

technique et forêt

TÉLÉDÉTECTION ET FORÊTS : SITUATION ACTUELLE EN SUÈDE ET PERSPECTIVES POUR LA FRANCE

D. LEPOUTRE - C. LEPRIEUR - J.L. PEYRON

Une mission C.E.M.A.G.R.E.F. ⁽¹⁾ - L.E.R.T.S. ⁽²⁾ - E.N.G.R.E.F. ⁽³⁾ a été effectuée en Suède en décembre 1984 afin :

- d'analyser l'état des recherches et utilisations effectuées en Suède dans le domaine de la télédétection appliquée à l'étude et à la gestion des forêts ;
- d'étudier les possibilités de collaboration franco-suédoise tant au niveau de la recherche que de l'enseignement (stages d'étudiants).

Trois organismes principaux ont été visités :

- l'Institut de Géographie physique de l'université de Stockholm ;
- le département d'Aménagement forestier de la faculté de Sylviculture intégrée dans l'université des Sciences agronomiques et située pour cette partie à Umea ;
- la Swedish Space Corporation et sa filiale Satimage implantées notamment à Kiruna et à Esrange dans l'extrême Nord de la Suède.

Cette mission s'est déroulée à une période où trois types de données satellitaires pouvaient être prises en considération dans le cadre de la gestion forestière :

- celles qui sont fournies depuis déjà plusieurs années par le système MSS (Multispectral Scanner System) porté par les satellites américains Landsat ;
- celles qui, encore en cours d'évaluation, commencent à être fournies par le système TM (Thematic Mapper) porté par la nouvelle vague de satellites Landsat ;

(1) Centre national du Mécanisme agricole, du Génie rural, des Eaux et des Forêts

(2) Laboratoire d'Études et de Recherches en Télédétection spatiale.

(3) École nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts.

— celles dont on attendait la transmission à partir du satellite français Spot (Système Probatoire d'Observation de la Terre) qui devait être lancé environ un an plus tard⁽⁴⁾.

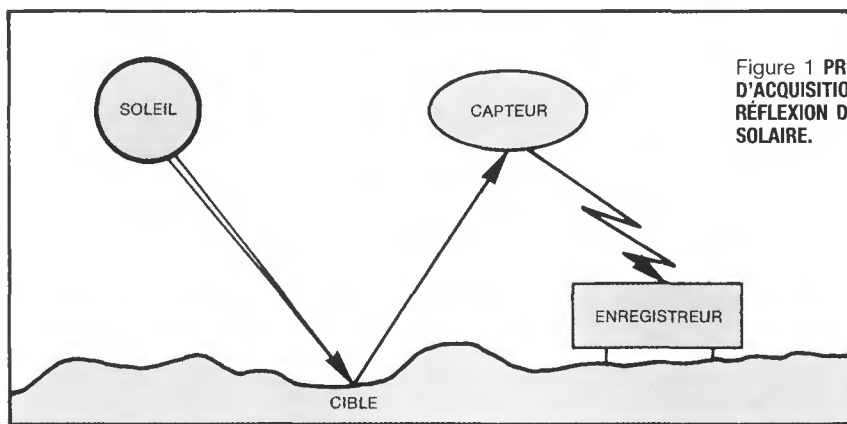
L'article ci-dessous se propose :

- de rappeler les principes de la télédétection ;
- d'expliquer l'expérience et d'analyser le savoir-faire des Suédois ;
- de dégager les principales applications et orientations de la télédétection forestière en Suède ;
- de tirer quelques conclusions pour la France.

LES BASES DE LA TÉLÉDÉTECTION

La télédétection permet l'observation de la surface terrestre à partir d'avions (par exemple photographies aériennes), ou de satellites, parfois même de dispositifs fixes (pylônes, ballons captifs) grâce à l'étude des caractéristiques des rayonnements électromagnétiques émis ou réfléchis par une cible déterminée qui peut être un massif forestier.

Un capteur enregistre la luminance de chaque point élémentaire de la scène observée. Cette luminance peut avoir une origine naturelle (réflexion de l'éclairement solaire, émission propre...) ou artificielle (réponse à un signal généré par un émetteur). Les dimensions du point élémentaire, appelé aussi pixel (de l'anglais « picture element ») déterminent la résolution au sol du capteur ; cette dernière peut varier de quelques mètres à plusieurs kilomètres en fonction du satellite et de son appareillage.



Les rayonnements électromagnétiques sont répartis dans un large spectre au sein duquel on distingue notamment :

- le domaine de la réflexion du rayonnement solaire, de 0,4 à 2,5 μm (microns) qui peut lui-même être découpé :
 - de 0,4 à 0,7 μm : visible (du violet au rouge) ;
 - de 0,7 à 2,5 μm : proche infra-rouge (tel qu'il a été récemment redéfini).

(4) Le lancement du SPOT a été réussi le 26 février 1986.

- le domaine de l'émission thermique, avec un intérêt marqué vers $10 \mu\text{m}$;
- le domaine des ondes Radar d'une longueur de quelques millimètres.

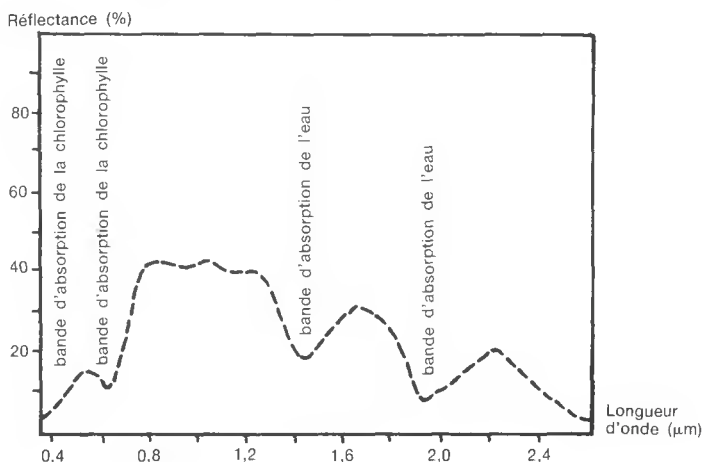
Le capteur intègre l'énergie mesurée sur une petite bande de spectre, par exemple $0,50$ à $0,59 \mu\text{m}$ (vert), $0,61$ à $0,68 \mu\text{m}$ (rouge) et $0,79$ à $0,89 \mu\text{m}$ (proche infra-rouge) pour les radiomètres HRV (Haute Résolution Visible) du satellite Spot (ces capteurs possèdent également un canal plus large dit panchromatique de $0,51$ à $0,73 \mu\text{m}$).

Dans le domaine de la réflexion, le paramètre généralement étudié est la réflectance qui est définie par le rapport entre deux énergies :

- celle réfléchie par le sol ;
- celle reçue du soleil.

La réflectance de la végétation évolue en fonction de la longueur d'onde du rayonnement considéré de la façon suivante :

Figure 2
**COURBE THÉORIQUE DE RÉFLECTANCE
 D'UN VÉGÉTAL. D'après L.A.R.S.**



Cette courbe traduit trois phénomènes :

- l'absorption par la **chlorophylle** des rayonnements bleus (vers $0,4 \mu\text{m}$) et rouges (vers $0,65 \mu\text{m}$) induit un pic de réflexion de la lumière verte et confirme la perception qu'a l'œil humain de la coloration des végétaux ;
- la forte réflectance observée à partir de $0,8 \mu\text{m}$ est liée à la **structure interne** des feuilles ;
- les bandes d'absorption notées vers $1,4$ et $1,9 \mu\text{m}$ caractérisent le **contenu en eau** de la végétation.

Comme il est utile de faire des observations comparables entre elles au-dessus de chaque point, les satellites sont soit géostationnaires (tournant à la même vitesse et dans le même sens que la terre), soit héliosynchrones (passant à la même heure locale au-dessus d'un même point pour chaque prise de vue).

Les principaux satellites portant des capteurs adaptés à l'étude de la végétation peuvent être caractérisés par le tableau ci-après page 388.

Finalement, les caractéristiques (coordonnées, luminance ou réflectance) de chaque point élémentaire ou pixel sont enregistrées sous forme numérique sur support magnétique, puis peuvent faire l'objet de traitements informatiques divers et de restitutions graphiques variées.

Satellite	Altitude	Période/ répétitivité	Radiomètres (I.R. = infra-rouge)	Résolution au sol	Largeur d'observation
METEOSAT (géostationnaire)	36 000 km	30 mn	1 pour le visible 1 pour le proche I.R. et l'I.R. thermique	2,5 km 5 km	calotte sphérique terrestre
NOAA (héliosynchrone)	1 500 km	12 h	1 pour le visible et l'I.R. ther- mique	0,9 km	3 000 km
LANDSAT 4 et 5 (héliosynchrones)	705 km	16 j chacun 8 j par combi- naison	Multispectral scanner system : 4 canaux (visible : 3, proche I.R. : 1) Thematic Mapper : 6 canaux d'une part (visible : 3, proche I.R. : 3) 1 canal d'autre part dans l'I.R. thermique	57 × 79 m 30 m 120 m	185 km » »
SPOT (héliosynchrone)	832 km	26 j 2,5 j ⁽¹⁾	1 couple de radiomètres Haute Résolution Visible ayant chacun : • un mode multispectral à 3 canaux (visible : 2, proche I.R. : 1), • un mode panchromatique	20 m 10 m	2 fois 60 km »

(1) Grâce au débalement des miroirs qui permet d'une part des visées obliques, d'autre part l'obtention éventuelle de couples stéréoscopiques.

L'EXPÉRIENCE ET LE SAVOIR-FAIRE SUÉDOIS

Une introduction progressive et complémentaire de nouvelles techniques

La forêt suédoise occupe environ 23,4 Mha, soit 57 % des terrains émergés. Le stock sur pied se répartit principalement entre trois espèces : Épicéa commun (47 %), Pin sylvestre (38 %), Bouleau (10 %), les autres essences ne couvrant que 5 % de la superficie. Les terrains forestiers appartiennent en gros pour un quart à l'État, un quart à des compagnies industrielles, et la moitié restante aux particuliers dont la propriété moyenne est de 50 hectares. Pour 8 millions de Suédois, on compte donc 3 hectares de forêts par habitant (contre 0,25 ha/hab. en France).

Le patrimoine forestier suédois peut ainsi être caractérisé par : sa place fondamentale dans l'économie nationale ; ses relatives simplicité et homogénéité ; une structure de grandes propriétés.

Dans ce contexte, il est apparu depuis longtemps qu'une source importante d'efficacité pouvait être recherchée dans l'utilisation de moyens globaux d'analyse et de quantification de la ressource forestière comme l'inventaire statistique (inventaire forestier suédois mis en place dès 1920) ou la photo-interprétation. L'expérience acquise par l'utilisation de photographies aériennes est évidemment un excellent préalable au traitement de données satellitaires. En outre, la réalité de terrain, qui doit être connue sur un certain échantillon pour valider une classification faite automatiquement à partir de données satellitaires, est souvent obtenue par photo-interprétation. L'analyse est ainsi facilitée, voire rendue possible, par la **combinaison de techniques visuelles, cartographiques et numériques** qui s'est faite en Suède de façon toute naturelle.

Nécessité d'un système d'informations géographiques et forestières

Il s'avère qu'on possède souvent une masse considérable d'informations, mais que celles-ci sont dispersées, hétérogènes et difficilement exploitables.

Or, une utilisation rationnelle de la télédétection nécessite l'observation et l'intégration d'autres documents, souvent cartographiques, dans le but par exemple :

- de choisir des zones tests bien connues et valider des résultats obtenus par simple traitement informatique ;
- de comparer une observation spatiale actuelle à une référence ancienne ;
- d'étudier précisément un phénomène particulier...

L'exploitation de tels documents ne peut se faire qu'à la condition de développer une base informatique de données à caractères géographique et forestier qui offrira de multiples possibilités de traitements, de comparaisons, de combinaisons... Cette base peut être constituée par exemple par la numérisation (mise sur support informatique) de cartes des peuplements, de cartes des stations, de la topographie...

Une liaison permanente avec les utilisateurs

Les recherches ont été très vite orientées beaucoup plus vers des applications que vers des études fondamentales, les principales raisons de ce choix étant d'ordre financier. Il s'agit soit d'un travail à la demande des utilisateurs qui s'effectue à leurs frais et donc nécessairement en étroite liaison avec eux, soit de l'élaboration d'un produit commercial dont la réussite est subordonnée à l'agrément des futurs acheteurs. Le stade de la mise au point des méthodes a donc souvent été dépassé pour produire des résultats tout à fait opérationnels. Cette démarche permet ainsi :

- de démontrer l'efficacité des méthodes,
- d'évaluer pour l'utilisateur le coût des produits,
- de garantir une partie lucrative aux activités de recherche.

Une mise en œuvre de moyens importants

Société publique financée à 90 % par le gouvernement, la Swedish Space Corporation coordonne les programmes et finance certains d'entre eux. Les champs d'intervention de la télédétection comprennent l'océanographie, la neige et la glace, l'agriculture et surtout la forêt. Dans ce dernier domaine, le développement des moyens est intense et marqué par l'équipement des laboratoires de recherches et par la création en 1982 de Satimage (filiale commerciale de la Swedish Space Corporation) qui emploiera en 1988 120 personnes et qui attache une grande importance aux débouchés forestiers.

Le facteur le plus significatif de cette mise en œuvre de moyens et de l'espoir placé par les forestiers suédois dans la télédétection est certainement la décision du Conseil national de la Forêt d'acquiescer un petit système de traitement d'images et le projet d'équiper également avec ce matériel les 25 districts et les 140 sous-districts forestiers.

AXES D'ÉTUDES ET DIFFÉRENTES APPLICATIONS EN SUÈDE

Cette expérience et ce savoir-faire se concrétisent également dans le choix d'objectifs simples définis de façon à apporter, à un faible coût, des informations capitales. Ces objectifs peuvent faire appel à deux types de méthodes :

— étude des changements intervenus entre deux dates pour lesquelles les renseignements nécessaires sont connus ;

— classification plus ou moins fine en zones homogènes.

Concrètement, les études (nombreuses) ou applications (encore rares) portent actuellement en Suède sur les points suivants :

— **Cartographie des modes d'occupation du sol**, par classification automatique dont le but est de mettre au point une typologie à la fois fine et conforme aux distinctions habituelles (zones urbanisées, agricoles, forestières, humides... chacun de ces grands types pouvant lui-même être désagrégé).

— **Évolution des modes d'occupation des sols** : une étude relative à l'île de Gotland (mer Baltique), fondée sur l'interprétation de photographies aériennes a permis par exemple de suivre l'évolution des boisements entre 1958 et 1980, et de déterminer les zones forestières passées à l'agriculture, transformées en friches, coupées, plantées ou actuellement construites, ainsi que les zones conquises par la forêt sur l'agriculture. La même étude peut être menée avec des données satellitaires.

— **Cartographie de la végétation, des sols...** : les cartes de la végétation sont actuellement établies par photo-interprétation (combinée avec des transects au sol) et l'utilisation d'images satellitaires est envisagée.

— **Typologie des peuplements forestiers** : elle pourra être obtenue en combinant données spatiales, aériennes et observations de terrain ; sa connaissance est utile dans le cadre de l'inventaire forestier national, soit pour réaliser une stratification des peuplements à inventorier, soit pour cartographier et suivre les types de peuplements. La méthodologie correspondante est à l'étude.

— **Analyse de la voirie forestière** comprenant la mise à jour de la cartographie des routes et la détermination des extensions futures souhaitables.

— **Études des dépérissements et des dégâts forestiers** dus tant à la pollution atmosphérique ou aux insectes qu'au feu, aux vents...

— **Contrôle des coupes rases et défrichements** : la loi forestière de 1979 régit le défrichement et soumet à déclaration les projets de coupes ; la télédétection donne les moyens de détecter les situations anormales.

— **Connaissance des caractéristiques des parcelles à reboiser** : l'identification des coupes rases a également un intérêt technique qui est de pouvoir procurer au propriétaire un certain nombre de caractéristiques sur les parcelles à reboiser (surface et contour notamment).

— **Suivi des plantations** : il est envisagé de déterminer par télédétection le moment où une plantation s'est affranchie de la végétation concurrente et celui où il est nécessaire de pratiquer une éclaircie.

PERSPECTIVES POUR LA FRANCE

Malgré les particularités de la forêt nordique, soulignées page 388, l'avancement du programme suédois et les espoirs qu'il suscite permettent d'envisager, avec le plus grand sérieux, l'avenir d'une utilisation de la télédétection à des fins forestières dans notre pays. Un tel développement nécessite évidemment la conduite d'un certain nombre de recherches préalables ou concomitantes.

Les progrès nécessaires

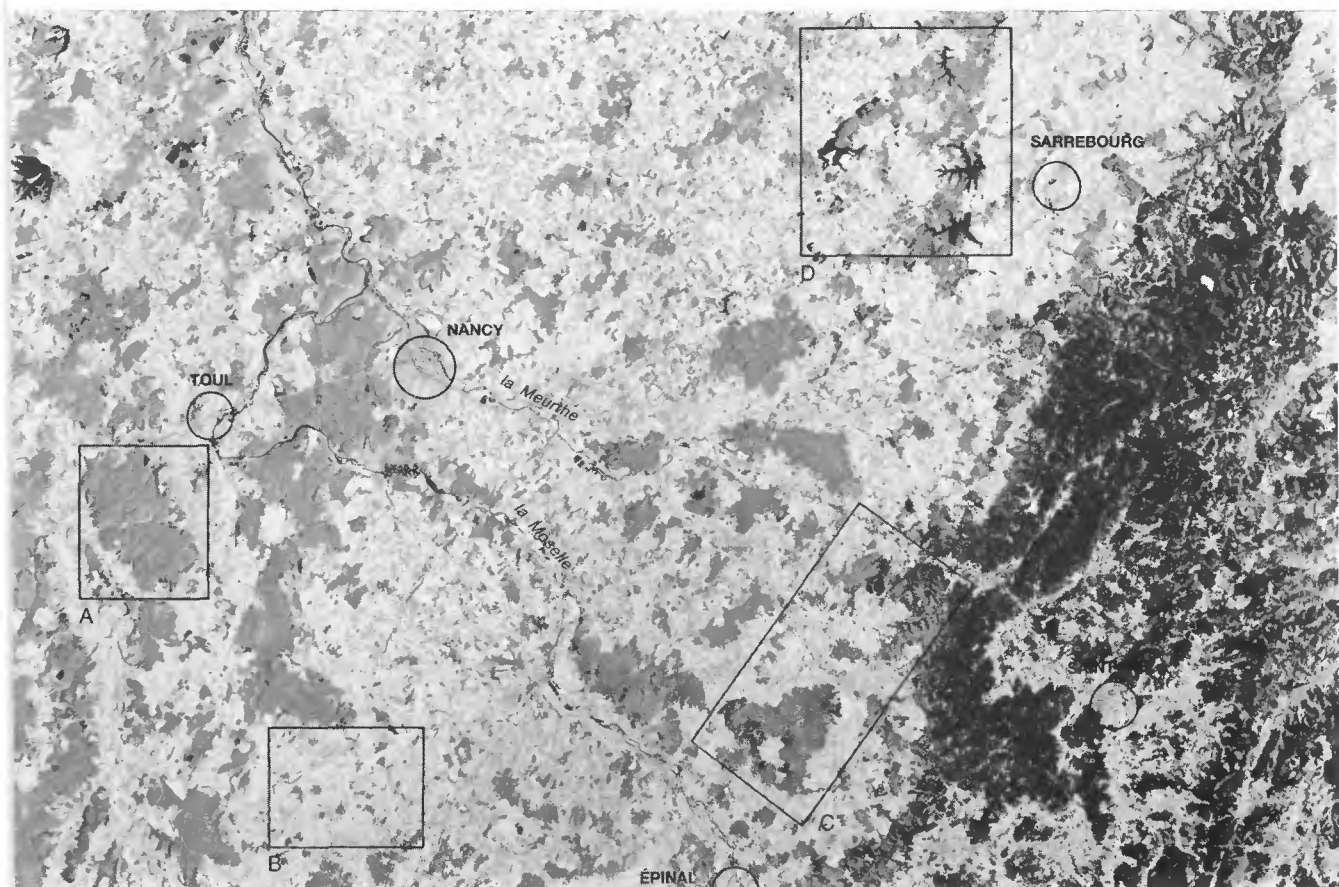
Deux grandes orientations semblent devoir être poursuivies :

- *Prise en compte de la spécificité de la forêt française*

D'une part, les peuplements forestiers occupent souvent des zones au relief significatif qui induit deux types d'effets :

- un couvert forestier situé sur une pente ne peut être observé de la même façon qu'en terrain plat ;
- la quantité de lumière reçue par les arbres est fonction de l'environnement topographique de ces derniers.

Image satellitaire de la région de Nancy (données Landsat TM du 30/7/84 ; canal 5 - 1,55 à 1,75 μm - cliché EARTHNET ; traitement L.E.R.T.S. - dimensions de l'extrait 135 km \times 85 km). On distingue notamment les zones en noir (eau), les peuplements résineux (gris-noir), les peuplements feuillus (gris moyen), les zones agricoles et urbaines (gris clair à blanc), et plus particulièrement, cadre A : le réseau des vallées d'un massif forestier proche de Toul et de Vaucouleurs ; cadre B : le parcellaire agricole entrecoupé de petits bois sur le plateau lorrain ; cadre C : les parties résineuses de massifs feuillus proches de Rambervillers ; cadre D : les étangs de Gondrexange, du Stock, de Lindre, de Mittersheim... enclavés dans les massifs feuillus de la région de Sarrebourg.



D'autre part, la forêt française est très diversifiée dans ses essences et ses modes de traitement. Il faut donc parvenir à différencier les principales espèces et les diverses structures grâce à des études de texture du couvert ainsi qu'à l'utilisation de la phénologie comparée des principales essences.

Ces questions sont actuellement à l'étude au sein du laboratoire d'Études et Recherches en Télédétection spatiale (L.E.R.T.S. Toulouse) et de l'École nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts (E.N.G.R.E.F. Centre de Nancy) avec le concours du Centre national du Machinisme agricole du Génie rural, des Eaux et des Forêts (C.E.M.A.G.R.E.F. Toulouse) et de l'Office national des Forêts (Section technique de Fontainebleau et services de terrain).

● *Contribution des forestiers à l'effort de recherche*

L'utilisation de la télédétection ne peut pratiquement pas s'imaginer sans celle de données auxiliaires. Un préalable au développement de cette technique s'avère ainsi être l'intégration des données déjà existantes dans des systèmes globaux d'information appelés systèmes d'information géographiques (cf. page 389).

Une volonté de rassemblement de ces données doit donc se dégager.

En outre, à plus court terme, il apparaît nécessaire que les forestiers se mobilisent dès maintenant pour évaluer les données ou les résultats de recherche et se prononcent sur divers choix qui peuvent être faits en matière de résolution au sol (30 m, 20 m, 10 m, ... ?), de fenêtres spectrales, de possibilités stéréoscopiques, de données auxiliaires ... car une telle contribution améliorera les potentialités de cet outil de façon radicale.

Les utilisations possibles

L'expérience suédoise a permis d'aborder des exemples concrets. Elle conduit pour la France à quatre grands types d'applications tout à fait réalistes :

- mise à jour régulière de l'inventaire forestier national et des cartographies correspondantes ;
- évaluation et suivi des dommages causés aux forêts et dus notamment au feu, aux insectes, aux maladies, aux tempêtes, à la pollution atmosphérique... ;
- suivi de la gestion forestière à des fins réglementaires ou techniques (défrichements, coupes rases, éventuellement éclaircies, reboisements) ;
- représentations cartographiques des forêts ou terrains à vocation forestière et des peuplements forestiers.

CONCLUSIONS

La Suède s'est lancée de façon fructueuse dans les applications de la télédétection effectuées sur une forêt qui est certes beaucoup plus homogène que la nôtre.

Cependant, avec l'ensemble de son programme spatial et de recherche en télédétection, la France semble bien placée pour adapter les techniques aux spécificités de sa forêt.

Il revient aux forestiers d'estimer dès maintenant, à leur juste valeur, la richesse et la puissance de la télédétection, de se préparer à l'utilisation de cet outil et de susciter, suivre ou favoriser

les recherches nécessaires. C'est ainsi qu'ils pourront, à très court terme, tirer profit de leurs applications qui toutes contribuent à une meilleure connaissance de la forêt et donc à une plus grande efficacité de sa gestion.

D. LEPOUTRE
Ingénieur du Génie rural,
des Eaux et des Forêts
Atelier Télédétection du Ministère de l'Agriculture
C.E.M.A.G.R.E.F.
B.P. 26, 31321 CASTANET TOLOSAN CEDEX

C. LEPRIEUR
Laboratoire d'Études et de Recherches
en Télédétection spatiale
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES
18, avenue Belin
31055 TOULOUSE CEDEX

J.L. PEYRON
Ingénieur du Génie rural
des Eaux et des Forêts
Professeur d'Aménagement forestier à l'E.N.G.R.E.F.
14, rue Girardet
54042 NANCY CEDEX

BIBLIOGRAPHIE

- APPLICATIONS de la télédétection à l'agriculture. Séminaire, Paris, 5, 6 et 7 décembre 1983.- Versailles : Institut national de la Recherche agronomique, 1985.- 257 p. (Les colloques de l'I.N.R.A. ; n° 32)
- BARIOU (R.).- Manuel de télédétection (photographies aériennes, images Radar, thermographies, satellites).- Soiope SA, 349 p.
- CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES.- Principes physiques et mathématiques de la télédétection.- Centre national d'Études spatiales - École d'été de Physique spatiale, Strasbourg, 18 août-15 septembre 1978.- 833 p.
- CENTRE NATIONAL DU MACHINISME AGRICOLE, DU GÉNIE RURAL, DES EAUX ET DES FORÊTS.- Dossier de formation en télédétection.
- GUILLEMET (B.).- Approche des possibilités d'utilisation de la télédétection spatiale par l'Inventaire forestier national.- Exemple d'une simulation Spot.- Nancy : E.N.G.R.E.F., janvier 1985.- 35 p. + 57 p. annexes (thème personnel).
- GUYON (D.), RIOM (J.), SELLERON (G.).- Simulations Spot sur la forêt landaise.- I.N.R.A., 1982.
- HUSSON (A.).- Télédétection des incendies de forêt.- OPIT, 1980.
- LEPOUTRE (D.), LEPRIEUR (C.), PEYRON (J.L.).- Analyse et conclusions du voyage d'Étude en Suède, décembre 1984.- 19 p.
- 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 (I.A.U.R.I.F.), 1985.- 121 p. (Mémoire 3^e année E.N.I.T.E.F.).
- RIOM (J.), MOUHOT (-), TORRES (C.).- Le dépérissement du Chêne en forêt de Tronçais. Simulations Spot.- I.N.R.A. - G.D.T.A., 1982.
- SAINT (G.).- Les données spatiales disponibles pour l'agriculture.- Communication à la journée « Agriculture et télédétection spatiale », 14 novembre 1982.- Résumé 2 p.
- SELLERON (G.).- Étude de la forêt landaise par télédétection spatiale.- Institut national de la Recherche agronomique, 1981.