FORÊT
•NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

Tiré à part de la revue
Forêt.Nature

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

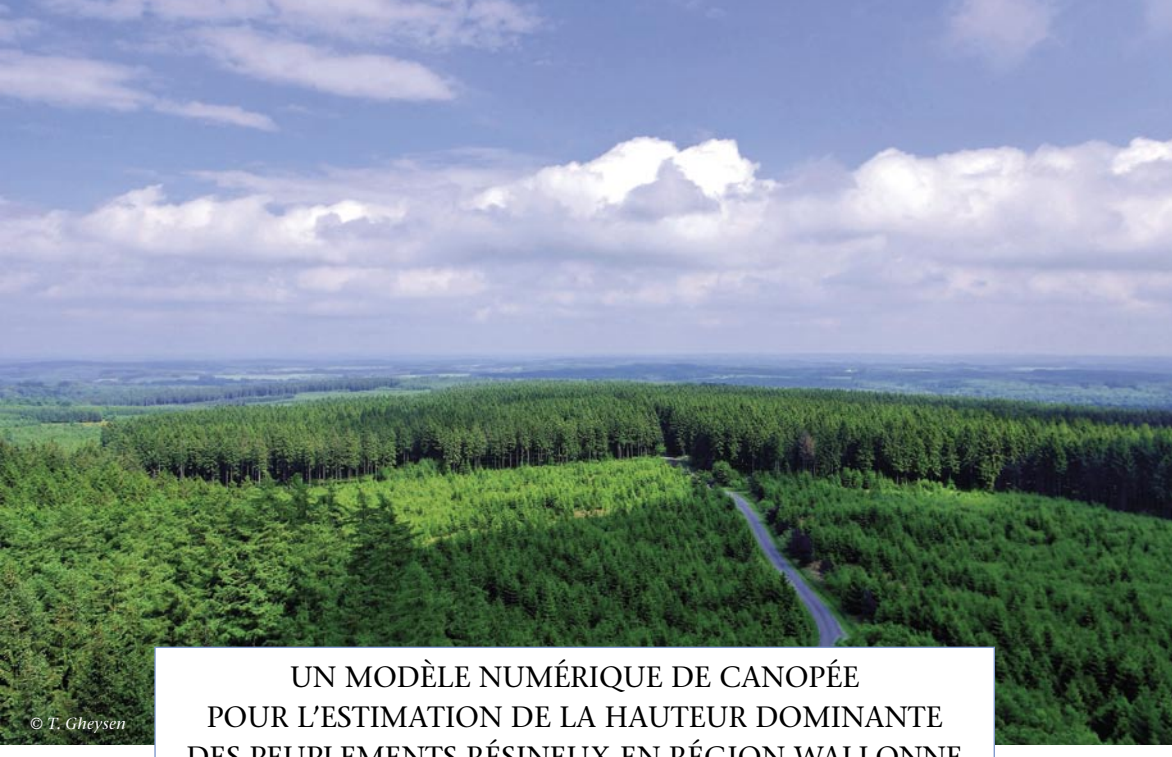
foretnature.be

Rédaction : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. info@foretnature.be. T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :
librairie.foretnature.be

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :
foretnature.be

Retrouvez les anciens articles de la revue
et d'autres ressources : **foretnature.be**



© T. Gheysen

UN MODÈLE NUMÉRIQUE DE CANOPÉE POUR L'ESTIMATION DE LA HAUTEUR DOMINANTE DES PEUPLEMENTS RÉSINEUX EN RÉGION WALLONNE

Stéphanie Bonnet

Le développement des données et des outils de télédétection offre de nouvelles perspectives en matière de cartographie et de caractérisation de la ressource forestière. L'une d'elle est la création de Modèles Numériques de Canopée (MNC) et leur utilisation pour l'estimation de la hauteur des peuplements forestiers. Le présent article propose une méthode d'estimation de la hauteur dominante des peuplements résineux en Région wallonne, basé sur l'exploitation d'un MNC.

La gestion des ressources forestières nécessite de disposer de manière récurrente de données quantitatives et spatialisées décrivant le couvert végétal. Ce besoin est renforcé par la multiplicité des facettes de nos forêts : production ligneuse mais aussi puits de carbone, réservoir de biodiversité, protection des sols et de l'eau, activités récréatives… Cette vision multifonctionnelle de la forêt impose de mettre en œuvre une panoplie d'informations décrivant autant les peuplements que les conditions de croissance ou encore les infrastructures et les différentes contraintes de gestion. La caractérisation des peuplements forestiers doit pouvoir s'envisager à des échelles correspondant aux différents niveaux de prises de décision (arbre, peuplement, coupe, série, propriété, région) et faire l'objet d'une actualisation régulière.

La hauteur des peuplements est sans doute une des caractéristiques dendrométriques les plus importantes en termes de plani-

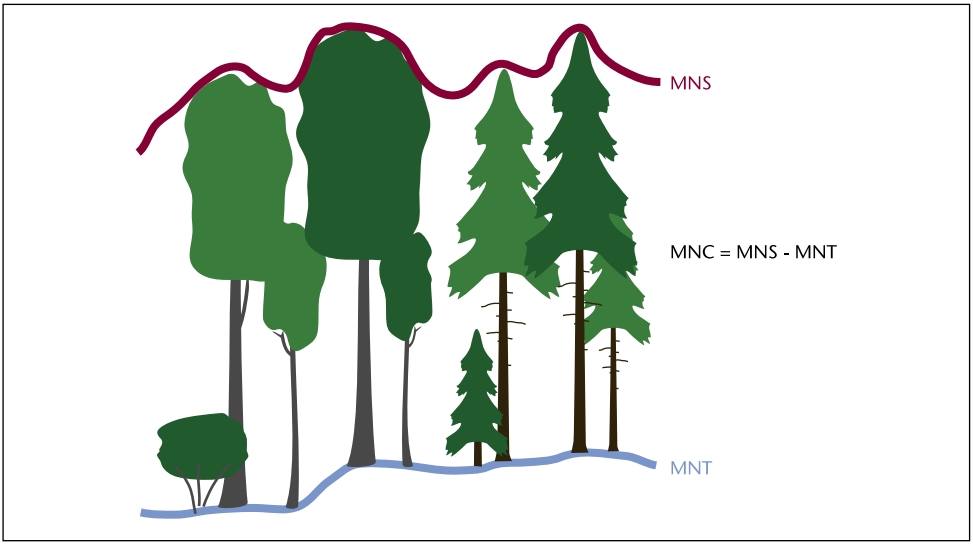
fication forestière. Elle intervient en effet dans l'estimation du volume (tarif de cubage), dans la définition du niveau de productivité (notion de hauteur dominante) ou encore dans l'évaluation de la diversité structurale des écosystèmes et leur adéquation à accueillir différentes espèces animales. L'estimation de la hauteur des peuplements repose actuellement quasi exclusivement sur la réalisation de mesures de terrain.

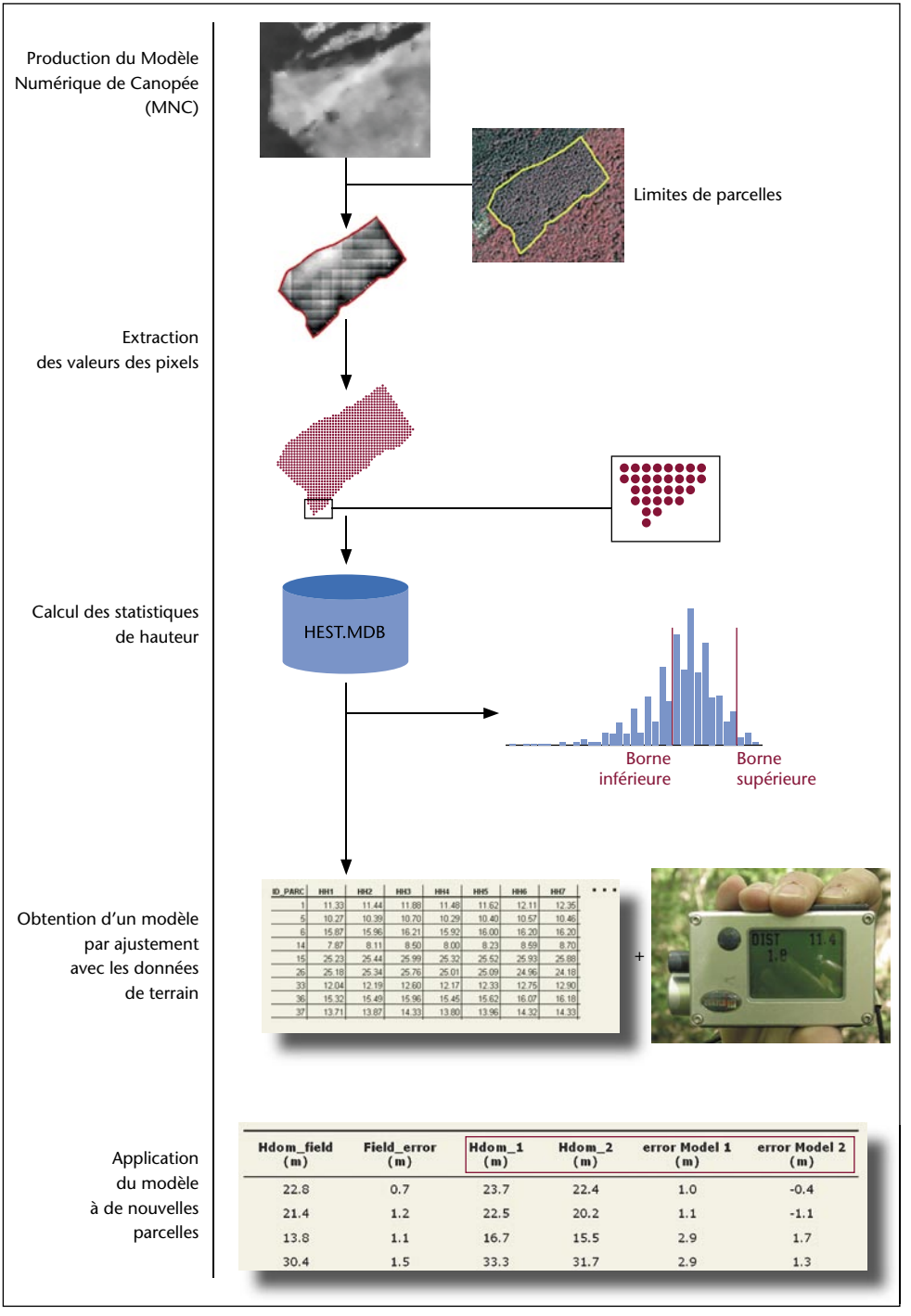
Au cours des dernières années, plusieurs techniques de télédétection ont connu un développement spectaculaire et offrent désormais des possibilités très prometteuses en matière de cartographie et de caractérisation de peuplements forestiers.

Dans ce domaine, la réalisation de couvertures photographiques aériennes numériques à très haute résolution connaît un essor important. Ces données photographiques, une fois orthorectifiées (traitement visant à l'élimination des déformations d'une image afin qu'elle puisse se superposer à une carte), sont utilisées comme couche de référence dans des Systèmes d'Information Géographique (SIG) dans de nombreux domaines : gestion des infrastructures, aménagement du territoire, foresterie, agriculture…

La technique de production de ces orthophotographies numériques génère une couche d'information connexe qui est le Modèle Numérique de Surface (MNS). Il s'agit d'une couche raster (constituée de pixels) fournissant l'altitude du toit de la canopée. Les possibilités d'utilisation de ce MNS sont nombreuses. Il est notamment possible de générer un Modèle Numérique de Canopée (MNC), en combinant le MNS avec un Modèle Numérique de Terrain (MNT), soit une couche raster définissant l'altitude au niveau du sol. De part sa conception, ce MNC donne en chaque pixel la hauteur des objets, comme par

Figure 1 – Illustration du principe de création du MNC à partir des MNS et MNT.





Hdom_field (m)	Field_error (m)	Hdom_1 (m)	Hdom_2 (m)	error Model 1 (m)	error Model 2 (m)
22.8	0.7	23.7	22.4	1.0	-0.4
21.4	1.2	22.5	20.2	1.1	-1.1
13.8	1.1	16.7	15.5	2.9	1.7
30.4	1.5	33.3	31.7	2.9	1.3

Figure 2 – Présentation des différentes étapes de la démarche d'exploitation des données à partir de la couche Modèle Numérique de Canopée et des données de terrain.

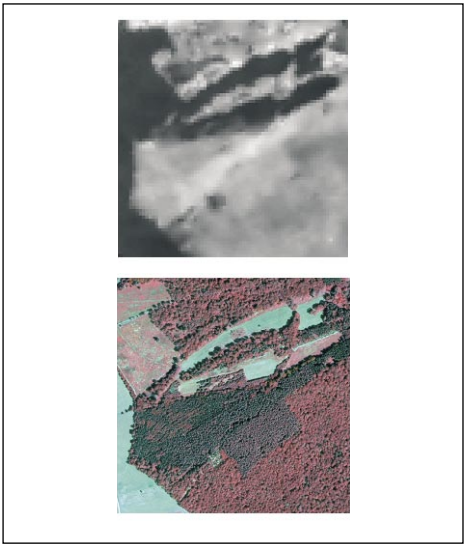


Figure 3 – Extrait de la couche MNC (au dessus) en regard de la couche d'orthophotos (en-dessous) à très haute résolution affichée en composition infrarouge fausses couleurs sur la même zone.

exemple, la hauteur de la couverture végétale en zone forestière. Une telle source d'information peut être exploitée pour produire des estimations de la hauteur des peuplements forestiers, comme l'illustre la figure 1.

Le présent article fait la synthèse d'une étude visant à évaluer les possibilités d'utilisation d'un MNC, dérivé d'un MNS (résolution de 5 mètres) et d'un MNT (résolution de 10 mètres), pour estimer la hauteur de peuplements forestiers. Ces deux couches, bien qu'intrinsèquement moins précises que des données à très haute résolution (1 mètre) de type LiDAR, offre cependant une source d'information intéressante à deux niveaux. Elles ont généralement un coût abordable et sont d'ores et déjà disponibles sur l'ensemble de la Wallonie.

L'étude s'est focalisée sur l'estimation de la hauteur dominante de peuplements résineux équiennes constitués d'épicéa commun (*Picea abies* (L.) KARST.) et de douglas (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO), ces deux essences couvrant environ 180 000 hectares, soit un peu plus de 80 % des surfaces résineuses en Région wallonne. La hauteur dominante telle que définie dans cette recherche correspond à la hauteur moyenne arithmétique des cent plus gros bois à l'hectare.

MÉTHODE

L'objectif poursuivi est de construire un modèle prédictif permettant d'estimer la hauteur dominante d'un peuplement à l'aide d'informations dérivées d'un Modèle Numérique de Canopée.

La méthode mise en œuvre dans ce travail s'articule en cinq étapes, présentées dans les paragraphes suivants : la production du MNC, l'extraction de données du MNC, la collecte de données de terrain, l'ajustement d'un modèle prédictif de hauteur dominante et enfin la validation de ce modèle. La démarche adoptée est synthétisée à la figure 2.

Production du Modèle Numérique de Canopée

Le MNC est produit en soustrayant le MNT du MNS, disponibles tout deux sur l'ensemble de la Région wallonne. La figure 3 présente un extrait du MNC et compare celui-ci à l'orthophotographie contemporaine du MNS.

Préparation des données

Le MNC ainsi créé renseigne en chaque pixel de la hauteur des objets par rapport à

la surface du sol. Il constitue la base de l'estimation de la hauteur dominante. Pour construire le modèle prédictif, nous avons extrait, à l'aide d'une application informatique-SIG, les valeurs du MNC correspondant à l'emprise spatiale des différents peuplements échantillonnés. Les données récupérées correspondent aux valeurs de hauteur de canopée pour l'ensemble des pixels situés au sein du peuplement.

Ces données sont ensuite agrégées pour calculer une série de statistiques décrivant la distribution des valeurs de ces pixels pour le peuplement considéré. Ces statistiques reposent principalement sur le calcul de différents percentiles. Elles correspondent à des valeurs pour un percentile donné (par exemple h_{95} correspondant au 95ème percentile) ou à la moyenne des valeurs comprises entre deux percentiles (par exemple $h_{67\text{-}95}$ correspondant à la moyenne des valeurs comprises entre les 67ème et le 95ème percentile).

Pour évaluer l'impact de la variabilité du relief sur la prédiction de la hauteur dominante du peuplement, la moyenne, l'amplitude et l'écart-type de l'altitude et de la pente ont également été ajoutés au jeu de données.

Mesures de terrain

Une estimation de la hauteur dominante d'un certain nombre de peuplements a été faite sur base de mesures de terrain. Ces mesures ont été collectées dans soixante peuplements, constitués indifféremment de douglas ou d'épicéa, répartis dans deux sites différents : quarante parcelles sur la Donation Royale de Ciergnon et vingt parcelles sur le cantonnement d'Eupen. Les données des quarante peuplements de Ciergnon ont été utilisées pour ajuster le modèle de prédiction de la hauteur dominante. Les données des vingt peuplements du cantonnement d'Eupen ont été utilisées pour valider le modèle. Le tableau 1 décrit brièvement ces parcelles. Les limites de ces peuplements ont été digitalisées sur base des orthophotographies aériennes numériques disponibles sur l'ensemble de la Région wallonne.

Cette prise de données a été réalisée par voie d'échantillonnage systématique. La circonférence à 1,5 mètre de tous les arbres, ainsi que la hauteur totale de l'arbre le plus gros de chaque placette (d'une surface de 1 are) ont été mesurées. La hauteur dominante d'un peuplement était définie comme la moyenne arithmétique des hauteurs totales mesurées au niveau de chaque peuplement.

Estimation de la hauteur dominante

Un ensemble de variables « hauteur de canopée » et « relief » a été pris en compte dans l'analyse statistique afin de déterminer le ou les paramètres estimant au

Tableau 1 – Informations sur les parcelles inventoriées.

	Nombre de parcelles inventoriées	Superficie moyenne des parcelles (ha)	Nombres de placettes	Nombres de placettes en épicéa	Nombres de placettes en douglas
Donation Royale	40	2,47	286	24	16
Eupen	20	1,28	150	18	2

mieux la hauteur dominante. Cette analyse a permis de retenir deux modèles. Le premier fait intervenir uniquement une variable dérivée du MNC, en l'occurrence, $H_{675\text{-}95}$ (figure 4). Le second intègre en plus de $H_{675\text{-}95}$, une variable traduisant l'hétérogénéité du relief (logarithme de l'écart-type de la pente). Les équations obtenues sont présentées en figure 5.

Validation des modèles

Les équations mises au point ont été testées sur les données issues des parcelles de validation. La précision des modèles a été évaluée par le résidu, c'est-à-dire, la différence entre la valeur fournie par le modèle (valeur estimée) et la mesure terrain (valeur de référence). Les résultats sont présentés au tableau 2. Les modèles sont non biaisés (erreur moyenne non significative) et caractérisés par une erreur résiduelle moyenne de 1,7 mètre (modèle 1) et 1,4 mètre (modèle 2). Dans le cas du deuxième modèle, on peut retenir que 40 % des estimations sont entachées d'une erreur inférieure à 1 mètre, 45 % ont, quant à elles, une erreur entre 1 et 2 mètres et enfin, les 15 % restant sont caractérisés par une erreur de 2 à 3 mètres.

Figure 4 – Modèle d'estimation de la hauteur dominante par ajustement des hauteurs estimées par le modèle, d'une part, et d'autre part, par les mesures de terrain.

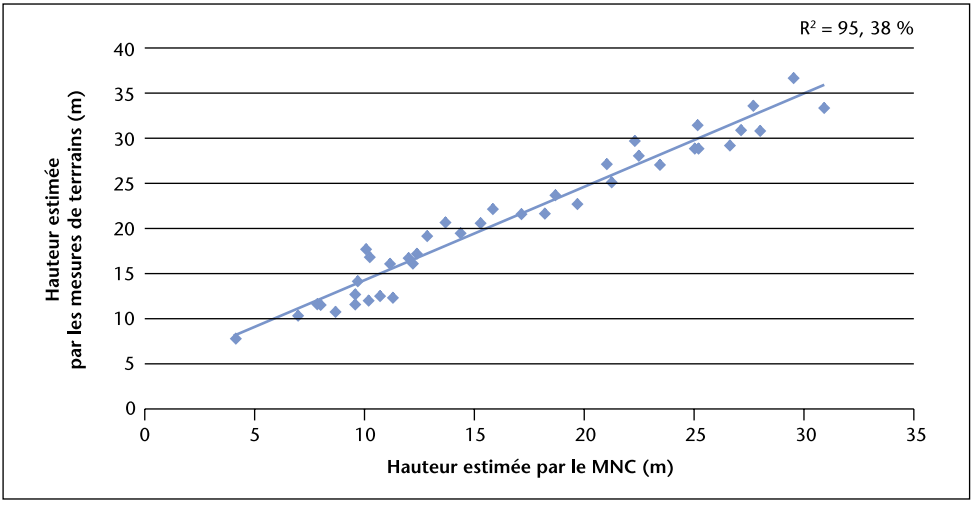


Figure 5 – Équations des deux modèles retenus lors de l'analyse des résultats des traitements statistiques.

Modèle 1 (R^2 = 95,3 %)	HDom_est = 3,69 + 1,03 * $H_{675\text{-}95}$
Modèle 2 (R^2 = 96,3 %)	HDom_est = 5,9 + 0,882 * $H_{675\text{-}95}$ + 1,24 * ln(*stdev_slope*)

	Validation sur le cantonnement d'Eupen	
	Modèle 1	Modèle 2
Moyenne de l'erreur (m)	0,417	-0,293
Écart-type de l'erreur (m)	1,714	1,376

Tableau 2 – Résultats de la validation.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'outil présenté dans cet article permet une estimation rapide, peu coûteuse et relativement précise de la hauteur dominante de peuplements résineux équiennes.

Il présente le double intérêt d'être applicable sur l'ensemble du territoire wallon et de ne nécessiter aucune mesure de terrain, particulièrement coûteuse dans le cas de hauteurs d'arbres.

Il convient d'apporter deux nuances à ce constat :

- la qualité du résultat est fortement tributaire de la précision avec laquelle la limite du peuplement dont on souhaite estimer la hauteur dominante est cartographiée ;
- la validation du modèle, bien que reposant sur un nombre significatif de peuplements, s'est concentrée sur un seul site. Avant d'envisager une exploitation plus large de ce modèle, il convient d'étendre cette phase de validation sur un plus grand nombre de peuplements répartis sur l'ensemble du territoire wallon.

Quoi qu'il en soit, ces résultats tendent à confirmer tout le potentiel que recèlent les techniques d'exploitation des Modèles Numériques de Canopées et permettent d'entrevoir les gains de précision qui devraient pouvoir être obtenus par l'exploitation de données de type LiDAR qui reposent sur le même principe, mais qui se caractérisent par une résolution beaucoup plus fine (de l'ordre du mètre carré). ■

L'étude présentée dans cet article a été réalisé dans le contexte de l'« accord cadre de recherche et vulgarisation forestières » financé par la Région wallonne. L'auteur tient à remercier le Domaine de la Donation Royale de Ciergnon et le cantonnement d'Eupen pour leur collaboration à la collecte des données de terrain, ainsi que la DGARNE pour la mise à disposition des données cartographiques numériques.

STÉPHANIE BONNET

bonnet.s@fsagx.ac.be

Unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux

Passage des Déportés, 2
B-5030 Gembloux