

FORÊT

• NATURE

n°
175

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS



Tiré à part du Forêt.Nature n° 175, p. 68-79

DE NOUVELLES COUCHES CARTOGRAPHIQUES POUR MIEUX DÉCRIRE LA FORÊT WALLONNE

Philippe Lejeune, Nicolas Latte, Jérôme Perin, Jonathan Lisein (GxABT-ULiège)



De nouvelles couches cartographiques pour mieux décrire la forêt wallonne

Philippe Lejeune | Nicolas Latte | Jérôme Perin | Jonathan Lisein
Forest Is Life, Gembloux Agro-Bio Tech (ULiège)

La cartographie est un outil clé pour décrire nos ressources naturelles. L'évolution des données de télédétection et des algorithmes informatiques ouvre de nouvelles possibilités dans ce domaine. Cet article présente deux séries de nouvelles couches cartographiques qui fourniront aux gestionnaires forestiers wallons des informations précieuses pour mieux connaître leur patrimoine.



Dans un contexte sylvicole en pleine mutation, marqué notamment par les changements climatiques, l'érosion de la biodiversité et une demande croissante du public pour les activités récréatives, les forestiers ont plus que jamais besoin d'informations fiables et régulièrement mises à jour pour décrire et suivre l'évolution des peuplements dont ils assurent la gestion.

Pour répondre à cette demande, les progrès continus de la télédétection mettent à disposition des données avec une fréquence de mise à jour élevée et une résolution spatiale de plus en plus fine. Les données de lidar aérien (encart 1) sont à même de décrire la hauteur des éléments présents à la surface du sol y compris le couvert forestier. Le Service Public de Wallonie s'est doté, en 2021-2022, d'une nouvelle couche lidar couvrant l'ensemble du territoire régional. Par ailleurs, les images satellites multispectrales à très haute résolution permettent une détermination relativement précise de la composition spécifique des peuplements. Pour exploiter au mieux ces données, on peut s'appuyer sur les progrès importants réalisés dans le développement d'algorithmes de classification ou de prédiction de variables quantitatives. Ces derniers mettent notamment à profit les évolutions récentes dans le domaine de l'intelligence artificielle. Dans les pages qui suivent, nous présentons deux produits cartographiques couvrant l'ensemble de la forêt wallonne et produisant des informations relatives à la structure forestière horizontale et à la caractérisation dendrométrique des peuplements. Ces produits sont disponibles en consultation ou en téléchargement sur la plateforme Forestimator².

Décrire la structure forestière horizontale

La structure forestière horizontale reflète l'agencement spatial des arbres ou des groupes d'arbres appartenant à différents stades de développement. Cette information est surtout utile dans le cadre de peuplements irréguliers ou en voie d'irrégularisation. Lorsque l'on choisit de représenter ces stades de développement à travers la hauteur de la canopée, les données lidar s'avèrent particulièrement adaptées. C'est précisément l'objet de la première carte que nous présentons.

Les stades de développement en hauteur des peuplements sont catégorisés en huit classes distinctes. Par convention, nous considérons que les quatre premières classes concernent les sols nus et les couverts de végétation ligneuse ou non ligneuse ne dépassant pas 10 mètres. Ce seuil de 10 mètres peut, en première approche, être assimilé au seuil de mesure des arbres dans les inventaires classiques et différencie la régénération des arbres adultes. Pour ces derniers, les quatre autres classes traduisent la présence de bois moyens (classes 10-15 et 15-20 mètres) ou de gros bois (classes 20-30 et plus de 30 mètres). Il est important de souligner que la hauteur renseignée est bien celle de la partie supérieure de la canopée. La distribution verticale des éléments de sous-bois ne sont pas repris dans cette carte.

Le traitement des données lidar pour cartographier ces stades de développement repose sur une démarche relativement simple. Il consiste d'abord à

RÉSUMÉ

Cet article présente de nouvelles couches cartographiques destinées aux gestionnaires forestiers wallons.

La première couche décrit la structure horizontale des forêts en considérant huit stades de développement à partir de la hauteur de la canopée. Cette couche est particulièrement utile pour la gestion des peuplements irréguliers et le suivi de la régénération.

Les autres couches reprennent diverses variables dendrométriques telles que le volume sur pied, la surface terrière et le nombre de tiges par hectare. Ces variables ont été estimées via un modèle d'intelli-

gence artificielle entraîné sur plus de 5 000 placettes d'inventaire. Malgré certaines imprécisions locales, ces couches dendrométriques ont été jugées fiables à des échelles plus larges.

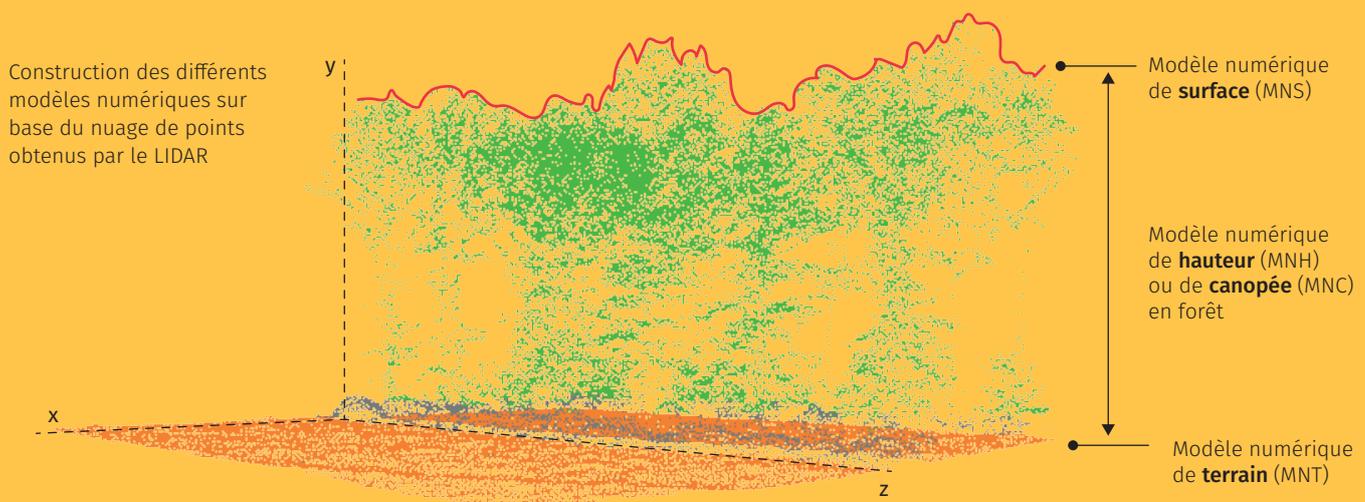
Un exemple d'analyse à l'échelle de la commune de Bertrix illustre l'apport de ces couches pour décrire la ressource forestière ligneuse selon l'essence, le stade de développement et le type de propriétaire.

Les couches présentées dans cet article sont disponibles sur la plateforme Forestimator (versions « web » et « mobile ») qui comprend aussi une fonction d'analyse surfacique intégrée.

Encart 1. Les données de lidar aérien

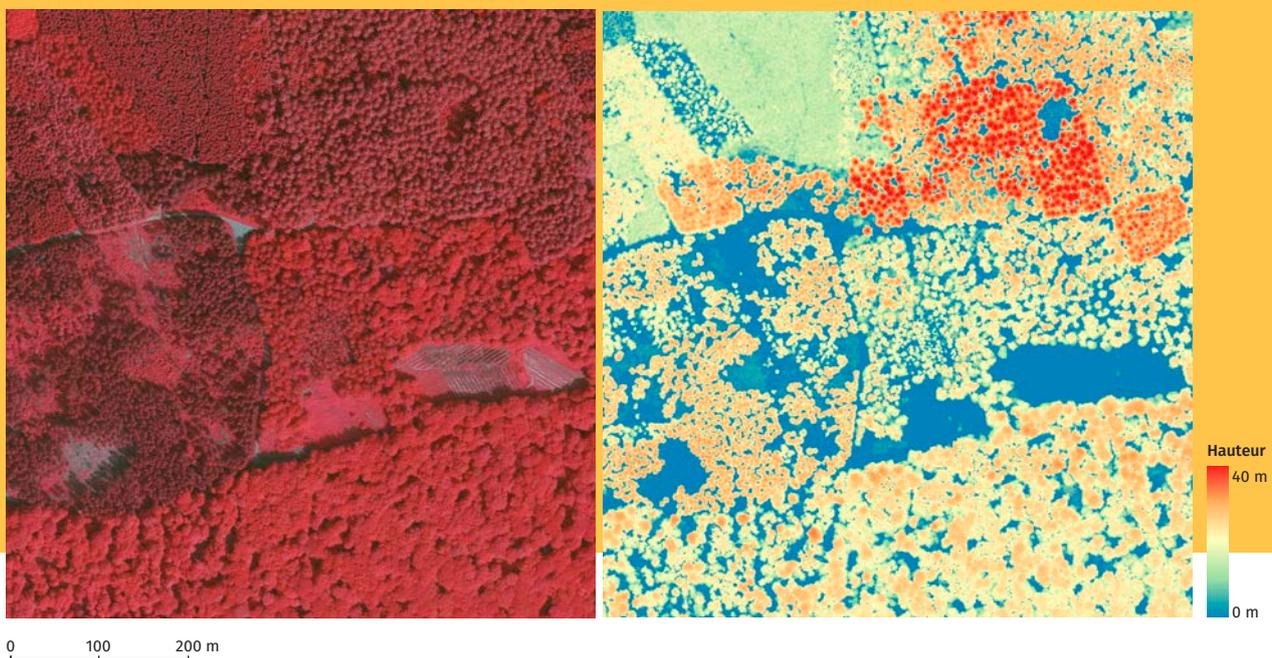
Les systèmes de lidar aérien sont des capteurs actifs utilisant un faisceau laser qui balaie la surface du sol à très haute fréquence. Les données produites prennent la forme d'un nuage de points définis par leurs coordonnées (x, y, z) qui décrivent la forme du sol ou des éléments présents à sa surface (bâtiments, arbres...). La densité de points peut atteindre plusieurs dizaines de points par mètre carré. Le nuage de points est transformé en couches car-

tographiques directement utilisables dans un SIG. Parmi ces couches, on distingue le Modèle Numérique de Terrain (MNT) qui définit l'altitude du sol, le Modèle Numérique de Surface (MNS) qui définit l'altitude du sol ou des objets présents à sa surface. La différence entre ces deux couches génère un Modèle Numérique de Hauteur (MNH) aussi appelé Modèle Numérique de Canopée (MNC) en zone forestière.



Le Service Public de Wallonie a fait l'acquisition d'une seconde couverture lidar en 2021-2022, la première datant de 2013-2014. Cette nouvelle couverture présente une densité d'environ 15 points par mètre carré. Un Modèle Numérique de Hauteur avec une résolution de 50 cm en a été dérivé.

Extrait de l'orthoimage du SPW et du MNH sur une zone forestière.



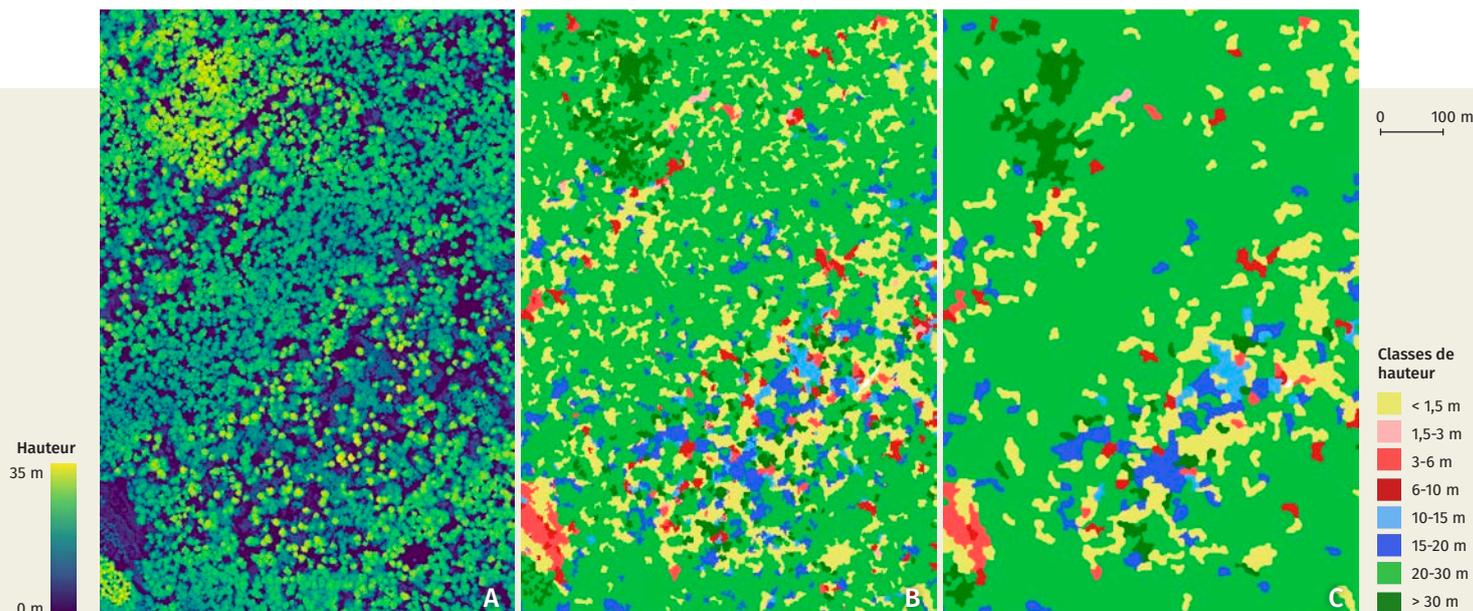


Figure 1. Illustration du processus de création de classes de hauteur et de simplification des polygones sur un extrait de la carte décrivant la structure horizontale en forêt : (a) Modèle Numérique de Hauteur, (B) limites de classes après regroupement et une première simplification, (c) résultat final.

convertir le Modèle Numérique de Hauteur (MNH) en classes de hauteur dites « brutes ». Ces données sont ensuite retravaillées afin de produire un rendu visuel plus lisible, notamment par une simplification fondée sur des critères de taille et de forme des polygones représentant les différents stades.

La figure 1 présente un extrait de cette carte dans un peuplement feuillu irrégulier. On remarque l'évolution de sa physionomie entre les différentes étapes de simplification, en partant de l'information initiale qui est constituée du Modèle Numérique de Hauteur jusqu'à la carte finale.

Modélisation des caractéristiques dendrométriques des peuplements

La seconde série de couches cartographiques concerne la prédiction de variables dendrométriques. Celles-ci sont traditionnellement calculées au départ d'inventaires forestiers, le plus souvent réalisés par échantillonnage. L'idée qui sous-tend notre approche est de remplacer ces inventaires de terrain par un modèle prédictif qui exploite les données de télédétection et les relations que ces dernières peuvent présenter avec les caractéristiques dendrométriques des peuplements. Une fois ce modèle mis au point, il peut

être appliqué sur l'ensemble de la surface forestière. Les couches produites correspondent à des variables dendrométriques de type surfacique : le volume, la surface terrière et le nombre de tiges par hectare, ainsi que la hauteur et la circonférence dominante (encart 2). Une dernière variable reprend la proportion feuillus/résineux.

La méthode utilisée pour construire cette série de couche est nettement plus élaborée que celle mise en œuvre pour décrire la structure forestière horizontale. Elle se base sur un modèle d'intelligence artificielle. Les données de départ sont constituées du nuage de points lidar brut, utilisé de concert avec deux images satellitaires à très haute résolution (pixels de 2,5 mètres), correspondant respectivement aux périodes de végétation et de repos. Le modèle prédictif est constitué d'un réseau neuronal qui présente la particularité d'estimer les six variables simultanément. L'ajustement de ce modèle est basé sur un grand nombre de placettes d'inventaires provenant à la fois des Inventaires Forestiers d'Aménagement (IFA) réalisés par le DNF (3900 placettes) et de l'Inventaire Permanent des Ressources Forestières de Wallonie (IPRFW) (1800 placettes). Ce jeu de données couvre une grande diversité de situations en termes de composition, de structure et de matériel sur pied. L'algorithme mis au point produit en sortie

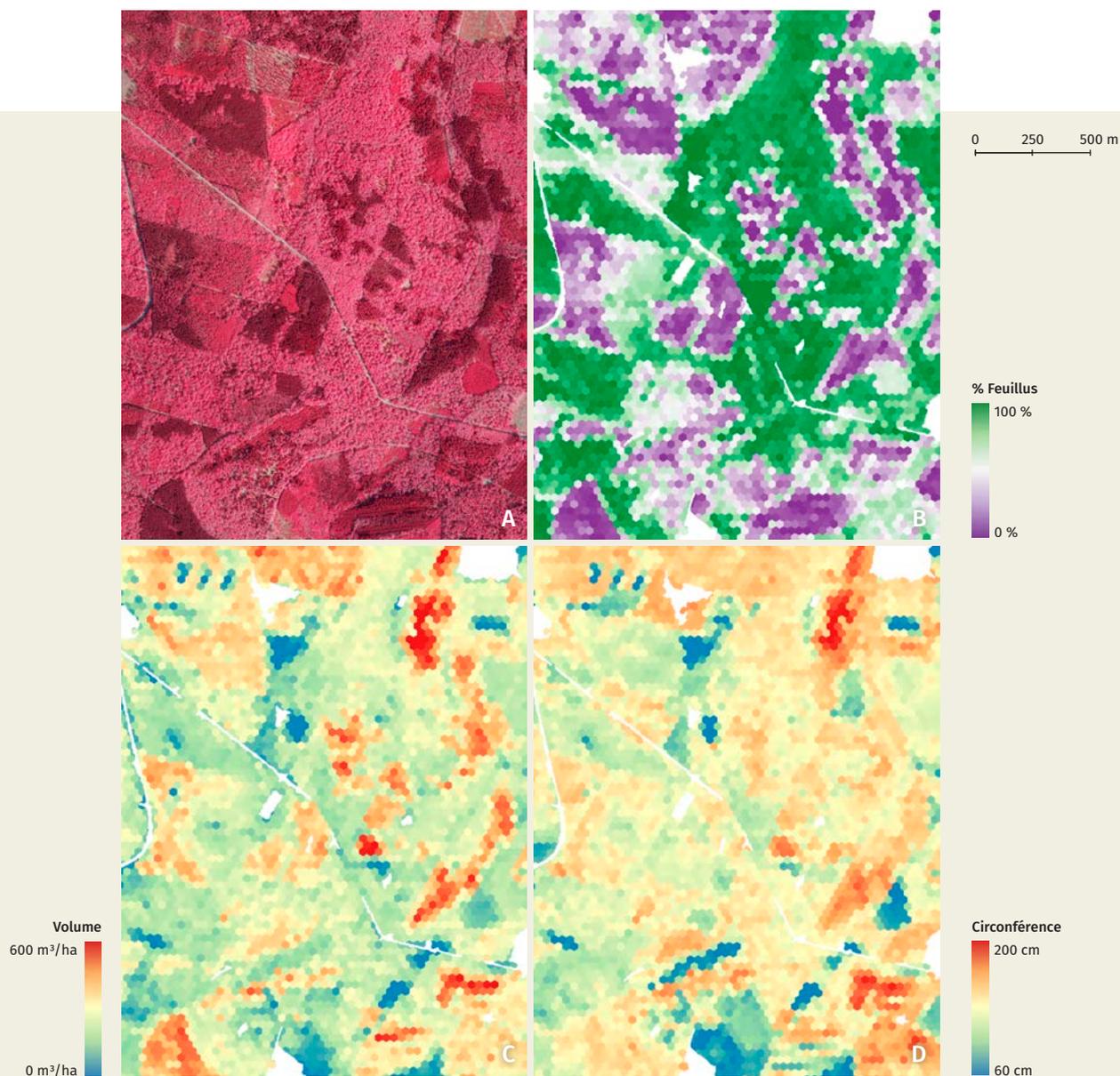


Figure 2. Illustration des couches dendrométriques : (a) orthoimage, (b) proportion de feuillus, (c) volume sur pied, (d) circonférence dominante.

une couche cartographique par variable. Ces couches « miment » l'installation de placettes d'inventaires représentées sous la forme de cellules hexagonales jointives d'une surface de 0,1 hectare ; surface équivalente à la taille des placettes d'inventaires utilisées. Chaque cellule comporte une estimation des différentes variables (figure 2).

Quelle confiance accorder à ces couches cartographiques ?

La couche relative aux stades de développement résulte d'une reclassification des hauteurs par simple seuillage et d'une simplification des polygones produits. Sachant que la précision altimétrique du lidar utilisé est de l'ordre de 50 cm, l'imprécision contenue dans cette carte est essentiellement liée au processus de simplification des polygones implémenté dans la chaîne de traitement des données. On ne peut donc

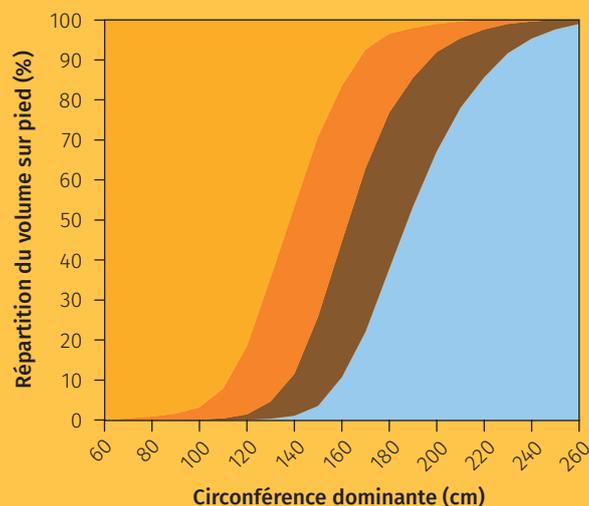
Encart 2. La circonférence dominante

La circonférence dominante correspond à la moyenne des circonférences des 100 plus gros bois à l'hectare. Contrairement à la hauteur dominante qui est estimée au départ des mêmes arbres, cette variable est relativement peu utilisée par les gestionnaires forestiers. Elle est cependant particulièrement intéressante dans les traitements statistiques et la modélisation. Pour la rendre plus lisible par les forestiers de terrain, nous proposons ci-dessous

un tableau et un graphique qui relient les valeurs de la circonférence dominante à la répartition du volume sur pied en classes marchandes dans les pessières et les douglasaies. Ces estimations sont basées sur un jeu de données provenant de l'IPRFW. Les assortiments rencontrés dans la réalité peuvent s'en écarter de manière plus ou moins importante, notamment en fonction de la sylviculture pratiquée et de l'historique du peuplement.

Cdom	Répartition du volume par classe marchande			
	< 120 cm	120-150 cm	150-180 cm	180 cm et +
60	100 %	0 %	0 %	0 %
70	100 %	0 %	0 %	0 %
80	99 %	1 %	0 %	0 %
90	98 %	2 %	0 %	0 %
100	97 %	3 %	0 %	0 %
110	92 %	8 %	0 %	0 %
120	82 %	17 %	1 %	0 %
130	65 %	31 %	4 %	0 %
140	47 %	42 %	11 %	1 %
150	29 %	45 %	22 %	4 %
160	16 %	39 %	34 %	11 %
170	7 %	30 %	41 %	22 %
180	4 %	20 %	39 %	38 %
190	2 %	12 %	32 %	53 %
200	1 %	7 %	25 %	67 %
210	0 %	4 %	17 %	78 %
220	0 %	2 %	12 %	86 %
230	0 %	1 %	7 %	92 %
240	0 %	0 %	4 %	95 %
250	0 %	0 %	2 %	98 %
260	0 %	0 %	1 %	99 %

Répartition du volume sur pied en classes marchandes (%) pour les peuplements d'épicéas et de douglas en fonction de la circonférence dominante (cm).



pas vraiment considérer qu'il s'agisse d'une erreur puisque cette simplification est souhaitée afin de rendre la carte plus lisible.

En ce qui concerne les couches dendrométriques, les prédictions fournies reposent sur un modèle d'intelligence artificielle qui est entaché d'une imprécision pouvant être exprimée avec différents paramètres statistiques. Nous présentons dans le tableau 1, l'erreur moyenne en valeur absolue pour chaque paramètre dendrométrique. Celle-ci est calculée en comparant les valeurs prédites par le modèle aux valeurs

« terrain », en considérant un jeu de 1113 placettes « indépendantes » de celles qui participent à l'ajustement du modèle (données de validation).

La figure 3 est une représentation graphique de l'imprécision liée à la prédiction du volume de bois (m³/ha). Ce graphique fait notamment ressortir un phénomène de « saturation » du modèle qui empêche une estimation correcte des valeurs très élevées. Cette saturation est à mettre en relation avec le fait que la hauteur des plus gros arbres tend à se stabiliser plus vite que leur volume et que ces modèles ne

tiennent en compte que partiellement des éventuels arbres dominés sous les couverts forestiers les plus denses.

Il faut garder à l'esprit que ces niveaux d'imprécision, qui peuvent paraître importants, sont exprimés au niveau local, à l'échelle d'une placette de 0,1 hectare (1 hectare pour l'intervalle de confiance). Dans la pratique, l'utilisation de telles cartes s'envisage à des échelles spatiales plus large : une parcelle, une propriété ou un massif, correspondant à des surfaces allant de un à plusieurs dizaines voire centaines d'hectares. La confiance que l'on accorde à ces cartes dendrométriques dépend de l'échelle à laquelle ces dernières sont utilisées : si ces cartes peuvent avoir un niveau d'imprécision local élevé, elles sont bien plus précises à l'échelle de massifs forestiers.

Il est malheureusement difficile de produire des indicateurs de précision pour ces différentes échelles, car les informations de référence manquent. Nous avons

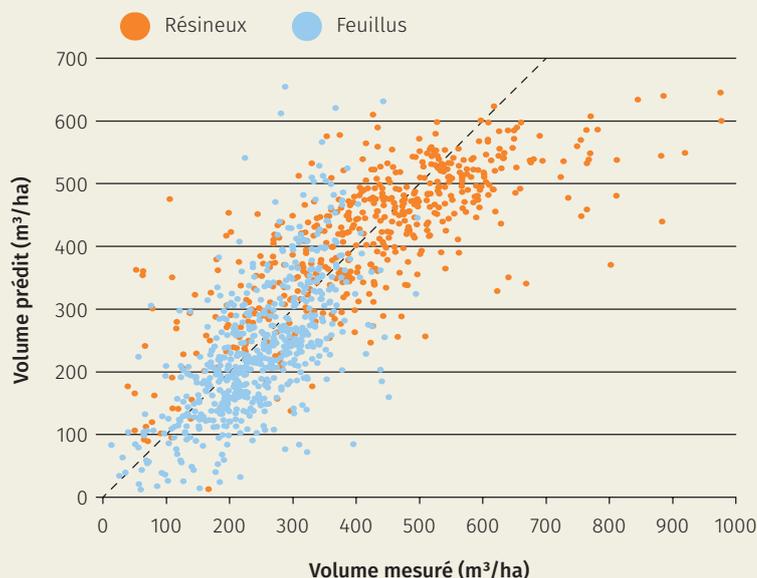
cependant pu réaliser une évaluation de la précision de la carte prédisant le volume sur pied en exploitant des données de martelages réalisés par le DNF dans des coupes rases résineuses. Ces données concernent 60 coupes dont la surface varie de 0,5 à 7 hectares. Les volumes martelés ont été recalculés en utilisant les mêmes équations de cubages que celles utilisées dans les données d'inventaire sur lesquelles est construit le modèle de prédiction. L'estimation du volume est réalisé en découpant la carte « volume » aux limites des parcelles forestières dans lesquels les martelages ont été réalisés. L'erreur moyenne pour ces 60 coupes est de 22 m³/ha, soit 5,6 %. La figure 4 illustre ce résultat jugé tout à fait satisfaisant. On constate que la prédiction est relativement cohérente sur l'ensemble du gradient de volume sur pied (de 100 m³/ha à 600 m³/ha).

En complément des six couches dendrométriques produites, l'algorithme génère une couche supplémentaire mettant en évidence les zones forestières

Tableau 1. Erreur absolue moyenne, biais et intervalle confiance (à 95 % pour 1 hectare) pour la prédiction des variables dendrométriques. Ces paramètres statistiques ont été calculés au départ des données de 1113 placettes (0,1 hectare) « indépendantes » (données de validation). Les valeurs entre parenthèses sont exprimées en pourcent par rapport à la moyenne de valeurs observées.

Variable dendrométrique	Erreur absolue moyenne	Biais (moyenne des résidus)	Intervalle de confiance
CDOM (cm)	16,3 (12,2)	2,3 (1,7)	13,7 (10,2)
HDOM (cm)	240,8 (9,6)	4,2 (0,2)	187,3 (7,5)
VHA (m ³ /ha)	75,2 (23,3)	-3 (-0,9)	63,9 (19,8)
GHA (m ² /ha)	6,5 (22,4)	-0,4 (-1,4)	5,5 (18,8)
NHA (tiges/ha)	218 (50,7)	-43,8 (-10,2)	205,4 (47,8)
Proportion feuillus (%)	11 (20,4)	2,7 (5)	10,4 (19,3)

Figure 3. Validation de la carte de volume : relation entre le volume « mesuré » (mesures de terrain) et le volume « prédit » (dérivé de la carte « volume » à l'endroit où est installée la placette) pour 1113 placettes de validation de 0,1 hectare.



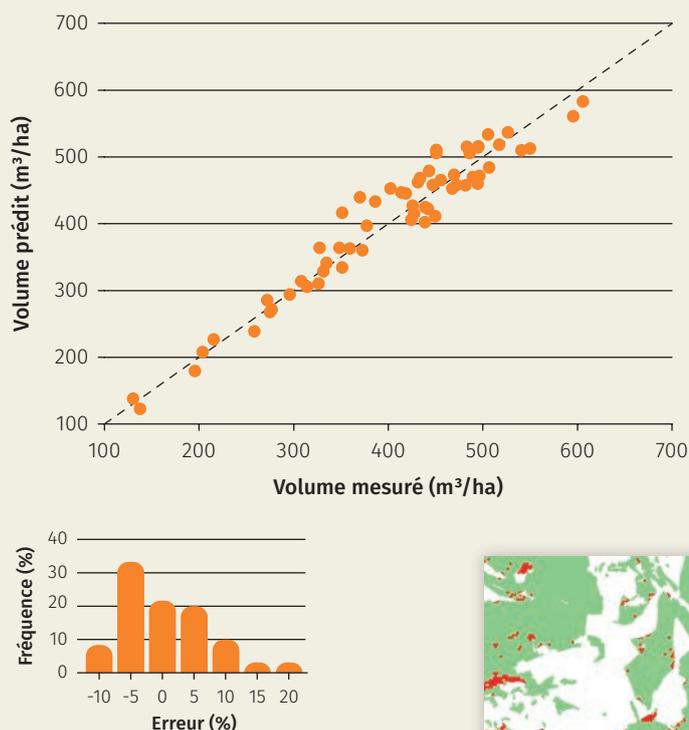


Figure 4. Validation de la carte de volume à l'échelle « peuplement » : relation entre le volume « mesuré » (dérivé des fiches de martelage) et le volume « prédit » (dérivé de la carte « volume » découpées aux limites des parcelles concernées) pour 60 coupes rases martelées par le DNF au sein de parcelles dont la surface varie de 0,5 à 7 hectares. L'histogramme donne une idée de la distribution des erreurs qui s'élève en moyenne à 22 m³/ha.

0 1 2 km



Figure 5. Extrait de la couche mettant en évidence les zones forestières pour lesquelles les données de télédétection présentent des valeurs susceptibles de générer des prédictions moins fiables (polygones rouges).

pour lesquelles les données de télédétection (lidar et images satellites) présentent des valeurs « extrêmes » qui sont donc susceptibles de générer des prédictions moins fiables car « extrapolées » (figure 5). Elle peut correspondre par exemple à des zones avec des densités d'arbres et des volumes sur pied très importants. Les conditions pour lesquelles les prédictions sont potentiellement moins précises sont donc d'emblée localisées. Ces situations représentent à peine 2,7 % de la surface couverte par ces cartes.

Exemple d'utilisation des nouvelles cartes : analyse de la ressource forestière à l'échelle d'une commune

Pour illustrer l'utilisation de ces nouvelles couches cartographiques, nous avons choisi de réaliser

l'analyse de la ressource forestière à l'échelle d'une commune. Notre choix s'est porté sur la commune ardennaise de Bertrix. Celle-ci présente un taux de boisement de 51 % (7055 hectares), avec une prépondérance de forêts publiques (64 %). Pour réaliser cette analyse, nous avons exploité de manière combinée les cartes présentées dans cet article, ainsi que la carte de composition développée par BOLYN *et al.*¹ pour l'année 2018. Celle-ci découpe la surface forestière en neuf groupes d'essences (chênes, hêtre, bouleaux, peupliers, épicéa, douglas, mélèzes, pins, autres essences). Nous avons également exploité une couche cartographique décrivant les limites des forêts publiques téléchargées depuis Wallonmap³.

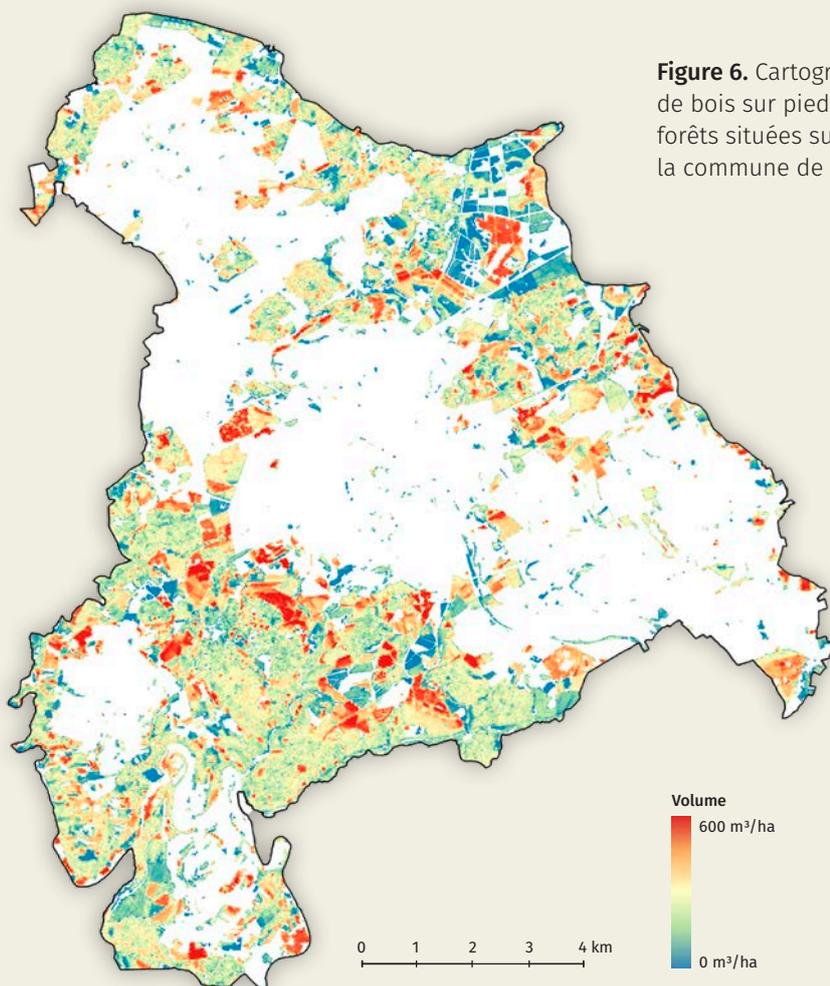
La première étape a consisté à croiser la carte de composition avec celle des stades de développement.

Tableau 2. Surface et volume sur pied par type de peuplement et type de propriétaire pour les forêts situées sur le territoire de la commune de Bertrix.

Type de peuplement	Forêts publiques		Forêts privées	
	Surface (ha)	Volume sur pied (m ³)	Surface (ha)	Volume sur pied (m ³)
Hauteur < 6m	382,8 (8 %)		423,4 (17 %)	
Hêtre et chênes	2 108,3 (47 %)	506 400	414,4 (16 %)	77 400
Épicéa	1 116 (25 %)	318 300	1 081,3 (43 %)	308 700
Douglas	480 (11 %)	211 000	172 (7 %)	51 000
Autres	427,0 (9 %)	71 200	435,3 (17 %)	57 400
Total général	4 514,1 (100 %)	1 149 700	2 526,4 (100 %)	494 500

Tableau 3. Volume sur pied (en m³) par type de peuplement, classe de circonférence dominante et type de propriétaire pour les forêts résineuses situées sur le territoire de la commune de Bertrix.

Classes Cdom	Forêts publiques			Forêts privées		
	Épicéa	Douglas	Total	Épicéa	Douglas	Total
< 120 cm	132 400 (42 %)	26 200 (12 %)	158 600 (30 %)	133 600 (43 %)	17 200 (34 %)	82 500 (41 %)
120-150 cm	72 300 (23 %)	39 200 (19 %)	111 500 (21 %)	83 300 (27 %)	18 000 (35 %)	102 900 (27 %)
150 cm et +	113 600 (36 %)	145 600 (69 %)	259 200 (49 %)	91 800 (30 %)	15 800 (31 %)	111 700 (32 %)
Total	318 300 (100 %)	211 000 (100 %)	529 300 (100 %)	308 700 (100 %)	51 000 (100 %)	369 300 (100 %)

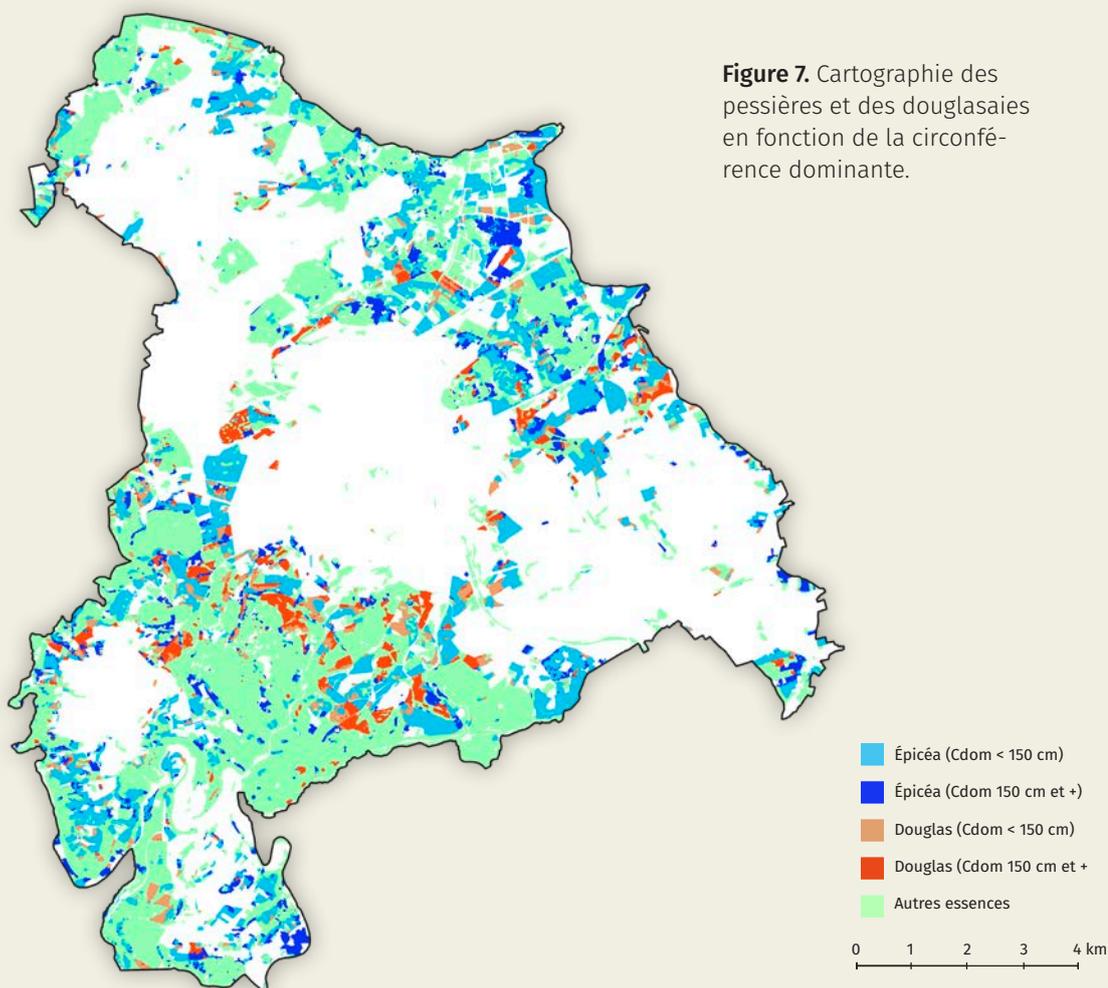


Pour réaliser correctement cette juxtaposition, il a fallu tenir compte du décalage de 3 ans entre les dates de référence des deux cartes. Par exemple, les peuplements d'épicéas mis à blanc entre 2018 et 2021 présents dans la carte de composition, apparaissent dans la carte de structure dans la classe « hauteur de 0 à 1,5 mètre ». En outre, la superposition de ces deux cartes a mis en évidence le fait que les prédictions de composition perdent en fiabilité ou sont tout simplement absentes en deçà de 6 mètres de hauteur.

Dans un second temps, la carte de composition a été croisée avec la carte de prédiction du volume sur pied (figure 6) et celle du type de propriétaire. La synthèse de ce croisement est présentée dans le tableau 2. Globalement, la ressource forestière de la commune de Bertrix est constituée de 1 650 000 m³ de bois sur pied. L'essence principale est l'épicéa avec 627 000 m³ répartis de manière quasi équivalente entre forêt publique (318 000 m³) et forêt privée (309 000 m³). Les peuplements feuillus composés de hêtre ou de chênes indigènes sont beaucoup

plus présents en forêt publique où ils couvrent près de la moitié de la surface alors qu'en forêt privée ils ne représentent que 16 %.

Nous avons ensuite focalisé notre attention sur les deux essences résineuses principales : l'épicéa et le douglas. Pour évaluer la disponibilité en bois matures, nous avons considéré la couche de prédiction de la circonférence dominante (*Cdom*) (encart 2). Celle-ci a été convertie en trois classes : moins de 120 cm, de 120 à 150 cm, et 150 cm et plus. Cette couche a été croisée avec la carte combinant composition, volume sur pied et type de propriétaire (présentée plus haut). La carte résultante permet d'estimer les volumes de bois sur pied en fonction de l'essence, de la circonférence dominante et du type de propriétaire (tableau 3). On constate que les volumes d'épicéas matures (*Cdom* > 150 cm) sont répartis de manière assez équilibrée entre forêt publique (113 600 m³) et privée (91 800 m³). Par contre dans le cas du douglas, on note une surreprésentation de la classe « 150 cm et plus » en forêt publique (145 600 m³) par rapport aux forêts



privées où cette classe totalise à peine 16000 m³. La carte présentée à la figure 7 spatialise les mêmes résultats de manière simplifiée en ne considérant plus que deux classes de circonférence dominante (supérieure ou inférieure à 150 cm) et en faisant abstraction du type de propriétaire.

Conclusions et perspectives

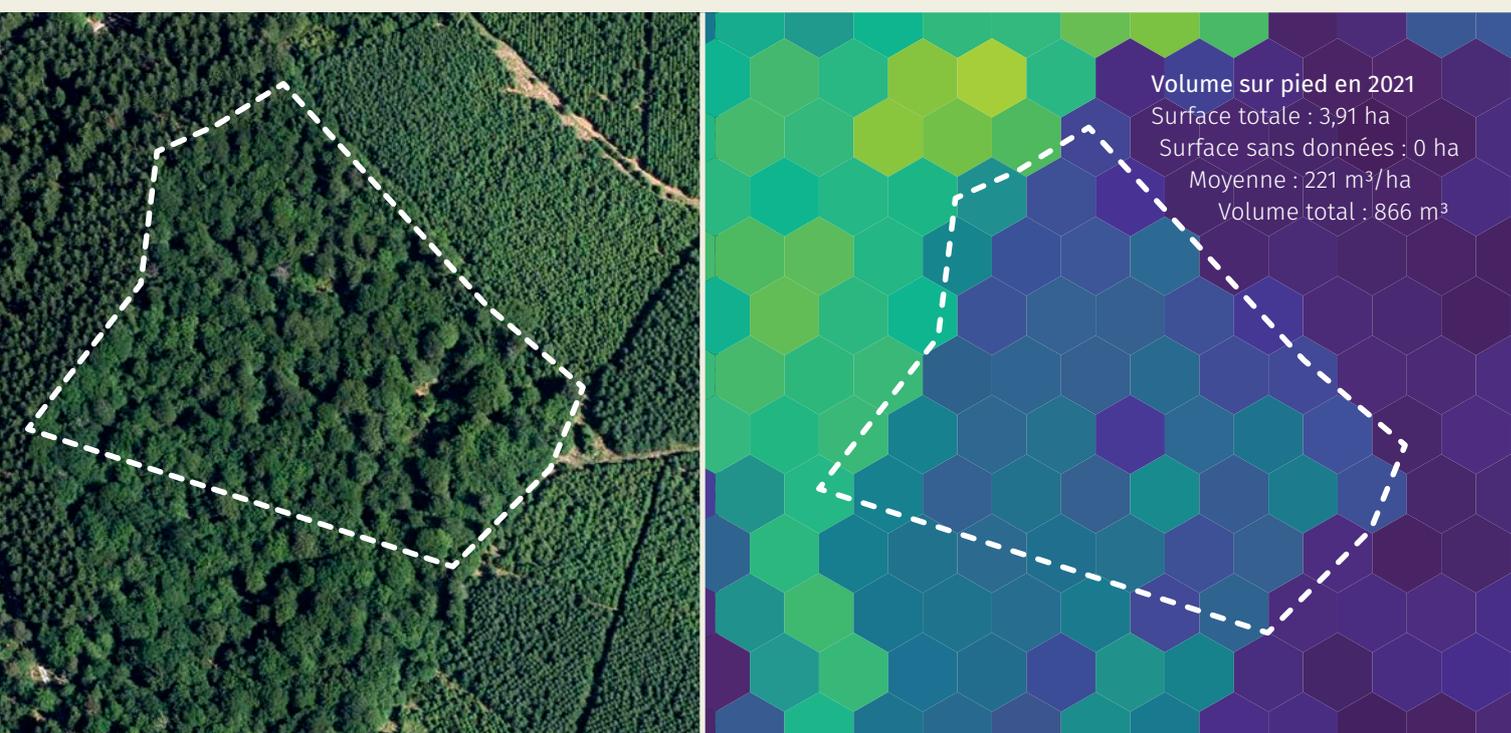
Les nouvelles couches présentées dans cet article apportent une dimension plus quantitative à la panoplie des cartes forestières déjà existantes. La carte de structure horizontale délivre une information particulièrement utile dans le suivi des peuplements irréguliers pour le repérage des trouées à régénérer et le suivi des travaux d'amélioration dans les stades juvéniles. Les cartes dendrométriques constituent une avancée évidente pour améliorer les connaissances sur l'état de la ressource forestière. Elles représentent une alternative simple et peu coûteuse aux inventaires forestiers par échantillonnages pour estimer les principales variables surfaciques telles que le volume sur pied ou la surface terrière par hectare.

Bien que toutes les précautions techniques aient été prises lors de la calibration de notre modèle de prédiction des cartes dendrométriques, nous manquons encore de recul pour évaluer objectivement la pré-

sion de celles-ci. Les données de référence provenant du terrain manquent cruellement et la majorité des données disponibles (IPRFW et IFA) ont été utilisées pour entraîner le modèle. Les quelques tests réalisés jusqu'à présents en « grandeur réelle » concernent principalement les peuplements résineux et portent sur l'estimation du volume sur pied. Ils montrent que pour des surfaces supérieures à 1 hectare, l'erreur dépasse rarement 10 %. Nous allons cependant poursuivre les efforts visant à mieux confronter les prédictions cartographiques à des données de terrain indépendantes.

La combinaison des cartes présentées avec la carte de composition nous a confirmé que les prédictions issues de cette dernière sont sensiblement moins précises, voire incomplètes pour les stades juvéniles. Les travaux actuellement en chantier visent notamment à développer les différentes couches qui ont été présentées (composition, structure horizontale et variables dendrométriques) dans une approche intégrée et donc plus cohérente. Le projet en cours vise en outre à améliorer les cartes de composition tant au niveau de leur résolution spatiale que du nombre de groupes d'essences qui pourront y être différenciés, ainsi que de leur précision et leur complétude dans les stades juvéniles. D'autres travaux sont en cours de développement pour exploiter les mêmes sources de données de télédétection en lien avec d'autres

Figure 8. Exemple d'analyse surfacique réalisée par Forestimator pour la couche « volume par hectare » par rapport à un polygone délimitant une parcelle forestière feuillue.



thématiques forestières d'actualité : le suivi de l'état sanitaire ou du niveau de dépérissement des peuplements en place, le repérage des forêts sub-naturelles, la sensibilité aux incendies...

Les cartes qui ont été décrites sont accessibles sur la plateforme Forestimator, sur les versions web et mobile. Celles-ci comportent une fonction « analyse surfacique » qui calcule des statistiques basiques relatives aux différentes thématiques, au sein des éléments d'une couche de polygones fournie par l'utilisateur. La figure 8 illustre un exemple d'analyse pour la couche « volume par hectare » pour une parcelle feuillue de 3,9 hectares. Pour des analyses plus sophistiquées, combinant plusieurs couches, il est nécessaire de télécharger les données et de les traiter dans un SIG (par exemple QGIS). Dans tous les cas, il faut rester conscient que la précision des estimations produites dépendra aussi de la précision des limites des polygones contenues dans la couche de l'utilisateur.

Enfin, il faut également considérer que les couches cartographiques vieillissent rapidement et doivent être régulièrement mises à jour. Ainsi les couches qui viennent d'être présentées sont basées sur des données acquises en 2021-2022 et que trois à quatre saisons de végétation nous séparent déjà de la situation qu'elles décrivent. Il est primordial que le Service Public de Wallonie continue à consacrer des moyens à la mise à jour régulière de sa couverture lidar, en visant par exemple une fréquence de mise à jour de 5 à 6 ans. ■

Bibliographie

- ¹ Bolyn C., Lejeune P., Michez A., Latte N. (2022). Mapping tree species proportions from satellite imagery using spectral-spatial deep learning. *Remote Sensing of Environment* 280 : 113205. 
- ² Lisein J., Claessens H., Quevauvillers S., Lejeune P. (2022). Forestimator : un nouveau portail cartographique pour l'information forestière en Wallonie. *Forêt.Nature* 162 : 40-47. 
- ³ WallonMap. geoportail.wallonie.be. 

Les travaux présentés dans cet article ont bénéficié des financements du Plan de relance de la Wallonie (fiche 123, projet « Monitoring des Habitats Forestier d'Intérêt Communautaire »), du projet Interreg Grande Région WAVE et du Plan quinquennal de recherches et vulgarisation forestières. Les auteurs remercient le DNF pour la mise à disposition des données d'inventaires forestiers d'aménagement (IFA), des données de l'IPRFW ainsi que des données de martelage. Ils remercient également le Département Données transversales du SPW pour la mise à disposition des données lidar.

POINTS-CLEFS

- ▶ Deux nouvelles séries de couches cartographiques ont été produites pour décrire la forêt wallonne. L'une concerne la structure horizontale de la forêt exprimée sous la forme de stades de développement. L'autre décrit les principales variables dendrométriques des peuplements.
- ▶ La couche « structure horizontale » est surtout utile pour la description des peuplements irréguliers ou en voie d'irrégularisation.
- ▶ Les couches dendrométriques constituent une alternative simple aux inventaires forestiers. Même si l'on manque encore un peu de recul, la précision de ces couches semble acceptable. Ainsi, l'erreur commise sur l'estimation du volume sur pieds au sein de parcelles résineuses dépasse rarement 10 %.
- ▶ Ces nouvelles cartes sont accessibles sur la plateforme Forestimator. Celle-ci comporte une fonction d'analyse surfacique permettant de calculer des statistiques de base sur les cartes par rapport à des polygones de référence fournis par l'utilisateur (parcellaire, limite de propriété...).
- ▶ Les travaux en cours visent à améliorer le niveau de résolution des cartes présentées et à intégrer celles-ci avec la carte de composition!



Crédit photo. SPW (orthoimages et MNH).

Philippe Lejeune

p.lejeune@uliege.be

Nicolas Latte

Jérôme Perin

Jonathan Lisein

Forest Is Life, Gembloux Agro-Bio Tech (ULiège)

terra.uliege.be