



UNIVERSITE ALASSANE OUATTARA

UFR CMS

DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE

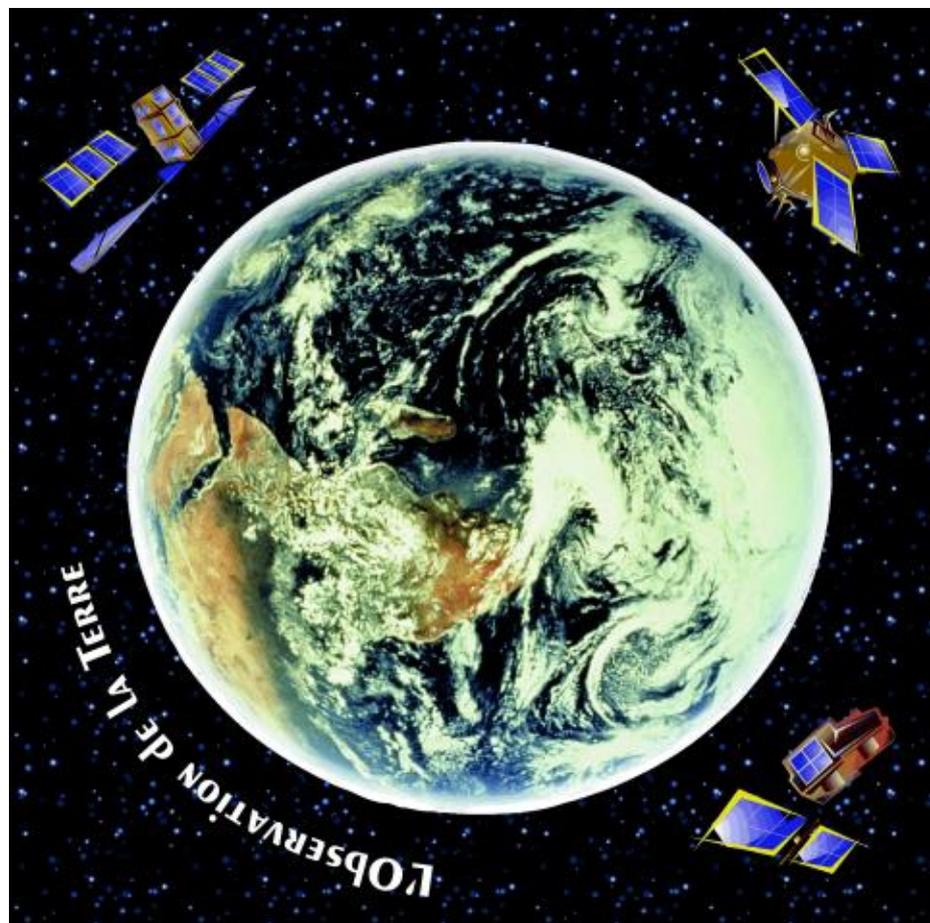
Année académique 2019-2020

LICENCE 3 GEOGRAPHIE

TÉLÉDÉTECTION APPLIQUÉE

(COURS OBLIGATOIRE)

Dr. ETTIEN ZENOBE



INTRODUCTION

La télédétection aérospatiale est une technique récente développée initialement par les militaires, puis les géographes. Depuis plusieurs décennies, les cartes topographiques et thématiques sont dressées en utilisant systématiquement les photographies aériennes. Aujourd'hui, grâce à la complémentarité des apports de la télédétection spatiale, on assiste à une révolution dans la création et la gestion des *données à référence spatiale*. L'observation de la terre par des procédés de télédétection satellitaires présente de nombreux avantages notamment :

- *la possibilité d'observer des régions très vastes ;*
- *la facilité d'accès à toutes les régions de la terre ;*
- *l'observation périodique d'une même région ;*
- *le traitement informatisé des données satellitaires numériques et ;*
- *l'intégration des données satellitaires dans des Systèmes d'Information Géographique (S.I.G).*

Aujourd'hui la *Géomatique* (Système d'Information Géographique et télédétection) s'est considérablement développée et vulgarisée. Désormais, elle entre dans plusieurs applications civiles telles que l'hydrologie, la géologie, l'agronomie, la foresterie, l'urbanisme, l'environnement...

La télédétection spatiale est surtout *un outil de collecte, d'analyse, de suivi et de prévision de l'information reliée aux sciences de la terre et son à environnement, basée sur l'imagerie satellitaire*. L'utilisation actuelle des énormes potentialités de la télédétection en fait un moyen puissant d'identification, de prospection et d'évaluation des ressources terrestres.

La télédétection constitue une technologie mais également une source d'information privilégiée pour la gestion de l'environnement pour lequel les problèmes liés à l'information environnemental devient de plus en plus complexe en raison de la prise de conscience mondiale de l'interdépendance de toute les échelles des processus dynamiques de la biosphère et de l'atmosphère. Les données d'observation de la terre qui sont associées aux méthodes de modélisation environnementales dont *des données multi-échelles, multi-bandes, multi-modes, multi-capteurs et multi plates-formes*. Le traitement d'images, avec ses récentes innovations, grâce aux apports de la recherche, intégré aux Systèmes d'Information Géographique (S.I.G), permet de mieux modéliser notre environnement dans toute sa diversité.

I. BASE DE LA TELEDETECTION

1.1. Définition

La télédétection par satellite est entrée en 1972 au service des sciences de la Terre et de la nature, grâce au satellite américain Landsat. Elle a révolutionné les méthodes d'investigation et de cartographie des ressources terrestres.

Comme définition, elle est *la science et l'art d'obtenir des informations utiles sur un objet, une surface ou un phénomène à travers l'analyse et l'interprétation données images obtenues par des appareils qui ne sont pas en contact physique avec ces différents objets étudiés*. Elle désigne également l'ensemble des techniques d'observation de la surface terrestre à partir d'avions, satellites et autres véhicules, utilisant les propriétés des ondes électromagnétiques réfléchies ou émises par tout corps de cette surface.

1.2. Principe de base du système de télédétection

La télédétection a pour principe l'utilisation des ressources du spectre électromagnétique pour acquérir de l'information sur les milieux naturels et artificiels.

La télédétection est basée sur l'utilisation des caractéristiques électromagnétiques des corps. En effet, tout corps à la surface de la terre et à une température au-dessus de 0°K émet des rayonnements électromagnétiques suivant des longueurs d'ondes bien définies. Ce sont ces rayonnements qui sont enregistrés par des capteurs qui traduisent cette énergie en éléments compréhensibles (images ou données chiffrées) par les utilisateurs. Les objets et leurs environnements sont illuminés par une énergie naturelle ou artificielle et identifiés en fonction de leur *caractéristique spectrale*. Les appareils d'enregistrement appelés *capteurs* sont portés par des *vecteurs* (avions, satellites). L'énergie émise par les sujets au sol est convertie en données numérique et ensuite en produit image qui pourra être analysée et interprétée. Chaque objet au sol est caractérisé par une *signature spectrale* spécifique.

Les composantes majeures de la télédétection sont la *source d'énergie*, le *moyen de transmission* et la *scène étudiée* (l'espace à étudier).

1.2.1. La source d'énergie

L'énergie solaire est la principale source d'énergie largement utilisée en télédétection aérospatiale. C'est la source la plus abondante, la moins chère et la plus disponible à la surface de la terre. Cependant, cette énergie est inégalement distribuée en fonction la longueur d'onde. La quantité d'énergie émise atteint son maximum entre les longueurs d'onde comprise entre 400 et 700 nanomètres c'est-à-dire dans le domaine du visible qui correspond à

la portion du spectre électromagnétique sensible à l'œil humain. D'autres systèmes de télédétection permettent l'utilisation des sources artificielles d'énergie (RADAR)

❖ Le rayonnement électromagnétique

Le spectre électromagnétique est le concept qui permet d'organiser l'énergie et ses interactions avec les différents éléments de l'environnement. Généralement, les propriétés et les caractéristiques de l'énergie électromagnétiques varient avec les longueurs d'ondes. L'énergie réagit de prévisible en réponse à une influence spécifique d'un objet. C'est ce comportement mesurable qui permet d'acquérir, de comprendre et d'interpréter les images obtenues par le système.

En télédétection, on utilise les propriétés physico-chimiques des objets observés, en particulier leurs propriétés optiques pour acquérir de l'information sur leur nature. Ici l'information est portée vers le système d'observation (satellite, capteur) à l'aide d'un rayonnement électromagnétique comme la lumière qui est sa manifestation visible.

Tout objet à la surface de la terre ayant une température au-dessous de 0° Kelvin (0°=273,15°C) émet un rayonnement électromagnétique.

Pour un rayonnement quelconque arrivant à la surface d'un objet, on peut écrire la de la conservation suivante :

$$\mathbf{R + T + A = 1}$$

Avec : **R** = à la réflexion totale pour une longueur d'onde donnée ;
T = à la transmission de l'énergie faite par l'objet à son entourage et ;
A = à l'absorption de l'énergie par l'objet.

1.2.2. Les moyens de transmission (l'atmosphère)

Les rayonnements en provenance du soleil et ceux émis ou réfléchis par les objets à la surface de la terre subissent des perturbations liées à l'action de l'atmosphère.

L'atmosphère constitue un poreux qui filtre les rayonnements solaires à destination de la terre et a également des effets perturbateurs sur ceux émis ou réfléchis par les objets au sol

L'atmosphère interfère sur le mouvement des ondes électromagnétiques. Elle change la distribution de l'énergie solaire avant qu'elle n'arrive au sol.

L'atmosphère est très critique car le spectre de l'énergie solaire n'est pas seulement perturbé dans sa phase descendante, mais l'énergie réfléchi par les objets au sol est également perturbée en direction des capteurs. Les éléments à la base de cette perturbation sont : l'Ozone, la vapeur d'eau, le CO₂, des aérosols....

Seule une partie du spectre électromagnétique est donc disponible pour la télédétection. Cette partie est appelée la « fenêtre atmosphérique »

1.2.3. La scène étudiée (acquisition des données)

1.2.3.1. Les lanceurs

Les lanceurs sont généralement des appareils utilisés pour la mise en orbite des satellites.

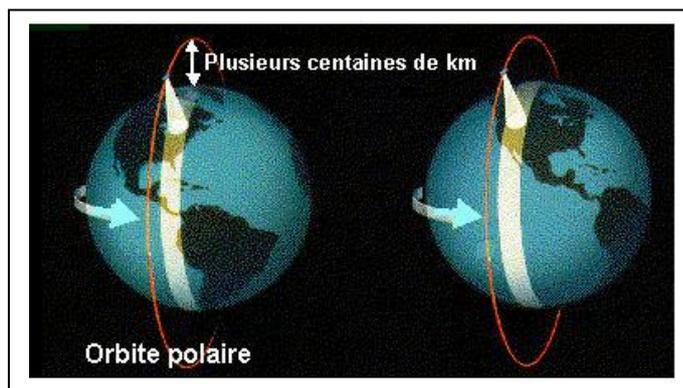
1.2.3.2. Les vecteurs

Les vecteurs sont des engins porteurs des instruments de détection ou capteurs. Les vecteurs sont des avions, des satellites plus rarement des automobiles et les hommes.

Les avions présentent l'avantage d'une souplesse dans le choix des trajectoires et d'une flexibilité pour l'équipement et le choix des capteurs. Les inconvénients sont généralement le coût élevé et le faible champ de vision.

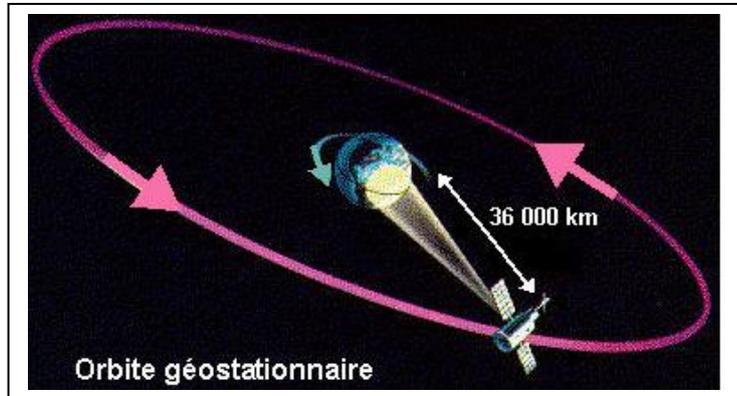
Les satellites constituent les vecteurs privilégiés de la télédétection. Contrairement aux avions, les satellites ont des orbites fixes et un large champ de visée. On distingue trois principaux types de satellites en fonction de leur trajectoire orbitale :

- **les satellites héliosynchrones** : ils ont un plan orbital fixe par rapport au plan orbital de la terre autour du soleil. L'orbite héliosynchrone se traduit par le passage du satellite au-dessus d'un point géographique quelconque approximativement à la même heure locale. Parmi ces satellites on peut citer SPOT, LANSAT, NIMBUS, MOS...



- **les satellites géostationnaires** : ils ont un plan orbital qui se confond avec le plan orbital de l'équateur. Il reste constamment au-dessus d'un point fixe de la terre. Ces satellites permettent la surveillance d'une partie de la terre. Ils sont utilisés pour des applications météorologiques, télécommunication. On peut citer GEOS, NOAA, METEOSAT.

Situé à 36 000 km d'altitude, un satellite géostationnaire apparaît immobile. En réalité, il voyage à plus de 10 000 km/h dans le plan de l'équateur, et effectue (comme la Terre) une orbite complète en 23 h 56 min.



- **Les satellites à orbite circulaire quelconque** : ils survolent la terre à la même altitude. On peut citer SEASAT, ARS-1, RADARSAT

1.2.3.3. Les capteurs

Le rayonnement détecté par le satellite subit une déformation liée à la traversée de l'atmosphère. Les effets les plus importants de celle-ci se traduisent par l'existence de fenêtres atmosphériques qui sont les intervalles de longueur d'onde les moins absorbés.

Ainsi les bandes spectrales utilisables en télédétection devront être compatibles avec ces fenêtres atmosphériques. Les plus utilisées sont dans le domaine du visible, de l'infrarouge et des ondes millimétriques et centimétriques. Le capteur constitue élément important de mesure des caractéristiques orbitales.

Les capteurs sont des appareils qui enregistrent l'énergie émise par les objets au sol. Ces appareils sont portés par les satellites. Ils ont pour but la conversion du signal électromagnétique en une grandeur physique mesurable. On distingue deux types de capteurs : les *passifs* et *actifs*.

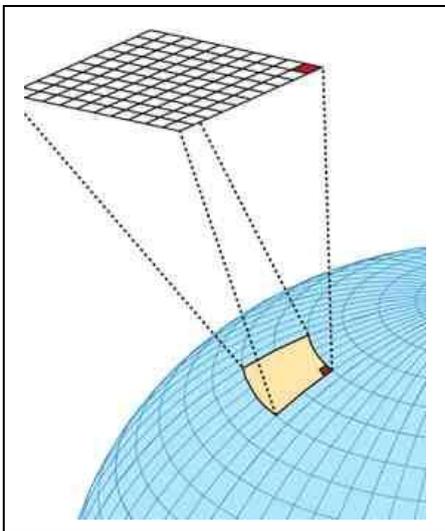
Les premiers enregistrent l'énergie naturelle réfléchiée ou émise en provenance de la terre. Dans cette catégorie, on rencontre les capteurs permettant une acquisition instantanée de l'ensemble de la scène observée : c'est le cas des caméras électroniques ; les capteurs offrant une acquisition séquentielle d'éléments d'images à l'aide desquelles, ligne par ligne, se construit l'ensemble d'une scène : ce sont les radiomètres à balayage transversal ou à barrette de détecteurs.

Les seconds sont sur des systèmes qui ont un émetteur et un récepteur et ont l'avantage de ne pas dépendre des autres sources d'énergie (RADAR).

❖ **Caractéristiques des capteurs**

Les performances des capteurs dépendent de leur caractéristiques spatiales, radiométriques, spectrale et de leur calibration.

La résolution spatiale : la résolution des images numériques est définie par le nombre de pixels par millimètres. En télédétection, on exprime la résolution des images par la taille de la zone couverte par un pixel. Chaque pixel de l'image correspond à une partie de la surface de la terre. On parle alors de "résolution-sol".



Chaque élément sensible du CCD du capteur haute résolution du satellite SPOT ne mesure que 13 μm (0,013 mm) mais, cet élément sensible "voit" une zone d'environ 10x10 mètres à la surface de la terre à travers le télescope du système d'observation. On dira donc que la résolution de ce capteur est de 10 mètres.

La résolution des satellites d'observation de la terre les plus courants est donnée dans le tableau ci-dessous :

Satellite	Capteur	Résolution-sol
Landsat	MSS	80m
Landsat	Thematic Mapper	30m
SPOT	XS (Multispectral)	20m
SPOT	Panchromatique	10m
Ikonos	Multispectral	4m
Ikonos	Panchromatique	1m

La résolution spatiale est fonction :

- du champ instantané d'observation (ouverture du dispositif optique d'observation) ;
- du champ global d'observation (durée de la phase active) ;
- de la taille du pixel (les mesures sont échantillonnées dans l'espace et le temps avec une fréquence définissant la surface de l'élément image).

La **résolution spectrale** d'un capteur exprime sa capacité à séparer des signaux de longueur d'onde différente et dépend du dispositif de filtrage optique séparant les rayonnements incidents en bandes spectrales plus ou moins larges.

La **résolution radiométrique** d'un capteur exprime son aptitude à distinguer deux signaux d'énergie différente pour une bande spectrale.

La **calibration** des capteurs en fonction du temps est nécessaire afin d'assurer la fiabilité des informations qu'ils fournissent.

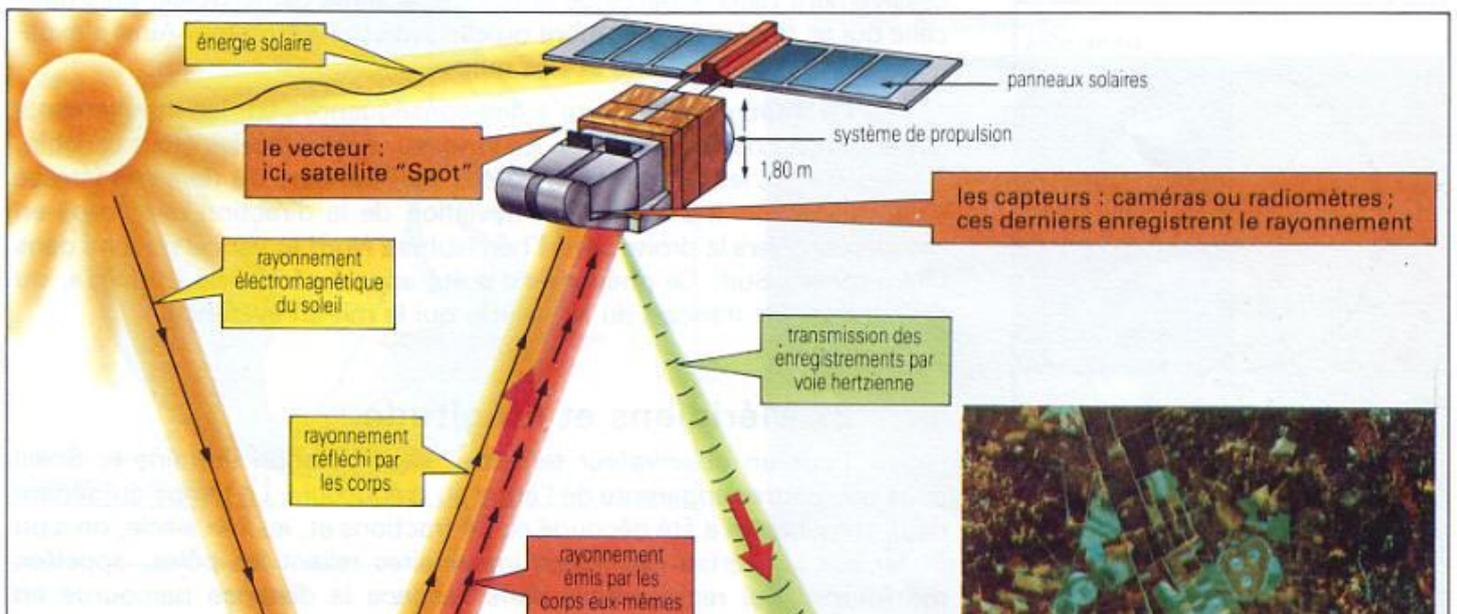


Figure 1 : Schéma récapitulant l'acquisition d'une image de la surface de la terre par un capteur

Le Soleil émet de l'énergie sous la forme d'un rayonnement électromagnétique. Ce dernier est réfléchi par les corps qui composent la surface de la Terre. Or, selon leur nature ou leur état temporaire, tous les corps n'émettent et ne réfléchissent pas des rayons de même longueur d'onde. De ce fait, il est possible, en mesurant de l'espace le rayonnement de la surface du globe, de faire apparaître des phénomènes difficilement détectables au sol, ou de décrire rapidement de grandes surfaces de terrain. Le principe de la mesure est simple : le rayonnement est enregistré par des pellicules photographiques sensibles à différentes longueurs d'onde ou, le plus souvent, par des radiomètres qui mesurent le rayonnement et accumulent les mesures sur des bandes magnétiques. Ces appareils de mesure, appelés capteurs, sont embarqués à bord de véhicules, avions ou satellites, appelés vecteurs.

Une fois lancé, le satellite parcourt la même orbite à vitesse constante. En fonction de la rotation de la Terre, le capteur balaye en plusieurs jours l'ensemble des terrains situés de part et d'autre de la projection au sol de l'orbite, ce que l'on appelle la «trace». Ainsi, les satellites américains Landsat repassent tous les dix-huit jours au même endroit. Les données enregistrées sont ensuite transmises par voie hertzienne vers des stations au sol, dont les antennes sont orientées vers le satellite. Ces données sont enfin traitées : on sélectionne les mesures selon leur longueur d'onde, puis on attribue à chaque valeur une couleur fictive. Ainsi sont fabriquées des images, composées d'un ensemble de petits rectangles, les pixels, qui correspondent à autant de points de sondage réalisés par le satellite. Aujourd'hui, les satellites militaires permettent de sonder la planète mètre carré par mètre carré. Pour Landsat, chaque pixel représente 0,5 ha.

❖ Image des objets

Les sensations de couleur que nous avons sont dues à la partie réfléchiée de l'énergie radiative totale qui incide sur le paysage. Le soleil envoie sur la terre la lumière blanche qui contient toutes les couleurs du spectre visible ; chaque objet absorbe une partie des radiations et la transforme en chaleur et réfléchiée l'autre partie.

La partie du spectre électromagnétique s'étend de 0,4 micromètre dans le violet à approximativement 0,7 μ m dans le rouge. Toutes les couleurs observées dans la nature peuvent être formées par l'addition de la lumière des trois couleurs primaires BLEU-VERT-ROUGE. La photographie multibande, la télévision ou d'autres techniques ou différents filtres sont utilisés pour enregistrer des images d'objets. Ils font appel au procédé d'addition des couleurs, pour reconstituer l'image. Dans la combinaison additive des couleurs, généralement, on ajoute les couleurs de base sur un fond sans lumière ou fond noir.

Toutes les couleurs peuvent également être formées par soustraction de la lumière avec des filtres des trois couleurs primaires soustractives ; CYAN, MAGENTA, JAUNE.

Ce procédé est utilisée dans les films couleurs et les peintures. Dans le cas de la photographie sur papier et de l'imprimerie, la soustraction des couleurs primaires du blanc du papier donne des couleurs résultantes.

La loi fondamentale de composition des couleurs lumières est :

BLEU + VERT + ROUGE = BLANC.

Le bleu, le vert et rouge sont donc trois couleurs primaires pour lesquelles correspond à chacune d'elle une couleur complémentaire :

JAUNE = VERT + ROUGE - BLEU

CYAN = BLEU + VERT - ROUGE

MAGENTA = ROUGE + BLEU - VERT

La couleur apparente d'un objet est due à la différence de réflexion dans le spectre électromagnétique. Il est donc possible de représenter un diagramme des valeurs de réflexions d'une surface quelconque en fonction de la longueur d'onde : « *la courbe de réflectance* ». *Chaque objet est caractérisé par sa signature spectrale*. La couleur est une donnée fondamentale dans l'interprétation des images fausses couleurs.

1.3. Réflexion, signature spectrale

La compréhension de l'information contenue dans les ondes électromagnétique captées par les satellites nécessite de connaître les mécanismes d'interaction entre le rayonnement et la surface observée. D'après Royer (1981) les surfaces observées sont caractérisées par sept signatures spectrales :

- La signature par mesure de l'intensité du signal émis ou réfléchi ;
- La signature spectrale proprement dite, associée à la couleur au sens large ;
- La signature spectrale exprimant la forme des objets et leurs arrangements ;
- La signature angulaire, associée à l'anisotropisme de la surface et de l'atmosphère ;
- La signature temporelle, associée aux modifications de la surface comme la croissance de la végétation ;
- La signature de la polarisation du signal, appliquée surtout dans le domaine du radar ;
- La signature par la mesure de la phase du signal, utilisée aussi dans le domaine du radar.

Tous les objets à la surface de la terre sont caractérisés par une signature spectrale spécifique qui permettrait de les reconnaître. Ainsi on peut établir la courbe de réflectance spectrale de chaque objet en fonction des longueurs d'onde réfléchies.

II SATELLITES ET IMAGE DE TELEDETECTION

1. les satellites et leurs caractéristiques

❖ **SPOT** (Satellite pour l'Observation de la Terre) :

C'est une contribution française pour la mise en orbite de satellite pour l'observation de la terre. SPOT 1 a été lancé en 1986, SPOT 2 en 1990.

Caractéristiques orbitales du SPOT :

Altitude : 822 Km ; période : 26 jours ; angle d'inclinaison : 98,7°

Caractéristiques des capteurs Haute Résolution Visible (HRV) (x2)

Mode multispectral :

L'enregistrement se fait dans trois canaux

La bande XS1 qui est le vert avec pour longueur d'onde comprise entre 0,50 et 0,59 μm ;

La bande XS2 correspond au rouge, 0,61-0,68 μm ;

La bande XS3 proche infrarouge 0,79-0,89 μm .

La taille du pixel est de 20 m x 20 m.

Mode panchromatique

L'enregistrement se réalise dans une bande du visible entre 0,51 et 0,73 μm . L'image obtenue est noir et blanc. La taille du pixel est de 10 m x 10 m, l'angle de visée peut atteindre 27° à partir de la verticale. La possibilité de dépointage permet d'obtenir des couples stéréoscopiques qui permettent une vision en trois dimensions.

❖ LANDSAT

Les LANDSAT sont des séries de satellites américains produits par la NASA et destinés aux études sur les ressources terrestres. Le premier satellite a été lancé en juillet 1972.

Caractéristiques orbitales de LANDSAT

Altitudes : 705 Km (LANDSAT 4), Période : 16 jours, angle d'inclinaison : 98°, passage à l'équateur : 9 heures 30 mn, largeur de l'enregistrement : 185 Km.

Capteurs

Mode multispectral

MSS 4 canaux pixel : 60 m x 80 m.

TM 7 canaux : 6 canaux pixel : 30 m x 30 m

1 canal pixel : 120 m x 120 m

❖ MOS (Marine Observation Satellite)

C'est un satellite de télédétection de ressources naturelles lancé en 1987 par l'agence japonaise NASDA.

Caractéristiques orbitales

Le type héliosynchrone :

Altitude : 909 km, période : 17 jours, passage en orbite descendante : 10 h 10 mn - 11 h 00 mn (environ).

Equipement de mesure

Bande de longueur d'onde pour le radiomètre multispectral : 2 bandes dans le visible + 2 bandes dans le proche infrarouge. Résolution au sol : 50 m.

❖ NOAA

Les satellites NOAA sont à orbite géostationnaires orientés vers l'observation des phénomènes météorologiques et de la structure thermique superficielle de la terre et des océans. Ils sont équipés de nombreux détecteurs fonctionnant dans des domaines du spectre très différents. Nous donnerons les caractéristiques du radiomètre à haute résolution AVHRR (radiomètre à balayage par miroir tournant)

Caractéristiques orbitales :

Altitude : 833 Km ; période : 12 heures, largeur de l'enregistrement 2 400 km.

Caractéristiques spectrales : 5 canaux.

❖ METEOSAT

Le satellite METEOSAT a été mis en point par l'Agence Spatiale Européenne. Le premier de la série fut mis en orbite en 1977. Ce sont des satellites géostationnaires positionnés sur une orbite au-dessus du méridien d'origine (Greenwich). Ils utilisent trois (3) bandes spectrales (visible, infrarouge moyen et infrarouge thermique). La résolution au sol est de 2,5 Km dans le visible et 5 Km dans l'infrarouge. Ces satellites servent à la météorologie et au suivi de certains phénomènes dynamiques comme la désertification.

GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite)

Les satellites GOES sont géostationnaires et observent la même portion du globe terrestre à une altitude de 35 800 Km. Il en faut plusieurs à des différentes altitudes pour couvrir tout le globe.

ERS 1 (European Remote Sensing Satellite)

ERS 1 est une série de satellites qui seront mis en orbite par l'Agence Spatiale Européenne. Ces satellites portent des capteurs RADAR.

2. Prétraitement des images

Pour devenir un produit utilisable, la scène doit subir un pré-traitement. Il existe 5 niveaux de pré-traitement en mode panchromatique (P) ou en multibande (XS).

NIVEAU 1 :

Niveau 1A : c'est un niveau brut où seule une égalisation des détecteurs est réalisée dans chaque bande spectrale. A ce niveau il n'y a pas de correction géométrique. Ce niveau est utilisé pour la stéréo restitution et pour les études radiométriques fines.

Niveau 1B : ce niveau comprend les corrections radiométriques précédentes et les corrections géométriques liées aux déformations systématiques introduites par le système (rotation de la terre, effet panoramique). La précision de localisation absolue est de 1 500 m en visée verticale. C'est le niveau de base pour la photo interprétation et les analyses thématiques.

NIVEAU 2 :

Outre les corrections radiométriques identiques au niveau 1B, on effectue des corrections bi-dimensionnelles pour restituer la scène dans un système de représentation cartographique donné : Lambert conforme, Mercator Transverse, Equatorial oblique, stéréographique polaire ou polyconique. On effectue également une rotation de l'image pour l'orienter au Nord cartographique.

Ce niveau ne prend en compte les déformations dues au relief ; le produit est donc d'autant plus précis que l'écart maximal d'altitude à l'intérieur de la scène est faible et que la visée proche de la verticale. La précision de localisation est spécifiée à 20 m.

Niveau 2A : les corrections faites en utilisant seulement les données d'altitude du satellite (variations des angles d'altitude du satellite pendant la prise de vue) et la géométrie de prise de vue sans prise de point d'appui (il n'est pas nécessaire d'utiliser des cartes topographiques). Ces corrections jointes à la prise en compte de l'altitude de rectification choisie par le client, améliorent la précision du niveau 2A par rapport au niveau 1B.

La précision interne de l'image est améliorée mais la précision en localisation absolue reste celle du niveau 1B (soit environ 500 m).

Niveau 2B : c'est un niveau de prétraitement de précision dans lequel, en plus des corrections de niveau 1B, on effectue des corrections géométriques bidimensionnelles grâce à une prise de points d'appui. L'image est rectifiée dans une projection cartographique (Lambert, UTM, Equatoriale, Polyconique...) ; elle est donc directement superposable à une carte.

Les scènes de niveau 2 sont orientées au Nord cartographique. L'image est rééchantillonnée dans cette représentation ; les pixels sont donc rangés suivant les axes cartographiques, ce qui facilite à la fois le traitement numérique et l'assemblage des scènes.

Pour réaliser un pré traitement de niveau 2B, il est en général nécessaire de disposer de carte ayant la précision requise pour la prise de point d'appui (carte à 1/25 :25.000 ; 1/50.000 ou 1/100.000)

NIVEAU S

Dans ce niveau, la scène est rectifiée de manière à être superposable à une autre scène de référence. La précision est de 0,5 pixel lorsque les 2 scènes sont prises avec le même angle de prises de vue. Ce produit est destiné aux études multidates.

III. CODAGE ET VISUALISATION DES IMAGES NUMERIQUES

L'image de télédétection est une image numérique constituée de n images ou canaux (captés dans diverses bandes spectrales). Chaque image est une matrice de pixels.

Le pixel est un point ayant une valeur radiométrique bien connue (mesure discrète de l'énergie captée dans une bande spectrale). Il s'agit d'une valeur codée sur 8 bits, ce qui autorise 256 niveaux de gris possibles pour sa représentation visuelle ($8 \text{ bits} = 2^8 = 256$).

Le codage correspond donc à la quantification des intensités radiométriques comprises entre 0 et 255 (niveau gris).

La mémoire d'image se présente donc sous la forme d'une ou plusieurs matrice (mémoire d'écran) de n lignes par p colonnes de points (pixel) $n = p256, 512$ ou 1024 en fonction de la capacité de l'écran de restitution.

Les cartes graphiques de traitement d'images élaborées permettent de restituer sur écran 256 niveaux de gris (couleurs).

1. Transformation d'images

L'objectif de l'analyse numérique est de reconnaître à l'intérieur de la multitude d'informations potentielle que contiennent les images, les éléments recherchés. Le traitement numérique se résume schématiquement à deux axes de recherche :

- Etude de surface (réflectance ou transmittance) ;
- Etude de forme (morphologie, orientation, texture) ;

On distingue deux grands groupes de traitement d'images :

- Les traitements d'aide à l'interprétation visuelle qui améliore le confort visuel de l'interprète (amélioration de la dynamique) ou le contenu thématique de l'image (analyse des composées principales ACP, filtrage directionnel, ratio).
- Les traitements d'extractions d'informations thématiques (classification, analyse texturale, convolutions, réduction aux contours, masque, renforcement des ombres...)

1.1. Exploitation des LUT (Look-up Table)

L'amélioration de contraste est une technique très simple utilisée pour faciliter l'interprétation des images. Elle consiste à appliquer une fonction mathématique (transformation linéaire ou non) à l'amplitude du signal de chacun des pixels d'une image pour que l'ensemble des amplitudes occupe plus efficacement l'échelle de gris ou de couleurs disponible.

Le résultat des transformations peut se présenter sous forme d'une table de conversion appelée *Lookup Table* (LUT) des données d'entrée en données de sortie.

L'étalement linéaire attribue autant de niveaux de gris aux valeurs très fréquentes dans l'image qu'aux valeurs peu fréquentes, ce qui se traduit par une utilisation inégale de la gamme de niveau de gris dans l'image.

L'étalement par isopopulation se traduit par un nombre égal de pixels dans chaque niveau de gris de l'image accentuée.

Les algorithmes de fonctions mathématiques directes ou des fonctions statistiques, appliqués aux valeurs numériques des images ont pour résultats la modification de l'histogramme original de l'image brute.

1.2. Texture, morphologie des images

Les capteurs portés par les satellites sont des capteurs électroniques analysant la surface du globe par balayage. L'image obtenue est une série de points ordonnés formant une matrice. Chaque point recalibré géométriquement, est caractérisé par des valeurs numériques indiquant sa réponse (brillance) dans différentes couleurs (bandes spectrale). Le point élémentaire est appelé pixel.

1.2.1. Erosion dilatation, lissage

Ces sont des algorithmes de transformations morphologiques des images. La plupart de ces fonctions transforment les données images ; les pixels de l'image prennent des valeurs calculées par l'opération effectuée et créent ainsi une nouvelle image.

L'érosion d'une image est effectuée par le déplacement d'une fenêtre de la taille du voisinage choisie. Pour une fenêtre, on scrute les valeurs de tous les pixels. La valeur transformée $p(x_i; y_i)$ est le minimum de la fenêtre.

La dilatation d'une image est effectuée par le déplacement d'une fenêtre de taille du voisinage choisi. Pour chaque fenêtre, on scrute les valeurs de tous les pixels. La valeur transformée de $p(x_i; y_i)$ est le maximum de fenêtre.

Le lissage est une fonction de transformation qui permet de ramener la valeur d'un pixel à une valeur moyenne de la fenêtre choisie.

1.3. Classification

Les classifications sont des méthodes d'extractions des informations thématiques. On distingue généralement deux grandes catégories de classifications.

1.3.1. Les méthodes automatiques ou non supervisées

Le classement se fait de façon automatique d'après les algorithmes d'agrégation des pixels selon des critères de distance ou de critères de probabilité.

Le résultat obtenu demande ensuite une analyse afin d'essayer d'attribuer un phénomène de terrain à chaque classe obtenue.

Aucune connaissance à priori du terrain n'est requise. Le traitement regroupe automatiquement les pixels répondant à des critères de similarité statistiques.

1.3.2. Les méthodes supervisées

Elles impliquent au préalable une connaissance de la zone d'étude par le biais de la réalité du terrain (ensemble des parcelles test prélevées sur le terrain ou parcelles d'entraînement) des thèmes que l'on souhaite distinguer.

Ces parcelles test servent à la détermination des classes proprement dites c'est-à-dire à la segmentation de l'espace radiométrique. On procède par apprentissage. Les classes (thèmes) sont définies à priori selon des vérités du terrain et localisées sur l'image par des échantillons dont les caractéristiques (moyenne, écart-type...) serviront à classer l'ensemble de l'image.

Les classifications s'effectuent généralement suivant les méthodes :

- **Hypercubes** : pour la méthode des bornes (ou méthode hypercube) ;
- **Hypersphères** pour la méthode barycentrique.

La classification *barycentrique* permet de classer une image multispectrale à partir des caractéristiques statistiques des classes relevées dans chacun des canaux lors de la phase d'apprentissage. Cette admet pour hypothèse de départ que la population d'une classe se groupe en nuages hypersphériques des échantillons dont le centre est le vecteur « moyenne ». un point p appartient à la classe j si la distance euclidienne entre p et le barycentre de j est inférieure au rayon de hypersphère j. un peut donc appartenir à plusieurs classes. Dans ce cas, on applique la méthode de la distance minimum. Le point est affecté à la classe j pour le plus proche.

Un point peut n'appartenir à aucune classe : dans ce cas il est non classé.

La méthode statistique par *maximum de vraisemblance*, chaque classe a une distance considérée comme gaussienne et le pixel est attribué à la classe à laquelle il a la probabilité la plus forte d'appartenir.

Validation, supervision

Le contrôle de la classification est une étape très importante qui permet de vérifier la qualité de l'apprentissage et de donner une estimation de la validité de la classification. Il met en

évidence les confusions spectrales entre les classes et donne une indication sur les corrections à apporter à l'apprentissage. La *matrice de confusion* peut être calculée pour l'ensemble des canaux, pour un canal ou pour une combinaison de certains canaux afin de déterminer le choix des canaux à utiliser pour effectuer la classification. Le contrôle peut être fait de plusieurs façons :

- Cartographiquement avec des parcelles de contrôle issues de mesures faites sur le terrain autres que celles ayant servi à l'apprentissage ;
- Statistiquement dans le cas où l'on possède des statistiques de l'occupation du sol de la zone d'étude à la date de prise de vue de l'image.

La plupart des logiciels de traitement d'image permettent de réaliser les classifications barycentriques et par maximum de vraisemblance.

IV. LOGICELS DE TRAITEMENT D'IMAGE ET LEUR USAGE

Les logiciels de traitement d'image servent à mener les opérations de correction, de géoréférencement et d'analyse (classification, NDVI, MNT)) des images qui aboutissent à des cartes dont leur interprétation peut conduire à des prises de décision. Ils sont inclus dans un système informatique d'exploitation qui est constitué d'un ensemble d'éléments matériels interconnectés et ayant des rôles bien déterminés.

1. Le système professionnel d'exploitation ou de traitement d'image

Il s'agit :

- d'un écran : il sert à visualiser ou à afficher les données images ;
- d'une unité centrale) qui est un appareil de stockage de données et ;
- des périphéries : un traceur, un scanner.

2. Les logiciels de traitements d'image

Les logiciels sont un ensemble de programmes, de procédés et de règles conçus pour le traitement des informations relatives aux images aériennes. Ils comprennent :

- ERDAS (en Window) ;
- IDRISI (en Window) ;
- ARCINFO (en DOS) ;
- ENVI (en Window)...

V. EXEMPLES D'APPLICATION DE LA TELEDETECTION

1. Dans le domaine de la météorologie et des sciences de l'atmosphère

Les satellites météorologiques géostationnaires fournissent quotidiennement des images qui sont exploitées pour mieux connaître la répartition spatiale des nuages, à l'échelle planétaire, leurs propriétés physiques et leur effet sur le climat.

2. Dans le domaine de l'océanographie et de l'étude littorale

2.1. Mesure des températures des surfaces de la mer

Les radiomètres infrarouges thermiques, installés dans les satellites météorologiques, sont un outil précis pour mesurer les températures de la surface de la mer. En se débarrassant des nuages, on peut proposer, sur une période assez longue, des cartes de température sur de vaste surface de la mer, avec une précision de mesure de l'ordre de 0,5°C.

2.2. Détermination de la turbidité en zone côtière

Les radiomètres optiques opérant dans les longueurs d'ondes du visible enregistrent les réflectances de la surface marine (c'est-à-dire la couleur de l'océan). Le traitement de ces données permet de quantifier certaines caractéristiques des eaux de surface telles que la teneur en matière en suspension (turbidité) et en chlorophylle (phytoplancton). Les mesures ainsi acquises sont d'une grande utilité dans le suivi des courants, de la pollution et de la productivité biologique des eaux côtières.

2.3. Mesure des vents sur l'océan par diffusiomètre radar

Un diffusiomètre est un radar conçu pour la mesure des vents (vitesse et direction) à la surface des océans. Depuis le début des années 90, plusieurs satellites océanographiques équipés de diffusiomètres permettent le suivi constant des vents et de l'état de surface des océans.

2.5 L'imagerie radar sur les océans

Les radars imageurs à synthèse d'ouverture sont des outils de surveillance de l'océan à haute résolution spatiale ; ils sont particulièrement utiles dans les zones côtières. Ils permettent d'observer les vagues et houles et divers phénomènes ondulatoires (ondes internes) ; ils permettent de surveiller le trafic maritime et les pollutions, et même dans certains cas la topographie sous-marine à faible profondeur.

3. Application terrestre de la télédétection

3.1 Suivi de la végétation à l'échelle planétaire.

Les applications de la télédétection dans l'étude des surfaces continentales font fréquemment appel à des données à faible résolution spatiale. C'est ici le cas du suivi de la végétation continentale observée par les radiomètres optiques (visible et proche infrarouge) AVHRR des satellites météorologiques de la NOAA. L'activité chlorophyllienne est mesurée à partir d'un *indice de végétation*.

L'indice le plus connu et le plus utilisé est *l'indice de végétation par différence normalisé ou indice de Tucker* ([NDVI](#) en anglais) (Rouse and Haas, 1973 ; Tucker, 1979). Son expression est la suivante :

$$NDVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R}$$

La normalisation par la somme des deux bandes permet de réduire les effets d'éclairement. Le NDVI conserve une valeur constante quelque soit l'éclairement global, contrairement à la simple différence qui est très sensible aux variations d'éclairement. Les valeurs du NDVI sont comprises en théorie entre -1 et +1. Les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages, pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge.

Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0.

Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7 - les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

3.2 Surveillance des catastrophes naturelles

Par la répétitivité élevée des observations, les satellites d'observation de la Terre sont un outil particulièrement efficace de surveillance des catastrophes naturelles telles que les inondations, les éruptions volcaniques. Les images des satellites SPOT sont ainsi utilisées, malgré la nébulosité qui accompagne souvent les périodes de crue fluviale, pour cartographier avec précision l'extension des zones inondées.

3.3 La très haute résolution spatiale en milieu urbain.

Au tournant de l'an 2000, le transfert des technologies de la télédétection militaire vers les applications civiles donne naissance à des satellites d'observation de la Terre à très haute résolution. Le satellite IKONOS, exploité par la société privée Space Imaging Corp., en est l'exemple le plus remarquable : il permet l'acquisition d'images à la résolution de 1 m en mode panchromatique (1 seule bande spectrale) et de 4 m en mode multispectral. La fusion

des deux types de données fournit des images couleur dont les applications sont comparables à celles des photographies aériennes, dans un marché mondialisé de données destinées à être exploitées par les Systèmes d'Information Géographique (S.I.G).

3.4 L'imagerie radar et la reconstruction du relief par interférométrie.

Les satellites d'observation de la Terre les plus récents sont équipés pour permettre la cartographie du relief, soit par des méthodes stéréoscopiques dans le cas des satellites équipés de radiomètres optiques (SPOT 5 par exemple), soit par la méthode de l'interférométrie dans le cas des satellites équipés de radars imageurs à synthèse d'ouverture.