

FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

n°
157



Tiré à part du Forêt.Nature n° 157, p. 58-67

ÉCLAIRCIES MULTIFONCTIONNELLES EN FUTAIE IRRÉGULIÈRE : ANALYSE DE 12 ANNÉES D'EXERCICES DANS LE MARTELOSCOPE DE HET LEEN

Wim De Schuyter, Lotte Van Nevel, Kris Verheyen (Ghent University)



Éclaircies multifonctionnelles en futaie irrégulière : analyse de 12 années d'exercices dans le marteloscope de Het Leen

Wim De Schuyter¹ | Lotte Van Nevel^{1,2} | Kris Verheyen¹

¹ Forest & Nature Lab (Ghent University)

² Bosgroep Oost-Vlaanderen Noord

En futaie irrégulière, la « bonne éclaircie » n'existe pas. L'analyse des résultats du marteloscope de Het Leen montre que le consensus est rare entre les équipes. Toutefois, des compétences sylvicoles plus poussées peuvent faire la différence au moment de concilier économie et écologie.



L'éclaircie est un acte important dans la gestion des forêts. Elle diminue le nombre de tiges dans le peuplement et concentre la croissance sur un plus petit nombre d'arbres. Sans éclaircie, la production de bois de qualité est impossible. Pour que cette production soit possible, l'éclaircie doit être réalisée de manière réfléchie.

Cependant, le martelage est un acte complexe qui doit tenir compte de nombreux aspects, sans perdre de vue l'objectif de gestion. Il est donc crucial de sélectionner les arbres d'éclaircie avec soin et de manière réfléchie. Ce n'est pas un travail facile, et encore moins dans des peuplements mixtes complexes et de structure irrégulière (« futaie irrégulière »). Il n'existe pas de « bonne » méthode de martelage ni de recette universelle. Heureusement, les forestiers peuvent s'appuyer sur quelques règles de base (règles de l'éclaircie, encart 1). Afin de maîtriser ces règles, les gestionnaires, propriétaires et étudiants forestiers peuvent entraîner leurs compétences en matière d'éclaircie dans un « marteloscope ».

Un marteloscope* est une partie de peuplement forestier dans lequel chaque arbre est numéroté et où les participants peuvent marquer une éclaircie fictive qui est ensuite analysée à l'aide d'un programme informatique. Un tel exercice a une valeur ajoutée particulièrement élevée dans le cas de peuplements adultes irréguliers. Après tout, la gestion de tels peuplements est très difficile car l'objectif est de maintenir une structure de peuplement complexe qui garantit à la fois la production de bois de qualité et une valeur écologique élevée.

Que les règles du jeu soient appliquées ou non, le martelage reste une intervention humaine, ce qui implique qu'il y a généralement beaucoup de varia-

tion dans la sélection des arbres à éclaircir^{7,8,11}. De nombreux facteurs jouent un rôle dans la désignation des tiges à éclaircir, qui peuvent difficilement être considérés séparément. Ainsi, le marteloscope peut également être utile pour analyser et cartographier le comportement et les choix des participants.

En 2007, le *Forest & Nature Lab* de l'Université de Gand a installé un marteloscope dans le domaine provincial Het Leen (à Eeklo, à 20 km au nord-est de Gand) pour apprendre aux étudiants en sylviculture comment éclaircir en futaie irrégulière. Depuis lors (2007-2019), 46 groupes d'étudiants bio-ingénieurs en gestion des forêts et de la nature y ont effectué des martelages virtuels. Aucune véritable intervention de gestion n'a eu lieu pendant cette période, de sorte que la dynamique de croissance n'était due qu'à des processus naturels. Au début de l'exercice, chaque élève reçoit les informations détaillées sur

Encart 1. Règles de base de l'éclaircie en futaie irrégulière^{1,2}

1. L'objectif de l'éclaircie est de produire des gros bois de qualité de la manière la plus économique possible tout en maintenant la valeur écologique du peuplement.
2. Les arbres valorisables économiquement qui ont atteint leur dimension d'exploitabilité et qui ne présentent plus de croissance en valeur significative sont récoltés en priorité.
3. Les arbres de qualité qui n'ont pas encore atteint le diamètre cible sont préservés.
4. La surface terrière après éclaircie ne doit pas dépasser 15 m²/ha, de manière à ce qu'il y ait suffisamment de lumière au sol pour permettre une régénération naturelle.
5. Les arbres morts et en décomposition ainsi que les arbres présentant des microhabitats doivent être épargnés autant que possible.
6. Veiller à préserver le mélange.

* De « marteler » qui fait référence à la désignation à l'aide d'un « marteau » des arbres à couper.

RÉSUMÉ

Le marteloscope de Het Leen, en Flandre orientale, enseigne aux futurs gestionnaires les bases de l'éclaircie multifonctionnelle en forêt irrégulière. Loin de proposer des recettes, le marteloscope est justement l'occasion de tester la grande variété de choix possibles. L'analyse des résultats des équipes de martelage qui se sont succédées entre 2007 et 2019 montre une faible similitude dans les arbres choisis en éclaircie, alors que la surface terrière prélevée

reste assez constante. L'analyse montre aussi que les caractéristiques propres des arbres n'influencent pas le choix de les prendre en éclaircie ou non, cela est sans doute dû à la difficulté de trouver un consensus en éclaircie multifonctionnelle. Enfin, l'analyse économique montre que certaines équipes de martelage obtiennent jusqu'à 30 % de recettes supplémentaires sans compromettre la surface terrière et la valeur écologique du peuplement restant.

le marteloscope : surface, essence et positionnement des arbres, numéro de l'arbre (N), surface terrière (G), volume (V), distribution des diamètres, valeur économique et écologique. À partir de chaque arbre individuel dans le marteloscope, les étudiants ont reçu des informations sur la hauteur (h), la circonférence (C130), la croissance annuelle (2007-2016), le volume de bois d'œuvre et la qualité du bois. La valeur de vente actuelle des grumes a également été communiquée. En outre, les règles de base de l'éclaircie en forêt irrégulière ont été communiquées (encart 1). La consigne donnée avant de commencer est de réaliser un martelage qui permette un rendement financier maximal (actuel et à venir) et une préservation maximale de la valeur écologique. En d'autres termes, les participants sont invités à procéder à une éclaircie multifonctionnelle en vue de produire du bois de qualité, de récolter du bois et de préserver la valeur écologique du peuplement restant.

Bien que chaque participant ait reçu les mêmes informations au début de l'exercice, des stratégies très différentes ont été observées. En gros, on observe l'éclaircie prudente par opposition à l'éclaircie plus vigoureuse. Malgré la diversité des choix, certains arbres n'ont jamais été sélectionnés et d'autres l'ont été presque à chaque fois ou très souvent. Sur la base d'une analyse quantitative de l'ensemble des données d'exercice sur la période 2007-2019, ces conclusions globales seront approfondies dans cet article.

Les objectifs de cette analyse étaient (1) de quantifier les similarités de martelage entre les équipes, (2) d'identifier les facteurs (caractéristiques des arbres) qui influencent la décision de prélever ou non, et (3) une analyse économique pour estimer les rendements de l'éclaircie et du peuplement restant.

Le marteloscope de Het Leen

Le marteloscope du domaine provincial de Het Leen (Eeklo) a une superficie de 0,18 hectare et est situé dans un peuplement mélangé et irrégulier qui ne bénéficie actuellement d'aucune gestion. Les mesures initiales ont été prises en avril 2007. Tous les arbres (morts et vivants) de plus de 40 cm de circonférence (C130) ont été numérotés, mesurés et positionnés. Certaines variables ont été déterminées pour chaque arbre : essence, circonférence à hauteur de poitrine (C130), hauteur (h) et qualité du bois d'œuvre. Elles ont permis d'estimer la valeur économique de chaque arbre individuellement. La valeur écologique du peuplement a été déterminée sur la base de l'indice de biodiversité de VAN DEN MEERSSCHAUT *et al*¹⁰. En avril 2011 et juillet 2016, de nouvelles mesures ont été effectuées, ce qui a permis de déterminer la croissance des arbres et du peuplement.

En 2007 et 2011, huit espèces d'arbres constituaient le marteloscope ; en 2016, une espèce supplémentaire (l'aubépine monogyne) est apparue (figure 1). Le tableau 1 présente les principales caractéristiques dendrométriques (nombre de tiges, surface terrière et volume) et la valeur économique, telles que mesurées en 2007, 2011 et 2016. La croissance de la surface terrière, du volume et de la valeur économique est également indiquée dans le tableau 1. Ce dernier montre clairement que la croissance du marteloscope n'est pas encore au point mort. La courbe de distribution des tiges par classe de circonférence (figure 2) est typique des futaies irrégulières adultes. En plus de la courbe, la figure 2 donne aussi la répartition en surface terrière des essences du peuplement. Le tableau 2 montre l'évolution de la valeur écologique au fil du temps. L'augmentation du nombre d'essences en 2016 a entraîné une légère augmentation de la valeur écologique par rapport aux années précédentes mais, de manière générale, le marteloscope obtient des résultats plutôt médiocres sur le plan écologique. Cela est principalement dû à l'absence de (très) gros arbres.

Résultats des exercices de martelage (2007-2019)

Au cours des 13 dernières années, 46 équipes de 2 à 4 étudiants ont réalisé l'exercice de martelage. Ces équipes sont également appelées « *rating teams* ». Les évaluations de ces équipes constituent le matériel de base de cette étude. Toutes les équipes (r) ont attribué une note binaire à chaque arbre (n) du marteloscope : 0 lorsqu'elle conserve l'arbre, 1 lorsqu'elle le prélève. Les arbres qui ont atteint la taille nécessaire pour être comptés dans le marteloscope en 2011 et 2016 n'ont pas été inclus dans l'analyse. Il en résulte une matrice de données (n x r), avec n = 58 arbres et r = 46 équipes. La première analyse a porté sur la similitude entre les équipes quant aux arbres à prélever et le comportement général vis-à-vis de l'éclaircie. Ensuite, il a été examiné si le degré de similitude pouvait être lié à certaines caractéristiques des arbres et, enfin, une analyse des performances financières de l'éclaircie et du peuplement restant a été effectuée. Bien que la question « Quelle est la similitude entre les personnes qui doivent évaluer un objet ou un cas ? » ait déjà été largement étudiée dans les domaines de la médecine, de la psychologie et de la sociologie, elle l'a encore rarement été dans le domaine de la gestion forestière^{7,11}.

Similitude

Le premier objectif de cette étude est de cartographier les similitudes entre les différentes équipes de martelage. Pour ce faire, on utilise la représentation graphique de la distribution des notes et on calcule un paramètre de concordance : le kappa de Fleiss.



Figure 1. Plan du marteloscope de Het Leen (2016). La forme indique l'essence, la taille est proportionnelle à la circonférence de l'arbre et l'intensité de la couleur indique la fréquence à laquelle l'arbre a été sélectionné lors des exercices de martelage.

Tableau 1. Aperçu de l'évolution (de 2007 à 2016) de certaines caractéristiques dendrométriques et de la valeur économique dans le marteloscope. Le volume de bois de d'œuvre a été calculé selon LEYMAN⁵.

	2007	2011	2016	Croissance de 2007 à 2016
Nombre de tiges (N/ha)	322	372	417	
Surface terrière G (m ² /ha)	16,3	19,1	22,2	0,66 (m ² /ha/an)
Volume de bois d'œuvre V (m ³ /ha)	130,1	163,3	181,7	5,74 (m ³ /ha/an)
Valeur économique (€/ha)	7278	8122	9022	194 (€/ha/an)

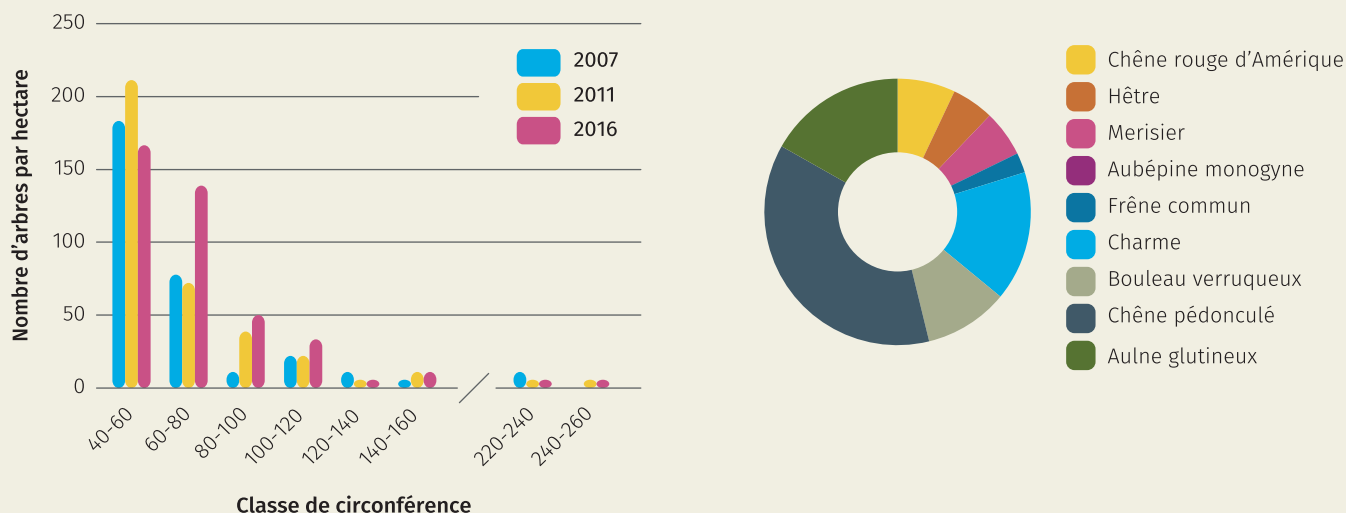


Figure 2. Distribution des circonférences pour les années 2007, 2011 et 2016, et distribution de la surface terrière par essence pour l'année de mesure 2016 (G = 22,2 m²/ha).

	2007		2011		2016		Note max.
	Note	Note	Note	Note	Note	Note	
Nombre d'essences	8	4	8	4	9	5	5
Nombre de gros bois (d = 40-80 cm)	4	1	4	1	5	1	5
Nombre de très gros bois (d > 80 cm)	0	0	0	0	0	0	5
STDEV Arbres vivants	12,5	1	12	1	11,5	1	6
Surface terrière de bois mort (m ² /ha)	1,25	1	1,25	1	1,01	1	4
Nombre de gros arbres morts (d = 40-80 cm)	1	0	1	0	0	0	5
STDEV Arbres morts	13,8	1	13,8	1	10,4	1	6
Score total	8		8		9		36
%	22,2		22,2		25		100

Tableau 2. Évolution (de 2007 à 2016) de la valeur écologique du marteloscope¹⁰.

Répartition des points

Le choix des arbres par les équipes de martelage est influencée par un aspect actif et un aspect passif⁸. L'aspect actif est considéré du point de vue des équipes. L'indicateur le plus évident à cet égard est le nombre d'arbres choisis en éclaircie. Certaines équipes martèlent beaucoup d'arbres, d'autres vraiment peu. L'aspect passif se place lui du point de vue de l'arbre et de son « attrait » à être martelé ou non. L'indicateur choisi pour l'aspect passif est le nombre de fois qu'un arbre est prélevé par les différentes équipes. Certains arbres font l'unanimité sur leur coupe ou leur maintien, tandis que d'autres montrent un désaccord entre les équipes.

L'aspect actif est visualisé en calculant le rapport entre le nombre d'arbres sélectionnés par une équipe et le

nombre total d'arbres (n_i/n). Ce ratio est en moyenne de 0,36. Cela indique que, en moyenne, 36 % des arbres du marteloscope sont choisis en éclaircie par les équipes.

L'aspect passif est lui facilement visualisé en montrant le nombre d'arbres présents dans chacune des « classes de prélèvement » (figure 3). Les classes de prélèvement sont des classes qui représentent le nombre de fois qu'un arbre a été choisi par rapport au nombre maximum de prélèvement possible par arbre (46, soit le nombre d'équipes) en pourcentage.

On peut déduire de la figure 3 quelle proportion des arbres du marteloscope a peu été choisie par les différentes équipes. C'est une mesure de l'aspect passif⁷. Il a déjà été montré⁶ qu'il est beaucoup plus facile pour

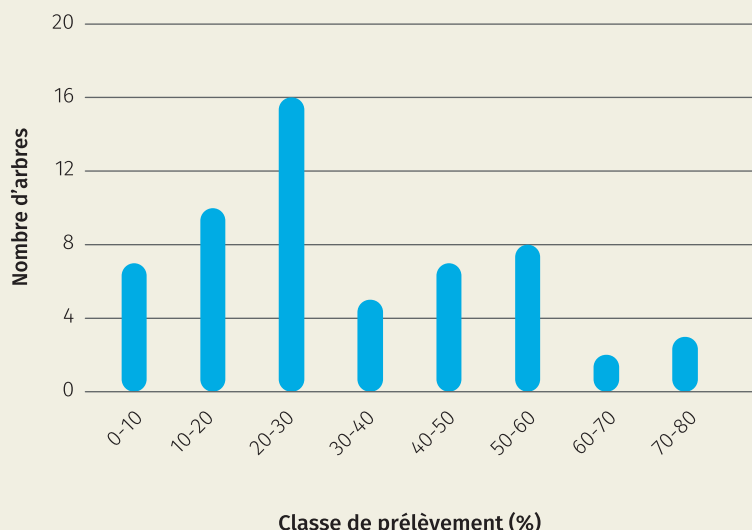


Figure 3. Nombre d’arbres par classe de prélèvement. Une grande dispersion est visible : peu d’arbres sont presque jamais (classe 0-10) ou toujours (classe 90-100) choisis par les différentes équipes.

un groupe de personnes de parvenir à un consensus sur des choix passifs plutôt qu’actifs. On peut aussi déduire de la figure 3 la proportion d’arbres qui a souvent été sélectionnée en éclaircie⁷. On constate que le nombre de fois où les arbres sont marqués est très élevé. Cela indique un faible consensus entre les équipes : d’une part, assez peu d’arbres n’ont été désignés par personne et, d’autre part, très peu d’arbres ont été désignés par (presque) tout le monde.

Paramètre de concordance : kappa de Fleiss

La quantification de la similarité entre un grand nombre d’équipes n’est pas évidente^{7,9}. C’est pourquoi un certain nombre de mesures statistiques ont été mises au point pour faire remonter ce phénomène à la surface.

Le kappa de Fleiss (K) est un exemple de mesure souvent utilisée pour évaluer la concordance entre plus de deux équipes qui ont effectué une notation binaire^{3,7,9}. C’est une méthode courante dans les domaines de la recherche médicale et psychologique³ mais le kappa de Fleiss peut également être utilisé avec nos données⁷.

K est calculé selon l’équation 1 :

$$K = 1 - \frac{1/n \sum_{j=1}^n s_j(r-s_j)}{r(r-1)p(1-p)}$$

Avec $p = N_1 / n * r$, où N_1 représente le nombre total de résultats égaux à 1 dans la matrice de données ; s_j = nombre de résultats 1 de l’arbre j .

K est compris entre 0 et 1. Plus K est élevé, plus les résultats des équipes se ressemblent. Pour l’interprétation des valeurs de K , il est fait référence à STOYAN *et al.*⁹ Contrairement à son application dans les secteurs médicaux ou psychologiques, nous obtenons généralement un K faible dans nos études sur le marteloscope⁸.

Et c’est le cas dans cette analyse en particulier : le kappa de Fleiss est assez faible, avec une valeur de 0,17. Il y a donc peu de similitudes entre les équipes de martelage lorsqu’elles marquent les arbres à prélever dans le marteloscope (voir tableau 3). Cela confirme ce qui a été précédemment visualisé dans la figure 3.

La distribution des prélèvements et la valeur calculée pour le kappa de Fleiss montrent que l’identification des arbres à marteler semble être un concept très

Tableau 3. Interprétation des valeurs du kappa de Fleiss⁹.

κ	Interprétation
< 0,10	Presqu’aucune concordance
0,10-0,33	Peu de concordance
0,33-0,50	Concordance réelle
0,50-0,67	Concordance moyenne
0,67-0,90	Concordance substantielle
≥ 0,90	Correspondance presque parfaite

abstrait et difficile pour le cerveau humain. Il y a une grande dispersion dans l'identification des arbres à éclaircir et il y a peu de similitudes entre les différentes équipes de martelage.

POMMERENING *et al.*^{7,8} et VÍTKOVÁ *et al.*¹¹ ont déjà précédemment constaté un faible degré de similitude dans les études sur les marteloscopes. Le kappa de Fleiss trouvé dans cette analyse est du même ordre de grandeur que celui trouvé dans des études similaires sur les marteloscopes au Royaume-Uni et en Irlande, où le kappa de Fleiss variait entre 0,10 et 0,19^{7,8}. Cependant, lorsqu'il a été demandé aux mêmes équipes de martelage, sur le même marteloscope, d'identifier les arbres d'avenir au lieu de ceux à prélever, la valeur de K est passée à 0,31⁹. Cela montre qu'il est plus facile de trouver un consensus dans la sélection des arbres à garder.

Une explication des raisons de cette large distribution des prélèvements et du faible degré de similarité réside sans doute dans les caractéristiques propres de l'arbre. Nous y reviendrons plus loin.

Type d'éclaircie réalisées par les équipes de martelage

Outre la similitude entre les équipes de martelage, leur type d'éclaircie est également intéressant à analyser. En se basant sur les données de surface terrière, nous pouvons cartographier l'intensité et le type d'éclaircie.

L'intensité d'éclaircie (rG) se base sur la surface terrière ou le volume prélevé et est déterminée par le comportement des marteleurs (marteleurs prudents par rapport aux marteleurs vigoureux). Elle a un impact important sur la structure et le développement futur du peuplement. Une surface terrière objectif de 15 m²/ha est généralement recherchée pour stimuler de manière optimale le rajeunissement naturel des peuplements équiennes et mixtes comme ceux de Het Leen. Cette valeur a également été donnée comme ligne directrice aux participants.

rG est calculé selon l'équation 2 :

$$rG = \frac{G_i}{G_{tot}}$$

Avec G_i = surface terrière prélevée ; G_{tot} = surface terrière totale.

En moyenne, les équipes de martelage ont prélevé un tiers de la surface terrière dans le marteloscope ($rG = 0,34$). La figure 4 montre également que seule une petite proportion des équipes (13 %) est passée outre la valeur limite de 15 m²/ha pour la surface terrière restante du peuplement.

L'intensité d'éclaircie (rG) détermine son type. En effet, dans le cas d'une éclaircie légère, ce sont principalement les arbres de petites dimensions qui sont martelés, tandis que dans le cas d'une éclaircie forte, ce sont les plus grandes dimensions qui sont visées. Le dégageage des arbres d'avenir peut être considéré comme un type intermédiaire. Le type d'éclaircie détermine donc aussi en grande partie l'évolution du peuplement. Pour quantifier de manière objective le type d'éclaircie de chacune des équipes, le ratio SG peut être calculé selon l'équation 3 :

$$SG = \frac{N_i/N_{tot}}{G_i/G_{tot}}$$

Avec N_i = nombre de tiges enlevées ; N_{tot} = nombre total de tiges ; $G_i/G_{tot} = rG$.

Une valeur SG élevée (supérieure à 1) indique que le martelage s'est concentré principalement sur les petites dimensions (éclaircie par le bas) et donc une réduction relativement faible de la surface terrière. Une valeur SG faible (inférieure à 1) indique quant à elle une éclaircie dans les grandes dimensions (éclaircie par le haut) et une réduction plus importante de la surface terrière^{8,11}. Plus SG diffère de 1, plus le type d'éclaircie est marqué⁸. Si $SG = 1$, l'éclaircie est décrite comme neutre et indique généralement une perturbation naturelle, telle que le vent ou la neige, où chaque arbre a une chance plus ou moins égale d'être éliminé⁴. En moyenne, les équipes de martelage ont plutôt martelé de petites tiges ($SG = 1,11$). Toutefois, cette valeur n'est pas très prononcée et peut donc être interprétée comme un type d'éclaircie plutôt intermédiaire. La figure 5 montre la relation attendue entre le ratio SG et la surface terrière restante.

Identification des caractéristiques des arbres martelés

Le deuxième objectif de cette étude était d'examiner si la correspondance de martelage entre les équipes pouvait être liée aux caractéristiques de l'arbre. Huit variables dendrométriques, écologiques et économiques, mesurées en 2016, ont été prises en compte : diamètre à hauteur de poitrine, hauteur, volume, essence, mort vs vivant, valeur économique, augmentation de la valeur (2007-2016) et augmentation de la valeur attendue (2016-2024).

Il semble qu'il n'y ait pas de relation entre une ou plusieurs des huit variables de l'arbre et le nombre de fois qu'un arbre a été martelé (k). Cela explique la distribution des résultats déjà observée et la faible valeur du kappa de Fleiss. La raison pour laquelle aucune corrélation n'a été trouvée doit être cherchée dans les différents aspects de l'éclaircie multifonctionnelle. Sur le plan économique, premièrement, un arbre est martelé lorsqu'il est mûr pour l'abattage, ce

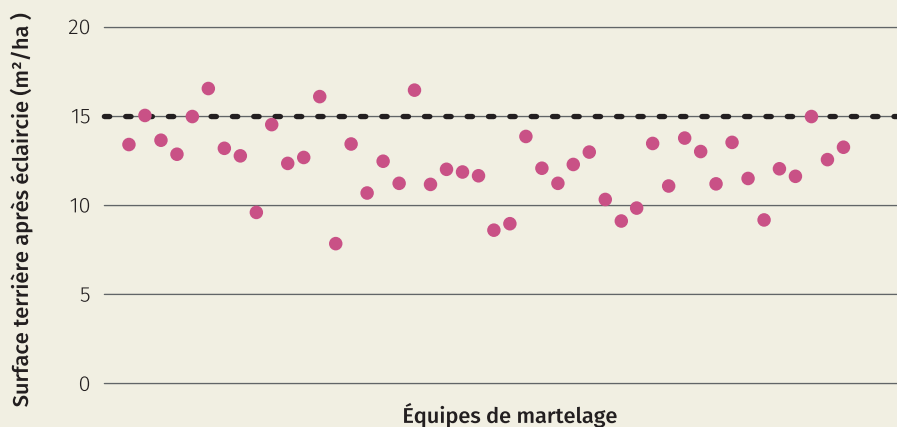
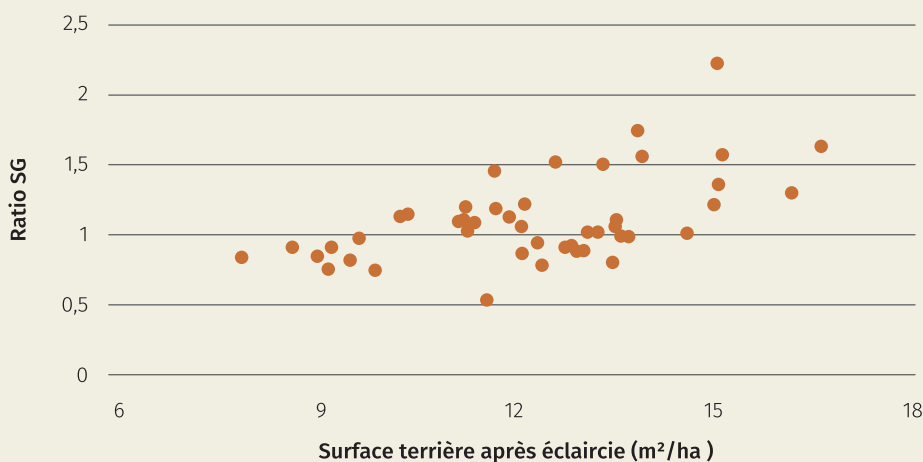


Figure 4. Répartition de la surface terrière après éclaircie exprimée en m^2/ha des différentes équipes de martelage. Seuls 13,04 % des équipes ne parviennent pas à la valeur seuil de $15 m^2/ha$ (surface terrière après éclaircie).

Figure 5. Relation entre le ratio SG et la surface terrière restante du peuplement. Plus le ratio SG est grand (martelage plutôt dans les petites tiges), plus la surface terrière restante après éclaircie est élevée (coefficient de corrélation = 0,55).



qui est relativement simple. Deuxièmement, un arbre peut être martelé en fonction d'un autre arbre ayant une qualité de bois potentielle plus élevée (arbre d'avenir économique). Dans ce cas, l'arbre marqué est un arbre gênant. Cependant, autour d'un arbre d'avenir, on trouve plusieurs arbres gênants, souvent similaires. Le choix de l'arbre qui sera finalement prélevé est souvent arbitraire et donc différent pour de nombreuses équipes de martelage. Le même raisonnement peut s'appliquer à un arbre d'avenir écologique et à tout arbre gênant à proximité. La question de savoir s'il faut ou non prélever les arbres d'avenir écologique, qui souvent ont déjà atteint leur diamètre cible, pour des raisons économiques ou pour rabaisser la surface terrière du peuplement restant, crée une variation supplémentaire.

Comme déjà mentionné plus haut, une approche consistant à d'abord identifier les arbres d'avenir

permettrait de trouver un meilleur consensus entre les différentes équipes de martelage et présenterait sans doute une corrélation plus significative avec certaines caractéristiques des arbres.

Analyse économique

Le dernier aspect de cette étude est d'examiner le revenu lié aux différents martelages. Ce revenu comprend la valeur monétaire de l'éclaircie et celle du peuplement restant. La valeur monétaire est calculée en mesurant le volume actuel de bois d'œuvre pour chaque tige et une estimation du même volume en 2024 (délai de rotation de 8 ans). Ces volumes ont ensuite été convertis en valeur monétaire en utilisant les prix du bois publiés par la Fédération nationale des experts forestiers. La valeur future a été actualisée à l'année 2016 en tenant compte d'un taux d'intérêt de 3 %. La figure 6 montre que le revenu relatif peut être jusqu'à 30 % plus élevé selon l'éclaircie réalisée. Ce

résultat démontre l'importance du choix des arbres à éclaircir ! La figure 7 montre que le meilleur revenu relatif est obtenu par l'éclaircie la plus importante.

L'impact des différents types d'éclaircies sur la valeur écologique du stock a toujours été très faible. La faible note écologique du stock est principalement dû à l'absence d'arbres très épais, tant morts que vivants. Les éclaircies effectuées par les différentes équipes n'ont eu aucun impact sur ce point (à court ou moyen terme) et la valeur écologique n'a donc guère changé, indépendamment de l'intensité ou du type d'éclaircie.

Conclusion

Le premier objectif de cette étude était de quantifier la similarité entre les martelages des différentes équipes. En moyenne, un tiers de la surface terrière a été prélevée lors des exercices d'éclaircie, ce qui,

dans la grande majorité des cas, est suffisant pour passer sous le seuil de régénération naturelle de 15 m²/ha. Sur base de la répartition des points et du kappa de Fleiss comme mesure de la similarité, on peut conclure qu'il y a peu de correspondance entre les différentes équipes de martelage. Cette grande dispersion dans le choix des arbres à prélever et les faibles valeurs de similarité sont également constatées dans d'autres études.

Le deuxième objectif de cette étude était d'identifier les caractéristiques des arbres pouvant influencer leur désignation en éclaircie. Après analyse, aucune corrélation n'a été trouvée entre les caractéristiques des arbres étudiés et ceux désignés en martelage. Cela confirme ce qui a déjà été observé dans la première partie de l'analyse : il est difficile de trouver un consensus lorsque l'objectif du martelage est multifonctionnel. Une tige peut être sélectionnée parce qu'elle est mûre, ce qui est relativement simple, mais

Figure 6. Revenus relatifs supplémentaires obtenus par les différentes équipes de martelage par rapport à l'équipe ayant obtenu le plus bas revenu. Les recettes peuvent être jusqu'à environ 30 % plus élevées selon le martelage réalisé.

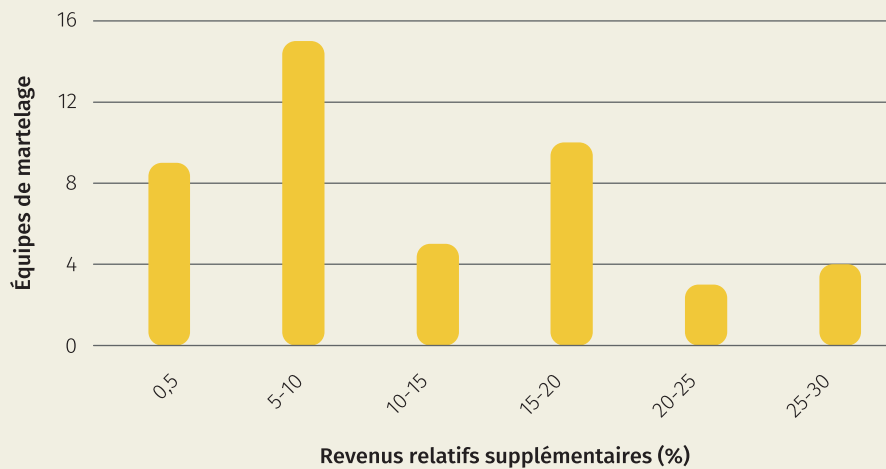
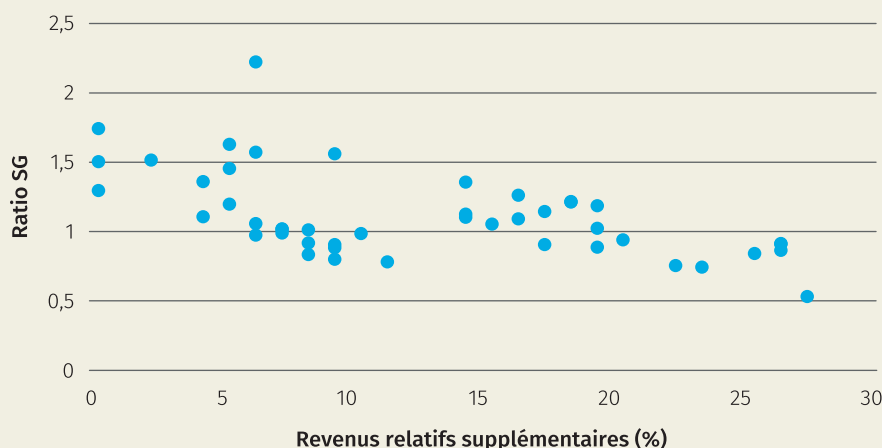


Figure 7. La relation entre le revenu et le type de martelage montre que les recettes les plus élevées sont obtenues avec une éclaircie forte. Des valeurs plus faibles du ratio SG donnent un revenu relatif plus élevé (coefficient de corrélation = -0,56).






elle peut aussi être choisie en fonction d'un autre arbre. Le choix est souvent arbitraire, ce qui entraîne une grande variation dans les résultats d'éclaircie. Les considérations économiques et écologiques qui sont prises en compte par les différentes équipes de martelage fournissent une variation supplémentaire.

Le troisième objectif de cette étude était d'effectuer une analyse économique des résultats des exercices. Elle montre la grande importance d'une éclaircie bien réfléchi. Certaines équipes (réalisant des éclaircies vigoureuses) obtiennent jusqu'à 30 % de recettes supplémentaires. Ces revenus supplémentaires sont obtenus sans compromettre la valeur écologique du peuplement restant.


Dans un contexte de gestion multifonctionnelle des forêts, la « bonne éclaircie » n'existe pas. Les exercices du marteloscope le démontrent par la grande dispersion des éclaircies réalisées, la faible similarité des martelages et le fait qu'il n'existe aucune caractéristique de l'arbre qui puisse être corrélée à sa désignation ou non. Il est vrai cependant, qu'un choix bien réfléchi, basé sur des compétences sylvicoles, peut générer un revenu supplémentaire important sans sacrifier la valeur écologique. Les résultats et les observations réalisées dans le cadre de cette étude démontrent l'importance des exercices de martelages pour les (futurs) gestionnaires forestiers afin de mieux appréhender la complexité des éclaircies multifonctionnelles en futaie irrégulière. ■

Bibliographie

- ¹ Baar F. (2010). *Le martelage en futaie irrégulière feuillue ou résineuse*. Service public de Wallonie, Liège. 
- ² Cosyns H., Kraus D., Krumm F., Schulz T., Pyttel P. (2019). Reconciling the tradeoff between economic and ecological objectives in habitat-tree selection: a comparison between students, foresters, and forestry trainers. *Forest Science* (65)2 :223-234. 
- ³ Fleiss J.L., Levin B., Paik M.C. (2003). *Statistical methods for rates and proportions*. 3rd edition. J. Wiley & Sons, Chichester.
- ⁴ Kerr G., Haufe J. (2011). *Thinning practice: A silvicultural guide, version 1.0*. Forestry Commission England, Bristol, 54 p. 
- ⁵ Leyman A. (2013). *Meting na hamering - Alternatieven voor de actuele volumeschattig van houtloten na hamering*. KOBE-rapport van het Agentschap voor Natuur en Bos en Inverde. 
- ⁶ Matonis M.S., Binkley D., Franklin J., Johnson K.N. (2016). Benefits of an « undesirable » approach to natural resource management. *Journal of Forestry* 114 : 658-665.
- ⁷ Pommerening A., Pallarés Ramos C., Kędziora W., Haufe J., Stoyan D. (2018). Rating experiments in fo-

POINTS-CLEFS

- ▶ Le marteloscope de Het Leen, en Flandre orientale, accueille des équipes de participants depuis 2007.
- ▶ Sa structure irrégulière et son mélange d'essences sont propices à des exercices de martelage en éclaircie multifonctionnelle.
- ▶ L'analyse des résultats des équipes montre une faible similarité dans le choix des arbres à abattre.
- ▶ Elle montre aussi qu'il n'y a pas de corrélation entre les caractéristiques des arbres et leur choix.
- ▶ Certaines équipes peuvent augmenter de 30 % la recette de l'éclaircie pour une surface terrière constante et sans compromettre la valeur écologique du peuplement restant.

resty: How much agreement is there in tree marking? *PLoS ONE* 13(3) : 1-20. 

- ⁸ Pommerening A., Vítková L., Zhao X., Pallarés Ramos C. (2015). *Towards understanding human tree selection behaviour*. Forest Facts 9, SLU. 
- ⁹ Stoyan D., Pommerening A., Hummel M., Kopp-Schneider A. (2017). Multiple-rating teams kappas for binary data: Models and interpretation. *Biometrical Journal* 60(2) : 381-394.
- ¹⁰ Van Den Meersschaut D., Vandekerckhove K., Van de Kerckhove P., Delbecq F., Van Slycken J. (2001). *Selectie en evaluatie van indicatoren en uitwerking van een praktisch bruikbare methodologie voor de beoordeling van biodiversiteit in bossen*. Eindrapport project Vlaams Impulsprogramma Natuurontwikkeling VLI-NA/C96/04. Rapport IBW Bb R.2001.009. 
- ¹¹ Vítková L., Dhuháin Á.N., Pommerening A. (2016). Agreement in tree marking: what is the uncertainty of human tree selection in selective forest management? *Forest Science* 62(3) : 288-296. 
- ¹² von Gadow K. (1996). Modelling growth in managed forests - realism and limits of lumping. *Science of the Total Environment* 183 : 167-177.

Crédits photos. L. Van Nevel (p. 58).

Wim De Schuyter¹

Lotte Van Nevel^{1,2}

Kris Verheyen¹

Wim.DeSchuyter@UGent.be

¹ Forest & Nature Lab, Department of Environment, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Geraardsbergsestwg 267 | B-9090 Melle-Gontrode

² Bosgroep Oost-Vlaanderen Noord
Woodrow Wilsonplein 2 | B-9000 Gent