

TELEDETECTION ET STATISTIQUE

Par Edouard CADET
Philippe COUTY
Bernard TISSIER

E. CADET, Ph. COUTY et B. TISSIER ont suivi une partie du stage d'initiation à la Télédétection organisé par l'ORSTOM du 29 novembre au 17 décembre 1982. La question qui les intéressait plus particulièrement était celle de l'ap-pui à attendre de la Télédétection dans le domaine statistique, notamment en agri-culture et dans les PVD. Voici un bref compte-rendu de ce stage. Des informations plus complètes peuvent être trouvées dans diverses publications de l'ORSTOM, en particulier dans la série "Initiations & Documents Techniques" (n°s 34, 39, 42, 47, 50, 51).

Ce texte a été lu par G. DANDOY, qui a formulé plusieurs remarques dont les auteurs le remercient.

*

* *

1 - PRINCIPES GENERAUX DE LA TELEDETECTION

La télédétection consiste en un système d'acquisition de données sur la biosphère et de transformation de ces données en informations utiles.

Elle repose sur un principe physique unique, à savoir la mesure de l'é-nergie du rayonnement électromagnétique réfléchi ou émis par la surface de la terre.

Les ondes électromagnétiques sont enregistrées par un capteur situé à bord d'une plateforme d'observation aérienne ou spatiale.

L'examen du rayonnement électromagnétique fournit des renseignements sur la source qui l'a émis et sur les objets qui l'ont réfléchi.

Schématiquement, la télédétection utilise trois types de rayonnement électromagnétiques :

- le rayonnement visible de 0,4 à 0,7 μ de longueur d'onde et le rayonnement proche du visible appelé proche infrarouge de 0,7 à 5 μ qui nous donne une vue de la terre à partir de la lumière émise par le soleil ;
- le rayonnement infrarouge thermique de 10 à 20 μ de longueur d'onde, émis par la terre ; il donne de jour et de nuit une vue de la température radiométrique de la terre et des nuages ;
- le rayonnement micro-onde de plus de 300 μ de longueur d'onde émis par une source artificielle (RADAR) ; il donne une image de la terre de jour et de nuit sans être arrêté par les nuages.

2 - LES MOYENS D'OBSERVATION

2.1. Les plateformes d'observation

La saisie des informations est opérée à partir de plateformes d'observation : ballons à basse ou haute altitude, avions ou hélicoptères et surtout satellites.

Le développement de la télédétection spatiale au cours des dernières années tient aux qualités propres des satellites artificiels. Les derniers suivent leur orbite d'une façon plus régulière que les avions leurs axes de vol. Ils peuvent en outre opérer pendant plusieurs années et transmettre au sol une masse considérable d'informations. Ils fournissent une vision synoptique de la surface terrestre.

Les systèmes spatiaux se composent de trois ensembles : capteur, transmetteur et restituteur.

On distingue trois grandes catégories de satellites de télédétection.

2.1.1. Les satellites géostationnaires

Ils sont placés sur une orbite circulaire, dans le plan de l'équateur, à une altitude de 36 000 km. Ils parcourent leur orbite en 24 heures et apparaissent immobiles par rapport à la terre. Leur pouvoir de résolution (1) est faible (quelques kilomètres). Les satellites ont été conçus pour des usages météorologiques. Cependant, leur utilisation à des fins océanographiques et continentales se développent rapidement.

2.1.2. Les satellites à défilement

Ils sont placés sur des orbites circulaires à une altitude de 1 000 km environ et effectuent une quinzaine de rotations par jour autour de la terre. Survolant à la même heure solaire tous les points du globe situés à une même latitude, ils sont dits de ce fait héliosynchrones.

Les satellites à défilement sont équipés d'instruments à large champ d'observation, quelques milliers de kilomètres. Ils offrent une répétitivité de deux observations par jour de la même région de la terre. Leur résolution spatiale est de l'ordre du kilomètre.

Plus précis que les précédents, les satellites à défilement sont utilisés principalement pour la prévision météorologique.

2.1.3. Les satellites de ressources terrestres

Ils s'apparentent aux satellites à défilement mais s'en distinguent par une meilleure résolution spatiale ; le point élémentaire au sol est un carré de quelques **dizaines** de mètres de côté. La largeur du champ d'observation est de l'ordre de 100 km.

(1) Résolution spatiale : dimensions du plus petit élément de surface (pixel) que le capteur peut appréhender.

Les satellites américains LANDSAT, dont le premier a été lancé en 1972, sont de ce type. Ils gravitent à 920 km d'altitude et ont une répétitivité de 18 jours. Le pouvoir de résolution au sol est de 80 mètres.

Les satellites LANDSAT servent à l'élaboration de cartes topographiques à une échelle supérieure ou égale au 1/100 000e et permettent d'analyser l'occupation de l'espace, le couvert végétal, les ressources en eau, l'agriculture, etc.

Le satellite français SPOT dont le lancement est prévu pour 1984 portera la limite de résolution spatiale à 20 mètres dans trois bandes spectrales qui recouvriront les domaines visible et proche infrarouge, et à 10 mètres en panchromatique.

2.2. Les capteurs

Les capteurs peuvent être classés selon divers critères :

- capteurs passifs ou actifs selon que l'énergie mesurée provient d'une source de rayonnement naturelle (énergie solaire et énergie émise par les objets) ou artificielle (énergie émise par le capteur lui-même : lasers et radars) ;

- capteurs monospectraux ou multispectraux selon qu'ils opèrent sur une ou plusieurs bandes de longueur d'onde ;

- capteurs imageurs ou non, à savoir :

- a) les émulsions photographiques, monospectrales ou multispectrales, sont utilisées dans le domaine du visible et du proche infrarouge ;

- b) les radiomètres qui enregistrent directement la puissance du rayonnement ont l'avantage de pouvoir explorer toutes les régions du spectre utilisables. Sont surtout employés les radiomètres multispectraux ;

- c) les radars opèrent dans le domaine des micro-ondes.

3 - RESTITUTION ET TRAITEMENT DE L'INFORMATION

L'information se présente soit sous la forme de films photographiques soit de signaux électriques exprimant l'intensité du rayonnement, traduite généralement en chiffres.

Le plus souvent, les données sont retransmises depuis le satellite jusqu'à des stations de réception au sol (au nombre de 12 actuellement dans le monde).

La retransmission peut s'opérer instantanément lorsque le satellite se trouve dans le champ d'une station de réception ou bien a posteriori. Dans ce dernier cas, les données sont stockées en mémoire en attendant que le satellite survole une station. Au sol, les informations sont enregistrées sur des supports magnétiques lesquels feront ensuite l'objet de traitements relatifs aux caractéristiques géométriques et radiométriques des enregistrements.

Un prétraitement -comportant des corrections- est systématiquement effectué. Les données prétraitées peuvent être visualisées sous forme d'images noir et blanc obtenues pour chaque bande spectrale. L'examen de ces documents permet une première interprétation mais les traitements peuvent être poursuivis à partir des données numériques disponibles sous forme de bandes magnétiques compatibles.

Les résultats des divers traitements sont disponibles sous forme de données chiffrées ou d'images. Les images peuvent être restituées sur écran de visualisation, par l'imprimante de l'ordinateur, ou sur films photographiques, eux-mêmes traitables par divers procédés photochimiques.

4 - APPLICATIONS

4.1. Peut-on formaliser les procédures d'interprétation ?

Des signaux radiométriques, on peut tirer des informations sur la localisation des objets observés, et des indications sur la quantité d'énergie électromagnétique émise ou réfléchie par ces objets en diverses régions du spectre.

Les informations de la première catégorie sont utilisables en principe directement, en réalité après correction de diverses distorsions. Il faut aussi, bien entendu, que l'objet observé soit de dimensions suffisantes pour être appréhendé par les capteurs du satellite, qui n'enregistrent qu'un signal par pixel.

Les informations relatives à la quantité d'énergie émise ou réfléchie peuvent aboutir, au terme d'une chaîne de déductions, à des jugements sur la nature et l'état des objets observés. Par exemple, ces déductions peuvent théoriquement permettre :

- de distinguer les sols nus des sols recouverts de végétation et de qualifier la densité du couvert végétal ;
- de distinguer certaines espèces ou certains types de formations végétales (résineux/feuillus, riz/sorgho, ...) ;
- de noter, à un moment donné, l'état phénologique de ces espèces, c'est-à-dire leur situation par rapport aux phénomènes périodiques (germination, feuillaison, floraison) subis par les plantes en fonction du climat.

Peut-on reproduire ces déductions en suivant des procédures formalisées et transmissibles ? Poser cette question, c'est se demander, par exemple, si le blé ou le maïs, à une certaine étape du cycle phénologique, présenteront toujours et partout la même signature spectrale, c'est-à-dire la même courbe d'énergie émise ou réfléchie en fonction de la longueur d'onde ? Peut-on établir des dictionnaires de signatures spectrales par plantes utiles, un peu comme en cryptographie on établit des codes associant, selon des règles précises, un lettre ou une syllabe ou un mot à un groupe de chiffres ?

En fait, l'intensité du signal radiométrique (de 0 à 63 pour LANDSAT) doit s'interpréter en fonction de l'influence -très fortement variable- de l'atmosphère, et aussi en tenant compte de l'intensité des signaux voisins. C'est l'ensemble, la configuration des signaux relatifs à un espace donné qui peut avoir un sens pour le thématicien. Cela pourra conduire, en traitement numérique, à travailler davantage sur l'écart entre la valeur d'un point et la valeur des points voisins que sur la valeur absolue de ce point. On s'intéresse plus à la répartition et à l'arrangement des valeurs qu'aux valeurs elles-mêmes. Des traitements photographiques peuvent se révéler plus fructueux pour la recherche, qui s'opère alors de manière visuelle.

Autrement dit, pour traiter les informations radiométriques, il faut tenir compte d'éléments non radiométriques : la forme et le mode de juxtaposition des objets, notamment. C'est là une limite essentielle à la standardisation et l'automatisation des traitements. A partir de ce qui a été vu mécaniquement par les capteurs du satellite, il faut en arriver à regarder, toute la difficulté de l'opération venant du fait que ce regard porte sur des mesures réalisées en dehors de la lumière visible pour l'oeil humain, et aussi du fait que le point élémentaire le plus souvent ne représente pas un seul objet au sol : le pixel est lui-même une intégration des réponses radiométriques de multiples objets.

Ces considérations très sommaires permettent de comprendre que l'utilisation des données de TD pose de nombreux problèmes et requiert une formation poussée.

4.2. Applications opérationnelles

Les indications données au cours du stage ne laissent pas de doute sur les services rendus par la TD en météorologie et pour la prévision du temps. Parce qu'elle permet de repérer le déplacement des fronts thermiques à la surface des océans (1), la TD sert aussi, par exemple, à orienter les flottes de pêche vers les zones où le poisson a des chances d'être abondant. En matière de recherche géologique, les satellites d'étude des ressources terrestres (type LANDSAT) fournissent des informations utiles. Les mêmes satellites servent aussi aux inventaires de formations végétales, à la reconnaissance des essences forestières, au suivi des coupes, bref à tout ce qui concerne la gestion des forêts. Les données fournies sont précieuses enfin pour l'étude des zones d'inondation ou de crue.

4.3. Applications à la statistique agricole

C'est le domaine auquel pensent d'abord les statisticiens, notamment ceux qui travaillent dans les pays en voie de développement, à savoir l'inventaire des zones cultivées, le suivi des cultures, les prévisions de récolte (2).

Sur tous ces points, le stage nous a laissés perplexes. L'impression dominante est qu'on se trouve au stade des essais, et que certains échecs ou demi-succès font entrevoir la double nécessité :

- d'études expérimentales longues et difficiles pour mettre au point des méthodes de traitement des données ;

- de concevoir la TD comme un outil parmi d'autres, ne pouvant en aucune façon se substituer aux enquêtes réalisées au sol.

-
- (1) Un exemple montre bien, même en ce domaine, la grande ambiguïté des données de TD. La Mer Rouge est une mer froide, si l'on juge d'après les signaux radiométriques, car ceux-ci ne traduisent que ce qui se passe à la surface des masses d'eau - en l'occurrence une évaporation intense, donc des températures basses.
 - (2) Mentionnons pour mémoire des essais d'interprétation réalisés à l'ORSTOM dans le domaine des recherches urbaines, qui semblent n'en être qu'à leur début.

4.3.1. Insertion de la TD dans les systèmes statistiques existants

Des exposés de J. Meyer-Roux et P. Fournier (1), puis de J.P. Gilg (2), il ressort d'abord que la TD, incontestablement, peut contribuer à l'enregistrement des surfaces cultivées et, dans une certaine mesure, des types de végétaux couvrant le sol. Par contre, les données qu'elle fournit ne renseignent pas sur les rendements, ni par conséquent sur les quantités produites. Il est clair aussi que la TD n'apporte rien, et peut tout au plus se juxtaposer, aux systèmes de mesure qui, comme celui de l'URSS, se fondent sur des renseignements comptables établis par les unités de production puis centralisés peu à peu par une structure pyramidale. La TD n'est guère utilisable non plus par les systèmes statistiques fondés sur l'observation d'un échantillon tiré d'une base de sondage lorsque cette base est une base-liste, créée par un recensement exhaustif de type socio-économiques (liste d'exploitations). Par contre, la TD devrait pouvoir améliorer le fonctionnement des systèmes statistiques aréolaires qui, comme celui de l'US Department of Agriculture, privilégient les faits d'occupation du sol. Toutefois l'erreur serait de chercher ici à remplacer l'observation au sol par le traitement automatique des données de TD.

4.3.2. Expériences américaines

C'est ce que montre, à l'évidence, l'expérience du programme LACIE (3) réalisée par la NASA en matière de prévision mondiale de la production de blé. Tenant compte de cette expérience, le programme AGRISTAR comporte un volet "Utilisation du territoire" dans lequel on essaie de comparer :

- des données de terrain pour lesquelles on peut minimiser l'erreur d'observation et l'erreur aléatoire ;

- et des données de TD qui ne comportent pas d'erreur aléatoire puisqu'elles sont exhaustives, mais qui sont entachées d'une importante erreur d'observation en ce qui concerne la mesure des surfaces.

(1) Service Central des Etudes et Enquêtes Statistiques du Ministère de l'Agriculture (SCEES).

(2) Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales.

(3) Large Area Crop Inventory Experiment, 1974.

Il est possible de construire les droites de régression exprimant la déformation qu'introduit la TD par rapport à cette vérité-terrain de la statistique classique. Si cette déformation peut être mesurée et si elle demeure stable, on peut théoriquement obtenir des statistiques parfaites. Encore ne s'agirait-il là que d'une amélioration de la qualité statistique : on obtient des quantités, mais on ne peut les spatialiser de façon précise étant donné l'échelle de travail adoptée. La démarche suivante consiste alors à tenter de localiser les droites de régression dans des espaces de plus en plus restreints.

4.3.3. Expériences françaises

Les travaux français menés par le Centre National d'Etudes Spatiales et le ministère de l'agriculture dans le Lauragais et dans l'Eure semblent montrer, si nous avons bien compris les exposés, que la statistique agricole pose à la TD beaucoup plus de problèmes que la gestion forestière. Parmi ces problèmes, mentionnons :

- l'établissement de nomenclatures différentes selon les dates des images ;
- la représentativité des zones sans nuages par rapport aux zones nuageuses ;
- la liaison problématique entre faits de paysage et fait socio-économique. La TD contribue à la cartographie des paysages, mais pour aborder la prévision de récolte, il faudrait disposer de modèles d'interprétation prenant en compte des facteurs stables (le niveau technico-économique des exploitations) et d'autres moins stables (la réserve en eau des sols).

Au bout du compte, l'utilisation des données de TD ne semble intéressante qu'en relation avec d'autres moyens d'information. La TD pourrait contribuer par exemple à la création et au renouvellement de bases de sondage, à partir desquelles des enquêtes au sol pourraient être pratiquées sur des segments-témoins. C'est cet apport de la TD à la constitution et à l'entretien des bases de sondage qui permet d'envisager un certain allègement des opérations statistiques. Le coût de l'accès aux données de TD et de leur traitement semble stagner, alors que celui des enquêtes au sol augmente rapidement.

4.3.4. Expériences en Afrique

Les conversations tenues avec des géographes africanistes qui ont pu suivre l'intégralité du stage et travailler sur des scènes LANDSAT correspondant à leurs terrains de recherche font apparaître des points intéressants.

On insiste beaucoup sur les avantages qu'offre la TD en raison du nombre d'images disponibles, de leur répétitivité, des possibilités de comparaison ainsi ouvertes. La pratique révèle que ces avantages sont très incertains. En effet, avant d'être retransmises aux stations de réception, les données de TD sont stockées dans la mémoire du satellite. La capacité limitée de cette mémoire oblige à limiter les enregistrements, notamment lorsque le satellite survole l'Afrique. La répétitivité réelle des images est donc très inférieure à la répétitivité théorique. Concrètement, le nombre de bonnes images qu'il est possible d'obtenir sur le delta du Sénégal ou le barrage de Kossou semble tout à fait limité. La situation pourrait s'améliorer avec la mise en service d'une station de réception à Ouagadougou, mais il ne faut pas être trop optimiste.

Le travail sur les scènes LANDSAT de la vallée du Sénégal a fait surgir toutes sortes de difficultés -non-superposition des images successives, repérage très malaisé des rizières- qui montrent bien que de minutieuses recherches expérimentales sont indispensables pour mettre au point les procédures d'interprétation. A n'en pas douter, les observations de terrain resteront nécessaires. Le recours aux photos aériennes, en l'état actuel des choses, présente toujours des avantages considérables.

*

* *

La télédétection permet, ou paraît permettre, d'appréhender des objets auxquels il est impossible d'accéder. Le paradoxe, c'est que pour interpréter les données obtenues, l'accès à ces objets se révèle en fin de compte indispensable. Autrement dit, l'avènement de la TD n'a fait qu'ajouter aux moyens de saisir le réel, et ne permet nullement de considérer les moyens anciens comme périmés ou dépassés. La combinaison des moyens anciens et nouveaux, vers laquelle tout montre que l'on s'achemine, pour prometteuse qu'elle soit, pose des problèmes méthodologiques difficiles, que la prochaine mise en service de satellites à grande puissance de résolution ne fera qu'aggraver et multiplier. Il y a de beaux jours en perspective pour la recherche de pointe. Quant aux statisticiens, ils n'ont pas à craindre le chômage.

Cadet E., Couty Philippe, Tissier B. (1983).

Téledétection et statistique.

Statéco, (34), 5-14.

ISSN 0224-098X