



—INFO—

www.fcba.info.fr



## La télédétection appliquée à la foresterie : les apports du projet FORESEE

*Tous les acteurs de la filière bois (propriétaires forestiers, exploitants, transformateurs, gestionnaires des territoires, ...) expriment régulièrement leurs besoins de caractérisation et de spatialisation opérationnelle de la ressource. Les technologies de la télédétection (photos aérienne ou satellite, lidar, ...) répondent à ce besoin. FORESEE a montré qu'elles permettent, dès aujourd'hui, d'estimer la ressource forestière et ses conditions d'exploitation à l'échelle de la parcelle. FORESEE a préfiguré de nouveaux outils d'aide à la décision qui contribueront à mieux connaître, prospecter, exploiter, desservir, gérer, entretenir, ... la forêt.*

### Résumé

L'essentiel de la littérature scientifique sur la télédétection en forêt à partir de Lidar<sup>1</sup> étaient produit dans des pays aux forêts homogènes, à la topographie simple et sur de petites surfaces. Aussi, le défi scientifique de FORESEE était triple :

- estimer les principales variables de gestion (hauteur, surface terrière, volume, ...) pour des peuplements hétérogènes en âges et essences dans des conditions topographiques différenciées (plaine, colline, montagne) à l'échelle de la parcelle ;
- développer des applications *ad hoc* ;
- identifier les conditions de développement de services associés à cette technologie.

De ce fait, le domaine d'intervention du projet était large : de la stratégie d'échantillonnage de placettes de mesures au sol aux fonctionnalités d'outils de visualisation par les opérateurs finaux.

Les recherches se sont concentrées sur les algorithmes de traitements des données Lidar et optiques, la création d'un outil intégrateur sous SIG et d'une plateforme web, première étape d'un écosystème innovant de R&D.



FORESEE a ouvert la perspective de disposer d'informations de qualité proche des besoins des professionnels et de fournir de multiples services à forte valeur ajoutée pour les acteurs de la filière.

### Enjeux et problématique

La sécurité d'approvisionnement tant en volume qu'en conditions économiques est indispensable au développement des industries aval et de production d'énergies à partir de la biomasse forestière. Satisfaire ces conditions, dans un contexte de gestion durable des forêts, nécessite une bonne connaissance de la ressource forestière notamment

<sup>1</sup>Lidar: *Light Detection And Ranging*. C'est une technologie de mesure à distance basée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière laser renvoyé vers son émetteur.

de sa localisation, de ses caractéristiques (quantités et qualités) et de ses conditions de mobilisation (desserte, coûts de mobilisation). Cette information, spatialement fine, peut alors être directement utilisée par les acteurs de la filière (gestionnaires, exploitants, pouvoirs publics, ...).

Or les deux sources d'informations existantes en France sont actuellement insuffisantes pour satisfaire cet objectif : d'une part les données de l'Inventaire Forestier National ne permettent pas de « descendre » à cette échelle d'analyse, d'autre part les informations issues des plans de gestion forestiers sont trop partielles et de dates trop disparates.

Le recours aux données de télédétection permet de satisfaire ces attentes.

### Un contexte technico - scientifique en rapide évolution

L'utilisation de la télédétection pour les applications forestières ne cesse de se développer depuis plus de 15 ans avec un doublement de la production scientifique tous les 10 ans.

Par ailleurs, les initiatives d'acquisition Lidar sont nombreuses mais disparates. D'autre part, l'EQUIPEX GEOSUD<sup>2</sup> (2011) vise à faciliter l'accès et l'utilisation des données satellitaires par la communauté scientifique et les acteurs publics. Enfin, le contexte technologique est aussi en pleine évolution avec l'arrivée de nouveaux capteurs (Lidar multi-spectraux, ...).

### Orienter la recherche vers les attentes des acteurs

Au-delà des ambitions scientifiques, FORESEE se devait de préfigurer des services et des applications de la télédétection. Aussi, en début de projet, une phase de cadrage a eu pour objectif d'orienter la recherche réalisée au sein de FORESEE par rapport aux utilisations de la télédétection à l'étranger et aux attentes des acteurs de la filière française (gestionnaires, pouvoirs publics, opérateurs, ...).

## Principaux résultats

### Identifier les attentes pour la recherche

Les principales attentes des acteurs de la filière portent sur la reconnaissance d'essence (au moins feuillus/résineux), le volume sur pied et les conditions d'exploitabilité (desserte, pente, ...) avec une qualité et un rythme de mis à jour compatible avec l'opérationnel.

Par ailleurs, les opérateurs identifient bien les sources de valorisation de cette information :

- Prospector plus efficacement en localisant la ressource ;
- Réduire les coûts par la préparation en bureau qui réduit le temps passé sur site
- Planifier avec moins d'incertitude grâce à une connaissance des accroissements ;
- Disposer d'un outil d'aide à la décision (SIG) pour une meilleure réactivité et gestion.

### Affiner la précision d'inventaires à l'échelle de bassin d'approvisionnement

La chaîne de production en télédétection appliquée à la foresterie se structure en trois étapes :

- L'acquisition de données de terrain et de télédétection ;
- Les traitements statistiques, de modélisation et algorithmique ;
- La restitution statistique et cartographique des données et diffusion résultats.

Ainsi, une base de données de 658 placettes et 27 981 arbres a été constituée. Les résultats du projet EMERGE (ANR-08-BIOE-0003) ont complété et rendu homogènes les mesures.

Les résultats d'estimations obtenus pour les principales variables de gestion sont avantageusement comparables à ceux présents dans la littérature internationale.

Variable	Précision obtenue Foresee		Littérature (White et al. 2013)
	%	Abs	
Ho	3 - 5%	0.8 m	3-19%
G	4 - 27%	2 - 9 m <sup>2</sup> /ha	11-28%
Do	6 - 21%	3 - 6 cm	25%
N	19 - 24%	22 t/ha	-
V	10 - 25%	21 - 110 m <sup>3</sup> /ha	10 - 31%
Biomasse	10-27%	9 - 51 t/ha	-

*HO : hauteur dominante, G : surface terrière, DO : diamètre dominant, N : densité en nombre d'arbres par ha, V : volume total, Biomasse : aérienne totale*

*Tableau 1 : Comparaison de la précision obtenue dans le projet FORESEE et les modèles de la littérature (résumés dans White et al. 2013)*

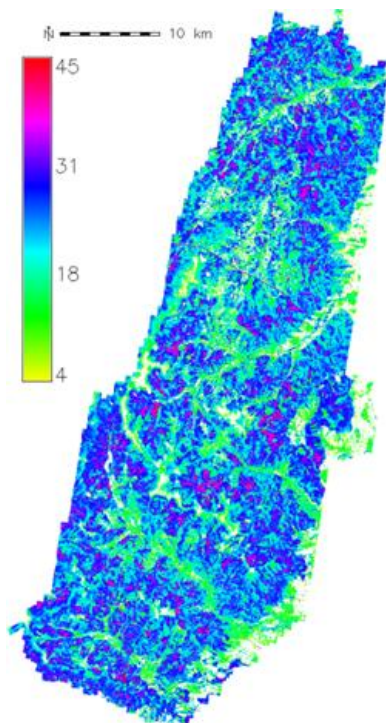
Les résultats des modèles répondent aux attentes des acteurs. En effet, les erreurs d'estimation restent acceptables par les professionnels et l'estimation par Lidar de la surface terrière est équivalente à un inventaire en plein à l'échelle de l'unité de gestion.

### Cartographie « en continue » de variables de gestion

Appliquer les différentes méthodes d'évaluation et de caractérisation de la ressource sur une grande surface présentant une forte variabilité de peuplements forestiers et de topographie est un aspect original et ambitieux du projet.

<sup>2</sup> <http://geosud.teledetection.fr/>

La cartographie qualifiée de « en continue » indique que pour tout pixel de 25m de côté il existe une estimation de variables de gestion, qualifiées par ses erreurs d'estimation. Cette carte a été réalisée sur le cas d'études des Vosges Haut-Rhinoises qui représente plus de 90 000 ha de forêt sur les 1 360 km<sup>2</sup> d'emprise.



Carte 1 : Cartographie des hauteurs dominantes des 90 000 ha de forêt Vosges Haut-Rhinoises

## Reconnaître la desserte

La qualité altimétrique des Modèles Numériques de Terrain (MNT) Lidar reste haute même dans des contextes difficiles (pente, couvert, ...). Sur cette base, une méthode de détection automatique capable de restituer des tronçons de route à grande échelle (moins de 2 minutes de calcul par km<sup>2</sup>) en zone de pente a été mise au point. Elle détecte des routes non répertoriées dans les bases de données, à les positionner de manière fiable sur le terrain (écart entre 5 et 10 m) et à estimer leur largeur. Néanmoins, elle est limitée par son incapacité à restituer un graphe de route complet et par un nombre non négligeable (10%) de fausses détections.

## Plateformes de visualisation et d'intégration

FORESEE a développé deux outils pour mettre à disposition l'information brute ou retraitée :

- **z-Forest** est un prototype de plateforme web, qui permet un affichage des points Lidar (5,3 milliards de points pour les Vosges Haut-Rhinoises), du MNT et d'images aériennes ou satellitaires et de mobiliser à distance des algorithmes de calcul.
- **CartoMob** est un prototype d'outil intégrateur sous SIG de cartes produites par ailleurs

(ressource, desserte, ...). Cet outil d'aide à la décision permet de spatialiser la disponibilité technico-économique, en fonction de divers scénarios de gestion sylvicole

## Cartographier la dynamique de croissance des forêts

Il s'agissait de développer une nouvelle méthode pour cartographier la productivité forestière basée sur l'utilisation de séries temporelles de prises de vues aériennes. Ces travaux ont permis d'évaluer la croissance en hauteur d'une forêt de plusieurs milliers d'hectares. Cependant, cette approche ne peut être généralisée par manque de documentation des images anciennes. Ce résultat est une première en France.

## Evaluation et conditions de déploiement

Les coûts de production de l'information cartographiée sont dominés par l'acquisition des données Lidar, de l'ordre de 86% du coût total pour les Vosges Haut-Rhinoises. Le recueil des données de terrains représente 11% et celui de l'ingénierie 3%.

Mais, pour 3,66 €/ha, tous traitements cartographiques réalisés, CartoMob délivre un ensemble de services à ce jour inconnu : repérer sur une carte la ressource économiquement mobilisable, identifier les zones à enjeux d'accès, ...

Cependant, pour chaque acteur pris individuellement ces technologies ne sont pas accessibles. Ainsi, deux freins essentiels, liés à la gouvernance, peuvent entraver le déploiement de ces technologies :

- Des craintes associées à une exploitation non durable de la ressource que l'utilisation de ces technologies pourrait précipiter ;
- Des difficultés d'organisation de la collaboration entre divers acteurs privés et publics.

## Exploitation des résultats

Les résultats de FORESEE vont contribuer à développer l'utilisation de la télédétection en France pour l'évaluation et le suivi de la ressource forestière (IGN, ONF, FCBA, ...). Néanmoins, la diffusion auprès des acteurs de la filière d'une culture télédétection est nécessaire pour les mobiliser z-Forest peut aider à la structuration et au fonctionnement d'une communauté de chercheurs en complément de Computree<sup>3</sup>.

CartoMob peut être un outil d'aide à la décision et de services pour l'ensemble des acteurs de la filière quand les conditions de son développement seront assurées.

<sup>3</sup> <http://computree.onf.fr/>

## Perspectives

Un effort important de validation des modèles a été effectué mais des travaux d'analyse d'incertitude devront être menés de façon à étudier la spatialisation des erreurs en fonction des modèles. Ce type d'étude est incontournable pour tirer des recommandations fiables sur l'optimisation des acquisitions Lidar et terrain.

L'introduction durant le projet d'un nouveau cadre conceptuel liant les données Lidar aux théories allométriques forestières (modèle « mécaniste ») est sans doute plus adaptée à la diversité des forêts françaises et mérite d'être développés.

## Conclusions

La télédétection appliquée à la foresterie est une technologie de « rupture ». Les résultats montrent que les estimations lidar ont une précision de l'ordre de grandeur de celle des mesures terrain.

La cartographie « en continue » par pixel de 25m de coté de variables de gestion, qualifiées par ses erreurs d'estimation, pour une zone entière de 90 000 ha de forêt a été réalisée.

Un pool de services, aujourd'hui fragmentés et très couteux, pourrait être demain accessible à partir de données de télédétection et à moindre prix. Cependant, la mise en œuvre de ces techniques réclame la collaboration des acteurs pour trouver des synergies de moyens.

FORESEE a ainsi montré que la recherche pouvait répondre aux attentes des acteurs de la filière. Néanmoins, la recherche a aussi besoin d'expertise forestière pour accroître la précision et la robustesse des modèles et de données de terrain pour l'ajustement des modèles et leur validation.

*In fine*, FORESEE a réalisé des avancées significatives pour la mise au point de la chaîne de production d'une cartographie de la ressource forestière adaptée aux forêts complexes et à la topographie variée. FORESEE a rendu plus visible la recherche française, contribué à la formation de jeunes chercheurs et accru les partenariats avec des centres de recherches étrangers.

## Pour en savoir plus...

> consultez le site FORESEE <http://foresee.fcba.fr/>

> article FCBA INFO associé CARTOMOB [http://www.fcba.fr/sites/default/files/fcbainfo\\_2015\\_19\\_cartomob\\_un\\_integrateur\\_cartographique\\_pour\\_la\\_gestion\\_forestiere\\_thomas\\_carrette\\_francis\\_de\\_morogues.pdf](http://www.fcba.fr/sites/default/files/fcbainfo_2015_19_cartomob_un_integrateur_cartographique_pour_la_gestion_forestiere_thomas_carrette_francis_de_morogues.pdf)

« Démonstrateur « LiDAR aérien pour l'aménagement », mini-dossier, Rendez-vous technique n° 50 - hiver 2016, ONF, disponible sur [http://www.onf.fr/lire\\_voir\\_ecouter/++oid++5462/@@display\\_media.html](http://www.onf.fr/lire_voir_ecouter/++oid++5462/@@display_media.html)

Contact :

**Francis de MOROGUES**

Chargé Recherche et Développement

Tél. 04 76 76 10 14

[francis.de.morogues@fcba.fr](mailto:francis.de.morogues@fcba.fr)

FCBA – Pôle Biotechnologies Sylviculture Avancée  
Domaine Universitaire – BP 251  
38044 Grenoble Cedex 9



INSTITUT TECHNOLOGIQUE

*Etude réalisée avec le soutien de*

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE  
**ANR** (ANR- 2010-BIOE-008)

*et labellisé par*



## Les partenaires de FORESEE :

