



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

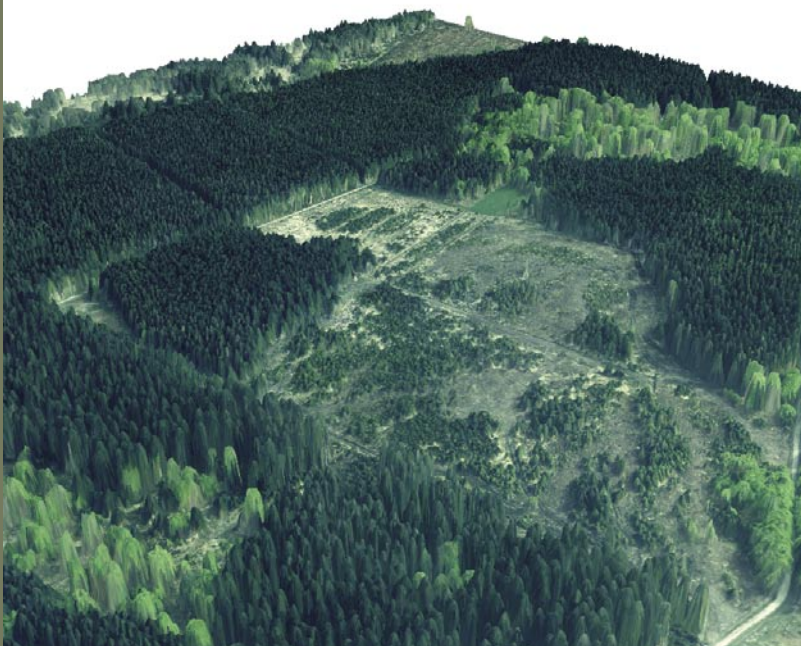
foretnature.be

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**



MÉTHODE D'INVENTAIRE FORESTIER À L'ARBRE PRÈS PAR TÉLÉDÉTECTION AÉRIENNE ET SATELLITAIRE

VALÉRY BEMELMANS – BAUDOUIN DESCLÉE

Les récents perfectionnements des outils de télédétection et de traitement des images ouvrent des perspectives d'applications concrètes dans la gestion forestière. L'article présente un produit d'inventaire développé, dans ce contexte, par les sociétés Sodiplan et Bemelmans.

La sylviculture fait de plus en plus appel à des inventaires précis liés à une cartographie pour orienter la gestion forestière (ventes de bois, expertises, évaluations et suivis), pour mettre en place les aménagements forestiers (évaluation des volumes sur pied et répartition par catégories) ou des projets particuliers comme les sites Natura 2000 (description des habitats en fonction des essences présentes pour une gestion spécifique).

Les inventaires forestiers sont généralement réalisés en plein (total) sur des surfaces limitées, ou par échantillonnage sur des placettes lorsque les superficies sont trop importantes. L'avantage de l'inventaire total est qu'il donne un aperçu réel des répartitions d'essences et des quantités sans passer par une étude d'échantillonnage forcément approximative. Mais ces inventaires sont généralement très coûteux vu la mise en place et la quantité de

mesures à effectuer sur le terrain. De plus, les mesurages de terrain sont souvent problématiques sur de grandes zones lorsque plusieurs saisons de végétation sont nécessaires pour couvrir la zone d'étude, ce qui peut induire des changements dus à la croissance des arbres mais aussi aux exploitations ou aux chablis. Enfin, les inventaires forestiers classiques sont malheureusement limités en informations spatiales et cartographiques des essences forestières.

Le récent développement des technologies de télédétection en termes de précision donne de nouvelles perspectives pour la réalisation d'inventaires forestiers sur de larges régions. La télédétection aérienne ou satellitaire est l'acquisition d'informations respectivement à bord d'un avion ou d'un satellite. Ces techniques permettent de couvrir de grandes surfaces au moyen du même instrument de mesure (imagerie ou laser) en un temps réduit. Il est donc très utile d'exploiter le potentiel de ces nouvelles technologies pour optimiser la cartographie forestière, en améliorer la précision et en réduire les coûts.

OBJECTIF

L'objectif de ce projet est de développer une solution efficace d'inventaire forestier à l'arbre près :

- sur de grandes superficies, parfois difficiles d'accès ;
- avec localisation des arbres, définition de leur essence et leur répartition ;
- avec des estimations de hauteurs d'arbres, de nombres à l'hectare, de gros-seurs et de volumes sur pied permettant des études dendrométriques ;

- donnant des informations approchées d'un inventaire total tout en réduisant le nombre de mesures de terrain et ainsi leur coût ;
- proposant un outil d'aide à la gestion forestière par analyse des informations cartographiques liées à une base de données de l'inventaire forestier.

DONNÉES DE BASE

La réalisation d'un inventaire à l'arbre près nécessite des informations issues non seulement de la télédétection mais aussi du terrain. Ces données de base comprennent les images aériennes ou satellitaires, les mesures du laser aéroporté ainsi que les informations de terrain localisées au GPS. Toutes ces informations sont géoréférencées ce qui signifie qu'elles ont une localisation géographique. Cela permet de relier efficacement les informations aériennes ou satellitaires avec les mesures de terrain.

Les images aériennes ou satellitaires (*Quickbird*) sont des images à très haute résolution spatiale. Pour les images aériennes (figure 1), la taille d'un pixel sur l'image représente 50 cm en réalité. Ces images sont dites multispectrales car elles comprennent les couleurs naturelles ainsi que l'infrarouge, très utile pour distinguer les différentes essences forestières. L'information spectrale ou couleur de l'image est ainsi reliée à une essence forestière.

Le laser aéroporté, appelé LIDAR (*Light Detection and Ranging*), effectue différentes mesures d'altitude de grande précision non seulement de la canopée forestière (cimes des arbres) mais également du sol. Étant donné qu'on obtient une grille ré-

gulière de mesures d'altitude, on parle de *Modèle Numérique de Surface* (MNS) pour la canopée et de *Modèle Numérique de Terrain* (MNT) pour le sol. La différence entre ces deux mesures nous renseigne ainsi sur la hauteur des arbres, le *Modèle Numérique de Hauteur de Canopée* (MNBC).

Finalement, les mesures de terrain sont indispensables pour effectuer des sites d'entraînements représentatifs des peuplements. Ces placettes d'inventaire sont localisées au moyen d'un GPS afin de calibrer la méthode avec des mesures locales et ainsi de calibrer la méthode de traitement des images et d'estimation dendrométrique.

TECHNOLOGIES ET PERFORMANCES

La méthodologie développée combine différentes technologies de pointe pour réaliser (1) un inventaire à l'arbre près, (2) par télédétection, (3) avec estimation dendrométrique.

Inventaire à l'arbre près

Cette approche d'inventaire à l'arbre près se base sur une délimitation automatique des cimes d'arbre. La technique développée est basée sur des algorithmes de traitement d'image suivant des vallées d'ombre entre les cimes sur une image aérienne^{3,4}. Chaque cime (figure 2) est ainsi identifiée ce qui permet d'effectuer des comptages de tiges, des estimations du diamètre des cimes et de la fermeture du couvert, en distinguant les essences.

Inventaire par télédétection

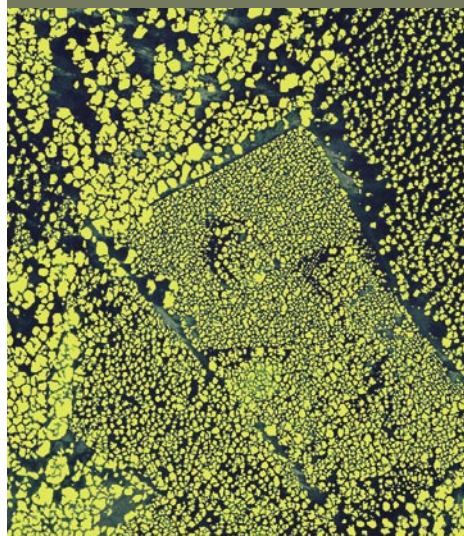
Les images aériennes ou satellitaires sont classifiées sur base d'une signature spectrale calibrée par des placettes sélec-

tionnées pour chaque essence forestière (figure 3). Pour chaque cime, une essence forestière est attribuée en fonction de ses propriétés spectrales. Sur base du parcellaire forestier, plusieurs informations seront

Figure 1 – Image aérienne en couleurs naturelles et en fausses couleurs infrarouges.



Figure 2 – Délimitation des cimes des arbres réalisée par la méthode d'inventaire à l'arbre près.



extraites de la classification pour caractériser chaque parcelle. Ces paramètres comprennent des informations sur la parcelle (surface, densité, taux de recouvrement, diamètre de cimes...) en séparant les essences forestières.

Inventaire avec estimation dendrométrique

Le LIDAR fournit une représentation en trois dimensions de la forêt qui renseigne la hauteur de tous les arbres. Cette information couplée à l'image permet d'estimer le stade de croissance, la hauteur dominante ainsi que le volume sur pied. Ces paramètres sont estimés sur base de relations¹⁻² entre les informations de télédétection et les mesures sur les échantillons de terrain.

La performance de cette méthode a été évaluée sur un site pilote de 1 700 hectares situé sur les communes de La Roche-en-Ardenne et Houffalize. Plusieurs indicateurs de performance ont été calculés pour estimer la qualité de la qualification des essences, du comptage des cimes et des estimations dendrométriques. La distinction des huit essences forestières principales du site d'étude a été également évaluée sur mille neuf cents cimes qualifiées sur le terrain. Quatre-vingt-quatre pour cent des cimes ont été correctement classifiées avec une performance supérieure à 95 % pour les conifères. Sur deux parcelles de validation (une feuillue et une résineuse), le nombre de tiges recensées par inventaire total était légèrement supérieur (moins de 5 %) au comptage estimé par la méthode. Les estimations dendrométriques (hauteur dominante et volume) ont également été comparées sur ces deux parcelles de référence et les résultats sont généralement satisfaisants (10 à 20 % de

différence) à très bons pour les résineux (5 % de différence). Ces chiffres devraient encore s'améliorer grâce à l'affinage de la méthodologie avec des informations complémentaires de terrain.

PRODUITS PROPOSÉS

Le produit proposé est un inventaire forestier de précision, à l'arbre près. L'inventaire est géoréférencé, cartographique. Il fournit donc une localisation des individus. L'inventaire précise les essences avec un bon taux de confiance. Cet inventaire fournit une estimation des hauteurs et des cubages pour évaluer les volumes de production.

L'inventaire est proposé sous plusieurs formes en fonction des besoins et des demandes :

- cartographie pour la localisation (figure 3) ;
- base de données pour la qualification (description des peuplements : essences, nombre d'arbres, densités, hauteurs dominantes, volumes...) (figure 4) ;
- outil de gestion pour une exploitation précise (figure 5) ;
- données de télédétection (orthophoto et MNT) utiles pour d'autres applications cartographiques.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les développements récents des technologies de télédétection, de classification et LIDAR ont permis à Sodiplan et Bemelmans de proposer une solution innovante pour la réalisation des inventaires forestiers. La méthode mise au point permet de produire un inventaire de précision avec une qualification fiable des essences

Figure 3 – Cartographie à l'arbre près avec identification des essences caractérisées par des couleurs différentes.



Figure 4 – Informations de la base de données liées à la cartographie (surface en hectare, densité en tige par hectare, hauteur dominante en mètre, volume en mètre cube par hectare, surface terrière en mètre carré par hectare). Les essences présentées sont l'épicéa (EP), le hêtre (HE), le chêne (CH), le douglas (DO) et le sapin (AB).

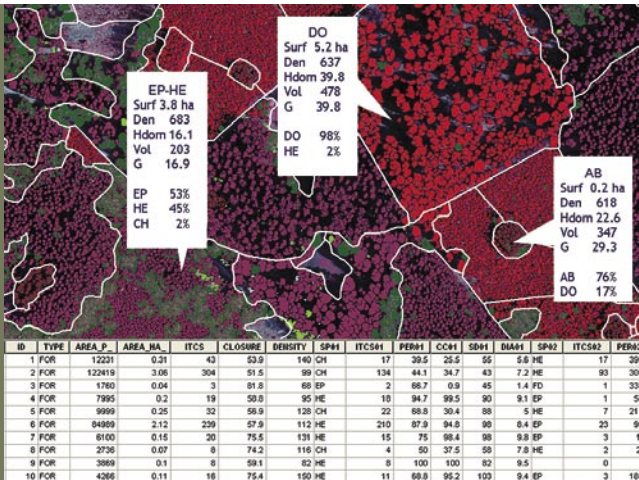
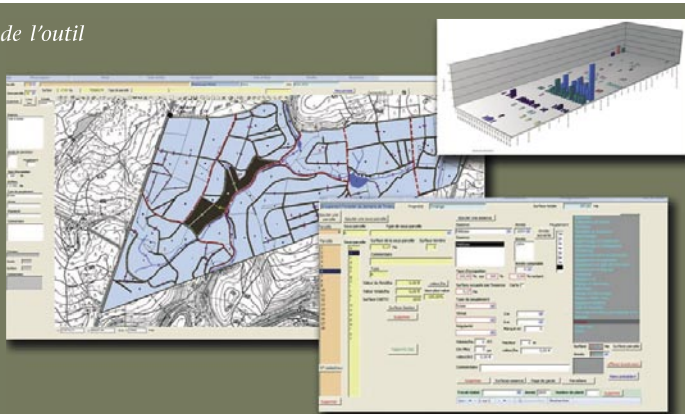


Figure 5 – Illustration de l'outil d'aide à la gestion forestière intégrant la cartographie et les résultats de l'inventaire sous forme d'une base de données. Des tableaux et statistiques peuvent être extraits pour évaluer le patrimoine et planifier les travaux sylvicoles.



sur de grandes étendues dans des délais restreints qui prennent en compte les exigences saisonnières. Les photos ou images satellitaires peuvent avantageusement être utilisées pour différentes applications sur une même zone d'étude en fonction des besoins de chaque acteur (gestion, inventaire, stock, état sanitaire, Natura 2000, aménagement du territoire, stock de carbone...).

Les produits proposés donnent aux gestionnaires forestiers les informations essentielles pour un travail performant. La connaissance et le suivi des peuplements forestiers permettent aux propriétaires privés ou publics une gestion efficace et la possibilité de prendre des décisions engageant l'avenir de leur forêt. Les agents en charge des programmes tels que Natura 2000 ou études de l'évolution ou évaluation de stocks de bois sur pied trouveront en cette méthode le moyen d'analyser et de détailler des surfaces importantes à un même moment en réduisant les coûts en moyens et en personnel.

Les effets du changement climatique sur l'état sanitaire des forêts nécessitera de modifier le type de gestion et donc de prendre des décisions importantes par exemple sur le terme d'exploitabilité de certains peuplements en plein ou en partie. Un suivi sous forme de veille sanitaire au moyen d'images infrarouges peut donner des informations utiles quant au degré de dépérissement ou de risques que présente un peuplement. Alors que ce type d'information est délicat à obtenir sur le terrain en termes de quantité, localisation et proportion, un outil de suivi forestier qui se base sur un inventaire forestier à l'arbre près sera très utile pour prendre les bonnes décisions au bon moment. ■

BIBLIOGRAPHIE

- ¹ CHEN Q., GONG P., BALDOCCHI D., TIAN Y. [2007]. Estimating Basal Area and Stem Volume for Individual Trees from Lidar Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **73** : 1355-1365.
- ² DAGNÉLIE R., PALM P., RONDEUX J., THILL A. [1999]. *Tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers*. Les Presses Agronomiques de Gembloux, 128 p.
- ³ GOUGEON F.A. [1995]. A crown-following approach to the automatic delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images. *Canadian Journal of Remote Sensing* **21** : 274-284.
- ⁴ LECKIE D., GOUGEON F., WALSWORTH N., PARADINE D. [2003]. Stand delineation and composition estimation using semi-automated individual tree crown analysis. *Remote Sensing of Environment, Elsevier Science* **85** : 355-369.

VALÉRY BEMELMANS

valery@bemelmans.eu

Daniel Bemelmans s.p.r.l.

Les Villettes, 32

B-4990 Lierneux

www.bemelmans.eu

BAUDOUIN DESCLÉE

bd@sodiplan.be

Sodiplan s.a.

Parc scientifique Créalys

Rue Phocas Lejeune, 8

B-5032 Gembloux

www.sodiplan.be