

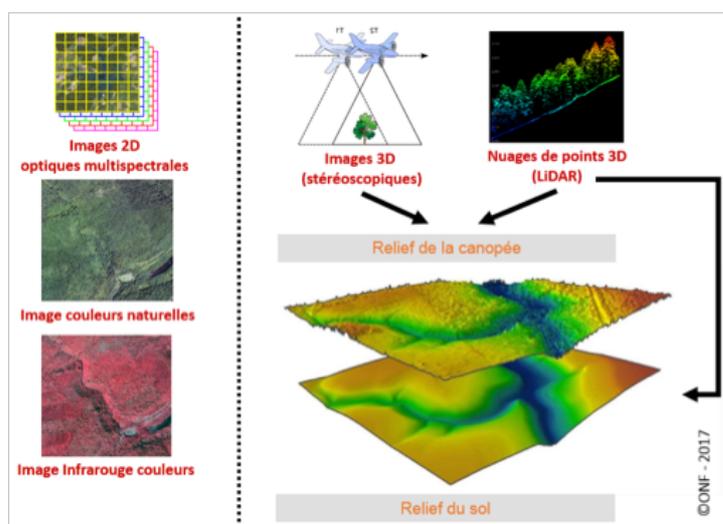
# Les technologies d'observations à distance : quels usages pour la forêt ?

L'observation directe des forêts et de leurs évolutions est complexe du fait de l'étendue de leur surface, et de leur situation en zones de relief ou d'accès difficiles. Satellites, avions, drones, capteurs optiques, RADAR, LiDAR, les moyens d'observation de la terre (et donc de la forêt) à distance sont de plus en plus nombreux. Quelles données fournissent-ils ? Quelles informations la foresterie peut-elle en tirer ? Au-delà de projets de recherche souvent très prometteurs, quelles sont actuellement les applications opérationnelles ? Cette fiche propose un bref état des lieux sur le sujet dans le contexte français.

## Des capteurs multiples et des moyens d'acquisition variés

Les capteurs de télédétection mesurent la réflexion ou l'émission du rayonnement électromagnétique. Les capteurs optiques exploitent le rayonnement solaire du visible jusqu'au moyen infrarouge, les capteurs RADAR mesurent la réflexion d'un signal RADAR (micro-ondes), les capteurs LiDAR exploitant quant à eux la réflexion d'un faisceau laser. Selon leur nature, ces capteurs sont sensibles à des informations comme la proportion de couvert végétal, son activité chlorophyllienne, son état hydrique, la structure de sa surface, ou encore à la biomasse ou au volume des végétaux. Certains capteurs (LiDAR, photographies aériennes stéréoscopiques) permettent en outre d'accéder au relief de la surface de la canopée ou même au relief du terrain sous les arbres (LiDAR, RADAR).

La finesse géométrique ou *résolution* des images des images de satellite peut varier de quelques centaines de mètres à quelques dizaines de centimètres, alors que les images acquises par avion, hélicoptère, ULM ou drone fournissent des images de 50 cm à quelques centimètres de résolution. La répétitivité des acquisitions de données est un élément important. Les satellites sont programmés pour survoler chaque point du territoire de manière régulière, tous les 10 à 26 jours selon les satellites. Certains capturent une image à chacun de leur passage, fournissant ainsi une couverture exhaustive du territoire (cas de Landsat et de Sentinel). La régularité de cette couverture temporelle dépend toutefois des conditions météorologiques. L'ennuage est un facteur très limitant pour obtenir des images dans le domaine optique ; inversement les capteurs RADAR peuvent « voir » à travers les nuages. D'autres systèmes n'enregistrent des données que sur programmation spécifique, comme les satellites Spot 6/7 ou les satellites à résolution fine comme Pléiades. Ils peuvent ainsi couvrir une zone d'étude « à la demande », mais aussi orienter leur visée pour réaliser des images stéréoscopiques



**Figure 1. Données 2D et 3D obtenues par télédétection** : à gauche images 2D multispectrales ; à droite données 3D issues de photographies stéréoscopiques ou de LiDAR qui permettent de décrire le relief de surface de la canopée ; le LiDAR permettant en plus d'obtenir le relief du sol sous la canopée.

## Transformer les données de télédétection en informations utiles

Les données de télédétection les plus courantes sont des images en 2D. D'autres se présentent sous forme de données 3D [fig. 1] : représentation de la surface de la canopée issue d'images stéréoscopiques acquises par avion ou satellite; nuages de points LiDAR correspondant à la localisation des éléments qui ont été impactés et ont réfléchi le rayon laser. Mais en elles-mêmes, ces données brutes sont « muettes » : leur transformation en information utile pour la gestion forestière nécessite donc une étape **d'analyse**.

L'analyse peut être simplement visuelle : c'est la photointerprétation. L'Inventaire Forestier National (désormais l'IGN) établit ainsi la carte des principales espèces forestières, à partir de photographies aériennes. L'opérateur s'appuie sur sa connaissance de la forêt et de la région à cartographier. Il effectue également de nombreux contrôles sur le terrain, afin de faire le lien entre la nature du peuplement forestier et l'image.

Mais les données numériques sont surtout exploitées par des procédures de calculs : traitement d'images, traitement du signal, analyse de la géométrie 3D des nuages de points LiDAR. Si certaines procédures d'analyses sont déjà bien connues, d'autres sont en plein développement grâce à la recherche, notamment pour l'analyse de données LiDAR, d'images à très fine résolution ou de données stéréoscopiques. Ces procédures reposent généralement sur l'établissement de relations mathématiques entre d'une part des informations de terrain et d'autre part des informations extraites des données de télédétection sur les mêmes zones. Elles intègrent également des données existantes et des connaissances expertes. Ainsi, même si la télédétection permet d'observer à distance, les informations de terrain sont indispensables à son utilisation !

## Quelques exemples d'utilisation de la télédétection en foresterie

Les premières applications ont exploité la capacité de la télédétection à observer et suivre de grands territoires souvent peu accessibles : détection et suivi de déforestation en zone tropicale, cartographie de défoliations massives en Amérique du Nord. Pour la forêt française tempérée, les applications se développent surtout depuis l'apparition de données à résolution fine : en effet, dans le contexte d'une forêt très mélangée et variée, gérée intensivement, et relativement aisée d'accès, l'utilisation des satellites à résolution trop « grossière » n'était pas suffisante.



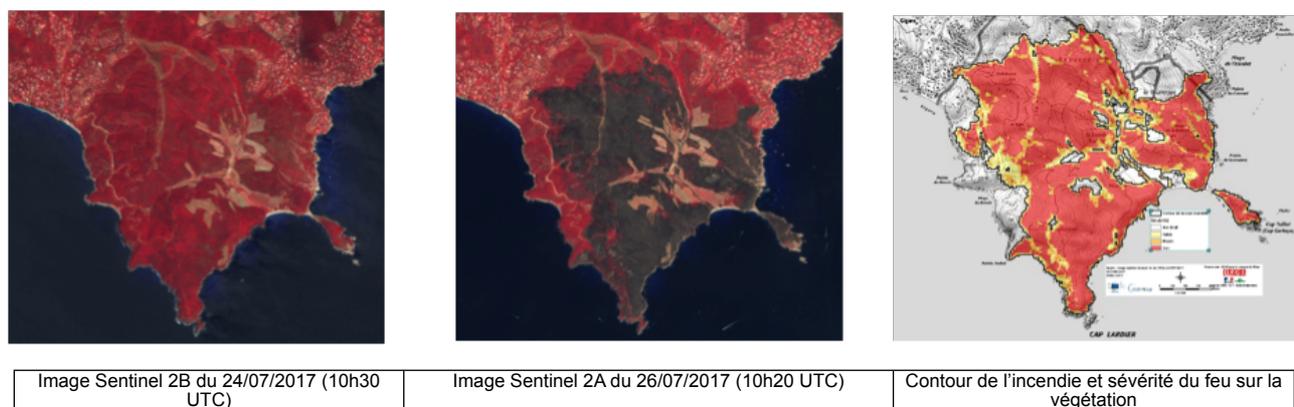
**Figure 2. Suivi des trouées d'exploitation forestières en forêt Guyanaise, sur une image Pléiades** : les trouées apparaissent en couleur claire.

Contient des informations © CNES – IGN 2014 – distribution Airbus DS / France – tous droits réservés.

En Guyane, la télédétection a naturellement trouvé sa place, dans un territoire très vaste, difficile d'accès et porteurs de très nombreux enjeux. Ainsi, depuis 2008, l'ONF, le CIRAD et le Parc Amazonien ont mis en place un observatoire des activités minières pour le suivi des exploitations aurifères légales et la détection de l'orpaillage illégal. L'observatoire repose sur l'utilisation d'images de satellites optiques (Spot, Landsat, Sentinel), pour détecter les déboisements, mais aussi la turbidité des eaux des rivières causée par les exploitations minières. A plus fine échelle, les images Pléiades sont utilisées pour cartographier et suivre les trouées d'exploitations forestières. [fig. 2]. Au niveau international, les images de satellites sont régulièrement utilisées pour le suivi de la déforestation et leurs résultats sont utilisés en appui à la définition de politiques forestières ou de démarches de certification. En zone tropicale, les images RADAR, non sensibles aux nuages se révèlent alors précieuses.

Les services de la Défense des Forêts contre les Incendies se sont appropriés depuis de nombreuses années les données de télédétection. Ils établissent notamment des cartes de combustibilité des couverts végétaux réalisées à partir d'images satellites de résolution variant entre 5 et 30m et de cartes d'occupation du sol ou de cartes forestières existantes.

Ces cartes peuvent être ensuite utilisées dans des analyses de la sensibilité au feu, par croisement avec des indices bioclimatiques (pente, ensoleillement) et des indices de sécheresse. Mais l'utilisation la plus connue dans le domaine des incendies de forêt est sans doute la cartographie des feux et de leur sévérité, à partir d'une comparaison d'images de satellites avant / après incendie [fig. 3] : la répétitivité du passage des satellites et de l'acquisition des images sont ici des atouts essentiels.



**Figure 3. Cartographie du contour et de la sévérité de l'incendie du 24/07/2017 sur le site de la Croix-Valmer (Var)** réalisée par le service DFCI de l'ONF, à partir de deux images Sentinel très proches de l'incendie : une image acquise le matin même (avant le début de l'incendie) et une autre image acquise deux jours après l'incendie. Données Copernicus Sentinel-2 2017.

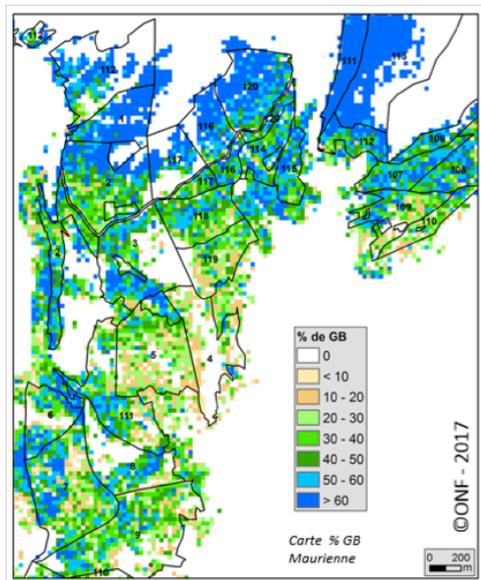
Les images de satellites ont également démontré leur utilité pour l'évaluation des impacts de tempêtes. Lors des tempêtes de 1999, l'IFN a mis au point une démarche d'analyse d'images de satellites également basée sur la comparaison d'images à résolution décimétrique (Spot) avant / après tempête. Cette méthode a été améliorée et utilisée après la tempête Klaus de 2009 sur le massif landais et serait reproductible en cas de nouvel événement majeur, notamment grâce aux images Sentinel-2. A une échelle plus locale, l'ONF a utilisé à titre expérimental des images plus fines (Pléiades à résolution métrique) pour la cartographie de chablis sur le massif de Clairvaux, dans l'Aube. [fig. 4].



**Figure 4. Détection de dégâts de tempête à partir de la comparaison entre une photographie aérienne avant tempête (BDOrtho® IGN) et une image Pléiades après tempête.** Contient des informations © CNES – 2014 – distribution Airbus DS / France – tous droits réservés.

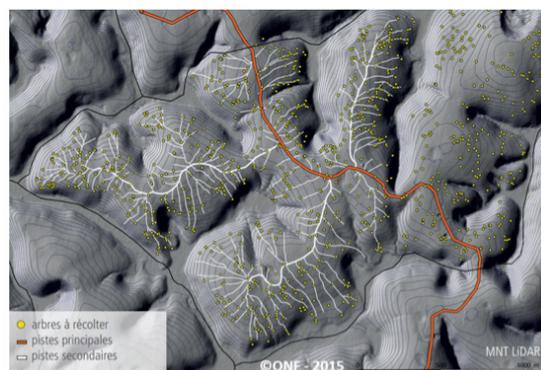
L'utilisation de la télédétection pour la connaissance et le suivi de la ressource forestière est quant à elle en plein essor. En complément des statistiques nationales de l'IFN et des descriptions locales réalisées pour les plans de gestion forestiers, la télédétection peut désormais apporter des informations cartographiques quantitatives sur les forêts. Ainsi, sur le massif Landais, une méthode de cartographie annuelle des coupes, développée par l'INRA en 1993, reprise et améliorée par l'IFN, a permis de détecter les coupes rases sur près d'un million d'hectares, de 1984 à 2008.

Les nouvelles données 3D à fine résolution, offrent désormais la possibilité d'accéder à une information sur la ressource sur pied, à l'échelle des parcelles forestières. Ainsi, les données LiDAR permettent d'accéder à des informations dendrométriques comme la hauteur dominante, la surface terrière ou le volume. La qualité des informations obtenues a conduit l'ONF à initier des projets pré-opérationnels pour utiliser ces données pour les plans de gestion forestiers, en fournissant des cartes quantitative de variables dendrométriques (par ex. hauteur dominante, surface terrière). [fig. 5].



**Figure 5. Carte du pourcentage de gros bois issue de l'analyse de données LiDAR, secteur de la Maurienne :** calcul réalisé par l'ONF dans le cadre de la révision de l'aménagement forestier. La carte montre la variabilité entre les parcelles et à l'intérieur des parcelles.

Mais bien avant son utilisation pour l'analyse du couvert forestier, le LiDAR a été utilisé pour sa capacité à « traverser » la canopée, offrant ainsi une description fine du relief du sol. Ces **cartes de relief très précises** sont largement utilisées pour la détection de vestiges archéologiques. En gestion forestière, cette description du relief est essentielle en zone de montagne pour compléter et



**Figure 6. Carte du relief issue de LiDAR en Guyane, avec tracé automatique des pistes et routes d'exploitation à partir du relief et de la localisation des arbres** (source ONF)

améliorer l'inventaire de la desserte, cartographier l'exploitabilité des peuplements et aider à l'implantation de nouvelles routes, pistes ou lignes de câble. En Guyane, les cartes du relief issues de LiDAR aérien sont utilisées pour optimiser le réseau de routes et de pistes forestières [fig. 6]. La télédétection apporte alors un double avantage : économies importantes, en limitant les prospections sur le terrain, et réduction de l'impact de la desserte sur les sols et les peuplements forestiers.

### Une technologie en évolution constante

Les données et les moyens d'acquisition ne cessent de se développer. Les nouveaux moyens d'acquisition de données tels les drones, offriront à court terme une solution intéressante pour observer très précisément des surfaces de quelques dizaines d'hectares. A des altitudes bien plus élevées, la résolution de certaines images de satellites ne cesse de progresser, devenant désormais équivalente à celles des photographies aériennes. D'autres systèmes satellitaires comme les Sentinel du programme européen Copernicus permettent désormais de couvrir en routine l'ensemble du globe tous les 5 jours avec des pixels de 10-20m.

Enfin, les capteurs fourniront dans un avenir proche des données de plus en plus riches et de plus en plus intéressantes : capteurs hyperspectraux utilisables pour apprécier la richesse en espèces, satellite RADAR Biomass dédié au suivi de la biomasse forestière sur l'ensemble du globe.

Technologie prometteuse dès la mise en service des premiers satellites, la télédétection rend désormais des services opérationnels, fruits des travaux de recherche et de R&D engagés il y a plusieurs dizaines d'années. Les nouvelles données offriront de nouvelles solutions pour répondre aux enjeux croissants du suivi et de la gestion des forêts : l'utilisation de ces nouvelles données plus riches, plus fréquentes, plus détaillées, et leur couplage avec des données de terrain, d'autres bases de données ou d'autres types de données de télédétection constitue les prochains challenges de la communauté scientifique.

### Ce qu'il faut retenir

- Les technologies de télédétection sont nombreuses, les moyens d'acquisition très variés et ne cessent d'évoluer.
- Les données disponibles deviennent de plus en plus pertinentes pour l'étude et le suivi des forêts, de l'échelle mondiale à l'échelle locale.
- La conversion de ces données en informations utiles nécessite leur combinaison avec des informations de terrain ou d'autres données de référence.
- Les applications opérationnelles sont de plus en plus nombreuses, pour le suivi des forêts tropicales, la prévention et l'évaluation des risques, et la gestion forestière.
- Les données 3D issues du LiDAR aérien et des photographies aériennes stéréoscopiques offrent des perspectives particulièrement intéressantes pour la connaissance des peuplements forestiers.

**Recommandations :** voir aussi la fiche 1.10