de surface orniérée (mètres linéaires orniérés/longueur du relevé au topofil).



Protocole simplifié de relevés d'impacts et mesure de la profondeur d'une ornière

montre pas d'effet particulier de la densité (initiale et finale) ni de l'espacement entre cloisonnements sur le taux des arbres blessés. Elle ne montre pas non plus de différence selon le type d'outil, avec 2 à 15 % d'arbres blessés pour les têtes de bûcheronnage contre 4 à 19 % pour la cisaille (Lyons, Cherlieu 1 et 2), ni d'effet de l'intensité du prélèvement, ni de différence significative entre le chêne et le hêtre (figure 2).

Trois chantiers ont pu faire l'objet d'un suivi détaillé par opération. Pour les chantiers de Lyons et Der-2, l'intégralité des dégâts aux arbres est liée à l'opération de bûcheronnage. Mais il faut se garder de généraliser car sur le chantier de Fénétrange le porteur est responsable de plus de la moitié des dégâts.

En revanche, le suivi des chantiers de Cherlieu a donné une information déterminante. Ces chantiers ont été réalisés en période de sève (abatage fin juin et débardage début septembre) ce qui rend les arbres très sensibles, le moindre choc pouvant provoquer un décollement d'écorce. Le chantier Cherlieu-2 présente d'ailleurs le taux de blessure le plus élevé (19 %). Limiter les dégâts suppose une attention particulière du pilote de la machine lors des phases d'abatage et surtout lors de la manipulation des arbres pour les mettre au sol. Il faut impérativement travailler à distance des tiges restantes du peuplement, c'est-à-dire anticiper précisément les trajectoires du bras de la machine et des arbres contenus dans la tête de récolte. Cette consigne, lorsqu'elle s'accompagne d'une réelle information du pilote, permet de diminuer considérablement les blessures aux arbres. C'est ce qui a été très concrètement observé à Cherlieu : au vu de l'importance des dégâts constatés au démarrage du chantier, le pilote a été sensibilisé à l'importance de la préservation des tiges d'avenir et le taux de blessures a fortement diminué, passant de

19 % (Cherlieu-2) à 4 % (Cherlieu-1), soit au niveau des meilleurs chantiers hors sève et ceci sans chute notable de la productivité.

Les impacts au sol

Des surfaces circulées acceptables

Les surfaces circulées représentant entre 18 et 33 % de la surface totale de la parcelle (figure 3), ce qui correspond en moyenne à des entre axes de cloisonnements d'exploitation compris entre 12 et 19 m. Les engins de bûcheronnage et de débardage ont emprunté les cloisonnements d'exploitation et les ont très rarement quittés.

La portée des grues des machines de bûcheronnage, habituellement comprise entre 6 m pour les petites machines et jusqu'à 10 m pour les plus grosses machines de bûcheronnage, conditionne fortement cette surface circulée. Dans le cas des chantiers du Der, la petite machine de bûcheronnage utilisée (Vimek 404 T4, poids

à vide 4,1 tonnes, largeur de l'engin 1,80 m, portée de la grue 4 m max) a nécessité l'utilisation temporaire (éphémère) des cloisonnements sylvicoles préexistants (voir encadré p. XX et photo ci-contre). L'opération a été jugée satisfaisante, avec des surfaces circulées de 26 et 28 %, et quasiment pas d'orniérage. Cependant le dispositif ne sera pas reconduit pour la deuxième éclaircie. La surface circulée s'en trouvera normalement réduite aux seuls cloisonnements d'exploitation mais, dans la parcelle Der-1 où ils sont distants de 28 m d'axe en axe, cette prochaine éclaircie ne pourra pas être entièrement réalisée par une machine de bûcheronnage.

Les faibles pourcentages de circulation hors cloisonnement d'exploitation sont essentiellement liés aux porteurs, qui ne peuvent pas atteindre les produits dans certaines situations : l'écartement entre cloisonnement d'exploitation est parfois trop grand, car l'entre axe n'est pas toujours strictement le même sur toute une parcelle.



Erwin Ulrich, ONF

Utilisation éphémère d'un cloisonnement sylvicole par la petite machine de bûcheronnage VIMEK 404 T4

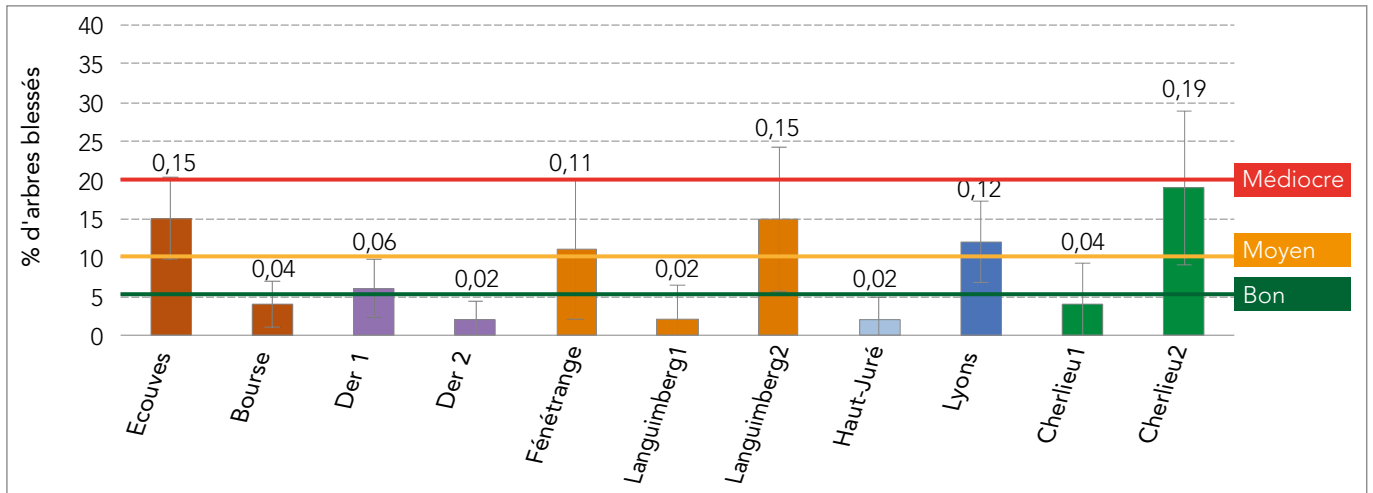


Fig. 1 : impacts aux arbres dominants et co-dominants (intervalle de confiance à 95 %) Les couleurs correspondent aux différents types de machine, voir tableau 1. Seuils qualitatifs selon Cacot et al. 2006.

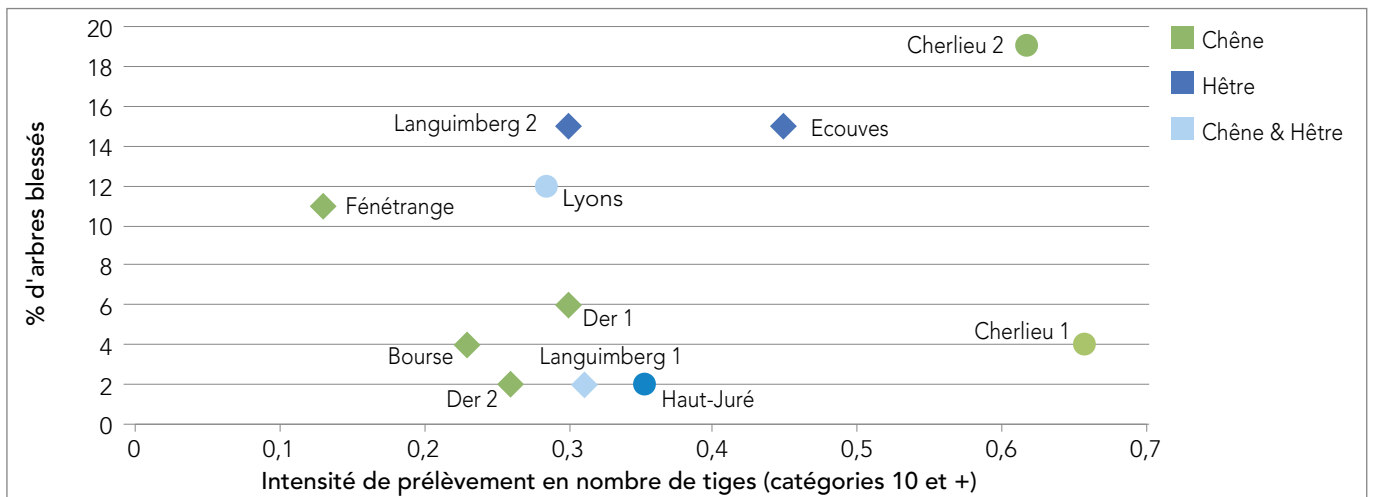


Fig. 2 : impacts aux arbres en fonction de l'intensité de prélèvement, du type de produit et de l'essence

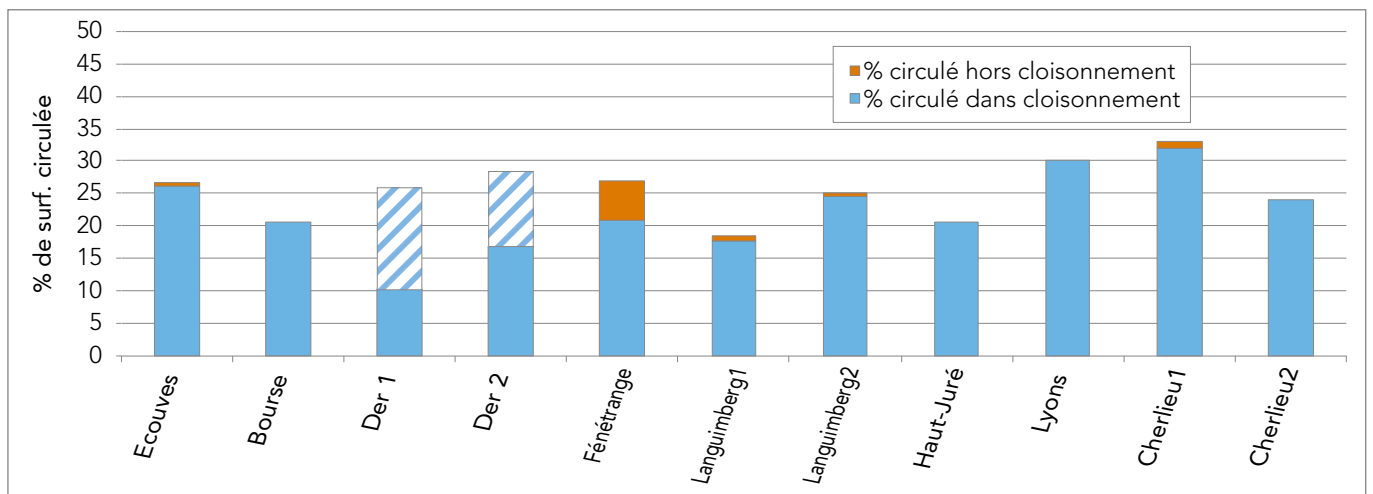


Fig. 3 : pourcentage de la surface parcellaire circulée par les engins de bûcheronnage et de débardage, par chantier, dans les cloisonnements d'exploitation et en dehors La partie hachurée correspond à l'utilisation éphémère de cloisonnements sylvicoles par la petite machine de bûcheronnage.

Des cloisonnements à préserver pour les opérations futures

Ces chantiers ont également permis de tester divers matériels et équipements avec l'idée de préserver le sol des cloisonnements pour en conserver les qualités dans le temps :

- plusieurs types de porteur à pneus, de la gamme des très petits porteurs (4 à 5 T de charge) jusqu'au porteur plus conventionnel de 12 T;
- des équipements spécifiques : tracks ou semi-chenilles à tuiles plates destinés à augmenter la surface de contact au sol de façon à diminuer la pression exercée au sol, ainsi que des pneus de 940 mm de large, la norme standard actuelle étant plutôt de 600 ou de 710 mm;
- un porteur chenillé à faible pression au sol, inédit en France, le Timbear Lightlogg C, utilisé pour les débardages des chantiers du Der (photo).

L'automne 2011 s'étant révélé exceptionnellement sec, la performance du Timbear Lightlogg C sur sol humide n'a pas pu être testée sur les chantiers du Der. Néanmoins cet engin a pu être utilisé en une autre occasion

en Moselle, durant la période très humide de fin 2013 à début 2014. S'il a effectivement permis de débarder les bois alors que les porteurs classiques étaient déjà arrêtés dans la région, il a tout de même fallu le stopper au bout de quelques jours. Ce type d'engin repousse les limites d'utilisation sur sol sensible mais pas dans des proportions considérables.

Globalement, 3 chantiers (Bourse, Der 1 et 2) se sont déroulés dans des conditions de sol sec avec par conséquent très peu d'impacts de type orniérage; pour 4 autres (Haut-Juré, Lyons, Cherlieu 1 et 2) le sol était « frais » et les 4 derniers (Ecouves, Fénétrange, Languimberg 1 et 2) étaient en situation de sol « humide à très humide ». Les résultats de ces chantiers montrent clairement que, lorsque les conditions viennent à se dégrader, plus le porteur est lourd plus l'orniérage est important (en surface et en profondeur) (figure 4).

À Fénétrange, un essai a été réalisé avec un porteur moyen (HSM 208 F11T) équipé des pneus les plus larges disponibles sur le marché (940 mm), pour tester leur effet sur sol sensible

à l'état humide. Bien que l'engin ait porté en moyenne moins de 50 % de sa charge utile, l'orniérage s'est révélé trop important. Le développement de solutions limitant les impacts au sol est donc toujours d'actualité.

Conclusions

Au cours de ces 11 chantiers d'exploitation dans des peuplements feuillus, il n'a pas été mis en évidence de différence au niveau de l'impact aux arbres entre les différents systèmes d'exploitation forestière. Ni le type d'outil (tête de bûcheronnage, cisaille), ni l'intensité du prélèvement, ni la période d'exploitation n'ont une influence déterminante sur les taux de d'impacts observés. Ils sont peu élevés (5 % ou moins d'arbres touchés) à partir du moment où le pilote de la machine de bûcheronnage est conscient des risques engendrés par son activité. Il est de ce fait vivement recommandé de sensibiliser les pilotes et de les accompagner lors du démarrage du chantier pour pouvoir réagir le plus vite possible le cas échéant. Une qualification ou habilitation spéciale des pilotes pourrait même être envisagée.

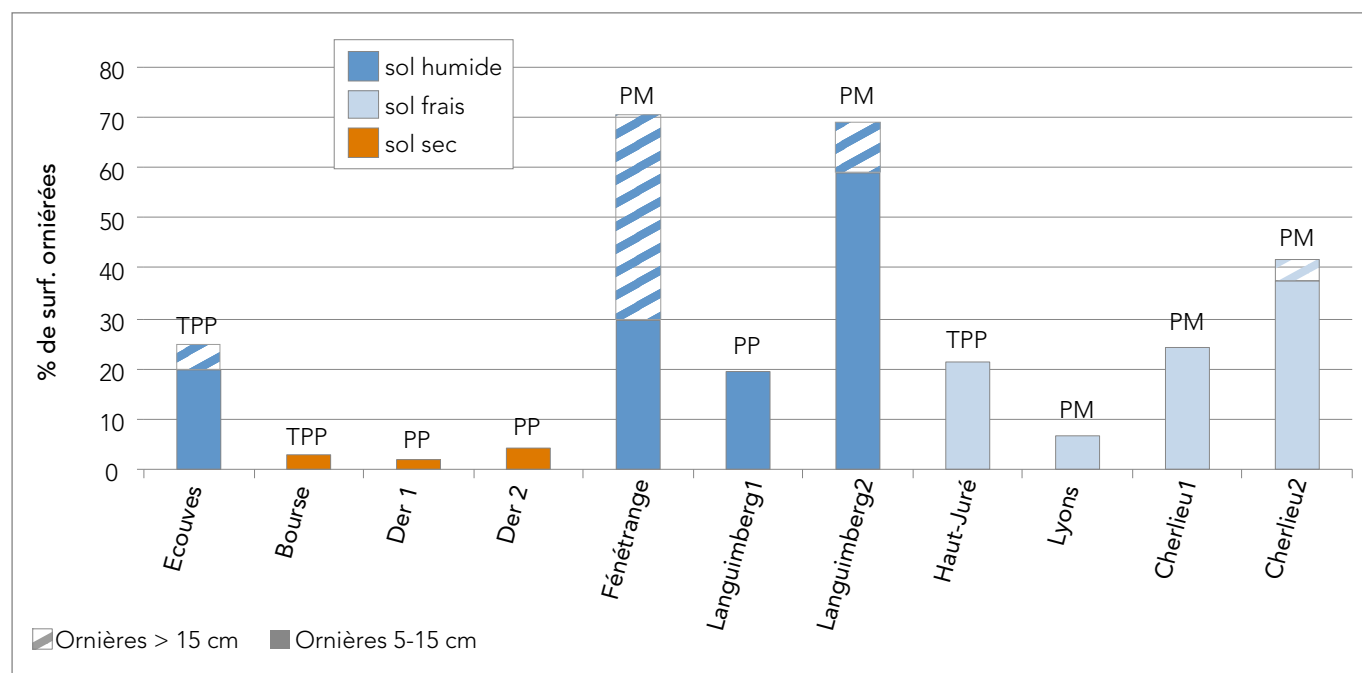


Fig. 4 : orniérage de la surface circulée des chantiers (proportion et profondeur)

TPP = très petit porteur 4 à 6 T de charge; PP = petit porteur de 7 à 10 T de charge; PM = porteur moyen 11 à 13 T de charge

Ces observations ne font que confirmer les conclusions de l'observatoire des impacts de l'exploitation forestière sur le rôle capital des pilotes dans la préservation des tiges restantes du peuplement.

Idéalement, pour une mécanisation complète des opérations depuis les cloisonnements d'exploitation et uniquement depuis ces cloisonnements, les entre-axes doivent être de 16-18 m maximum, permettant de sorte que tous les engins puissent atteindre le milieu de l'interbande sans quitter le cloisonnement. Avec une largeur du cloisonnement de 4 m, cela correspond à des surfaces circulées de 22 à 25 %.

Intervenir en conditions optimales, c'est-à-dire sur sol sec, est encore la meilleure des solutions, quelle que soit la taille du porteur. Si les conditions se dégradent, et ce jusqu'à une certaine limite en fonction du type de sol et des conditions locales, les petits porteurs ou très petits porteurs équipés de semi-chenilles ou tracks extra plats (seulement sur sol plat jusqu'à une

pente maximale de 10 %) sont une bonne solution pour débarder.

Ces chantiers ont permis de montrer que moyennant certaines précautions, l'exploitation mécanisée des jeunes peuplements feuillus, à l'instar des peuplements résineux, peut être réalisée avec des impacts très limités.

Philippe Ruch
Julien Fraichot
Xavier Montagny
Maryse Bigot*
Emmanuel Cacot

FCBA, Equipe
Exploitation Forestière et
Approvisionnement Bois

Erwin Ulrich
Pascal George

ONF, département
R&D-Innovation

Dominique Goetsch
ONF, agence de Sarrebourg

Didier Pischedda
ONF, département
Commercial Bois

* aujourd'hui à l'ONF,
département Commercial Bois

Bibliographie

Cacot E. *et al.*, 2006. Observatoire des bonnes pratiques environnementales en exploitation forestière. Convention DGFAR/AFOCEL n° 61.45. 80.41/04. Rapport final. AFOCEL. 48 p. + annexes

Cacot E., Peuch D., 2006. Observatoire des impacts de l'exploitation forestière. AFOCEL, Fiche Informations-Forêt n° 733 – 6 p.

Pischedda D. *et al.*, 2009. Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « Prosol ». Guide Pratique. ONF, FCBA. 110 p.



Porteur chenillard Timbear Lightlogg C en chargement dans la parcelle



Bois rond 4 m (1^{ère} éclaircie)

Erwin Ulrich, ONF

Chantiers test de premières éclaircies feuillues mécanisées : résultats économiques

Quel est le bilan financier des premières éclaircies feuillues mécanisées ? Pour répondre à cette question cruciale, une analyse économique a été réalisée pour tous les chantiers étudiés. S'agissant de chantiers test en situations très variées, les résultats obtenus permettent de dessiner des tendances et de tirer un certain nombre d'enseignements. Mais il ne s'agit en aucun cas de valeurs de référence.

Par ailleurs, le prix de vente du bois énergie a beaucoup progressé entre le début des essais (2011) et la rédaction de cet article. Cette évolution des prix (de l'ordre de +15 à +20 % pour le bois énergie bord de route non broyé) a un impact significatif sur le bilan financier des opérations ; nous y reviendrons.

Signalons également que les coûts d'exploitation calculés dans cet article concernent uniquement les coûts de revient techniques imputables directement à la mécanisation des opérations de bûcheronnage et de débardage. Pour établir le coût de mobilisation complet, il faudrait rajouter notamment les frais de marquage, de suivi de chantier et de commercialisation. Dernière remarque : tous les coûts et prix évoqués ici sont exprimés en euros hors taxes.

Le coût de revient technique des différentes machines

La plupart des machines testées n'interviennent pas ordinairement dans de jeunes de peuplements feuillus : il n'existe donc pas de tarifs moyens pratiqués auxquels on puisse se référer. En conséquence,

il a été décidé de baser l'étude des différents chantiers sur le **coût de revient technique**, c'est-à-dire le **coût direct d'une machine et de son opérateur**. Ce coût n'intègre pas les frais de structure de l'entreprise (salaires et charges liées au personnel d'encadrement, loyers des bureaux et ateliers, taxes et impôts...) ni la marge. Il ne correspond donc pas à un prix de vente, qui résulte de la négociation entre le client et le prestataire.

Le coût de revient technique se décompose en 3 grandes rubriques (tableau 1) :

- **les charges fixes** : amortissement ou crédit-bail de la machine, frais financiers liés au crédit, assurance de la machine ;
- **les frais de fonctionnement** : carburant, lubrifiants, outillage et fournitures, entretiens, réparations, service après-vente, frais de transfert entre chantiers ;
- **les frais de personnel** : salaires et charges, frais de déplacement des conducteurs de machines.

Les subventions d'investissement, non systématiques et variables d'une région à l'autre, ne sont pas intégrées dans le calcul des coûts techniques pour cette étude. Ils sont, par contre, parfois pris en compte par les exploitants dans leurs propres calculs de coûts de revient et viennent alors en déduction des charges fixes.

Le coût de revient technique a été calculé à l'aide du progiciel PROCOU, développé par l'institut technologique FCBA, dont une version est disponible sur le site www.exploitmc.fr.

Les coûts de revient techniques moyens obtenus pour les machines de

bûcheronnage et pelles hydrauliques varient entre 74 et 109/heure machine (tableau 2). Ceux des porteurs varient entre 61 et 83/heure machine. Ces valeurs sont directement liées au prix d'achat des engins et sont généralement corrélées avec les capacités des machines (voir l'article sur les systèmes d'exploitation).

Ce coût de revient technique horaire doit être impérativement rapporté à la productivité des machines pour établir le coût technique d'exploitation par unité de volume. En effet, une machine à faible coût horaire peut ne pas être économiquement la plus intéressante si elle est pénalisée par une faible productivité. Ainsi, les coûts techniques de débardage avec le petit porteur Novotny se sont avérés les plus élevés pour l'ensemble des chantiers, vu la très faible productivité horaire constatée (tableau 3).

Présentation des coûts techniques d'exploitation observés sur les chantiers test

Les coûts techniques d'exploitation ont été établis à partir des productivités moyennes mesurées sur les 11 chantiers test (voir l'article correspondant). Le tableau 3 (p. 46) présente les résultats pour chaque opération prise individuellement (bûcheronnage et débardage) par unité de volume (m^3). Il indique aussi le coût global d'exploitation, exprimé de même par unité de volume (m^3) mais également par tonnage (tonne sèche et tonne brute à 40 % d'humidité) et par unité de surface (ha). Il s'agit donc toujours des coûts d'exploitation liés aux deux machines, sauf en FD du Haut-Juré où une seule machine a réalisé les deux opérations, mais où il a été

Rubriques	Postes	Hypothèses
Charges fixes	Valeur d'achat	Communiquée par le constructeur
	Durée d'amortissement	5 ans pour une machine de bûcheronnage et pelle hydraulique (y compris Biokombi) 6 ans pour un porteur
	Valeur de revente	Estimation de la valeur résiduelle, d'après les barèmes du Journal de la Mécanisation forestière, au bout de la durée d'amortissement : 10 % de la valeur d'achat pour les machines de bûcheronnage et les pelles hydrauliques, 20 % pour les porteurs
	Taux des frais financiers	4 %
	Assurance	1 % de la valeur d'achat
Frais de fonctionnement	Consommations en carburants et lubrifiants	Communiquée par le constructeur et validée avec les données recueillies sur les chantiers le cas échéant
	Entretien/réparation	7 % de la valeur d'achat par an pour les machines de bûcheronnage et 5 % pour les porteurs et pelles hydrauliques (+ frais d'entretien/maintenance de la cisaille).
	Transport de la machine	6 000 €/an environ 2 transferts/mois
Frais de personnel	Salaires + charges	Conducteur de machine de bûcheronnage : 42 k€/an Conducteur de machine de porteur et pelle hydraulique : 36 k€/an
	Frais de déplacement	Paniers repas, frais du véhicule...
	Autres (Équipements de protection, téléphone...)	1 000 €/an

Tab. 1 : principales hypothèses de calcul pour l'établissement des coûts techniques

Machine conduite par entrepreneur de travaux forestiers, sur une base de 220 jours travaillés par an et 1700 heures machine annuelles.

Caractéristiques des machines				Coût de revient technique
Type de machine	Marque et type	Portée de la grue (m)	Charge utile pour les porteurs (tonnes)	€/heure machine Base : Procou/FCBA
Machine de bûcheronnage	SIFOR 414	6,8		97
	VIMEK 404 T4	4,0		76
	HSM 405 H1	10,0		109
Pelle hydraulique	DOOSAN 140 DX	7,8		74
	HYUNDAI LCR 145	7,8		74
Combi (les deux en un)	VIMEK Biokombi 608.2	5,2	4,5	63
Porteur	NOVOTNY LVS 5000	6,1	5	61
	HSM 208 F 9	10,0	9	71
	HSM 208 F 11/12 (940 mm)	8,6	11/12	83
	LOGSET 5F	8	12	81
	TIMBEAR Lightlogg C	8,0	13	82

Tab. 2 : coûts de revient technique horaires moyens des machines

nécessaire de faire intervenir des bûcherons pour abattre les arbres hors de portée de la grue. Le coût des bûcherons a été intégré dans le coût de revient global du Biokombi pour ce chantier.

Les résultats peuvent aussi s'analyser par catégorie de peuplements et par système d'exploitation (encadré ci-contre).

Dans les peuplements de classe ②, le système étudié qui présente le coût technique d'exploitation le plus faible est celui des tronçons d'arbres entiers exploités avec une pelle hydraulique équipée d'une cisaille. Ce constat est basé sur des calculs exempts des aléas des chantiers (dont le volume prélevé à l'hectare); il est donc vraiment basé sur les seules performances techniques de chaque système d'exploitation. De plus, les performances observées à Cherlieu pourraient être encore meilleures.

En effet, le suivi chronométrique du chantier a mis en évidence une amélioration (cesser de couper toutes les petites tiges du sous-étage voire de la souille pour « faire propre ») qui permet d'espérer des gains de productivité de l'ordre de 15 à 20 %. Il convient de signaler que ce système d'exploitation s'est largement imposé dans la récolte de bois énergie au cours des dernières années.

L'utilisation de machines de bûcheronnage (Languimberg-1, Ecouves et Bourse), dont le coût horaire est plus élevé que celui des pelles hydrauliques, fait grimper le coût de l'opération. Leur productivité reste faible comparée à leur performance en premières éclaircies résineuses (en grande partie du fait du petit volume unitaire des arbres) et ne permet donc pas de compenser le surcoût.

Par ailleurs, l'utilisation d'un très petit porteur (5 T de charge utile) à Ecouves et Bourse augmente considérablement le coût du débardage

Coûts techniques observés sur les chantiers tests par classe de peuplement* et système d'exploitation

Classe ②: densité de moins de 2 500 tiges/ha et diamètre moyen à 1,30 m des tiges prélevées compris entre 12 et 17,5 cm

- **Tronçons d'arbres entiers**
cisaille sur pelle hydraulique + porteur moyen : 22 et 29,3 €/m³ (Cherlieu-1 et Cherlieu-2)
- **Tronçons d'arbres (fin bout 7 cm)**
cisaille sur pelle hydraulique + porteur moyen : 23,9 €/m³ (Lyons)
- **Billons (fin bout 7 cm) + cimes**
machine de bûcheronnage moyenne + porteur moyen : 28 €/m³ (Fénétrange) machine de bûcheronnage + petit porteur : 35,2 €/m³ (Languimberg-1)
- **Billons (fin bout 7 cm)**
petite machine de bûcheronnage + très petit porteur : 34,3 et 61,4 €/m³ (Écouves et Bourse)

Classe ③: densité de plus de 2500 tiges/ha et diamètre moyen des tiges prélevées < 12 cm

- **Tronçons d'arbres entiers** (petites tiges); petit Biokombi + bûcherons : 41,3 €/m³ (Haut-Juré) soit 1690 €/ha

Classe ④: densité de plus de 2500 tiges/ha et diamètre moyen des tiges prélevées compris entre 12 et 17,5 cm

- **Billons (fin bout 7 cm) + cime**
machine de bûcheronnage moyenne + porteur moyen : 29,3 €/m³ (Languimberg-2)
- **Billons (fin bout 4 cm)**
petite machine de bûcheronnage + porteur moyen chenillé : 38,0 et 38,4 €/m³ (Der-1 et Der-2)

*voir aussi p. 20 la clé de classement des peuplements pour la mécanisation des premières éclaircies

avec respectivement 17 et 22,7 €/m³, soit 3 à 4 fois plus que pour les chantiers sur lesquels a travaillé un porteur de capacité moyenne (11-12 T de charge utile). Le constat est similaire pour le petit porteur (9 T) à Languimberg1 avec un doublement du coût du débardage.

Dans le peuplement de classe ④, composé de petites tiges, l'intervention d'un petit engin combiné présente un coût relativement élevé : 11,1 €/m³ pour l'abattage manuel des tiges hors de portée de l'engin et 30,2 €/m³ pour le travail mécanisé de bûcheronnage et débardage réa-

lisé avec ce combiné. Cependant la vente des produits permet de réduire le coût de l'opération (voir le bilan financier des opérations).

Dans les peuplements de classe ⑤, les coûts techniques de bûcheronnage restent relativement élevés quelle que soit la taille de la machine de bûcheronnage (20,6 €/m³ pour la HSM H1 à Languimberg-2 et 24,5 €/m³ pour la petite Vimek 404 T4, Der-1 et Der-2). Sur ces chantiers, la faible productivité du porteur chenillé Timbear Lightlogg (6,0 m³/hm) pour une distance moyenne de débardage de 400 m est pénalisante.

Essai de synthèse sur les coûts techniques d'exploitation

Ces observations permettent de dresser, pour les coûts techniques d'exploitation, un bilan global qui concerne 10 chantiers tests sur les 11 étudiés (le chantier du Haut-Juré en est exclu). Ces 10 chantiers ont en commun d'être entièrement mécanisés (pas de bûcheronnage manuel complémentaire), de bien distinguer les opérations de bûcheronnage et débardage (machines différentes), et de s'adresser à des peuplements où le diamètre moyen des tiges prélevées est compris entre 12 et 17,5 cm (classe ② et ⑤). Pour ces 10 chantiers, les points saillants sont les suivants :

- Le coût technique moyen par m³ s'élève à 31,8 € (fourchette de 22 à 61,4 €/m³). Il devrait pouvoir sensiblement baisser avec des équipes expérimentées dans ces jeunes peuplements feuillus. L'expérience aidant, on peut légitimement espérer des gains de productivité, en particulier pour les opérations de bûcheronnage. Une amélioration de la performance de 20 % sur cette opération permettrait d'amener le coût moyen global (bûcheronnage + débardage) à 28 €/m³.
- Pour les opérations de bûcheronnage, il ressort clairement que les pelles hydrauliques équipées de cisaille sont les plus performantes économiquement. L'analyse de la productivité en fonction du volume unitaire des tiges, à partir de chronométrages réalisés sur un échantillon d'arbres (voir l'article de présentation des 11 chantiers), met en évidence qu'elles ont les coûts techniques à l'unité de volume les plus faibles dans la gamme de volumes unitaires étudiés (figure 1). À l'opposé, la machine de bûcheronnage la plus puissante (HSM 405 H1) est très pénalisée dans ces arbres de volume unitaire très faible. NB : cette analyse se base sur les productivités par heure machine productive

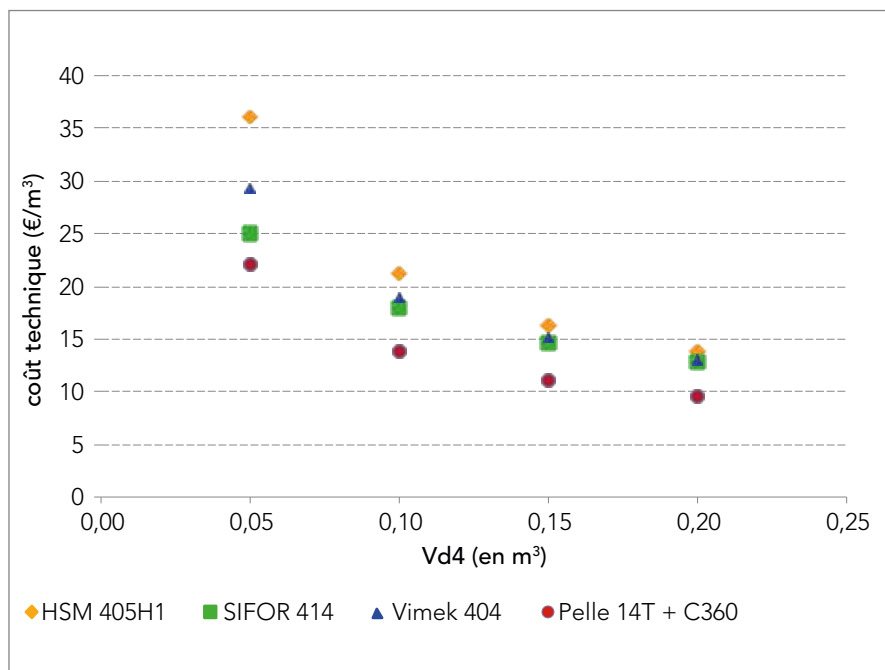


Fig. 1 : coût technique à l'unité de volume (€/m³) des machines de bûcheronnage et pelles hydrauliques équipées de cisaille, en fonction du volume unitaire des tiges à la découpe 4 cm (Vd4)

(voir dans l'article sur les résultats la figure 2, p. 32), affectées d'un facteur de 0,8. Ce facteur est une moyenne observée sur la majorité des chantiers de tous types, au-delà de nos chantiers tests. On obtient ainsi une productivité « chantier » par heure machine « normale », intégrant les phases improductives : entretien de la machine pendant que le moteur tourne, petites pauses, déplacements sur le chantier, etc.

- Pour les opérations de débardage, les porteurs moyens (11 à 12 T de charge) à roues (les plus répandus en France), présentent de loin les performances économiques les plus intéressantes (de 4 à 8 €/m³). À volume d'heures annuelles travaillées identique, leur meilleure capacité de charge leur permet d'être beaucoup plus productifs que les petits et très petits porteurs (de 15,2 à 22,8 €/m³) et de compenser largement un coût horaire plus élevé (tableau 4).

Sur l'ensemble des 11 chantiers, les **coûts techniques rapportés à l'hectare** s'élèvent en moyenne à

1904 €/ha (fourchette de 1 131 à 4 014 €/ha). Ces valeurs sont, bien sûr, fortement dépendantes du prélèvement à l'hectare (de 18 à 137 m³/ha pour les différents chantiers).

Bilan financier des opérations : solde de la vente des produits après déduction des coûts techniques

Toutes les opérations ont donné lieu à une vente de produits. Bien qu'il existe des spécificités locales, il a été décidé d'uniformiser les prix de vente pour pouvoir comparer les différents chantiers entre eux. Les prix moyens de vente retenus, **bord de route en euros hors taxes par tonne humide** (40 %), sont les suivants :

- 40 €/T pour Bois d'Industrie (BI), le Bois Énergie bûches (BE bûches) ou le Bois Énergie sous forme de billons (fin bout 7 cm) ;
- 35 €/T pour du Bois Énergie sous forme de billons (fin bout 4 cm), destiné à être décheté ;
- 30 €/T pour du Bois Énergie sous forme de cimes ou de tronçons d'arbres (donc non ébranchés), destiné à être décheté.

Chantiers	Caractéristiques produits			Caractéristiques machines		Productivité moyenne chantier m ³ /heure machine	Coût de revient technique d'exploitation			
	Nbre de produits	Type de produit(s)	Ø fin bout (du dernier produit)	Machine	Type de machine		Par opération €/m ³ (réel)	Global, pour le bûcheronnage et le débardage €/m ³ (réel)	€/tonne sèche	€/tonne brute (40 % d'humidité)
Haut Juré	1	Bois Énergie en tronçons d'arbres	0	Vimek Biokombi 608.2 + abattage manuel partiel	Combi (les deux en un)	2,1	41,3	67,2	40,3	1690
Cherlieu 1	1	Bois Énergie en tronçons d'arbres	0	Doosan 140 DX	Pelle hydraulique	4,1	18,0	38,0	22,8	2691
				Logset 5F	Porteur	20,4	4,0			
Cherlieu 2	1	Bois Énergie en tronçons d'arbres	0	Doosan 140 DX	Pelle hydraulique	3,1	24,3	50,6	30,3	4014
				Logset 5F	Porteur	16,0	5,1			
Lyons	1	Bois Énergie en tronçons d'arbres	7	Hyundai LCR 145	Pelle hydraulique	3,8	19,5	41,2	24,7	1701
				Logset 5F	Porteur	18,2	4,5			
Languiberg 1	2	Billons BI 4 m et cimes BE	0	HSM 405 H1	Machine de bûcheronnage	5,6	19,5	57,3	34,4	1961
				HSM 208 F 9	Porteur	4,5	15,8			
Fénétrange	2	Billons BI 4 m et cimes BE	0	HSM 405 H1	Machine de bûcheronnage	5,3	20,6	48,2	28,9	1505
				HSM 208 F 11/12	Porteur	11,2	7,4			
Bourse	1	Billons BE 3 m	7	SIFOR 414	Machine de bûcheronnage	2,5	38,8	105,8	63,5	1131
				Novotny LVS 5000	Porteur	2,7	22,6			
Ecouves	2	Bois bûche 2 m et billons BI 3 m	7	SIFOR 414	Machine de bûcheronnage	5,6	17,3	55,7	33,4	1598
				Novotny LVS 5000	Porteur	3,6	16,9			
Der 1	1	Billons BE 4 m	4	Vimek 404 T4	Machine de bûcheronnage	3,1	24,5	65,4	39,3	1233
				Timbear Lightlogg C	Porteur	6,1	13,4			
Der 2	1	Billons BE 4 m	4	Vimek 404 T4	Machine de bûcheronnage	3,1	24,5	66,2	39,7	1369
				Timbear Lightlogg C	Porteur	5,9	13,9			
Languiberg 2	2	Billons BI 4 m et cimes BE	0	HSM 405 H1	Machine de bûcheronnage	5,2	21,0	47,6	28,5	2050
				HSM 208 F 11/12	Porteur	10,0	8,3			
Moyenne des chantiers						4,1	22,8	34,6	58,5	1904
						Machines de bûcheronnage				
						9,0	9,0	Porteurs		

Tab. 3 : coûts de revient technique d'exploitation par chantier

Les résultats suivants (tableau 4, figure 2) devront donc être modulés en fonction des prix de marché observés dans le contexte local.

En se basant sur ces hypothèses de prix de 2014, il s'avère que la vente des produits compense le coût technique des opérations d'exploitation pour 7 chantiers (contre 2 seulement en 2011/2012, avec les prix de marchés réels de l'époque). Les opérations les plus intéressantes financièrement, après déduction des coûts techniques,

concernent surtout les chantiers réalisés en tronçons d'arbres entiers avec pelle hydraulique; viennent ensuite les chantiers réalisés avec les machines de bûcheronnage et porteurs moyens ou petits. Il faut remarquer que, sur tous les chantiers où il y a eu récolte conjointe des cimes en BE et de BI dans les tiges, le prix de vente de ces cimes (30 €/T) permet d'obtenir un solde positif ou même d'améliorer ce solde quand il était déjà positif. En ce qui concerne les 4 autres chantiers, il faut noter que :

- les chantiers du Der sont doublement pénalisés, avec des coûts techniques élevés à la fois pour la machine de bûcheronnage (petite machine) et l'engin de débardage (porteur chenillé); le solde n'est toutefois que légèrement négatif;
- le solde beaucoup plus négatif du chantier de Bourse est lié au très faible prélèvement à l'hectare (18,4 m³/ha) qui a pénalisé la productivité des 2 machines utilisées, caractérisées par des coûts techniques horaires plutôt élevés, et qui a également limité les recettes;
- le chantier de Haut-Juré, qui est le seul concerné par des tiges de très faible volume unitaire, voit la vente des produits couvrir près des 3/4 des frais d'exploitation. Le coût de cette opération d'éclaircie est donc ramené à seulement 434 €/ha.

Rappelons enfin que pour une étude économique complète il faudrait rajouter les coûts « agent » liés à la mobilisation de cette matière, et qu'il ne faut pas confondre coûts techniques et « tarifs entreprise ».

	Prix 2014	Prix 2011/12
Haut-Juré	74 %	58 %
Cherlieu 1	154 %	120 %
Cherlieu 2	116 %	90 %
Lyons	140 %	109 %
Languimberg 1	104 %	81 %
Fénétrange	128 %	99 %
Bourse	63 %	49 %
Ecouves	116 %	90 %
Der 1	89 %	69 %
Der 2	89 %	69 %
Languimberg 2	127 %	99 %

Tab. 4 : ratio recette/coût technique d'exploitation
Le fond bistre indique les chantiers avec un ratio conduisant à un bilan financier positif

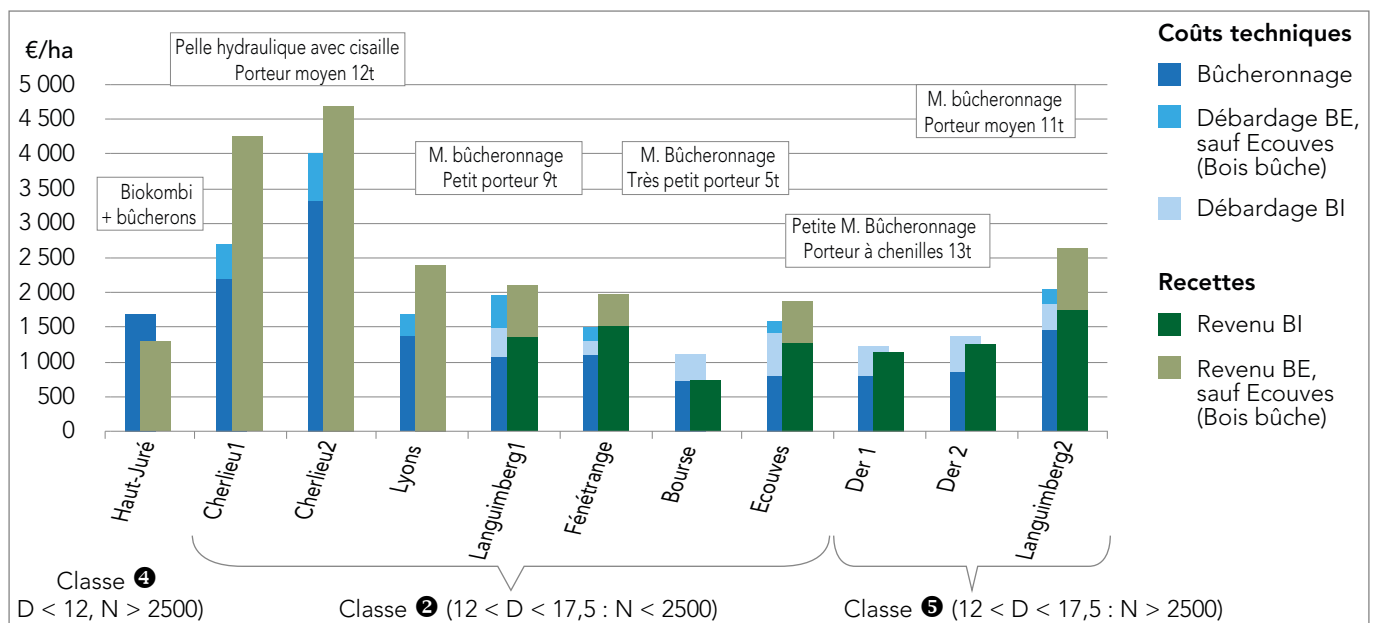


Fig. 2 : bilan financier par chantier; recettes par type de produits à droite (suivant les hypothèses de prix de vente bord de route indiquées dans le texte) et coûts techniques des opérations de bûcheronnage et de débardage à gauche (sauf pour Haut-Juré : bûcherons + Biokombi)

Quand le bilan financier devient-il positif ?

Pour essayer d'approfondir la question de ce qui fait basculer le bilan en positif, la figure 3 met en relation les bilans financiers des chantiers tests avec le prélèvement réel réalisé à l'hectare (et non pas le prélèvement estimé par le gestionnaire...).

On observe un basculement du bilan moyen (droite de régression) à un prélèvement de 47 m³/ha. Ce chiffre correspond bien à l'expérience pratique de FCBA, indépendamment du type de coupe et de l'âge du peuplement, selon laquelle un prélèvement d'au moins 50 m³/ha constitue un critère positif contribuant à un bon résultat du chantier pour le propriétaire. Ces résultats supposent toutefois une infrastructure minimum : cloisonnements et places de dépôts.

Conclusions : une conjoncture favorable à la mécanisation

La forte progression du prix du Bois Energie entre 2011 et 2014 (+29 %), ainsi que la demande soutenue en Bois d'Industrie, sont des éléments très favorables à la mécanisation des premières éclaircies feuillues. C'est une véritable opportunité pour réaliser les nécessaires opérations d'éclaircies

mais également pour fournir la matière première indispensable aux marchés de l'énergie et du bois d'industrie, tout en garantissant la qualité des interventions (faible impact au sol et au peuplement restant).

D'un point de vue strictement économique, il ressort de cette étude que les coûts techniques d'exploitation les plus faibles sont obtenus avec des pelles hydrauliques et des porteurs ayant une capacité de charge moyenne (11 à 12 tonnes). Le système d'exploitation en tronçons d'arbres entiers avec ces deux types d'engins est le plus performant. Il est suivi par le système en billons de bois d'industrie ou bois bûche + cimes avec une machine de bûcheronnage et porteur.

Au-delà du volume unitaire des tiges à récolter, d'autres éléments ont un impact sur la productivité des machines (faible prélèvement à l'hectare, façonnage des tiges pour laisser les menus bois au sol, distance de débardage...) et donc sur les coûts d'exploitation comme sur le bilan financier des opérations. Aussi, les systèmes qui préconisent l'emploi de porteurs spécifiques (petit porteur, porteur chenillé) présentent généralement des bilans moins favorables en raison de la plus faible productivité de ces engins.

Toutefois, si la progression des prix, notamment du bois énergie, se poursuit, il sera possible de réaliser les premières éclaircies de manière mécanisée avec la plupart des systèmes testés tout en obtenant un bilan financier équilibré ou positif. Même un bilan légèrement négatif peut être économiquement plus favorable qu'une éclaircie réalisée manuellement, avec pour les bûcherons ONF l'avantage important de la diminution de la pénibilité dès lors qu'ils n'auront plus à réaliser ce type d'intervention très contraignant. L'étude actuelle porte sur des engins existants en 2011-2013. L'évolution du matériel sera au moins, autant que le prix, un moyen de développement de la mécanisation de ces premières éclaircies.

Philippe Ruch
Emmanuel Cacot
FCBA, Equipe
Exploitation Forestière et
Approvisionnement Bois

Erwin Ulrich
ONF, département
R&D-Innovation

Didier Pischedda
Maryse Bigot
ONF, département
Commercial Bois

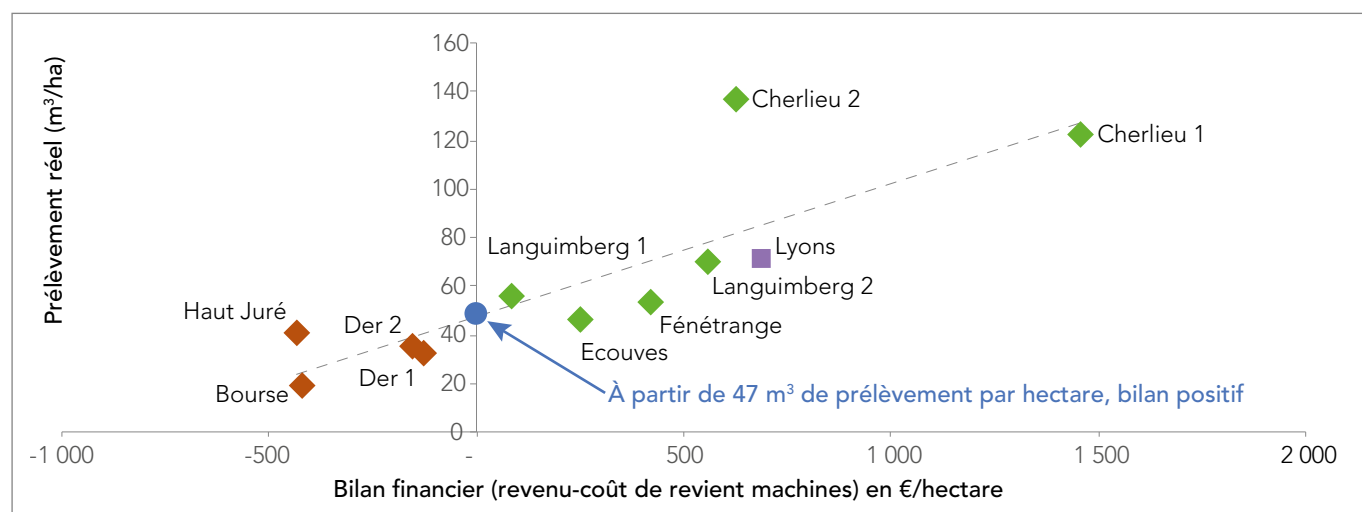


Fig. 3 : bilan financier des chantiers test, en comparaison avec le prélèvement réel

Bilan simulé avec des prix de vente bord de route identiques pour tous les chantiers et prélèvement réellement mesuré (le prélèvement estimé avant coupe peut parfois être bien différent...).

Ligne pointillée = droite de régression.

Conseils pratiques pour la réalisation des premières éclaircies mécanisées et voies d'améliorations des pratiques sylvicoles actuelles

L'analyse approfondie des 11 chantiers tests et l'expertise de nombreux autres chantiers pendant la période du projet ont fait ressortir une liste de points pratiques nécessaires à la bonne exécution des chantiers de premières éclaircies mécanisées. Des points qui s'articulent principalement autour de cinq grands thèmes : infrastructures, marquage des tiges, choix des produits et choix du système d'exploitation et la période d'exploitation.

Des infrastructures bien pensées

Organisation du trafic au sein du chantier

Avant le début des opérations, il faut décider comment organiser le trafic au sein de la parcelle, eu égard à la capacité des engins et en vertu des règles de protection des sols et cloisonnement d'exploitation (note de service ONF n° NDS -09 – T-297 ; fiche technique n° 7 de Mourey et al., 2012). Il s'agit d'optimiser les circuits et réduire la longueur des trajets pour limiter l'impact au sol tout en augmentant la productivité générale. Le chantier sera ainsi plus rapidement terminé et une même entreprise pourra traiter de plus grandes surfaces.

L'entre-axe optimal des cloisonnements d'exploitation est de 16 à 18 mètres. Cela permet, pour les premières éclaircies feuillues (puis tout le long du cycle sylvicole), d'atteindre les arbres à couper ou les produits à débarder sans quitter le cloisonnement. Avec un entre-axe de plus

de 20 mètres les arbres du milieu seraient généralement hors de portée (sauf cas particulier du paragraphe suivant) et leur exploitation demanderait une intervention manuelle supplémentaire, ce qui complique l'organisation et engendre du travail pénible pour les ouvriers.

Utilisation éphémère de cloisonnements sylvicoles par une petite machine de bûcheronnage

Cependant, lorsque la densité totale des tiges ($\varnothing_{130} > 2,5$ cm) est très importante, la visibilité dans l'interbande est fortement réduite au-delà de 4-5 mètres et il devient difficile de diriger le bras de la grue : l'utilisation éphémère de cloisonnements sylvicoles par une petite machine de bûcheronnage peut alors devenir nécessaire, que le cloisonnement d'exploitation soit déjà établi ou non, à écartement optimal ou non (cf. encadré page 49).

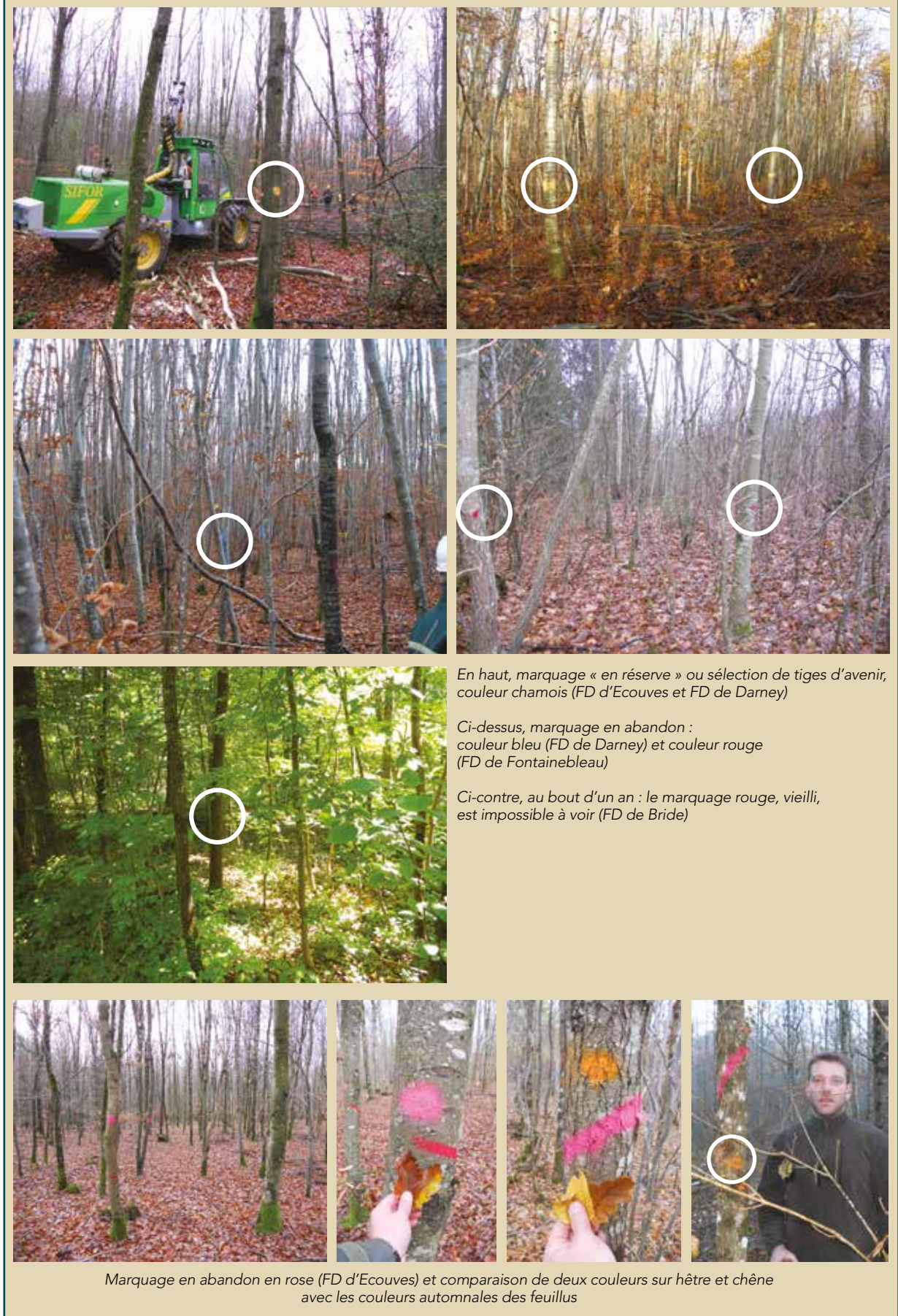
Les petites machines de bûcheronnage, qui ont au maximum 2,50 m de large et un poids de 10 tonnes, sont suffisamment puissantes (≥ 60 chevaux) pour réaliser les deux premières éclaircies. Vu leur petite taille, la portée limitée de leur grue (4 à 7 m) suppose, pour travailler dans toute l'interbande entre cloisonnements d'exploitation, d'emprunter exceptionnellement des cloisonnements sylvicoles : un sur deux ou un sur trois selon leur écartement et/ou la portée de la machine.

Cas des cloisonnements d'exploitation inexistant, à créer

Les porteurs, quant à eux, sont bien

plus lourds et plus encombrants que les machines de bûcheronnage et ne doivent circuler que sur les cloisonnements d'exploitation. S'ils n'existent pas encore, ils sont créés à l'occasion des premières éclaircies en élargissant un cloisonnement sylvicole sur trois ou quatre (en général) pour arriver à l'entre-axe préconisé. Ces cloisonnements seront élargis à 2,5 m ou jusqu'à 4 m en fonction de la largeur du porteur. En effet, il n'est pas forcément nécessaire d'élargir jusqu'à 4 m dès la première éclaircie si le porteur n'a besoin que de 2,5 à 3 m. Rappelons que les petits porteurs sont moins larges (1,8 à 2,5 m) que les moyens porteurs (2,5 à 3 m) : les premiers peuvent donc circuler dans des cloisonnements plus étroits, alors que les seconds ont bien besoin des 4 m. Cela permet le cas échéant de procéder en deux temps pour maintenir le couvert plus fermé, notamment en chênaie, et profiter à la deuxième éclaircie d'un volume supplémentaire correspondant à l'élargissement définitif, avec des volumes unitaires moyens (VUM) plus importants.

Mais si le prélèvement de la première éclaircie est insuffisant (< 30 m³/ha), il reste possible d'élargir en une seule fois pour l'augmenter significativement. Le stade prévu pour la désignation des arbres d'avenir (avant la deuxième ou troisième éclaircie, selon les régions) peut aussi intervenir dans ce choix. Dans tous les cas, l'option retenue est inscrite au cahier des charges de la prestation une fois le prestataire choisi et son matériel connu.



Photos 1 : comparaison de la visibilité de différentes couleurs, voir explications dans le texte

Préservation des cloisonnements d'exploitation avec des rémanents

Il est possible de demander aux opérateurs de machine de disposer un tapis de rémanents sur les cloisonnements, mais seulement dans les chantiers où les tiges sont ébranchées et où les menus bois (des houppiers notamment) ne sont pas récoltés mais laissés sur place pour préserver l'équilibre nutritif. Cependant ce tapis de rémanents ne sera en aucun cas comparable en épaisseur et continuité avec ce qui est observable dans les peuplements résineux.

Débusquage

Les modes d'éclaircie mécanisés expérimentés et déjà pratiqués en France permettent de se passer complètement du débusquage dans l'immense majorité des premières éclaircies feuillues. Le débusquage (par cheval de fer, Rauptrack, Forecat ou avec un cheval de trait) est réservé à des situations exceptionnelles : terrain glissant, pente, protection environnementale spécifique, etc.

Mise à disposition de places de dépôt

Bien qu'il s'agisse de petits bois, les volumes sortant des chantiers peuvent être assez importants et il faut mettre à disposition les places de dépôts de surface adéquate. Par exemple, le bois énergie en vrac en tronçons de 6-8 m nécessite des places de dépôts larges de 10 mètres. Le foisonnement de ce produit étant très important, il faut aussi qu'elles aient une longueur relativement grande : selon le prélèvement total prévu et la hauteur d'empilement possible compte tenu du type de porteur utilisé (souvent entre 2 et 5 mètres), cette longueur peut dépasser 100 mètres. L'optimum serait de disposer, en fonction du volume, d'au moins deux places de dépôts diamétralement opposées voire plus. Cela permet d'optimiser les trajets du porteur et son temps de travail total sur le chantier : à

chaque fin de phase de chargement, il peut se diriger directement vers la place de dépôt la plus proche sans avoir à revenir en arrière comme le nécessiterait un dépôt unique. Il n'a donc pas besoin de tournières et son temps de déplacement est raccourci, réduisant ainsi la pression en charge cumulative sur le sol des cloisonnements. Étant donné que 80 % des peuplements feuillus se trouvent sur terrain plat ou en légère pente, cette consigne devrait être relativement facile à mettre en œuvre, sauf contraintes particulières (ex. routes départementales, grands fossés, mares, etc.).

Un marquage bien fait

Marquage des arbres

Pour ces premières éclaircies, les règles en vigueur à l'ONF (Instruction n° INS-09-T-69) préconisent, pour le marquage de tiges en abandon, de faire deux points diamétralement opposés à la peinture rouge ou orange ou plutôt, si la coupe est susceptible d'être mécanisée, deux traits obliques diamétralement opposés à la peinture rouge ou orange. Pour le marquage en réserve, la règle est de deux points diamétralement opposés à la peinture chamois ou marron clair.

Le marquage doit être visible pour le chauffeur de la machine de bûcheronnage. Il faut donc que les marques soient toujours diamétralement opposées selon la direction perpendiculaire aux cloisonnements et non selon une direction aléatoire ou qui préjugerait du sens de parcours du cloisonnement le plus proche. Il faut aussi que les traits soient assez grands (ou les points assez gros) pour être bien distingués, et que le marquage soit réalisé si possible quelques semaines seulement avant l'intervention pour bénéficier de l'éclat de la couleur fraîche.

Actuellement, le marquage en abandon est le plus répandu. Cependant, pour le conducteur de la machine,

le **rouge** et l'**orange** sont problématiques, surtout en première éclaircie, pour les raisons suivantes :

- les deux couleurs se confondent trop facilement avec les couleurs naturelles en forêt feuillue, notamment en automne et en présence d'un sous-étage dense, ce qui augmente le temps de recherche des tiges et induit malgré tout des oublis ;
- si la coupe doit être réalisée en feuilles en été, la luminosité est réduite et il est quasiment impossible de voir le rouge et l'orange ;
- les couleurs proches des couleurs automnales ou les couleurs sombres vieillissent rapidement et deviennent difficilement visibles après quelques mois (même si on n'est pas dans une machine de bûcheronnage).

Dans le cadre du bûcheronnage mécanisé, mieux vaudrait développer le marquage **en rose** (voir comparaison photos 1).

À l'avenir, il sera même utile de tendre vers des premières éclaircies non marquées, où le conducteur apprendra le processus de désignation sur des placettes de référence comme le prévoit l'instruction INS-09-T-69. Cela permettra aux agents de réduire le temps à passer au marquage et aura comme effet secondaire positif une moindre exposition aux aérosols de peinture. La bonne visibilité qu'offrent aujourd'hui les machines de bûcheronnage et le fait que l'opérateur peut bien voir les houppiers depuis sa position surélevée permettent d'aller dans ce sens.

Des produits bien choisis

Nombre et types de produits

Il est fortement conseillé de ne réaliser qu'**un seul produit par chantier, surtout en première éclaircie** et de changer le cas échéant de type de produit d'un chantier à l'autre pour alimenter les différents débouchés, selon les besoins et les possibilités qu'offrent les arbres à enlever afin de : (1) simplifier le plus possible

l'organisation du chantier, (2) augmenter le volume de produit sorti, (3) adapter la longueur des produits aux possibilités des porteurs pour augmenter leur productivité, (4) faciliter la commercialisation (un seul produit avec un volume important), (5) diminuer la durée d'exécution des travaux et les coûts de revient pour les entreprises et enfin (6) améliorer le bilan financier de l'opération.

En deuxième éclaircie, on peut envisager deux produits si les revenus prévisibles du deuxième produit permettent de compenser les surcoûts techniques induits. Il est par exemple possible de produire du bois bûches (2-4 m) avec la partie basse des tiges, puis du bois énergie en vrac ou en billons (sommairement ébranchés le cas échéant) avec la partie haute. Il faut par ailleurs aussi s'assurer que chacun des 2 produits sera disponible dans une quantité au moins égale au volume minimal commercialisable localement (attractivité du lot).

Optimiser la charge du porteur

La gamme des produits que l'on peut sortir des premières éclaircies feuillues est variée (notamment leur longueur), bien qu'on ait parfois l'obligation de laisser les menus bois au sol (cf. guide PROSOL et note de service ONF n° NDS-09-T-297) :

- bois énergie en vrac à destination de plaquettes, en toutes longueurs,
- bois énergie à destination de plaquettes sous forme de bois rond de longueur variable, ou définie (billons de 4-8 m),
- bois rond pour l'industrie (billons de 2-6 m),
- bois bûche (2-4 m).

Le choix de l'engin de coupe (machine de bûcheronnage, cisaille...) dépend du type de produits que l'on souhaite sortir du chantier. Dans la mesure du possible, il faut aussi chercher à optimiser la charge des porteurs, c'est-à-dire faire correspondre au mieux les catégories de produits (longueurs notamment) et

la capacité des porteurs, l'objectif étant de leur permettre de remplir tout le volume délimité par les rangers. Lors de la réflexion sur le choix des types de produits à façonner, il est donc utile d'intégrer à la fois les besoins du marché (dimensions de produits admissibles selon les clients) et les possibilités des machines qui interviennent.

Des systèmes d'exploitation choisis en fonction des possibilités des chantiers et des produits à réaliser

Les systèmes d'exploitation convenant aux premières éclaircies feuillues sont proches des systèmes classiques. La gamme des systèmes d'exploitation testés permet un choix en adéquation avec les conditions des chantiers et des produits à réaliser. Aucune recommandation spécifique pour l'un ou l'autre système n'est faite ici, car tous conviennent dans la limite de leur capacité.

Concernant la taille des engins, il convient de travailler de préférence avec des petites à moyennes gammes pour satisfaire les exigences sylvicoles de faible impact et de productivité. Dans les coupes à très faibles volumes unitaires moyens, on privilégiera les petites machines compactes, aux coûts techniques plus faibles, étant donné que la puissance n'est pas obligatoirement une garantie de meilleure productivité.

Remarque : préserver le sous-étage ne pose pas de problème

Au stade des deux premières éclaircies, le sous-étage est composé de tiges de faible, voire très faible diamètre (2,5 à 7,5 cm le plus souvent). Sa préservation est une des conditions de l'intervention mécanisée, notamment en chênaie. Cela ne pose pas de grands problèmes, pour deux raisons principales : (1) le plus souvent, l'opérateur de la machine de bûcheronnage peut facilement contourner les petites tiges avec la grue pour atteindre celles qui sont

marquées ; (2) couper ces petites tiges serait une perte de temps, de productivité. Il faut presque autant de temps pour couper une petite tige que pour une tige marquée. Comme le volume de ces petites tiges est très faible, la productivité de la machine diminue beaucoup, ce qui pénalise le bilan financier.

Quid de l'évolution des engins et outils de coupe ?

La productivité globale des machines sur ces chantiers de premières éclaircies est plutôt faible et rien ne permet de penser qu'elle augmentera substantiellement avec d'autres engins existants ou de nouveaux engins. L'amélioration de la productivité réside surtout dans la prise en compte des recommandations faites ici.

Les systèmes d'exploitation resteront sans doute à l'avenir dans la gamme testée, même si les engins ou outils de coupe doivent connaître une évolution technologique. Le développement des aspects liés à la productivité globale des machines étant assez abouti, l'évolution portera plutôt sur l'ergonomie. Peut-être faut-il faire une exception pour le cas des têtes d'abattage conçues pour le bois énergie en vrac et fonctionnant avec des disques coupants. Les circonstances n'ont pas permis de tester ce type de tête, alors qu'il pourrait représenter une bonne alternative aux têtes existantes de par la rapidité de travail. Les évolutions attendues pourront concerner la productivité dans le cas de ces têtes spécifiques.

Quand exploiter ?

Le bûcheronnage, incluant la mise à disposition des produits le long des cloisonnements d'exploitation pour le débardage, peut être réalisé aussi bien en feuille que hors feuille. Il convient cependant de sensibiliser l'opérateur aux risques de blessures accrus sur les tiges restantes, en période de sève. Le mieux est de réaliser cette opération par temps

et sol sec, mais elle peut également intervenir sur sols humides, non saturés : comme la machine de bûcheronnage ne parcourt qu'une seule fois chaque cloisonnement, son impact au sol reste le plus souvent limité, voire inexistant (sols secs).

Le débardage se fait aussi idéalement par temps et sol secs avec presque tous les types de porteur. Sous certaines conditions, il est encore possible si les sols sont légèrement humides, voire humides (voir tableau 1 pp. 22-23 et l'article sur les impacts).

En guise de conclusion

Les prélèvements (N/ha ou m³/ha) doivent être en accord avec les référentiels des guides de sylviculture en vigueur à l'ONF ; conformément aux itinéraires techniques de travaux sylvicoles (ITTS) correspondants, les dépressages et nettoisements devraient déjà préparer les premières éclaircies en diminuant comme prévu le nombre de tiges, de manière à obtenir au stade de la première éclaircie un VUM satisfaisant. Le travail de bûcheronnage mécanisé pourra ainsi être réalisé dans de bonnes conditions, avec un nombre réduit de petites tiges et des VUM plus importants que dans la plupart des situations actuelles. La productivité des machines en sera meilleure et le coût des travaux diminué. Les impacts au peuplement restant devraient ainsi également être plus réduits.

L'objectif de prélèvement minimal est de 50 m³/ha. Pour les peuplements en rattrapage, il faudrait aussi voir comment il serait possible de

diminuer plus vite la densité pour offrir des prélèvements supérieurs à 50 m³/ha, mais sans trop déstabiliser les peuplements (cf. guides de sylviculture).

Lors des premiers chantiers mécanisés « ordinaires », il sera nécessaire d'accompagner soigneusement les pilotes des engins en leur expliquant à plusieurs reprises, pour les sensibiliser au fur et à mesure, les consignes concernant les tiges à prélever et le sous-étage à conserver, la stricte limitation des impacts, etc.

Le respect des règles simples exposées dans cet article sera très utile pour que la mécanisation des premières éclaircies puisse satisfaire pleinement à la fois les besoins des gestionnaires et ceux des intervenants comme des clients.

Erwin Ulrich

ONF, département
R&D-Innovation

Didier Pischedda

ONF, département
Commercial Bois

Philippe Ruch

FCBA, Equipe
Exploitation Forestière et
Approvisionnement Bois

Maryse Bigot

ONF, département
Commercial Bois

Emmanuel Cacot

FCBA, Equipe
Exploitation Forestière et
Approvisionnement Bois

Quelques types de produits :
bois énergie en vrac (1^{ère} éclaircie)
bois rond 3 m (2^e éclaircie)
bois bûche 2 m (2^e éclaircie)

Bibliographie

Mourey J.-M., Pischedda D., Lefebvre L., 2012 : Planter les cloisonnements d'exploitation. Fiche technique – Sol. n° 7. ONF (DERN/DTCB/DCOM), 6 p. (à retrouver dans RenDez-Vous techniques n° 36-37, pp. 69-74)

Note de service NDS -09 – T-297 : Travaux sylvicoles ou d'exploitation et protection des sols. ONF 10 juin 2009, 8 p.

Instruction INS-09-T-69 : Modalité de désignation des coupes et contrôle de l'exploitation

Pischedda D. (coord.), 2009 : Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PROSOL ». Guide pratique. Éditeurs : ONF/FCBA, 110 p.



Erwin Ulrich, ONF