

L'OBSERVATION DE LA TERRE PAR TELEDETECTION SPATIALE : PRINCIPES GENERAUX

Françoise DUREAU

Géographe-démographe, ORSTOM, Département SUD, U.R. 5E

Le terme "télédétection" désigne tout système d'acquisition d'information sur des objets, sans contact direct entre l'instrument de mesure et l'objet. Dans ce vaste ensemble, la télédétection spatiale correspond aux techniques d'observation de la terre à partir de satellites, qui utilisent les propriétés du rayonnement électromagnétique.

C'est donc par la physique que nous débuterons notre introduction à la télédétection spatiale, passage délicat mais nécessaire pour aborder l'acquisition et la transmission des données satellitaires, puis les principes généraux de l'exploitation des images satellite.

1. LES PRINCIPES PHYSIQUES

Tous les systèmes d'acquisition en télédétection reposent sur la mesure des rayonnements électromagnétiques émis ou réfléchis par la surface terrestre.

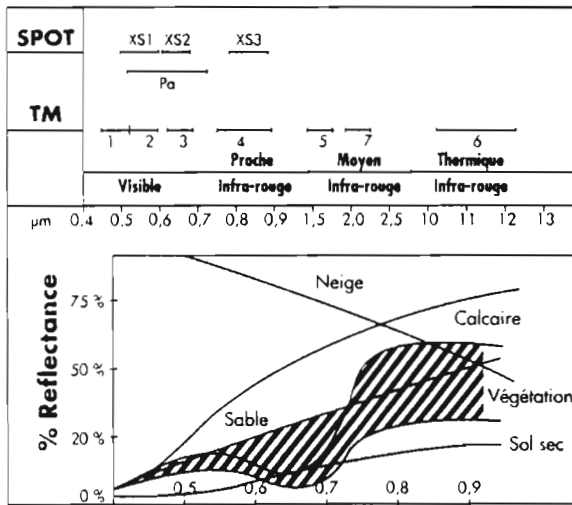
Tout corps terrestre émet de l'énergie sous forme électro-magnétique : les caractéristiques spectrales de cette émission varient en fonction de la température de ce corps, mais son maximum se situe toujours dans le domaine de l'infra-rouge thermique.

Le rayonnement solaire (ou rayonnement artificiel) qui atteint un objet de la surface terrestre subit 3 phénomènes, dont la part respective varie selon la longueur d'onde et selon les caractéristiques géométriques et physiques de cet objet : l'absorption, la diffusion (réflexion dans toutes les directions) et la réflexion spéculaire (réflexion selon une seule direction déterminée par l'angle d'incidence).

En dehors du domaine urbain, où l'on trouve de nombreux toits en pente, il est rarement observé de phénomène de réflexion spéculaire. Il s'agit

le plus souvent de réflexion diffuse du rayonnement incident par la surface terrestre. La part respective d'absorption et de diffusion du rayonnement varie selon les longueurs d'onde, en fonction des caractéristiques de l'objet. Ainsi, la matière végétale réfléchit peu dans le visible, mais beaucoup dans l'infra-rouge proche.

En raison de l'opacité totale de l'atmosphère pour certaines longueurs d'onde et de la diffusion importante des rayons ultra-violet par l'atmosphère, le rayonnement émis et réfléchi par la surface terrestre ne peut pas être observé dans sa totalité à partir d'un capteur embarqué sur un satellite situé à 900 km de la terre. L'atmosphère n'est "transparente" que pour certaines longueurs d'onde : ce n'est donc que dans ces parties du spectre, encore appelées "*fenêtres atmosphériques*". que peut être réalisée l'observation de la terre depuis un satellite.



A l'heure actuelle, l'interprétation d'une image satellite est principalement fondée sur l'hypothèse qu'il est possible de reconnaître un certain nombre d'éléments présents à la surface de la terre à partir des valeurs de luminance de ces objets dans les différentes fenêtres du spectre électromagnétique, c'est-à-dire leur *signature spectrale*.

2. L'ACQUISITION DES DONNEES

Un système d'acquisition des données se définit par deux éléments :

- le *capteur*, c'est-à-dire l'appareil qui reçoit et mesure le rayonnement issu des objets au sol : émulsion photographique, radiomètre ou système électronique avec antenne tel que le radar ;
- le *vecteur*, c'est-à-dire le véhicule sur lequel est embarqué le capteur pour réaliser l'observation : ballon, avion, satellite.

Capteurs et vecteurs permettent de distinguer différents systèmes d'acquisition en télédétection ; les trois plus connus sont :

- émulsion photographique + avion ----> photographies aériennes ;
- radiomètre + satellite ----> images satellite ;
- radar + avion ou satellite ----> images radar.

Les deux premiers systèmes sont "*passifs*", c'est-à-dire qu'ils sont seulement récepteurs et mesurent l'énergie naturelle émise ou réfléchi par la surface terrestre, tandis que le système radar¹ est un système "*actif*" à la fois émetteur et récepteur, qui émet un rayonnement vers la zone observée et mesure le rayonnement qu'elle lui réfléchit.

2.1. Capteurs : les radiomètres

Un capteur se compose de trois éléments : le dispositif de collecte, le dispositif de détection et celui d'enregistrement. L'énergie électromagnétique reçue par l'optique est envoyée sur le détecteur et transformée en un signal électrique amplifié.

L'observation se fait par détection de lignes successives de la surface terrestre ; la largeur des lignes est de 60 km pour SPOT et 185 km pour Landsat. La détection de chaque ligne se fait soit par un système de miroir oscillant (système de balayage utilisé sur Landsat), ou par le système à barrettes (utilisé sur SPOT).

Les capteurs embarqués sur les satellites mesurent la *luminance* spectrale au sein d'une surface au sol de taille fixe : à cette unité de surface correspond une unité élémentaire de l'image appelée *pixel*. La luminance est mesurée à l'intérieur de plusieurs *bandes du spectre visible ou infra-rouge*, dont les bornes varient selon le capteur ; ces bornes sont choisies pour mieux discriminer les objets tout en minimisant

¹ Voir article de B. et M.C. LORTIC sur le système radar.

l'absorption due à l'atmosphère terrestre, et éviter la redondance de l'information.

Deux paramètres fondamentaux caractérisent donc les capteurs :

- *la résolution spatiale*, définie par la taille de la surface élémentaire au sol (*pixel*) pour laquelle on dispose de la mesure de luminance :

SPOT :

panchromatique : 10×10 m, soit 100 m^2

multispectral : 20×20 m, soit 400 m^2

Landsat Thematic Mapper (TM) :

infra-rouge thermique : 120×120 m, soit 1440 m^2

autres canaux : 30×30 m, soit 900 m^2 .

- *la résolution spectrale*, définie par le nombre et les caractéristiques des fenêtres à l'intérieur desquelles les mesures sont effectuées ; pour chaque pixel, il y a donc autant de mesures que de bandes spectrales :

SPOT :

mode panchromatique : 1 bande

mode multispectral : 3 bandes (XS1, XS2, XS3)

Landsat Thematic Mapper (TM) :

mode multispectral : 7 bandes (TM1 à TM7)

2.2. Vecteurs : les satellites

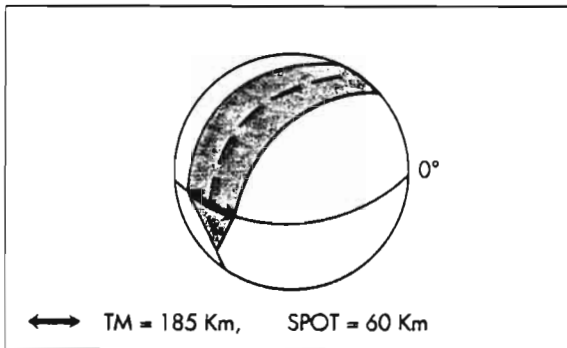
Deux grandes familles de satellites peuvent être distinguées selon les caractéristiques de l'orbite suivie :

- les *satellites géostationnaires* (ou géosynchrones) : le satellite se trouve toujours au dessus du même point du globe terrestre. Pour remplir cette condition, leur altitude est nécessairement voisine de 36.000 km : leur résolution spatiale est donc faible, mais leur champ d'observation est particulièrement vaste. Cinq satellites suffisent à couvrir la quasi-totalité du globe. Les images recueillies par ce type de satellite sont essentiellement utilisées en météorologie ;

- les *satellites à défilement* : un satellite héliosynchrone se déplace par rapport à la surface terrestre et repasse toujours à la même heure solaire locale au-dessus d'un point donné du globe. Ces satellites sont à une altitude comprise entre 700 et 900 km ; leur résolution atteint maintenant 30 mètres (TM) ou 10 mètres (SPOT).

2.3. La couverture du globe terrestre

La couverture quasi-totale du globe terrestre par les satellite à défilement est obtenue par la juxtaposition des bandes de surfaces terrestre observées par le satellite.



La largeur de la bande observable et la durée nécessaire au satellite pour parcourir une orbite complète déterminent le nombre de jours utiles pour qu'il réalise la couverture de l'ensemble du globe terrestre :

Landsat Thematic Mapper (TM)

- Une orbite en 103 mn, soit 14 tours de la terre en une journée
- Bande observée = 92,5 km de part et d'autre de sa trace au sol
- Ensemble du globe couvert en 18 jours

SPOT

- Une orbite en 101 mn, soit 14 tours de la terre en une journée
- Bande observée = 60 km de part et d'autre de sa trace au sol
- Ensemble du globe couvert en 26 jours.

Le schéma de couverture du globe décrit ci-dessus ne tient compte que des observations réalisées sur une bande située à la verticale du satellite. Si tous les Landsat sans exception ne peuvent fonctionner que de cette façon, il n'en est pas même pour SPOT. En effet, grâce à un miroir orientable, l'axe de visée peut être décalé de +/- 27° par rapport à la verticale. Ce système permet d'observer une bande de +/- 475 km de part et d'autre de la trace au sol du satellite, au lieu des seuls 117 km observables à la verticale.

Deux propriétés découlent de la possibilité de visée latérale de SPOT :

- pendant une période de 26 jours, la possibilité d'observer une même zone 7 fois (à l'Equateur) ou 11 fois (à 45° de latitude) ;
- l'obtention de couples stéréoscopiques permettant d'appréhender le relief.

3. TRANSMISSION ET DIFFUSION DES DONNEES

3.1. La transmission au sol

Les capteurs embarqués sur les satellites mesurent une grandeur physique appelée *luminance spectrale*. Après avoir été codées entre 0 et 255, ces informations sont transmises au sol, où elles sont reçues par des stations de réception et stockées sur support magnétique sous forme d'image matricielle.

La transmission peut être :

- *instantanée*, lorsque le satellite se trouve à l'intérieur du cercle de visibilité d'une station de réception (environ 2.600 km de rayon) ;
- *en différé*, quand il se trouve à l'extérieur de ce cercle. Dans ce cas, les données doivent être stockées en mémoire dans l'attente du survol d'une station : ce système suppose une grande capacité de stockage et un fonctionnement sans discontinuité du dispositif d'enregistrement si l'on veut éviter l'absence d'image sur certaines régions du globe.

3.2. Les pré-traitements

Les images reçues par les stations ne sont pas directement utilisables ; avant d'être diffusées, elles doivent faire l'objet de corrections géométriques et radiométriques.

Les *corrections radiométriques* sont fondées sur le réétalonnage du radiomètre, qui permet une égalisation relative des mesures de ses détecteurs.

Les *corrections géométriques* sont destinées à corriger les effets du mouvement secondaire du satellite dans les trois dimensions (lacet, roulis, tangage).

En cas de relief important, avec les corrections géométriques standard, les images obtenues ne sont pas superposables à une carte ; ce résultat ne peut être obtenu que par un traitement particulier nécessitant une information sur le relief de la zone (carte topographique, ou Modèle Numérique de Terrain, c'est-à-dire un fichier donnant l'altitude de tous les points du terrain selon un maillage régulier).

3.3. Les produits diffusés

Les résultats sont commercialisés :

- soit sur support photographique (film, ou tirage papier),
- soit sur support magnétique (bande magnétique ou disquette).

Pour SPOT, il est possible de choisir parmi les niveaux de prétraitements selon le degré de précision géométrique désiré.

Les images couvrent une zone correspondant à une scène, soit :

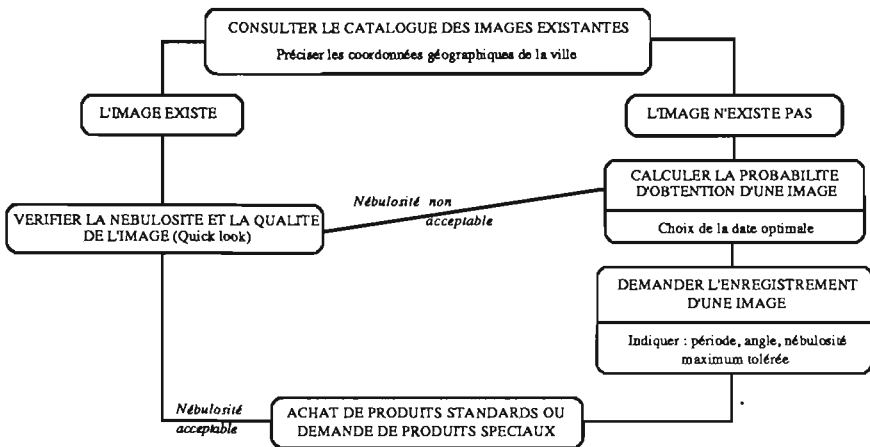
- 185 x 185 km pour Thematic Mapper et,
- 60 x 60 km pour SPOT.

Dans le cas d'études ponctuelles, on peut acquérir 1/4 de scène seulement (soit 30 x 30 km pour SPOT, et 90 x 90 km pour TM), ou un extrait d'image SPOT de 10 x 10 km.

3.4. Modalités d'acquisition des images

Les satellites SPOT et Landsat TM n'enregistrent pas de façon continue : l'enregistrement est programmé par les sociétés exploitant les satellites en fonction des commandes et de leurs propres impératifs. Il existe donc, pour SPOT comme pour TM, un catalogue des images enregistrées, avec leurs caractéristiques : date d'enregistrement, pourcentage de nuages sur l'image, qualité de l'image, angle de visée pour SPOT.

Si l'on souhaite acquérir une image sur une zone donnée, la démarche à suivre la suivante :



4. TRAITEMENTS ET INTERPRETATION DES DONNEES

Devant la masse d'informations contenues dans une image satellite, l'utilisateur doit recourir à des techniques d'aide à l'interprétation.

Les documents satellitaires peuvent se présenter, nous l'avons vu, sous forme d'image sur support photographique ou sous forme numérique sur support magnétique . Cette double présentation des données implique des traitements techniquement différents (dans le 1er cas, traitements photo-chimiques, dans le 2ème cas, traitements numériques), mais qui fondamentalement répondent aux mêmes objectifs :

- description statistique de l'image ;
- sélection de l'information ;
- amélioration d'image ;
- classification de l'information ;
- création d'une nouvelle information adaptée au thème étudié.

La description statistique de l'image consiste à décrire les séries statistiques constituées par les valeurs radiométriques des pixels, considérés soit canal par canal (statistique unidimensionnelle), soit sur différents canaux pris simultanément (statistique multidimensionnelle). Ces calculs préliminaires (histogramme, mode, moyenne, variance, corrélation,...etc) permettent de voir quel(s) canal(aux) est le plus pertinent par rapport au thème étudié, de sélectionner ainsi les canaux à utiliser pour l'étude et de déterminer les traitements à réaliser pour optimiser les conditions d'interprétation.

Les techniques de sélection de l'information visent à éliminer une partie de l'image, sélectionnée d'après :

- un critère spatial : délimitation d'une zone géographique à exclure de la suite des traitements, ou
- un critère spectral : élimination des pixels ayant des valeurs radiométriques données.

En amélioration d'image, deux grands objectifs sont visés :

- augmentation des contrastes locaux ou généraux, et
- amélioration de la résolution ou de l'acuité.

Toujours dans le but d'améliorer la lisibilité de l'image, des techniques de gradients (filtres) peuvent permettre de dégager les contours et les éléments linéaires de l'image.

Les méthodes de classification constituent un moyen de synthétiser l'information en rassemblant par classes les pixels aux valeurs radiométriques les plus proches. Ces classifications peuvent être basées sur les valeurs radiométriques dans un seul canal, ou sur une combinaison des valeurs prises dans différents canaux.

Ces classifications peuvent être :

- totalement *automatiques* : dans ce cas, on applique des techniques de partitionnement direct, sans contraintes, sans hypothèses préalables ;
- *supervisées* : l'utilisateur garde un contrôle sur la classification en imposant des vérités terrain (données ponctuelles recueillies par observations directes au sol ou issues d'une source considérée comme absolument fiable), ou des contraintes telles que des seuils de classification.

La création d'une nouvelle information

Il peut être très efficace de créer des "*néo-canaux*", en affectant à chaque pixel de l'image une valeur résultant d'une combinaison de ses valeurs dans deux ou plusieurs canaux. Cette combinaison peut être réalisée selon différents procédés :

- *combinaison colorée* : une couleur primaire est affectée à chacun des trois canaux (par exemple pour SPOT, XS1 : bleu, XS2 vert, XS3 : rouge) ; puis, les trois canaux sont superposés afin d'obtenir une représentation en couleur qui allie les propriétés discriminantes de chacun d'eux. Pour SPOT, un tel traitement fera apparaître la végétation en rouge, couleur affectée au canal XS3, dans lequel la végétation possède une valeur de luminance forte. Ce type de traitement, très souvent employé, conduit à une analyse visuelle de l'image selon des procédés voisins de ceux pratiqués en photo-interprétation ;
- *calcul d'indices*, combinant mathématiquement les valeurs radiométriques prises dans plusieurs canaux. Les plus courants sont les indices de végétation et les indices de brillance.

Toutes ces techniques sont étroitement liées : le passage de l'une à l'autre est incessant au cours de l'analyse d'une image satellite. L'introduction de vérités-terrain, indispensable, oriente les traitements.