

APPLICATION DE LA TÉLÉDÉTECTION À L'AMÉNAGEMENT DES FORÊTS TEMPÉRÉES

J.L. PEYRON, Catherine LEPRIEUR, J.M. DURAND

La gestion de la forêt requiert une excellente connaissance des peuplements forestiers, des équipements, du milieu écologique. Ces facteurs s'avèrent souvent complexes de sorte que tous les outils susceptibles d'améliorer leur connaissance doivent être utilisés.

Par ailleurs, depuis une vingtaine d'années, l'observation de la Terre par télédétection a fait de gros progrès grâce aux développements concomitants de l'industrie spatiale, de la physique des rayonnements et des techniques informatiques. Or le domaine forestier occupe environ 30 % de la surface émergée de la planète et une proportion équivalente du territoire métropolitain français ; il devrait donc être un des premiers à tirer profit de ces progrès.

Les deux constats ci-dessus confèrent un intérêt certain à une réflexion sur l'apport de la télédétection à la gestion forestière. Dans un souci de clarification, l'exposé ci-dessous est volontairement restreint au cas des régions tempérées et à la gestion effective de propriétés forestières. Cette analyse se situe entre la réalité des techniques et besoins d'une part, et la fiction de leurs application et satisfaction d'autre part. Deux parties seront donc distinguées.

INTÉRÊTS ET LIMITES DE LA TÉLÉDÉTECTION POUR L'AMÉNAGEMENT FORESTIER

Intérêts de la télédétection pour la forêt

- *Une vision objective et pertinente du toit des peuplements*

Il est difficile pour un observateur de décrire rigoureusement un milieu à l'intérieur duquel il se trouve. Une vue de dessus restitue chaque élément dans ses vraies dimensions, excepté en montagne. En outre, le houppier des arbres contient une partie importante de l'information. La télédétection apporte donc des renseignements complémentaires intéressants.

- *Une information riche et structurée*

Les photographies aériennes sont obtenues à partir de films de diverses catégories : on dispose d'émulsions « noir et blanc » ou « couleur » pour les domaines « panchromatique » (visible) ou « infra-rouge ». De la même façon, les radiomètres possèdent généralement plusieurs canaux, plus ou moins larges, qui permettent de structurer l'information. Le radiomètre à Haute Résolution Visible (HRV) porté par le satellite français SPOT comporte trois canaux étroits et un canal plus large, dit panchromatique. Le radiomètre Thematic Mapper (TM) porté par le satellite américain LANDSAT comporte sept canaux.

- *Une précision intéressante*

Les photographies aériennes permettent, après grossissement, d'individualiser les houppiers des arbres. Les données satellitaires sont moins précises mais semblent maintenant relativement satisfaisantes. Trois résolutions au sol sont actuellement susceptibles d'être suffisantes au niveau de l'aménagement forestier : 30×30 m (TM), 20×20 m (HRV dans les trois canaux étroits), 10×10 m (HRV en mode panchromatique). Un hectare est alors composé de 10 à 100 points élémentaires.

- *Des possibilités variées de traitement*

Les données radiométriques sont disponibles sous forme numérique et donc directement utilisables par les ordinateurs. Elles peuvent évidemment faire l'objet de restitutions sur écran, film ou papier. À l'inverse, les photographies aériennes sont analysées de façon essentiellement visuelle mais peuvent dans certains cas être numérisées.

Sous forme numérique, de nombreux traitements sont réalisables : sélection de l'information désirée (masques, contours, ...), étude des différences entre points voisins (filtres), combinaison de canaux (indices, compositions colorées...), analyses statistiques (classification, optimisation des compositions colorées...), évaluation des surfaces par simple comptage de points.

Sous forme visuelle, le cadrage et l'échelle peuvent être adaptés aux désirs de l'utilisateur, et les résultats observés soit individuellement, soit en stéréoscopie tant pour les photographies aériennes que maintenant pour les données satellitaires (SPOT).

- *Une capacité d'observations répétées*

Les missions photographiques aériennes ont lieu environ tous les dix ans pour l'Inventaire forestier national (1/17 000^e) et tous les cinq ans pour les missions normales de l'Institut géographique national (1/30 000^e). Les satellites sont caractérisés par des passages plus fréquents (15 jours pour LANDSAT, 26 jours pour SPOT en visée verticale) mais fixes et les résultats sont sujets aux aléas météorologiques. Des images acceptables peuvent cependant être obtenues à intervalles rapprochés et permettre des comparaisons entre différentes dates (éloignées par exemple de 5 à 10 ans).

Domaines d'application de la télédétection à l'aménagement forestier

Au niveau d'une forêt donnée, le terme « aménagement » correspond à deux phases de la gestion forestière : la planification (ou programmation) et le suivi des opérations. L'élaboration de plans simples de gestion, comme celle de documents d'aménagement d'une forêt soumise au régime forestier, comprend ces deux aspects ; elle est donc incluse dans l'approche qui est faite ici. Cette planification ainsi que le suivi de son exécution s'appuient sur un ensemble d'analyses qui concernent le milieu économique et humain, le milieu naturel, les peuplements et les équipements.

Ainsi, en vertu des développements précédents, la télédétection s'avère susceptible d'applications forestières principalement pour l'analyse des peuplements forestiers et de leur évolution, qui débouche normalement sur une typologie d'une part, une cartographie d'autre part.

Par ailleurs, de telles applications concernent aussi bien des gestionnaires directs que des services administratifs chargés du développement ou du contrôle réglementaire.

Difficultés d'application

Aux intérêts de la télédétection pour la gestion forestière correspondent logiquement un certain nombre de limites dont les principales sont énumérées ci-dessous, ainsi que quelques actions susceptibles de les pallier.

● *Une sous-utilisation actuelle des photographies aériennes*

De nombreux gestionnaires de forêts n'ont pas encore tenté de tirer parti des couvertures aériennes qui sont disponibles de façon tout à fait courante. Il convient donc de rechercher non seulement le développement des techniques fondées sur les données satellitaires mais aussi celui des techniques largement disponibles actuellement qui continueront — il est important de le souligner — à être efficaces.

● *Distinction des essences et des structures*

Cartographier et identifier les divers types de peuplements est un objectif majeur auquel doit contribuer la télédétection. Il est pour cela nécessaire de discerner au minimum les différentes essences principales, la structure suivant laquelle sont organisés les peuplements, et le stade d'évolution de ces derniers.

Mais il serait par ailleurs illusoire de penser qu'une typologie fine des peuplements puisse être obtenue avec une seule image satellitaire ou photographie aérienne. En revanche, des approches intégrées utilisant simultanément plusieurs sources de données (images satellitaires, photographies aériennes, données topographiques numérisées, relevés de terrain...) ont déjà permis d'obtenir d'excellents résultats [1] ⁽¹⁾.

● *Les problèmes posés par la topographie*

Le relief gêne de plusieurs manières les observations par télédétection ; il induit tout d'abord des déformations géométriques qui sont parfois corrigées (exemple des orthophotoplans) ; il rend ensuite difficile la comparaison entre les mesures faites en différents points qui ne reçoivent pas tous le même éclaircissement (en fonction de leur position par rapport au soleil) et qui ne sont pas placés dans les mêmes conditions d'observation (influence de la pente) ; ces effets de nature radiométrique ont été mesurés et étudiés dans le cadre d'un récent programme de recherche mené par les auteurs. Sur un site vosgien observé en juillet, la variabilité du signal capté est peu expliquée par les différences d'éclaircissement ; elle l'est plus par la variation de l'angle d'observation due à la pente et surtout par la texture de l'image (hétérogénéité du peuplement) ; d'où l'intérêt de rechercher des indices de texture de l'image significatifs de l'organisation des peuplements [4].

● *Acquisition des données*

Le choix de la date des données peut varier en fonction des objectifs poursuivis. Il semble cependant que le mois de juillet ait de nombreux avantages, convaincants dans bien des cas : stabilité phénologique des peuplements, élévation importante du soleil, climat favorable, ...

(1) Les numéros entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

Si cette dernière condition n'est pas remplie lors de l'occurrence du passage des satellites, un report d'un an peut être imposé à l'obtention des données.

● *Coût de l'information*

Seule une partie (notamment les massifs forestiers) des scènes acquises est nécessaire. Pour rester dans une gamme de coûts modiques, il faut donc avoir à travailler sur une portion significative des images ou photographies.

● *Intervention de spécialistes*

Le développement de la télédétection pour les besoins forestiers est subordonné à l'utilisation de matériels et personnels spécialisés capables de mettre en œuvre des méthodes adaptées aux problèmes forestiers ; celles-ci sont en cours d'élaboration et sont présentées ci-après.

MÉTHODES D'APPLICATION ET CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE

Les méthodes essentiellement visuelles

Même dans le cas de l'utilisation de données satellitaires et donc numériques, il est nécessaire de laisser une large place à l'étude visuelle de la scène quels que soient les traitements réalisés au préalable. Le forestier doit en effet analyser lui-même une partie significative de l'information afin que celle-ci soit utilisée à bon escient. Certaines particularités facilement observables comme les formes sont par ailleurs difficilement reconnaissables automatiquement. Les documents utilisés peuvent évidemment être le fruit de traitements divers dont le but est d'en améliorer la qualité et d'en faciliter la lecture.

Une technique principale, banale en photo-interprétation et testée avec des données satellitaires [7] et [6], peut être proposée. Elle comporte trois phases :

- zonage des peuplements à partir des cartes, photographies aériennes ou images satellitaires disponibles, la vision stéréoscopique étant, le cas échéant, utilisée ;
- description au sol de chaque zone délimitée, à raison d'un nombre variable de placettes en fonction de son homogénéité ;
- cartographie définitive des types de peuplements observés.

Une telle procédure conduit à une suggestion plus élaborée. La description au sol de chaque zone pourrait être faite par le biais d'un inventaire statistique dont le maillage aurait les plus grandes chances de recouper chacune des zones. L'étude préalable des documents de nature géographique permettrait en outre d'effectuer une stratification pertinente de la forêt à inventorier.

Les méthodes algorithmiques

Ces méthodes concernent évidemment des données disponibles sous forme numérique. Dans l'état actuel des techniques, il est peu probable de pouvoir obtenir à partir d'une seule source de données et de façon totalement automatique des classifications susceptibles d'être considérées par exemple comme des typologies des peuplements. En revanche, une utilisation simultanée d'autres sources d'information peut améliorer grandement les résultats de traitements statistiques et informatiques. Les données nécessaires sont recueillies de diverses manières : sur le terrain, par photo-interprétation, sur des cartes existantes (topographie, géologie, ...) ou grâce aux satellites. Pour aboutir au maximum d'efficacité, elles doivent être toutes numérisées

et superposables entre elles. Ce n'est qu'au prix de la constitution progressive de telles bases de données que la télédétection deviendra réellement efficace en forêt [9].

● *Les classifications de type supervisé*

Cette procédure consiste tout d'abord à établir la typologie désirée, puis à sélectionner des zones dites d'entraînement sur lesquelles on a une connaissance précise de l'implantation des types de peuplement retenus. Une classification sur l'ensemble de la forêt étudiée peut alors être faite en affectant chaque point élémentaire au type qui lui est le plus proche selon le critère du maximum de vraisemblance sous hypothèse gaussienne. Il est en outre possible d'intégrer, si elle est connue, la probabilité *a priori* de chaque type de peuplement, c'est-à-dire, la connaissance initiale, même approximative, de la proportion du territoire forestier qu'il occupe.

● *Étude des changements*

La comparaison entre des données identiques relatives à deux dates différentes débouche sur la caractérisation de deux types de phénomènes : d'une part d'événements brutaux, tels que des coupes, des défrichements, des incendies, des tornades..., d'autre part d'événements plus progressifs comme des problèmes sanitaires, des éclaircies ou la croissance de jeunes peuplements. L'étude de ces changements permet un suivi effectif des peuplements forestiers.

Les conditions du développement d'une application de la télédétection à l'aménagement forestier

En raison de l'ampleur des scènes satellitaires mises sur le marché, de la technicité requise pour le traitement d'images, et de l'importance de la constitution de systèmes d'information, une mise en œuvre routinière des méthodes présentées ci-dessus ne peut se faire que par l'intermédiaire de cellules spécialisées responsables de l'entretien du matériel, du choix des données adéquates et des traitements. Ces considérations conduisent à la prise en charge par chaque cellule d'un domaine forestier suffisamment important pour que des économies substantielles d'échelle soient réalisées. Inversement, il est nécessaire qu'elles restent relativement proches du terrain. C'est pourquoi une infrastructure de télédétection appliquée à la forêt pourrait être suscitée au niveau régional. Elle serait en outre susceptible d'être utilisée par les divers services forestiers concernés.

Pour une région moyenne de 2,5 millions d'hectares dont 0,7 boisés, le coût annuel global engendré par une telle cellule s'élèverait vraisemblablement au maximum à 1,4 million de francs, soit 2 francs par hectare boisé et par an, à raison de 25 % pour le matériel et les logiciels, 40 % pour le personnel et les locaux, 15 % pour l'acquisition des données et 20 % pour l'édition des documents. On peut donc noter la relative modicité du coût d'une telle initiative qui aurait par ailleurs de nombreux effets bénéfiques (gains de temps substantiels, meilleure efficacité de la gestion, ...).

CONCLUSIONS

Encore peu utilisée par les forestiers, la télédétection constitue un outil essentiel pour effectuer les diagnostics nécessaires à l'aménagement d'une forêt. La généralisation de son utilisation est certes encore soumise à de nécessaires progrès au niveau de la recherche appliquée et de la

recherche-développement, mais surtout à la constitution d'équipes compétentes capables de dialoguer avec les forestiers pour leur fournir au moindre coût les documents cartographiques et statistiques dont ils ont besoin.

Remerciements

Les auteurs remercient particulièrement Messieurs M. Buffet de la Section technique de l'Office national des Forêts à Fontainebleau et D. Lepoutre de l'Atelier Télédétection du ministère de l'Agriculture pour les avis précieux qu'ils ont bien voulu donner sur ce texte dont les auteurs sont par ailleurs seuls responsables.

J.L. PEYRON
Professeur d'Aménagement
ÉCOLE NATIONALE DU GÉNIE RURAL
DES EAUX ET DES FORÊTS
14, rue Girardet
54042 NANCY CÉDEX

Catherine LEPRIEUR, J.M. DURAND
LABORATOIRE D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES
EN TÉLÉDÉTECTION SPATIALE
18, avenue Edouard-Belin
31055 TOULOUSE CÉDEX

BIBLIOGRAPHIE

- [1] JAAKKOLA (S.). — Use of Landsat MSS for forest inventory and regional management : the European experience. Swedish University of agricultural sciences. — *Remote Sensing Reviews*, vol. 2, 1986, pp. 165-213.
- [2] JEANJEAN (H.). — Méthodologie d'inventaire forestier intégrant des données spatiales SPOT. — Nancy : École nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts, 1987 (Mémoire).
- [3] LEPOUTRE (D.), LEPRIEUR (C.), PEYRON (J.L.). — Télédétection et forêts : situation actuelle en Suède et perspectives pour la France. — *Revue forestière française*, vol. XXXVIII, n° 4, 1986, pp. 385-393.
- [4] LEPRIEUR (C.), DURAND (J.M.), PEYRON (J.L.). — Influence of topography on forest reflectance using Landsat thematic Mapper and digital terrain data. — à paraître dans *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*.
- [5] LEPRIEUR (C.), DURAND (J.M.), PEYRON (J.L.). — Quantification et corrections radiométriques des effets dus au relief sur une série de peuplements forestiers. — ATP télédétection spatiale 1985. Rapport final mai 1987.
- [6] LIÉNARD (B.). — La télédétection par satellites de 2^e génération ; un nouvel outil pour l'aménagement et la foresterie. — Paris : Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région Ile-de-France, 1986. — 140 p. (Mémoire 3^e année ENITEF).
- [7] POINTEREAU (S.). — Contribution de la télédétection par satellite à l'aménagement d'un massif forestier : Rambouillet. — Paris : Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région Ile-de-France, 1985. — 121 p. (Mémoire 3^e année ENITEF).
- [8] SELLERON (G.). — Télédétection et forêt : dynamique de la forêt landaise de 1975 à 1980 (Landsat et simulation SPOT). — Paris : Éditions du CNRS, 1981. — 392 p.
- [9] STRASBY (M.), CARNEGIE (D.). — Vegetation and terrain mapping in Alaska using landsat MSS and digital data. — *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, n° 6, 1986.