

# FORÊT

## • NATURE



OUTILS POUR UNE GESTION RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS



Tiré à part du Forêt.Nature n° 155, p. 34-46

## **CARTOGRAPHIE ET CARACTÉRISATION DES ARBRES HORS FORÊT À L'AIDE DE LA TECHNOLOGIE LIDAR**

**Corentin Bolyn** (GxABT, ULiège), **Nicolas Latte** (GxABT, ULiège), **Anne Fourbisseur** (Carah),  
**Vincent Colson** (CAPFP, OEWB), **Olivier Baudry** (AWAF), **Philippe Lejeune** (GxABT, ULiège)

**Rédaction** : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. info@foretnature.be. T +32 (0)84 22 35 70. **Photo de couverture** : © Michaël Hennequin.  
La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction. [foretnature.be](http://foretnature.be)



# Cartographie et caractérisation des arbres hors forêt à l'aide de la technologie LiDAR

Corentin Bolyn<sup>1</sup> | Nicolas Latte<sup>1</sup> | Anne Fourbisseur<sup>2</sup> | Vincent Colson<sup>3</sup> | Olivier Baudry<sup>4</sup> | Philippe Lejeune<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gembloux Agro-Bio Tech (ULiège)

<sup>2</sup> Carah Asbl

<sup>3</sup> Cellule d'Appui à la Petite Forêt Privée (OEWB)

<sup>4</sup> AWAF asbl

**Comment suivre et évaluer des éléments aussi disparates que des haies, arbres isolés, bosquets... dans un paysage ouvert et à large échelle ? C'est tout l'enjeu de cette étude menée par Gembloux Agro-Bio Tech sur base de données LiDAR en Wallonie et en France.**

## RÉSUMÉ

Il est aujourd'hui admis qu'une part importante de la ressource ligneuse se trouve en dehors de la forêt. Les « arbres hors forêt » ont un rôle important dans notre environnement grâce à leurs multiples fonctions : production de bois, préservation de la biodiversité, qualité paysagère... Bien que l'évolution récente des politiques environnementales tendent à leur donner plus d'importance, ils restent peu étudiés et ne font que rarement l'objet d'un inventaire ou d'un suivi à l'échelle régionale ou nationale. Face au besoin d'outils pour l'évaluation de cette ressource, une méthode de cartographie et de description des éléments arborés situés hors forêt a été développée. Elle repose sur l'utilisation de données LiDAR aérien



**Les** arbres sont des éléments omniprésents dans notre environnement. La forêt couvre à elle seule 30 % du territoire wallon. Cette ressource ligneuse, dont les enjeux de gestion sont considérables, est relativement bien décrite et connue au travers d'inventaires spécifiques et de nombreuses études.

Depuis quelques décennies, l'idée que la ressource ligneuse ne se concentrait pas uniquement en forêt a fait son chemin, faisant émerger le concept d'arbres hors forêt (encart 1). Les nombreuses fonctions que les éléments arborés remplissent en dehors de la forêt sont de plus en plus reconnues. Globalement, ils produisent du bois apte à différentes valorisations, qu'il s'agisse du bois énergie ou de filières avec davantage de valeur ajoutée. Par leur production de bois, ces éléments ont donc également un impact significatif sur le stockage de carbone. Localement, ils abritent une biodiversité importante et, à l'échelle du paysage, ils représentent des éléments de connectivité (corridors écologiques) pour de nombreuses espèces. Ces éléments arborés protègent également les sols de l'érosion et y stockent du carbone à long terme, maintiennent la qualité de l'eau et protègent des inondations, du vent et des intempéries. Enfin, ils constituent un élément paysager à valeur socioculturelle, marqueur des territoires et de leur histoire<sup>5</sup>. Tirant profit de ces nombreux avantages, les techniques agroforestières associent des plantations ligneuses à des cultures agricoles aux effets bénéfiques réciproques<sup>3</sup>.

L'ensemble des biens et services environnementaux fournis par cette ressource sont essentiels pour la population de nombreux pays. À ce titre, la FAO considère la forêt et les arbres hors forêt comme essentiels pour la sécurité alimentaire mondiale<sup>4</sup>.

Les arbres hors forêt sont cependant beaucoup moins étudiés que ceux des forêts et ne font que rarement l'objet d'un inventaire ou d'un suivi à l'échelle régionale ou nationale. Or, l'évolution récente des politiques environnementales tendent à leur donner un rôle de premier plan. À travers les mesures agroenvironnementales, la Commission européenne finance les agriculteurs qui souscrivent, sur une base volontaire, à des engagements liés à la préservation de l'environnement et à l'entretien du paysage. Dans le même temps, la Wallonie octroie des subventions pour la plantation de haies, vergers et alignements d'arbres, reconnaissant leurs fonctions écosystémiques fondamentales. Dans ce contexte, le développement d'outils pour l'évaluation et le suivi de la ressource ligneuse hors forêt prend tout son sens.

Une des activités de recherche du projet Interreg Va France-Wallonie-Vlaanderen ForestProBos avait pour

au travers d'une série d'algorithmes intégrée dans une procédure automatique. Les éléments arborés de plus de 2 mètres de hauteur sont cartographiés avec une résolution de 1 mètre et catégorisés en cinq classes en fonction de leurs dimensions et de leur organisation spatiale. Les utilisations de cette couche cartographique sont nombreuses : calcul de statistiques, analyses spatiales, étude de la dynamique temporelle... À titre d'exemple, nous présentons les résultats obtenus sur trois sites : les communes rurales de Ohey et de Paliseul en Wallonie, et un périmètre regroupant douze communes françaises situées au Nord-Est de Valencienne.

objectif de développer une méthode de cartographie et de description des éléments arborés hors forêts en exploitant des données de télédétection. L'objectif de cet article est de présenter cette méthode et d'illustrer les résultats qu'elle produit pour deux communes rurales wallonne (Ohey et Paliseul) et un périmètre regroupant 12 communes françaises au Nord-Est de Valenciennes.

## Comment cartographier les arbres hors forêt ?

La délimitation et la cartographie d'éléments ligneux situés hors forêt (nommés AHF dans la suite de l'article) nécessitent de recourir à des données à très haute résolution spatiale pour délimiter des éléments ligneux qui peuvent être de petite taille et les différencier de leur environnement immédiat constitué de végétation herbacée, de substrats non végétaux ou d'éléments construits par l'homme.

La méthode de cartographie qui a été développée repose exclusivement sur l'utilisation de données de type LiDAR aérien (encart 2). Ces données présentent une résolution spatiale de l'ordre de 1 mètre et fournissent des estimations précises de la hauteur des éléments présents à la surface du sol.

Sur cette base, il a donc été possible de considérer la hauteur minimale comme principal critère de délimitation des éléments ligneux. Celle-ci a été fixée à 2 mètres, pour séparer les AHF de la végétation non ligneuse. Ce choix méthodologique impose d'être capable ensuite de séparer les éléments ligneux des autres objets non végétaux de hauteur supérieure à 2 mètres mais également de séparer les éléments ligneux en et hors forêt.

Une chaîne de traitement automatisée a été développée pour générer une couche décrivant les limites et les caractéristiques des éléments ligneux situés hors forêt au départ du nuage de points LiDAR. De manière synthétique, la méthode qui a été développée se compose de quatre étapes principales.

**Étape 1 :** identification des points « sol » et normalisation du nuage de points. La première étape vise à identifier les points LiDAR qui correspondent au sol et se baser sur l'altitude de ceux-ci pour définir la hauteur des autres points par rapport au niveau du sol. Cette opération est qualifiée de normalisation du nuage de points. Ces derniers sont désormais caractérisés par des coordonnées (x, y, h), la hauteur h remplaçant l'altitude z.

**Étape 2 :** identification des points correspondant à des éléments ligneux. Les points dont la hauteur est su-

### Encart 1.

## Définitions et typologie des éléments ligneux présents dans le paysage

Établir une définition et une classification des arbres hors forêt nécessite avant tout de préciser ce qu'est une forêt. Nous avons considéré la définition de la FAO (organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) qui considère les forêts comme étant « des terres occupant une superficie de plus de 0,5 hectare avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à 5 mètres et un couvert forestier de plus de 10 %, ou avec des arbres capables d'atteindre ces seuils in situ ». Cette définition englobe les éléments linéaires, comme les brise-vents ou les corridors d'arbres, d'une surface de plus de 0,5 hectare, et d'une largeur de plus de 20 mètres.

Sur base de la superficie, du taux de couverture des cimes (projection des cimes au sol) et de la hauteur des arbres, la FAO divise ainsi le territoire en trois occupations du sol : la forêt, les autres terres boisées et les autres terres. Sur cette base, les arbres hors forêt correspondent aux éléments ligneux du paysage situés dans les autres terres.

## Typologie des arbres hors forêt

Certaines mesures agroenvironnementales liées à la Politique Agricole Commune de l'Union européenne concernent les éléments ligneux du paysage. À ce titre, leurs critères d'admissibilité fournissent des définitions précises pour certains éléments ligneux présents en zone agricole<sup>6</sup> :

- Les haies et bandes boisées : tronçon de minimum 10 mètres de long, largeur de moins de 10 mètres. Si alignement d'arbres : diamètre de la couronne supérieur à 4 mètres et espace entre couronnes de moins de 5 mètres.
- Arbre isolé : arbre dont les couronnes sont situées à plus de 5 mètres de tout autre arbre, circonférence de plus de 40 cm à 1,5 mètre de hauteur.
- Buisson et arbuste isolé : 1,5 mètre de hauteur et situé à plus de 5 mètres de tout autre élément.

- **Bosquet** : superficie de maximum 4 ares composée de plantes ligneuses majoritairement indigènes, soit arbres, buissons ou arbustes et située à plus de 5 mètres de tout autre élément.
- **Arbres fruitiers** : de haute tige ; pas de notion de taille de couronne ou de distance entre couronnes.

Ces définitions ne couvrent pas l'ensemble des configurations pouvant être rencontrées. Elles ont été adaptées et complétées pour garantir le caractère exhaustif de la cartographie produite. Cette adaptation intègre un critère lié à la source de données utilisée (LiDAR aérien), celui-ci concerne la hauteur retenue pour sélectionner les points du nuage correspondant à des éléments ligneux ; il a été fixé à 2 mètres. La conséquence implicite de ce choix est que seuls les éléments ligneux dépassant cette hauteur sont cartographiés.

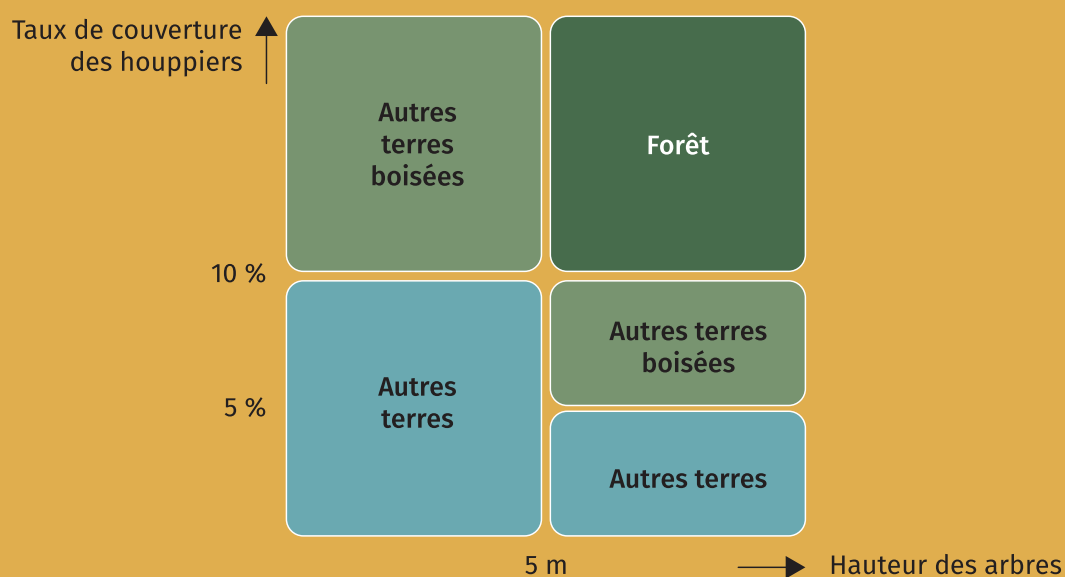
Dans les définitions qui sont présentées ci-après transparaissent également des considérations relatives à l'agencement spatial des éléments ligneux. Des visites de terrain ont été réalisées pour valider les critères fixés.

Les différentes classes qui ont été retenues se définissent comme suit :

- **Bosquet** : élément continu non linéaire dont la surface est supérieure à 400 m<sup>2</sup>.
- **Groupes d'arbres** : groupe d'éléments ligneux séparés de moins de 10 mètres et non structuré en alignement (vergers par exemple).
- **Alignements** : alignement de minimum 5 éléments ligneux séparés de moins de 10 mètres.
- **Haies** : élément linéaire continu avec une longueur minimum de 10 mètres et une largeur maximum de 20 mètres. Le rapport entre la longueur et la largeur est supérieur à 3. Les tronçons de haie distant de moins de 5 mètres constituent la même haie.
- **Arbres isolés** : élément ligneux constitué d'un seul arbre, situé à plus de 5 mètres de tout autre élément cartographié. La couronne projetée au sol couvre minimum 12,6 m<sup>2</sup>, ce qui correspond à un disque de 4 mètres de diamètre.
- **Buisson** : élément ligneux isolé, situé à plus de 5 mètres d'un bosquet, d'une haie ou de la forêt, et à plus de 10 mètres d'un autre élément ligneux. Cette classe comprend les buissons, les arbustes et les bosquets dont la surface est inférieure à 400 m<sup>2</sup>.
- **Autres** : rassemble les éléments de plus de 2 mètres de haut qui ne répondent pas aux critères précédents.

### Définition de forêt, autres terres boisées et autres terres

Source : FAO 2001



périeure à la valeur seuil de 2 mètres sont analysés. Ces points correspondent à de la végétation ligneuse ou à différents éléments construits par l'homme : bâtiments, ponts, éoliennes, pylônes, câbles électriques, etc. Les caractéristiques géométriques des points relatifs à toutes ces constructions sont exploitées au travers de différents filtres pour conserver uniquement les points correspondant aux surfaces couvertes d'éléments ligneux. Ces points sont ensuite convertis en segments (polygones « shapefile ») regroupant tous les pixels (de 1 x 1 mètre) contenant au moins un point LiDAR classé comme « ligneux ». On dispose à ce stade d'un premier produit cartographique qui représente l'ensemble des surfaces couvertes d'éléments ligneux d'une hauteur supérieure à 2 mètres.

**Étape 3 :** séparation entre forêt et ligneux hors forêt. La séparation des éléments ligneux forestiers et non forestiers s'opère en considérant la définition générale de la forêt de la FAO, basée sur une surface et une largeur minimales (encart 1). A priori, cette étape peut sembler simple à réaliser mais, en réalité, elle est plus difficile qu'il n'y paraît. En particulier, pour appliquer le seuillage sur la largeur minimale de 20 mètres. Dans un premier temps, les éléments ligneux sont divisés en tout point sur base de la largeur. Pour respecter la continuité des éléments ligneux, il est ensuite nécessaire d'analyser chaque subdivision pour annuler celles dont la taille trop petite n'est pas pertinente, comme un court rétrécissement dans une

bande boisée, un élargissement sur une faible distance dans une haie, ou un élément linéaire de petite longueur en continuité avec la forêt.

Le résultat de cette troisième étape est une couche cartographique présentant l'emprise des éléments ligneux hors forêt (figure 1).

**Étape 4 :** classification des éléments ligneux situés hors forêt. Cette étape vise à classifier les éléments de la couche produite à l'étape précédente, en considérant leurs caractéristiques en termes de dimension et d'agencement spatial (encart 1). La typologie est mise en œuvre en deux étapes<sup>1</sup>. La première étape considère uniquement les critères de dimension : surface, largeur, longueur et hauteur. Le calcul de la longueur des éléments boisés repose sur un algorithme complexe qui génère un squelette au sein de chaque polygone, sur lequel s'appuient ensuite des sections perpendiculaires permettant de mesurer la largeur. À ce stade du processus, trois catégories sont identifiées : les éléments ligneux de petite taille, les bosquets (surface de plus de 400 m<sup>2</sup>) et les éléments allongés (longueur minimum de 10 mètres, largeur maximum de 20 mètres, rapport longueur sur largeur supérieur à 3). Un dernier algorithme, mettant en œuvre des critères de proximité termine la séparation des différents éléments pour correspondre à la typologie finale comprenant six catégories présentée dans l'encart 1 (figure 2).



Figure 2. Illustration de l'application de la typologie sur les éléments ligneux de plus de 2 mètres de hauteur.



### Des analyses complémentaires

La couche cartographique finale peut être utilisée directement (visualisation, gestion, etc.) mais aussi pour réaliser des analyses spatiales complémentaires. Par exemple, des critères de proximité peuvent être définis pour raccrocher les AHF à certains éléments structurant du paysage, comme les voiries ou les cours d'eau. Il est également possible de mesurer le niveau de connectivité entre éléments ligneux, forestiers et non forestiers.

La détection des changements est également intéressante à considérer dans une perspective de gestion durable des AHF à l'échelle du paysage : l'enlèvement ou l'installation d'éléments ligneux devraient pouvoir être cartographiés et quantifiés au cours du temps. Pour assurer correctement ce suivi, il convient de disposer de mise à jour régulière de la couverture LiDAR. Dans le cas de la Wallonie, la prochaine acquisition devrait être disponible d'ici 1 à 2 ans. Dans l'attente de ces données, nous avons considéré une

solution alternative moins précise, mais néanmoins intéressante. Elle consiste à utiliser le Modèle Numérique de Surface (MNS) dérivé du traitement des images aériennes acquises pour la production de la couche ortho-image 2019 disponible sur le Géoportail de Wallonie. Ce MNS, d'une résolution de 50 cm, combiné avec un Modèle Numérique de Terrain, peut être utilisé pour estimer la hauteur des éléments ligneux en 2019 et ainsi déceler ceux dont la hauteur a fortement diminué (c'est-à-dire inférieure à 1 mètre en 2019), traduisant une probable suppression. Considérant la résolution et la précision de ce MNS, cette analyse s'est focalisée sur les éléments dont la hauteur initiale (en 2014) était supérieure à 4 mètres. Pour les mêmes raisons, l'exercice de détection de nouveaux éléments arborés n'a pas été envisagé.

### Quelle précision espérer ?

La méthode qui est présentée fonctionne de manière automatique dans la mesure où elle repose exclusivement sur la mise en œuvre d'algorithmes appliqués

## Encart 2. Le LiDAR aérien : une source de données très précieuse et très précise pour cartographier et mesurer les arbres et les forêts

Le LiDAR (pour Light Detection and Ranging) est un système de télédétection qui produit des représentations de la surface terrestre sous la forme de nuages de points 3D. Lorsque le système est embarqué sur un avion, un hélicoptère ou encore un drone, on parle de LiDAR aérien, par opposition au LiDAR terrestre où le système fonctionne au niveau du sol.

Au cours du vol, l'émetteur génère des impulsions laser à très haute fréquence (supérieure à 100 kHz). Celles-ci balayent le sol ou les éléments présents à sa surface. Les échos renvoyés permettent de calculer la position (x, y, z) des objets qui se situent sur la trajectoire de l'impulsion : branches, houppier, tronc, toits...) et finalement du sol. Les précisions des positions ainsi obtenues sont comprises entre 20 et 30 cm en planimétrie (x et y) et entre 15 et 20 cm pour l'altitude (z).

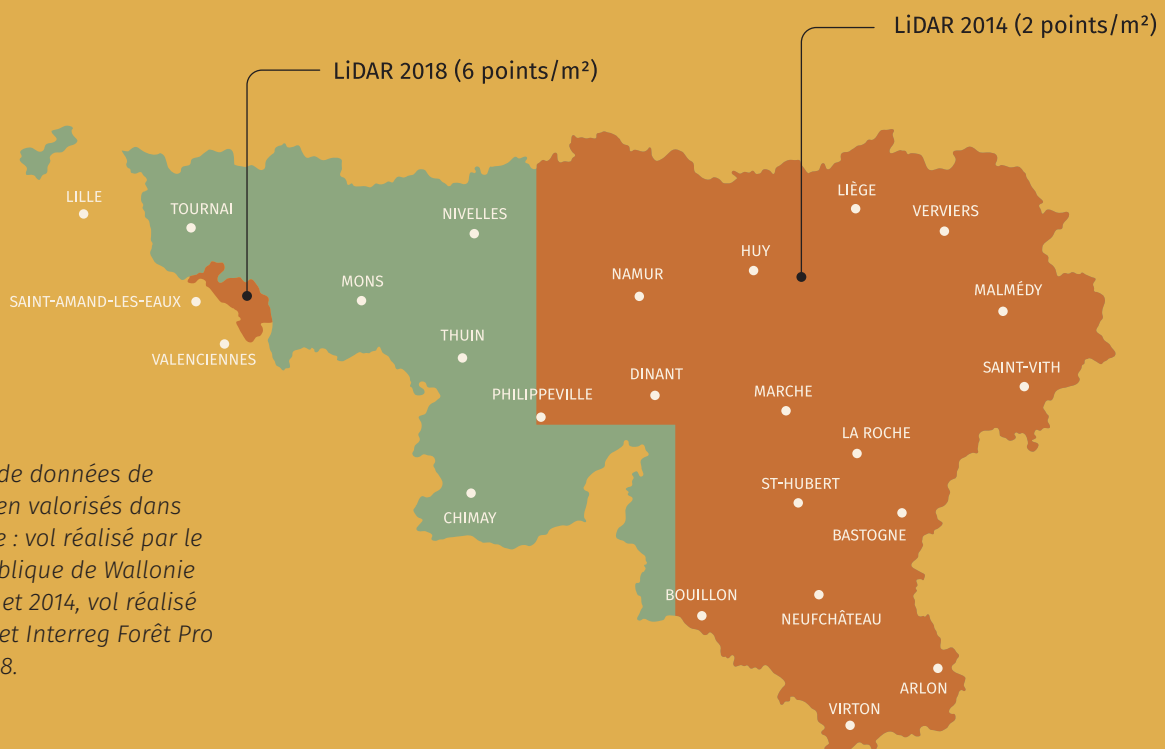
Les caractéristiques du faisceau laser, ainsi que les paramètres de vol (fréquence, altitude et plan de vol) conditionnent la densité du nuage de points produit. Celle-ci peut varier de moins de un point à plusieurs centaines de points par mètre carré. L'obtention de densités élevées nécessite une vitesse et

une altitude de vol plus faibles imposant le recours à un hélicoptère ou à un drone.

L'application d'un algorithme spécifique permet de traiter le nuage de points et d'identifier les points « sol ». Ceux-ci sont utilisés pour générer un modèle numérique de terrain décrivant le modelé du terrain. Cela permet ensuite de « normaliser » le nuage de points c'est-à-dire de calculer pour chaque point sa hauteur par rapport au niveau du sol.

Le Service Public de Wallonie a réalisé entre 2013 et 2014 une acquisition par LiDAR aérien couvrant l'ensemble du territoire régional. Celle-ci a été réalisée en huit blocs à une densité moyenne légèrement supérieure à deux points par mètre carré, ce qui correspond à une base de données qui comporte un nuage constitué de plus de quarante milliards de points ! Les caractéristiques techniques des vols réalisés sur les différents blocs sont telles que seules les données de cinq blocs couvrant deux tiers de la région sont exploitables pour détecter correctement les arbres hors forêt.

Cette couverture LiDAR régionale a déjà été valorisée dans des applications forestières. C'est notamment



Deux jeux de données de LiDAR aérien valorisés dans cette étude : vol réalisé par le Service Public de Wallonie entre 2013 et 2014, vol réalisé par le projet Interreg Forêt Pro Bos en 2018.

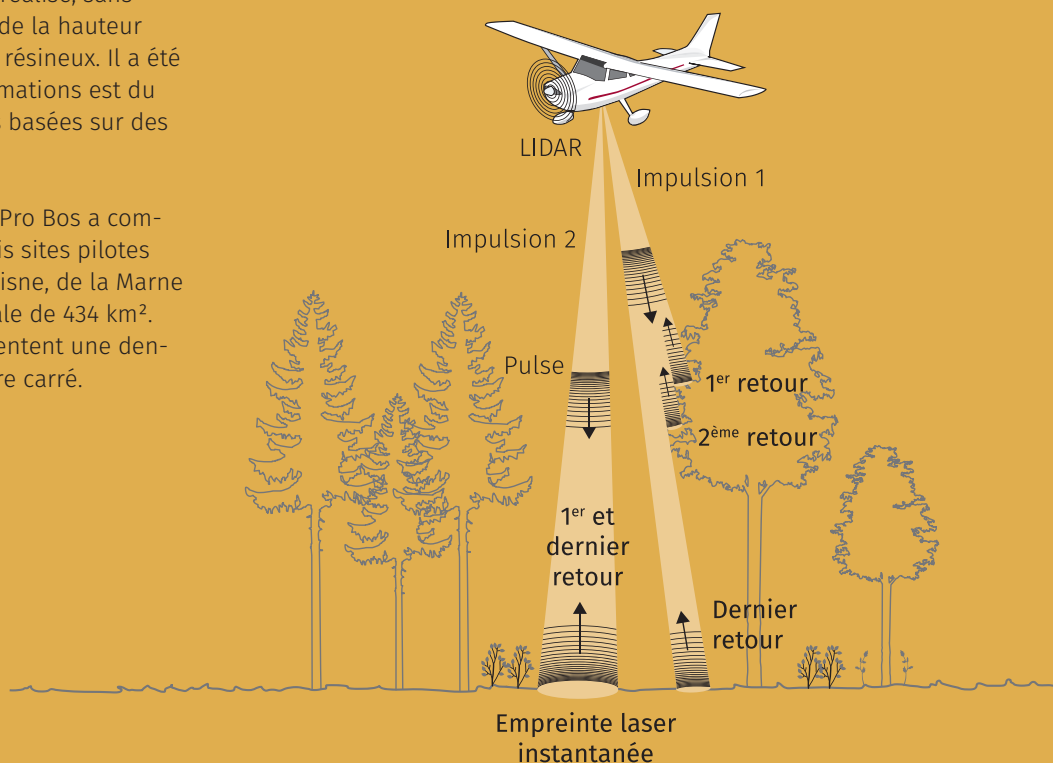




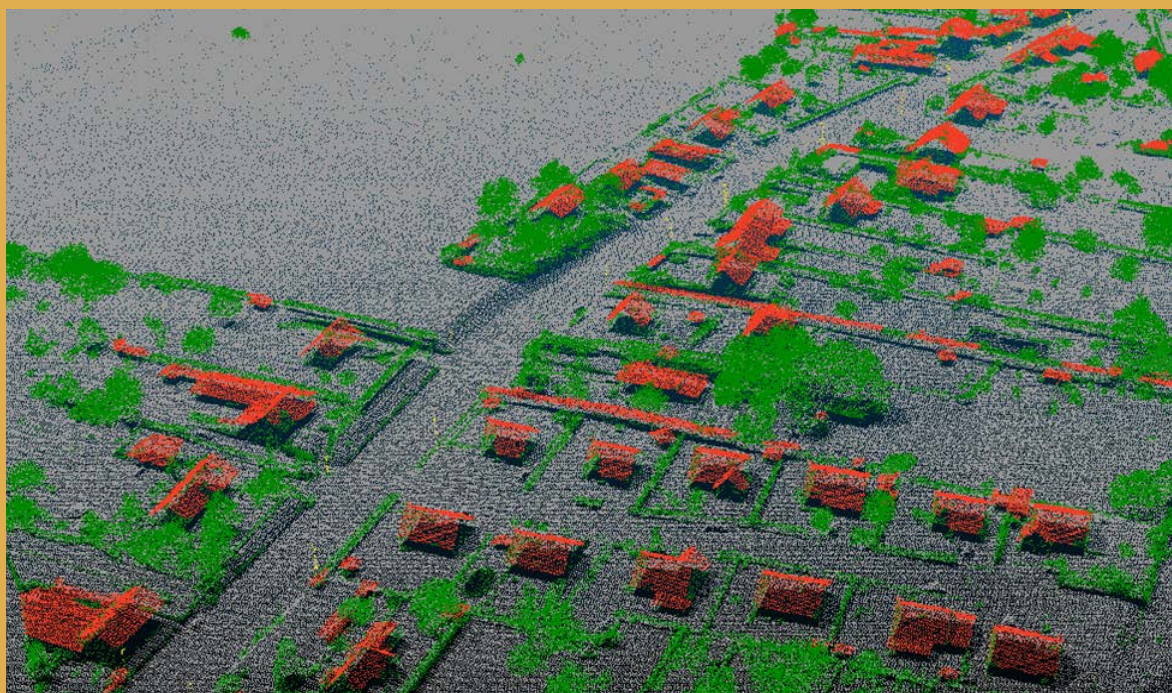
## Acquisition des données par vol LIDAR

le cas dans l'outil Forestimator<sup>2</sup> qui réalise, sans mesure de terrain, des estimations de la hauteur dominante pour des plantations de résineux. Il a été montré que la précision de ces estimations est du même ordre de grandeur que celles basées sur des mesures réalisées sur le terrain.

Par ailleurs, le projet Interreg Forêt Pro Bos a commandé en 2018 un vol LiDAR sur trois sites pilotes situés dans les départements de l'Aisne, de la Marne et du Nord, pour une superficie totale de 434 km<sup>2</sup>. Les nuages de points produits présentent une densité moyenne de six points par mètre carré.



*Nuage de points LiDAR aérien classé en trois catégories : le sol (en gris), la végétation (en vert) et les éléments construits par l'homme (en rouge et jaune).*



aux données de départ. Comme toute approche automatique, celle-ci n'est pas exempte d'erreurs. Les principales sources d'erreur proviennent de la confusion entre éléments ligneux et non ligneux de plus de 2 mètres de hauteur (principalement des bâtiments), surtout en zone d'habitat. Une seconde source d'erreur est liée aux lignes électriques qui surplombent des éléments ligneux et entraînent une surestimation de la hauteur de ces derniers. En Wallonie, le fait de disposer d'une nouvelle couche LiDAR, avec une densité de points plus élevée devrait permettre de corriger la plupart de ces confusions.

Une évaluation par photointerprétation de la classification des éléments ligneux en zone agricole portant sur près de mille éléments a démontré que la précision atteignait 93 %.

## Analyse de la cartographie des AHF

Afin d'illustrer la diversité des informations pouvant être dérivées de cette cartographie, nous avons réalisé une analyse des données produites sur trois sites : deux communes rurales en Wallonie (Ohey et Paliseul) et un périmètre regroupant douze communes françaises au Nord-Est de Valenciennes (Condé-sur-l'Escaut).

Le tableau 1 présente les statistiques globales relatives aux éléments ligneux forestiers et non forestiers pour les trois sites. Le caractère forestier de la commune de Paliseul ressort clairement avec un taux de boisement forestier de 44,5 %. Dans les trois sites, les haies dominent les éléments non forestiers, avec des pourcentages supérieurs à 60 % pour les communes wallonnes, voire même à 70 % pour le site français. La densité de haies varie entre 1,7 km/km<sup>2</sup> pour Paliseul et 6,1 km/km<sup>2</sup> pour Condé-sur-l'Escaut.

L'analyse de la distribution des AHF en fonction des affectations du territoire a été réalisée pour les deux communes wallonnes en croisant la carte des éléments ligneux avec le plan de secteur (figure 3). On constate que la majorité des AHF se trouvent en zone agricole (57 % pour Ohey et 44 % pour Paliseul). Cependant, le taux de présence des éléments ligneux dans la zone agricole reste marginal car ces éléments couvrent à peine 3 % de la surface de cette partie du territoire.

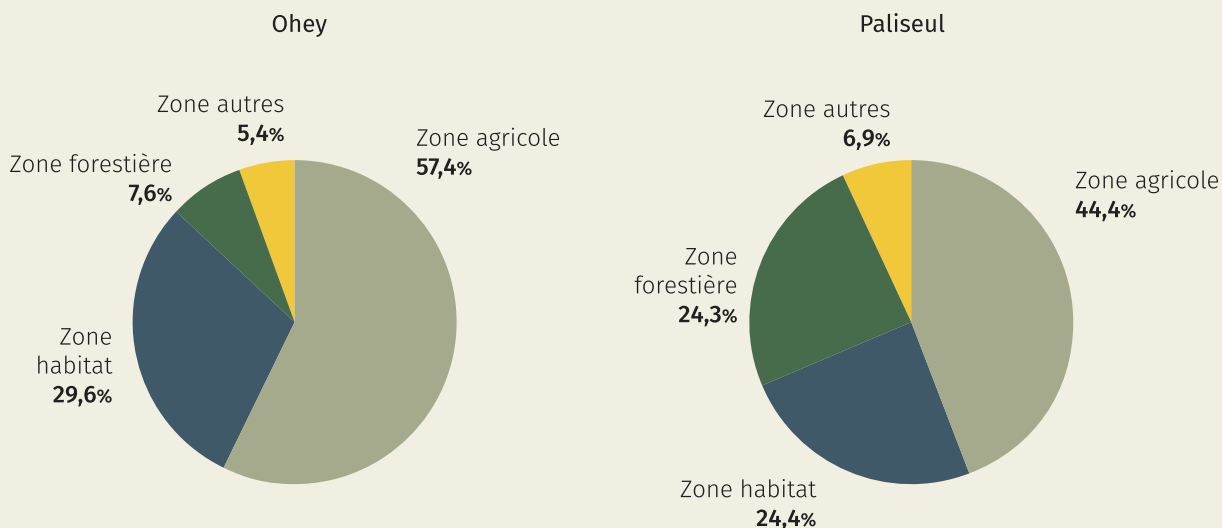
Les détections de changements dans les deux communes wallonnes au départ du MNS de 2019 ont été réalisées en considérant uniquement les éléments dont la hauteur initiale (2014) était supérieure à 4 mètres. La figure 4 présente la distribution par classe de hauteur des éléments ligneux hors forêt ob-

**Tableau 1.** Statistiques globales relatives aux éléments ligneux forestiers et non forestiers pour les trois sites (Ohey, Paliseul et Condé-sur-l'Escaut).

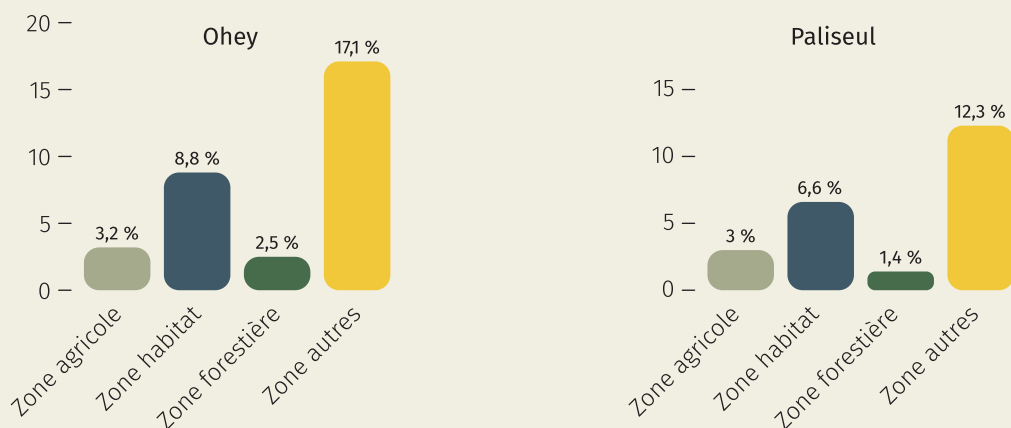
Type d'élément	Ohey (5 668 ha)				Paliseul (11 127 ha)				Condé-sur-L'Escaut (11 192 ha)			
	Surface (ha)	Surface (%)	Longueur (km)	Nombre d'arbres	Surface (ha)	Surface (%)	Longueur (km)	Nombre d'arbres	Surface (ha)	Surface (%)	Longueur (km)	Nombre d'arbres
Arbres hors forêt	Bosquets	51,0	20,8		58,4	18,2			155,5	14,5		
	Groupes d'arbres	24,1	9,8		44,2	13,8		14 716	125,6	11,8		8 658
	Alignements d'arbres	0,8	0,3		0,9	0,3		412	2,4	0,2		160
	Haies	161,5	65,7	147,9	198,9	62,1	193,8		763,3	71,4	680,1	
	Arbres isolés	5,0	2,0		809	9,4	2,9		1 699	9,4	0,9	1 969
	Buissons	3,4	1,4		6,1	1,9			9,3	0,9		
	Autres	0,0	0,0		2,3	0,7			3,5	0,3		
	Total AHF	245,9	100,0		7 292	320,3	100,0		16 827	1 069,1	100,0	
<b>Forêt</b>	798,2				4 948,1				2 604,2			
<b>Total</b>	1 044,1				5 268,4				3 673,3			

Indicateurs			
	Ohey	Paliseul	Condé-sur-L'Escaut
Taux de boisement forestier (%)	14,1 %	44,5 %	23,3 %
Taux de boisement total (%)	18,4 %	47,3 %	32,8 %
Proportion d'ahf (%)	23,5 %	6,1 %	29,1 %
Densité de haie (km/km <sup>2</sup> )	2,6	1,7	6,1

### Répartition entre zones du plan de secteur

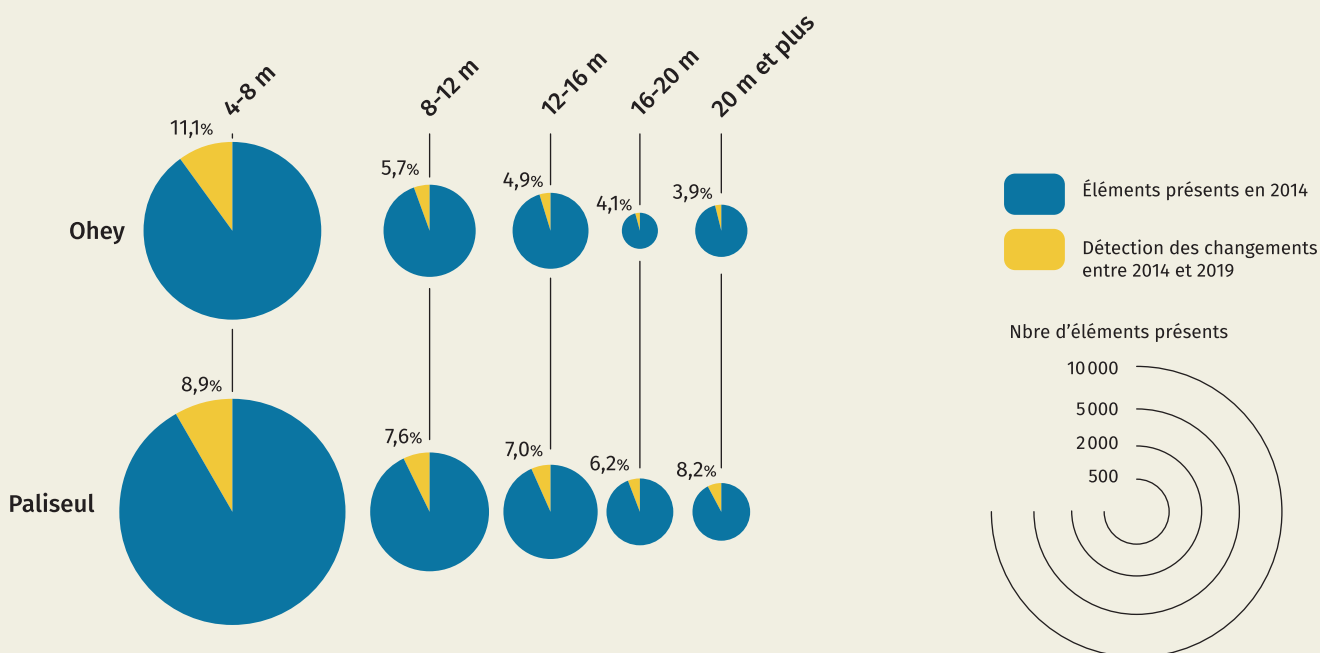


### Taux de présence au sein de chacune des zones



**Figure 3.** Répartition et taux de présence (surface d’AHF par rapport à la surface de la zone d’affectation) des AHF par classe d’affectation selon le plan de secteur.

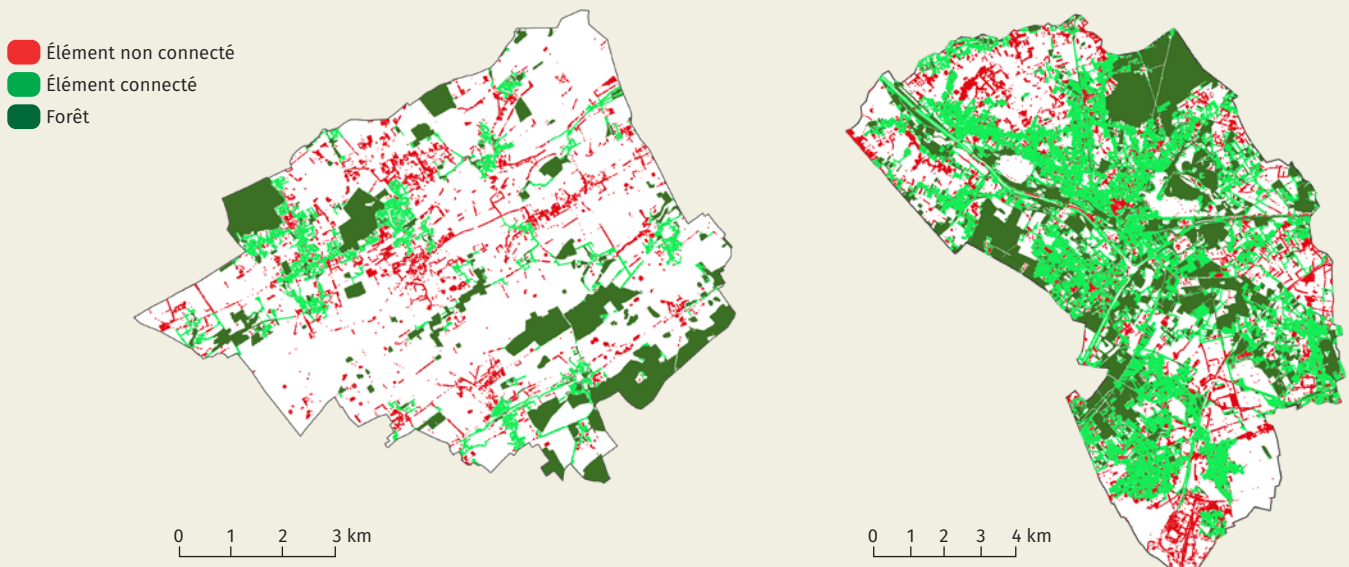
**Figure 4.** Distribution par classe de hauteur des éléments ligneux hors forêt observés en 2014 et leur variation par rapport à 2019.





**Figure 5.** Exemple de détections de changement correspondant à une suppression effective de l'élément linéux.

**Figure 6.** Cartographie de la connectivité des AHF pour la commune d'Ohey (à gauche) et pour la zone de Condé-sur-L'Escaut (à droite).





servés en 2014 et leur variation par rapport à 2019. La proportion d'éléments ligneux affectés par un changement important de hauteur est de l'ordre de 8 % pour les deux communes.

Une évaluation par photointerprétation sur un échantillon d'une centaine d'objets a montré que 85 % des détections de changement correspondaient effectivement à une suppression d'élément ligneux (figure 5). Les 15 % restant concernent des éléments de très petite taille, des entretiens de haie ou encore des artéfacts liés à l'imprécision du MNS 2019 ou à une mauvaise délimitation des éléments ligneux lors des étapes précédentes.

En ce qui concerne la connectivité des éléments ligneux, le critère de connectivité retenu correspond à une distance inter-éléments ne dépassant pas 10 mètres. L'indice qui en découle représente la proportion des AHF reliés aux surfaces forestières en respectant l'application de ce critère de distance. Pour les trois zones d'études, l'indice de connectivité ainsi estimé vaut respectivement 55 % pour Ohey, 57 % pour Paliseul et 84 % pour la zone de Condé-sur-l'Escaut (figure 6).

## Conclusions

La méthode de cartographie des éléments ligneux hors forêts présentée dans cet article souligne le très haut potentiel du LiDAR aérien, pour cartographier et mesurer les éléments ligneux. La méthode est actuellement en cours d'application sur une bonne partie (12 000 km<sup>2</sup>) du territoire Wallon.

On ne peut que se réjouir que le SPW ait décidé de programmer une nouvelle campagne d'acquisition LiDAR sur l'ensemble du territoire régional, dont le produit devrait présenter une densité de points de l'ordre de 10 points/m<sup>2</sup>.

La chaîne de traitement, qui a été conçue dans le cadre de cette étude, est fortement automatisée et peut être facilement adaptée pour traiter n'importe quel jeu de données LiDAR aérien. Elle pourra notamment être utilisée pour étendre la cartographie des AHF à l'ensemble du territoire wallon dès que la nouvelle couche sera disponible.

Les résultats obtenus sur les trois sites ont permis d'apprécier la richesse des informations susceptibles

## POINTS-CLEFS


- ▶ Malgré l'évolution récente des politiques environnementales et leur intérêt pour les éléments ligneux hors forêt, ceux-ci restent peu étudiés et mal quantifiés.
- ▶ Le LiDAR aérien présente un très haut potentiel pour cartographier et mesurer les éléments ligneux que ce soit en forêt ou hors forêt.
- ▶ Une chaîne de traitement automatisée a été développée pour exploiter ces données LiDAR et générer une couche cartographique délimitant les éléments ligneux situés hors forêt et les catégorisant en cinq classes.
- ▶ Une telle cartographie constitue une source d'information précieuse pour asseoir la gestion des arbres hors forêt à l'échelle d'une région.

d'être dérivées d'un tel produit cartographique, notamment en termes de dimension, de connectivité et d'évolution dans le temps.



Les pistes de recherche pour rendre cet outil plus complet portent sur la détection des AHF dans un stade précoce, sur la quantification de la biomasse présente dans les éléments ligneux cartographiés, et enfin sur l'identification de leur composition spécifique, en recourant notamment à des techniques d'intelligence artificielle.

L'outil développé dans le cadre de ce projet et les perspectives d'améliorations envisagées nous paraissent intéressants à considérer dans le contexte du programme ambitieux que s'est fixé le Gouvernement wallon en termes de plantations de haies. ■

## Bibliographie

- <sup>1</sup> **Bolyn C., Lejeune P., Michez A., Latte N.** (2019). Automated classification of trees outside forest for supporting operational management in rural landscapes. *Remote Sensing* 11(10) : 1146. 
- <sup>2</sup> **Dedry L., De Thier O., Perin J., Bonnet S., Lejeune P.** (2015). ForEstimator : un nouvel outil cartographique pour mieux connaître la forêt wallonne. *Forêt Nature* 135 : 40-46. 
- <sup>3</sup> **EURAF** (2020). 5<sup>th</sup> European Agroforestry Conference. 
- <sup>4</sup> **FAO** (2013). *Draft strategic priorities for action for the conservation, sustainable use and development of forest*

*genetic resources.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, CGRFA-14/13/11, 29 p. 

- <sup>5</sup> **Guillaume S., Alet B., Briane G., Coulon F., Maire É.** (2009). L'arbre hors forêt en France. Diversité, usages et perspectives. *Revue Forestière Française* 61(5) : 543-560. 
- <sup>6</sup> **SPW ARNE** (2019). *Les méthodes agroenvironnementales et climatiques* (MAEC). SPW ARNE, 12 p. 

Nous tenons à remercier les différents chargés de mission et techniciens forestiers sur le projet Forêt Pro Bos qui ont récolté des données utiles à la validation de cette classification des arbres hors forêt. Cet article a été rédigé dans le cadre du Projet Interreg Va France-Wallonie-Vlaanderen « Forêt Pro Bos », avec le soutien du Fonds européen de Développement régional et de la Wallonie. [foret-pro-bos.eu](http://foret-pro-bos.eu)

**Crédits photo.** AWAf (p. 45).

**Corentin Bolyn<sup>1</sup>**  
**Nicolas Latte<sup>1</sup>**  
**Anne Fourbisseur<sup>2</sup>**  
**Vincent Colson<sup>3</sup>**  
**Olivier Baudry<sup>4</sup>**  
**Philippe Lejeune<sup>1</sup>**  
 cbolyn@uliege.be

<sup>1</sup> Gembloux Agro-Bio Tech (ULiège)  
 Passage des Déportés 2 | B-5030 Gembloux

<sup>2</sup> Carah Asbl  
 Rue Paul Pastur, 11 | B-7800 Ath

<sup>3</sup> Cellule d'Appui à la Petite Forêt Privée (OEWB)  
 Rue de la Croissance 4 | B-6900 Marche-en-Famenne

<sup>4</sup> AWAf asbl  
 Rue de la Charmille 16 | B-4577 Strée