

Les systèmes spatiaux d'observation de la terre

Cazaux J.C.

in

Deshayes M. (ed.).
La télédétection en agriculture

Montpellier : CIHEAM

Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 4

1991

pages 31-38

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI911177>

To cite this article / Pour citer cet article

Cazaux J.C. **Les systèmes spatiaux d'observation de la terre.** In : Deshayes M. (ed.). *La télédétection en agriculture*. Montpellier : CIHEAM, 1991. p. 31-38 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 4)



<http://www.ciheam.org/>
<http://om.ciheam.org/>

Les systèmes spatiaux d'observation de la terre

Jean-Claude CAZAUX
Scot Conseil, Toulouse (France)

Résumé : Cet article présente les principales caractéristiques des systèmes spatiaux d'observation de la terre.

Nés en 1960, à une époque où la photographie est en plein développement, les satellites d'observation de la terre ont franchi de nouvelles étapes en 1972 avec le lancement de Landsat 1 et au milieu des années 80 avec ceux de Landsat 4 et 5 et de SPOT.

Parmi ces satellites, il faut distinguer les satellites géostationnaires, tel Meteosat, à fréquence de prise de vue élevée mais à faible résolution, des satellites à défilement, dont les orbites plus basses sont héliosynchrones, ce qui conjugué avec une répétitivité de 15 à 30 jours offre de nombreux avantages.

La technologie des capteurs a beaucoup évolué. Les longueurs d'onde du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge thermique sont explorées avec une résolution au sol qui s'améliore. Les résolutions spectrales et radiométriques s'améliorent aussi.

Toutes ces améliorations nous donnent maintenant des données de plus en plus précises et fiables sur de plus grandes surfaces avec des répétitivités plus fortes. Elles permettent déjà le contrôle de la gestion des ressources naturelles avec des garanties de continuité de service.

Abstract

Earth observation satellite systems

This paper presents the main characteristics of Earth observation satellite systems.

They were launched in 1960 when aerial photography became fully operational. Observation satellites entered a new era with the launching of Landsat 1 in 1972. That of Landsat 4 and 5, and SPOT satellites in the mid-1980s marks another phase.

Geostationary satellites such as Meteosat have a high image acquisition frequency but a low resolution. Polar orbiting satellites in lower, heliosynchronous orbits, with a revisit capability of 15-30 days offer a distinct advantage for observation.

Sensor technology has evolved considerably. Wavelengths of the visible, near-infrared, and thermal infrared bands are explored with greater ground resolution. Spectral and radiometric resolutions have also increased.

These improvements have led to more accurate and reliable results; larger areas can be covered with greater frequency. They guarantee continuous information acquisition for the natural resource management.

I. – Introduction

La télédétection a une longue histoire où cinq phases peuvent être identifiées.

– Avant 1925

Les premières photographies prises depuis les airs à l'aide de pigeons «embarquant» des appareils photographiques ont été réalisées dans les dernières années du XIX^e siècle. Des photographies aériennes prises depuis des ballons et des avions montrent ensuite la valeur des vues aériennes du sol, valeur très exploitée durant la 1^{ère} guerre mondiale.

— **Entre 1925 et 1945**

Les améliorations techniques de la photographie aérienne permettent l'élargissement des applications en particulier dans le domaine de la cartographie topographique avec les images stéréoscopiques.

— **Entre 1945 et 1960**

La photographie aérienne est en plein développement et les explications débordent la topographie, apportant de nombreuses informations en géologie, agriculture, forêt, archéologie...

Cette période correspond à la réalisation de couverture aérienne de nombreux pays en voie de développement.

— **Entre 1960 et 1972**

C'est la naissance des satellites de télédétection avec caméras et capteurs relativement primitifs. Ces années correspondent au développement des satellites météorologiques.

Cette période correspond à la mise en place d'un système mondial d'observation météorologique, avec l'investigation d'autres parties du spectre, en particulier l'infrarouge thermique, celles attachées à l'observation photographique.

— **Enfin entre 1972 et 1989**

A ces années correspond la maturité de la technologie et des systèmes d'observation de la Terre avec le développement de la haute résolution spatiale, l'acquisition et distribution opérationnelle et l'expérimentation de nouveaux capteurs dans une variété de bandes spectrales.

La période commence avec le lancement de Landsat en 1972 et dans le milieu des années 1980 ce programme est devenu opérationnel ; c'est également la période du lancement du premier satellite opérationnel français SPOT.

Dans l'exposé qui suit nous nous limiterons aux deux dernières périodes évoquées, en gardant toutefois en mémoire l'importance de la complémentarité apportée par la photographie aérienne. Nous décrivons en premier les grandes familles de satellites de manière relativement exhaustive mais en mettant un accent sur les 4 programmes les plus importants Meteosat, Série NOAA, Landsat et SPOT.

Nous terminerons en dégagant les orientations pour la période devant nous conduire à la fin du siècle.

II. – Les grandes familles de satellites

Selon leur mission propre, les satellites ont des caractéristiques bien différentes. Ils se répartissent en plusieurs catégories dont la naissance s'échelonne d'avril 1960 (lancement de «Transit 1», premier engin spatial pour la navigation) et juillet 1962 («Telstar», premier satellite de communication) à juillet 1972 («Landsat 1», considéré comme le premier satellite opérationnel d'observation de la terre).

A noter que, durant cette période, et surtout depuis, on ne compte plus les engins qui ont été lancés dans l'espace. Plusieurs centaines gravitent autour de notre planète, cependant que d'autres voyagent dans le cosmos, telles les sondes parties vers Mars, Mercure, Vénus, sans oublier le premier vol habité autour de la Terre avec Youri Gagarine en 1961 et l'arrivée de l'homme sur la Lune en 1969 avec les américains Neil Armstrong et Edwin Aldrin.

Les satellites artificiels de la Terre peuvent être classés selon leur vocation : nous nous intéresserons à ceux chargés de l'observation des ressources terrestres (Landsat, SPOT) et à ceux dont le but est l'environnement et la météorologie (Meteosat, NOAA). C'est en effet pour la météorologie qu'ont d'abord été utilisés les satellites d'observation : satellites à défilement jusqu'en 1966, auxquels se sont joints ensuite les satellites géostationnaires.

On doit, en outre, distinguer les satellites d'après leurs caractères astronomiques car ceux-ci influent sur leurs facultés d'observation, lesquelles dépendent des divers types de capteurs embarqués à leur bord. Deux grandes catégories de satellites artificiels de la Terre correspondent à des caractéristiques astronomiques différentes :

- les satellites géostationnaires,
- les satellites à orbite polaire ou à défilement.

III. – Les satellites géostationnaires

Les satellites géostationnaires apparaissent comme immobiles au-dessus d'un point de la Terre. Pour cela, ils doivent avoir une vitesse angulaire égale à celle de la rotation de la Terre et décrire dans le même sens une orbite circulaire dans un plan équatorial. Ils font donc un grand cercle chaque jour. Ces caractères imposent leur altitude d'environ 36 000 km. Ils déterminent aussi le champ de vision potentiel. Depuis le satellite, notre planète est vue à l'intérieur d'un cône d'environ 17° d'angle au sommet.

On peut observer en permanence une même partie du globe terrestre, laquelle représente 42% de la surface totale. Le système de projection qui en résulte donne des images de plus en plus déformées lorsqu'on se déplace du nadir, c'est-à-dire de la projection verticale du satellite sur la terre, vers le pourtour de la zone observable. Aucune observation des régions polaires n'est possible par ces dispositifs.

A partir d'un satellite géostationnaire, il est possible d'effectuer de fréquentes mesures. Cette répétitivité des observations est précieuse ; elle permet un suivi poussé de l'évolution de la situation atmosphérique. Par contre, le point élémentaire (*picture element* ou pixel) au centre de l'image, est un grand carré de quelques kilomètres de côté. La superficie et la forme de ce «point» se dégradent progressivement lorsqu'on se rapproche de l'horizon.

Enfin, comme on le verra un peu plus loin, la sensibilité des radiomètres (capteurs) installés à bord de ces satellites, très éloignés de la Terre, ne permet pas non plus une bonne résolution spectrale, c'est-à-dire une mesure fine du rayonnement électromagnétique en provenance des multiples points composant les scènes observées.

Les satellites géostationnaires ou géosynchrones sont en général utilisés pour les communications et la météorologie. Il est utile de noter que, se trouvant toujours à la verticale du même point de la Terre, ils observent celle-ci selon le rythme quotidien, une partie de jour, une partie de nuit, tantôt éclairée, tantôt dans l'obscurité.

Le programme de recherches sur l'atmosphère GARP (*Global Atmospheric Research Programme*) lancé au début des années 1970, avait pour but la mise en place de 5 satellites géostationnaires afin de réaliser une observation permanente de la plus grande partie du globe terrestre. A côté de deux satellites américains, d'un soviétique et d'un japonais, était prévu un européen : Meteosat pris en charge par l'Agence Spatiale Européenne. Leurs lancements ont été effectués entre 1974 et 1978. Celui lancé sur l'Océan Indien l'a été par les Etats-Unis et l'Europe et non pas par l'URSS. Il a été remplacé en 1986 par un satellite indien.

IV. – Les satellites à défilement

Les satellites à défilement (orbite polaire) à la différence des précédents, ne demeurent pas au-dessus du même point de la Terre, mais se déplacent à une vitesse d'environ 7 km/seconde par rapport à la surface terrestre qui défile au-dessous d'eux.

1. Les orbites

Afin d'observer correctement, ils sont lancés en général de façon à avoir une orbite circulaire ou très peu excentrique et à une altitude un peu inférieure à 1 000 km. Leur période, c'est-à-dire le temps nécessaire à l'accomplissement d'une révolution (un tour de Terre) est assez brève : en moyenne 1 h 40 et jusqu'à un peu moins de 2 heures.

L'inclinaison, c'est-à-dire l'angle que fait le plan dans lequel se meut le satellite avec celui de l'équateur terrestre, peut varier. Plus il est inférieur à 90° et moindre est la surface du globe couverte par

l'observation. Seuls les satellites dont l'orbite est inclinée à 90° , c'est-à-dire qui se déplacent dans un plan contenant l'axe des pôles perpendiculaires à l'équateur, peuvent survoler l'ensemble de la Terre. Ceux destinés à l'observation, et qui nous intéressent ici, ont une inclinaison comprise entre 98° et 102° .

Cette inclinaison et l'altitude commandent la précession des noeuds (intersections de la trajectoire du satellite avec le plan de l'équateur), c'est-à-dire le mouvement du plan de l'orbite autour de l'axe des pôles ; correctement conjugués, ils permettent d'obtenir des orbites héliosynchrones ou à ensoleillement constant. Celles-ci précessionnent dans le même sens et à la même vitesse angulaire que le mouvement du soleil moyen autour de la terre (un peu moins d'un degré par jour).

Ces orbites ont l'avantage de donner des passages du satellite à des heures constantes en temps civil local pour chacun des noeuds. Le décalage des heures de passage de part et d'autre de l'équateur ne dépend que de la latitude pour une inclinaison donnée. Lors des passages successifs du satellite au-dessus d'un lieu donné, l'éclairement est presque toujours semblable, la hauteur du soleil ne variant qu'en fonction de la saison et non de l'heure.

Etant donné la période de révolution des satellites qui nous intéressent (NOAA, Landsat, SPOT), en moyenne 1 h 40, le nombre de révolutions avoisine 14. Si l'on repère le passage au zénith d'un point équatorial à une certaine heure, les passages suivants vont être décalés à la verticale d'une succession d'autres points équidistants sur l'Equateur, vers l'ouest. Au bout de 24 heures, comme la circonférence terrestre n'est pas un multiple exact du décalage observé à chaque passage du satellite, celui-ci passera à proximité du lieu survolé la veille, mais avec un certain écart. Dans le cas de SPOT par exemple, le décalage était de 108,6 km vers l'ouest et ce n'est qu'après vingt-six jours, à la 370^{ème} révolution, qu'il y a coïncidence avec la trace initiale. Ce cycle de révolutions ou cycle orbital varie selon les caractères astronomiques des satellites. Cette régularité cyclique est très appréciée pour l'observation de la Terre.

Quant à l'aire instantanément visible d'un satellite à orbite polaire basse, elle est naturellement très réduite en étendue (6% de la surface terrestre) par rapport à celle des satellites géostationnaires (42 %). Elle est vue aussi sous un angle bien plus grand (122° au lieu de 17°). La détection est médiocre sur les côtés pour les satellites tels NOAA 9 ou 10, dont les capteurs balayaient la quasi-totalité du champ, contrairement à ceux de Landsat 5 ou de Spot 1.

Cette notion d'aire apparente est très relative car l'aire utilisable n'est pas toujours explorée en totalité, beaucoup s'en faut. En fait, ce qui compte, c'est le champ des capteurs employés, comme on le verra en examinant les caractéristiques des satellites NOAA d'une part, Landsat et SPOT d'autre part, deux catégories fort différentes à cet égard (champ, pixel, etc.).

2. Les capteurs

Les capteurs sont les équipements placés à bord des satellites et grâce auxquels on obtient les données de base pour l'usage de la télédétection.

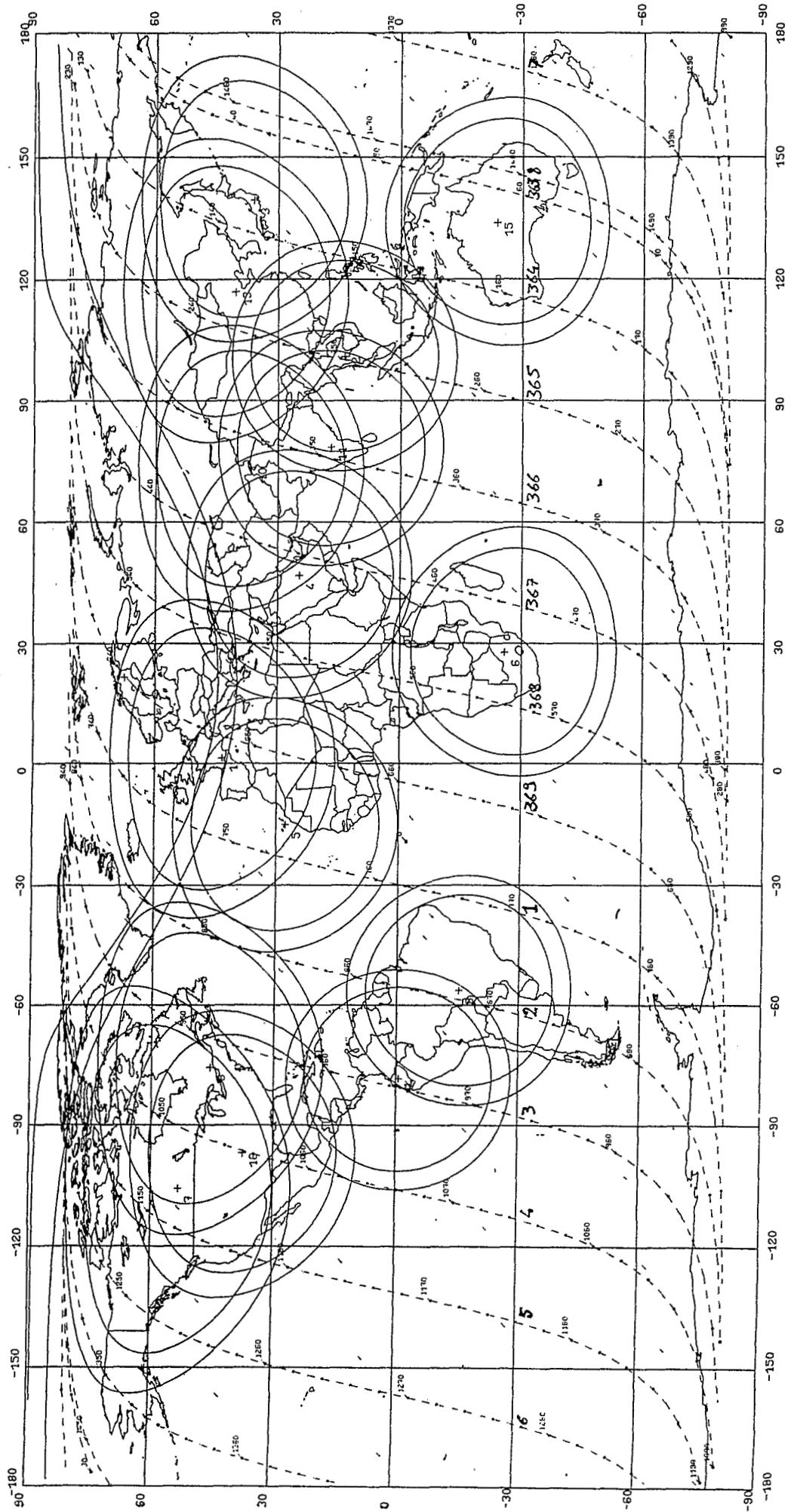
Avant de se pencher sur les différents types de capteurs, il est nécessaire d'évoquer leurs caractéristiques et de préciser la nature et les modalités des mesures qu'ils effectuent.

La donnée primaire sur laquelle repose la télédétection satellitaire est la mesure de l'énergie électromagnétique réfléchié ou émise par tout corps à la surface de la Terre.

Ce rayonnement électromagnétique se caractérise par sa longueur d'onde exprimée en microns ($1\mu = 1$ millième de millimètre) et son flux ou puissance exprimé en watts.

Les capteurs mesurent la quantité d'énergie que leur apporte le rayonnement électromagnétique dans un angle de champ instantané et dans une partie du spectre donné.

Traces d'un satellite d'observation de la terre sur une journée
et cercles de visibilité des stations de réception : l'exemple de SPOT



A) Les longueurs d'onde étudiées

Les ondes qui composent le spectre électromagnétique ne peuvent être utilisées pour l'observation de la Terre que dans des secteurs du spectre (fenêtres) dans lesquels la transmission atmosphérique est suffisante.

Comme le montre le tableau ci-après représentant, outre les caractéristiques des capteurs des satellites d'observation, le classement des rayonnements en fonction de leur longueur d'onde, on distingue essentiellement en télédétection deux grandes catégories :

I°- la zone du «**visible**» laquelle comprend la plage des longueurs d'onde correspondant à la vue humaine (0,4 à 0,7 μ) et celle du «**proche infrarouge**» (0,7 à 1,1 μ). La source du rayonnement est la lumière solaire réfléchie, le rayonnement solaire allant de 0,4 à 2 μ . On peut le capter de jour et à condition qu'il n'y ait pas de nuage entre la zone terrestre observée et le satellite.

II°- la zone de «**l'infrarouge thermique**» qui va de 7 à 25 μ de longueur d'onde et correspond au rayonnement émis par les objets au sol. Ce rayonnement transfère la chaleur de l'objet ; sa longueur d'onde est fonction de sa température. Il peut être capté indifféremment de jour ou de nuit et permet l'observation de la Terre lorsqu'il n'y a pas de nuage.

Longueurs d'ondes et fréquences utilisées en télédétection satellitaire

Type	Longueur d'onde		Fréquence	Exemple
Visible	0,4 – 0,7 μ m	400 – 700 nm	—	SPOT HRV
Proche infrarouge	0,7– 1,5 μ m	700 – 1 500 nm	—	NOAA AVHRR
Infrarouge moyen	1,5 – 3,0 μ m	1 500 – 3 000 nm	—	Landsat TM
Infrarouge thermique	8,5 – 12,5 μ m	8 500 – 2 500 nm	—	Meteosat
Microondes :	24 – 300 mm		1 – 12,5 GHz	
- Bande X	24 – 38 mm		8 – 12,5 GHz	
- Bande C	38 – 75 mm		4 – 8 GHz	ERS-1
- Bande L	150 – 300 mm		1 – 2GHz	Seasat

Il existe aussi des radars embarqués à bord de certains satellites. Ils émettent des micro-ondes (200 μ et au-delà) que renvoient les objets terrestres. Leur usage est encore très limité pour l'observation de la surface terrestre (terre ou mer naturellement) de jour et de nuit par tout temps.

Dans le domaine du «visible» essentiellement, on parle souvent chez les spécialistes de la signature spectrale d'un objet. Celle-ci se matérialise par la courbe de réflectance de l'objet en fonction de la longueur d'onde. Ainsi, par exemple, la caractéristique commune à toute végétation est d'avoir une courbe de réflectance qui monte très fortement dans le proche infrarouge, ce qui correspond à la couleur rouge que l'on peut voir sur les combinaisons colorées habituelles dites en fausses couleurs ainsi que sur les photographies en infrarouge couleur.

Rappelons que la rétine de l'oeil humain est sensible à la lumière de longueur d'onde comprise entre 0,4 et 0,7 μ . Elle transforme l'énergie reçue dans les 3 couleurs de base (bleu, vert, rouge) en informations transmises au cerveau qui, en les recombinaison, nous donne la sensation des nuances de couleur. De même, les émulsions photographiques, moyen le plus ancien et toujours utilisé de télédétection, sont sensibles aux longueurs d'onde comprises dans une plus large bande spectrale qui va de 0,35 à 1,2 μ . Celle-ci déborde largement celle utilisable par l'oeil humain et recouvre en plus les longueurs situées entre 0,7 et 1,2 μ .

Les détecteurs employés en télédétection élargissent beaucoup les capacités d'observation. D'abord, ils sont très sensibles et peuvent faire des mesures de rayonnement provenant de la Terre jusqu'à des dizaines de milliers de kilomètres. Ensuite, ils sont très sensibles dans une bande de longueurs d'onde très large, de 0,4 à 25 μ . Il devient alors possible d'effectuer des observations en mesurant le rayonnement électromagnétique provenant de deux sources différentes (lumière solaire réfléchi : bande «visible» et partie de l'infrarouge moyen ; rayonnement émis par la Terre : infrarouge thermique).

Ces mesures radiométriques permettent, en jouant sur la gamme des longueurs d'onde, particulièrement dans la bande du «visible», d'obtenir des informations dont la combinaison est fort instructive sur l'état et la nature des objets observés, par exemple la végétation.

B) Les caractéristiques des capteurs

Il serait trop long et très complexe d'exposer la méthode et les caractéristiques des capteurs embarqués à bord des satellites avec tous leurs équipements annexes de stockage et de transmissions des informations. Retenons simplement que leurs capacités ont beaucoup progressé dans les domaines qui les caractérisent, qu'il s'agisse de :

- résolution spatiale, c'est-à-dire de la dimension et des qualités d'observation du point élémentaire (pixel). Toutes choses égales d'ailleurs, comme on l'a vu précédemment, cette résolution varie beaucoup selon la mission et le type de satellite ;
- résolution spectrale, c'est-à-dire de la finesse de séparation des longueurs d'onde proches ;
- résolution radiométrique, qui consiste en la distinction de quantité d'énergie captée, sa limite étant la plus petite variation d'énergie décelable.

Les très grandes qualités des résolutions spatiale et radiométrique permettent, entre autres, des mesures très précises de températures. Le radiomètre de la série des satellites NOAA employé depuis NOAA 6, lancé en 1979, détecte des écarts de température d'1/8^e de degré C. L'*Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), embarqué sur cette série, et qui équipe aussi les satellites NOAA 9 et NOAA 10 actuellement en service, représente un progrès très important par rapport au VHRR, le capteur de 7 ans plus vieux embarqué sur les satellites plus anciens jusqu'à NOAA 5.

L'AVHRR mesure des écarts thermiques 5 fois plus petits que le VHRR, pour une même résolution spatiale, alors qu'on sait que pour une technologie donnée, la résolution radiométrique ne peut être améliorée qu'aux dépens de la résolution spatiale. En effet, pour avoir une quantité d'énergie suffisante à mesurer, il convient de disposer d'un champ instantané d'une étendue aussi grande que possible.

Même si la comparaison est un peu grossière, il existe de nombreuses analogies entre les satellites et capteurs embarqués d'une part, les appareils photographiques ordinaires d'autre part. Les uns et les autres doivent tenir compte des mêmes contraintes et leurs opérateurs sont souvent confrontés à la nécessité de réaliser des compromis semblables entre des impératifs et des facteurs antagonistes.

Profondeur de champ et résolution spatiale d'un côté ; quantité de lumière (ouverture du diaphragme X temps de pose) et résolution radiométrique de l'autre, donnent un aperçu de cette parenté. Il faudrait ajouter bien d'autres paramètres ou caractéristiques qui montreraient au lecteur que les satellites SPOT ou Landsat sont un peu ce que les téléobjectifs ou les systèmes «zoom» représentent par rapport aux systèmes à courte focale et objectifs grands angles qui embrassent un champ beaucoup plus vaste, comme le font les satellites Meteosat ou NOAA.

