

EDITORIAL

La fin de l'année 2015 a été marquée par un événement jugé historique : 195 pays ont adopté à Paris le tout premier accord universel sur le climat pour limiter le réchauffement à 2°C d'ici la fin du siècle.

Les forêts constituent, après les océans, le deuxième puits de carbone du globe en stockant plus de la moitié du carbone des terres émergées. En effet, la biomasse aérienne et souterraine des arbres est issue de la photosynthèse qui consomme du CO₂ atmosphérique. Le carbone de l'atmosphère, fixé par les arbres lors de leur croissance, est ainsi séquestré pendant de longues durées dans la biomasse, puis dans les sols forestiers, avant de retourner dans l'atmosphère. Les forêts et leur évolution impactent donc significativement le climat actuel et futur. C'est à ce titre que la biomasse a été classée parmi les variables climatiques essentielles dans la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et que le développement de travaux de recherche axés sur l'observation par télédétection des modifications de la biomasse d'origine forestière à l'échelle planétaire a été recommandé.

L'optimisation de la capacité de stockage de carbone des forêts, mais aussi la préservation du formidable réservoir de biodiversité qu'elles représentent, passent bien sûr par la préservation des zones boisées et la lutte contre la déforestation, notamment en zone inter-tropicale. Mais la gestion forestière est également un levier de régulation du taux de CO₂ atmosphérique. Récoltés selon des critères de gestion durable, la biomasse forestière est une alternative aux énergies fossiles et le bois, matériau durable permettant de stocker le CO₂ sous forme stable, est capable de remplacer des matériaux dont la production est énergivore. Enfin, l'un des objectifs actuels de la gestion forestière est l'adaptation des peuplements forestiers aux changements climatiques pour le maintien d'un couvert forestier en bonne santé, prérequis indispensable pour que la forêt puisse assurer ses fonctions de production -produits à valeur commerciale ou d'usage-, et de protection de l'environnement.

La télédétection fait partie, depuis de nombreuses années, des technologies évaluées et mises en œuvre pour suivre la dynamique de la forêt à différentes échelles (de l'échelle mondiale à celle de la parcelle), évaluer les changements du couvert forestier ou de l'occupation du sol, détecter des altérations de l'état de santé des peuplements ou quantifier l'impact de phénomènes accidentels comme les incendies, les tempêtes, les bris dus à la glace ou à la neige. Mais, de plus en plus, les chercheurs et les praticiens s'intéressent à l'apport de la télédétection pour *cartographier et quantifier des variables forestières* (surface terrière, hauteur dominante, volume, biomasse aérienne). Ces variables sont nécessaires à la connaissance de la ressource dans le cadre d'inventaires forestiers nationaux ou de plans de gestion forestiers, qui sont les supports de la gestion forestière durable. La quantification de la biomasse est par ailleurs indispensable pour alimenter les modèles climatiques.

Riche des connaissances capitalisées depuis l'utilisation des premières photographies aériennes puis du lancement du premier satellite Landsat MSS, la télédétection forestière connaît aujourd'hui des évolutions majeures, avec la multiplication des sources de données (optique, radar, lidar), des résolutions spatiales (du kilomètre à quelques décimètres) et de leur périodicité d'acquisition (de moins d'un jour à quelques semaines). Par exemple, les images superspectrales à résolution décimétrique acquises tous les cinq jours par les satellites Sentinel-2 issus du programme européen Copernicus vont permettre de réaliser un suivi des couverts forestiers à fine résolution et à haute fréquence temporelle. Au côté de ces capteurs, que l'on pourrait qualifier de généralistes par le grand nombre d'applications qu'ils concernent, des projets de missions spatiales plus spécifiques au suivi des forêts sont à l'étude. Signalons par exemple BIOMASS, un radar spatial bande P en cours de développement par l'ESA ou encore GEDI, un lidar végétation développé par la NASA qui doit être embarqué à bord de l'ISS en 2018 ou 2019, suivi de près par MOLI, développé par la JAXA. En attendant ces moyens d'observations globaux, l'engouement des forestiers pour le Lidar aéroporté ne cesse de croître. Cette technologie, qui a connu un essor considérable au cours de la dernière décennie, offre un fort potentiel pour caractériser les peuplements forestiers. Elle permet en effet de dériver des mesures en 3 dimensions de la végétation qui viennent efficacement compléter les mesures spectrales acquises par les imageurs ou les mesures photogrammétriques. Le développement attendu des capteurs hyperspectraux à haute résolution offrira également, à moyen terme, des perspectives très intéressantes de suivi et de caractérisation des couverts forestiers.

En parallèle de l'évolution technologique, l'évolution des méthodes d'analyse et des outils de traitement, par exemple pour la gestion et l'analyse statistiques de larges jeux de données, ne manquera pas d'apporter des innovations pertinentes pour les applications forestières. La fusion des données de nature et de sources différentes (lidar, imagerie optique, radar, photogrammétrie) est également un défi à relever pour tirer pleinement parti de la diversification de l'offre en données pour la caractérisation et le suivi des écosystèmes forestiers.

Au-delà des innovations technologiques et méthodologiques, le travail de transfert vers l'application est essentiel pour permettre le développement d'applications opérationnelles, pour la forêt comme dans les autres domaines. La réunion d'acteurs de la recherche, du développement et de la gestion forestière dans des projets communs en est un des éléments favorables. La mise à disposition de données standardisées, pré-traitées et aisément accessibles par le plus grand nombre, initiée depuis plusieurs années par les programmes Landsat ou Modis de la NASA, est également cruciale pour permettre aux thématiciens de se concentrer sur les questions liées à leurs applications. C'est ce qui a motivé deux initiatives très importantes en France, dont

les applications forestières vont pouvoir bénéficier : le projet Geosud¹ et le dispositif Théia¹.

Dans ce contexte, l'objectif de ce numéro spécial vise à illustrer l'apport de la télédétection 1) au développement des connaissances sur les écosystèmes forestiers, 2) au suivi de leur évolution et 3) au développement de nouvelles méthodes pour optimiser la valorisation des produits et services de la forêt, tout en assurant leur pérennité et la maximisation des bénéfices qu'en tire la société.

Résultat d'un appel à articles lancé en fin d'année 2014, ce numéro spécial illustre certains des domaines d'études explorés activement pour le suivi par télédétection des écosystèmes forestiers.

Un peu plus de la moitié des articles de ce numéro spécial est issue d'études présentées lors du séminaire FORESEE qui s'est tenu du 8 au 10 Octobre 2014 à Nancy (André *et al.*, Ferraz *et al.*, Renaud *et al.*, Munoz *et al.*, Monnet *et al.*, Hamrouni *et al.*, Monnet et Munoz). FORESEE, projet de recherche multipartenarial financé par l'Agence Nationale de la Recherche et coordonné par le FCBA², visait à concevoir des outils et des méthodologies d'évaluation des caractéristiques de la ressource et de sa mobilisation basés sur l'analyse de données de télédétection, principalement optique (imagerie multi-spectrale et Lidar), dans le contexte des forêts métropolitaines françaises. Ce projet a regroupé entre 2010 et 2014 des chercheurs en télédétection, des acteurs du transfert technologique, une entreprise spécialisée dans l'acquisition de données aéroportées, des organismes gestionnaires de forêts ou d'observatoires des écosystèmes^{3,4}. Le séminaire FORESEE, co-organisé par l'INRA, l'ONF et Irstea, avait pour objectif de partager avec la communauté nationale et internationale les résultats obtenus dans le projet et de compléter le panorama des utilisations de la télédétection en forêt grâce à des interventions de chercheurs extérieurs au projet⁵.

L'appel à articles réalisé pour cette édition de la RFPT a permis d'enrichir ce numéro spécial par des études portant sur d'autres types de forêts (notamment tropicales), d'autres échelles d'observation (régionales) ou d'autres types de capteurs (optiques basse résolution).

Bonne lecture à tous,

Les rédacteurs délégués :

Sylvie Durrieu

Chercheur- ICPEF
Irstea, UMR TETIS
Montpellier, France

Anne Jolly

Coordinatrice du programme R&D télédétection
Dépt. Recherche Développement et Innovation
Office National des Forêts
Nancy, France

Oswaldo Valeria

Professeur
Université du Québec en Abitibi Témiscamingue
Rouyn-Noranda, Canada

¹ <https://www.theia-land.fr/>

² Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement

³ Ont participé au projet FORESEE : le FCBA, l'ANDRA, l'IGN, l'INRA, Irstea, l'ONF, Sintregre, UCFE

⁴ Plus d'information sur le projet : foresee.fcba.fr

⁵ <http://foresee.fcba.fr/2014/10/03/foresee-workshop-10-octobre-2014-forestry-applications-of-remote-sensing-technologies/>

⁶ Notamment les numéros 202, 205, 208 et 209.

Ainsi, un premier groupe d'articles s'intéresse à **l'utilisation de l'information multi-temporelle pour améliorer la connaissance des écosystèmes forestiers** ou de leur évolution (Cherrington *et al.*, Rakotomalala *et al.*, Meyer *et al.*, Valeria *et al.*).

Suivent un groupe d'articles issus du projet FORESEE. Le premier (Renaud *et al.*) se penche sur **l'amélioration de la précision d'inventaires forestiers** reposant sur des placettes de mesure au sol **grâce à l'introduction de données de télédétection** dans les phases de stratification. Les articles suivants présentent des **méthodes pour l'estimation de variables forestières** (André *et al.*, Hamrouni *et al.*, Monnet *et al.*), leur évaluation à l'échelle du peuplement (Munoz *et al.*) ou encore leur spatialisation à l'échelle des unités de gestion (Monnet et Munoz.).

Mais la valorisation de la ressource et sa gestion durable nécessitent aussi d'optimiser l'accès à cette ressource et donc de bien **connaître la localisation des routes et des pistes forestières, pour en optimiser le réseau**. Ainsi, l'article de Ferraz *et al.* porte sur l'analyse automatique d'un MNT issu de LiDAR aéroporté pour extraire le réseau de desserte existant.

Enfin, parce que les utilisateurs finaux des résultats ne sont pas des experts en télédétection, il est nécessaire de **développer des outils issus d'une recherche rigoureuse mais robustes et simples à mettre en œuvre** (Dedry *et al.*), et permettant un accès fluide à une information riche (Vandergucht *et al.*).

Pour compléter le vaste panorama des recherches menées dans ce domaine, le lecteur est bien sûr invité à consulter des articles traitant de l'utilisation de la télédétection pour la gestion durable des écosystèmes forestiers parus ou à paraître dans d'autres numéros de la RFPT⁶ ou dans d'autres revues scientifiques ou de vulgarisation.

Nous remercions vivement les auteurs qui ont contribué à ce numéro spécial de la RFPT sur les applications forestières de la télédétection ainsi que les évaluateurs qui ont analysé et permis d'améliorer les propositions d'articles.