

ForEstimator : un nouvel outil cartographique pour mieux connaître la forêt wallonne

Laurent Dedry | Olivier De Thier | Jérôme Perin
Adrien Michez | Stéphanie Bonnet | Philippe Lejeune

ULg, Gembloux Agro-Bio Tech

Le développement conjoint des SIG et de la technologie LiDAR offre aux gestionnaires des perspectives nouvelles dans le domaine de la caractérisation des ressources forestières. Exemple avec ForEstimator, un nouveau plugin pour QGIS.

RÉSUMÉ

Suite à l'acquisition par le Service public de Wallonie d'une couverture LiDAR de l'ensemble du territoire régional, et à l'établissement d'un modèle numérique de hauteur basé sur cette dernière, Gembloux Agro-Bio-Tech (GxABT) a mis au point un plugin QGIS, baptisé « ForEstimator », permettant aux gestionnaires et propriétaires forestiers de calculer facilement la hauteur dominante de leurs peuplements d'épicéas et de douglas équiennes. De plus, pour corriger l'ancienneté des données LiDAR, le plugin est couplé à un modèle de prédiction de la croissance de la hauteur dominante. Cette

originalité permet d'actualiser l'estimation à une date postérieure à l'acquisition des données LiDAR.

Parallèlement, l'équipe de GxABT a pu déterminer l'arbre le plus haut de Wallonie. Il s'agit d'un douglas de 61 mètres de haut au sein d'un peuplement mélangé de douglas et tsuga, planté en 1900, situé à Bouillon.

ForEstimator permet aux gestionnaires forestiers de produire facilement des cartes de hauteur dominante, de productivité des peuplements, etc.



La connaissance précise et actualisée des ressources forestières constitue un préalable indispensable à la mise en place d'une gestion durable et adaptée. La caractérisation de ces ressources peut s'envisager à différentes échelles depuis la parcelle jusqu'à un pays entier. Elle peut prendre la forme d'une cartographie plus ou moins détaillée ou d'un inventaire. Jusqu'à présent ces deux approches étaient mises en œuvre de manière indépendante, la cartographie concernant principalement la création de parcelles de gestion, alors que les inventaires, réalisés le plus souvent par voie d'échantillonnage, concernent la caractérisa-

tion dendrométrique à l'échelle d'une région⁷, voire d'une entité d'aménagement⁴, plus rarement d'une parcelle.

Les récents progrès réalisés en matière de téledétection, déjà évoqués dans cette revue^{1,2,3}, permettent désormais de combiner ces deux approches : réaliser l'estimation de paramètres dendrométriques et présenter ceux-ci sous forme de couches cartographiques continues sur une zone donnée (un massif forestier par exemple).

Depuis plusieurs années, le LiDAR est largement étudié pour sa capacité à caractériser la ressource forestière et plus spécifiquement à mesurer la hauteur des arbres ou des peuplements. Le succès de cette technologie s'explique en grande partie par sa capacité à fournir une vision tridimensionnelle du couvert forestier contrairement aux autres techniques de téledétection. Les données brutes se présentent sous la forme d'un nuage de points définis par leurs coordonnées (x, y, z). Chaque point correspond à un impact d'une impulsion laser avec un élément de la zone survolée (arbre, bâtiment, sol, etc.). À partir de ces données, il est possible d'établir des couches cartographiques synthétiques. Les plus communes sont le modèle numérique de terrain (MNT) et le modèle numérique de surface (MNS). La simple soustraction de ces deux couches permet de dériver un modèle numérique de hauteur (MNH = MNS - MNT). En forêt, ce MNH donne une idée assez précise de la hauteur des arbres (encart 1). Ces trois couches sont produites sous format *raster* (grille formée de pixels) avec une résolution (taille des pixels) d'autant plus fine que la densité de points (et donc d'information) est importante.

Depuis peu, le Service public de Wallonie (SPW) dispose d'une couverture LiDAR complète du territoire régional acquise avec une densité de points au sol de l'ordre de 1 point par mètre carré. Ces données ont permis de produire un MNT et un MNS avec une résolution de 1 mètre. Ces couches cartographiques sont disponibles sur le portail cartographique du SPW (geoportail.wallonie.be).

L'équipe de Gembloux Agro-Bio Tech, œuvrant au sein de l'Accord-cadre de recherches et vulgarisation forestières, s'intéresse à la mise au point de modèles permettant d'estimer les principaux paramètres dendrométriques de peuplements à l'aide de ce type de données du Département de la Nature et des Forêts. Une attention particulière est portée à l'intégration de ces modèles dans des outils accessibles et simples à utiliser afin d'assurer un transfert de connaissances entre la recherche et l'opérationnel.

1. Les données LiDAR aérien

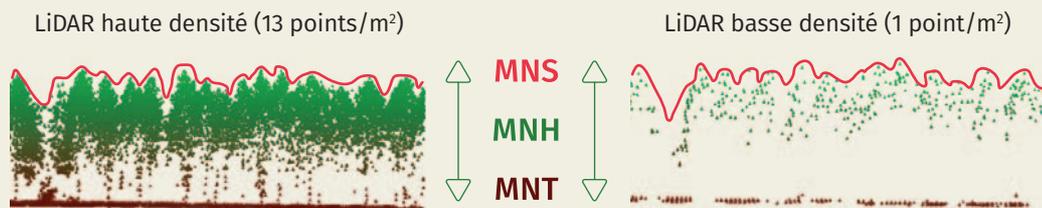
En 2011, une première campagne d'acquisition de données LiDAR en Wallonie a été réalisée sur une zone pilote de 200 km² sur le bassin versant de la Houille, à l'initiative de la DGO3. Ce jeu de données présente une densité élevée : de l'ordre de 13 points/m² au sol.

En 2013 et 2014, une seconde campagne d'acquisition LiDAR a été menée pour le Département de la Géomatique du SPW sur l'ensemble du territoire régional. Les modalités d'acquisition ont été établies de façon à obtenir une densité d'environ 1 point/m² au sol. Ce jeu de données, beaucoup moins dense en information, présente néanmoins l'énorme avantage de couvrir l'ensemble du territoire wallon.

À partir du nuage de points LiDAR brut, il est possible de générer un modèle numérique de terrain (MNT) qui reprend tous les points caractérisant les impacts au sol et un modèle numérique de surface (MNS) qui décrit l'al-

titude du sommet des éléments présents à la surface du sol (par exemple, les arbres en milieu forestier). Un modèle numérique de hauteur (MNH) peut quant à lui être calculé en soustrayant le MNT du MNS. La résolution (taille des pixels) à laquelle peuvent être produites ces couches cartographiques dépend de la densité du nuage de points (le nombre de points par mètre carré). Dans le cas du vol LiDAR à basse densité couvrant toute la Wallonie, la résolution retenue est de 1 mètre.

La figure ci-dessous présente une coupe verticale dans les nuages des points LiDAR « haute densité » et « basse densité ». Cette coupe est réalisée dans un même peuplement d'épicéa situé près de Gedinne. Cette figure illustre la capacité du LiDAR « basse densité » à fournir une information relativement équivalente à celle obtenue avec du LiDAR « haute densité » pour ce qui concerne la détermination de la hauteur de peuplements résineux réguliers.



Récemment, nos travaux se sont focalisés sur l'estimation de la hauteur dominante dans le cas de plantations constituées d'épicéa commun ou de douglas. Ces deux essences représentent en effet un tiers de la surface forestière productive de la Wallonie et assurent près de 60 % du volume de la production ligneuse de notre région⁷.

Dans de tels peuplements, la hauteur dominante est une variable intéressante à plus d'un titre : combinée avec l'âge de plantation, elle fournit une très bonne indication de la productivité. Elle peut également intervenir dans l'estimation du volume de bois sur pied.

Estimation de la hauteur dominante avec le LiDAR aérien

Sur base du MNH disponible sur l'entièreté de la Wallonie, un modèle d'estimation de la hauteur dominante a été développé pour les peuplements

équennes d'épicéa et de douglas. Ce modèle fournit des estimations de hauteur dominante avec une marge d'erreur d'environ 1 mètre. Ce niveau de précision est du même ordre de grandeur que celui obtenu lors de l'estimation de la hauteur dominante sur le terrain à l'aide d'un vertex. Une présentation détaillée de la construction et de l'évaluation de la qualité de ce modèle prédictif fait l'objet d'un article scientifique en cours de publication.

En résumé, le MNH a été utilisé pour détecter des maxima locaux qui sont des pixels situés à une hauteur supérieure à celle de leurs voisins. En forêt, ces maxima sont censés correspondre à la position du sommet des arbres. L'estimation de hauteur dominante est basée sur la hauteur moyenne des cent plus hauts maxima locaux à l'hectare.

Pour rendre le modèle facilement utilisable par les forestiers de terrain, celui-ci a été intégré dans un module directement utilisable dans le logiciel de

cartographie *open source** QGIS. Ce module, baptisé *ForEstimator*, fonctionne sur la base d'un fichier cartographique (au format *shapefile*) censé contenir les limites des parcelles dont on souhaite estimer la hauteur dominante. Un simple clic de souris et une connexion internet suffisent pour réaliser cette estimation et stocker le résultat dans la table d'attributs de la couche cartographique (encart 2). Les estimations de hauteur dominante ainsi produites se rapportent aux années 2013 ou 2014 (années d'acquisition des données LiDAR) en fonction de la localisation de la

parcelle. L'originalité de *ForEstimator* réside dans le fait que le modèle d'estimation de hauteur dominante a été combiné avec un modèle de prédiction de la croissance de cette hauteur dominante⁶. Ce dernier peut être utilisé dès que l'on connaît l'essence contenue dans le peuplement et sa date de plantation pour actualiser l'estimation de la hauteur dominante à une date postérieure à l'acquisition des données LiDAR. *ForEstimator* est donc capable de fournir des informations actualisées et correctes, tant que la parcelle n'a pas été exploitée par coupe rase. La définition de l'essence plantée et de l'âge du peuplement permet également de fournir une indication du niveau de productivité de la parcelle sous la forme d'un *Site Index* (hauteur dominante atteinte à 50 ans).

* Les logiciels *open source* sont gratuits et leur code source est accessible et modifiable par n'importe quel utilisateur, ce qui permet d'y ajouter de nouveaux modules.

2. ForEstimator : comment ça marche ?

ForEstimator se présente sous la forme d'une extension du logiciel de cartographie QGIS. Il est téléchargeable gratuitement à l'adresse : orbi.ulg.ac.be/handle/2268/181427. Son interface comporte une liste déroulante servant à identifier la couche cartographique (fichier *shapefile*) contenant les polygones qui décrivent les limites des peuplements à analyser (le *shapefile* doit être préalablement affiché dans un projet QGIS).

Une rubrique optionnelle permet de définir une distance tampon (*buffer*) qui peut être utilisée pour éliminer, lors de l'estimation de la hauteur dominante, la partie périphérique des polygones représentant les peuplements. Cette option est particulièrement utile lorsque la précision géométrique des polygones laisse à désirer et que des effets de bord sont susceptibles d'altérer la qualité de l'estimation.

Deux autres listes déroulantes optionnelles permettent d'identifier au sein de la table d'attributs de la couche de polygones, les champs correspondant à la date de plantation et à l'essence plantée.

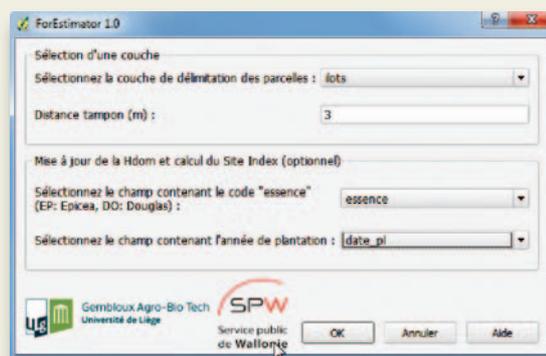
Ces deux informations sont utilisées par *ForEstimator* pour actualiser l'estimation de la hauteur dominante au moment de l'exécution de la requête et calculer un *Site Index* (hauteur dominante atteinte à 50 ans).

Lors de l'exécution du calcul (clic sur le bouton *OK*), *ForEstimator* envoie, pour chaque polygone, les données relatives à sa géométrie ainsi que les éventuelles informations complémentaires (distance du *buffer*,

date de plantation, essence) à un serveur informatique. Au niveau de ce dernier, une requête est exécutée dans une base de données qui contient les informations sur l'ensemble des maxima locaux détectés sur le MNH couvrant la Wallonie. Cette requête extrait le nombre de maxima locaux correspondant à la surface du polygone exprimée en are. La hauteur dominante est déduite de la moyenne des hauteurs des maxima locaux et est renvoyée par le serveur vers l'ordinateur de l'utilisateur. Le *plugin* *ForEstimator* recopie alors la donnée dans la table d'attributs du *shapefile*. Si les informations sur l'essence et la date de plantation ont été fournies au serveur, ce dernier renvoie également l'estimation de la hauteur dominante actualisée à la date du jour de la requête, ainsi qu'une estimation du *Site Index*.

Un intervalle de confiance autour de la hauteur dominante, ainsi qu'un coefficient de variation et un indice de qualité de l'estimation sont également calculés par *ForEstimator* et stockés dans la table d'attributs. Le coefficient de variation renseigne

sur l'homogénéité des hauteurs au sein de la parcelle. Il permet d'identifier des parcelles de structure irrégulière où la pertinence de la hauteur dominante comme indicateur de productivité peut être remise en cause. De la même manière, l'indicateur de qualité sert à détecter des peuplements où le nombre de maxima locaux est inférieur à cent par hectare et pour lesquels la notion de hauteur dominante est également à considérer avec prudence.



Un exemple d'utilisation de ForEstimator

Pour illustrer les possibilités offertes par ForEstimator, celui-ci a été utilisé pour caractériser les îlots résineux de la forêt communale de Gedinne (cantonement de Beauraing). Cette propriété comprend environ 1166 hectares de plantations d'épicéa, 320 hectares de plantations de douglas et 566 hectares de plantations mélangées de ces deux essences. Ces 2052 hectares sont répartis en 904 îlots distincts. Les limites de ces derniers ont été extraites du parcellaire produit par le DNF et converties au format *shapefile*. La date de plantation, ainsi que l'identification des essences plantées sont également issues du parcellaire et renseignées dans la table d'attributs du *shapefile*.

L'estimation des hauteurs dominantes pour les 904 îlots a été réalisée avec le plugin ForEstimator en un peu moins de 2 minutes. Dans le cas présent, l'option « *buffer* » (encart 2) a été appliquée et fixée à 3 mètres, afin d'atténuer les erreurs liées aux éventuelles imprécisions dans la délimitation des îlots.

À titre d'exemple, la figure 1 reprend la distribution des hauteurs dominantes estimées en fonction de l'âge des pessières situées dans la forêt communale de Gedinne (puces vertes). Les courbes correspondent aux cinq classes de productivité définies pour cette essence en Wallonie⁶. Les données considérées comme potentiellement douteuses en raison d'un trop faible nombre d'arbres dominants détectés (indice

$Qual < 1$) ou d'une hétérogénéité élevée des hauteurs observées dans le peuplement (coefficient de variation $> 15\%$) sont représentées par des puces rouges.

Ce genre de graphique donne une vue synthétique du niveau de développement et du potentiel de production des peuplements résineux de ce massif forestier.

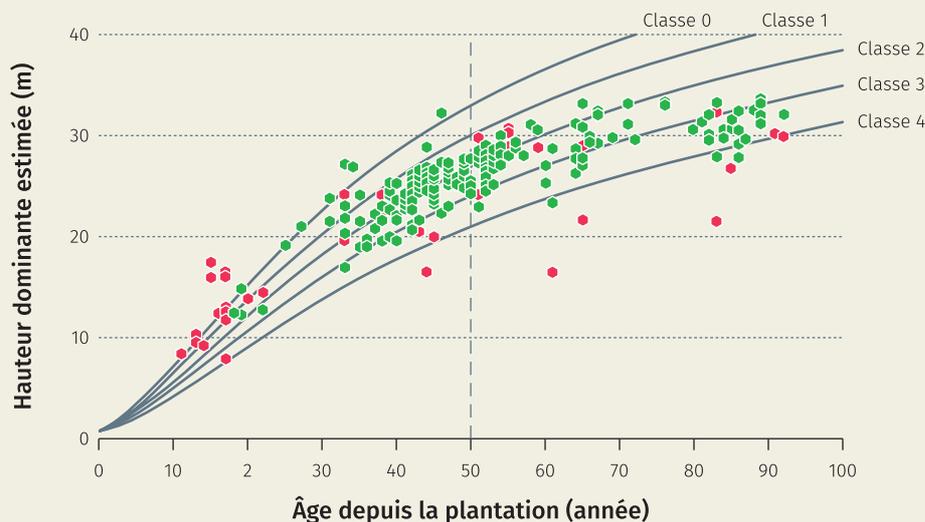
Un arbre de 61 mètres à Bouillon

Les maxima locaux (détectés sur le MNH et censés correspondre au sommet des arbres) présentant une hauteur supérieure à 50 mètres ont été plus particulièrement étudiés. Cela a permis de mettre en évidence des peuplements de hauteur remarquable, des éoliennes, des bâtiments relativement élevés, etc. Si l'on s'intéresse plus particulièrement aux éléments arborés, la palme de l'arbre le plus haut de Wallonie revient à un douglas faisant partie d'un peuplement situé à Bouillon, au lieu-dit la Ramonette. Cet arbre, plus que centenaire (planté en 1900), atteint une hauteur totale de 61 mètres pour une circonférence de 345 cm et un volume bois fort tige de 17,1 m³ (encart 3).

Conclusions

Les premiers résultats obtenus dans cette recherche à l'aide de la couche LiDAR acquise sur l'ensemble du territoire régional confirment l'intérêt de ce type

Figure 1. Distribution des hauteurs dominantes estimées en fonction de l'âge depuis la plantation pour les pessières de la forêt communale de Gedinne (puces vertes). Les parcelles caractérisées par un indice de qualité inférieur à 1 ou un coefficient de variation supérieur à 15 % sont représentées par des puces rouges. Les courbes représentent les centres des cinq classes de productivités définies pour l'épicéa en Wallonie⁶, correspondant à des hauteurs dominantes respectivement de 33 (classe 0), 30 (classe 1), 27 (classe 2), 24 (classe 3) et 21 mètres (classe 4) à 50 ans.



3. Le plus grand arbre de Wallonie

L'arbre identifié comme le plus haut de Wallonie est un douglas aux mensurations impressionnantes : 61 mètres de hauteur totale, 345 cm de circonférence à 1,5 mètre du niveau du sol et un volume bois fort tige de 17,1 m³. La hauteur de 61 mètres provient d'une mesure de terrain réalisée avec un dendromètre de type Vertex IV. La hauteur du maximum local dérivé des données LiDAR pour ce même arbre est de 60,9 mètres.

Cet arbre est situé dans un peuplement mélangé de douglas et de tsuga planté en 1900. Une placette de 20 ares, centrée sur l'arbre dominant, a été inventoriée pour estimer les paramètres dendrométriques du peuplement. Cette placette affiche une densité de 121 tiges par hectare (2/3 douglas, 1/3 tsuga), une surface terrière de 77,5 m²/ha et un volume bois fort tige de 1432 m³/ha. Les tsugas et les douglas y sont caractérisés par des circonférences à hauteur de poitrine atteignant respectivement 300 et 400 cm !

Le volume individuel de ces arbres a été estimé à l'aide du logiciel *G-Cube*⁵. Les estimations de volume qui en découlent sont néanmoins à considérer de manière indicative car les dimensions exceptionnelles de ces arbres dépassent la gamme de validité des équations de cubage.

Caractéristiques du peuplement	Valeur
Pente	50 %
Hauteur dominante	52,4 mètres
Densité	121 tiges/ha
Surface terrière	77,5 m ² /ha
Volume	1432,2 m ³ /ha
Volume moyen	11,8 m ³



de données pour la caractérisation des ressources forestières.

La mise au point de ForEstimator constitue un bel exemple de démarche visant à simplifier l'accès à des bases de données volumineuses (cet outil s'appuie sur une base de données de plus de 60 Go) et des modèles statistiques complexes.

L'implémentation de ForEstimator dans un environnement *open source* (QGIS) confirme également une évolution marquante dans le domaine de la cartogra-

phie informatisée : les outils *open source* apparaissent désormais comme une alternative plausible, alors qu'ils étaient considérés jusqu'il y a peu comme peu fiables ou non professionnels.

La dimension cartographique des résultats fournis par ForEstimator ainsi que l'interactivité et l'accessibilité de ce dernier marquent sans doute un tournant dans la manière d'aborder la caractérisation des ressources forestières pour le gestionnaire de terrain : la dendrométrie n'est plus réservée uniquement aux spécialistes de la question.

POINTS-CLEFS

- ▶ Un MNH est à présent disponible à l'échelle de la Wallonie et permet d'identifier les points hauts du territoire.
- ▶ Sur cette base, GxABT a développé un plugin QGIS permettant de calculer la hauteur dominante des peuplements équiennes d'épicéas et de douglas.
- ▶ Sur cette base également, l'arbre le plus haut de Wallonie est un douglas de 61 mètres situé à Bouillon.

Sur base des résultats fournis par ForEstimator, il est possible pour l'utilisateur de produire facilement des cartes de hauteur dominante, de productivité des peuplements, etc. Il faut cependant garder à l'esprit qu'il est nécessaire de disposer d'une cartographie de base de qualité (délimitation des peuplements, informations sur le type de peuplement, la date de plantation, etc.) pour utiliser au mieux ces nouveaux outils.

Les travaux concernant la valorisation se poursuivent et concernent actuellement la construction de modèles prédictifs pour d'autres variables dendrométriques : la prédiction « à distance » de la surface terrière ou de volume sur pied intéressent aussi fortement les gestionnaires forestiers (au sens large). La caractérisation de la structure des peuplements feuillus est également un axe d'investigation potentiellement intéressant. L'équipe de GxABT ne manquera pas de revenir dans cette revue pour vous faire part de l'évolution de ses travaux.

On ne peut que se féliciter des efforts initiés par le SPW pour l'acquisition de la couche LiDAR aérien qui constitue un jeu de données cartographiques à très haut potentiel d'application et donc à très haute valeur ajoutée. L'utilisation des couches MNT et MNS a démontré tout son intérêt dans le cas de l'estimation de la hauteur dominante pour les plantations résineuses. L'exploitation des données brutes (le nuage de points « x, y, z ») permettrait d'aller beaucoup plus loin dans la caractérisation du couvert forestier (par exemple, pour l'estimation de la surface terrière) et donc dans le développement d'autres outils utiles aux gestionnaires forestiers. ■

Bibliographie

- ¹ Bonnet S., Toromanoff F., Fourneau F., Lejeune P. (2011). Principes de base de la télédétection et ses potentialités comme outil de caractérisation de la ressource forestière. I. Images aérienne et satellitaire. *Forêt Wallonne* 114 : 45-56. 
- ² Bonnet S., Toromanoff F., Bauwens S., Michez A., Dedry L., Lejeune P. (2013). Principes de base de la télédétection et ses potentialités comme outil de caractérisation de la ressource forestière. II. LiDAR aérien. *Forêt Wallonne* 124 : 28-41. 
- ³ Bonnet S., Dedry L., Bauwens S., De Jaegere T., Lejeune P. (2014). Quantifier la ressource forestière grâce au LiDAR, quelques applications concrètes. *Forêt Wallonne* 129 : 42-43. 
- ⁴ De Thier O., Lisein J., Lejeune P. (2014). IFA : un logiciel simple pour la réalisation et le traitement d'inventaires forestiers d'aménagement. *Forêt Wallonne* 129 : 44-45. 
- ⁵ Handerek D., Quevauvillers S., Hébert J., Rondeux J., Lejeune P. (2013). G-CUBE2.0 - Un logiciel de cubage et de constitution de lots de bois. *Forêt Wallonne* 124 : 20-27. 
- ⁶ Perin J., De Thier O., Claessens H., Lejeune P., Hébert J. (2014). Nouvelles courbes de productivité harmonisées pour le douglas, l'épicéa et les mélèzes en Wallonie. *Forêt Wallonne* 129 : 26-41. 
- ⁷ Rondeux J., Hébert J., Bourland N., Puissant T., Burnay F., Lecomte H. (2005). Production ligneuse de la forêt wallonne, l'apport de l'inventaire permanent régional. *Forêt Wallonne* 79 : 3-18. 

Ce travail a été financé par l'Accord-cadre de recherches et vulgarisation forestières (SPW, DGO3). Les auteurs remercient Hugues Lecomte, Matthieu Alderweireld et Mickhail Pitchugin de l'Inventaire permanent des ressources forestières de Wallonie qui ont fourni les données nécessaires à l'élaboration des modèles de hauteur dominante. Merci également aux cantonnements de Beauraing et de Bouillon pour leur collaboration à la réalisation de cette étude.

Crédits photos. Forêt Wallonne asbl (p. 40) et Gembloux Agro-Bio Tech (p. 45).

Laurent Dedry
Olivier De Thier
Jérôme Perin
Adrien Michez
Stéphanie Bonnet
Philippe Lejeune
 p.lejeune@ulg.ac.be

Gestion des ressources forestières, GxABT, ULg.
 Passage des déportés 2 | B-5030 Gembloux