

LIDAR Cartographie Forêt

Détection d'arbres

Prédiction de diamètres

Auteurs

- ONF, J. BOCK
- ONF, A. IMAMI
- ONF, J. SOUCHON

Partenaires

- Réserve Naturelle de Chartreuse
- IRSTEA
- UQAM (Université de Québec Montréal)

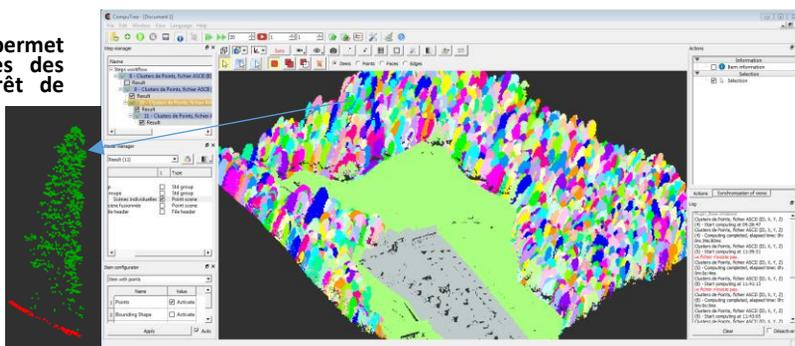


- Une meilleure connaissance du capital forestier sur pied et de son évolution est un préalable indispensable à la mise en œuvre d'une stratégie forestière durable à l'échelle d'un territoire.
- Les nouvelles technologies de télédétection permettent-elles d'envisager une bonne caractérisation, une cartographie et un suivi de l'évolution de la ressource forestière ?
- Dans le projet OUI-GEF, la modélisation LiDAR a été réalisée à l'aide de méthodes et d'outils nouveaux (cf. fig.n°1), dont l'intérêt est d'être potentiellement généralisables à d'autres sources de données.

Contexte de recherche

- Pour gérer durablement une ressource forestière, il est nécessaire de connaître la quantité et la répartition de cette ressource sur un territoire et de caractériser ses contraintes de mobilisation (desserte, pente, ...),
- D'un point de vue écologique, il est aussi important de connaître le comportement de certaines essences sensibles aux changements climatiques comme l'Epicéa ou le Sapin, et de savoir où sont les îlots de très gros bois (vieux bois),
- Les nouvelles technologies de télédétection par laser aéroporté (LIDAR) permettent d'envisager la détection et la caractérisation des arbres à l'aide d'algorithmes de segmentation de couronnes d'arbres ; cette méthode innovante a été mise en œuvre dans le projet OUI-GEF,
- Néanmoins, un défi technologique devait être relevé pour traiter les énormes quantités de données générées par l'acquisition LIDAR sur 125 km² de la forêt de Chartreuse. Ainsi, l'outil Computree développé par l'ONF permet désormais d'envisager des traitements à l'échelle de départements entiers (cf. fig. n°1).

Figure n° 1. L'outil Computree permet d'extraire les points des couronnes des arbres sur les 125 km² de la forêt de Chartreuse



Originalité des résultats

- Les travaux réalisés dans le cadre du projet OUI-GEF ont permis de rendre opérationnel un algorithme pour détecter des couronnes d'arbres (SEGMA) dans un nuage de points LIDAR acquis sur des centaines de km² de forêt. Cet outil est disponible sur une plateforme collaborative (Computree) et permet de traiter des données multisources.
- Une méthode innovante d'inventaire forestier a été mise au point. Elle se base sur la détection de houppiers d'arbres dans un nuage de points LIDAR et la calibration de modèles de prédiction du diamètre et de l'essence à partir des caractéristiques de ces houppiers. La mise en correspondance avec des mesures de terrain classiques permet d'évaluer la précision de cette méthode.
- Avec 16 % d'erreur de prédiction sur le diamètre individuel et 70 à 80 % de bonne classification des essences, les modèles prédictifs sont jugés très satisfaisants. Si les détections des gros arbres sont excellentes (taux de détection de plus de 90%), les petits tiges sont mal détectées et la sur-détection (de 27 %) devrait être améliorée.
- A l'échelle des placettes d'inventaire, les prédictions de paramètres forestiers ont des précisions du même ordre que des mesures classiques d'inventaires ponctuels réalisées sur le terrain. L'avantage de cette méthode est d'avoir un diagnostic exhaustif et d'envisager une cartographie des arbres et des peuplements sur l'ensemble de la zone couverte par le LIDAR.

Calibration du LIDAR avec des références de terrain

Principe

Le principe de l'inventaire forestier assisté par la technologie LIDAR se base sur la calibration de relations mathématiques (modèle) entre des variables dendrométriques d'intérêt (G , D_0 , D_g ...) mesurées sur des placettes de calibration et des indicateurs métriques issus du nuage de points LIDAR (cf. fig. n°2). Dans la bibliographie, deux principales approches existent :

L'approche surfacique

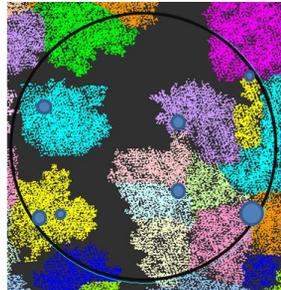
Il s'agit d'extraire le nuage de points LIDAR sur l'emprise de placettes de calibration, puis de calculer des statistiques dans le nuage de points LIDAR et de calibrer un modèle pour expliquer les variables dendrométriques (Naesset, 2004, Munoz et al. 2016). Il s'agit d'une approche empirique, nécessitant une calibration pour chaque vol et chaque contexte forestier.

L'approche par détection d'arbre

Il s'agit de détecter la cime et la couronne des arbres en utilisant des modèles numériques de hauteur ou de surface (Gougeon and Leckie, 2003). Pour ce faire, un outil de segmentation automatique des houppiers (SEGMA) a été implémenté par l'ONF, en collaboration avec l'UQAM, dans une plateforme collaborative Computree. En sortie, la position et les caractéristiques des houppiers (métriques) sont calculés pour chaque apex ainsi détecté. Le diamètre et l'essence de ces apex sont prédits à partir des caractéristiques des houppiers détectés. La synthèse à l'échelle de la placette permet de calculer les variables dendrométriques d'intérêt et d'évaluer leur précision au regard des mesures de terrain.

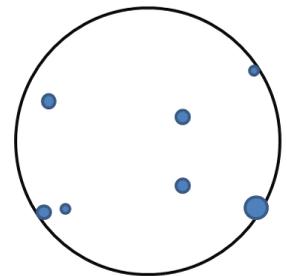
Figure n° 2. Principe de la méthode de modélisation de paramètres forestiers par détection de couronne d'arbre.

Approche détection d'arbre



Modélisation à l'échelle arbre utilisant la détection de houppier

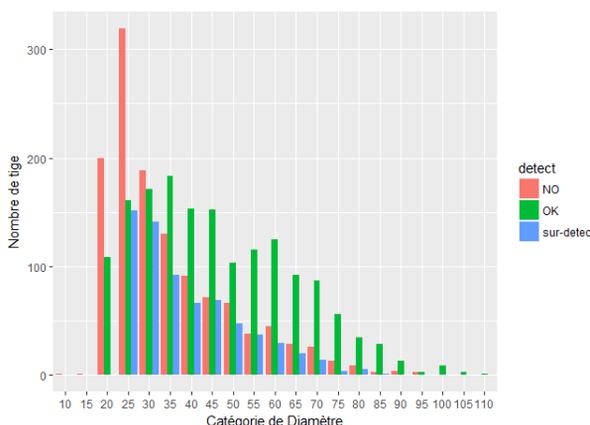
Inventaire forestier Vérité de terrain



Paramètres forestiers (e.g. G , D_0 , D_g ...)

Données LIDAR

A l'automne 2016, 125 km² de forêt de Chartreuse ont été survolés au LIDAR, à une densité moyenne de 20 pts/m². Avec les points classés végétation, des Modèles Numériques de Surface ont été créés à une résolution de 50 cm pour effectuer la détection des houppiers à l'aide de l'algorithme SEGMA implémenté dans Computree.



Placettes de calibration et détection des arbres

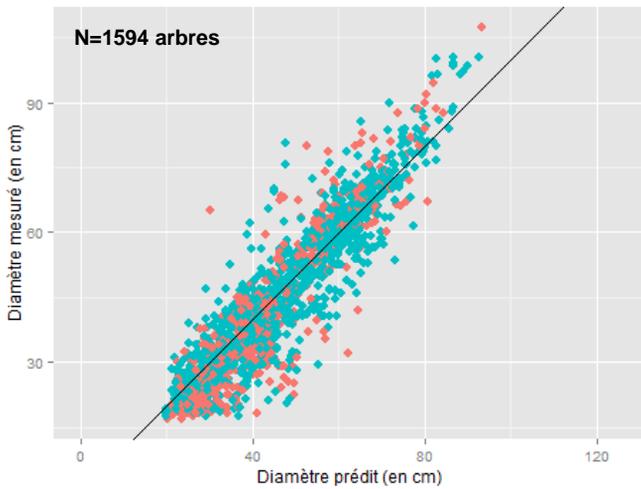
L'ONF a installé pendant l'été 2015, 298 placettes d'inventaire où toutes les tiges de plus de 17,5 cm de diamètre ont été inventoriées en diamètre et positionnées précisément. Sur 151 placettes, tous les arbres ($n=2476$) ont pu être mis en relation avec un apex LIDAR pour constituer une base de données d'apprentissage permettant de calibrer un modèle de prédiction du diamètre et de l'essence.

L'algorithme de détection présente un taux de détection de 54 % (cf. fig. n°3), avec 40 % de détection dans les petits bois (classes 20 et 25 cm de diamètre), 65 % dans les bois moyens (classes 30 à 40 cm) et plus de 90 % dans les gros bois (supérieur à 40 cm). Le taux de sur-détection est de 27 % et concerne majoritairement des bois moyens.

Figure n° 3. Répartition en diamètre des tiges détectées, non détectées et sur-détectées. Ntotal = 2476 tiges.

Prédiction et cartographie des paramètres forestiers.

Figure n° 4. relation entre le diamètre mesuré sur le terrain et celui estimé à partir du modèle Random Forest, avec en rouge les Feuillus et en bleu les Résineux.



A l'échelle de l'arbre

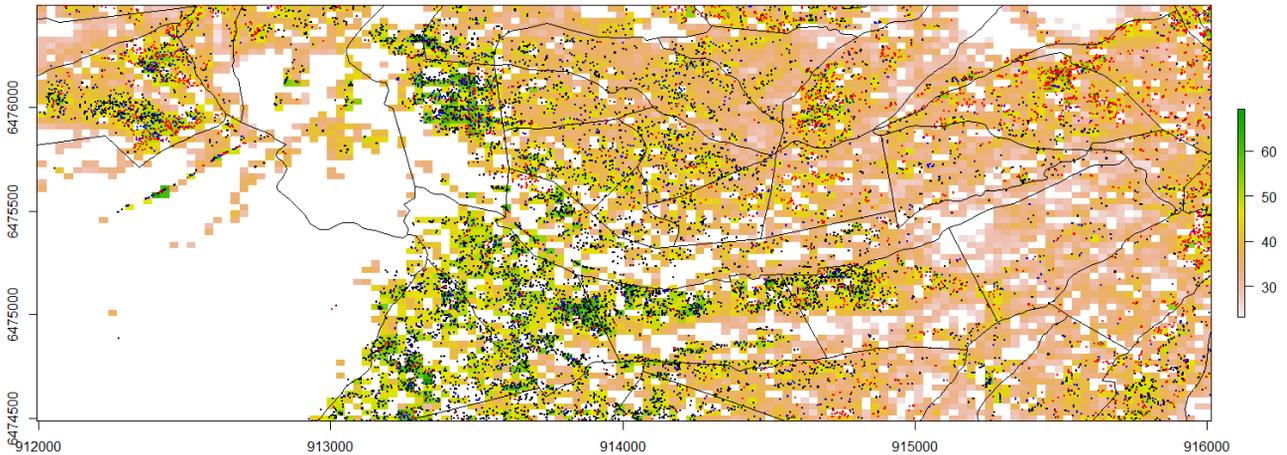
Prédiction du diamètre

Grâce à un échantillon de 1594 arbres bien détectés au LIDAR et mis en correspondance avec un arbre de référence de terrain, les performances de prédiction des modèles ont été évaluées. Un modèle Random Forest permet de prédire, à partir des caractéristiques des houppiers, le diamètre de chaque arbre dont l'apex est détecté, avec une erreur de 7,1 cm (soit 16 % en moyenne) – cf. fig. n°4.

Prédiction de l'essence

Avec des indicateurs de morphologie du houppier, il est possible de distinguer, avec 80 % de bonne détection, les feuillus des résineux et, avec 70 % de bonne détection, les Sapins des Epicéas.

Figure n° 5. Carte du diamètre moyen et localisation des très gros bois (>62,5 cm) de feuillus (rouge), sapin (bleu) et épicéa (noir).



A l'échelle des peuplements

A partir de la détection de tiges réalisée sur chaque placette et des modèles de prédiction de diamètre et d'essence, des variables dendrométriques LIDAR sont calculées sur chaque surface de calibration. Il est possible ainsi d'évaluer les erreurs de prédiction en les comparant avec les mesures de terrain. Sur les 298 placettes, le diamètre quadratique moyen (Dg) est prédit avec 12 % d'erreur, la hauteur dominante avec 9 % d'erreur et la surface terrière (G) avec 32 % d'erreur (cf. fig. n°6).

Si l'erreur de prédiction de G paraît forte (sur-dispersion), il faut savoir que plus de deux tiers des placettes présentent moins de 4 m²/ha d'erreur (soit 15 % d'erreur).

Variable	RMSE	Erreur	R ²
G	8,8 m ² /ha	33%	0,53
Dg	4,8 cm	13%	0,7
H0	2,3 m	9%	0,86

Cartographie sur toute la zone

Comme la position de chaque tige détectée est connue précisément grâce au LIDAR, il est possible de cartographier les arbres sur l'ensemble de la zone (cf. fig. n°5). Chaque bois est ainsi localisé et caractérisé par son diamètre et son essence (modulo l'erreur de prédiction).

On peut ensuite réaliser des synthèses cartographiques à l'échelle de pixel de 30x30 m par exemple (cf. fig. n° 5) ou à l'échelle de l'Unité de Gestion comme cela est fait pour les aménagements forestiers.

Figure n° 6. Tableau des erreurs de prédiction des variables dendrométriques à l'échelle des placettes.

Utilisation des données LIDAR pour l'inventaire forestier.

Conclusions

Le projet OUI-GEF a permis de mettre au point et de tester une méthode innovante de modélisation LIDAR, basée sur la détection de couronnes d'arbres dans un nuage dense de points LIDAR. A partir des caractéristiques des couronnes des arbres détectés, il est possible de prédire leur diamètre avec une erreur moyenne de 16 %. Des indicateurs de morphologie du houppier permettent de distinguer les feuillus des résineux avec 80 % de réussite, et les épicéas des sapins avec 70 % de bonne classification.

Grâce à une implémentation de SEGMA dans la plateforme Computree, l'ensemble des 125 km² de la forêt de Chartreuse a été traité et on dispose au final de la localisation de 1 554 828 arbres, avec leur diamètre et une indication de l'essence.

D'un point de vue pratique, cette localisation des arbres permet de réaliser des cartes forestières utilisées notamment dans les aménagements forestiers. Plus généralement, il est désormais possible de localiser et caractériser la ressource et d'optimiser ainsi la gestion durable des forêts.

Cette méthode présente l'avantage de pouvoir être mise en œuvre à partir d'indicateurs issus d'un nuage de points photogrammétrique, qui est une source de données périodiquement acquise par l'IGN. La suite du projet OUI-GEF consistera donc à reproduire la méthode sur des données photogrammétriques acquises en même temps que les données LIDAR, afin de comparer les résultats et d'évaluer les perspectives de généralisation à d'autres territoires.

Pour aller plus loin...

- M. Fuhr *et al.* (2016). Outils innovants pour une gestion concertée des forêts Projet PSDR OUI-GEF Région Rhône Alpes, Série Les 4 pages PSDR4.
- F. Gougeon, et D.G. Leckie, 2003. « Forest information extraction from high spatial resolution images using an individual tree crown approach », Information Report BC-X-396E. 27 p.
- A. Munoz, J. Bock, J.-M. Monnet, J.-P. Renaud, C. Riond, et A. Jolly, 2015. « Evaluation par validation indépendante des prédictions des paramètres forestiers réalisées à partir de données LIDAR aéroporté », *Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection*, 211-212, p. 81-92.
- E. Naesset, « Practical large-scale forest stand inventory using a small-footprint airborne scanning laser », 2004. *Scand. J. For. Res.*, 19(2), p. 164-179.
- <http://computree.onf.fr>

Contacts PSDR :
PSDR Rhône-Alpes :
Daniel ROYBIN (INRA)
daniel.roybin@inra.fr
Direction Nationale PSDR :
André TORRE (INRA)
torre@agroparistech.fr
Animation Nationale PSDR :
Frédéric WALLET (INRA)
frederic.wallet@agroparistech.fr
Sabine Nguyen Ba (INRA)
Sabine.Nguyen-Ba@versailles.inra.fr

Plus d'informations sur le programme PSDR et le projet :
www.psd.fr
www.psd-ral.fr

Pour citer ce document :
BOCK, Jérôme *et al.* (2018).
Utilisation des données LIDAR pour l'inventaire forestier,
Projet PSDR OUI-GEF,
Rhône Alpes,
Série Focus PSDR4

Les projets du programme Pour et Sur le Développement Régional (PSDR4 Rhône-Alpes) bénéficient d'un financement de l'INRA, de la Région Auvergne-Rhône-Alpes, de l'Irstea et de l'Union européenne via le FEADER dans le cadre du **Partenariat Européen pour l'Innovation (PEI-AGRI)**.