

UNE NOUVELLE CARTE POUR DÉCRIRE LA COMPOSITION DES FORÊTS EN WALLONIE

par Latte Nicolas, Lisein Jonathan et Lejeune Philippe.
Forest Is Life, Gembloux Agro-Bio Tech (ULiège)

Résumé

Cet article présente une nouvelle carte de la composition spécifique des forêts de Wallonie, reflétant l'état de la ressource en 2021. Adoptant une approche de cartographie « à l'arbre », elle distingue neuf groupes d'essences et repose sur la fusion de deux sources de données à très haute résolution : une couverture LiDAR (environ 15 points/m², 2021-2022) décrivant la structure des houppiers, et une série d'images satellitaires Sentinel-2 et PlanetScope (résolution 2,5 m) renseignant la réponse spectrale au fil des saisons. La production combine une segmentation du nuage de points (algorithme PTrees), une prédiction des essences par intelligence artificielle (modèle PointNet++) entraînée sur près de 315.000 arbres de référence, puis une conversion en couche raster. La précision globale atteint 84 %, avec des performances supérieures à 90 % pour les groupes « Épicéa », « Pins » et « Peupliers », les principales confusions concernant les feuillus (chênes, hêtre, autres feuillus) ainsi que les couples épicéa-douglas. La carte est librement accessible via la plateforme Forestimator, qui permet sa visualisation, des analyses surfaciques et des croisements avec d'autres couches, notamment dendrométriques. Une fonctionnalité de science participative intégrée à l'application mobile permet en outre aux utilisateurs de contribuer à l'amélioration continue de la carte par l'encodage d'observations de terrain.

Samenvatting

Dit artikel stelt een nieuwe kaart voor van de boomsoortensamenstelling van de Waalse bossen, die de toestand van de bosrijksdom in 2021 weergeeft. De kaart is gebaseerd op een "boomgerichte" karteringsaanpak, waarbij negen groepen boomsoorten worden onderscheiden. Ze steunt op de combinatie van twee gegevensbronnen met een zeer hoge resolutie: een LiDAR-dekking (ongeveer 15 punten/m², 2021-2022) die de structuur van de boomkronen beschrijft, en een reeks Sentinel-2 en PlanetScope-satellietbeelden (resolutie 2,5 m) die informatie verschaffen over de spectrale respons doorheen de seizoenen. De productie van de kaart combineert een segmentatie van de puntenwolk (PTrees-algoritme), een voorspelling van de boomsoorten met behulp van artificiële intelligentie (PointNet++-model), getraind op bijna 315.000 referentieboomen, en vervolgens een omzetting naar een rasterlaag. De globale nauwkeurigheid bedraagt 84 %, met prestaties van meer dan 90 % voor de groepen « Sparren », « Dennen » en « Populieren ». De voornaamste verwarringen doen zich voor tussen loofboomgroepen (eiken, beuken en overige loofbomen) en tussen spar en douglas. De kaart is vrij toegankelijk via het Forestimator-platform, waar zij kan worden geraadpleegd en gebruikt voor oppervlakteanalyses en kruisingen met andere gegevenslagen, in het bijzonder dendrometrische lagen. Bovendien maakt een participatieve wetenschapsfunctie, geïntegreerd in de mobiele applicatie, het mogelijk dat gebruikers bijdragen aan de voortdurende verbetering van de kaart door terreinwaarnemingen te registreren.

À l'échelle planétaire, les scientifiques ont produit des cartes de couverture forestière pour surveiller son évolution au cours du temps (*Global Forest Watch*, 2026). À l'échelle du continent européen, l'information fournie est plus fine. On dispose de prédictions du type de forêt, avec une distinction entre les feuillus et les résineux et une estimation de la densité de couvert, le tout à une résolution spatiale de 10 mètres et une résolution temporelle annuelle (produits « *tree cover density* » et « *forest type* » du projet Copernicus). À l'échelle nationale et régionale, une information plus détaillée est souhaitable, et c'est d'autant plus important pour les peuplements forestiers présentant un taux de mélange élevé ou une structure complexe.

Les pays européens ne sont pas logés à la même enseigne : si les pays du nord disposent de cartographie de l'espèce arborée dominante, là où la diversité en espèces n'est pas trop conséquente, comme la zone boréale dont la composition est dominée par l'épicéa et les bouleaux, les pays d'Europe occidentale ne disposent pas systématiquement de cartographie très aboutie. En France, la politique restrictive sur l'usage des données de l'inventaire forestier national (IFN) - les positions spatiales des placettes étant gardées secrètes pour respecter leur caractère personnel - limite l'accès aux données de calibration précises. Cependant,

l'IGN produit la BD Forêt, un référentiel cartographique national des essences forestières, avec une résolution permettant la distinction des peuplements dès 0,5 ha.

Ces cartes, basées sur la photo-interprétation d'images aériennes, offrent une couverture spatiale complète et sont largement utilisées pour la gestion forestière, même si elles ne reposent pas sur les placettes de l'IFN. En région wallonne, nous avons publié une première carte de la composition dominante qui reflète l'état de la ressource en 2018. Cette carte est avantageusement utilisée depuis, par exemple pour décrire l'ampleur des crises sanitaires ou des phénomènes de dépérissement (crises des scolytes de 2018-2021, dépérissement des hêtraies et plus récemment des chênaies indigènes) et pour quantifier la vulnérabilité de nos forêts face aux changements climatiques.

Nous présentons dans cet article la nouvelle couche de composition spécifique qui reflète l'état de la forêt en 2021. Cette nouvelle carte est complémentaire à une série d'autres cartes déjà disponibles et fournissant sur l'ensemble de la forêt wallonne des estimations des principaux paramètres dendrométriques (volume, surface terrière, hauteur dominante, etc.) (Lejeune et al., 2025).

UNE CARTOGRAPHIE

« À L'ARBRE » EN NEUF

GROUPES D'ESSENCES

Afin de pouvoir rendre compte de mélanges, parfois intimes, au sein des peuplements, il s'est avéré nécessaire d'appréhender le processus de classification avec un niveau de détail le plus élevé possible : on peut parler de cartographie « à l'arbre ». La légende de cette nouvelle carte de composition spécifique comporte neuf groupes d'essences distincts. La constitution de ces groupes est basée à la fois sur des similitudes entre essences du point de vue de la télédétection et sur le fait que certaines essences minoritaires ont

dû être rattachées avec d'autres présentes en proportion beaucoup plus importantes. Le tableau 1 (page suivante) détaille la composition des groupes qui portent le nom de l'essence dominante.

DES DONNÉES LIDAR

ET SATELLITAIRES

À TRÈS HAUTE

RÉSOLUTION

La cartographie à l'arbre a été rendue possible par l'existence de deux types de données à très haute résolution. La première est constituée d'une couverture lidar acquise sur

la Wallonie en 2021-2022 et présentant une densité d'environ 15 points par m². Ce nuage de points décrit de manière fine la structure de la canopée et de l'agencement des houppiers dans celle-ci. La seconde source de données correspond à une série d'images satellitaires comportant une palette de bandes spectrales offrant un bon pouvoir de discrimination entre essences, surtout quand cette série combine des prises de vue pendant et en dehors de la période de végétation. Ces images Sentinel-2, produites par le programme européen Copernicus (résolution 10 m) ont été améliorées en les combinant avec d'autres images issues de la constellation PlanetScope pour aboutir à une ré-

Tableau 1. Définition des groupes d'essences repris dans la carte de composition, nombres d'arbres utilisés pour la création de la carte pour chaque essence au sein de ces groupes.

Groupes	Essences	Nombre d'arbres
Chênes		50942
	Chênes indigènes	39026
	Érable sycomore	8136
	Charme	3307
	Érable plane	333
	Érable champêtre	140
Hêtre		28198
Bouleaux		41509
Peupliers		14189
Autres feuillus		34211
	Aulne glutineux	13452
	Chêne rouge	11213
	Frêne	5202
	Merisier	2360
	Châtaigner	862
	Sorbiers	553
	Tremble	387
	Tilleuls	182
Épicéa		53584
	Épicéa commun	40460
	Sapin pectiné	7443
	Sapin grandis	5544
	Épicéa de Sitka	137
Douglas		19039
	Douglas	18764
	Thuya	275
Pins		54441
	Pin sylvestre	31557
	Pin noir	22884
Mélèzes		18537
Total		314650

spécifiques aux données LiDAR ont permis de s'adapter autant que possible à la diversité des arbres et des peuplements wallons. Deuxièmement, l'étape de prédiction du groupe d'essences pour chaque segment/arbre est effectuée à l'aide d'un modèle d'intelligence artificielle, du type « PointNet++ » (Qi et al., 2017). Au total, environ 315.000 arbres répartis sur le territoire wallon ont été utilisés pour entraîner et valider le modèle (tableau 1). Cette base de données compile les observations issues de l'inventaire forestier régional (IPRFW), d'inventaires d'aménagement (IFA) du DNF, mais également des identifications d'essences dérivées implicitement du parcellaire du DNF dans le cas de parcelles renseignées comme pures. Troisièmement, les segments, composés de points tridimensionnels, sont convertis en une couche cartographique planimétrique représentant le contour des houppiers.

La carte ainsi prédite prend la forme d'une couche de polygones correspondant à la projection au sol du houppier de chaque segment/arbre, assorti d'une prédiction de composition et d'un score de confiance pour celle-ci. Cette couche, qui comporte plus de 180 millions de polygones, a ensuite été convertie en format raster avec une résolution de 50 cm. Une version moins volumineuse ayant une résolution de 2 mètres a également été générée de manière à faciliter sa diffusion. L'ensemble de la procédure de création de la carte est présenté dans l'encadré 1.

solution spatiale de 2,5 m. L'information spectrale des prises de vue satellitaires est fusionnée avec le nuage de points LiDAR de manière à disposer d'une information riche à la fois du point de vue géométrique (structure des houppiers) et phénologique (évolution de la réponse spectrale durant l'année).

UNE PRODUCTION EN TROIS ÉTAPES

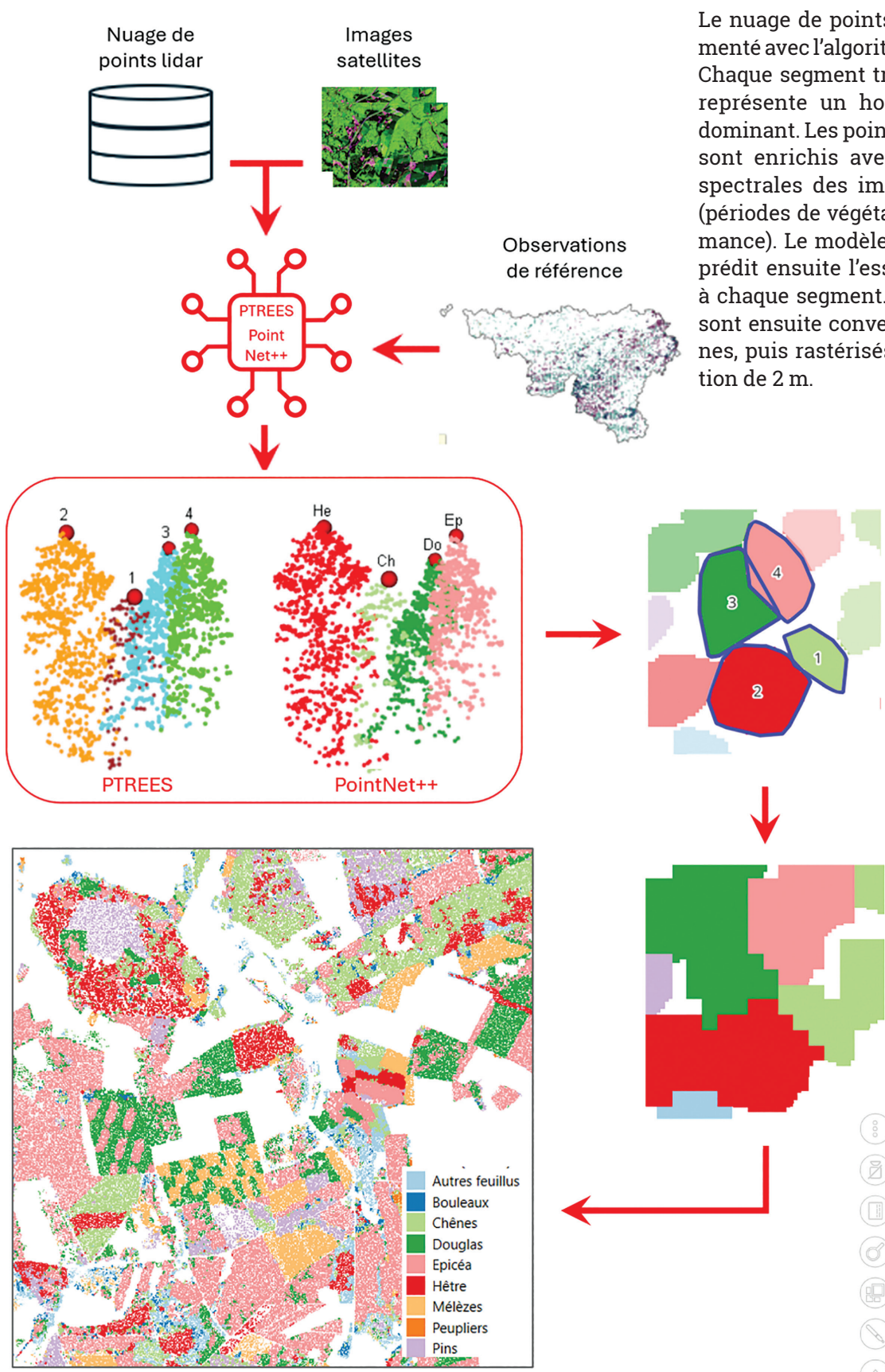
La production de la carte de composition a été opérée en trois étapes. La première est l'étape de segmentation. Le nuage de points lidar est découpé en segments correspondant principalement aux arbres dominants. La configuration de l'algorithme de segmentation « PTrees » (Vega et al., 2014) et des traitements

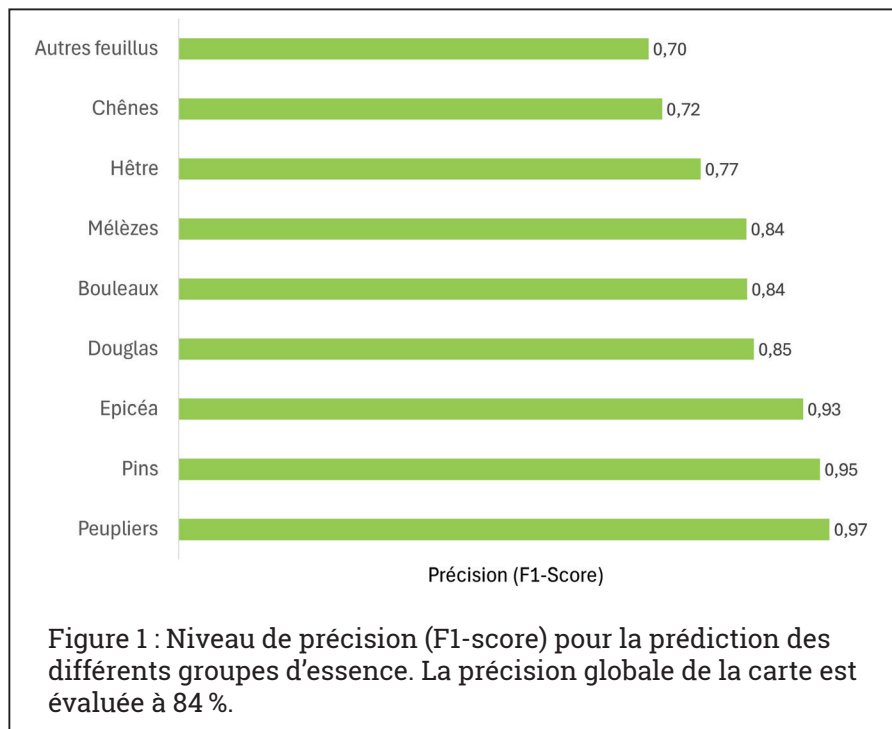
QUEL NIVEAU DE PRÉCISION ?

Le niveau de précision de la carte produite a été évalué en considérant 20 % des observations contenues dans la base de données de référence, l'entraînement du modèle exploitant les 80 % restant. La précision globale de la carte est de

ENCADRÉ 1.

SCHÉMA DE PRODUCTION DE LA CARTE DE COMPOSITION





de confusion. Cette matrice à deux entrées répartit les observations selon l'essence observée sur le terrain et celle prédite par le modèle (figure 2). Les prédictions correctes se retrouvent sur la diagonale. Les confusions les plus fréquentes apparaissent entre les groupes «chênes», «hêtre» et «autres feuillus», ainsi qu'entre les groupes «épicéa» et «douglas».

COMMENT UTILISER CETTE NOUVELLE CARTE DE COMPOSITION?

La carte de composition est accessible directement via les versions web et mobile de la plateforme Forestimator (Lisein et al. 2022). Elle peut donc y être visualisée, de manière interactive, sur l'ensemble du territoire wallon. La version web permet également de réaliser des analyses de type surfacique. Celles-ci sont basées sur une couche de polygones fournie par l'utilisateur

l'ordre de 84%. Les scores varient en fonction des groupes d'essences comme le montre la figure 1. On constate que les moins bonnes performances, comprises entre 70 % et 80 % sont obtenues pour les trois groupes «Autres feuillus», «Chênes» et «Hêtre». Les trois groupes «Bouleaux», «Douglas» et «Mélèzes»

présentent des scores compris entre 80 % et 90%. Les groupes «Épicéa», «Pins» et «Peupliers» sont les mieux prédits avec des précisions supérieures à 90 %.

Une manière plus fine d'illustrer l'imprécision de cette classification est réalisée au moyen d'une matrice

		Prédiction								
		Chênes	Hêtre	Bouleaux	Peupliers	Autres feuillus	Épicéa	Douglas	Pins	Mélèzes
Observation de terrain	Chênes	70,8	13,0	5,4	0,1	18,6	0,2	0,5	1,3	3,4
	Hêtre	9,1	78,8	1,6	0,0	1,9	0,4	0,3	0,4	0,5
	Bouleaux	4,4	3,0	84,4	1,2	5,0	0,4	0,5	1,6	2,9
	Peupliers	0,1	0,0	0,1	96,3	1,2	0,0	0,0	0,0	0,3
	Autres feuillus	11,5	1,8	6,2	0,1	69,9	1,2	0,7	0,4	1,2
	Épicéa	1,6	1,8	0,8	0,0	0,4	94,5	11,7	1,0	0,9
	Douglas	0,5	0,4	0,1	0,0	0,2	2,4	83,2	0,3	2,6
	Pins	1,3	0,3	1,2	0,1	1,1	0,5	1,0	94,8	3,9
	Mélèzes	0,9	0,9	0,3	2,2	1,6	0,4	2,1	0,2	84,3

Figure 2 : Matrice de confusion présentant les proportions (pourcentage) observées et prédites pour chaque groupe d'essence. Si l'on considère le groupe des chênes, 71 % des prédictions sont correctes, 9 % sont en réalité du hêtre et 11 % autres feuillus.

et décrivant les limites de parcelles ou de toute autre entité spatiale. Forestimator estime les proportions par groupes d'essences au sein des différents polygones de la couche et renvoie par e-mail le résultat de l'analyse sous forme d'un fichier au format geojson consultable dans QGIS (voir encadré 2 page 44). L'utilisateur qui souhaite réaliser ses propres traitements sous SIG peut télécharger directement l'entière ou une partie de la couche sur son propre ordinateur.

La carte peut également être utilisée en combinaison avec d'autres couches cartographiques, par exemple pour caractériser plus spécifiquement un type de peuplement. Ainsi, dans le cadre du projet Interreg WAVE (<https://wave-gr.eu/>), l'intérêt se porte vers la quantification et la description des peuplements contenant du bouleau. Une carte des peuplements purs ou quasi purs de bouleau d'une surface supérieure à 0,25 ha a pu être dérivée de la carte des groupes d'essences. Elle a ensuite été croisée avec les cartes dendrométriques (Lejeune et al., 2025) afin de quantifier la ressource en bois dans ces peuplements. Il est ainsi possible de définir les volumes disponibles, le stade de développement des peuplements, leur accessibilité, etc. Le croisement de ces informations avec différentes considérations sylvicoles devrait permettre de mieux apprécier la capacité de mobilisation de la ressource « bouleau » dans les prochaines années. Cette étude fera l'objet d'un prochain article dans cette revue.

relativement restreint par rapport à l'ensemble de la forêt wallonne. Il est donc utile de poursuivre l'effort d'évaluation de cette carte et de continuer de la confronter avec les observations de terrain. Pour cela, nous avons intégré dans la version mobile de Forestimator une fonctionnalité très simple à utiliser sur le terrain et qui permet d'encoder l'essence d'arbres directement en forêt, que cette observation soit en accord ou non avec la prédiction de la carte (voir encadré 3 page 45). Ces observations, que chaque utilisateur peut contribuer à collecter, serviront ultérieurement à corriger les incohérences de notre modèle de prédiction de la composition dominante et potentiellement à améliorer celui-ci.

CONCLUSION

Cette nouvelle carte de composition forestière de Wallonie, combinant LiDAR et imagerie satellitaire, offre une précision globale de 84 % et permet une description fine des peuplements. Elle est déjà accessible sur Forestimator qui permet des analyses surfaciques et des croisements avec d'autres données, notamment dendrométriques. La participation active des utilisateurs à la collecte d'observations supplémentaires via l'application mobile serait un atout considérable dans l'amélioration continue de la carte de composition.

RÉFÉRENCES

- Global Forest Watch. (2026). World Resources Institute. Accessed on 26-05-2026. www.globalforestwatch.org
- Lejeune P., Latte N., Perin J., Lisein J. (2025). De nouvelles couches cartographiques pour mieux décrire la forêt wallonne. Forêt.Nature n° 175, p. 68-79.
- C. Vega, A. Hamrouni, S. El Mokhtari, J. Morel, J. Bock, J.-P. Renaud, M. Bouvier, S. Durrieu, PTrees: A point-based approach to forest tree extraction from lidar data, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 33, 2014, Pages 98-108, ISSN 1569-8432, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.05.001>.
- Qi, C. R., Yi, L., Su, H., & Guibas, L. J. (2017). PointNet++: Deep Hierarchical Feature Learning on Point Sets in a Metric Space. Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS 2017). arXiv:1706.02413
- Lisein, J., Claessens, H., Quevauvillers, S. et Lejeune, P. 2022. « Forestimator : un nouveau portail cartographique pour l'information forestière en Wallonie ». Forêt.Nature 162. <https://forestimator.gembloux.ulg.ac.be/>.

Remerciements

Les travaux présentés dans cet article ont bénéficié des financements 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 leur parcellaire. Ils remercient également le Département Données transversales du SPW pour la mise à disposition des données lidar.

**VOUS POUVEZ NOUS
AIDER À AMÉLIORER
CETTE CARTE**

Les niveaux de précision annoncés dans les figures 1 et 2 restent indicatifs car basés sur un échantillon

Interreg



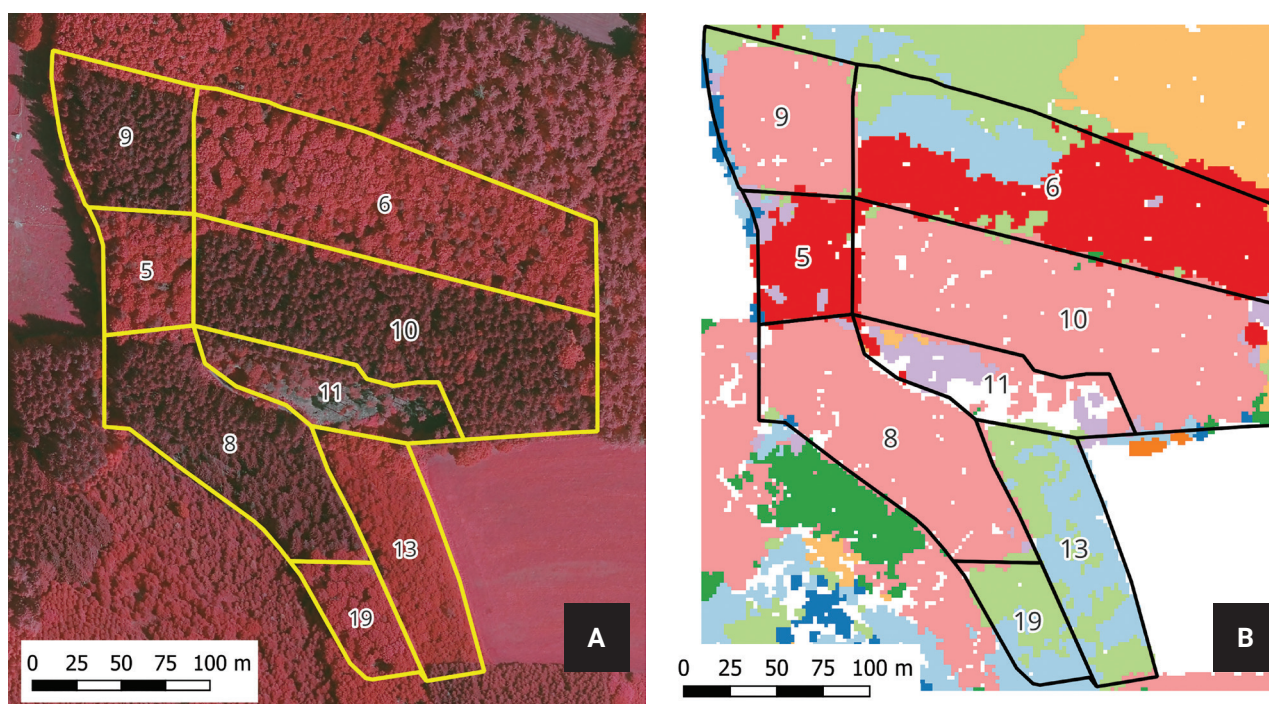
Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion



ENCADRÉ 2. EXEMPLE D'UTILISATION DE LA CARTE DE COMPOSITION AVEC FORESTIMATOR

La figure A présente une couche cartographique contenant les limites de 8 parcelles. Après avoir chargé cette couche dans Forestimator, il est possible de recevoir la couche de composition sur son ordinateur pour l'utiliser dans un SIG (figure B). Cela vaut également pour n'importe quelle autre couche disponible dans le catalogue de Forestimator. La figure C correspond à la table d'attributs de la couche produite par la fonction d'analyse surfacique et transmise par Forestimator via un mail. On peut observer que la parcelle 11 est occupée à 29% par des pins. Les surfaces sans arbres (code « No-Data ») correspondent aux espaces entre les houppiers et aux zones sans couverture arborée (hauteur < 5m). Dans cette pinède au couvert clairsemé, ces surfaces totalisent 29% de la parcelle.



Forestimator-ilots_paliseul — Total des entités: 8, Filtrées: 8, Sélectionnées: 0

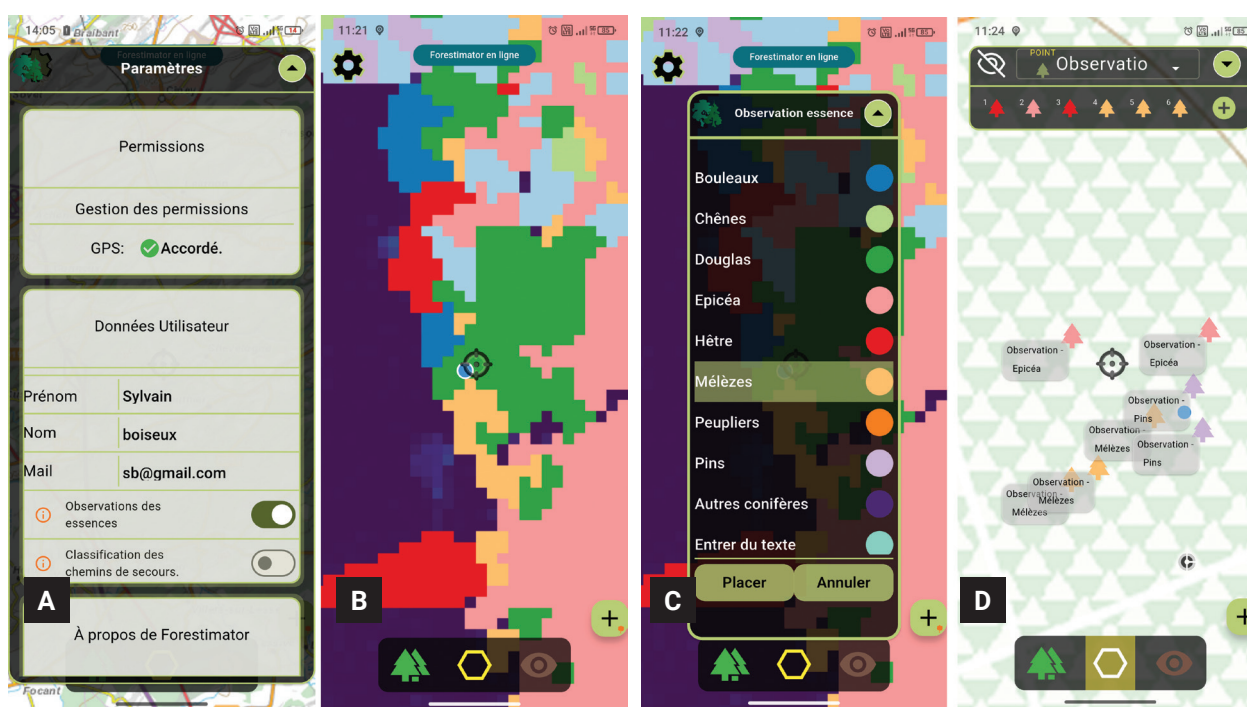
Parcelle	COMPOALL
1	5 NoData:1.4%;Aub - Others broadleaves:0.4%;BO - Birchs:1.1%;CH - Oaks:2.3%;EP - Spruces:1.6%;HE - Beech:80.0%;PI - Pines:12.8%
2	6 NoData:0.9%;Aub - Others broadleaves:16.8%;CH - Oaks:14.9%;DO - Douglas_fir:0.1%;EP - Spruces:2.5%;HE - Beech:63.7%;MZ - Larchs:0.3%;PI - Pines:0.4%
3	8 NoData:5.9%;Aub - Others broadleaves:0.0%;BO - Birchs:0.2%;CH - Oaks:1.2%;DO - Douglas_fir:0.0%;EP - Spruces:89.3%;HE - Beech:1.5%;MZ - Larchs:0.0%;PI - Pines:1.5%
4	9 NoData:2.2%;Aub - Others broadleaves:3.4%;BO - Birchs:3.9%;CH - Oaks:6.9%;EP - Spruces:81.5%;HE - Beech:0.4%;PI - Pines:1.4%
5	10 NoData:2.7%;Aub - Others broadleaves:0.3%;BO - Birchs:0.2%;CH - Oaks:1.1%;DO - Douglas_fir:1.0%;EP - Spruces:87.4%;HE - Beech:3.9%;MZ - Larchs:1.1%;PI - Pines:1.7%
6	11 NoData:29.0%;CH - Oaks:1.8%;DO - Douglas_fir:0.1%;EP - Spruces:34.5%;HE - Beech:3.1%;MZ - Larchs:2.5%;PI - Pines:28.7%
7	13 NoData:1.5%;Aub - Others broadleaves:50.8%;CH - Oaks:42.8%;EP - Spruces:4.5%;PI - Pines:0.1%
8	19 NoData:1.1%;Aub - Others broadleaves:35.4%;CH - Oaks:58.1%;EP - Spruces:5.2%

Montrer toutes les entités

ENCADRÉ 3. LA SAISIE D'OBSERVATIONS DE COMPOSITION FORESTIÈRE AVEC FORESTIMATOR MOBILE

Les performances du matériel et des algorithmes informatiques ont atteint des niveaux inimaginables. Le défi actuel réside dès lors dans la constitution de jeux de données permettant une modélisation fidèle de l'état actuel de nos forêts.

Forestimator Mobile est doté d'un outil de science participative : c'est le mode "Observation des essences" qui permet à n'importe quel utilisateur d'ajouter des observations sur les essences en place. Ces observations seront utilisées pour améliorer la carte de composition. Elles sont particulièrement utiles pour les zones pour lesquelles la carte de composition est actuellement erronée. L'usage de ces données est strictement limité à l'amélioration de notre modèle : elles ne seront donc jamais partagées, diffusées ni publiées.



La procédure d'ajout de nouvelles observations est simple. Premièrement, vous devez renseigner vos données personnelles et activer le mode essence dans la section paramètre de Forestimator Mobile (A). Deux icônes supplémentaires apparaissent dès lors sur la carte (B) : la première est une cible au centre de l'écran, là où sera placée votre observation. La deuxième est un bouton en bas à droite qui permet l'ajout d'une observation.

Le cas de figure représenté sur la figure B correspond à une situation où la carte de composition confond des jeunes mélèzes en mélange avec des douglas. La localisation de l'opérateur, prédite par le GPS du smartphone, est indiquée par le point bleu et permet de se situer sur la carte.

Le bouton d'ajout d'observation a pour effet de placer un point au centre de la carte et d'ouvrir une fenêtre de dialogue proposant la liste des groupes d'essence (C). Une fois qu'une observation est réalisée, cette dernière est ajoutée à la carte puis instantanément envoyée sur le serveur de Forestimator où elle est ajoutée au jeu de données de référence (D).