RenDez-Vous techniques

n° 47 - hiver-printemps 2015

patrimoine
sylviculture
progrès
connaissances
économie
forêts et société
environnement
biodiversité
gestion durable

p. 11

Dossier

Mécanisation des premières éclaircies feuillues

Étudier les peuplements mélangés

p. 54

Office National des Forêts

RenDez-Vous techniques

Directeur de la publication
Albert Maillet

Rédactrice en chef
Christine Micheneau

Comité éditorial
Jean-Marc Brézard, Bernard Gamblin, Laurence Lefèbvre, Prisca Léon, Marianne Rubio, Leslie Vey, Jean-François Dhôte, Véronique Vinot

Maquette, impression et routage
Imprimerie ONF - Fontainebleau

Conception graphique
NAP (Nature Art Planète)

Crédit photographique
Page de couverture :
En haut : Erwin Ulrich, ONF
En bas : Yann Dumas, Irstea

Périodicité : 4 numéros ordinaires par an
(possibilité d'éditions resserrées en numéros doubles)

Accès en ligne
http://www.onf.fr/*(rubrique Lire, voir, écouter/ Publications ONF/ Périodiques)*

Disponibilité au numéro, abonnement

Renseignements
ONF - documentation technique et générale, boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau

Contact : documentalistes@onf.fr
ou par fax : 01 64 22 49 73

Dépôt légal : juin 2015

sommaire
n° 47 - hiver-printemps 2015

3 Connaissances
Dynamique de fermeture des grandes trouées dans les forêts de montagne des Alpes du Nord
par Marc Fuhr, Joanna Weyant, Niels Durand, Catherine Riond

11 **Dossier Pratiques**

Mécanisation des premières éclaircies feuillues

54 Méthodes
Quels dispositifs pour comparer la croissance des peuplements purs et mélangés ? Exemple du mélange sapin – épicéa avec les données de l'Inventaire forestier national
par Patrick Vallet, Thomas Pérot et Maude Toïgo

60 Méthodes
OPTMix - Dispositif expérimental de suivi à long terme du fonctionnement de la forêt mélangée
par Nathalie Korboulewsky, Thomas Pérot, Philippe Balandier, Philippe Ballon, Rachel Barrier, Yves Boscardin, Emmanuelle Dauffy-Richard, Yann Dumas, Christian Ginisty, Marion Gosselin, Jean-Pierre Hamard, Lisa Laurent, Anders Mårell, Aminata NDiaye, Sandrine Perret, Agnès Rocquencourt, Vincent Seigner, Patrick Vallet

Fiches techniques

71 ***Fiche n° 11 – Utiliser des aérosols lors des marquages forestiers***
du plan d'action environnemental ONF

75 ***Fiche n° 12 – Utiliser les données naturalistes dans la gestion forestière***
du plan d'action environnemental ONF

éditorial

Grande effervescence en 2015 dans la sphère forestière française en général et à l'ONF en particulier.

L'ONF participe pleinement à l'élaboration du Programme national de la forêt et du bois (PNFB), institué par la loi d'avenir pour l'agriculture l'alimentation et la forêt, et dont une première version doit être présentée dans le courant de l'été au Conseil supérieur de la forêt et du bois. Il suit également de près le parcours parlementaire du projet de loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, ainsi que les travaux de préfiguration de l'Agence française pour la biodiversité (AFB), dont il sera un partenaire.

Dans le même temps, le processus de renégociation du contrat entre l'Etat, l'ONF et les Communes forestières bat son plein, de même que la finalisation des nouvelles organisations territoriales de l'ONF, l'évaluation scientifique du département Recherche, développement et innovation… et j'en oublie sans doute.

Au milieu de ce bouillonnement stratégique, l'arrivée d'un solide dossier technique sur la mécanisation des premières éclaircies feuillues nous replonge dans des considérations bienvenues de terrain ! Car au-delà des politiques et stratégies forestières absolument nécessaires pour garantir la gestion durable de la forêt et valoriser ses atouts face aux défis de l'avenir, le gestionnaire de terrain, lui, est également confronté au quotidien à la conduite pratique des peuplements. Or quoi de plus crucial que ces premières éclaircies, qui conditionnent l'avenir des peuplements forestiers et qu'on a pourtant, parfois, tant de mal à réaliser en temps voulu en ce qui concerne les feuillus ? Des solutions mécanisées existent : les résultats de la réflexion et des chantiers tests présentés dans ce dossier invitent à faire le pas, en respectant bien sûr quelques recommandations de base.

On trouvera aussi dans ces pages de quoi nourrir plus largement les réflexions sylvicoles, avec une étude sur la dynamique des grandes trouées alpines, en rapport avec les dispositions du « Guide des sylvicultures de montagne », ou bien un aperçu des dispositifs d'étude du fonctionnement des peuplements mélangés. Pourquoi s'intéresser à ces aspects méthodologiques ? Parce que ça peut aider à formuler un questionnement complexe, à comprendre la portée et les limites des réponses qu'on en attend. Et parce que ça relève de notre culture technique, tout simplement.

Le Directeur Forêts et Risques Naturels
Albert MAILLET

Dynamique de fermeture des grandes trouées dans les forêts de montagne des Alpes du Nord

La gestion sylvicole des peuplements alpins sur forte pente est soumise à de telles contraintes qu'elle s'envisage essentiellement par trouées, pour des raisons et dans des conditions qui ont été présentées dans notre numéro 45-46. Les modalités de cette gestion sylvicole résultent de travaux en partenariat avec divers organismes, et en particulier d'une étude d'Irstea sur la dynamique de fermeture des trouées, restituée ici.

La récolte par trouées est largement préconisée par le Guide des Sylvicultures de Montagne des Alpes du Nord (GSM ; Gauquelin et Courbaud, 2006), en particulier dans les peuplements à rôle de production et/ou de protection situés en forte pente. Elle permet de concilier, dans un contexte de fortes contraintes, des objectifs de sylviculture et des opérations de récolte, plus rentables économiquement par la massification du prélèvement. Elle permet également de rationaliser les opérations d'exploitation (abattage, débardage), ce qui laisse espérer une limitation spatiale des dégâts aux tiges et une amélioration des conditions de travail des bûcherons, en limitant leurs déplacements. Elle est parfois justifiée écologiquement, en particulier pour les essences exigeantes en lumière (épicéa, mélèze, pins) qui trouvent dans la trouée les conditions favorables à leur régénération. Elle peut aussi être nécessaire d'un point de vue sylvicole, pour amorcer le renouvellement de peuplements dominés par des gros voire très gros bois.

Pour autant, si les observations de trouées anciennes suggèrent que ces trouées « finissent toujours par se refermer », la généralisation de la sylviculture par trouées nécessite :

- de préciser l'échelle de temps du processus de fermeture des trouées, dans un contexte où la dynamique forestière est souvent lente (Brang, 1998 ; Schönenberger, 2002 ; Rammig *et al.*, 2005 ; Streit *et al.*, 2009), avec la question sous-jacente du maintien du rôle de protection de la forêt ;
- de vérifier que l'ouverture localisée de trouées n'entraîne pas une déstabilisation du peuplement sur une surface beaucoup plus importante que celle de la trouée initiale (phénomène de *gap expansion*), en d'autres termes, que le gestionnaire forestier reste maître de la taille de la trouée créée ;
- d'évaluer l'intérêt des interventions en travaux (crochetage, plantations) afin d'accélérer le processus de régénération.

Dans le cadre du projet Interreg franco-suisse « Forêts de Protection », Irstea Grenoble et l'ONF ont rétrospectivement reconstitué la fermeture de 33 grandes trouées d'origine naturelle ou sylvicole (figures 1 et 2), au sein des principaux types de peuplements distingués dans le GSM. Les analyses ont porté sur l'état initial des trouées, les vitesses de fermeture, estimées par comparaison de photographies aériennes, et les stades de développement de la végétation, selon que la fermeture s'est faite naturellement ou avec travaux sylvicoles. L'effet de la trouée sur le peuplement de bordure a aussi été étudié. Quelques facteurs déterminants pour une sylviculture adaptée au prélèvement par trouées ont ainsi été mis en évidence.

Une démarche en trois étapes

Les 33 trouées étudiées sont réparties sur 14 forêts dans les types de peuplement suivants, en référence au GSM (Gauquelin et Courbaud, 2006) : épicéa à l'étage subalpin (7 trouées), épicéa à l'étage haut montagnard (12 trouées), mélange d'épicéa et de sapin aux étages montagnards intermédiaire et interne (6 trouées), mélange d'épicéa, de sapin et de hêtre à l'étage montagnard externe (8 trouées). La taille des trouées (figure 2) est généralement comprise entre 0,1 et 2 ha mais quelques trouées naturelles, issues de chablis, atteignent une taille supérieure à 10 ha. En 2011, les trouées les plus récentes étaient âgées d'une vingtaine d'années ; les trouées les plus anciennes, qui proviennent d'un important coup de vent en 1936, étaient âgées de 75 ans.

La reconstitution de la fermeture des trouées s'est faite en trois étapes. La première étape consiste à interpréter manuellement une séquence de photographies aériennes orthorectifiées,

espacées d'environ 10 ans (figure 3) ; soit 3 photographies, pour les trouées les plus jeunes, à 6 photographies pour les trouées les plus âgées, les photographies les plus anciennes datant de 1948. Chaque trouée est précisément délimitée à partir de la photographie aérienne la plus ancienne sur laquelle elle apparaît. Une zone de bordure d'une largeur de 25 m est également délimitée autour de la trouée. Une grille régulière de 5 m x 5 m est superposée sur chaque photo. Chaque élément du quadrillage est ensuite affecté à l'une des 4 classes de couvert prédéfinies (voir le détail des classes et typologie correspondante en encadré).

La deuxième étape est une étude approfondie des documents de gestion (sommiers), afin d'établir une typologie simple des interventions sylvicoles réalisées, ou pas, dans les trouées (voir typologie en encadré).

La troisième étape consiste à préciser le stade de développement actuel du jeune peuplement à l'intérieur de chaque trouée, à l'aide de relevés dendrométriques réalisés entre 2009 et 2011 sur des placeaux emboîtés disposés selon une grille régulière, en distinguant 5 stades de développement (voir le détail des stades en encadré). Des relevés dendrométriques complémentaires ont été réalisés dans la forêt mature à proximité des trouées âgées de moins de 30 ans (24 trouées) de manière à caractériser la structure diamétrique des peuplements dans lesquels les trouées ont été ouvertes. En considérant le stade adulte (voir encadré), les peuplements dont les structures diamétriques sont unimodales (dominance des BM ou des GB) ont été définis comme réguliers. Les peuplements dont les structures diamétriques sont bimodales (dominance des PB et GB) ou régulièrement décroissantes (des PB aux GB) ont été définis comme irréguliers.

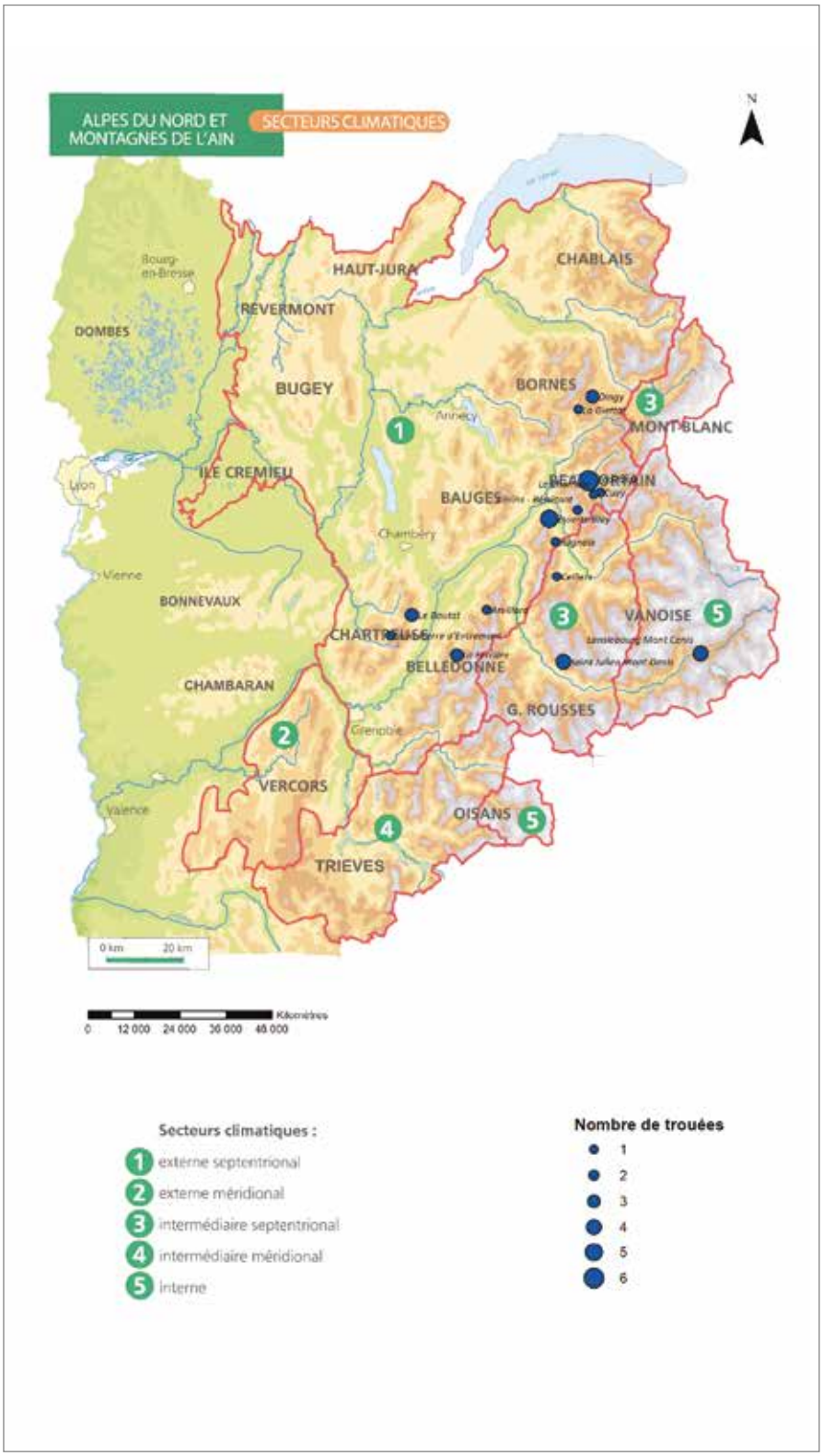


Fig. 1 : localisation des trouées étudiées

NB : les trouées du site du Boutat ne sont pas prises en compte dans l'article car trop récentes et trop petites pour en tirer des informations sur les peuplements du bas montagnard

Éléments de caractérisation des trouées pour l'analyse

Classes de couvert (une classe affectée à chaque « maille » (5 m x 5 m) de chaque photo) :

- Classe 1 : peuplement haut, gros houppiers jointifs (résineux ou feuillus matures)
- Classe 2 : peuplement bas, petits houppiers jointifs, ou faiblement disjoints (recrus, souvent dominés par des essences feuillues)
- Classe 3 : surface sans couvert (trouée sensu stricto)
- Classe 4 : autres (pistes, parc à bois, zones rocheuses…)

Typologie des interventions sylvicoles réalisées dans la trouée

- Pas d'intervention (évolution naturelle)
- Travaux de préparation du sol (crochetage)
- Plantation
- Travaux de dégagement ou dépressage
- Éclaircies

Stades de développement de la végétation

- Stade **semis** : 0,30 m ≤ H < 1,30 m
- Stade **régénération** acquise : H ≥ 1,30 m et $d_{1,30\,m}$ < 5 cm
- Stade **bas** perchis : 5 cm ≤ $d_{1,30\,m}$ < 10 cm
- Stade haut **perchis** : 10 cm ≤ $d_{1,30\,m}$ < 17,5 cm
- Stade adulte : regroupe
  - les **Petits Bois** (PB : 17,5 cm ≤ $d_{1,30\,m}$ < 27,5 cm),
  - les **Bois Moyens** (BM : 27,5 cm ≤ $d_{1,30\,m}$ < 42,5 cm)
  - les **Gros Bois** (GB : $d_{1,30\,m}$ ≥ 42,5 cm)

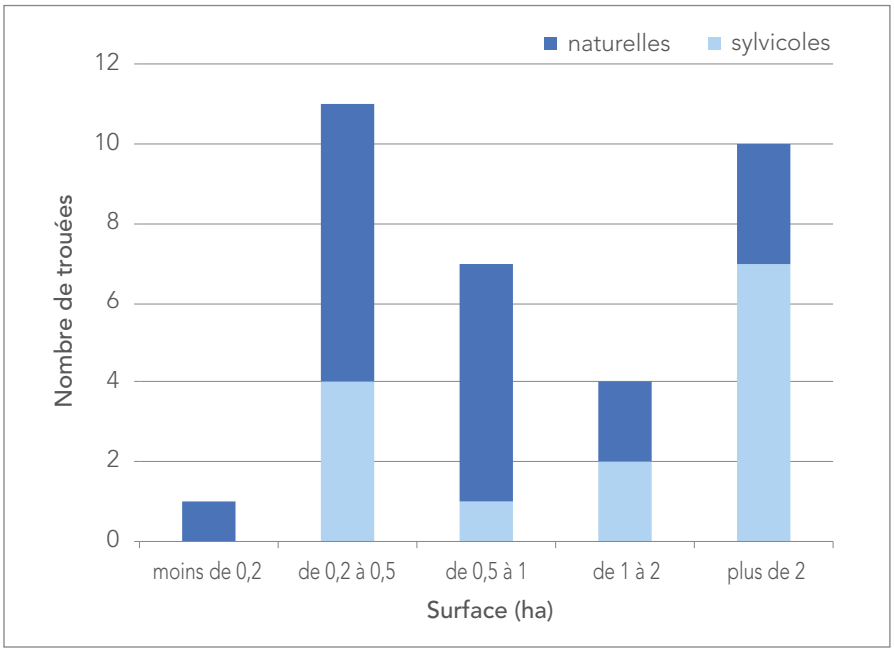


Fig. 2 : origine et taille des trouées

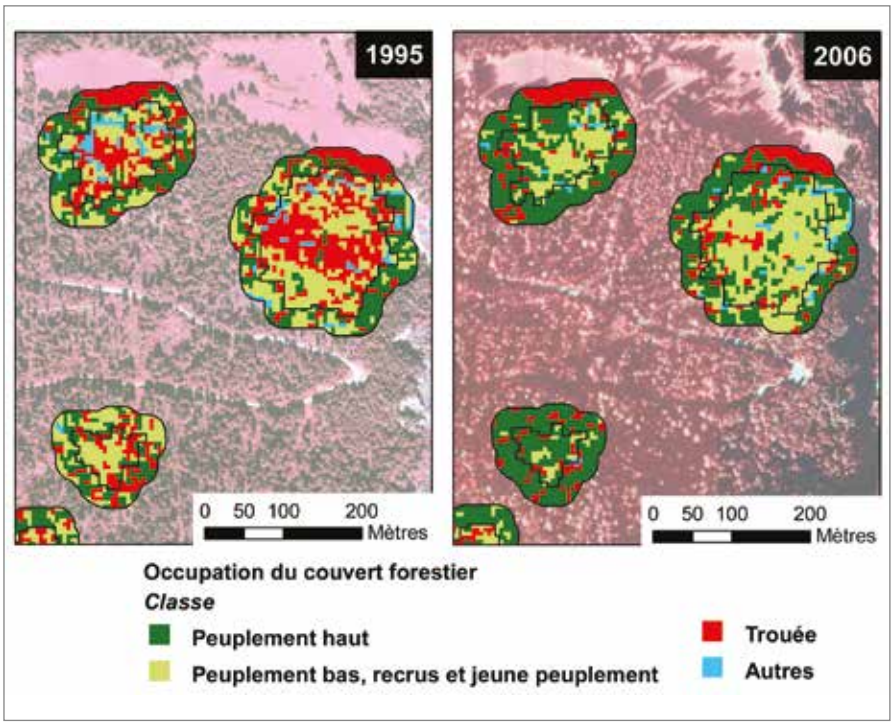


Fig. 3 : exemples d'orthophotos interprétées, site de Lanslebourg (73)
NB : le contour noir interne délimite la trouée, le contour noir externe distant de 25 m délimite la zone de bordure

État initial des trouées

Juste après la création des trouées, les parts relatives des surfaces interprétées « sans couvert » ou en « recrû » sont très variables. Nos résultats soulignent que :

- la régénération préexistante (recrus) est en général plus abondante dans les trouées des peuplements irréguliers et dans les trouées d'origine naturelle, aux étages subalpin et haut montagnard ;
- les interventions sylvicoles (travail du sol et plantation) ont été ciblées sur les zones les plus ouvertes des trouées, c'est-à-dire sans régénération préexistante.

Vitesses de fermeture

Les vitesses de fermeture (figure 4) sont estimées à partir de l'évolution des surfaces interprétées « sans couvert » sur les séquences de photographies aériennes, en calibrant un modèle de la forme $A(t) = A_0 \exp(-\lambda t)$, A désignant le taux de surface sans couvert à l'âge t, A_0 le taux de surface sans couvert à la création de la trouée et t, l'âge de la trouée (son ancienneté). Le paramètre λ estime la vitesse de fermeture des surfaces sans couvert, sans information de composition ni de structure du couvert en cours d'installation.

Évolution naturelle

En l'absence de régénération préexistante (figure 4a), dans les stations de fertilité moyenne à bonne des étages montagnard et haut montagnard, il faut environ 20 ans pour arriver naturellement à un taux de couverture équivalent à celui des peuplements adultes (surface sans couvert de l'ordre de 10 à 20 %). Cependant, avant 10 ans, les surfaces avec couvert représentent déjà la moitié de la surface initiale de la trouée, ce qui correspond, selon le critère de l'inventaire forestier national réalisé par l'IGN (seuil minimum de couvert = 40 %), à un couvert boisé fermé. La « cicatrisation visuelle » est donc assez rapide.

Le temps nécessaire est moins long dans les stations très fertiles : 10 ans pour un taux de couverture équivalent aux peuplements adultes et moins de 5 ans pour dépasser le seuil de couvert de 50 %. Il est par contre beaucoup plus long (40 ans) à l'étage subalpin, ainsi que dans les stations contraignantes, en particulier sur les sols secs superficiels où le GSM préconise d'ouvrir de petites trouées (hêtraies-sapinières sèches, sapinières-pessières peu humides, photo n° 1). Des observations similaires ont été faites dans des contextes très humides (mégaphorbiaies), en dehors de l'étude.

Le temps nécessaire est également plus long dans les trouées les plus grandes (de l'ordre d'une dizaine d'hectares), probablement en raison de l'éloignement des semenciers. **Cependant, dans une gamme de taille de trouées s'étalant de 0,2 ha à 2 voire 3 ha (soit déjà au-delà des préconisations du GSM), on ne note pas d'effet notable de la taille de la trouée sur la vitesse de fermeture du couvert.**

Ces durées sont moindres si les trouées sont assises sur des taches de régénération préexistantes. Dans l'hypothèse d'une surface ouverte de l'ordre de 40 % lors de la création de la trouée (figure 4 b), il faut entre 25 et 30 ans pour refermer complètement (couvert > 80 %) une trouée au subalpin ou dans les stations contraignantes du haut montagnard et du montagnard, moins de 15 ans dans les autres situations.

Effet des interventions sylvicoles

Le travail préparatoire du sol (crochetage) accélère notablement la fermeture des trouées. À l'étage subalpin, le temps nécessaire pour qu'une trouée se referme complètement, de l'ordre de 40 ans en conditions naturelles, n'est plus que de l'ordre de 25 à 30 ans en cas de travail du sol. On se rapproche alors des vitesses de fermeture constatées sur station de fertilité moyenne à l'étage haut montagnard. L'effet est moindre aux étages montagnard et haut montagnard mais le travail du sol permet aussi d'accélérer la fermeture (gain d'environ 10 ans).

M. Fuhr, Irstea

Photo 1 : trouée âgée de 20 ans sans régénération dans une hêtraie-sapinière sèche : station contraignante – Arvillard (73)

Notre étude ne met pas en évidence d'effet notable de la plantation sur la vitesse de fermeture estimée par comparaison de photographies aériennes. Il faut cependant garder à l'esprit que les plantations ont été réalisées sur des zones au départ très ouvertes qui, si on les avait laissées évoluer naturellement, se seraient certainement refermées beaucoup plus lentement que les zones laissées en régénération naturelle ; on peut donc penser que, en l'absence de régénération naturelle, la plantation est efficace pour compenser une vitesse de fermeture au départ très faible.

Stades de développement et composition

Évolution naturelle

Aux étages montagnard et haut montagnard, en dehors des contextes stationnels contraignants, les trouées âgées de 20 ans sont dominées par un peuplement au stade bas-perchis (5 cm ≤ $d_{1,30\,m}$ < 10 cm, figure 5) dont la densité est de l'ordre de 1 000 tiges.ha^{-1}. À 30 ans, le peuplement est dominé par les hauts perchis (10 cm ≤ $d_{1,30\,m}$ < 15 cm) et les Petits Bois (15 cm ≤ $d_{1,30\,m}$ < 27,5 cm), ces deux catégories totalisant une densité de l'ordre de 800 tiges.ha^{-1}.
À l'étage subalpin, les trouées âgées de 20 ans en sont encore essentiellement au stade régénération acquise (H ≥ 1,30 m et $d_{1,30\,m}$ < 5 cm).

La composition spécifique des jeunes peuplements est très différente selon les secteurs bioclimatiques. Dans le secteur externe, on observe une très forte concurrence des espèces pionnières et du sorbier (figure 6) qui constituent, dans les trouées âgées de 20 ans, le principal contingent du stade de développement dominant. Leur remplacement par les essences résineuses (épicéa, sapin) se dessine alors dans les stades de développement moins avancés (régénération) et, après 30 ans, la hauteur des essences résineuses rejoint celle des essences pionnières et du sorbier.

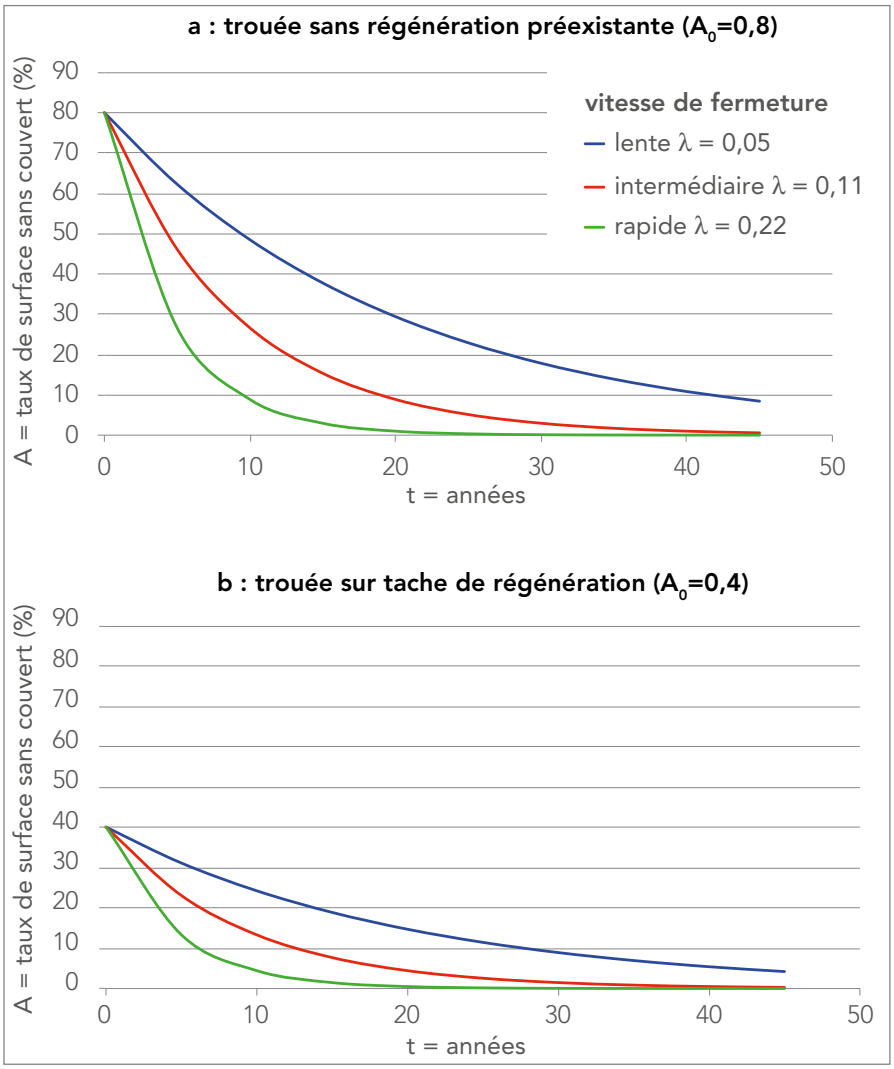


Fig. 4 : modélisation des vitesses de fermeture du couvert

La réduction du taux de surface sans couvert (A) avec le temps (t) répond à un modèle de type $A = A_0 \exp(-\lambda t)$ où le paramètre λ traduit la vitesse de fermeture. La fermeture est
*– **lente** pour les trouées du subalpin, haut montagnard ou montagnard sur stations sèches ou très humides, ou pour les très grandes trouées (> 10 ha) ;*
*– **intermédiaire** pour les trouées au haut montagnard ou montagnard sur stations fertiles ;*
*– **rapide** pour les trouées au haut montagnard ou montagnard sur stations très fertiles.*

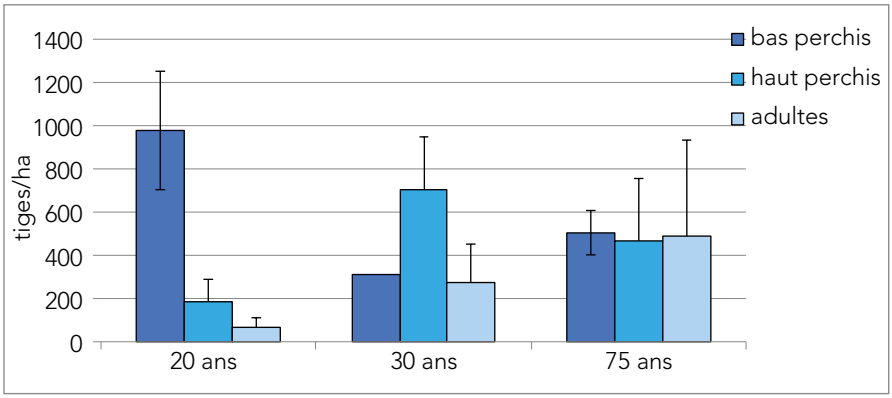


Fig. 5 : densités par stades de développement dans les trouées en évolution naturelle des étages montagnard et haut montagnard, âgées respectivement de 20 ans, 30 ans et 75 ans

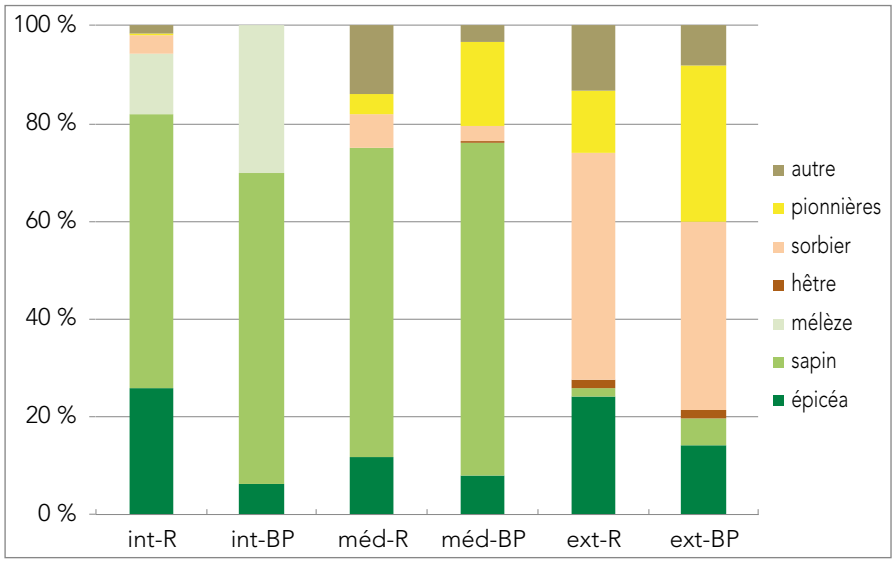


Fig. 6 : abondances spécifiques relatives, selon le secteur bioclimatique et le stade de développement dominant, dans les trouées en évolution naturelle des étages montagnard et haut montagnard, et âgées de 20 ans
int : secteur interne, méd : secteur intermédiaire, ext : secteur externe ; R : semis + régénération acquise ; BP : bas perchis

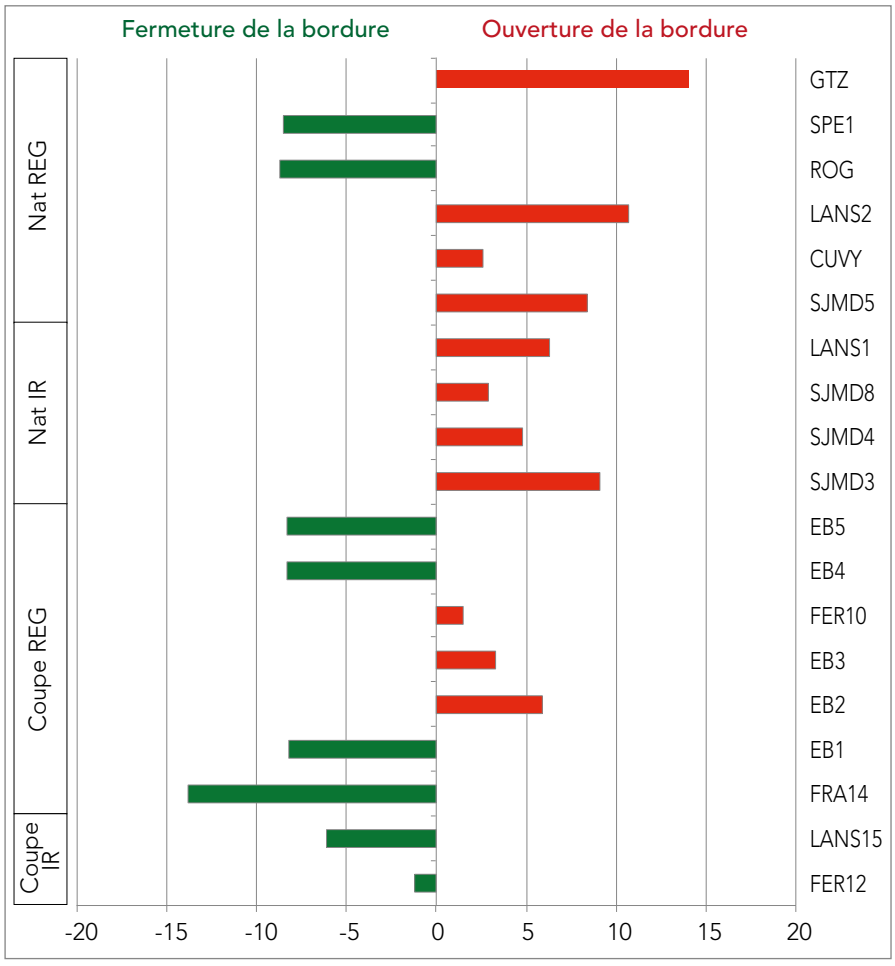


Fig. 7 : évolution des surfaces sans couvert dans le peuplement de bordure, au cours des premières années suivant la création de la trouée (en %)
Coupe : trouée sylvicole ; Nat : trouée naturelle ; REG : peuplement de bordure régulier ; IR : peuplement de bordure irrégulier. À droite, les codes des 19 trouées.

Notre étude ne permet cependant pas de trancher entre les deux scénarios suivants :

- installation concomitante des pionnières et des résineux (signalée par Camaret, 1997), croissance très rapide des pionnières qui se ralentit progressivement au profit de celle des résineux en sous-étage ;
- installation préalable des pionnières qui, par leur couvert léger, autorisent l'installation et la croissance des résineux et contrôlent la compétition avec les herbacées.

Quoi qu'il en soit, l'importante concurrence des espèces pionnières et du sorbier conduit souvent à réaliser des travaux de dégagement.

Cette concurrence des essences pionnières ne s'observe pas (ou peu) dans les secteurs intermédiaires et internes ; à 20 ans, les bas perchis sont largement dominés par l'épicéa ou le sapin (figure 4).

Effet des interventions sylvicoles

Les trouées ou parties de trouées où le sol a été travaillé étaient, au départ du processus de fermeture, beaucoup moins riches en régénération préexistante que les trouées ou parties de trouées en évolution naturelle. Pourtant, au bout de 20 ans, elles sont dominées par les mêmes stades de développement : le stade bas perchis aux étages haut montagnard et montagnard (photo n° 2), le stade régénération acquise à l'étage subalpin. Le travail du sol a donc permis de rattraper le retard de régénération, ce qui confirme les résultats obtenus par analyse des photographies aériennes. En revanche, le travail du sol n'a pas d'effet sur la composition spécifique des jeunes peuplements, il favorise l'installation de toutes les espèces y compris celle des espèces pionnières et du sorbier.

Il est plus difficile de dégager une tendance générale sur l'effet des plantations à partir de nos résultats. Pour certaines trouées, la plantation a permis de rattraper (voire d'inverser)

le retard de régénération lié à l'état initial ; pour d'autres, la végétation de la zone plantée est moins développée que celle de la zone laissée en régénération naturelle même si, d'après l'analyse des photographies aériennes, la trouée s'est refermée à la même vitesse pour les deux zones.

Notre étude ne permet pas de statuer sur l'efficacité des travaux de dégagement ; en effet, nous n'avons pas trouvé de différences significatives entre la composition des trouées (ou parties de trouées) dégagées et celle des trouées (ou parties de trouées) non dégagées. On peut cependant supposer que les zones dégagées sont les zones où la concurrence était la plus forte et que, par conséquent, l'absence de différence de composition révèle un effet positif des travaux.

Évolution du peuplement en bordure

L'évolution du peuplement sur la bordure extérieure de 25 m a été analysée pour les trouées pour lesquelles on disposait d'une photographie aérienne juste après la création de la trouée ainsi que d'une autre photographie aérienne environ 5-6 ans après la création de la trouée (19 trouées, figure 7).

Sur cette période, une petite moitié (8 sur 19) des bordures de trouées a commencé à se fermer, l'autre moitié a continué à s'ouvrir (11 sur 19). L'augmentation de la taille des trouées semble plus fréquente pour les trouées d'origine naturelle (8 trouées sur 10) que sur les trouées d'origine sylvicole (3 trouées sur 9). Cependant, le taux d'agrandissement après ces quelques années ne dépasse pas 25 % de la surface des bordures, que ce soit pour des bordures complètement fermées à la création de la trouée, ou déjà un peu ouvertes. Cette valeur est très légèrement supérieure à celle des surfaces maximales sans couvert dans les peuplements adultes entourant les trouées. Aussi, même si certaines bordures de trouées ont été fragilisées, **on ne peut pas considérer que le phénomène de « gap expansion » est significatif.**

Conclusion et Perspectives

À partir de l'étude d'un ensemble d'anciennes trouées dans les Alpes du Nord, nous avons pu préciser certains facteurs importants pour la mise œuvre d'un itinéraire de sylviculture basé sur ce type de prélèvements. Le premier concerne la vitesse de fermeture du couvert, sans intervention en travaux, qui doit s'envisager selon deux seuils de perception : la fermeture complète du couvert (à plus de 80 %) et la « cicatrisation visuelle », dont le seuil de taux de couvert est difficile à définir mais pourrait être basé sur le seuil IGN (IFN) du couvert boisé fermé, soit 40 %. La fermeture complète s'obtient après 10 ans dans les contextes les plus favorables mais ce délai peut dépasser 40 ans dans les contextes les plus contraignants (subalpin ou hêtraie-sapinière sèche). La cicatrisation visuelle est atteinte

M. Fuhr, Irstea

Photo 2 : trouée âgée d'environ 20 ans, haut montagnard externe, sol travaillé – Esserts-Blay (73)
Noter l'importante régénération d'épicéa sous le couvert des bouleaux et des sorbiers

dans un délai de moins de 5 ans en contexte favorable et d'au moins 15 ans dans les contextes plus contraignants, sans travaux ; précisons que dans ces contextes, l'installation de la régénération se fait plutôt par taches disjointes et l'ensemble de la trouée peut paraître encore très ouvert à 15 ans.

Quant aux autres facteurs, il s'agit de :
- l'effet positif des travaux préparatoires du sol (crochetage), qui permettent quasiment de compenser un retard de fermeture dans le contexte subalpin où la dynamique naturelle est très lente, et d'accélérer l'évolution dans les stations relativement fertiles du haut montagnard où la dynamique naturelle est déjà assez rapide ;
- la forte concurrence exercée par les essences pionnières dans le secteur bioclimatique externe durant les 30 premières années ;
- le risque apparemment assez marginal d'élargissement des trouées dans les premières années.

Dans le contexte particulier des coupes à câble, il est rarement envisageable, techniquement ou économiquement, d'intervenir pour réaliser des travaux sylvicoles afin de hâter ou de contrôler la fermeture des trouées. Cette contrainte pose question, en particulier dans deux contextes où nos résultats montrent que des interventions sont souhaitables :
- à l'étage subalpin, en raison de la lenteur du processus de fermeture sans travail du sol,
- en secteur externe, aux étages montagnard et haut montagnard, en raison de l'importante concurrence des espèces pionnières qui rend nécessaires les travaux de dégagement ou nettoiement.

L'extrapolation de nos résultats au cas particulier des coupes à câble (qui ne faisait pas partie de l'échantillon suivi dans cette première étude), reste donc à confirmer :
- parce que la taille des trouées préconisée ne correspond pas tout à fait à la gamme de taille de trouées analysée ici (cf. additif au GSM : trouées de 25 à 50 ares, pouvant aller jusqu'à 1 ha maximum, alors que 14 trouées sur 33 dépassent 1 ha dans notre étude), ce qui pourrait laisser présager une concurrence moindre des espèces pionnières ;
- parce que le sol sur l'emprise de la ligne de câble peut être plus perturbé (peu de régénération préexistante, présence parfois de tas de rémanents), ce qui crée des conditions écologiques très particulières pour le développement de la régénération.

Un dispositif de suivi de la régénération dans des trouées récentes le long de lignes de câble vient d'être installé pour préciser le processus de fermeture dans ces conditions.

Marc FUHR
Irstea Grenoble

Joanna WEYANT
Irstea Grenoble
(aujourd'hui : ONF, agence Vesoul)

Niels DURAND
Irstea Grenoble

Catherine RIOND
ONF pôle R&D Chambéry

Bibliographie

Brang P., 1998. Early seedling establishment of *Picea abies* in small forest gaps in the Swiss Alps. Canadian Journal of Forest Research vol. 28, pp. 626-639

Camaret S., 1997. Rôle des perturbations dans la dynamique des pessières d'altitude. Impact d'ouvertures artificielles et naturelles sur la régénération et le développement d'un peuplement forestier. Thèse de doctorat, Université de Savoie, 264 p. + annexes

Gauquelin X., Courbaud B., 2006. Guide des sylvicultures de montagne – Alpes du Nord françaises. Cemagref, CRPF Rhône-Alpes, ONF (Ed.), ISBN n° 2 – 84207 – 306 – 1

Rammig A., Fahse L., Bugmann H., Bébi P., 2005. Forest regeneration after disturbance: A modelling study for the Swiss Alps. Forest Ecology and Management vol. 222, pp. 123-136

Schönenberger W., 2002. Post windthrow stand regeneration in Swiss mountain forests : the first ten years after the 1990 storm Vivian. Forest Snow and Landscape Research vol. 77, n° 1/2, pp. 61-80

Streit K., Wunder J., Brang P., 2009. Slit-shaped gaps are a successful silvicultural technique to promote Picea abies regeneration in mountain forests of the Swiss Alps. Forest Ecology and Management vol. 257, n° 9, pp. 1902-1909

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 m^3. 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-Ardennes, 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'encrouent 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

LEXIQUE

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 ⇔ 4-10 tonnes ; moyenne ⇔ 11-17 tonnes ; grande ⇔ 17-40 tonnes.

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

Etage 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 m^3 occupé (= 1 stère) représente un volume réel de bois de 0,63 à 0,77 m^3 ; 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 rues 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 cm ≤ Ø < 7,5 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 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 m^3.

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'orniérage**. 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 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.

Erwin Ulrich, ONF

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

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

a) 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 ;
b) 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 (2e ou 3e) 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 1er 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.

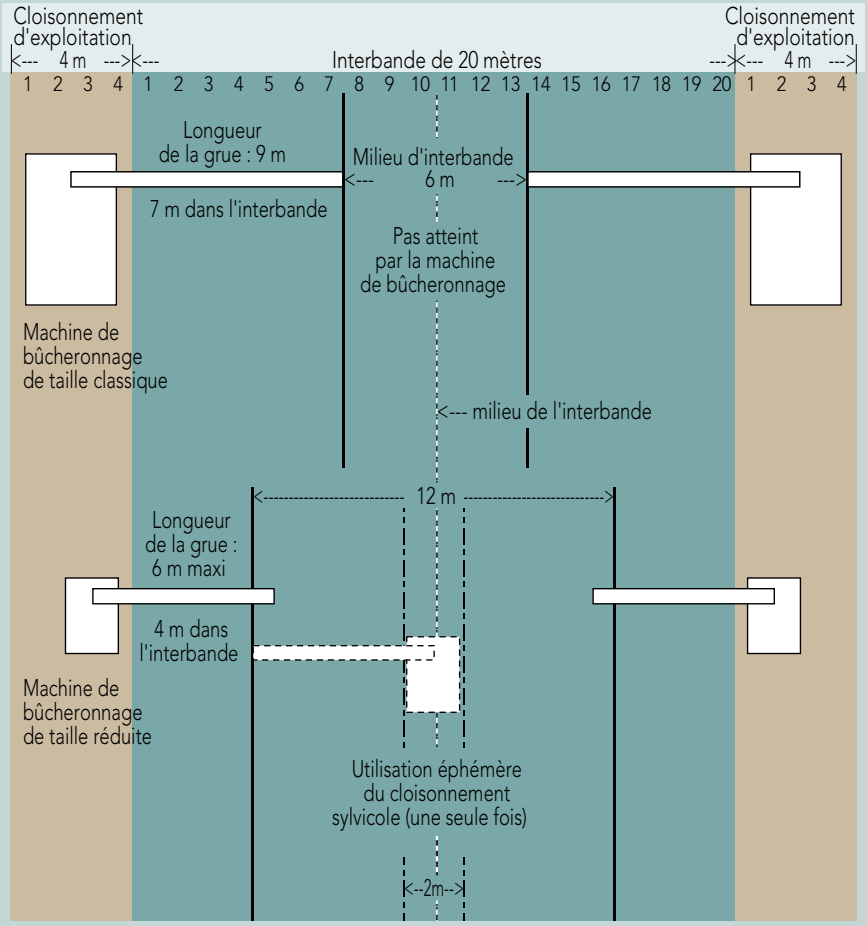
Quant aux **produits à récolter**, le GT recommande fortement de ne prévoir qu'**un seul produit par chantier en première éclaircie** (bois énergie en arbre entier, si besoin recoupé en 2 ou 3, ou sous forme de billons), **éventuellement deux produits en deuxième éclaircie** (bois bûche ou bois d'industrie + 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 sylvicoles 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 sylvicoles.

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

Il s'agit pour cette petite machine d'emprunter un cloisonnement sylvicole 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 sylvicoles 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 3e 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 sylvicole 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 différentiation principale (1er niveau de la clé, figure 1) est la densité totale avant éclaircie, incluant toutes les tiges de diamètre ≥ 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 2e 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.

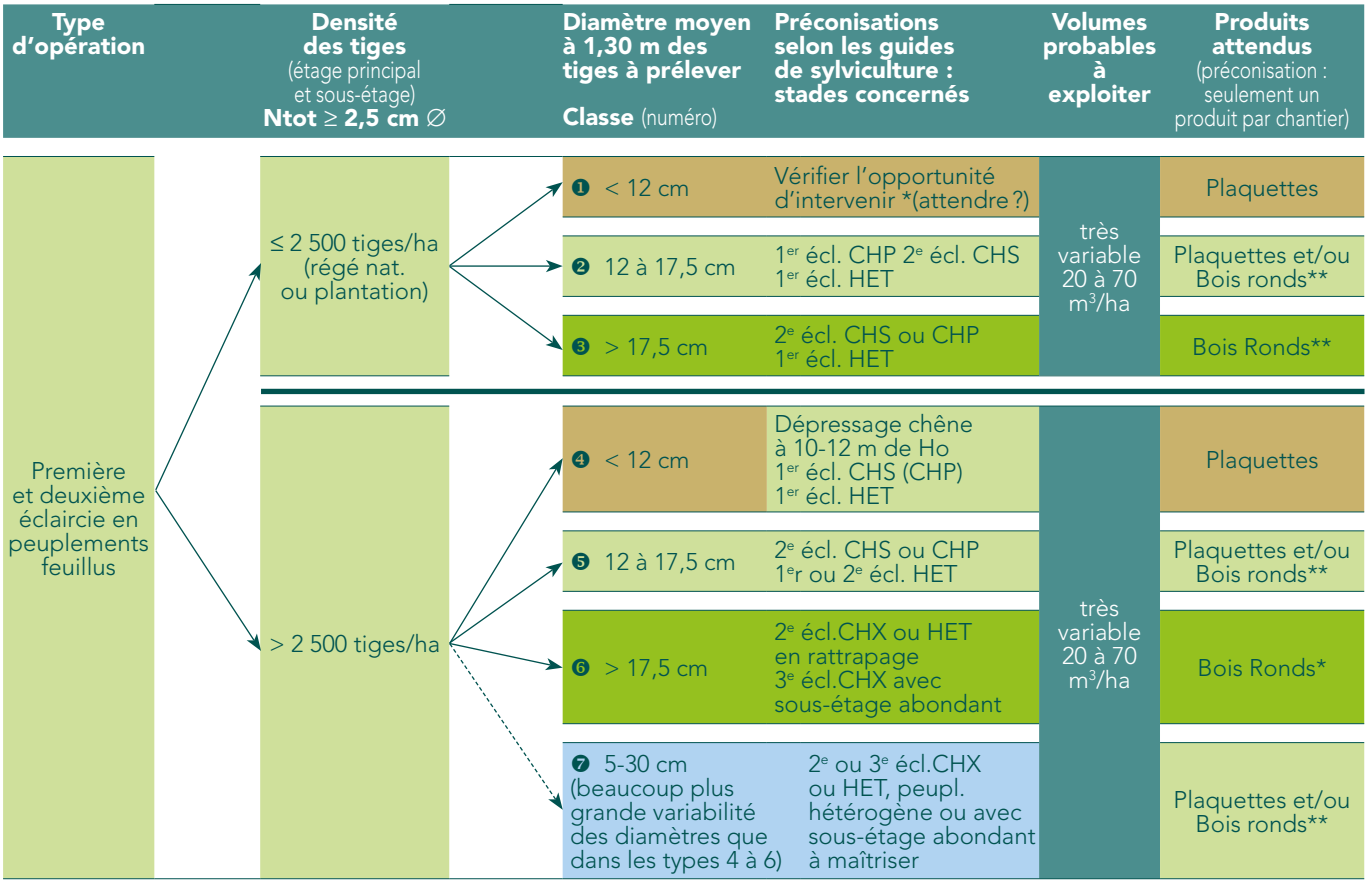
Erwin Ulrich
ONF, département R&D-Innovation

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*



* *cas de figure nécessitant* a priori *rarement une intervention de type nettoiement-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 inexistants 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	TÊTE Abattage	TÊTE Tronçonnage	TÊTE Ébranchage
❶	❹	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		
				Tête de coupe à scie circulaire sans récupération des produits		
Diamètre moyen des tiges à prélever : **< 12 cm**		Sol praticable toute l'année moyennant certaines précautions	Idem ci-dessus	Idem ci-dessus		
1 seul produit : Bois Energie ou alors laisser sur place		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 récupéartion des produits		
		Sols très sensible et impraticable toute l'année	Chenillard à chenilles très souples et larges (600 à 700 mm)	Petite à moyenne tête de bûcheronnage (400-600 kg)		
❷	❺		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		
Diamètre moyen des tiges à prélever : **12 à 17,5 cm**			Idem ci-dessus	Idem ci-dessus		
1 seul produit : Bois Énergie ou Bois Ronds			Chenillard avec des chenilles très souples et larges (600 à 700 mm)	Petite à moyenne tête de bûcheronnage (400-600 kg)		
❸	❻		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		
Diamètre moyen des tiges à prélever : **> 17,5 cm**						
2 produits possibles : Bois Énergie et Bois Ronds			Idem ci-dessus pour les même classes de sensibilité des sols			
	❼	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 =>=>			
Diamètre moyen des tiges à prélever : **entre 5 et 30 cm** 2 produits possibles : Bois Énergie et Bois Ronds						

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 cloisonements 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 cloisonements 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 débarde)
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 ❷ et ❺, 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 ❶ et ❹ (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		
VIMEK 404 T4 (4,1 tonnes) 4*4, hydrostatique intégrale, 60 chevaux • 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		Der 1 Der 2
Moyennes machines de bûcheronnage 4-6 roues		
SIFOR 414 (10 tonnes) 4X4, hydrostatique intégrale, 130 chevaux, • 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		Bourse Ecouves
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		Languimberg 1 Languimberg 2 Fénétrange
Pelle hydraulique		
DOOSAN 140DX (poids à vide environ 16,6 tonnes avec blindage forestier, sans cisaille ; avec cisaille : 18,9 tonnes) hydrostatique intégrale, 95 chevaux, • largeur 2,50 m • longueur 4,30 m sans grue, grue d'une portée de 7,80 m, • largeur chenilles 500 mm		Lyons Cherlieu 1+2
Petit combi (coupe et débarde en même temps)		
VIMEK BIOKOMBI 608/610 (poids à vide 4,9 tonnes, charge utile 5 tonnes) 6*6 (dont 4 roues motorisées au choix), transmission hydrostatique, 60 chevaux, • 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		Haut-Juré

Photos : Erwin Ulrich, ONF

Tab. 2 : exemples de machines de bûcheronnage, pelle hydraulique et « combi » pouvant intervenir lors des premières éclaircies feuillues principalement dans les peuplements de classes ❷ et ❺ (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 ❸ et ❻ (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.

Outils de bûcheronnage		Chantier test (forêt), cf. article suivant
Têtes de bûcheronnage (coupent, ébranchent et façonnent)		
KETO Forst Eco Masse 297 kg, diamètre maximal de coupe 30 cm et d'ébranchage de 25 cm ; • pression hydraulique nécessaire de 200 bar		Der 1 Der 2
SIFOR 450 Masse 830 kg, diamètre maximal de coupe 50 cm et d'ébranchage de 42 cm ; • pression hydraulique nécessaire de 300 bar		Bourse Ecouves
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		Languimberg 1 Languimberg 2 Fénétrange
Tête de cisaille pour pelle hydraulique (coupe uniquement)		
JACQUIER C360 Avec fonction accumulateur de tiges, masse 1250 kg, diamètre maximal de coupe 36 cm ; • pression hydraulique nécessaire de 280 bars		Lyons Cherlieu 1 Cherlieu 2
Grappin découpeur pour petite machine de bûcheronnage ou combi (coupe uniquement)		
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		Haut-Juré

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

Photos : Erwin Ulrich, ONF

Engins de débardage		Chantier test (forêt), cf. article suivant
Porteur 8 roues à faible charge utile		
NOVOTNY LVS 5000 ou 520 (12 tonnes avec charge maximale) • **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		
HSM 208 F 9 (21 tonnes avec charge maximale) • **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
HSM 208 F 11/12 (27 tonnes avec charge maximale) • **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
LOGSET 5F (28 tonnes avec charge maximale), • **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		
LIGHTLOGG C (marque TIMBEAR ; 27 tonnes avec charge maximale) • 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'Ecouves 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 ❷ et ❺ 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, tordus…), 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

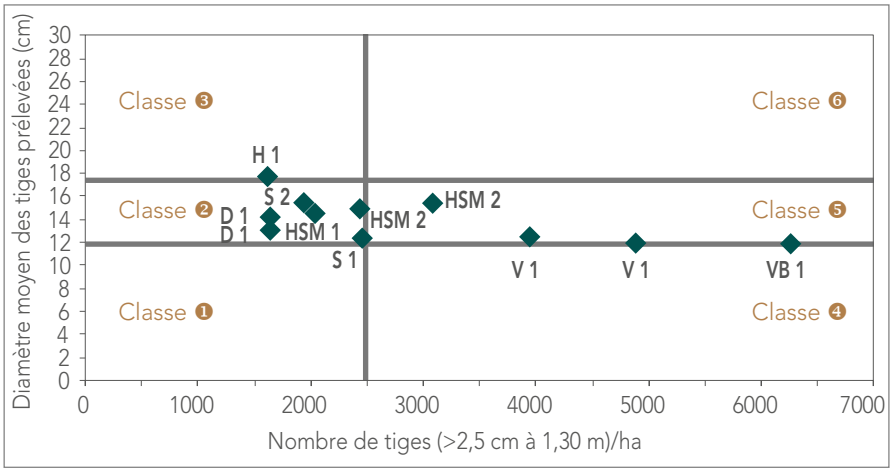


Fig. 1 : positionnement des chantiers test dans le classement des peuplements correspondant aux premières (=1) et deuxièmes éclaircies (=2) de chêne et de hêtre

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 branchus 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 couteaux 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.

				Inventaire classique (≥ 7,5 cm de diamètre)				Inventaire « petites tiges » (2,5 à < 7,5 cm de diamètre)			
Direction Territoriale	Forêt	Type d'éclaircie	Essence (et guide de référence)	Densité/ ha avant éclaircie	Densité/ ha après éclaircie	% de prélèvement	Diagnostic sylvicole après éclaircie en référence au guide concerné	Densité/ ha avant éclaircie	Densité/ ha après éclaircie	% de prélèvement	Proportion de petites tiges avant éclaircie
Ile-de-France Nord-Ouest	Bourse	Première	Chêne (1)	1571	1215	22,7 %	❶ 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 %	❸ proche de l'itinéraire IT2	565	558	1,2 %	29,2 %
	Lyons	Première	Chêne (1)	1482	1061	28,4 %	❶ proche de la densité objectif pour la fertilité 2, sauf que G est plus importante (+2,5 m²)	140	79	43,6 %	8,6 %
Bourgogne-Champagne-Ardennes	Der 1	Première	Chêne (2)	1481	1032	30,3 %	❷ environ deux fois trop dense	3437	3115	9,4 %	69,9 %
	Der 2	Première	Chêne (2)	1676	1245	25,7 %	❷ environ deux fois trop dense	2288	1940	15,2 %	57,7 %
Lorraine	Haut-Juré	Première	Hêtre (4)	2500	1622	35,1 %	❹ environ 340 tiges/ha en trop	3767	3446	8,5 %	60,1 %
	Languimberg 1	Deuxième	Hêtre (4)	1479	1016	31,3 %	❹ environ 100 tiges/ha en trop	948	880	7,2 %	39,1 %
	Languimberg 2	Deuxième	Hêtre (4)	1080	592	45,2 %	❹ environ 140 tiges/ha de moins que préconisé	2000	1480	26,0 %	64,9 %
	Fénétrange	Première retardée	Chêne (2)	1271	1100	13,5 %	❷ inclassable, car trop dense, trop haut, avec des diamètres trop faibles	757	686	9,4 %	37,3 %
Franche-Comté	Cherlieu 1	Première	Chêne (2)	1383	473	65,8 %	❷ proche du référentiel « dynamique » en fertilité 2	254	61	76,0 %	15,5 %
	Cherlieu 2	Première	Chêne (2)	1574	605	61,6 %	❷ 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 (Ø < 7,5 cm) et celles de l'inventaire classique (Ø ≥ 7,5 cm) et proportion de petites tiges avant éclaircie

Guides sylvicoles concernés : (1) = Chênaies atlantiques (Jarret, 2004) ; (2) = Chênaies continentales (Sardin, 2008) ; (3) = Hêtraie atlantiques (Pilard-Landeau et Simon, 2008) ; (4) = Hêtraies continentales (Sardin et al., *2011).* ❶❷❸❹ *= 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).

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.

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 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 m^3 par heure machine, soit en m^3 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 Houppiers laissés sur place	14,78	22,5	18,4	-18,2 %	100 %
	Ecouves	Hêtre	Bois bûche de 2 m, ébranche Bois énergie de 3 m, houppiers ébranchés	11,20	31,0	45,1	45,5 %	69 %
MB moyenne et moyen porteur	Languimberg – 1	Hêtre	Billons de 4 m et Bois énergie (houppiers essentiellement), 4-7 m	7,72	30,0	55,7	85,7 %	42 %
	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 m^3/heure machine, la gamme allant de 2,5 à 5,6 m^3/heure machine. Le combi (Vimek Biokombi) n'est pas pris en compte dans cette moyenne globale car sa productivité de 2,1 m^3/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 m^3/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 (Ø ≥ 2,5 cm)	Nombre de tiges prélevées N/ha (Ø ≥ 2,5 cm)	Diamètre moyen des tiges prélevées (cm)	Volume unitaire moyen (VUM) des tiges prélevées (m³)	Part des petites tiges (Ø 2,5 à 7,5 cm) prélevées sur la densité initiale totale (%)	Productivité moyenne chantier à l'heure machine, HM (m³/HM)	Productivité à l'heure machine productive, HMP (m³/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		67
Petite machine de bûcheronnage avec moyenne TB	Bourse	1	Billons 3 m	2451	370	12,3	0,091	0,6 %	2,5		53
	Ecouves	2	Bois bûche 2 m Billons de 3 m	1938	412	15,4	0,157	0,4 %	5,6	6,4	77
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 ($Ø_{130}$ ≥ 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

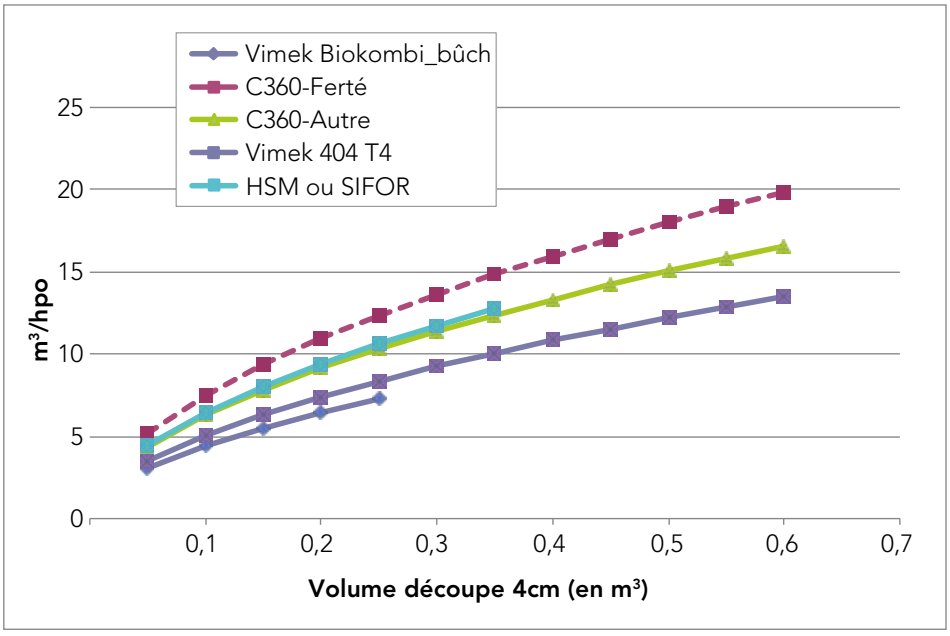


Fig. 2 : stratification de la productivité instantanée (en m³ par heure machine productive) des machines de bûcheronnage, de 3 pelles hydrauliques et des phases dédiées au bûcheronnage de la Vimek Biokombi

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, Fenétrange, 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 ≥ 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). Quoi qu'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 m^3/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 (m³/heure machine, HM)	Productivité à l'heure machine productive, HMP (m³/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 m^3/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 m^3/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).

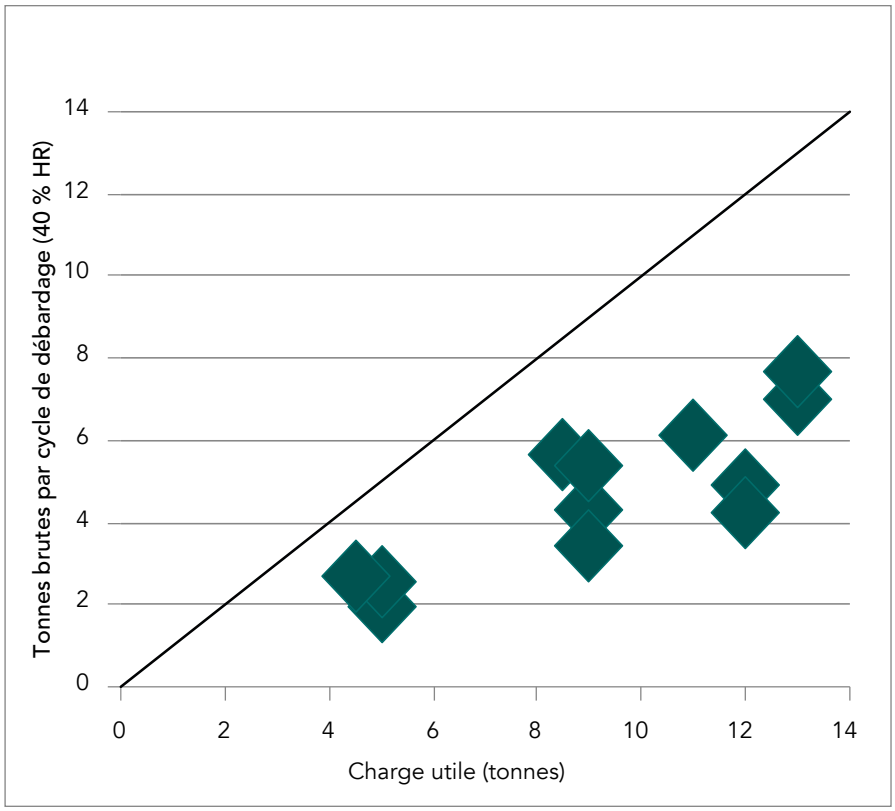


Fig. 3 : comparaison du tonnage moyen par cycle de débardage, calculé pour l'ensemble de la durée de chaque chantier, avec la charge utile des porteurs testés. HR = humidité relative

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 (***har****vester* en anglais) et le débardage des arbres (*for****warder***). 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

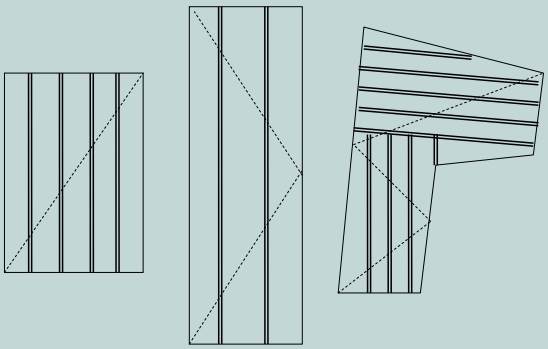
En ce qui concerne les dégâts aux arbres (figure 1), les résultats sont assez variables d'un chantier à l'autre avec des taux d'arbres blessés allant de 2 % pour les meilleurs chantiers jusqu'à 19 % pour le moins bon. Si l'on se réfère aux seuils définis par Cacot *et al.* en 2006 dans le cadre de l'Observatoire 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.

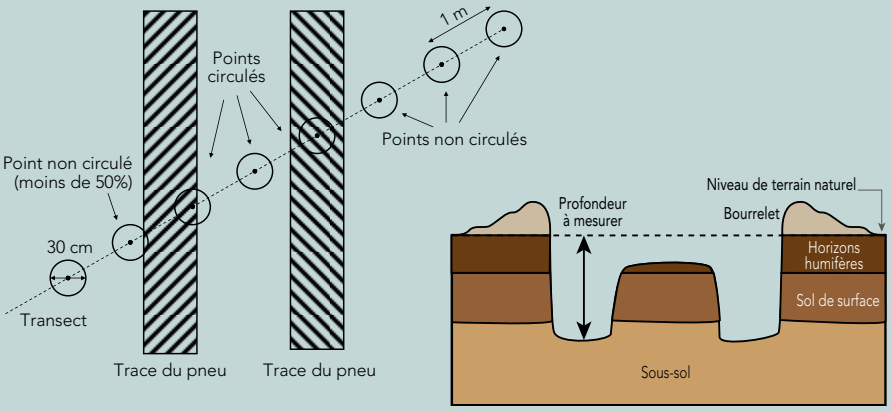
Les relevés liés aux impacts au sol : tous les mètres le long du transect on relève, dans un cercle de 30 cm de diamètre autour du point d'inventaire, l'état du sol le plus représenté en surface (par exemple, si la surface circulée représente moins de 50 % de la surface de ce disque, la surface est considérée 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 relevée au topofil),
– le taux de surface orniérée (mètres linéaires orniérés/longueur du relevée 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 (abattage 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'abattage 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

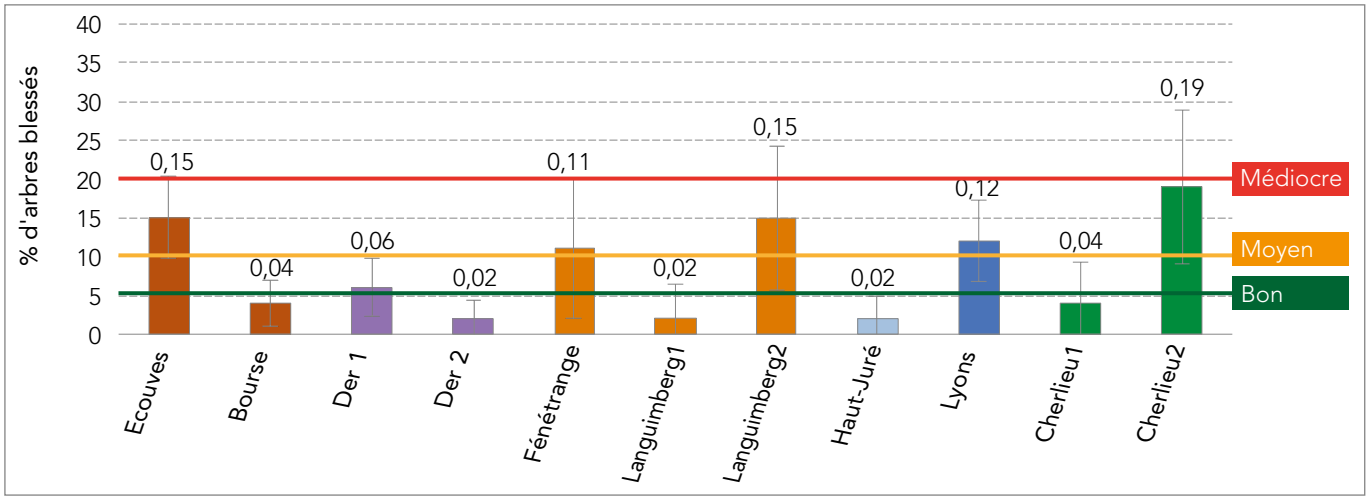


Fig. 1 : impacts aux arbres dominants et co-dominants (intervalle de confiance à 95 %)
Les couleurs correspondent aux différents types de machine, voir tableau 1. Seuils qualitatifs selon Cacot et al. 2006.

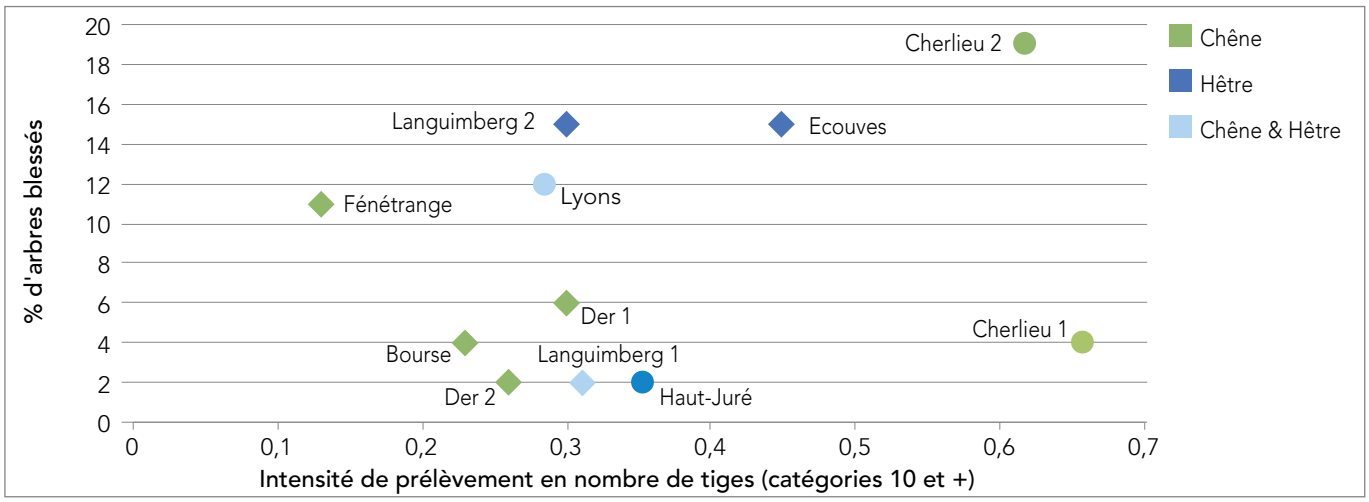


Fig. 2 : impacts aux arbres en fonction de l'intensité de prélèvement, du type de produit et de l'essence

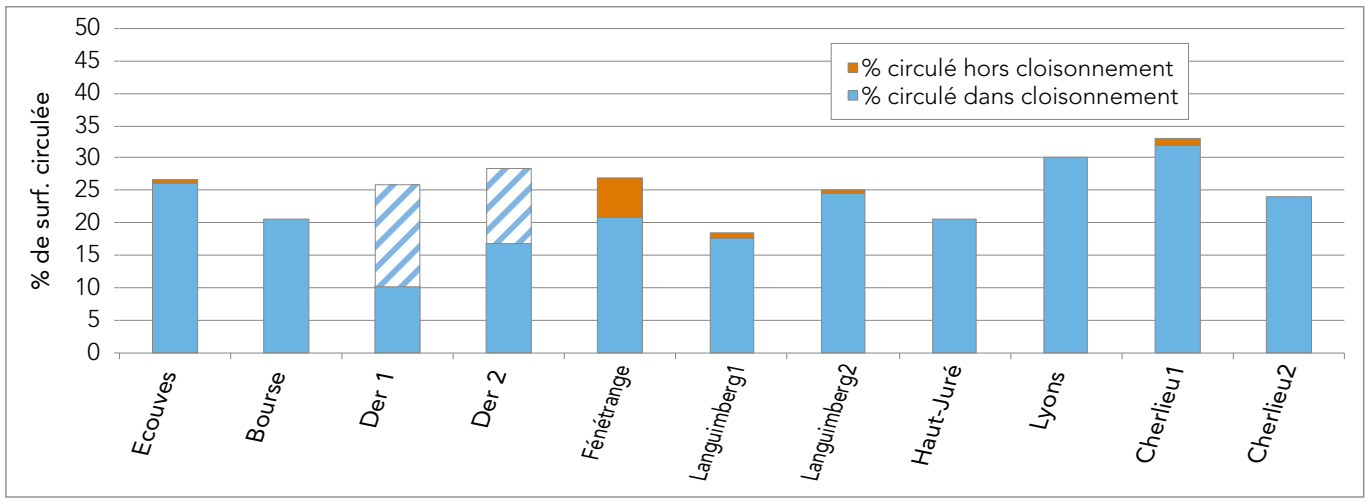


Fig. 3 : pourcentage de la surface parcellaire circulée par les engins de bûcheronnage et de débardage, par chantier, dans les cloisonnements d'exploitation et en dehors
La partie hachurée correspond à l'utilisation éphémère de cloisonnements sylvicoles par la petite machine de bûcheronnage.

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 diminuer la pression exercée au sol, ainsi que des pneus de 940 mm de large, la monte 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 F 11T) 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.

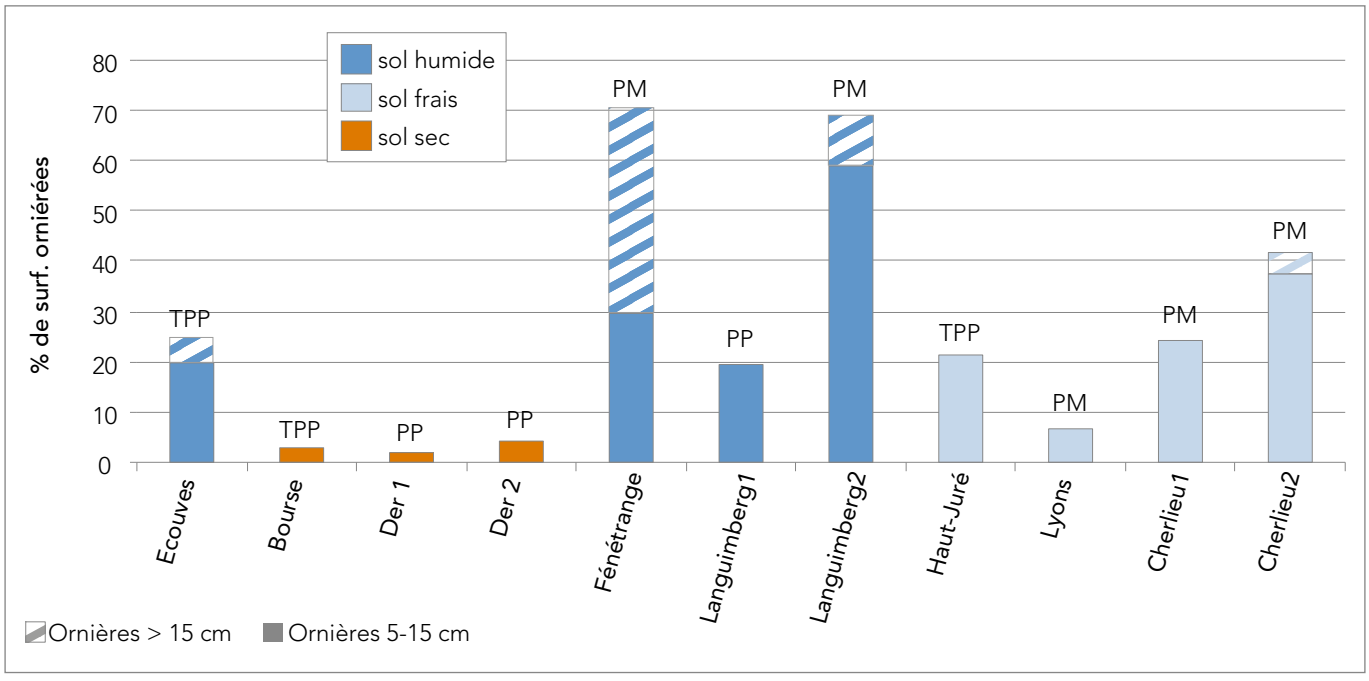


Fig. 4 : orniérage de la surface circulée des chantiers (proportion et profondeur)
TPP = très petit porteur 4 à 6 T de charge ; PP = petit porteur de 7 à 10 T de charge ; PM = porteur moyen 11 à 13 T de charge

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 (1ere 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 ❷, 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 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 ❹, 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 réalisé 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 ❺, 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.

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

Classe ❷ : 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 ❹ : 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 ❺ : 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*

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 ❷ et ❺). 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 (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).

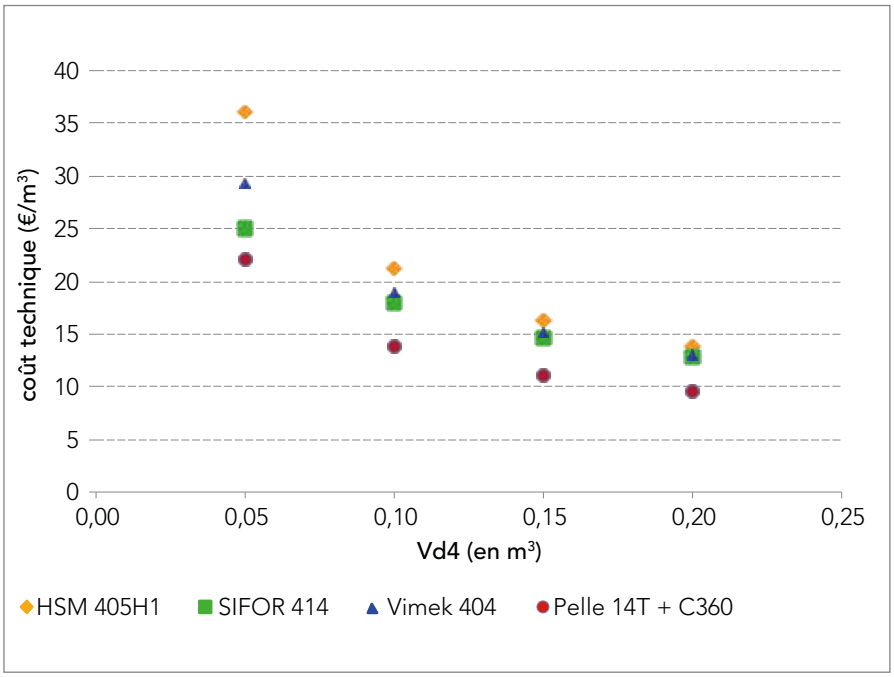


Fig. 1 : coût technique à l'unité de volume (€/m³) des machines de bûcheronnage et pelles hydrauliques équipées de cisaille, en fonction du volume unitaire des tiges à la découpe 4 cm (Vd4)

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 déchiqueté ;
- 30 €/T pour du Bois Énergie sous forme de cimes ou de tronçons d'arbres (donc non ébranchés), destiné à être déchiqueté.

Chantiers	Caractéristiques produits			Caractéristiques machines		Productivité moyenne chantier	Coût de revient technique d'exploitation				
							Par opération	Global, pour le bûcheronnage et le débardage			
Forêt domaniale	Nbre de produits	Type de produit(s)	∅ fin bout (du dernier produit)	Machine	Type de machine	m³/heure machine	€/m³ (réel)	€/m³ (réel)	€/tonne sèche	€/tonne brute (40 % d'humidité)	€/ha
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	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	22,0	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	29,3	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	23,9	41,2	24,7	1701
				Logset 5F	Porteur	18,2	4,5				
Languimberg 1	2	Billons BI 4 m et cimes BE	0	HSM 405 H1	Machine de bûcheronnage	5,6	19,5	35,2	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	28,0	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	61,4	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	34,3	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	38,0	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	38,4	66,2	39,7	1369
				Timbear Lightlogg C	Porteur	5,9	13,9				
Languimberg 2	2	Billons BI 4 m et cimes BE	0	HSM 405 H1	Machine de bûcheronnage	5,2	21,0	29,3	47,6	28,5	2050
				HSM 208 F 11/12	Porteur	10,0	8,3				
Moyenne des chantiers					**Machines de bûcheronnage**	**4,1**	**22,8**	**34,6**	**58,5**	**35,1**	**1904**
					Porteurs	**9,0**	**9,0**				

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

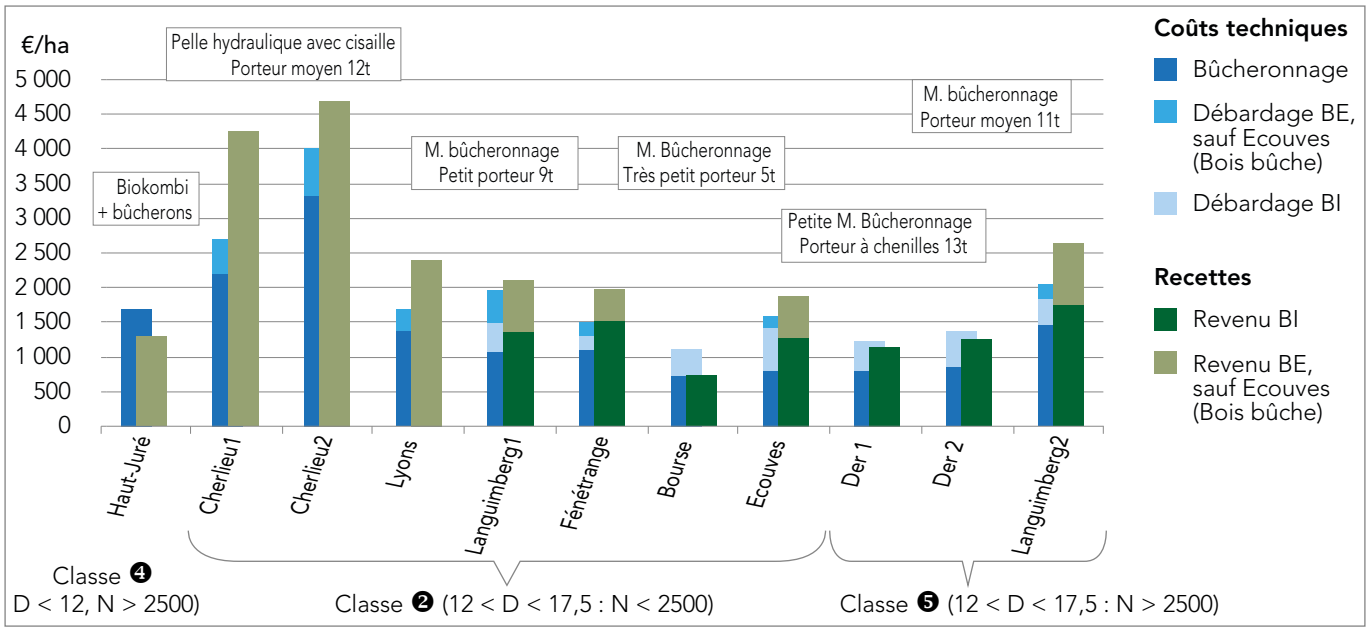


Fig. 2 : bilan financier par chantier ; recettes par type de produits à droite (suivant les hypothèses de prix de vente bord de route indiquées dans le texte) et coûts techniques des opérations de bûcheronnage et de débardage à gauche (sauf pour Haut-Juré : bûcherons + Biokombi)

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

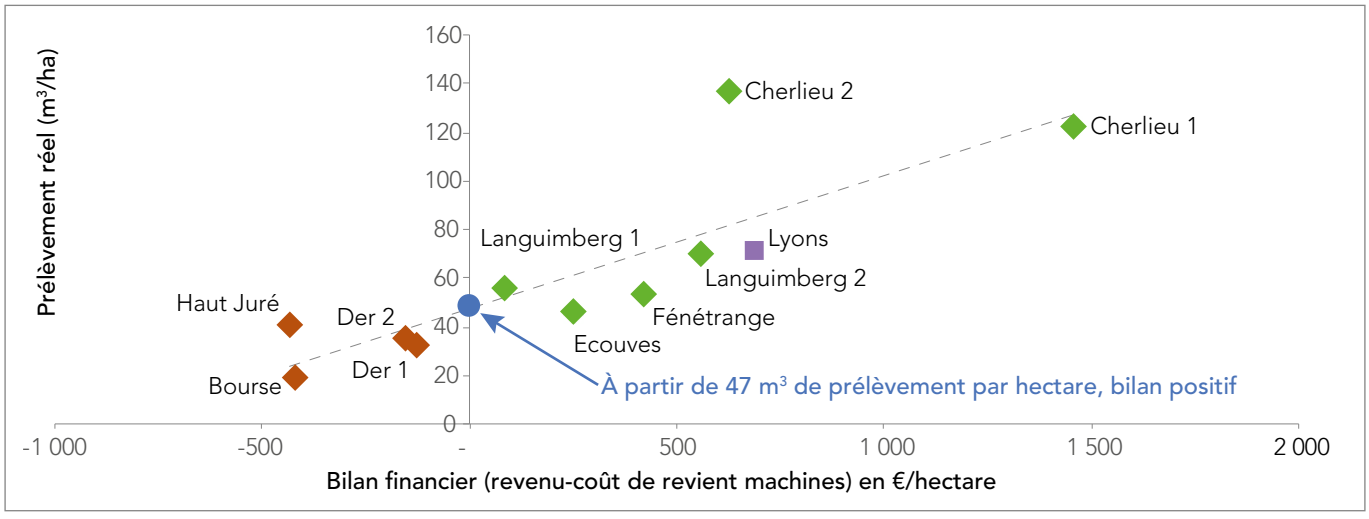


Fig. 3 : bilan financier des chantiers test, en comparaison avec le prélèvement réel

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 ($Ø_{130}$ > 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 inexistants, 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 m^3/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.

En haut, marquage « en réserve » ou sélection de tiges d'avenir, couleur chamois (FD d'Ecouves et FD de Darney)

Ci-dessus, marquage en abandon : couleur bleu (FD de Darney) et couleur rouge (FD de Fontainebleau)

Ci-contre, au bout d'un an : le marquage rouge, vieilli, est impossible à voir (FD de Bride)

Marquage en abandon en rose (FD d'Ecouves) et comparaison de deux couleurs sur hêtre et chêne avec les couleurs automnales des feuillus

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 ranchers. 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 nettoiements 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

Bibliographie

Mourey J.-M., Pischedda D., Lefebvre L., 2012 : Implanter 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.

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

Erwin Ulrich, ONF

Quels dispositifs pour comparer la croissance des peuplements purs et mélangés ? Exemple du mélange sapin-épicéa avec les données de l'Inventaire forestier national

Malgré l'importance et l'intérêt des peuplements mélangés, leur fonctionnement reste largement méconnu car la tâche est immense, ne serait-ce qu'en raison de la multiplicité des assemblages d'espèces. Ici les auteurs s'intéressent à la croissance : ils récapitulent les types de dispositifs qui permettent l'étude des peuplements mélangés et montrent l'intérêt des données de l'inventaire national pour caractériser, grâce à une méthode originale de modélisation, l'effet du mélange sur la croissance des espèces concernées. De là naissent des hypothèses de mécanismes, que l'expérimentation permet d'approfondir.

D'après les résultats de l'inventaire forestier de l'IGN portant sur les campagnes d'inventaire de 2008 à 2012, les peuplements forestiers mélangés représentent 53 % des forêts françaises de production. Le mélange d'essences est intéressant à différents égards : aspects sanitaires, support de biodiversité ou encore production de bois.

La résistance accrue des peuplements mélangés aux attaques d'insectes ravageurs par rapport aux peuplements purs est désormais avérée (Jactel et Brockerhoff 2007) en particulier face à des attaques d'insectes oligophages. Lors de ces attaques, des mécanismes de compensation de croissance peuvent exister entre l'espèce attaquée et celle qui ne l'est pas (Perot *et al.* 2013). Ensuite, les peuplements mélangés peuvent *a priori* supporter une plus grande diversité de microhabitats, et sont donc susceptibles d'accueillir une diversité plus importante d'espèces végétales ou animales. Enfin, dans certaines conditions, le mélange d'essences peut également s'avérer plus productif que les peuplements purs.

Cependant les résultats de recherche sur la croissance et la productivité des peuplements mélangés sont encore très lacunaires. Il est donc nécessaire d'améliorer les connaissances sur le fonctionnement et la modélisation des écosystèmes forestiers mélangés, pour les différents types d'assemblages d'espèces. Or, dans le domaine forestier, les expérimentations sur la croissance sont difficiles à mener car les interactions sont complexes et il faut de nombreuses années pour obtenir des résultats. L'utilisation des données de l'inventaire forestier de l'IGN offre une alternative pour combler certaines lacunes concernant les interactions entre espèces forestières et leurs impacts sur la productivité.

Après avoir donné une vue d'ensemble des grands types de dispositifs permettant d'étudier les peuplements mélangés, cet article présente une méthodologie développée spécifiquement pour les données de l'inventaire forestier de l'IGN. Adaptée aux mélanges à deux espèces, cette méthodologie s'appuie sur la comparaison de la croissance en surface terrière des essences dans les peuplements purs et mélangés.

Quels dispositifs pour étudier la croissance des peuplements mélangés ?

Les dispositifs existants pour étudier le fonctionnement des forêts mélangées, ou plus spécifiquement leur croissance, peuvent se classer en plusieurs types en fonction du niveau de contrôle des facteurs étudiés. D'un côté figurent les expérimentations, avec d'une part les dispositifs *ex situ* en milieux contrôlés, et d'autre part les suivis de réseaux de placettes permanentes *in situ* ; de l'autre figurent les réseaux de placettes d'observation de l'existant, comme les données de l'inventaire forestier de l'IGN. Leurs intérêts sont différents et complémentaires.

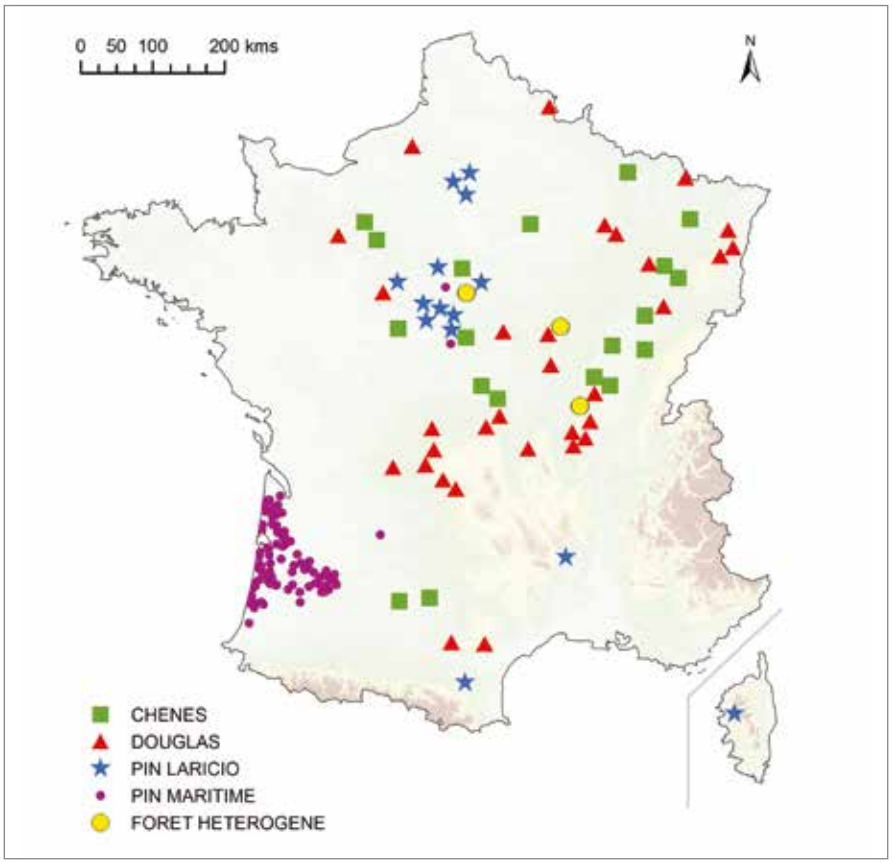
Les dispositifs expérimentaux *ex situ*

Dans les dispositifs expérimentaux *ex situ*, les facteurs influençant la croissance sont fortement contrôlés. Idéalement, les conditions de croissance sont identiques d'une modalité à une autre, à l'exception des facteurs dont l'influence est étudiée. Par exemple, pour l'étude des effets du mélange, des semis peuvent être plantés sur des terrains nus et homogénéisés, selon des modalités de mélange différentes : pur d'une espèce, pur de l'autre espèce, et diverses proportions de mélange. C'est notamment le but du dispositif ORPHEE installé par l'INRA de Bordeaux, dont l'objectif principal est l'analyse à long terme de la relation entre biodiversité et fonctionnement des forêts dans un environnement changeant. Ce type d'expérimentation permet d'aborder des problématiques complexes, comme le rôle de la diversité des essences forestières dans le maintien des fonctions écologiques des forêts soumises au changement climatique. Une autre démarche pourrait consister à découpler sous serre l'effet du climat et l'effet du mélange sur la croissance des végétaux grâce au contrôle total des précipitations, des températures, du taux de CO_2 atmosphérique, etc. Cependant, s'il est aisé de mener de telles expérimentations sur des semis forestiers, il est nettement plus délicat d'en piloter sur des arbres adultes. Or la question de l'effet du changement climatique sur les peuplements adultes est au moins aussi importante qu'au stade des semis.

Les suivis de réseaux de placettes permanentes *in situ*

Une autre source de données sur la croissance des peuplements forestiers provient du suivi de réseaux *in situ*. Il s'agit dans ce cas de dispositifs expérimentaux installés dans des peuplements forestiers afin de suivre l'effet d'un facteur donné, comme l'effet de l'intensité de la sylviculture ou l'effet du mélange sur la croissance, sur tout ou partie du cycle forestier. Un des meilleurs exemples en France pour l'étude des effets de la sylviculture sur la croissance est le Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) « Coopérative de Données », qui rassemble aussi bien des gestionnaires que des instituts de recherche. Ce GIS a pour but de suivre sur le long terme la croissance de peuplements soumis à différents niveaux de densité. Quatre essences majeures de production sont étudiées en peuplements purs : le chêne sessile, le pin laricio, le pin maritime et le douglas. Un cinquième groupe d'étude est consacré aux forêts hétérogènes, mais ne dispose que de 3 sites installés en 2012-2013 (figure 1) : deux en plantation sur la comparaison des modalités pures et mélangées de douglas vert et mélèze hybride, le troisième concernant des peuplements constitués de chêne sessile et pin sylvestre, dans le cadre du dispositif OPTMix (Korboulewski *et al.*, ce numéro). C'est la mutualisation des efforts entre les différents acteurs forestiers qui a rendu possible l'existence de ce réseau qui compte aujourd'hui 178 sites pour 1 154 placettes de mesure, mais qui ne donnera des résultats que sur le long terme.

Pour l'installation de ces réseaux de placettes, une des difficultés principales est de s'assurer que les différentes modalités sylvicoles sont sur des stations comparables. Cette difficulté est particulièrement forte dans le cas des peuplements mélangés adultes. Il n'y a que deux méthodes possibles d'y installer un réseau de placettes permanentes dans le cadre de l'étude des peuplements mélangés. La première consiste à générer les modalités



Source : GIS Coop / Mathilde Duverger, INRA

Fig. 1 : le réseau de placettes permanentes in situ *du GIS « coopératives de données sur la croissance des peuplements forestiers*
Le groupe consacré aux forêts hétérogènes ne compte encore que 3 sites installés

expérimentales par éclaircie d'un peuplement mélangé existant. Par exemple, à partir d'un peuplement à deux essences, on supprimera une essence sur un tiers du peuplement, on supprimera l'autre sur le deuxième tiers, et on conservera un mélange équilibré des deux essences sur le troisième tiers. Cette méthode présente l'avantage d'avoir des conditions environnementales homogènes entre les modalités. Cependant elle compte plusieurs inconvénients : tout d'abord, plusieurs éclaircies sont en général nécessaires pour atteindre les niveaux de mélange ou de pureté souhaités, ce qui impose une installation longue, sur plusieurs années. Ensuite, l'historique du peuplement peut induire des arrière-effets, en particulier au niveau du sol, qui pourraient fausser les résultats concernant l'effet de la composition. Enfin, il est difficile de trouver les grandes surfaces homogènes de peuplements mélangés qui sont requises. La deuxième méthode consiste à choisir des parcelles forestières différentes selon les modalités. Par exemple, toujours dans le cas d'un mélange à deux espèces, le dispositif s'étend sur trois parcelles : une en peuplement pur d'une espèce, une en peuplement pur de la deuxième espèce, et la troisième en peuplement mélangé des deux espèces. Les avantages et inconvénients de cette deuxième méthode sont opposés à ceux de la première. L'étude de l'effet du mélange peut se faire dès l'installation, et il n'y a pas d'arrière-effets liés à un changement de composition du peuplement. En revanche, il est difficile de contrôler l'ensemble des facteurs environnementaux ou sylvicoles qui influent sur la croissance : le type de sol, l'âge des peuplements, la densité, et l'historique de gestion.

La première méthode est plus adaptée au contexte montagnard, où l'altitude est un facteur supplémentaire à contrôler et rend quasiment impossible la deuxième méthode, qui est plus adaptée aux situations de plaine où des situations comparables peuvent être trouvées dans les grands massifs forestiers. Le dispositif OPTMix (Oak Pine Tree Mixture), qui vient d'être installé en forêt domaniale d'Orléans par le centre Irstea de Nogent-sur-Vernisson, permettra d'étudier le mélange chêne sessile – pin sylvestre au stade adulte, et relève de cette deuxième méthode. Contrairement aux données de certains dispositifs *ex situ*, le suivi de réseau de placettes permanentes *in situ* ne permet généralement pas de contrôler les facteurs climatiques, mais peut s'appuyer sur les variations annuelles du climat pour tenter d'en appréhender les effets. Il peut y avoir des exceptions, comme le site expérimental de Puechabon, où sur une partie d'une yeuseraie, 33 % des eaux de pluies sont exclues grâce à la mise en place de gouttières sous la canopée.

La lourdeur de mise en place et de gestion des suivis des placettes permanentes ne permet malheureusement pas de dupliquer ce type d'expérimentation pour de nombreuses espèces et pour de nombreux facteurs, ce qui serait nécessaire pour répondre aux interrogations pratiques sur le changement climatique.

Les réseaux de placettes d'observation

Pour élargir la palette des mélanges étudiés, il est possible d'utiliser des données dites d'observation. Il s'agit de données provenant de mesures effectuées sur des peuplements forestiers sans objectif de suivi à moyen ou long terme des peuplements d'où elles proviennent. Les données de l'inventaire forestier de l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN), qui mesure l'accroissement radial des arbres échantillonnés par microcarottage, en font partie. L'intérêt majeur de ce type de réseau est le grand nombre de données disponibles, dans des conditions environnementales et sylvicoles variées. En effet, lors des campagnes 2005 à 2012 (données nouvelle méthode de l'inventaire forestier), 555 450 arbres ont été mesurés par l'IGN, sur 53 583 placettes réparties de manière systématique sur tout le territoire métropolitain. À l'échelle nationale, l'étendue des observations disponibles pour l'étude des peuplements mélangés est sans équivalent, mais nécessite des méthodologies rigoureuses de sous-sélection de données et de modélisation pour compenser l'absence du contrôle des conditions environnementales qu'apportent les autres types de données. La suite de cet article présente, en s'appuyant sur le mélange sapin – épicéa, une méthodologie spécifiquement développée pour l'étude de la croissance des peuplements mélangés à deux espèces à partir des données de l'inventaire forestier de l'IGN.

Modélisation de la croissance du mélange sapin-épicéa avec les données de l'inventaire forestier de l'IGN

Les résultats sur le mélange sapin – épicéa présentés ci-dessous proviennent de travaux menés dans le cadre d'une convention entre l'Office National des Forêts et le centre Irstea de Nogent-sur-Vernisson. La méthodologie a été publiée en détails dans un article de Journal of Vegetation Science (Vallet et Perot 2011). Les résultats présentés dans cet article ont été complétés dans le cadre d'une thèse démarrée à l'automne 2011, également soutenue par l'ONF, et portent sur les campagnes 2006 à 2010 de l'IGN.

Une étape importante, la sélection des données

La base de données IGN concerne l'ensemble de la ressource forestière française. Les données par placette incluent les mesures dendrométriques individuelles (essence, circonférence à 1,30 m, accroissement radial sur les 5 dernières années, hauteur totale) mais aussi des descripteurs du peuplement environnant (notamment la structure), et du contexte écologique (flore, pente, caractéristiques du sol…).

Pour l'étude d'un cas particulier, une sous-sélection de placettes est nécessaire. Pour l'étude de la croissance du mélange sapin – épicéa, trois critères principaux de sélection ont été définis pour contrôler la composition, la distribution géographique et la structure des peuplements.

■ Critères de composition – Pour comparer la croissance des espèces en peuplement mélangé et en peuplements purs, trois sous-ensembles de données sont nécessaires : une base correspondant aux peuplements purs de sapins, une autre aux peuplements purs d'épicéas, et une troisième correspondant au mélange de ces deux espèces. Les placettes retenues pour les peuplements purs sont celles pour lesquelles 100 % de la surface terrière des arbres échantillonnés par l'IGN sont de l'essence considérée. Les placettes mélangées sont celles pour lesquelles la somme des surfaces terrières du sapin et de l'épicéa représente au minimum 80 % de la surface terrière de la placette. De plus la surface terrière des autres essences ne dépasse pas celle du sapin ou de l'épicéa. Ces contraintes pour les peuplements mélangés permettent d'obtenir un nombre de placettes suffisant pour analyser la croissance, tout en s'assurant d'avoir principalement les effets des essences étudiées.

■ Critères géographiques – Les placettes retenues pour l'étude sont choisies dans des zones géographiques identiques pour les trois compositions (sapin pur, épicéa pur ou mélange des deux essences). Par exemple, nous excluons les Pyrénées dans lesquelles le sapin est présent, mais l'épicéa assez peu, surtout en peuplements purs. Cette précaution permet d'éviter de trop grands écarts dans les conditions de croissance des peuplements purs ou mélangés et donc d'éviter de confondre un effet de la composition des peuplements avec l'effet d'autres facteurs. Cette sélection géographique se base sur le découpage du territoire en « grandes régions écologiques » (GRECO) produit par l'IGN (IFN 2011). Pour le couple sapin – épicéa, nous avons retenu les GRECO correspondants aux Vosges, au Jura, aux Alpes, et au Massif Central.

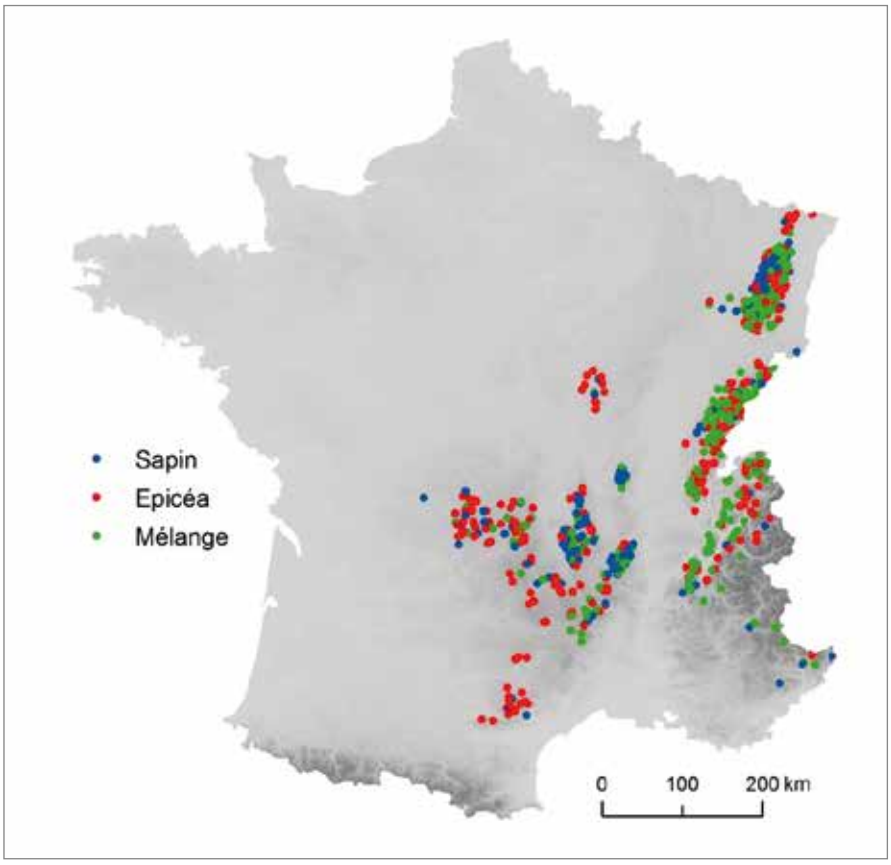


Fig. 2 : répartition des 727 points de l'étude sur les quatre massifs montagneux

■ Critères de structure du peuplement – Enfin, pour éviter les erreurs liées à une structure verticale des peuplements qui pourrait être différente en moyenne entre les peuplements purs et les peuplements mélangés, seules les placettes classées dans la catégorie « futaie régulière » de l'IGN sont retenues. Par ailleurs, nous avons également exclu les placettes ayant subi des coupes dans les 5 dernières années, ce qui fausserait la mesure de l'accroissement en surface terrière. En effet, la contribution sur 5 ans à la croissance en surface terrière des arbres éclaircis en cours de période n'est alors pas comptabilisée.

Au final, l'application de l'ensemble de ces critères conduit à une sélection de 727 placettes parmi les campagnes 2006 à 2010 de l'IGN : 172 placettes de sapin pur, 263 d'épicéa pur, et 292 en mélange (figure 2).

La modélisation pour comparer peuplements purs et peuplements mélangés « toutes choses étant égales par ailleurs »

Malgré le soin apporté à la sélection des placettes, l'ensemble des facteurs influençant la croissance des peuplements n'est pas encore pris en compte. En effet, la croissance en surface terrière est dépendante des conditions du milieu, de la sylviculture, ou bien du stade de développement. Les trois bases construites à partir des données de l'IGN, reflétant l'état de la ressource, ne sont pas homogènes par rapport à ces facteurs. La modélisation permet de pallier cette difficulté, et de décorréler

l'effet du mélange des effets de ces facteurs, c'est-à-dire de comparer la croissance en peuplement pur et en peuplement mélangé toutes choses étant égales par ailleurs.

Le principe de la démarche

Il s'agit dans un premier temps de modéliser la croissance en surface terrière au niveau peuplement pour le sapin et l'épicéa en peuplement pur, avec pour chacune des deux essences un modèle de type potentiel – réducteurs (cf. équation 1 en encadré). Le potentiel est une fonction des variables écologiques pertinentes pour l'essence considérée, complétées par les données climatiques issues du modèle Aurélhy de Météofrance. Les réducteurs permettent de prendre en compte les effets de la sylviculture (fonction d'un indice de densité) et du stade de développement (fonction du diamètre quadratique moyen). Les paramètres de ce modèle sont ajustés sur les données de la base de peuplements purs de l'essence correspondante. Ainsi construit, le modèle prédit la croissance des peuplements purs sur les 5 dernières années.

Pour appréhender l'effet du mélange, on compare ensuite la croissance observée de l'espèce en mélange à la croissance qu'elle aurait si elle poussait en peuplement pur dans les mêmes conditions environnementales et sylvicoles. Pour ce faire, on procède en deux étapes : (1) on utilise le modèle développé précédemment pour prédire ce que serait cette croissance en peuplement pur, rapportée à la proportion de l'espèce dans le peuplement ; (2) on compare cette croissance estimée à la croissance observée (réelle) dans le peuplement mélangé. Elle diffère alors d'une petite variation qui traduit l'effet du mélange recherché.

[éq. 2] $$\frac{\Delta G_{observé}}{\Delta G_{estimé}} = (1 + u)$$

où $\Delta G_{observé}$ est l'accroissement en surface terrière réel mesuré sur la placette, $\Delta G_{estimé}$ est l'accroissement en surface terrière prédit par le modèle en peuplement pur, et u la variation liée à l'effet du mélange. Lorsqu'il n'y a pas d'effet du mélange, $u = 0$, et $\Delta G_{observé} = \Delta G_{estimé}$.
Cette variation u est relative, c'est-à-dire qu'elle correspond à un pourcentage d'augmentation ou de diminution de la croissance en peuplement mélangé par rapport aux peuplements purs. Cet effet du mélange dépend lui-même de la proportion de l'espèce, et peut varier suivant les conditions environnementales. Plus de détails sont fournis dans l'article de Vallet et Perot (2011). Cette démarche de modélisation permet d'isoler l'effet du mélange des autres facteurs influençant la croissance.

[éq. 1] $$\Delta G_{estimé} = f_1(\text{station}) \times f_2(\text{sylviculture}) \times f_3(\text{stade de développement})$$

Potentiel — Réducteurs

Massifs	Sapin	Épicéa
Vosges	+21 %	+4 %
Jura	+3 %	+3 %
Alpes	+14 %	-1 %
Massif Central	+30 %	+7 %

Tab. 1 : effet moyen du mélange sur la croissance en surface terrière du sapin et de l'épicéa pour les quatre massifs montagneux de l'étude, pour une proportion de 50 % de chaque espèce en surface terrière

Résultats sur l'effet du mélange dans le couple sapin – épicéa

L'analyse de la croissance du mélange sapin – épicéa pour les quatre massifs montagneux Vosges, Jura, Alpes et Massif Central a révélé un effet en moyenne positif du mélange sur la croissance en surface terrière du sapin de l'ordre de +15 % pour un peuplement équilibré entre les deux essences (proportion de 50 % en surface terrière). En revanche, il n'y a pas d'effet significatif sur la croissance de l'épicéa.

Cet effet est en réalité modulé par les conditions du milieu. Les premiers résultats indiquent que moins la station est productive, plus l'effet du mélange est élevé. Ainsi, l'effet peut en moyenne se différencier pour les quatre massifs montagneux, avec en particulier un effet mélange sur le sapin moindre dans le Jura, où les stations sont globalement plus productives (tableau 1).

Différentes hypothèses, comme la complémentarité des deux espèces pour l'acquisition des ressources du sol ou pour la lumière, pourraient expliquer l'effet globalement positif du mélange sur la croissance en surface terrière.

Intérêt de la méthode et perspectives

La modélisation conduite à partir des données d'observation comme celles de l'IGN permet de dresser un constat, et d'identifier les situations dans lesquelles la croissance d'une essence est supérieure ou inférieure en mélange par rapport aux peuplements purs dans des conditions environnementales et sylvicoles équivalentes. Cette approche permet de soulever des hypothèses concernant les mécanismes qui sont responsables

d'un effet du mélange sur la croissance, mais ne permet pas de les étudier finement. Cela peut se faire dans les suivis de réseaux expérimentaux plus instrumentés, où l'acquisition de données peut être guidée explicitement par ces hypothèses. Ces types d'approches et d'analyse sont donc très complémentaires.

Cette méthodologie est applicable à d'autres essences et constitue un point de départ menant à une caractérisation générale de l'effet du mélange dans les peuplements à deux espèces. L'analyse de la variation de l'effet du mélange en fonction des conditions environnementales, ou en fonction du type d'assemblage entre espèces pourrait apporter des éléments de description et de compréhension supplémentaires : existe-t-il des situations où l'effet du mélange est toujours positif, ou bien toujours négatif ? Cela dépend-il des conditions stationnelles ou bien du type d'assemblage entre espèces ? Cette généralisation est a été abordée dans la thèse de Maude Toïgo et fera l'objet d'un prochain article, concernant les mélanges de montagne sapin – hêtre, épicéa – hêtre, sapin – épicéa, et les mélanges de plaine hêtre – chêne sessile, et chêne sessile – pin sylvestre.

Patrick Vallet
Thomas Pérot
Maude Toigo
Irstea, Centre de Nogent-sur-Vernisson
UR Ecosystèmes forestiers (EFNO)

Bibliographie

IFN, 2011. Une nouvelle partition écologique et forestière du territoire métropolitain : les sylvoécorégions (SER)

Jactel H, Brockerhoff E.G., 2007. Tree diversity reduces herbivory by forest insects. Ecology Letters vol. 10, pp. 835-848

Perot T, Vallet P, Archaux F., 2013. Growth compensation in an oak–pine mixed forest following an outbreak of pine sawfly (Diprion pini). Forest Ecology and Management vol. 295 pp.155-161

Vallet P, Perot T., 2011. Silver fir stand productivity is enhanced when mixed with Norway spruce: evidence based on large-scale inventory data and a generic modelling approach. Journal of Vegetation Science vol. 22(5) pp. 932-942

Thierry Sardin, ONF

Exemple de sapinière-pessière en FD de Bois Sauvage (88)

OPTMix – Dispositif expérimental de suivi à long terme du fonctionnement de la forêt mélangée

Cette présentation d'un dispositif expérimental sur le fonctionnement du mélange chêne sessile/pin sylvestre fait écho à l'article précédent. Elle illustre l'ampleur des enjeux, la complexité inhérente à l'étude des peuplements mélangés, la façon de concevoir les modalités, l'instrumentation et les protocoles de mesure pour recueillir des données pertinentes au regard des grandes questions posées et des hypothèses à tester…

Face aux changements climatiques, les forestiers imaginent plusieurs stratégies d'adaptation pour tenter d'atténuer leurs effets sur les services rendus par la forêt. Rappelons, sans revenir en détail sur les projections, que les prévisions sont unanimes concernant l'augmentation des températures tandis que celles concernant les précipitations sont plus incertaines. À l'horizon 2071-2100, la France subirait une hausse des précipitations hivernales ainsi qu'une augmentation des épisodes de sécheresse concernant une large partie sud du pays mais pouvant s'étendre à l'ensemble du pays (Ouzeau *et al.* 2014). Indépendamment du travail sur les possibilités de migration des espèces, deux stratégies sylvicoles sont envisagées pour la gestion des peuplements forestiers : (1) diminuer la densité pour limiter le stress hydrique (facteur majeur de dépérissement), et (2) privilégier le mélange d'essences pour maintenir la productivité tout en améliorant la résistance et la résilience face aux perturbations (voir encadré).

Les peuplements mélangés constituent actuellement près de la moitié des 14,5 millions d'hectares de forêt de production (au sens de l'Inventaire forestier national) ; les mélanges à deux essences (4,8 Mha) représentent un tiers des peuplements, tandis que ceux à plus de deux essences en représentent 16 % (IGN 2014). Or, le fonctionnement des forêts mélangées tempérées et surtout les interactions des différents types de pression qu'elles subissent restent mal connus, et de nombreuses questions se posent quant à leur vulnérabilité face aux perturbations et au changement climatique. Aux pressions des phénomènes climatiques s'ajoute celle des trois principales espèces d'ongulés sauvages (cerf élaphe, chevreuil et sanglier), en augmentation depuis une trentaine d'années et qui pose parfois de graves problèmes de régénération. Un autre défi de la gestion durable est la préservation de la biodiversité.

Dans ce contexte, l'Unité de Recherche « Écosystèmes Forestiers » d'Irstea à Nogent-sur-Vernisson vient d'installer en forêt domaniale d'Orléans un réseau de placettes expérimentales dédié à l'étude comparée de peuplements adultes mélangés et purs de chêne sessile (*Quercus petraea*) et pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) : le dispositif OPTMix (de l'anglais Oak Pine Tree Mixture). Le choix des essences s'est porté sur le chêne sessile, car il est la première essence métropolitaine (en volume), et sur le pin sylvestre qui lui est principalement associé dans les forêts mixtes de plaine. Ce dispositif a été construit pour tester les effets des stratégies sylvicoles envisagées dans le cadre du changement climatique en termes de densité du peuplement et de composition (chêne, pin, mélange des deux essences). Une originalité : pouvoir étudier l'action combinée de ces stratégies, associée à la présence ou non d'ongulés sauvages (sangliers, cerfs, chevreuils). L'objectif est de comprendre comment les différents facteurs (densité, composition, ongulés) agissent sur le fonctionnement, la croissance et la productivité des peuplements, la régénération, la dynamique forestière ainsi que sur la biodiversité.

Il s'agit d'un dispositif de long terme, qui s'intègre aussi en partie au réseau « Forêt hétérogène » du GIS Coopérative de données sur la croissance des peuplements forestiers (Bédéneau *et al.* 2001). Depuis 1994, ce groupement d'intérêt scientifique (GIS Coop) se consacre au recueil et à la mise en commun de données sur la croissance des peuplements forestiers pour l'élaboration de modèles de croissance et d'outils d'aide à la gestion ; ce qui suppose d'installer et suivre des réseaux de placettes permanentes multi-sites et multi-organismes mesurés périodiquement selon des protocoles standardisés (plus d'informations sur http://agriculture.gouv.fr ; voir aussi Vallet *et al.*, ce numéro).

Deux stratégies sylvicoles face aux changements climatiques :

- La première idée est de diminuer la densité des peuplements et, par conséquent, le volume de bois sur pied afin de réduire la compétition entre les arbres pour les ressources en eau (moins de surface foliaire par hectare c'est moins de pertes d'eau par transpiration) et, dans une moindre mesure, en nutriments comme cela a pu être observé dans certains cas (Balandier 2014). Cependant, cela entraîne des modifications de l'écosystème dont les conséquences sur son fonctionnement (croissance, renouvellement, biodiversité) s'avèrent difficiles à prédire à cause de multiples interactions. Notamment, l'ouverture du peuplement favorise le développement d'un sous-bois riche et abondant en plantes vasculaires qui constitue une ressource alimentaire importante pour les cervidés. Mais des espèces monopolistes, particulièrement compétitrices pour les ressources, peuvent se développer et atténuer les effets positifs sur le bilan hydrique (Gobin 2014). L'évaluation, sur la base bibliographique, de cette stratégie sylvicole sur la biodiversité s'avère difficile du fait des résultats contrastés entre différents taxons tels que les carabes, les bryophytes épiphytes, les champignons lignicoles, ou la faune du sol (Balandier 2014).

- La deuxième stratégie consiste à privilégier les peuplements mélangés. Elle vise à la fois à maintenir ou augmenter la productivité des forêts et à obtenir des peuplements plus résistants et résilients face aux perturbations. L'hypothèse générale sous-jacente à cette amélioration est basée sur le principe dit de complémentarité en écologie : chaque espèce valorise un ensemble de traits que n'a pas sa voisine. Le mélange d'essences a bien un effet sur la productivité des peuplements (Pretzsch *et al.* 2010, Vallet et Perot 2011), mais il n'est pas systématique. Il dépend du contexte pédo-climatique et des assemblages d'essences et, pour les principales essences forestières françaises de production, il se révèle favorable dans les situations plutôt peu productives (Thèse M. Toïgo, 2011-2014, Toïgo *et al.* 2015 b). Le mélange peut minimiser les pertes de production suite à l'attaque d'un insecte phytophage (Jactel et Brockerhoff 2007), l'essence non-hôte permettant de compenser les pertes de croissance subies par l'essence hôte (Perot *et al.* 2013). En revanche, dans le cas de sécheresses, les essences en mélange ne semblent pas toujours plus résistantes ou résilientes (Merlin *et al.* 2015) et certaines essences peuvent même être plus stressées en peuplement mélangé qu'en peuplement pur (Toïgo *et al.* 2015a). Quant aux effets du mélanges d'essences sur la biodiversité, tous les cas de figure sont possibles selon les taxons étudiés et les essences concernées : des peuplements mélangés plus favorables que les peuplements purs en termes de richesse spécifique, mais pas en abondance ; ou bien en abondance uniquement ; ou encore sans effet (Gosselin 2004, Barsoum *et al.* 2014, Barbier *et al.* 2008). Ces résultats contrastés semblent provenir du type d'essence en mélange, par exemple les mélanges feuillus-conifères ou les peuplements purs de feuillus auraient tendance à abriter des communautés plus diversifiées que les peuplements purs de résineux (Gosselin 2004).

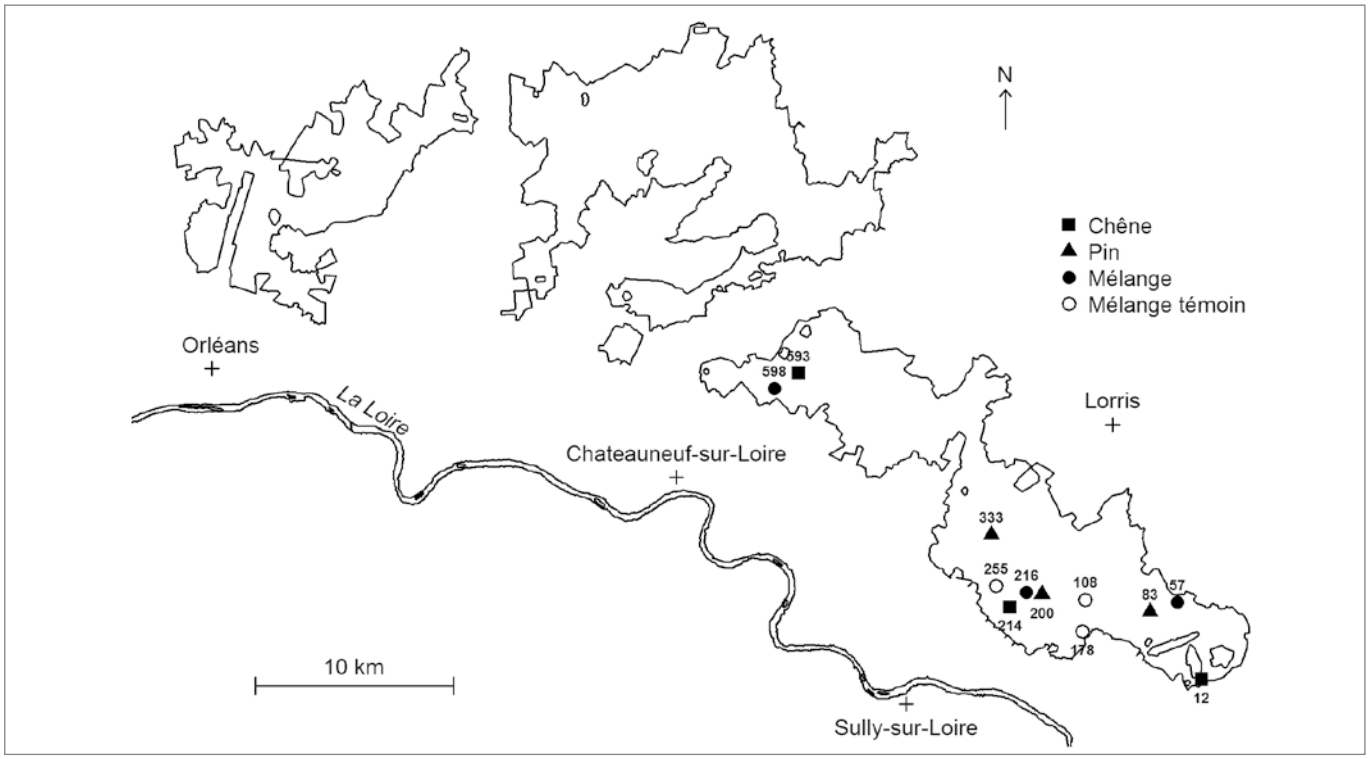


Fig. 1 : localisation des différentes placettes d'étude du dispositif OPTMix

Les 33 placettes en peuplement pur de pin, de chêne ou en mélange sont réparties dans 12 parcelles forestières de la forêt domaniale d'Orléans (numéro de la parcelle indiqué sur la carte)

Cet article se propose de présenter le dispositif expérimental OPTMix puis de montrer en 4 grandes questions comment sa conception permet d'aborder les diverses problématiques, avec une instrumentation et des mesures appropriées.

Le dispositif OPTMix

Le dispositif est installé en forêt de plaine, dans des peuplements de chêne sessile et pin sylvestre du massif de Lorris en forêt domaniale d'Orléans (figure 1). Ces deux essences ont été sélectionnées car, d'une part, le mélange chêne-pin représente une des associations les plus répandues en France et, d'autre part, les différences contrastées de traits entre un feuillu et un résineux présentent de multiples intérêts scientifiques. Les placettes sélectionnées sont situées sur des planosols, d'assez faible fertilité, présentant un horizon superficiel sableux et un plancher argileux, induisant la présence d'une nappe d'eau perchée temporaire, souvent en hiver et au printemps. Le sous-bois est majoritairement constitué de fougère aigle (*Pteridium aquilinum*), de molinie (*Molinia caerulea*), ou de callune (*Calluna vulgaris*), en association avec d'autres espèces acidiphiles (présentes sur des humus de type eumoder, dysmoder et mor). Tout le dispositif connaît une fréquentation régulière des ongulés (cerf, chevreuil et sanglier) dont les populations sur le massif de Lorris sont considérées, depuis une dizaine d'années, stabilisées à un niveau compatible avec les objectifs sylvicoles définis par l'ONF.

Le dispositif comporte 33 placettes expérimentales réparties dans 12 parcelles forestières adultes de futaies régulières âgées de 60 à 80 ans environ. Les peuplements correspondent, soit à un mélange chêne sessile – pin sylvestre, soit à l'une de ces deux essences en peuplement pur. Une présélection de parcelles a été réalisée en croisant les informations provenant de photographies aériennes et des cartes d'aménagement de l'ONF. Pour garantir la plus grande homogénéité stationnelle possible entre les parcelles retenues, nous nous sommes basés sur les caractéristiques du sol et notamment la présence d'un plancher argileux en dessous de 40 cm de profondeur, la composition floristique, l'absence de molinie en touradon ou d'importantes cépées de charme en sous-bois.

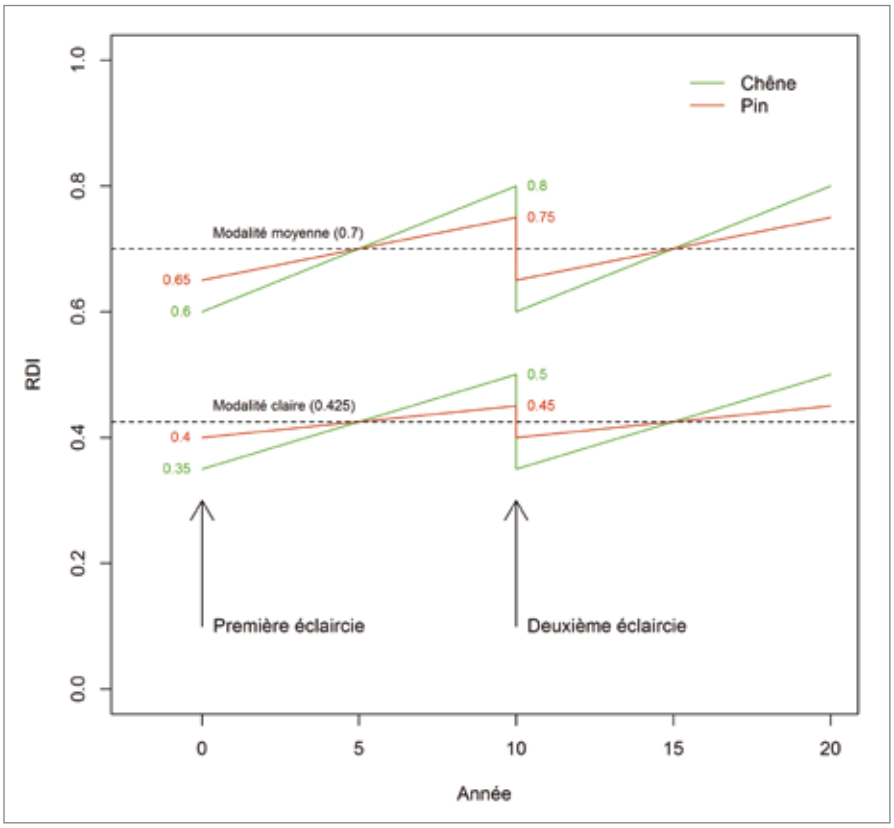


Fig. 2 : évolution de l'indice de densité relative (RDI) par rapport au RDI objectif (ligne en pointillée) pour les deux modalités de densité étudiées : « sylviculture dynamique » (RDI = 0,425) et « conservatrice » (RDI = 0,7)
La périodicité des éclaircies est donnée à titre indicatif.

Pour chaque composition de peuplement (chêne pur, pin pur, mélange), deux niveaux de densités sont appliqués notamment pour tester l'hypothèse d'un intérêt sur le bilan hydrique : une densité faible correspondant à une sylviculture dite « dynamique » (RDI objectif de l'ordre de 0,4) et une densité moyenne correspondant à une sylviculture dite « conservatrice » (RDI objectif de 0,7) (voir encadré RDI et figure 2). Les placettes ne correspondant pas à la plage de densités ciblée ont fait l'objet d'un martelage suivi d'une coupe entre fin 2012 et fin 2014. Par ailleurs, les quelques arbres du sous-étage et les éventuelles cépées de charme ont été coupés afin d'établir un état initial homogène entre placettes et de limiter le peuplement aux essences étudiées. Pour chaque composition et densité, nous avons installé trois répétitions (figure 4). Dans la modalité sylviculture dynamique, on s'attend à ce que l'ouverture du couvert favorise le développement de la flore du sous-bois, dont les jeunes arbres en régénération ; c'est pourquoi deux types de pression d'herbivorie par les ongulés y sont

étudiés (figure 3) : avec herbivorie (accès libre des animaux) et sans herbivorie (mise en défens à l'aide de clôtures). S'y ajoutent, pour les peuplements mélangés, une modalité dynamique avec clôture sélective (qui laisse pénétrer les sangliers, mais pas les cervidés, voir figure 3) et une modalité témoin sans intervention sylvicole ni clôture. La modalité avec clôture sélective, comparée aux modalités fermée et ouverte, permet de découpler l'effet des cervidés et du sanglier dont les activités peuvent avoir des conséquences différentes sur le cycle des éléments et la régénération du pin ou du chêne, ce qui questionne sur le renouvellement du mélange. On pense par exemple à la prédation exercée sur les glands (sanglier) ou les jeunes plants[1] (cervidés) de chêne qui est une entrave au maintien d'un peuplement mélangé. La modalité témoin répond au protocole expérimental « Forêt hétérogène » du GIS Coop et vise à étudier la mortalité dans les peuplements mélangés dans un contexte de densité maximale (au bout d'un certain temps sans coupe), pour valider les calculs de RDI en mélange. L'ensemble représente un total de 33 placettes (figure 4).

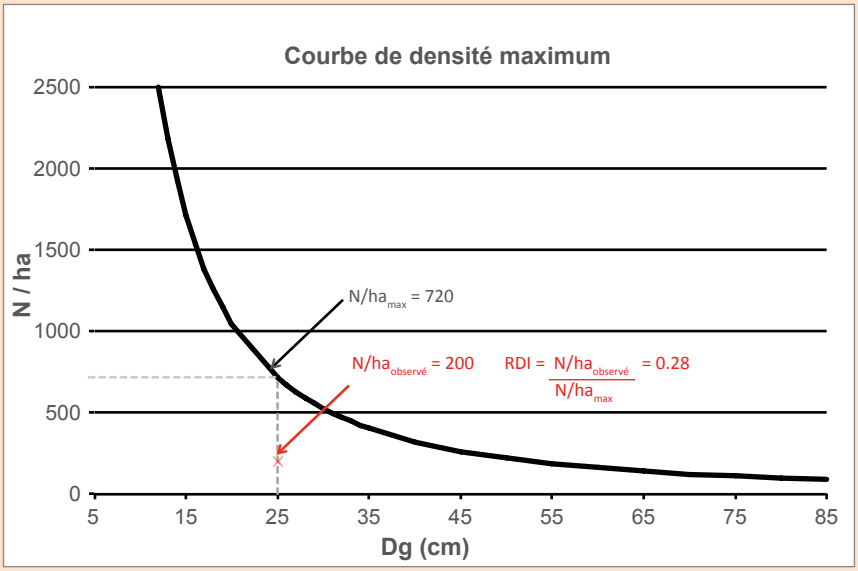
Chacune des placettes de mesure couvre une surface de 0,5 ha où tous les arbres ont été cartographiés. Les placettes de mesure sont entourées d'une zone tampon de 20 mètres de large soumise aux mêmes modalités (Fig. 5). La plupart des placettes est équipée d'appareils de mesure du microclimat, en particulier du bilan hydrique. Des dendromètres ont été installés sur un échantillon d'arbres afin de suivre leur croissance en continu et en particulier à l'échelle intra-annuelle. En parallèle, des suivis de populations d'herbivores (ongulés sauvages et micromammifères), de diversité, de dynamique de la végétation et de la régénération forestière ainsi que de l'utilisation des ressources par les arbres (eau, lumière, nutriments) sont réalisés.

L'indice de densité relative (RDI)

La densité d'un peuplement peut être exprimée par différents indices, les uns se rapportant à une mesure quantitative absolue, telle que le nombre de tiges par hectare ou la surface terrière, les autres se rapportant à une mesure relative exprimée en pourcentage d'une valeur moyenne ou maximale. Pour exprimer le niveau de compétition au sein d'un peuplement, la notion de densité n'a de sens que si elle est rapportée à la taille des arbres (1 000 tiges de 5 cm de diamètre ne représentent pas le même niveau de compétition que 1 000 tiges de 10 cm). D'où l'intérêt des valeurs relatives, dont l'indice de densité relative de Reineke, appelé RDI (Relative Density Index ; Reineke 1933, Dhôte 1997).

Cet indice est basé sur la notion d'auto-éclaircie. Pour une essence donnée, le nombre maximal de tiges vivantes qu'un peuplement peut compter est corrélé négativement au diamètre moyen, selon une relation exponentielle inverse (qui correspond à une droite sur une double échelle logarithmique : d'où la « droite d'auto-éclaircie » souvent évoquée). Le RDI rapporte la densité observée d'un peuplement ($N/ha_{observé}$) à la densité théorique maximale pour le diamètre quadratique moyen du peuplement considéré (N/ha_{max}). Cette densité maximale correspond au cas d'un peuplement sans intervention où la diminution du nombre de tiges au cours du vieillissement ne résulte que de la mortalité naturelle des arbres par compétition ; par définition, l'indice RDI est alors maximal et vaut 1. En peuplement géré, le RDI est donc compris entre 0 et 1 ; la limite inférieure théorique (RDI = 0) correspondrait à un peuplement sans arbres (densité nulle).

Le RDI est indépendant de l'âge des arbres et pertinent en futaie régulière équienne. Pour définir les scénarios sylvicoles dans OPTMix, le RDI a été étendu aux peuplements réguliers mélangés, en calculant un RDI par espèce à partir de leurs diamètres quadratiques moyens respectifs, puis en les additionnant pour obtenir le RDI total. Il s'agit d'une construction théorique qu'il sera nécessaire de valider à partir de données d'observation : les modalités témoin sans intervention constituent un premier pas dans ce sens.



Principe d'utilisation de la courbe d'auto-éclaircie d'une essence donnée pour le calcul du RDI : RDI = $N/ha_{observé}/N/ha_{max}$ soit, pour l'exemple indiqué (point rouge) RDI = 200/720 = 0.28. N/ha = nombre de tiges vivantes par hectare ; Dg = diamètre quadratique moyen

[1] *NDLR : la distinction entre semis (< 50 cm) et plants est ici une question de hauteur et non d'origine (rien à voir avec une quelconque plantation)*

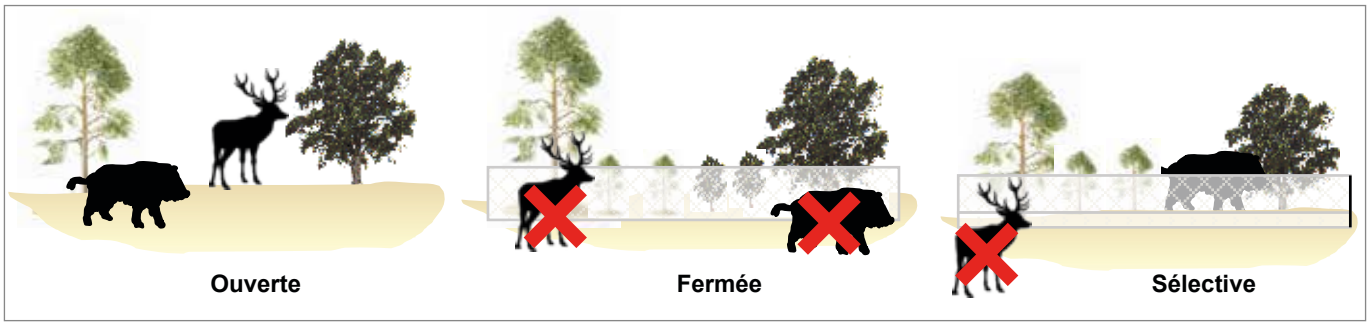


Fig. 3 : représentation schématique des modalités liées à l'herbivorie par les grands mammifères

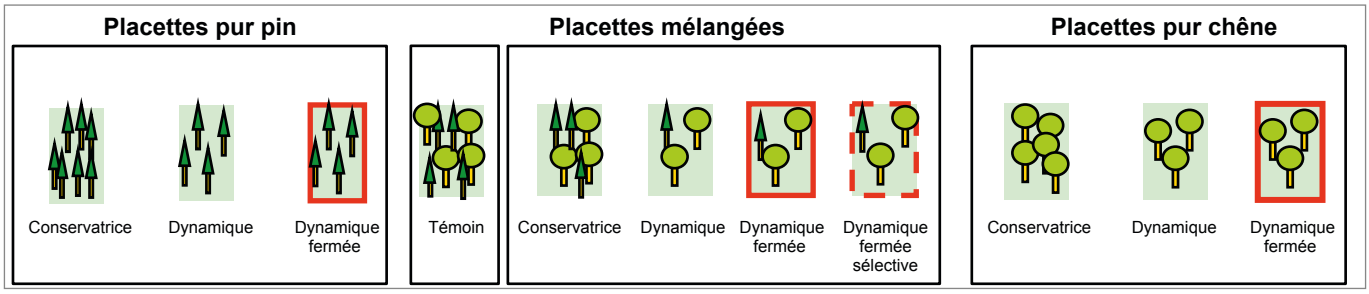


Fig. 4 : représentation schématique des différentes modalités pour une répétition, soit 11 placettes installées dans quatre parcelles forestières

Les cadres noirs représentent les parcelles forestières pour une répétition soit une pour chaque peuplement pur et deux pour le mélange.

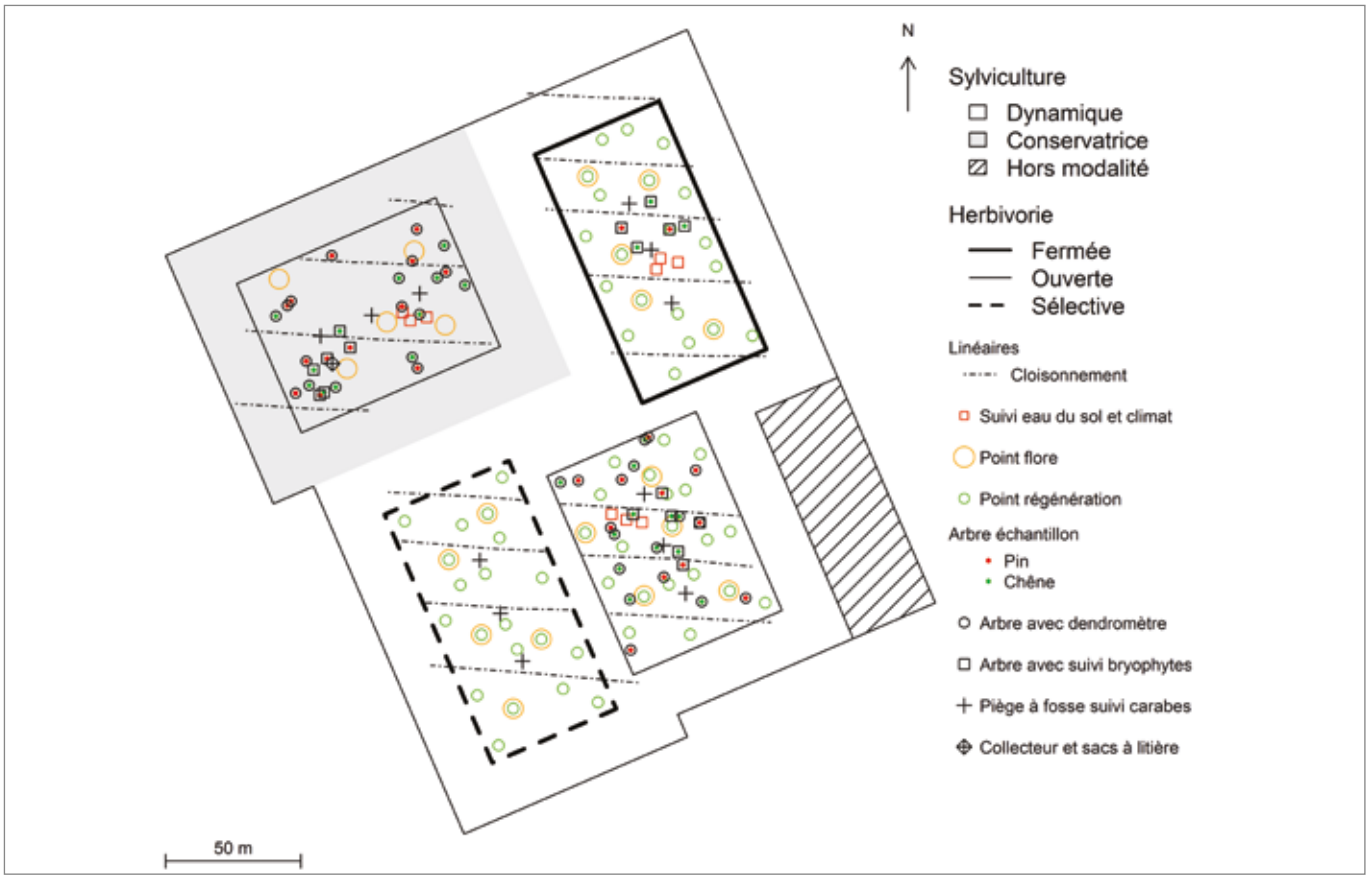


Fig. 5 : exemple d'organisation des placettes expérimentales dans un peuplement mélangé (parcelle 216)

Quatre modalités sont suivies : sylviculture conservatrice sans exclusion des herbivores (ouverte), sylviculture dynamique ouverte aux herbivores, sylviculture dynamique avec exclusion des herbivores par clôture (fermée) et sylviculture dynamique ne laissant passer que les sangliers (clôture sélective)

OPTMix, une forêt laboratoire !

La dimension expérimentale de ce dispositif, les différentes thématiques scientifiques abordées ainsi que l'équipement qui y est investi font d'OPTMix un véritable laboratoire. Les principaux axes de recherche abordés dans ce projet sont détaillés ci-dessous.

Quels sont les effets du mélange d'essences sur la productivité, la résistance et la résilience des peuplements ?

L'effet positif du mélange sur la productivité a été constaté dans diverses situations mais il pourrait être contrebalancé par une consommation des ressources, et notamment de la ressource en eau, plus grande qu'en peuplements purs. En période de sécheresse (perturbation abiotique) le mélange pourrait donc aggraver le stress subi par les arbres (Richards *et al.* 2010, Grossiord *et al.* 2014) et avoir un effet négatif sur la productivité des peuplements ou sur leur capacité de résistance et de résilience.

Les premiers résultats obtenus sur le dispositif, à partir de données rétrospectives sur arbres abattus, ne montrent ni effet négatif ni effet positif du mélange sur la résistance ou la résilience du chêne et du pin en période de sécheresse (Merlin *et al.* 2015). Pour approfondir ce questionnement la croissance radiale d'un échantillon d'arbres est étudiée en lien avec le régime hydrique à l'échelle intra-annuelle. La croissance radiale intra-annuelle est mesurée sur 216 arbres à l'aide de dendromètres (photo 1) répartis sur l'ensemble des modalités ouvertes (sans clôture). Les 3 placettes témoins seront équipées ultérieurement.

Ce suivi permettra (1) d'étudier la réponse individuelle des arbres aux conditions climatiques et à leur environnement (densité et composition) et (2) d'étudier si les différences de bilan hydrique entre types de peuplement se traduisent au niveau de la croissance individuelle.

Quels sont les avantages et les limites des stratégies sylvicoles vis-à-vis de l'utilisation des ressources en eau et en nutriments ?

Les peuplements mélangés offrent des dispositions supposées bénéfiques pour la productivité : la complémentarité temporelle des essences (décalage de début et/ou de fin de saison de végétation), leur complémentarité spatiale dans l'utilisation des ressources, notamment en lumière, en eau et en nutriments (Forrester 2014), ainsi que la diversité des types de litière, susceptible de favoriser leur décomposition et la libération de nutriments (Chapman *et al.* 1988). Mais si les ressources sont limitées, comme l'eau en période de sécheresse, cette complémentarité pourrait devenir problématique en augmentant la consommation totale et en exacerbant la compétition.

La stratégie de réduction de la densité du peuplement (en peuplement mélangé ou non) vise à limiter cette compétition mais l'ouverture du couvert qui en résulte favorise le développement de la végétation du sous-bois, dont la consommation en eau et en nutriments est à préciser.

Le dispositif OPTMix permettra de tester ces hypothèses dans le cadre du mélange chêne – pin et de caractériser le partage et l'utilisation des ressources (absorption, efficience d'utilisation, etc.). Ainsi, nous étudions :

- la disponibilité en lumière dans le sous-bois ;
- le bilan hydrique et notamment la teneur en eau des sols, le niveau de la nappe d'eau temporaire et la pluviométrie grâce à un appareillage (photos 2 et 3) constitué de piézomètres, de capteurs de teneur en eau du sol, de pluviomètres et, pour caractériser la demande climatique, de capteurs de rayonnement, de température et d'humidité de l'air. Une centrale d'acquisition de données relie ces différents capteurs et enregistre les données en continu.

© Irstea

1 – Dendromètre installé sur un pin sylvestre

© Irstea

2 – Insertion d'un capteur d'humidité du sol à 20 cm de profondeur (type Campbell CS616)

© Irstea

3 – Ensemble des capteurs pour les mesures du microclimat installés sur un mât

- le cycle des nutriments, l'efficience d'utilisation des nutriments par les arbres et la mise en place d'expérimentation de décomposition de litière (photo 4).

Enfin, une station météorologique de référence installée en plein découvert au sein du massif complètera prochainement le dispositif. Par ailleurs, une caractérisation physico-chimique et une description pédologique ont été réalisées sur chacune des placettes. Nombre de ces données environnementales serviront également à d'autres travaux.

Quel est le rôle des herbivores dans le processus d'installation de la régénération sous couvert des peuplements mélangés et dans la dynamique du sous-bois ?
La régénération naturelle des arbres sous couvert est principalement soumise aux contraintes d'éclairement. Une sylviculture dynamique peut apporter une ouverture du peuplement suffisante pour qu'une régénération basse (semis et plants < 2 m) puisse s'installer. Outre l'effet de la disponibilité en lumière, nous étudierons l'influence de deux facteurs biotiques sur la phase d'installation et de croissance de la régénération basse : les dommages causés par les herbivores et la compétition avec les espèces interférentes. Le premier comprend les dégâts causés par les micromammifères (Caroulle et Baubet 2006) et par les ongulés (cerf élaphe, chevreuil et sanglier) (Van Lerberghe et Balleux 1999). Il s'agit en particulier d'étudier les effets cumulés de ces deux facteurs sur la régénération basse des essences principales et dans un contexte de peuplements mélangés, et en interaction avec le changement climatique. Ces phénomènes sont d'autant plus complexes que l'ampleur des dégâts semble varier en fonction de la végétation accompagnante, que ce soit en tant que refuge pour les micromammifères ou en tant que ressource alimentaire alternative pour les cervidés. Cette végétation et son développement sont le résultat à la fois des conditions stationnelles, de l'ouverture du peuplement et de la pression exercée par les grands herbivores.

Afin de déterminer et de quantifier la part relative et les effets cumulés des herbivores dans la dynamique du sous-bois des peuplements purs et mélangés à sylviculture dynamique, les groupes d'animaux sont étudiés ensemble ou séparément à l'aide de systèmes d'exclusion sélectifs : des grillages adaptés pour les grands herbivores (cervidés, sangliers) (photos 5 et 6), des zones plus restreintes encagées pour les rongeurs. Par ailleurs, le suivi des populations et de la fréquentation des placettes est réalisé par des piégeages photographiques pour les ongulés et des systèmes de captures-recaptures pour les micromammifères.

Les suivis de la régénération basse des essences sont réalisés sur un réseau de 20 placeaux circulaires de 12,6 m² (rayon de 2 m) dans les placettes à sylviculture dynamique. Sur ces placeaux, le développement des espèces interférentes (callune, molinie, fougère) est également étudié et complété avec le réseau des placeaux de suivi de la flore (figure 5). En parallèle, une expérimentation complémentaire est installée sur le domaine des Barres (Nogent-sur-Vernisson, Loiret), en conditions semi-contrôlées de pépinière (photo 7). Elle a pour objectif de clarifier les interactions entre semis de chêne et une espèce interférente du sous-bois, la ronce (*Rubus sect. Fruticosi*), sous différents niveaux de ressources (2 niveaux d'éclairement et 2 modalités d'irrigation) et de pression d'herbivorie (2 modalités d'herbivorie simulée manuellement).

Quels sont les effets du mélange d'essences, de la densité du peuplement et de la pression d'herbivorie des ongulés sauvage sur la biodiversité ?
Un des avantages des peuplements mélangés serait qu'ils renfermeraient une plus grande diversité spécifique. Il a été montré qu'une plus grande diversité d'arbres favorise l'apparition de différents microhabitats qui peuvent abriter différentes espèces végétales de sous-bois (Scherer-Lorenzen *et al.* 2005, Barbier *et al.* 2008, Cavard *et al.* 2011). Quels sont les effets du mélange, de l'ouverture du couvert (apport de lumière) et de la pression des grands ongulés sauvages (abroutissement sélectif,

© Irstea

4 – Dispositif d'étude du recyclage de la matière organique et des nutriments avec un collecteur de chute de litière au premier plan et une expérimentation de décomposition de litière au sol (encadrée par 4 fanions)

piétinement, etc.) sur la diversité spécifique et fonctionnelle ? C'est une question clef pour la conservation de la biodiversité, mais encore sans réponse (ou partielle) pour de nombreux taxons du sous-bois et du sol. Plusieurs hypothèses peuvent être émises dont deux sont souvent évoquées dans la littérature scientifique : les peuplements mélangés chêne-pin hébergent une biodiversité (1) maximale car ils hébergent à la fois les espèces associées aux peuplements feuillus et celles associées aux peuplements résineux, ou (2) de niveau intermédiaire entre les peuplements purs de résineux (diversité attendue minimale pour la plupart des taxons) et de feuillus (diversité attendue maximale).

Nous nous intéressons simultanément à plusieurs groupes et taxons dans les différentes placettes du dispositif à l'aide de relevés (observations, collectes ou piégeages selon les taxons), identifications et dénombrements (comptage d'individus ou recouvrement) :

■ **la flore du sous-bois,** à la base de la chaîne trophique. Un peuplement d'arbres moins dense devrait permettre un accroissement des ressources disponibles pour cette strate et en cascade pour les herbivores. Mais, d'une part, le développement d'une strate interférente (ex. fougères, molinie) pourrait bloquer cette dynamique (Balandier 2014) et, d'autre part, cet effet positif bénéficierait-il à toutes les composantes de la flore ? L'essence et la présence des ongulés en tant que perturbateurs auront-ils un rôle dans la dynamique ? Quels seront par exemple leurs effets sur les plantes rudérales ou exotiques invasives, ou sur les espèces à plus forte valeur patrimoniale telles que les espèces de forêts anciennes ?

■ **les bryophytes,** terricoles (au sol) ou épiphytes (qui se développent sur le tronc). Elles sont une partie méconnue de la biodiversité forestière alors qu'elles participent au

© Irstea

5 – Dispositif d'exclusion des ongulés : clôture faite d'un grillage soudé à mailles progressives de type Rempart® Lourd (hauteur 2 m + rabat de 50 cm ancré au sol)

© Irstea

6 – Ouverture autorisant le passage des sangliers dans les enclos sélectifs

© Irstea

7 – Dispositif en conditions contrôlées

Mesures/observations	Équipements	Nombre total sur le dispositif
DONNEES CLIMATIQUES DE REFEERENCES		
Station météorologiques de référence complète	• Centrale d'acquisition CR1000 – Campbell Scientific Limited • Boitier étanche ENC 12/14 – Campbell Scientific Limited • Mâts de montage • Batterie 12V • Capteur de température et d'humidité relative CS215 - Campbell Scientific Limited avec abris ventilés MET20 - Campbell Scientific Limited • Pyranomètre SP1110 – Skye instruments Ltd et Embase et plateau de fixation pour capteur de lumière SKE211 & CM225E MET20 – Campbell Scientific Limited • Capteurs de rayonnement PAR SKP215 – Skye instruments Ltd et Embase et plateau de fixation pour capteur de lumière SKE211 & CM225E MET20 – Campbell Scientific Limited • Capteur de rayonnement global rayonnement diffus BF3 – Delta-t Devices	1
SOL		
Suivi de l'humidité du sol et du niveau de la nappe d'eau	• Capteur de teneur en eau CS616 – Campbell Scientific Limited • Capteur de pression submersible + double tubes CS450 – Campbell Scientific Limited • Point de mesure de température avec des thermocouples	189 63 (dont 21 automatiques)
Mesures des caractéristiques physico-chimiques	3 fosses pédologiques décrites sur 24 placettes 10 points/placettes + 72 fosses	
Description pédologique	72 relevés au niveau des fosses	
Caractérisation des humus	Toutes les placettes, soit 33	
Etude de la décomposition des litières	• 120 litter-bag/placette	12 placettes, suivi sur 24 mois (2013-2015)
ACQUISITION DES DONNEES EN CONTINU		
Acquisition de données	• Centrale d'acquisition CR1000 ou CR800 – Campbell Scientific Limited • Multiplexeur AM 16/32 – Campbell Scientific Limited	21
Montage, alimentation électrique et protection du materiel	• Boitier étanche ENC 12/14 – Campbell Scientific Limited • Mats de montage • Batterie 12V	21
SUIVI DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX		
Humidité relative de l'air	• Capteur de température et d'humidité relative de l'air CS215 - Campbell Scientific Limited avec Abris ventilés MET20 - Campbell Scientific Limited	42
Précipitation	• Pluviomètre à augets AGR100 – Campbell Scientific Limited	42
Lumière	• Pyranomètre SP1110 – Skye instruments Ltd et Embase et plateau de fixation pour capteur de lumière SKE211 & CM225E MET20 – Campbell Scientific Limited	63
SUIVI AU NIVEAU DES ARBRES		
Croissance pluriannuelle : • Mesures de circonférence • Mesure de hauteur		33 placettes (tous les arbres) 21 placettes (15 arbres par espèce soit 450 arbres)
Croissance intra-annuelle	• Dendromètres à ruban à lecture manuelle • Dendromètres automatiques DR26 – EMS BRNO	21 placettes, 270 arbres 5 placettes, 6 arbres
Suivi du débourrement, date de débourrement		21 placettes, 270 arbres
Suivi de la régénération : Évaluation quantitative et qualitative sur placeaux de rayon 2 m (comptages et mesures de hauteur) – Comparaison entre 9 placettes ouvertes, 9 placettes fermées et 3 placettes sélectives		420 placeaux à raison de 20 placeaux par placette observés sur 21 placettes
Quantification des retours au sol et pluie de graines Détermination quantitative et qualitative (analyses chimiques) des retours au sol (litière). Quantification des graines et pouvoir germinatif	• Collecteurs de 0,5 m²	5/placette, soit 165 collecteurs au total
SUIVI DES MAMMIFERES RAVAGEURS		
Fréquentation et activités par les grands ongulés sauvages 3 périodes (fév./mar., mai/juin, nov./déc.), mode hybride (automatique 4 hrs matin/4 hrs soir + détection la nuit), 6 jours par période dans chacune des coins des placettes, suivi en continu en mode détection entre les 3 périodes pour les placettes sélectives	• Pièges photographiques, Moultrie Game Spy M-80XT	11 placettes, 792 jours par an (dont 24 jours de suivi par placette et par période)
Taux d'abroutissement par les cervidés : Estimation du taux d'abroutissement par les cervidés sur la régénération forestière		9 placettes ouvertes et 3 placettes sélectives, 240 placeaux
Pourcentage du sol retourné par le sanglier : Estimation du pourcentage du sol retourné par le sanglier		9 placettes ouvertes et 3 placettes sélectives, 240 placeaux
Abondance des populations de micromammifères Capture non destructive des micromammifères par des pièges type INRA avec dortoir, 1 campagne par an (automne), 48 h de capture, 204 pièges/ha		9 placettes, 102 pièges par placettes (disposés en rangées en totalisant 300 m)
SUIVI DE LA BIODIVERSITE		
Plantes vasculaires : Relevé floristique sur 5 placeaux de 40 m² par placette tous les 5 ans		33 placettes, 165 placeaux
Bryophytes : • Relevé floristique sur 5 placeaux de 40 m² par placette tous les 5 ans • Relevé au pied et sur le tronc de 3 arbres de chaque essence par placettes sur 30 placettes		33 placettes, 165 placeaux + 90 arbres
Insectes (carabes, faune du sol) : • Prélèvement des carabidés par pièges à fosse, 3 pièges par placettes, tous les 5 ans • Prélèvement du faune du sol (mesofaune) : 1 campagne en 2013		30 placettes

Tableau récapitulatif des suivis récurrents, mesures, et équipements installés sur le dispositif OPTMix

maintien d'un microclimat favorable à la régénération ou constituent un habitat pour d'autres taxons (insectes par ex.). Des approches à différentes échelles sont entreprises : échelle arbre (effet de l'essence et du voisinage), échelle placette (effet du mélange et de la densité).

■ **les microarthropodes du sol,** en particulier les collemboles. Ils jouent un rôle déterminant dans le recyclage des nutriments et participent à la formation d'habitats pour d'autres microorganismes (Lavelle *et al.* 2006). Élément central du réseau trophique du sol, ils ont été récemment reconnus comme un bioindicateur de la qualité des sols très performant par l'ADEME (programme Bioindicateur).

■ **les insectes carabidés** (carabes). Principalement prédateurs, notamment d'organismes décomposeurs de la litière, ces insectes utilisent les premiers horizons du sol pour s'y nourrir et, chez certaines espèces, pour hiverner ou y déposer leurs œufs. Ils sont donc potentiellement sensibles au mélange d'essences, aux espèces du sous-bois et par effet de cascade aux modifications de la faune du sol (dont les microarthropodes du sol).

Conclusion

OPTMix est un dispositif de suivi à long terme pour l'acquisition de données robustes, avec pour finalité d'évaluer les avantages attribués aux peuplements mélangés, souvent avancés mais rarement démontrés. Il contribue au réseau national du GIS « Coopérative de données sur la croissance des peuplements forestiers » (volet forêt hétérogène) et il est aussi complémentaire à d'autres dispositifs s'intéressant au fonctionnement des écosystèmes forestiers (réseau RENECOFOR, sites atelier du SOERE F-ORE-T), en élargissant au cas des peuplements mélangés. Avec deux originalités : l'étude combinée des effets de densité et de mélange, en présence ou pas d'ongulés sauvages. Ce dispositif, lourdement instrumenté, a été construit spécifiquement pour tester deux stratégies de gestion sylvicole envisagées dans le cadre des changements climatiques : l'ouverture du couvert et le mélange d'essence. Il permet d'aborder des questions capitales pour la gestion forestière future :

- Les stratégies sylvicoles testées sont-elles bénéfiques à la résistance du peuplement lors de sécheresses ?
- Quels sont les effets du mélange et de l'ouverture du peuplement sur la consommation en eau et la croissance du peuplement ?
- Quels sont les facteurs clefs pour permettre la régénération dans les peuplements mélangés ?
- Quelle est la diversité et quel est le rôle de la végétation du sous-bois dans les différents peuplements (appétence pour les herbivores, diversité floristique et faunistique, etc.) ?

Des éléments de réponse pourront être obtenus assez rapidement (*e.g.* : effet du mélange sur la diversité de certains taxons), d'autres demanderont plus de temps comme les effets sur le fonctionnement et la dynamique des peuplements forestiers. Au final, les acteurs de la filière bénéficieront des acquis du dispositif OPTMix pour faire évoluer les stratégies de gestion forestière.

Ce dispositif cherche également à fédérer des chercheurs sur la thématique du fonctionnement des forêts mélangées en zone tempérée dans le contexte des changements de climat et de pratiques.

Korboulewsky Nathalie
Pérot Thomas
Balandier Philippe
Ballon Philippe
Barrier Rachel
Boscardin Yves
Dauffy-Richard Emmanuelle
Dumas Yann
Ginisty Christian
Gosselin Marion
Hamard Jean-Pierre
Laurent Lisa
Mårell Anders
NDiaye Aminata
Perret Sandrine
Rocquencourt Agnès
Seigner Vincent
Vallet Patrick

Irstea, Centre de Nogent-sur-Vernisson
UR Ecosystèmes forestiers (EFNO)
nathalie.korboulewsky@irstea.fr

Remerciements

Nous remercions vivement la Région Centre et Irstea pour leur soutien financier et l'Office National des Forêts pour la mise à disposition des parcelles forestières. Nous remercions également Sébastien Macé, Élodie Novarra et Camille Couteau pour leur aide précieuse lors de l'installation du dispositif.

Bibliographie

Balandier P., 2014. Impact de l'intensité des prélèvements forestiers sur la biodiversité (IMPREBIO) – Rapport final – programme Biodiversité, Gestion Forestière et Politiques Publiques du MEDDE/MAAF. Nogent sur Vernisson, Irstea : 147 p.

Barbier S., Gosselin F., Balandier P., 2008. Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved - A critical review for temperate and boreal forests. Forest Ecology and Management vol. 254(1) pp. 1-15

Barsoum N., Fuller L., Ashwood F., Reed K., Bonnet-Lebrun A. S., Leung F., 2014. Ground-dwelling spider (Araneae) and carabid beetle (Coleoptera: Carabidae) community assemblages in mixed and monoculture stands of oak (Quercus robur L./ Quercus petraea (Matt.) Liebl.) and Scots pine (Pinus sylvestris L.). Forest Ecology and Management vol. 321 pp. 29-41.

Bédéneau M., Sindou C., Ruchaud F., Bailly A., Crémière L., 2001. Un partenariat scientifique original : la coopérative de données sur la croissance des arbres et des peuplements forestiers. Revue Forestière Francaise vol. LIII (2) pp. 171-177

Caroulle F., Baubet O., 2006. Dégâts de rongeurs en forêt : comment y remédier. Revue Forestière Française vol. LVIII (5), pp. 449-462

Cavard X., Macdonald S. E., Bergeron Y., Chen H. Y. H., 2011. Importance of mixedwoods for biodiversity conservation: Evidence for understory plants, songbirds, soil fauna, and ectomycorrhizae in northern forests. Environmental Reviews vol. 19, pp. 142-161

Chapman K., Whittaker J. B., W. Heal O., 1988. Metabolic and Faunal Activity in Litters of Tree Mixtures Compared with Pure Stands. Agriculture Ecosystems & Environment vol. 24(1-3), pp. 33-40

Dhôte J. F., 1997. Effets des éclaircies sur le diamètre dominant dans des futaies régulières de hêtre ou de chêne sessile. Revue Forestière Française vol. XLIX (6) pp. 557-578

Forrester D. I., 2014. The spatial and temporal dynamics of species interactions in mixed-species forests: From pattern to process. Forest Ecology and Management vol. 312, pp. 282-292

Gobin R., 2014. Contribution relative de la végétation du sous-bois dans la consommation en eau des placettes forestières soumises aux changements de climat et de pratiques. Thèse de doctorat, Université d'Orléans. 140p.

Gosselin F., 2004. Influence de la composition et de la richesse spécifique du peuplement arboré sur la biodiversité. Biodiversité et gestion forestière : connaître pour préserver. M. Gosselin and O. Laroussinie. Antony, Coédition GIP Ecofor - CEMAGREF Editions : pp. 127-148

Grossiord C., Gessler A., Granier A., Pollastrini M., Bussotti F., Bonal D., 2014. Interspecific competition influences the response of oak transpiration to increasing drought stress in a mixed Mediterranean forest. Forest Ecology and Management vol. 318, pp. 54-61

IGN, 2014. Résultats d'inventaire forestier. Résultats standards. La France administrative. Les résultats des campagnes d'inventaire 2009 à 2013, Institut National de l'Information Géographique et Forestière : 176 p.

Jactel H,. Brockerhoff E. G., 2007. Tree diversity reduces herbivory by forest insects. Ecology Letters vol.10, pp. 835-848

Lavelle P., Decaens T., Aubert M., Barot S., Blouin M., Bureau F., Margerie P., Mora P.,. Rossi J. P, 2006. « Soil invertebrates and ecosystem services. » European Journal of Soil Biology 42 : S3-S15.

Merlin M., Perot T., Perret S., Korboulewsky N., Vallet P., 2015. Effects of stand composition and tree size on resistance and resilience to drought in sessile oak and Scots pine. Forest Ecology and Management vol. 339(0), pp. 22-33

Ouzeau G., Déqué M., Jouini M., Planton S., Vautard R., Jouzel J., 2014. Le climat de la France au XXIème siècle, volume 4, scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer, Direction générale de l'Énergie et du Climat : 62 p.

Perot, T., Vallet P., Archaux F., 2013. Growth compensation in an oak-pine mixed forest following an outbreak of pine sawfly (Diprion pini). Forest Ecology and Management vol. 295(1), pp. 155-161

Pretzsch H., Block J., Dieler J., Hoang Dong P., Kohnle U., Nagel J., Spellmann H., Zingg A., 2010. Comparison between the productivity of pure and mixed stands of Norway spruce and European beech along an ecological gradient. Annals of Forest Science vol. 67(7), pp. 712.

Reineke L. H., 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. Journal of Agricultural Research vol. 46(7) pp. 627-638

Richards A. E., Forrester D. I., Bauhus J., Scherer-Lorenzen M., 2010. The influence of mixed tree plantations on the nutrition of individual species: a review. Tree Physiology vol. 30(9) pp. 1192-1208

Scherer-Lorenzen M., Körner C., Schulze E.-D. (in press). Forest Diversity and Function. Temperate and Boreal Systems. Berlin, Springer Verlag.

Toïgo M., Vallet P., Tuilleras V., Lebourgeois F., Rozenberg P., Perret S., Courbaud B., Perot T., 2015a. Species mixture increases the effect of drought on tree ring density, but not on ring width, in Quercus petraea-Pinus sylvestris stands. Forest Ecology and Management vol. 345, pp. 73-82

Toïgo M., Vallet P., Perot T., Bontemps J.-D., Piedallu C., Courbaud B., 2015 b. Over-yielding in mixed forests decreases with site productivity. Journal of Ecology vol. 103, pp.502-512

Vallet P., Perot T., 2011. Silver fir stand productivity is enhanced when mixed with Norway spruce: evidence based on large-scale inventory data and a generic modelling approach. Journal of Vegetation Science vol. 22(5) pp. 932-942

Van Lerberghe P., Balleux P., 1999. Lutter contre les dégâts du gibier dans les plantations forestières. Forêt Wallonne Cahier Technique n° 6, pp. 9-13

Fiche technique n° 11

ÉCORESPONSABILITÉ

UTILISER DES AÉROSOLS LORS DES MARQUAGES FORESTIERS

CONTEXTE GÉNÉRAL

Un aérosol est un récipient sous pression qui contient :
- un produit actif et un ou des solvants ;
- un gaz ou un mélange de gaz propulseurs.

Ce mode de conditionnement permet :
- une conservation durable du produit, tant que le contenu n'a pas été utilisé ;
- une bonne maîtrise des quantités utilisées ;
- un impact limité sur la santé humaine et l'environnement, grâce aux évolutions technologiques.

Ceci étant :
- L'utilisation de la plupart des aérosols contribue à l'effet de serre, du fait de la nature de certains gaz propulseurs, ce qui nécessite de bien choisir le produit et de respecter certaines précautions lors de l'utilisation, compte tenu de la nocivité de certains composants.
- En fin de vie, les aérosols sont des déchets dangereux, en raison de leur caractéristiques physico-chimiques.

Mais ils sont fréquemment recyclables, notamment lorsqu'ils sont en métal.

Les processus concernés sont :
ACH (Gérer les achats) ;
SAM (Mettre en œuvre les aménagements) ;
TRA (Réaliser les travaux) ;
ETU (Réaliser les études) ;
DEC (Gérer les déchets).

*Les termes suivis de * sont définis dans le glossaire en page 4.*

Photo : Y. Moreau / ONF

Marquage d'un arbre à exploiter (forêt domaniale de Chaux)

CONTEXTE POUR L'ONF

Afin de maîtriser l'impact de ses activités sur l'environnement, l'ONF s'est doté d'une **politique environnementale**. Son axe 5 concerne l'écoresponsabilité, dont l'un des objectifs est de prendre en compte le **développement durable** (notamment en matière de **SST*** et d'**environnement**) dans sa stratégie d'achat.
Les aérosols de peinture constituent un volume d'achat de plus en plus important, compte tenu des nouveaux modes de désignation des coupes. C'est pourquoi il a été jugé nécessaire de passer un marché au niveau national, afin de prendre en compte ces objectifs.
Deux types d'utilisation des aérosols de peinture sont prévus en milieu naturel :
- **marquage temporaire** pour divers chantiers (aucune consigne précise n'est fixée quant aux couleurs à utiliser) ;
- **marquage des arbres à exploiter ou à conserver pour la biodiversité** (l'**instruction 09-T-69** détermine les couleurs à utiliser suivant les cas).

Office National des Forêts

Le marché national des aérosols de peinture

Réalisé au titre du processus ACH (Gérer les achats)

JUSTIFICATION D'UN MARCHÉ NATIONAL

Le recours à un marché national permet de réduire les coûts par une massification des achats, ce qui compense les surcoûts liés à la prise en compte de la SST* et de l'environnement.

Par ailleurs, cette procédure est conforme au code des marchés publics, dans le respect des décisions du conseil d'administration.

Ce marché a été notifié le 27 décembre 2012 pour une durée d'un an, renouvelable trois fois sur notification de l'ONF. Le fournisseur retenu présentait l'offre technique et économique la plus intéressante parmi toutes les offres reçues.

CARACTÉRISTIQUES ET CRITÈRES DU MARCHÉ

Les marchés publics permettent au donneur d'ordre de spécifier deux types de mesures auxquelles doivent répondre les prestataires :
- les **caractéristiques**, clauses obligatoires devant être respectées par tout prestataire proposant une offre ;
- les **critères**, clauses non obligatoires permettant de noter et donc de classer les candidats.

Caractéristiques et critères peuvent être aussi bien d'ordre environnemental que technique.

Compte tenu des impacts potentiels détaillés dans le contexte général, les clauses de développement durable demandées par l'ONF dans le cadre de ce marché public ont conduit à constituer deux lots : l'un pour des peintures avec des solvants organiques (actuellement dominantes sur le marché), l'autre pour des peintures à l'eau (actuellement en développement).

Caractéristiques du marché

- La palette des couleurs proposées doit couvrir l'ensemble des besoins.
- La perception des couleurs doit correspondre à la teinte annoncée et les couleurs doivent être facilement discernables entre elles.
- La résistance à la lumière des différentes couleurs doit respecter une durabilité minimale.
- La composition chimique doit respecter le cahier des charges de l'écolabel* français NF130 (hors taux de composés organiques volatils) pour assurer une faible nocivité des peintures.
- Le conditionnement des aérosols doit être effectué dans des cartons de 6 à 12 aérosols pour éviter le suremballage ou un poids trop élevé des cartons.
- Le fournisseur a une obligation de reprise des contenants en fin de vie et de leur envoi vers une filière de recyclage.

Critères du marché

- Niveau de nocivité résiduelle du mélange (car les produits présentent déjà une haute qualité, répondant en grande partie aux exigences de l'écolabel, l'avis d'un médecin de la MSA* ayant été sollicité pour évaluer ce critère).
- Durabilité du marquage par exposition à la lumière (au-delà du minimum exigé dans les caractéristiques).
- Pouvoir couvrant.
- Séchage par temps froid.
- Engagements qualité du prestataire (normes ISO*, Ohsas*…).

Ces critères interviennent à hauteur de 60 % dans la note attribuée aux candidats, les 40 % restant correspondant au prix.

Le contrat signé implique que l'ONF ne peut s'approvisionner qu'auprès du fournisseur retenu pour les produits prévus à ce marché pendant toute la durée du contrat.

Ce même contrat prévoit le retour des aérosols en fin de vie à ce fournisseur qui en fait assurer le recyclage. 2013 a été une année de transition au cours de laquelle le fournisseur a accepté de prendre en charge et de faire recycler les aérosols acquis avant le marché.

Du bon usage des aérosols sur le terrain

MESURES À RESPECTER LORS DE LA RÉCEPTION DES AÉROSOLS

À mettre en œuvre au titre des processus SAM (Mettre en œuvre les aménagements), TRA (Réaliser les travaux), ETU (Réaliser les études)

- Ne pas porter plus d'un carton à la fois : des dispositions ont été prises par le Siège pour éviter des cartons trop lourds et donc des risques de troubles musculo-squelettiques.
- Stocker une quantité minimum et nécessaire de produits aux postes de travail.
- Stocker les aérosols dans des locaux adaptés (secs, bien ventilés, à l'abri de la lumière, à l'écart d'autres matières combustibles).

MESURES À RESPECTER LORS DE L'UTILISATION DES AÉROSOLS

À mettre en œuvre au titre des processus SAM (Mettre en œuvre les aménagements), TRA (Réaliser les travaux), ETU (Réaliser les études)

- Proscrire le marquage des coupes à la peinture fluorescente, dont la durabilité est inférieure au délai de trois ans dont dispose contractuellement l'exploitant pour réaliser son chantier.
- Ne pas laisser séjourner les aérosols dans les véhicules.
- Ne pas utiliser d'aérosol en cas de pluie, de vent fort, de neige, au-dessous de -10 °C.
- Prévoir et utiliser les EPI* adaptés (gants aux normes pour l'utilisation de produits chimiques, lunettes, voire masque en suivant les recommandations indiquées dans la section 8 de la FDS* du produit utilisé), ainsi que les éventuels autres EPI* préconisés par le médecin de prévention.
- Mesurer l'arbre avant de le marquer à la peinture, pour moins s'exposer aux vapeurs des solvants.
- Utiliser les accessoires : grattoir (pour gratter l'écorce afin que la marque adhère mieux), poignée ou pistolet (pour éviter des risques de TMS* et limiter les projections de peinture sur les mains et la formation de brouillard de peinture inhalable).
- Agiter l'aérosol avant tout usage.
- Pulvériser à 20 cm de l'arbre (plus près, on risque d'être éclaboussé ; plus loin, le produit risque d'être inutilement dispersé).
- Purger l'aérosol à la fin de chaque utilisation pour éviter le gaspillage de produit.
- Bien vider l'aérosol avant de le considérer comme déchet.
- Ne pas percer ni brûler l'aérosol.

MESURES À RESPECTER LORS DE LA GESTION DES DÉCHETS

À mettre en œuvre au titre du processus DEC (Gérer les déchets)

Les aérosols de peinture sont des déchets dangereux (code 16 05 04* dans la nomenclature des déchets).
La reprise des aérosols en fin de vie par le fournisseur ainsi que leur recyclage systématique ont été exigés dans le cadre du marché national. Aussi aucun autre circuit de traitement ne doit être envisagé, le coût par aérosol intégrant le coût du recyclage. Leur stockage doit être réalisé conformément au contrat signé entre l'ONF et le prestataire.

Les formalités réglementaires en matière de BSD* et de registre sont à assurer conformément au mode opératoire **9200-07-MOP-DEC-001** relatif aux traitements des déchets de l'ONF.

L'AVENIR

La recherche et le développement visent à donner aux peintures à l'eau une qualité et une durabilité équivalentes aux peintures à solvants organiques. Le remplacement du butane et du propane par de l'air comprimé comme gaz propulseur est par ailleurs recherché pour diminuer le taux de composés organiques volatils du mélange.

Toutes ces améliorations devraient permettre à moyen terme une écolabellisation des peintures conditionnées en aérosols.

Pour en savoir davantage

PLUS D'INFORMATIONS

SOURCES EXTERNES

> Code du travail : articles L4411-1 et suivants, R4411-1 et suivants

> Décret n° 2010-323 du 23 mars 2010 : prévention des risques résultant de l'usage des générateurs d'aérosol

> Fiche pratique de sécurité ED 67 : utilisation aux postes de travail des générateurs d'aérosols ayant pour propulseurs des gaz inflammables (INRS)

> Fiches de données de sécurité des produits : www.quickfds.com

> Écolabels : www.ecolabels.fr

> NF Environnement : www.marque-nf.com

> Comité français d'aérosols : www.aerosolution.org

SOURCES INTERNES

> Instruction 09-T-69 : modalités de désignation des coupes et contrôle de l'exploitation

> Instruction 10-P-03 : politique environnementale de l'ONF

> 9200-10-EMAI-STR-009 : déclaration de politique environnementale de l'ONF

> Note de service 08-P-66 : gestion des déchets et politique environnementale de l'ONF

> 9200-07-MOP-DEC-001 : mode opératoire sur les déchets

> Intraforêt
- page 2efdc : politique environnementale et certification ISO 14001
- page e622 : substances chimiques
- page ebf5 : le processus DEC (Gérer les déchets)

GLOSSAIRE

BSD : Bordereau de suivi des déchets

Écolabel : Label de qualité assurant qu'un produit a un impact réduit sur l'environnement en conservant les meilleures qualités techniques possible

EPI : Équipements de protection individuelle

FDS : Fiche de données de sécurité

MSA : Mutualité sociale agricole

ISO : Normes garantissant des produits et services sûrs, fiables et de bonne qualité

Ohsas : Normes pour la prévention des risques professionnels

SST : Santé et sécurité au travail

TMS : Troubles musculo-squelettiques

CONTACTS

AU SIÈGE

david.peiffer@onf.fr (Écoresponsabilité)
christelle.fauconnier@onf.fr (Achats)
florence.manoiline@onf.fr (SST)

DANS LES TERRITOIRES

Acheteurs territoriaux

DIRECTION DE LA PUBLICATION : ONF - DFRN/DCOM
Rédaction : Jean-Michel Mourey, David Peiffer, Christelle Fauconnier

Cette fiche est éditée grâce au FEDD, conformément au suivi du programme environnemental (SPE)

Direction générale
2, avenue de Saint-Mandé
75570 Paris Cedex 12
Tél. 01 40 19 58 00
Printemps 2014
Graphisme et impression : Imprimerie ONF Fontainebleau
Champ de certification « cœur de métier » : ISO 9001 et 14001

PEFC 10-4-4 / Promouvoir la gestion durable de la forêt / pefc-france.org

Office National des Forêts
www.onf.fr

BIODIVERSITÉ

Fiche technique n° 12

UTILISER LES DONNÉES NATURALISTES DANS LA GESTION FORESTIÈRE

CONTEXTE GÉNÉRAL

Le droit d'accès aux **informations environnementales** publiques, introduit lors du Sommet de la Terre de Rio en 1992, est reconnu et encadré :
- au niveau international (convention d'Aarhus ratifiée par la France en 2002) ;
- au niveau communautaire (directive 2003/4/CE) ;
- au niveau national (article 7 de la charte de l'environnement et code de l'environnement complétant les lois traitant de l'accès à l'information publique).

Les **données naturalistes** en constituent une composante essentielle, renseignant sur l'état, le fonctionnement et l'évolution des populations, espèces et habitats et apportant une connaissance indispensable à la gestion durable.

L'enjeu actuel est de favoriser la production, la fiabilité, le partage et l'utilisation des données naturalistes, notamment publiques, pour mieux les valoriser.

La présente fiche technique explique comment les données naturalistes (internes et externes) sont :
- acquises et centralisées à l'ONF ;
- mises à disposition de tous les personnels pour être consultées ;
- prises en compte dans la rédaction des aménagements ;
- intégrées dans la gestion grâce aux exigences, prescriptions et consignes.

*Les termes suivis de * sont définis dans le glossaire en page 6.*

Photo J.-M. Mourey / ONF

Exemple de partenariat avec la LPO en Franche-Comté

CONTEXTE POUR L'ONF

L'ONF assure la gestion durable des espaces naturels qui lui sont confiés dans ses trois dimensions (efficacité économique, performance environnementale et responsabilité sociale). Cette gestion durable nécessite au préalable une connaissance fiable du patrimoine géré, incluant tous les enjeux environnementaux, notamment la préservation des milieux et des espèces.

Au titre de sa certification ISO 14001, l'ONF met en œuvre une **politique environnementale** pour maîtriser les impacts significatifs de ses activités sur l'environnement et contrôler la conformité de ses activités à la réglementation et aux engagements pris (gestion forestière durable PEFC). La biodiversité constitue le premier axe de cette politique.

Dans ce cadre, l'ONF a développé une **base de données naturalistes**, intégrant les contributions internes et les échanges réalisés avec ses nombreux partenaires. Les données ainsi recueillies sont utilisées dans le cadre d'une gestion multifonctionnelle afin d'intégrer au mieux la préservation des milieux et des espèces.

Office National des Forêts

1 - Acquérir et centraliser les données naturalistes

ORGANISATION EN FRANCE

La **Stratégie nationale pour la biodiversité** (SNB) concrétise l'engagement français au titre de la convention sur la diversité biologique adoptée au Sommet de la Terre à Rio en 1992.

Cet engagement s'est traduit notamment par la création de l'**Observatoire national de la biodiversité** (ONB), chargé de caractériser l'état de la biodiversité et son évolution. L'ONB s'appuie sur les systèmes d'information existants, dont le principal est le **Système d'information sur la nature et les paysages** (SINP), qui permet à plus de 1 000 producteurs d'échanger leurs données.

L'un des éléments clés du SINP sur le thème de la biodiversité est l'**Inventaire national du patrimoine naturel** (INPN), géré par le Muséum national d'histoire naturelle (MNHN).

En France, de nombreux organismes contribuent au recueil de données naturalistes : établissements publics, services de l'État, collectivités territoriales, associations de protection de la nature, sociétés savantes, universités...

LA BASE DE DONNÉES NATURALISTES DE L'ONF

Constituant l'un des éléments du SINP, la **base de données naturalistes** (BDN) est un outil d'enregistrement, de gestion et de mutualisation des données naturalistes :
- internes, saisies directement par les personnels de l'ONF dans la BDN ou sur des **terminaux de saisie** (TDS) ;
- externes, issues de données publiques fournies dans le cadre des partenariats (voir ci-dessous).

La BDN a pour objectif de :
- produire des données naturalistes structurées et fiables, exploitées individuellement ou agrégées pour des synthèses ;
- permettre aux personnels d'enrichir cette base par la saisie directe de leurs observations ;
- approfondir la connaissance des milieux naturels et fournir des données pour le suivi de la biodiversité ;
- alimenter les analyses des enjeux environnementaux lors de l'élaboration des aménagements forestiers et de la réalisation des études et expertises ;
- améliorer la prise en compte de ces enjeux par les prescripteurs et intervenants dans la mise en œuvre des aménagements (lors de la réalisation des coupes et des travaux).

L'ONF a choisi l'INPN et le GBIF* pour diffuser largement ses observations naturalistes publiques, soit 400 000 données de référence relevées par plus de 300 contributeurs et portant sur 6 000 espèces.

LES RÉSEAUX NATURALISTES DE L'ONF

Les **réseaux naturalistes** ont été constitués depuis 2004 pour :
- développer la connaissance du patrimoine naturel ;
- favoriser la prise en compte de la biodiversité dans la gestion ;
- mettre en œuvre des études et des actions utiles à la conservation et à l'enrichissement de la biodiversité ;
- renforcer les relations avec les partenaires de l'ONF.

Leurs membres allient les missions naturalistes à leur métier principal de gestionnaire et ont ainsi un rôle important dans la mise en œuvre de la gestion multifonctionnelle, qui associe production de bois, préservation de la biodiversité, fonction sociale et parfois protection contre les risques naturels. Leurs compétences concourent aussi au développement des activités conventionnelles ou concurrentielles.

Six réseaux spécialisés :
- avifaune,
- entomofaune,
- habitats/flore,
- herpétofaune,
- mammifères,
- mycologie,

fédèrent et mutualisent les compétences d'environ **240 personnels** de l'ONF.

LES CONVENTIONS AVEC LES PARTENAIRES DE L'ONF

L'ONF a noué depuis plusieurs années des partenariats et passé des **conventions cadres** de coopération nationale avec plusieurs organismes prévoyant l'échange de données naturalistes :
- Muséum national d'histoire naturelle ;
- Conservatoires botaniques nationaux ;
- Société française d'études et de protection des mammifères ;
- Ligue pour la protection des oiseaux ;
- Office pour les insectes et leur environnement.

De tels partenariats existent également dans certaines régions depuis longtemps, en particulier avec les associations fédérées à France nature environnement, porte-parole de 3 000 associations présentes sur l'ensemble du territoire.

2 - Mettre à disposition les données naturalistes

Le schéma ci-dessous représente de façon synthétique le flux des données naturalistes dans le système d'information de l'ONF et la prise en compte des mesures correspondantes dans les chantiers (infrastructure, sylviculture, exploitation).

La BDN permet de consulter directement les données naturalistes, toute donnée importante étant à consigner sur le **sommier*** de la forêt concernée.

Les données naturalistes les plus importantes pour la gestion (localisations d'espèces ou d'habitats protégés) ainsi que les autres données environnementales (zonages réglementaires, cours d'eau, zones humides, captages...) sont intégrées et régulièrement mises à jour dans les environnements de travail de **Canopée**, application qui équipe les ordinateurs des personnels techniques pour disposer sur le terrain des informations cartographiques, notamment sur les enjeux environnementaux.

Des **référentiels** permettent de déterminer des exigences et des prescriptions adaptées à chaque enjeu (voir page 4), qui sont progressivement intégrées dans les applications internes :

- **Teck** (prestations de services internes et externes incluant exploitations en régie, études et expertises) ;
- **Production bois** (commercialisation des bois).

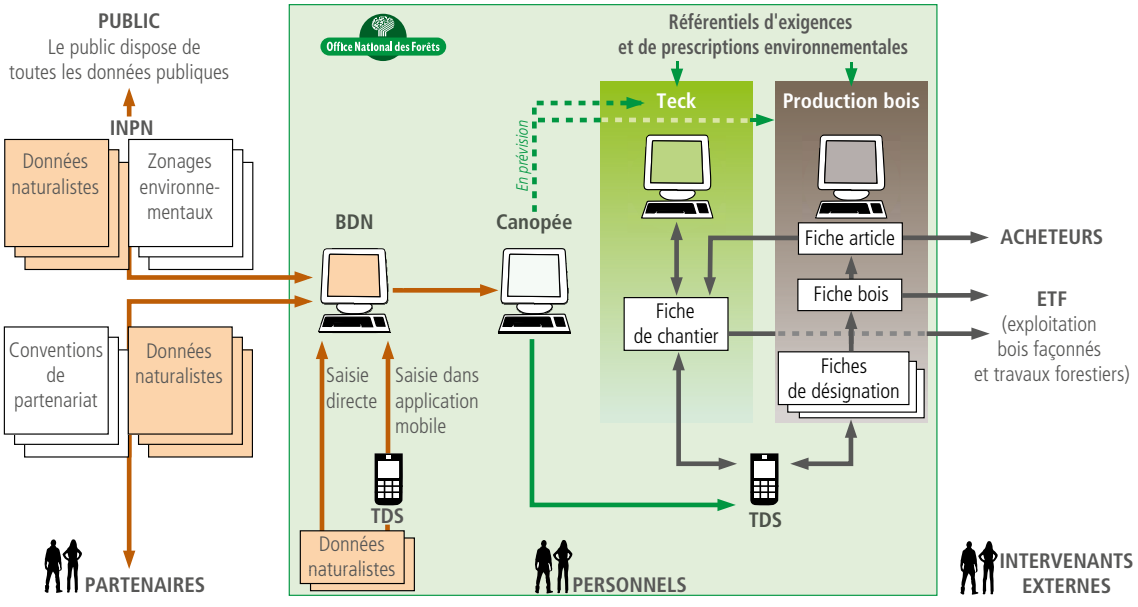
Les enjeux environnementaux et prescriptions correspondantes sont ainsi intégrés aux différents documents :

- la **fiche de chantier** fournit à l'intervenant toutes les caractéristiques du chantier d'exploitation ;
- la **fiche de désignation** recense sur une unité de gestion les arbres à exploiter et ceux à conserver pour la biodiversité ;
- la **fiche bois** fournit les caractéristiques (incluant les prescriptions) des bois à vendre sur pied ou à façonner ;
- la **fiche article** fournit aux acheteurs les informations et conditions particulières nécessaires à la réalisation du contrat de vente.

La directive « Inspire » 2007/2/CE a défini les modalités de l'établissement d'une infrastructure d'information géographique dans l'Union européenne. Elle a été transposée dans le droit français.

Les articles L127-1 et suivants du code de l'environnement :

- rendent obligatoire la mise à disposition de l'information environnementale publique ;
- définissent les conditions de restriction d'accès aux données publiques (cas des données sensibles dont la communication peut porter atteinte à l'environnement).



Flux : → Saisie ou échange de données (page 2) → Utilisation dans la gestion (page 4) → Intégration de prescriptions (pages 4 et 5)

3 - Les prendre en compte dans les aménagements

Les documents cadres pour l'aménagement et la gestion des forêts publiques prévoient une analyse du niveau d'enjeu des principales fonctions (économique, environnementale, sociale).

Ce diagnostic est réalisé à partir de classements réglementaires, d'expertises ou d'inventaires reconnus pouvant aboutir à une cartographie des enjeux. Le **guide 9200-13-GUI-EAM-021** lié à la note de service 13-G-1833 fournit les grilles de classement des niveaux d'enjeu des fonctions principales.

Si l'enjeu écologique est reconnu ou fort, des actions relatives à la biodiversité remarquable doivent être décrites.
Les données naturalistes permettent de préciser :
- certains enjeux particuliers (habitats ou espèces protégés, rares et/ou menacés) ;
- des mesures de gestion à appliquer pour les favoriser ou ne pas nuire à leur état de conservation (présence du pique-prune ou de chiroptères dans les cavités arboricoles…).

En forêt domaniale, des mesures relatives à la biodiversité courante sont prévues, conformément à l'**instruction 09-T-71** relative à la conservation de la biodiversité dans la gestion courante des forêts publiques.

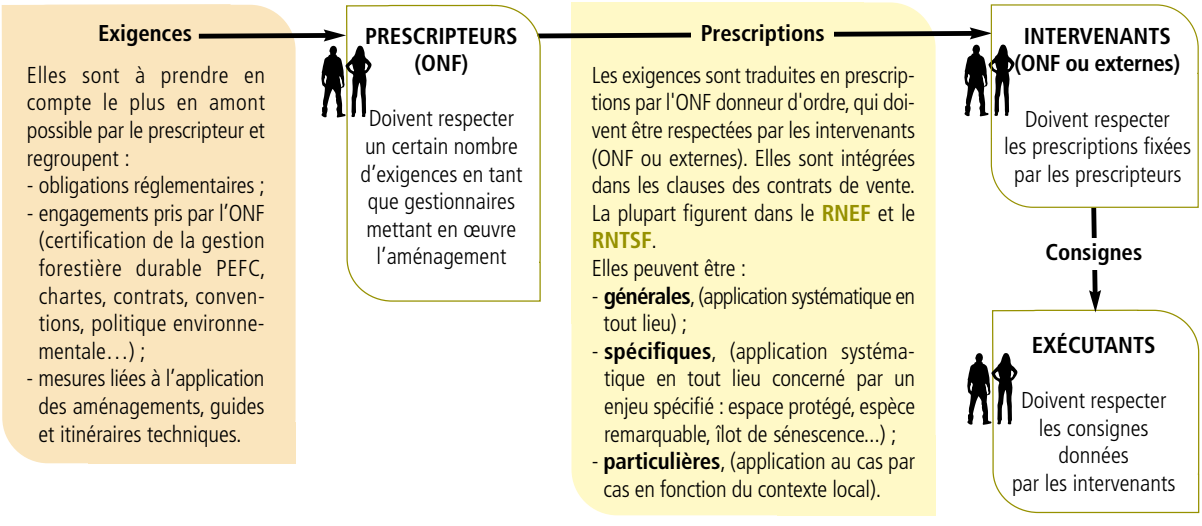
Pour les autres forêts publiques, des propositions sont émises par l'ONF, mais les décisions sont du seul ressort du propriétaire.

Compte tenu de leurs objectifs spécifiques en matière de préservation de la biodiversité et d'amélioration des connaissances du fonctionnement des écosystèmes forestiers, les **réserves biologiques** intégrales (RBI) et dirigées (RBD) constituent des espaces privilégiés pour la réalisation d'études techniques et scientifiques, en partenariat avec les chercheurs et les naturalistes. Avec l'appui de leurs comités consultatifs de gestion, l'ONF et ses partenaires s'accordent sur la définition des protocoles, la réalisation des inventaires et le partage des données récoltées, lors de leur création et dans le cadre de leur bonne gestion. Elles font l'objet d'un **plan de gestion** spécifique.

Le programme d'actions relatives à la fonction écologique est à détailler au chapitre 2.5.3 de l'aménagement.

4 - Les intégrer dans la gestion

Le schéma ci-dessous explicite le vocabulaire utilisé et les modalités de prise en compte. Les vocables exigences, prescriptions et consignes sont utilisés pour clarifier les différents rôles de l'ONF dans ses procédures internes.



5 - Exemples

QUELQUES EXEMPLES DE PRISE EN COMPTE DES DONNÉES NATURALISTES

Enjeux	Exigences	Prescriptions *(en application du RNEF et du RNTSF)*
Protection des sites de reproduction et d'hibernation des **Chiroptères** (si tunnels, galeries, souterrains, tranchées, sapes…)	Arrêté ministériel du 27 avril 2007 (liste des mammifères protégés)	CHIR1 (particulière) : « CHAUVE-SOURIS : Ne pas obstruer les entrées de tunnels, galeries, souterrains, ponts, sapes »
Protection de la **Cigogne noire** (si nid)	Arrêté ministériel du 29 octobre 2009 (liste des oiseaux protégés)	CIGNO (spécifique) : « ESPÈCE REMARQUABLE : Ne pas intervenir à moins de ## m du nid du 01/03 au 15/07 (ramené au 15/04 par l'ONF en l'absence de nidification) » N.B. : ## à préciser au cas par cas par le réseau Avifaune
Protection du **Grand Tétras** dans le massif vosgien (si parcelle en « clause Tétras »)	Note de service 06-T-240 (Alsace, Lorraine et Franche-Comté)	GTVOS (spécifique) : « ESPÈCE REMARQUABLE : Ne pas intervenir du 01/12 au 30/06 »
Protection du **Faucon pèlerin** en Franche-Comté (si APPB ou présence)	Arrêté ministériel du 29 octobre 2009 (liste des oiseaux protégés) + Arrêté préfectoral de protection de biotope	si arrêté préfectoral de protection de biotope : 84APF (spécifique) : « PROTECTION DE BIOTOPE : Ne pas intervenir du 15/02 au 15/06 à moins de 200 m du pied de falaises et moins de 50 m du sommet » sinon : FAUPL (spécifique) « ESPÈCE REMARQUABLE : Ne pas intervenir à moins de 50 m du pied des falaises et à moins de 50 m du sommet du 15/02 au 15/06 »
Protection du **Gypaète barbu** dans les Alpes et les Pyrénées (si présence)	Arrêté ministériel du 12 décembre 2005 modifié (interdiction de la perturbation intentionnelle du Gypaète barbu)	Dans les Alpes : GYPAL (spécifique) « ESPÈCE REMARQUABLE : Ne pas intervenir du 01/11 au 31/08 (ce délai pouvant être ramené au 31/03 par l'ONF en l'absence de nidification) » Dans les Pyrénées : GYPPY (spécifique) « ESPÈCE REMARQUABLE : Ne pas intervenir du 01/11 au 15/08 (ce délai pouvant être ramené au 31/03 par l'ONF en l'absence de nidification) »
Protection du **Tuit-tuit** à la Réunion (si présence)	Arrêté ministériel du 17 février 1989 (protection des espèces animales de la Réunion)	25TUI (spécifique) « TUIT-TUIT : Solliciter l'accord préalable du Parc national avant d'intervenir »
Protection de la **Tortue d'Hermann** dans les régions méditerranéennes (selon cartes de sensibilité DREAL) (si site de ponte avéré)	Arrêté ministériel du 19 novembre 2007 (listes des amphibiens et reptiles protégés)	87TH1 (spécifique) « ESPÈCE REMARQUABLE : Ne pas intervenir du 16/03 au 15/11. Ne pas utiliser de matériel ayant une pression au sol > 250 g/cm² » 87TH2 (particulière) « Intervenir uniquement avec des moyens manuels à l'intérieur du périmètre de protection matérialisé sur le plan »
Protection du **Damier du frêne** en Bourgogne et Champagne (si présence)	Arrêté ministériel du 23 avril 2007 (liste des insectes protégés)	82DAM (spécifique) « ESPÈCE REMARQUABLE : Ne pas faucher la végétation des talus, fossés et accotements du 01/03 au 31/08 »
Protéger les **dômes de fourmilières** (si présence)		FOURM (particulière) « BIODIVERSITÉ : Ne pas porter atteinte aux dômes de fourmilières »

AUTRES EXEMPLES PLUS GÉNÉRAUX DE PRISE EN COMPTE DE LA BIODIVERSITÉ

Enjeux	Exigences	Prescriptions *(en application du RNEF et du RNTSF)*
Constituer une **trame d'arbres disséminés à haute valeur biologique** en se référant à la fiche technique n°3 : « Les arbres à conserver pour la biodiversité ».	Instruction Biodiversité NDS-09-T-71	BG02 (générale) « Les arbres d'avenir et les arbres d'intérêt biologique qui sont désignés doivent être préservés »
Réaliser une **trame d'îlots de sénescence**	Note de service NDS-09-T-310 (îlots de vieux bois)	ILSEN (spécifique) « ILOTS DE SENESCENCE : Ne pas intervenir à l'intérieur »
Réaliser un **fauchage tardif** des routes et carrefours en Centre-Ouest, Auvergne, Limousin	Directive territoriale 8300-12-DIA-SAM-007 (entretien des dépendances vertes en forêt domaniale)	83FA2 (spécifique) « BIODIVERSITÉ : Ne pas faucher du 15/04 au 15/08 »
Lutter contre les **invasives**	Arrêté du 13 juillet 2010 (règles de bonnes conditions agricoles et environnementales)	INVA1 (spécifique) « LUTTE CONTRE LES INVASIVES : Exporter les rémanents et les broyats. Nettoyer méticuleusement les outils après travaux »

Pour en savoir davantage

PLUS D'INFORMATIONS

SOURCES EXTERNES

> Convention d'Aarhus du 25 juin 1998 sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement

> Directive 2003/4/CE concernant l'accès du public à l'information en matière d'environnement

> Code de l'environnement
Articles L124-1 et suivants, L-127-1 et suivants, R124-1 et suivants

> Portail d'information sur l'accès à l'information environnementale
inspire.ign.fr

> Site de l'INPN
inpn.mnhn.fr/accueil/index
inpn.mnhn.fr/espece/inventaire/onf

> Lien vers les données de l'ONF
data.gbif.org/datasets/resource/14580

SOURCES INTERNES

> Instruction INS-09-T-71: Conservation de la biodiversité dans la gestion courante des forêts publiques

> Instruction INS-10-P-3 : Politique environnementale de l'ONF

> RNEF : Règlement national d'exploitation forestière (9200-08-RN-BOI-004)

> RNTSF : Règlement national des travaux et services forestiers (9200-10-RN-SAM-001)

> Note de service NDS-11-G-1721 : Communication externe des données de l'ONF

> Guide 9200-10-GUI-SAM-010 : Traçabilité des prescriptions et consignes dans les documents de l'ONF

> Intraforêt
- page 28d97 : Exigences et prescriptions
- page a106 : La base de données naturalistes (BDN)
- page f6c0 : Les réseaux naturalistes
- page e8fc : Réglementation et responsabilité environnementales

GLOSSAIRE

DREAL : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement

ETF : Entrepreneur de travaux forestiers

GBIF : Global biodiversity information facilities
Consortium international organisant la diffusion des données naturalistes dans le monde entier

Sommier : Document tenu à jour pour chaque forêt, comportant les informations nécessaires à la gestion patrimoniale et traçant les interventions réalisées

CONTACTS

À LA DIRECTION GÉNÉRALE

Aspects techniques :
jean-michel.mourey@onf.fr
didier.pischedda@onf.fr
regine.touffait@onf.fr
regis.bibiano@onf.fr
marianne.rubio@onf.fr
laurence.le-legard-moreau@onf.fr

Aspects juridiques :
anouk.ferte-devin@onf.fr

Gestion des données :
thomas.bouix@onf.fr
christophe.brun@onf.fr

Réseaux naturalistes :
Avifaune : pascal.denis@onf.fr
Entomofaune : thierry.noblecourt@onf.fr
Habitats-Flore : serge.cadet@onf.fr
Herpétofaune : cedric.baudran@onf.fr
Mammifères : laurent.tillon@onf.fr
Mycologie : hubert.voiry@onf.fr

DIRECTION DE LA PUBLICATION : ONF - DFRN/DCOM
Rédaction : Jean-Michel MOUREY (ONF),
Julie MARSAUD (France nature environnement)

Cette fiche est éditée grâce au FEDD, conformément au suivi du programme environnemental (SPE)

Direction générale
2, avenue de Saint-Mandé
75570 Paris Cedex 12
Tél. 01 40 19 58 00
Automne 2014
Graphisme et impression : Imprimerie ONF Fontainebleau

Champ de certification « cœur de métier » : ISO 9001 et 14001

PEFC 10-4-4 / Promouvoir la gestion durable de la forêt / pefc-france.org

Cette fiche a été réalisée en partenariat avec France nature environnement
81-83, Boulevard de Port-Royal - 75013 Paris
information@fne.asso.fr
au titre de la convention de recherche et développement FNE / ONF 2014

France Nature Environnement

Office National des Forêts
www.onf.fr

à suivre

Prochain numéro :

Pas de dossier particulier, mais un ensemble éclectique d'articles de consistance et tonalités variées !

Retrouvez RenDez-Vous techniques en ligne

Sur intraforêt : depuis toutes les pages d'intraforêt, cliquer sur le lien « Centres de documentation » du pavé « Ressources » en colonne de gauche (ou noter, dans la barre d'adresse : http://biblio.onf.fr) pour aller dans l'espace « Centres de documentation » ; en choisissant « Rendez-vous techniques » dans les collections ONF, on accède à tous les articles et dossiers au format pdf.
Sur internet : http://www.onf.fr/(rubrique Lire, voir, écouter / Publications ONF / Périodiques)

La revue ***RenDez-Vous techniques*** est destinée au personnel technique de l'ONF, quoique ouverte à d'autres lecteurs (étudiants, établissements de recherche forestière, etc.). Revue R&D et de progrès technique, elle vise à étoffer la culture technique au-delà des outils ordinaires que sont les guides et autres instructions de gestion. Son esprit est celui de la gestion durable et multifonctionnelle qui, face aux défis des changements globaux, a abouti à l'accord conclu en 2007 avec France nature environnement : « Produire plus de bois tout en préservant mieux la biodiversité ». Son contenu : état de l'art et résultats de la recherche dans les domaines de R&D prioritaires, mais aussi porté à connaissance de méthodes et savoir-faire, émergents ou éprouvés, clairement situés vis-à-vis des enjeux de l'établissement ; le progrès technique concerne toutes les activités de l'ONF en milieu naturel et forestier, en relation avec le cadre juridique.

Sous l'autorité du directeur de publication assisté d'un comité directeur ad hoc, la rédaction commande des articles, suscite des projets, collecte les propositions, organise la sélection des textes et assure la relation avec les auteurs. N.B. : certaines propositions, parfaitement légitimes en soi, ne se justifient pas forcément dans RDV techniques et méritent d'être orientées vers d'autres revues forestières. Enfin le comité éditorial, siégeant une fois par an, est informé de cette activité et émet ses avis, critiques ou suggestions.

Si vous désirez nous soumettre des articles prenez contact avec :

ONF - Département recherche,
développement et innovation
Christine Micheneau
Tél. : 01 60 74 92 47
Courriel : rdvt@onf.fr

Office National des Forêts

ISSN : 1763-6442