

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 159 (2008)

**Heft:** 2

**Artikel:** Apports et perspectives de la technologie LiDAR aéroporté pour la pratique forestière

**Autor:** Gachet, Gilles / Junod, Pascal

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1097864>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 01.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Apports et perspectives de la technologie LiDAR aéroporté pour la pratique forestière

Gilles Gachet  
Pascal Junod

Laboratoire de Systèmes d'Information Géographique, École polytechnique fédérale de Lausanne (CH)  
3<sup>e</sup> arrondissement forestier, canton de Neuchâtel (CH)\*

## Contributions and perspectives of airborne LiDAR technology for forestry

LiDAR is an optical remote sensing system that determines the distance to an object or to a surface by measuring the time delay between the transmission of a pulse and the detection of the reflected signal. A wide variety of applications arise from this technology which facilitate a better knowledge of land use. In forestry, airborne LiDAR systems provide, in addition to an accurate model of the relief, a 3D representation of the forest structure at various scales. This contribution presents the foundations of LiDAR technology and illustrates several forestry applications: underneath vegetation topography, canopy height and texture, vegetation delineation and stand delimitation. This contribution also outlines the potential of airborne laser scanning for forestry.

**Keywords:** Laserscanning, integrated forest management, multifunctional silviculture, forest structure, canopy, forest topography, Canton Neuchâtel, Switzerland

**doi:** 10.3188/szf.2008.0019

\*Courtils 28, CH-2016 Cortaillod, courriel pascal.junod@ne.ch

Les systèmes laser aéroportés, connus sous l'acronyme «LiDAR» (termes techniques voir tableau 1) permettent d'obtenir rapidement, et à des coûts relativement modestes, des données altimétriques précises. Le principe d'acquisition repose sur la mesure du temps que met un faisceau laser pour parcourir le chemin aller et retour entre la plate-forme aéroportée (avion ou hélicoptère) et le terrain qu'elle survole. Les systèmes de mesure étant couplés à un mécanisme de balayage du faisceau, il est possible de couvrir rapidement de grandes surfaces avec une densité élevée de points (de 1 à plus de 10 points par mètre carré). La grande précision planimétrique et altimétrique (environ 30 cm) des données, ainsi que la vaste gamme d'outils informatiques pour les traiter, offrent des perspectives prometteuses dans de nombreux domaines, spécialement le domaine forestier.

Cet article a pour objectif de présenter les modèles numériques d'altitude LiDAR, d'en expliquer le mode d'acquisition, les principales propriétés, et d'en démontrer l'utilité et le potentiel pour la pratique forestière. Une série de traitements ont été réalisés sur des données de la forêt neuchâteloise, afin d'illustrer le plus concrètement possible de quelle manière cette technologie est à même d'aider le sylviculteur à mieux expérimenter et documenter ses actions, l'aménagiste à mieux observer, localiser, quantifier et contrôler l'évolution de la forêt.

## Technologie LiDAR aéroporté

### Bref historique

Les premiers développements de systèmes laser aéroportés remontent aux années 70 avec les essais de la NASA et quelques autres expériences aux USA et au Canada (Ackermann 1999). L'université de Stuttgart a ensuite réalisé d'importantes recherches dans les années 80, jusqu'au début des années 90, avec un profileur laser aéroporté dépourvu de mécanisme de balayage du faisceau. Les travaux portaient essentiellement sur la précision géométrique des données (St-Onge 2004). Très rapidement, des scanners laser à balayage se sont généralisés, permettant de collecter des informations sur une large bande de terrain le long de la ligne de vol.

Dès les années 90, les premiers systèmes LiDAR aéroportés étaient déjà utilisés pour des applications forestières avec, comme principale préoccupation, la détermination d'un modèle numérique de terrain en forêt (Kraus & Pfeifer 1998). Par la suite, les applications se sont diversifiées et les recherches ont porté sur l'estimation de la hauteur moyenne des peuplements, l'approximation du volume de bois ou encore la classification d'essences forestières (Hyypä et al 2001, Persson et al 2002, Brandtberg et al 2003, Popescu & Wynne 2004).

En parallèle aux systèmes laser aéroportés à impulsion (pulse laser), des systèmes laser aéroportés et satellitaires à ondulacion continue (continuous wave) sont apparus. Ce type de système LiDAR étant encore peu répandu, nous ne le développerons pas davantage dans cet article. Citons néanmoins en exemple le système LVIS (Laser Vegetation Imaging Sensor) qui permet de réaliser plusieurs recherches importantes dans le milieu forestier, dont la cartographie de la biomasse, la hauteur de la canopée et la structure du sous-étage en Amazonie en 2003<sup>1</sup>.

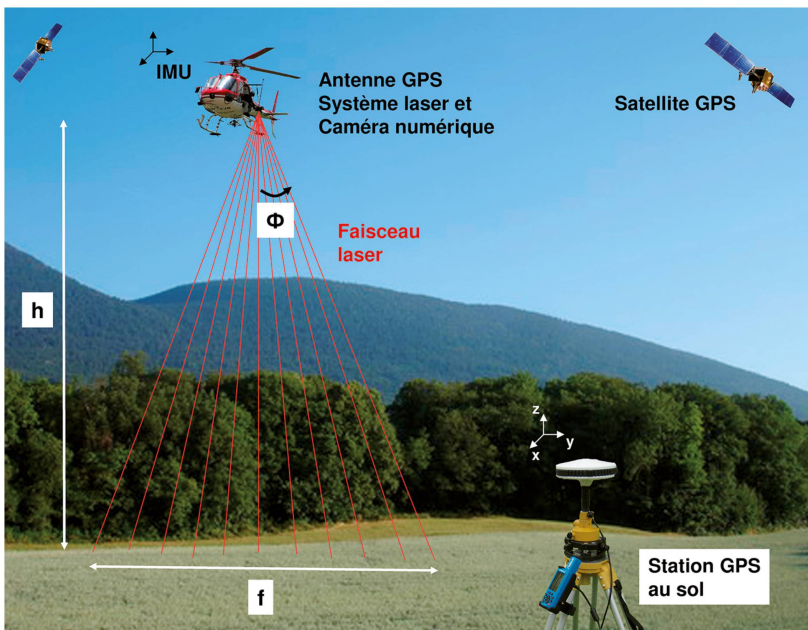
<sup>1</sup> [http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD\\_LVIS\\_1998\\_CEAM.html](http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_LVIS_1998_CEAM.html), octobre 2007.

### Principe d'acquisition des données

Les composants principaux d'un système LiDAR aéroporté sont: une unité de mesure laser, un GPS et une centrale inertielle (IMU). Le principe de fonctionnement est relativement simple (figure 1): le scanner laser est monté sur une plate-forme aéroportée et émet des impulsions, généralement dans le proche infrarouge (les longueurs d'ondes utilisées, comprises entre 1064 et 1500 nm, sont sans effet sur les êtres vivants), qui sont ensuite réfléchies ou partiellement absorbées selon la nature du point de contact. Les impulsions retour sont enregistrées par un capteur. La distance entre la source du laser et le sol, ou tout autre objet, est déterminée par le temps que met chaque impulsion laser à effectuer un aller-retour. A partir du temps mesuré, il est aisé de calculer

GPS	Global Positioning System: système de navigation radio, composé de 24 satellites et d'une base terrestre, qui permet de fournir à un abonné sa position précise en trois dimensions (latitude, longitude, altitude), sa vitesse et l'heure.
IMU	Inertial Measurement Unit (centrale inertielle): appareil de navigation permettant de calculer en temps réel l'évolution du vecteur vitesse, de la position du véhicule à bord duquel il est monté, ainsi que son attitude (roulis, tangage, lacet). Une centrale à inertie est composée de gyroscopes, des capteurs d'accélération et de vitesse angulaire.
Laser	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (amplification de la lumière par émission stimulée de radiations): ce dispositif à électrons permet de créer un étroit faisceau de lumière cohérente.
LiDAR	Light Detection And Ranging: technique de télédétection reposant sur l'émission-réception d'une impulsion laser (généralement dans le proche infrarouge). A l'instar de St-Onge (St-Onge, 2004), nous n'avons pas cherché à traduire cet acronyme qui désigne essentiellement le principe de télémétrie laser, mais aussi par extension l'appareil de télémétrie lui-même. Synonyme: laser scanning. L'acronyme LADAR (Laser Detection and Ranging) est aussi utilisé. On distingue deux grandes classes de systèmes LiDAR qui se différencient par le principe d'enregistrement du signal retour (rétrodiffusé): 1. Les systèmes à impulsion enregistrent un à plusieurs échos significatifs (au-delà d'un certain seuil) pour une impulsion laser donnée. 2. Les systèmes à ondulacion continue enregistrent la totalité du signal retour de chaque impulsion laser.
MNA	Modèle Numérique d'Altitude: représentation de la topographie de la Terre dans un format numérique. Ce terme générique englobe aussi bien les MNT, les MNS que leurs dérivés. En anglais: Digital Elevation Model (DEM).
MNC	Modèle Numérique de la Canopée: représentation numérique du territoire (MNS) dans un contexte exclusivement forestier. En anglais: Digital Canopy Model (DCM).
MNH	Modèle Numérique de Hauteur: représentation numérique du territoire calculée par la soustraction du MNT au MNS. Chaque pixel a pour valeur une information de hauteur. En anglais: Digital Height Model (DHM), l'acronyme nDSM (normalized Digital Surface Model) est également utilisé.
MNS	Modèle Numérique de Surface: représentation numérique du territoire prenant en compte le terrain et les objets de surface (bâtiments, arbres, ponts, etc.). Chaque pixel a pour valeur une information d'altitude par rapport au niveau de la mer. En anglais: Digital Surface Model (DSM).
MNT	Modèle Numérique de Terrain: représentation numérique du territoire «nu» sans les objets de surface. Chaque pixel a pour valeur une information d'altitude par rapport au niveau de la mer.
Point brut	Représentation spatiale (vecteur) d'un triplet de coordonnées LiDAR. On parle de nuage de points bruts lorsqu'une multitude de triplets de coordonnées sont représentés ensemble.
Portée du laser	Distance opérationnelle maximale entre la plate-forme aéroportée (le système LiDAR) et le terrain.
Raster	Données images où l'espace est divisé de manière régulière en petits carrés (pixels).
Réflectance	Rapport de l'intensité du rayonnement réfléchi au rayonnement incident sur une surface. Le suffixe «-ance» indique qu'il s'agit d'une propriété de la surface qui réfléchit le rayonnement.
Unité de mesure laser	Une unité de mesure laser comprend le télémètre à laser pulsé, les optiques, le scanner (qui permet le balayage latéral du faisceau laser) et le système de détection.

Tab. 1 Lexique relatif à la technologie LiDAR.



**Fig. 1** Principe d'acquisition des mesures laser. Ce montage illustre un système LiDAR aéroporté en phase d'acquisition. Le système de balayage du faisceau permet de collecter un grand nombre de mesures perpendiculairement à la ligne de vol. Il en résulte une large bande, ou fauchée (*f*), dont la largeur va dépendre principalement de l'angle maximum de balayage du système ( $\phi$ ) et de la hauteur de vol (*h*).

ler la distance de la cible, puisque nous savons qu'une impulsion lumineuse se déplace à raison de  $3 \times 10^8$  m par seconde<sup>2</sup> et que la distance parcourue est égale à la vitesse divisée par le temps. En connaissant la position précise de la source laser par le GPS et la direction de son inclinaison grâce à la centrale inertielle, il est possible de calculer une position et une altitude pour chaque écho. Un fichier de coordonnées (*x*, *y*, *z*) est alors produit. En plus des coordonnées, la plupart des systèmes enregistrent un quatrième para-

<sup>2</sup> Cette vitesse étant sujette à quelques corrections atmosphériques.

mètre: la réflectance de l'impulsion laser, aussi appelée l'intensité du signal retour. L'analyse de cette information s'avère encore assez peu étudiée.

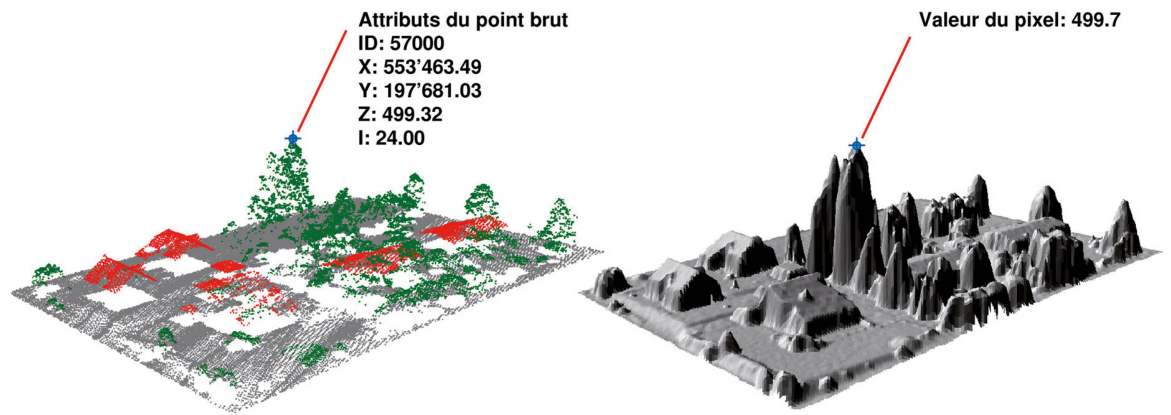
Malgré le fait que le faisceau laser soit très peu divergent (0.30 à 4.5 mrad pour la majorité des systèmes), le diamètre de la tache au sol du faisceau peut varier de quelques décimètres à plus d'un mètre selon la hauteur de vol. Il est ainsi possible qu'une unique impulsion rencontre différents obstacles avant d'atteindre le sol et que, par conséquent, plusieurs réflexions soient détectées par le récepteur (figure 2). En forêt, par exemple, une première réflexion se fera sur la canopée, les suivantes sur les arbres du sous-étage ou les branches basses et une dernière lorsqu'une partie du faisceau atteindra le sol. Selon le système utilisé, il sera possible d'enregistrer le premier écho ou le dernier écho uniquement, les deux à la fois, ou, pour les systèmes les plus performants, plus de 5 retours pour une même impulsion.

### Traitement des données

Les fichiers de points bruts étant peu adaptés aux logiciels DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) ou SIG (Systèmes d'Information Géographique) de bureau, car très volumineux, ils sont souvent convertis en une grille régulière plus appropriée à l'analyse et à la visualisation. Cette conversion de données vecteur en données raster se réalise par différents algorithmes d'interpolation utilisant des mailles de tailles variées selon la précision visée (Smith et al 2003). Notons que la transformation des points bruts en une grille régulière entraîne une généralisation du modèle qui peut être problématique selon l'objectif recherché. Par exemple, l'identification des structures étagées ne pourra se faire que par une analyse de la distribution des échos LiDAR à travers le couvert forestier. Une grille régulière ne donnera qu'une image du toit de la végétation sans informer de la présence du sous-bois (figure 3).

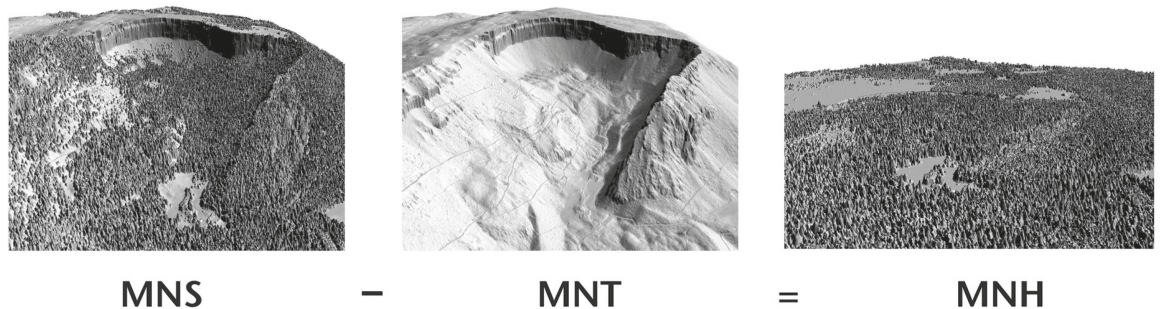
**Fig. 2** Interaction des impulsions LiDAR avec les objets de surface. À gauche, enregistrement de plusieurs échos en milieu boisé. À droite, vue de profil à travers le nuage de points bruts dans un secteur mixte (bâtiment et végétation).





**Fig. 3** Comparaison, dans une même perspective, entre un extrait de données LiDAR vecteur (à gauche) et raster (à droite). Le modèle vecteur présenté se compose de 54 882 points bruts pour une surface de 8250 m<sup>2</sup>, soit une densité d'environ 6.5 pts/m<sup>2</sup>. Le modèle raster a une résolution spatiale (taille des cellules du raster) de 50 cm.

Dans un fichier vecteur, chaque objet (point brut) peut être décrit, en plus des attributs intrinsèques (géométrie, etc.), par autant d'attributs que nécessaire (définis par l'utilisateur): un identifiant (ID) ou encore la valeur d'intensité du signal retour (I) pour notre exemple. Chaque objet est distribué de façon aléatoire dans l'espace. A l'inverse, un modèle numérique raster est constitué d'une maille régulière de cellules (ou pixels) pour lesquelles une seule thématique est attribuée. Dans le cas des MNA laser, il s'agira de l'altitude ou de la hauteur. Les modèles sont généralement géoréférencés, ce qui fait que l'on connaît précisément les coordonnées de chaque pixel.



**Fig. 4** Représentation tridimensionnelle des modèles numériques ombrés dérivés des données LiDAR, à l'exemple de la région du Creux du Van. © SITN ([www.ne.ch/sitn](http://www.ne.ch/sitn))

Grâce à des méthodes de classification<sup>3</sup> des points bruts, il est possible de séparer les échos au sol des échos sur les objets de surface (bâtiments, arbres...). On est ainsi en mesure de générer deux modèles distincts: un modèle numérique de terrain (MNT), basé sur les échos au sol, et un modèle numérique de surface (MNS), construit avec l'ensemble des points bruts collectés. Afin de tirer pleinement parti de ces modèles, il est généralement très utile de s'affranchir du relief pour ne conserver que l'information de hauteur des objets de surface. Cette opération est simplement réalisée par la soustraction: MNS moins MNT (figure 4). On obtient ainsi un modèle numérique de hauteur (MNH), nommé également modèle numérique de la canopée (MNC) lorsque l'on se situe en zone forestière. Le MNH constitue l'information source pour l'extraction des

sommets des houppiers, la détection des lisières ou encore la localisation de certains arbres isolés ou émergents.

#### Planification d'un vol laser

Affaire de spécialiste, la planification d'un vol laser nécessite une préparation minutieuse, afin de déterminer le meilleur compromis entre les paramètres inhérents au système LiDAR à disposition et ceux relatifs à la topographie du site d'investigation. Il s'agit notamment de prévoir un recouvrement optimal entre les lignes de vol, permettant d'assurer une distribution des points de mesure suffisante, aussi homogène que possible et conforme aux besoins. Dans ce contexte, la hauteur de vol, la vitesse de la plate-forme et la fréquence des impulsions laser sont autant de paramètres déterminants.

En milieu forestier, la saison à laquelle le vol sera réalisé va avoir une grande influence sur la qualité des données. Pour obtenir suffisamment de points au sol, il est impératif de voler en période de repos de la végétation, tout en se gardant d'inter-

<sup>3</sup> Ces méthodes reposent sur des algorithmes relativement sophistiqués, dépassant le cadre de cet article. Le lecteur intéressé pourra se référer aux contributions de (Kraus & Pfeifer 1998, Kraus & Pfeifer 2001, Vosselman 2000).

	Atouts	Limites
<b>Acquisition</b>	<p><i>Système actif</i>: acquisition de données lorsque le temps est légèrement brumeux ou durant la nuit. Ceci peut par exemple s'avérer précieux lorsque l'acquisition s'opère au voisinage de grands aéroports ayant un trafic diurne important.</p> <p><i>Rapidité</i>: numérisées lors du vol, les données peuvent être traitées et calibrées en temps réel, puis mises à disposition dans un intervalle de temps très court.</p> <p><i>Aéroporté</i>: possède un potentiel tout particulier dans les secteurs difficilement accessibles par voie terrestre.</p> <p><i>Précision</i>: les systèmes laser reposent sur une mesure de distance précise et permettent d'obtenir des données altimétriques fiables (Hyypä et al 2000).</p>	<p><i>Répartition souvent inégale des points bruts</i>: selon la topographie, la nature du balayage et le recouvrement plus ou moins précis des lignes de vol.</p> <p><i>Capteurs multiples</i>: la précision des mesures LiDAR repose pleinement sur les données de la centrale inertielle et du GPS.</p>
<b>Traitement</b>	<p><i>Classification sol/sursol</i>: à l'aide d'algorithmes de classification, il est possible d'extraire du modèle brut les éléments/objets composant le sursol (végétation, bâti...) afin de générer un modèle du terrain nu.</p>	<p><i>Classification</i>: exploitation des données délicates dans les secteurs topographiquement très tourmentés.</p> <p>Contrôle des traitements par des données externes: les outils de contrôle et de correction des mesures laser s'appuient généralement sur des paramètres externes (orthophotos par exemple).</p> <p><i>Gros volume des fichiers informatiques</i>: exige le recours à des logiciels ad hoc.</p>
<b>Mise en valeur</b>	<p><i>Échos multiples</i>: en paysages à composante boisée, l'interprétation de ces échos donne la possibilité de représenter, en 3 dimensions, la structure de la végétation.</p> <p><i>Méthode couvrante, multi-échelle et reproductible</i>: par rapport aux levés forestiers traditionnels, les données laser sont mises en valeur de façon automatisée et livrent des informations à l'échelle de l'arbre-individu (pour autant que la densité des points bruts soit suffisante), du peuplement, du massif, d'une région, voire d'un canton.</p>	<p><i>Pénétration du faisceau en végétation</i>: la qualité du MNT ainsi que les informations qui en sont dérivées dépendent d'une densité suffisante de points au sol. Un couvert végétal très dense occulte l'information du sol. Cette problématique est notamment le fait des surfaces de jeune forêt (stades d'évolution du fourré et du perchis).</p>

**Tab. 2** Synthèse des atouts et limites des systèmes LiDAR aéroportés.

venir lorsque l'enneigement est trop important. Si à l'inverse on désire un maximum de points sur la canopée, pour dériver par exemple des hauteurs de peuplement, un vol en période de végétation sera préférable.

En forêt, où le terrain change habituellement très peu, nous préconisons la solution suivante: réalisation – une fois pour tout – d'un MNT précis en hiver, complété par la suite de vols en été, permettant de capter au mieux la surface de la canopée (MNS).

#### Atouts et limites des systèmes LiDAR aéroportés

D'une manière générale, les systèmes laser aéroportés à impulsion présentent les atouts et limites résumés dans le tableau 2.

Si les limites liées à l'acquisition et au traitement des données sont susceptibles d'être largement atténuées par l'évolution technologique et le recours à des spécialistes, il n'en demeure pas moins que la diversité et la complexité du milieu forestier – par ailleurs garantes de sa durabilité – rendront toujours la description de son couvert fort exigeante. En sylviculture multifonctionnelle<sup>4</sup>, le LiDAR est un outil qui offre un regard complémentaire ainsi qu'une vue d'ensemble originale des structures et de la topogra-

phie. Nul doute qu'il saura séduire et faciliter la tâche du forestier soucieux de différencier, de contrôler ou de documenter son action de terrain.

#### Apports pour la pratique forestière

Les méthodes actuelles d'investigation et de description du couvert forestier sont généralement laborieuses et parfois difficilement reproductibles si elles reposent sur les compétences d'un petit nombre de personnes. De plus, elles se limitent couramment à une information à deux dimensions dérivée de l'image aérienne ou de levés terrestres (inventaires et descriptions spéciales, Biolley 1920). Le recours à la technologie LiDAR aéroporté ouvre la voie à la détection automatique de certains éléments structuraux essentiels de l'architecture forestière (clairières; secteurs de jeunes forêts; lisières; arbres dominants formant l'ossature des peuplements...). Bien que le geste sylvicole se pratique localement, au niveau de l'arbre et du peuplement, la gestion forestière inté-

<sup>4</sup> Voir les principes sylviculturaux du plan d'aménagement forestier cantonal neuchâtelois. [www.ne.ch/fne](http://www.ne.ch/fne), documents téléchargeables, octobre 2007.

grée et durable ne peut se passer d'une connaissance globale de l'ensemble du massif forestier en question. Dans ce contexte, les données LiDAR dispensent des informations pertinentes sur la forêt dans toute la gamme des échelles, de la résolution kilométrique à la résolution métrique.

Succinctement énumérées, les contributions majeures de la technologie LiDAR aéroporté à la pratique forestière sont les suivantes:

- Modélisation fine et fidèle du relief (MNT) (Kraus & Pfeifer 1998, Kraus & Rieger 1999, Hyypä et al 2005, Wack & Sletzl 2005).
- Positionnement précis des lisières forestières (produit RALF)<sup>5</sup>.
- Extraction des sommets et de la largeur des houppiers, localisation et détermination de hauteur d'arbres isolés ou émergents (Hyypä & Inkinen 1999, St-Onge 2000, Pitkänen 2001, Persson et al 2002, Pitkänen et al 2004, Lim & Treitz 2002, Morsdorf et al 2003).
- Illustration et classification du type d'essences (pourcentage résineux/feuillus; Holmgren & Persson 2004).
- Recensement et quantification des trouées dans le couvert forestier (Mathys 2005).
- Estimation de la hauteur moyenne des peuplements (Naesset & Bjerknes 2001, Popescu et al 2004).
- Description de la structure du sous-étage (Riano et al 2003, Maltamo et al 2005, Goodwin et al 2006).
- Approximation du volume de bois et de la biomasse (Nelson et al 1988, Nilsson 1996, Naesset 1997, Holmgren et al 2003, Maltamo et al 2005).
- Détection des arbres prélevés et quantification de la croissance forestière (Yu et al 2004).
- Le calcul de variables statistiques et d'indicateurs à partir des données LiDAR, par exemple: taux de boisement, longueur de lisière...

## Exemples de mise en valeur des données LiDAR

### Données utilisées

L'objectif de ce chapitre est d'illustrer le potentiel des MNA laser pour la gestion des forêts et des pâturages boisés. Il s'inspire d'une série d'analyses consécutives au vol réalisé par l'Office fédéral de topographie (Swisstopo), dans le cadre du projet SAU<sup>6</sup>. Ce jeu de données a été collecté pour le canton

<sup>5</sup> RALF = Reconnaissance automatique des limites de forêts. [www.cadastre.ch/fr/projet/lwn](http://www.cadastre.ch/fr/projet/lwn), octobre 2007.

<sup>6</sup> SAU = Surfaces agricoles utiles. [www.cadastre.ch/fr/projet/lwn](http://www.cadastre.ch/fr/projet/lwn), octobre 2007

Système LiDAR	TerraPoint ALTMS 2536
Paramètres techniques	
Mécanisme	Miroir rotatif
Longueur d'onde	1064 nm
Fréquence de scannage	43 Hz
Fréquence d'impulsion	20 kHz
Divergence du rayon	< 4.5 mrad
Angle de balayage	± 18°
Nombre d'échos enregistrés	4 retours
Classe de sécurité	Classe IV
Portée du laser	env. 1000 m
Paramètres des vols effectués sur le canton de Neuchâtel	
Date de vol	1 <sup>er</sup> vol: 1 <sup>er</sup> février 2001 2 <sup>ème</sup> vol: 16 juin 2002
Hauteur de vol	915 m
Densité des points	~1 pt/m <sup>2</sup>
Largeur de bande	600 m
Empreinte au sol (diamètre)	1.2 m
<b>Coûts indicatifs par modèle</b> (D'après les tarifs swisstopo, octobre 2007)	Modèle vecteur (points bruts): Fr. 80.– par km <sup>2</sup> Modèle raster (2 m de résolution): Fr. 60.– par km <sup>2</sup>

**Tab. 3** Caractéristiques principales du système LiDAR aéroporté qui a servi à l'acquisition des données présentées dans la suite de cet article.

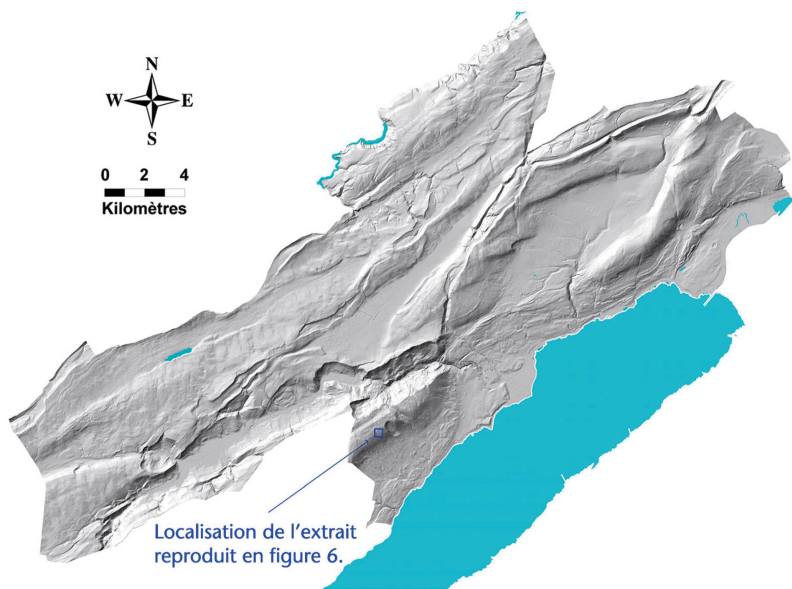
de Neuchâtel en 2001 puis en 2002, avec le système TerraPoint ALTMS (tableau 3). Ce type de données est disponible pour toutes les surfaces du pays dont l'altitude est inférieure à 2000 m, celles-ci ayant fait l'objet de relevés aériens (Luethy & Stengele 2005).

Comme il a été mentionné en introduction, le filtrage du MNT est réalisé par des algorithmes de classification automatiques (Axelsson 1999, Sithole & Vosselmann 2003). Les modèles utilisés ici ont été classifiés, puis validés au niveau de la Confédération (Artuso et al 2003).

### Topographie sous le couvert forestier

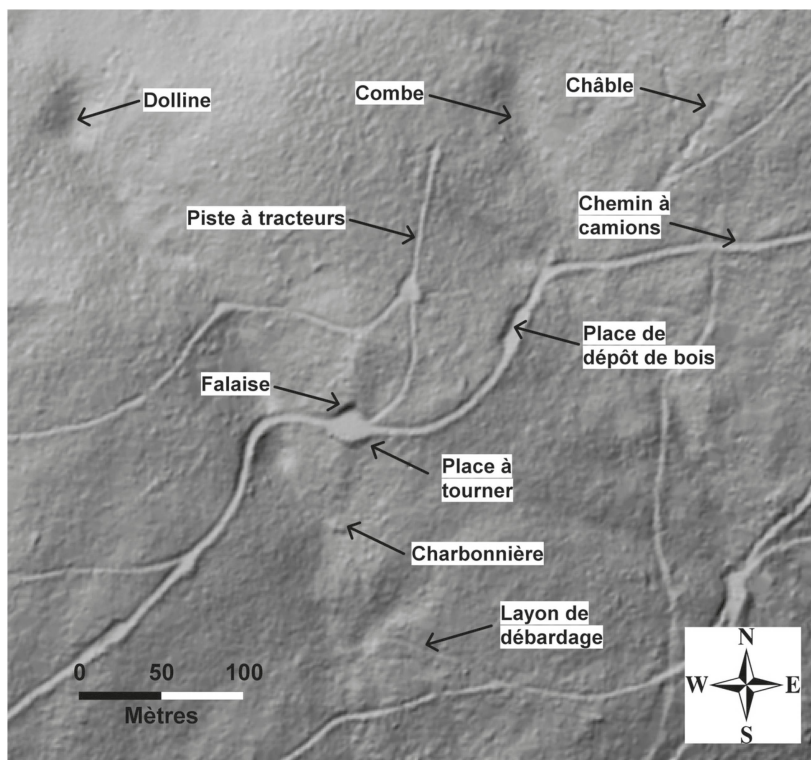
Une première mise en valeur possible des MNA laser consiste à simuler le relief par l'ombrage du MNT et analyser visuellement les caractéristiques géomorphologiques très riches sur les modèles à haute résolution. Cette représentation fidèle du terrain permet d'identifier de nombreux éléments géographiques d'orientation et d'organisation. Les figures 5 et 6 illustrent le potentiel multi-échelle d'un MNT dérivé des données LiDAR.

Pour la mise à jour des cartes forestières, le MNT s'avère d'un très grand apport. En plus des éléments pointés sur la figure 6, il est souvent possible d'y reconnaître: les replats, les collines, les talus, les ruptures de pente, les chemins creux, les ravins, les marnières, les carrières, les fours à chaux, ainsi que moult détails du relief.



**Fig. 5** Vue globale du MNT laser ombré, à l'échelle du canton de Neuchâtel. Nombre de points bruts pris en compte: environ 300 mio (env. 1pt / 2 m<sup>2</sup>). Résolution spatiale: 25 m. © SITN ([www.ne.ch/sitn](http://www.ne.ch/sitn))

Malheureusement, la qualité du MNT – dont dépend largement la précision du MNH – n'est pas homogène sur l'ensemble du territoire. Certains secteurs souffrent d'une généralisation excessive du MNT causée, avant tout, par une densité trop faible de points au sol (Luethy & Stengele 2005).



**Fig. 6** Extrait agrandi du MNT de la figure 5, à une échelle opérationnelle pour la gestion forestière. Le massif carré illustré ici correspond à une surface de 25 ha. Bien que la forêt recouvre presque l'entier de ce périmètre, plusieurs éléments du terrain y sont précisément restitués. Résolution spatiale: 1 m. © SITN ([www.ne.ch/sitn](http://www.ne.ch/sitn))

## Hauteur, texture et dynamisme de la canopée

Le calcul d'un MNH permet de faciliter la différenciation et la mise en évidence de certains objets. Le choix d'une palette de couleurs adéquates appliquée à l'ombrage du MNH permet notamment d'identifier rapidement des caractéristiques spécifiques aux peuplements composant une division: granulométrie de la canopée, localisation des arbres dominants, trouées, clairières, etc. La figure 7 représente un modèle numérique de hauteur, à l'exemple du massif de Charcotet (commune de Bevaix NE, coordonnées 551 500/197 000). Massif mixte de 50 ha, à dominance de chêne, rajeuni de façon décentralisée, au gré des opportunités liées principalement aux glandées.

Ce modèle souligne la grande rugosité de la canopée à l'échelle du massif et confirme clairement la position des lisières externes. Il apporte également une contribution à la délimitation des différents peuplements (aux transitions le plus souvent diffuses) ainsi que d'un secteur de chênaie buissonnante. Il est possible d'y reconnaître les diverses structures de la voûte forestière, les puits de lumière au sol, le type de fermeture (horizontale ou irrégulière) des peuplements ainsi que certains arbres aux fonctions particulières.

La figure 8 illustre un modèle numérique de hauteur, calculé pour la division 8 de la forêt communale de Bevaix (coordonnées 551 150/198 750). Cette unité d'aménagement d'une surface de 9.5 ha, dominée par le hêtre, comportait (en 2001) une mosaïque de 12 peuplements délimités par le forestier (traits noirs).

Dans ce secteur, un second jeu de données LiDAR a été capté le 30 juin 2005 par le système Scan2map<sup>7</sup>. La comparaison des deux jeux de données (figure 9) permet de mettre en évidence le dynamisme du couvert forestier (par exemple la croissance en hauteur ou le prélèvement de grands arbres).

Très utile pour l'appréciation de la hauteur des arbres dominants, ce genre de modèle ne livre toutefois aucune indication pertinente sur les espèces en présence (9 sur l'hectare examiné ici) et encore moins sur le nombre de tiges ou sur la distribution des diamètres.

## Limites de couvert

La délimitation semi-automatique du couvert boisé sur des bases objectives (calculables et reproductibles) constitue un défi particulièrement intéressant. A la fin de l'année 2002, le Laboratoire de Systèmes d'Information Géographique de l'EPFL (LaSIG) a été mandaté par Swisstopo pour étudier une mé-

<sup>7</sup> <http://topo.epfl.ch/laserscanning/system.en.php>, laboratoire de topométrie, EPFL, octobre 2007.

thodologie permettant de calculer le taux de boisement sur les pâturages boisés en utilisant pour données sources les MNA laser. Cette recherche a permis de mettre en place un procédé reposant sur une approche combinée: une détection individuelle des

sommets permet de localiser de manière efficace les arbres isolés, alors qu'un seuillage<sup>8</sup> du MNH permet d'extraire les contours des groupements boisés. Afin d'attribuer une surface de couvert aux arbres isolés, un modèle mathématique simple, basé sur un échantillonnage statistique, a été défini, reliant la hauteur du sommet observé sur le MNH au rayon de la couronne de l'arbre. Cette approche permet de passer d'une information ponctuelle de hauteur à un modèle circulaire d'arbre de manière à estimer une surface de couvert (figure 10).

Une élimination justifiée des surfaces qui auraient été générées par des bâtiments nécessite encore l'intervention d'un opérateur. Celui-ci doit identifier, sur la base d'une orthophoto, les secteurs critiques et, le cas échéant, procéder à la correction du fichier vecteur.

### Délimitation des peuplements

Pour le praticien forestier, le peuplement représente une unité importante qui conditionne le traitement sylvicole spécifique et oriente les prélèvements. Selon l'intensité de la gestion et la complexité des mélanges, un peuplement peut occuper une aire de quelques ares à plus de 10 hectares. Il s'agit d'une entité dynamique (dans le temps et dans l'espace) dont les bordures sont fastidieuses à situer par des relevés terrestres. La «vue d'en haut et en profondeur» apportée par la technologie LiDAR aéroporté offre donc une réelle contribution à leur délimitation.

Le MNH informe sur la hauteur du couvert (tons de gris) mais offre également une très bonne information sur l'hétérogénéité du toit de la canopée. Une observation attentive du MNH permet par exemple de discerner les structures pommelées inhérentes aux secteurs feuillus des structures plus granuleuses typiques des forêts de résineux. Le potentiel des modèles LiDAR pour la délimitation automatique des peuplements basée sur la recherche de structures homogènes en hauteur et en texture a été testé à travers une étude réalisée avec le logiciel Definiens Professional 5.0. Ce logiciel a été spécifiquement choisi car les algorithmes implantés sont particulièrement adaptés à la gestion des images à très haute résolution<sup>9</sup>.

En plus d'exploiter l'information spectrale, le contexte spatial du pixel est pris en compte. Plus concrètement, le logiciel procède à une classification par «Croissance de région»<sup>10</sup>. Un segment naît d'un

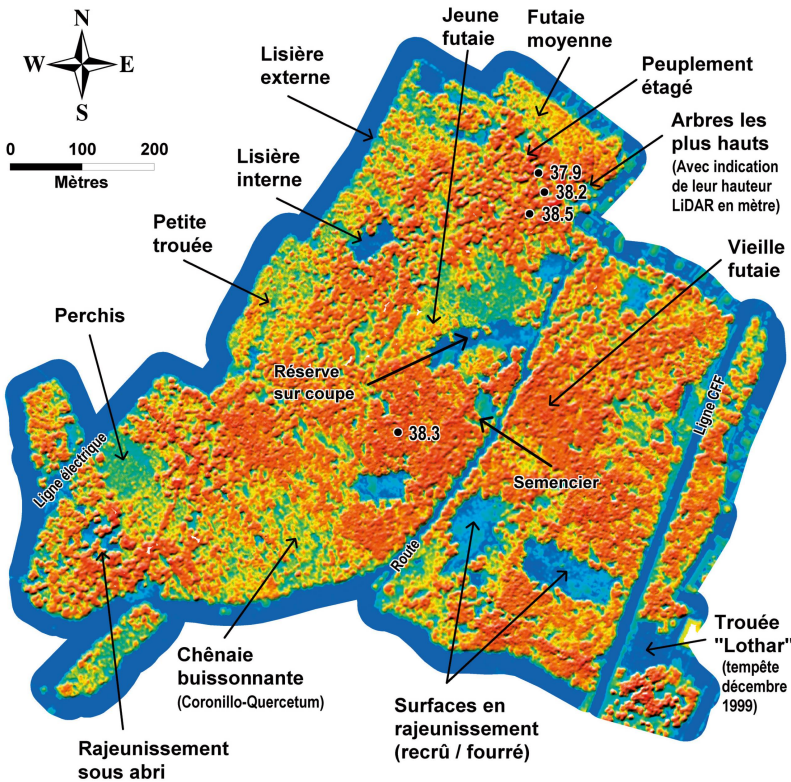


Fig. 7 MNH dérivé des données LiDAR. L'analyse visuelle de ce genre de représentation se révèle riche en informations utiles à la gestion forestière. Résolution spatiale: 1 m. © SITN ([www.ne.ch/sitn](http://www.ne.ch/sitn))

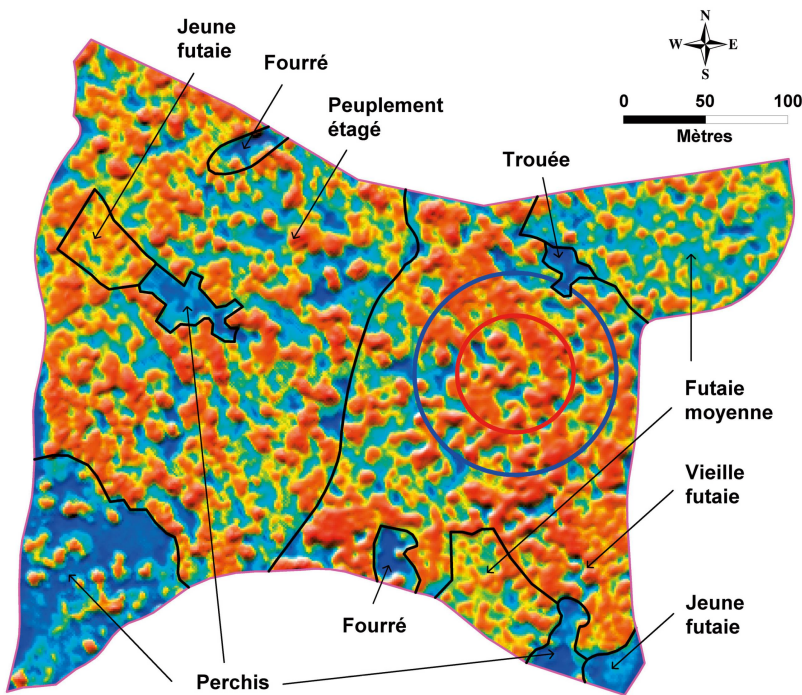
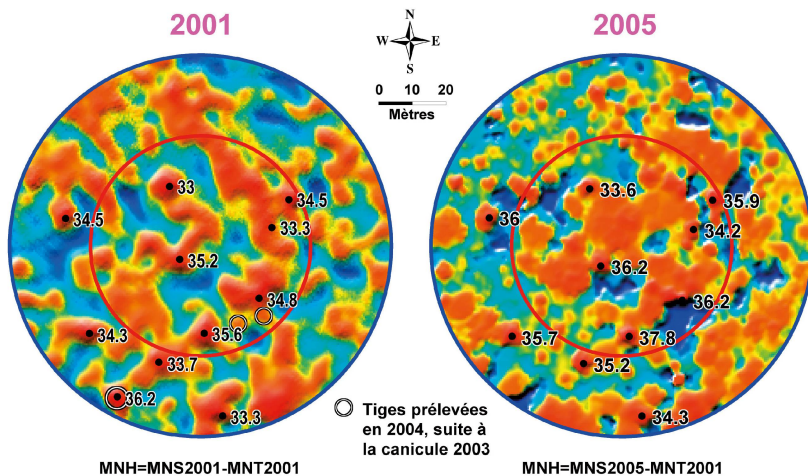


Fig. 8 Modèle numérique de hauteur à l'échelle d'une unité d'aménagement. Le cercle bleu, qui fait l'objet d'un examen détaillé en figure 9, embrasse une surface de 1 hectare (le cercle rouge représente 1/3 ha). Résolution spatiale: 1 m. © SITN ([www.ne.ch/sitn](http://www.ne.ch/sitn))

8 La fonction de seuillage consiste à reclassifier les pixels du MNH sur la base d'une valeur limite de hauteur (le seuil).

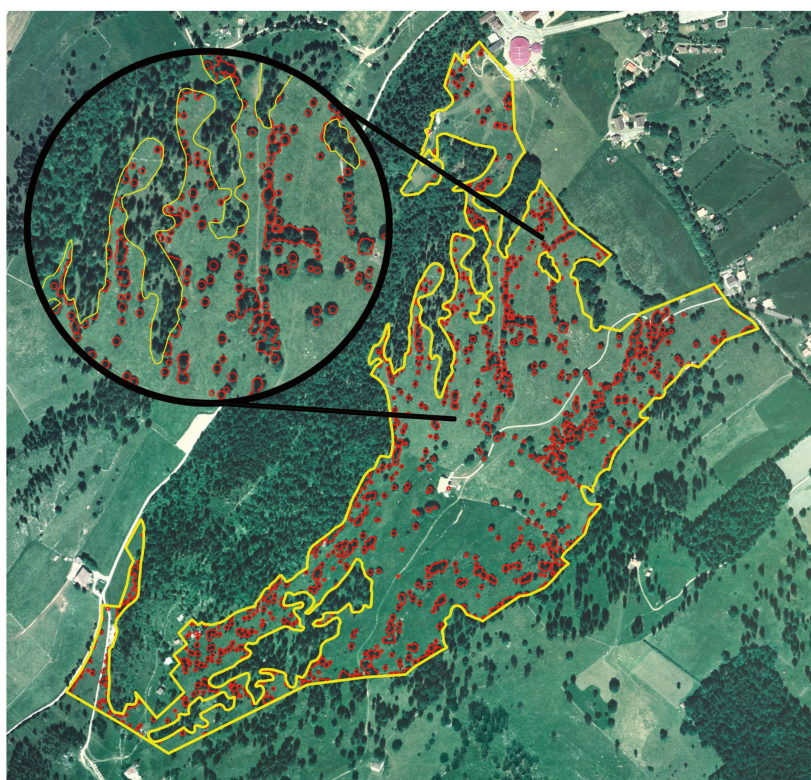
9 Un MNH raster n'est rien d'autre qu'une image en tons de gris où chaque valeur de pixel représente une information de hauteur au lieu d'une luminosité comme c'est le cas pour une orthophoto par exemple.

10 Cette procédure itérative est basée sur l'agrégation progressive de pixels ou de régions sous le critère d'homogénéité ou de ressemblance (Caloz & Collet 2001).



**Fig. 9** MNH, comparaison de deux jeux de données et zoom sur une partie de peuplement. Résolution spatiale: 0.5 m. À gauche (2001): modèle recalculé uniquement pour l'hectare en question, avec indication de la hauteur des plus grands arbres en 2001. À droite (2005): ce modèle a été calculé avec le MNT-2001 en raison du nombre insuffisant de points au sol du MNT-2005. Les secteurs de grands feuillus (plages oranges) ressortent mieux qu'en 2001 du fait de la plus grande densité de points du MNS captés en 2005. © SITN ([www.ne.ch/sitr](http://www.ne.ch/sitr))

germe représenté sous la forme d'un pixel ou d'une petite région spectralement homogène. Les pixels sont agrégés au germe si la distance est inférieure à un seuil d'hétérogénéité (spectrale et spatiale) fixé. Au terme de cette étape, l'image est fragmentée en



**Fig. 10** Délimitation semi-automatique du couvert forestier dans un pâturage boisé de la région de la Vue des Alpes. Résolution du MNH raster: 1 m; Hauteur du seuillage: 2 m; Élimination manuelle des sommets et seuils détectés sur les bâtiments.

Orthophoto: SWISSIMAGE © 1998 Office fédéral de topographie; MNS-MNT-MO © 2001. Données de la mensuration officielle, [www.swisstopo.ch](http://www.swisstopo.ch)

de nombreuses petites régions. Chacune d'elles contient suffisamment de pixels pour permettre le calcul de paramètres statistiques tels que la variance, les indices de texture, etc. La seconde étape est la classification à proprement parler. Il s'agit d'attribuer une étiquette à chaque région en fonction de paramètres spécifiquement choisis. Pour cette étude, seule la moyenne des valeurs des pixels du MNH a été prise en compte. Le résultat est présenté à la figure 11. Cette ébauche constitue un appui pour la délimitation définitive des peuplements, sachant qu'elle repose sur une approche objective et facilement reproductible.

Le MNH raster n'offrant qu'une vue du toit de la canopée, certaines particularités, liées notamment aux strates inférieures, échappent encore à l'analyse. Il en va de même du mélange des essences. Cependant d'encourageantes perspectives se dessinent pour affiner la cartographie informatisée des peuplements.

## Perspectives

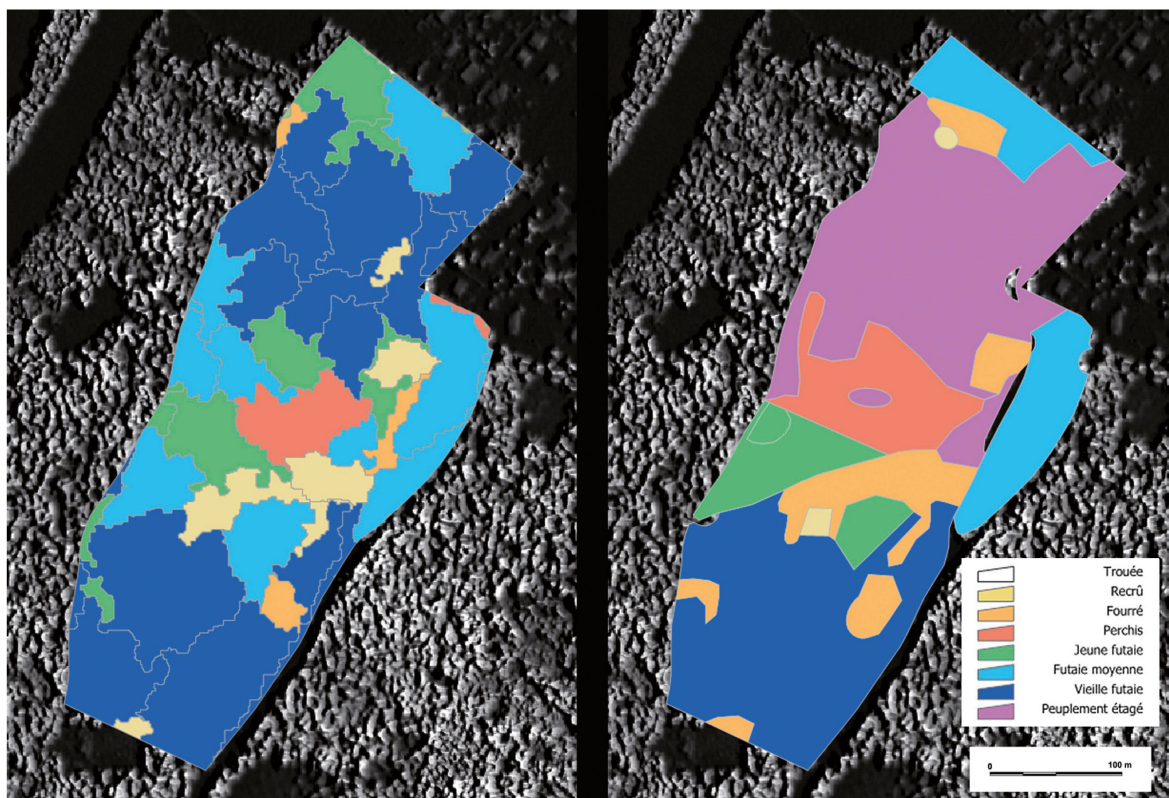
La recherche constante de la précision, liée aux systèmes d'acquisition des données toujours plus performants et aux logiciels d'analyse combinant désormais puissance de calcul et prix abordable, ouvre des perspectives qui pourront, à plus ou moins brève échéance, répondre à de nombreux besoins de la pratique forestière (tableau 4). Il ne fait aucun doute que l'étude des interactions entre les impulsions LiDAR et le milieu forestier est vouée à un avenir captivant et prometteur.

## Conclusions

La forêt est un système vivant dynamique, en constante évolution, dont les modifications sont le plus souvent discrètes. Les inventaires forestiers intégraux pratiqués périodiquement dans le canton de Neuchâtel permettent une mise en valeur chiffrée très précise des principaux aspects de cette lente évolution. Les données acquises par la technologie LiDAR aéroporté sont intéressantes et innovantes à plus d'un titre pour la pratique forestière car elles ouvrent la voie à une mise en valeur plus imagée, plus paysagère de l'état et de l'évolution des peuplements. Elles offrent tout d'abord une perception de la topographie grâce à la pénétration du faisceau laser par les interstices de la canopée. Elles permettent ensuite de prendre en compte la tridimensionnalité de la forêt, compte tenu du renvoi de plusieurs échos pour une même impulsion laser.

Cependant, il n'est pas imaginable que toutes les tiges puissent être détectées par la technologie LiDAR aéroporté, les petits arbres notamment échappent en général à la détection par les faisceaux du

**Fig. 11** Comparaison entre une délimitation automatique des peuplements réalisée par le logiciel *Definiens Professional 5.0* (à gauche) avec celle effectuée préalablement par le forestier (à droite). L'image de gauche est une représentation préliminaire, rapide, résultant de la classification de structures homogènes sur l'unique critère de la hauteur. Forêt communale de Bevaix, division 45. © SITN ([www.ne.ch/sitn](http://www.ne.ch/sitn))



laser, il en va de même de la reconnaissance des essences. En futaie mélangée et irrégulière, les restitutions LiDAR ne suffisent pas à contrôler le rendement soutenu, l'intégrité écologique ainsi que la multifonctionnalité de la forêt. De ce fait, l'acquisition d'informations rapides, précises, à un coût abor-

dable pose les systèmes LiDAR aéroportés non pas en concurrents, mais en compléments aux méthodes plus traditionnelles.

Une complémentarité évidente existe entre les trois sources de données suivantes:

- LiDAR, qui permet le passage à la troisième dimension, offrant un MNT, un MNH, une situation précise des lisières ainsi que la position géographique et la hauteur des arbres dominants;
- orthophotos haute résolution fournissant, en 2 dimensions, le type d'arbre et l'état sanitaire des tiges de l'étage supérieur,
- et relevés terrestres, englobant traditionnellement espèces, diamètres et descriptions spéciales (aspects qualitatifs).

La combinaison de la technologie LiDAR aéroporté, de l'analyse d'orthophotos et d'inventaires terrestres constitue un outil privilégié permettant d'obtenir globalement une connaissance détaillée et à jour des couverts forestiers. Connaissance primordiale pour conduire une gestion durable, en tout lieu multifonctionnelle, du patrimoine boisé. ■

## Remerciements

Nos sincères remerciements s'adressent à MM. Régis Caloz et Roger Augsburg pour la relecture attentive du manuscrit, ainsi qu'au service du cadastre et de la géomatique, de même qu'au service des forêts du canton de Neuchâtel pour leurs contributions à la réalisation de cette étude.

Délimitation des peuplements	– utilisation conjointe des images proche infrarouge et du MNH pour distinguer les peuplements mélangés, – analyse de la dispersion des points bruts en vue de reconnaître les peuplements étagés.
Aide à la description des peuplements	– amélioration de la détermination de la hauteur dominante des peuplements par analyse statistique des points bruts, – informations relatives à la structure verticale des peuplements (régulier, étagé), – identification des principales essences de la canopée en forêt complexe (avec le concours d'informations spectrales dérivées d'images aériennes et/ou de la réflectance).
Approximation du volume ligneux sur pied	– à l'échelle des grands arbres, des peuplements (avec l'appui d'indices caractérisant la structure du sous-étage), des unités d'aménagement et de la forêt.
Dans la mesure où l'on dispose de plusieurs jeux de données LiDAR pour un même site	– localisation et calcul des volumes prélevés, – approximation de l'accroissement ligneux à l'échelle de l'arbre, de l'unité d'aménagement et de la forêt, – réalisation de cartographies d'urgence et estimation des surfaces et volumes touchés après perturbations.
En pâturage boisé	– reconnaissance des unités de végétation: pâturages non boisés, pâturages peu boisés, pâturages très boisés et bois pâturés.

**Tab. 4** Perspectives de mise en valeur des données LiDAR aéroporté pour les besoins de la pratique forestière.

## Bibliographie

- ACKERMANN F (1999) Airborne laser scanning – present status and future expectations. *J Photogramm Remote Sens* 54: 64–67.
- ARTUSO R, BOVET S, STREILEIN A (2003) Practical methods for the verification of countrywide terrain and surface models. *Int Arch Photogramm Remote Sens* 34 (3/W13): 14–19.
- AXELSSON P (1999) Processing of laser scanner data – algorithms and applications. *J Photogramm Remote Sens* 54 (2–3): 138–147.
- BIOLLEY H (1920) *L'Aménagement des forêts par la méthode expérimentale et spécialement la méthode du contrôle*. Paris: Attinger Frères. 90 p.
- BRANDTBERG T, WARNER TA, LANDENBERGER RE, MCGRAW JB (2003) Detection and analysis of individual leaf-off tree crowns in small footprint, high sampling density LIDAR data from the eastern deciduous forest in North America. *Remote Sens Environ* 85: 290–303.
- CALOZ R, COLLET C (2001) *Précis de télédétection. Traitements numériques d'images de télédétection*. Québec: Univ Québec. 386 p.
- GOODWIN N, COOPS NC, CULVENOR DS (2006) Assessment of forest structure with airborne LIDAR and the effects of flying altitude. *Remote Sens Environ* 103: 140–152.
- HOLMGREN J, NILSSON M, OLSSON H (2003) Estimation of tree height and stem volume on plots using airborne laser scanning. *For Sci* 49: 419–428.
- HOLMGREN J, PERSSON Å (2004) Identifying species of individual trees using airborne laser scanner. *Remote Sens Environ* 90: 514–423.
- HYYPÄ J, INKINEN M (1999) Detecting and estimating attributes for single trees using laser scanner. *Photogramm J Finl* 16: 27–42.
- HYYPÄ J, PYYSALO U, HYYPÄ H, SAMBERG A (2000) Elevation accuracy of laser scanning-derived digital terrain and target models in forest environment. [http://las.physik.uni-oldenburg.de/eProceedings/vol01\\_1/01\\_1\\_hyypae1.pdf](http://las.physik.uni-oldenburg.de/eProceedings/vol01_1/01_1_hyypae1.pdf), novembre 2007.
- HYYPÄ J, KELLE O, LEHIKONEN M, INKINEN M (2001) A segmentation-based method to retrieve stem volume estimates from 3-D tree height models produced by laser scanners. *IEEE T Geosci Remote* 39: 969–975.
- HYYPÄ H ET AL (2005) Factors affecting the quality of DTM generation in forested areas. ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop «Laser scanning 2005», Enschede, the Netherlands, September 12–14. [www.commission3.isprs.org/laserscanning2005/papers/085.pdf](http://www.commission3.isprs.org/laserscanning2005/papers/085.pdf), novembre 2007.
- KRAUS K, PFEIFER N (1998) Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *J Photogramm Remote Sens* 53 (4): 193–203.
- KRAUS K, RIEGER W (1999) Processing of laser scanning data for wooded areas. In: Fritsch D, Spiller R, editors. *Photogrammetric Week 1999*. Heidelberg: Wichmann. pp. 221–231.
- KRAUS K, PFEIFER N (2001) Advanced DTM generation from LIDAR data. *Int Arch Photogramm Remote Sens* 34 (3/W4): 23–30.
- LIM K, TREITZ P (2002) Estimating aboveground biomass using lidar remote sensing. [http://spie.org/x648.xml?product\\_id=462409](http://spie.org/x648.xml?product_id=462409), novembre 2007.
- LUETHY J, STENGELE R (2005) 3D Mapping of Switzerland – Challenges and experiences. *Int Arch Photogramm Remote Sens* 36 (3/W–19): 42–47. [www.commission3.isprs.org/laserscanning2005/papers/042.pdf](http://www.commission3.isprs.org/laserscanning2005/papers/042.pdf), novembre 2007.
- MALTAMO M ET AL (2005) Identifying and quantifying structural characteristics of heterogeneous boreal forests using laser scanner data. *For Ecol Manage* 216: 41–50.
- MATHYS L (2005) Erfassung von Waldlücken mittels Laserscanning. *Schweiz Z Forstwes* 156: 372–377. doi:10.3188/szf.2005.0372
- MORSDDORF F, MEIER E, ALLGÖWER B, NÜESCH D (2003) Clustering in airborne laser scanning raw data for segmentation of single trees. *Int Arch Photogramm Remote Sens* 34 (3/W13): 27–33. [www.isprs.org/commission3/wg3/workshop\\_laserscanning/papers/Morsdorf\\_ALSDD2003.pdf](http://www.isprs.org/commission3/wg3/workshop_laserscanning/papers/Morsdorf_ALSDD2003.pdf), novembre 2007.
- NAESSET E (1997) Estimating timber volume of forest stands using airborne laser scanner data. *Remote Sens Environ* 61: 246–53.
- NAESSET E, BJERKNES KO (2001) Estimating tree heights and number of stems in young forest stands using airborne laser scanner data. *Remote Sens Environ* 78: 328–340.
- NELSON R, KRABILL W, TONELLI J (1988) Estimating forest biomass and volume using airborne laser data. *Remote Sens Environ* 24: 247–267.
- NILSSON M (1996) Estimation of tree heights and stand volume using an airborne lidar system. *Remote Sens Environ* 56: 1–7.
- PERSSON A, HOLMGREN J, SÖDERMAN U (2002) Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner. *Photogramm Eng Remote Sens* 68: 925–932.
- PITKÄNEN J (2001) Individual tree detection in digital aerial images by combining locally adaptive binarisation and local maxima methods. *Can J For Res* 31: 832–844.
- PITKÄNEN J, MALTAMO M, HYYPÄ J, WEI YU X (2004) Adaptive methods for individual tree detection on airborne laser based canopy height model. *Int Arch Photogramm Remote Sens* 36 (8/W2): 187–191.
- POPESCU SC, WYNNE RH (2004) Seeing the trees in the forest: using lidar and multispectral data fusion with local filtering and variable window size for estimating tree height. *Photogramm Eng Remote Sens* 70: 589–604.
- RIANO D, MEIER E, ALLGÖWER B, CHUVIECO E, USTIN L (2003) Modeling airborne laser scanning data for the spatial generation of critical forest parameters in fire behavior modeling. *Remote Sens Environ* 86: 177–186.
- SITHOLE G, VOSELMANN G (2003) Comparison of filtering algorithms. *Int Arch Photogramm Remote Sens* 34 (3/W13): 71–78. [www.isprs.org/commission3/wg3/workshop\\_laserscanning/papers/Sithole\\_ALSDD2003.pdf](http://www.isprs.org/commission3/wg3/workshop_laserscanning/papers/Sithole_ALSDD2003.pdf), novembre 2007.
- SMITH SL, HOLLAND DA, LONGLEY PA (2003) *Interpreting Interpolation: The pattern of interpolation errors in digital surface models derived from laser scanning data*. London: Univ College London, Centre for Advanced Spatial Analysis, Working Paper 66. 11 p.
- ST-ONGE B (2000) Estimating individual tree heights of the boreal forest using airborne laser altimetry and digital videography. Mapping surface structure and topography by airborne and spaceborne lasers. *Int Arch Photogramm Remote Sens* 32 (3–W14): 179–184.

ST-ONGE B (2004) L'altimétrie laser à balayage. *Revue Internationale Géomatique* 14 (3–4): 531–558.

VOSSelman G (2000) Slope based filtering of laser altimetry data. *Int Arch Photogramm Remote Sens* 36 (3/B): 935–942. [www.itc.nl/personal/vosselman/papers/vosselman2000.adam.pdf](http://www.itc.nl/personal/vosselman/papers/vosselman2000.adam.pdf), novembre 2007.

WACK R, SLETZL H (2005) Laser DTM generation for south-tyrol and 3D-visualization. *Int Arch Photogramm Remote Sens* 36 (3/W–19): 48–53. [www.commission3.isprs.org/laserscanning2005/papers/048.pdf](http://www.commission3.isprs.org/laserscanning2005/papers/048.pdf), novembre 2007.

YU X, HYYPPÄ J, KAARTINEN H, MALTAMO M (2004) Automatic detection of harvested trees and determination of forest growth using airborne laser scanning. *Remote Sens Environ* 90: 451–462.

### Apports et perspectives de la technologie LiDAR aéroporté pour la pratique forestière

Le LiDAR est un système de mesure basé sur l'émission-réception d'un faisceau laser, utilisé pour fournir des informations à haute résolution en altimétrie terrestre. De cette technologie naît une vaste gamme d'utilisations, permettant d'accéder à une meilleure connaissance de l'occupation du sol. Dans le domaine forestier, les systèmes LiDAR aéroportés, en plus d'une modélisation fine du relief, offrent une représentation de la structure de la végétation à différentes échelles spatiales et en 3 dimensions. Cet article présente les fondements de cette technologie, il expose quelques-unes de ses applications en milieux forestiers – topographie sous la végétation; hauteur et texture de la canopée; limite de couvert; délimitation des peuplements – et esquisse diverses potentialités de mise en valeur des levés laser aéroportés pour la pratique forestière.

### Möglichkeiten und Perspektiven der luftgestützten LiDAR-Technologie für die forstliche Praxis

LiDAR (Light detection and ranging; Laserscanning) ist ein Messsystem, welches auf dem Senden und Empfangen von Signalen mittels Laserstrahlen basiert. Diese Technologie findet Verwendung in der Höhenmessung und liefert Informationen in hoher Auflösung. Sie ist vielfältig einsetzbar und erlaubt es, die Bodenbedeckung zu erfassen. Im Wald ermöglichen die luftgestützten LiDAR-Systeme nebst der feinen Geländemodellierung auch die Erfassung der Vegetation auf verschiedenen, räumlichen Massstäben. Der vorliegende Artikel gibt Auskunft über die technischen Grundlagen, zeigt einige Anwendungen für den Forstbereich (Topografie unter der Vegetation, Höhe und Textur des Kronendachs, Bestockungsgrenze, Bestandesausscheidung) und skizziert das Potenzial für luftgestützte Laserdaten in der forstlichen Praxis.