

La connaissance des réserves et des flux d'eau depuis l'espace

Jacques CRUETTE

Que nous apportent les techniques spatiales pour améliorer notre connaissance des réserves et des flux d'eau ?

Vous avez déjà pu assister à des conférences sur l'espace et vous savez que depuis presque 30 ans, l'homme sait propulser des objets dans l'espace en maîtrisant parfaitement leur altitude et leur vitesse pour qu'ils se placent sur une orbite autour de la terre et deviennent, comme la lune, des satellites de la terre. Ces orbites sont des ellipses dont la terre occupe l'un des foyers. On sait également choisir des orbites circulaires autour de la terre, un cercle étant une ellipse particulière dont les deux foyers sont confondus.

Le choix des orbites

Pour observer la terre à partir de l'espace, on utilise généralement deux types d'orbites particulières : des orbites rapprochées dites héliosynchrones et des orbites éloignées dites géostationnaires.

Les orbites circulaires héliosynchrones sont à une altitude d'environ 900 km. Elles sont décrites par le satellite à peu près 14 fois par jour. La figure 1 représente l'orbite suivie par le satellite américain LANDSAT, d'observation de la terre. Elle est inclinée de quelques degrés par rapport à l'axe des pôles et le satellite ne peut pas observer les deux pôles. La figure 2 reproduit la trace de cette orbite sur la terre. Cette figure montre à gauche, le début de l'orbite 1 le jour 1 au niveau de l'équateur. Le satellite se déplace vers le pôle sud, disparaît de l'autre côté de la terre et réapparaît sur l'orbite 2 au nord de la terre. La terre ayant réalisé une partie de sa rotation journalière pendant ce temps, cette orbite 2 rencontre l'équateur avec un léger décalage vers l'ouest. Ce scénario se reproduit 14 fois en 24 heures et la figure montre la trace de ces 14 orbites. La quinzième orbite devient la première du deuxième jour, sa trace est parallèle à la première orbite avec un petit décalage (vers l'ouest). Un tel décalage se produit chaque jour et après 17 jours le satellite décrit de nouveau l'orbite 1 et l'ensemble du cycle se poursuit de cette façon jour après jour.

A l'exception des pôles, ce type d'orbite permet d'observer l'ensemble de la terre, avec une vue presque verticale, à une distance assez faible pour avoir une bonne précision, avec une répétitivité théorique de 18 jours. En plus, ce type d'orbite permet au satellite de passer au-dessus d'un point particulier de la terre toujours à la même heure et donc de fournir de ce point des données dans des conditions d'éclairement par le soleil aussi semblables que possible. Ce qui explique l'adjectif héliosynchrone attribué à ces satellites. Le satellite français SPOT est également placé sur une orbite de ce type.

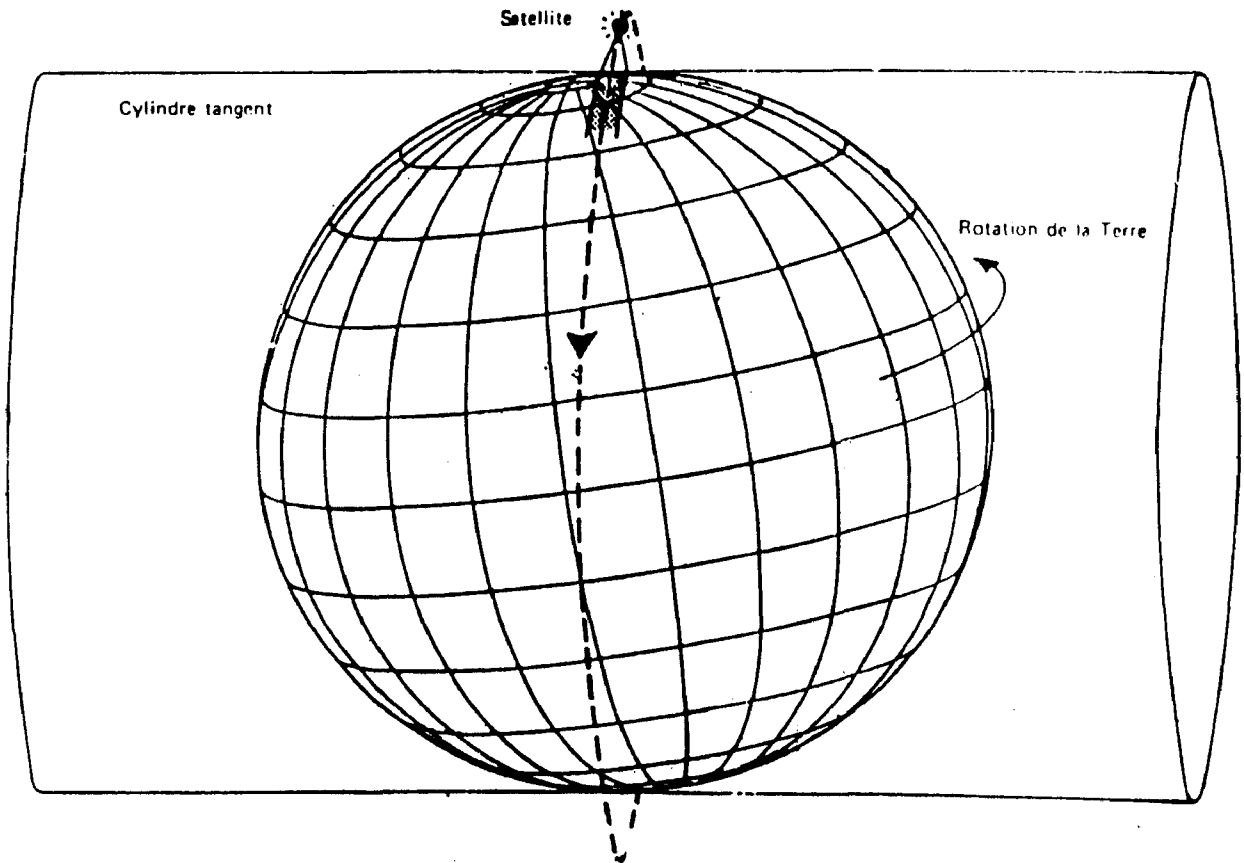


Figure 1

**Orbite du satellite américain
LANDSAT d'observation de la terre**

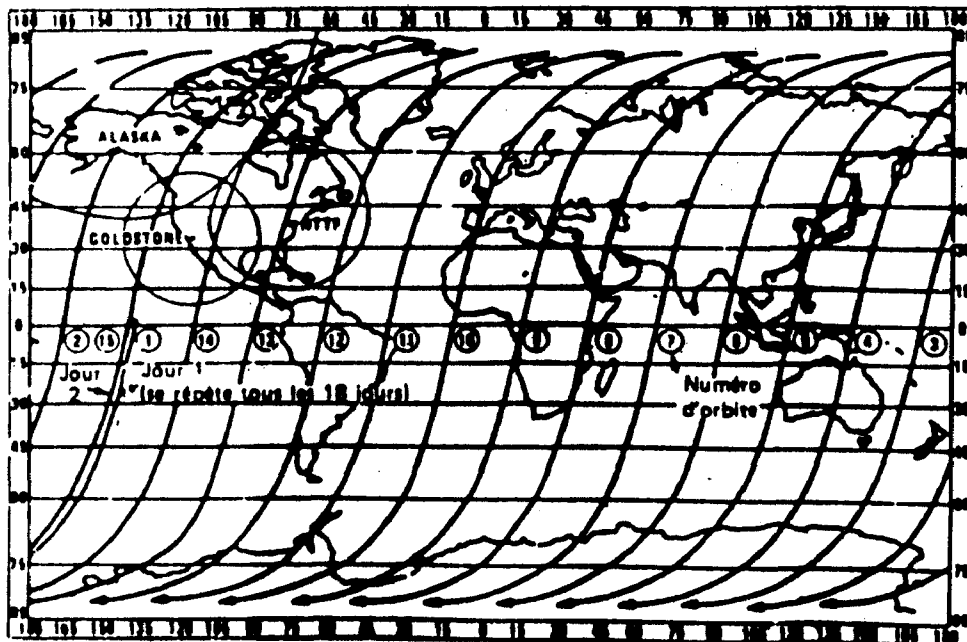


Figure 2

Tracés des orbites d'une journée de satellite LANDSAT

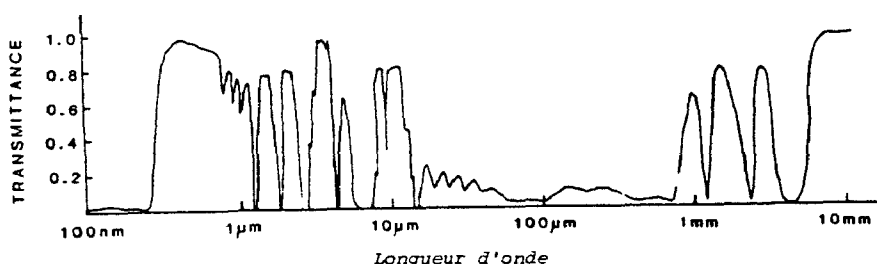
Pour le deuxième type d'orbite, on utilise le fait qu'à une distance de 36.000 km, un satellite fait le tour de la terre exactement en 24 heures. Si on place cette orbite dans le plan de l'équateur et si le satellite tourne dans le même sens que la terre, il apparaîtra minuscule par rapport à la terre; il sera géostationnaire. Dans cette position, la distance étant beaucoup plus grande, les observations sont moins précises mais presque permanentes. C'est ainsi que le satellite géostationnaire européen METEOSAT, placé à la verticale du golfe de Guinée fournit toutes les 30 minutes des observations sur tout le disque terrestre qui lui est accessible.

Les rayonnements utilisables

Le principal phénomène physique utilisé depuis l'espace pour observer la terre est le rayonnement électromagnétique. C'est un phénomène très général dont un domaine particulier nous est très familier : la lumière. En fait, le mot particulier veut simplement dire qu'il s'agit d'un rayonnement électromagnétique émis, entre autres, par le soleil, qu'il traverse l'atmosphère, et que nos yeux sont parfaitement adaptés pour l'utiliser et nous permettre de voir ce qui nous entoure. Nous utilisons d'autres rayonnements électromagnétiques pour la radio, la télévision, les radars qui sont de même nature que la lumière, mais que nous ne voyons pas. Un des aspects les plus fascinants de ces nouvelles techniques est celui qui nous permet de voir les objets ou des caractéristiques des objets qui nous sont normalement invisibles.

Le rayonnement électromagnétique est un phénomène vibratoire et corpusculaire. Il se propage dans le vide et peut donc être utilisé par les satellites contrairement aux vibrations sonores qui nécessitent un milieu physique comme l'air pour se propager. La longueur d'onde du rayonnement est une grandeur qui permet de le caractériser. Cette longueur peut varier dans des proportions considérables, de moins du millionième de mètre jusqu'à plusieurs kilomètres. La capacité de ce rayonnement à traverser l'atmosphère varie beaucoup selon la longueur d'onde. Les longueurs d'onde inférieures à 0,2 micromètres ne

peuvent pas traverser l'atmosphère. Elles sont inutilisables pour observer la terre depuis l'espace. A l'inverse, les longueurs d'onde supérieures à 10 millimètres se comportent comme si l'atmosphère et les nuages n'existaient pas. Entre ces valeurs, le comportement du rayonnement dans l'atmosphère est variable. La figure 3 donne en fonction de la longueur d'onde la transmittance qui varie entre 1 (atmosphère transparente) et 0 (atmosphère opaque). On constate que l'atmosphère est transparente entre 0,4 et 1 micronmètre (nm) et également autour de 10 micronmètres.



Transmittance de l'atmosphère terrestre en fonction de la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique

Figure 3

Graphiques des transmittances

Le rayonnement électromagnétique est un phénomène très général dans le sens que tous les corps dans l'univers émettent un tel rayonnement. L'énergie émise dépend de la nature du corps, mais et surtout de sa température. La figure 4 donne les caractéristiques, énergie en fonction de la longueur d'onde, pour le rayonnement émis par le soleil (courbe A) et les mêmes caractéristiques pour le rayonnement du soleil arrivant au niveau de la mer (courbe B) après avoir traversé l'atmosphère. On constate que le maximum d'énergie arrivant au niveau de la mer est compris entre les longueurs d'onde 0,4 et 0,7 micromètres. C'est exactement la bande de longueur d'onde de la lumière visible que notre oeil décompose en trois couleurs 0,4 à 0,5 nm (bleu), 0,5 à 0,6 nm (vert) et 0,6 à 0,7 nm (rouge).

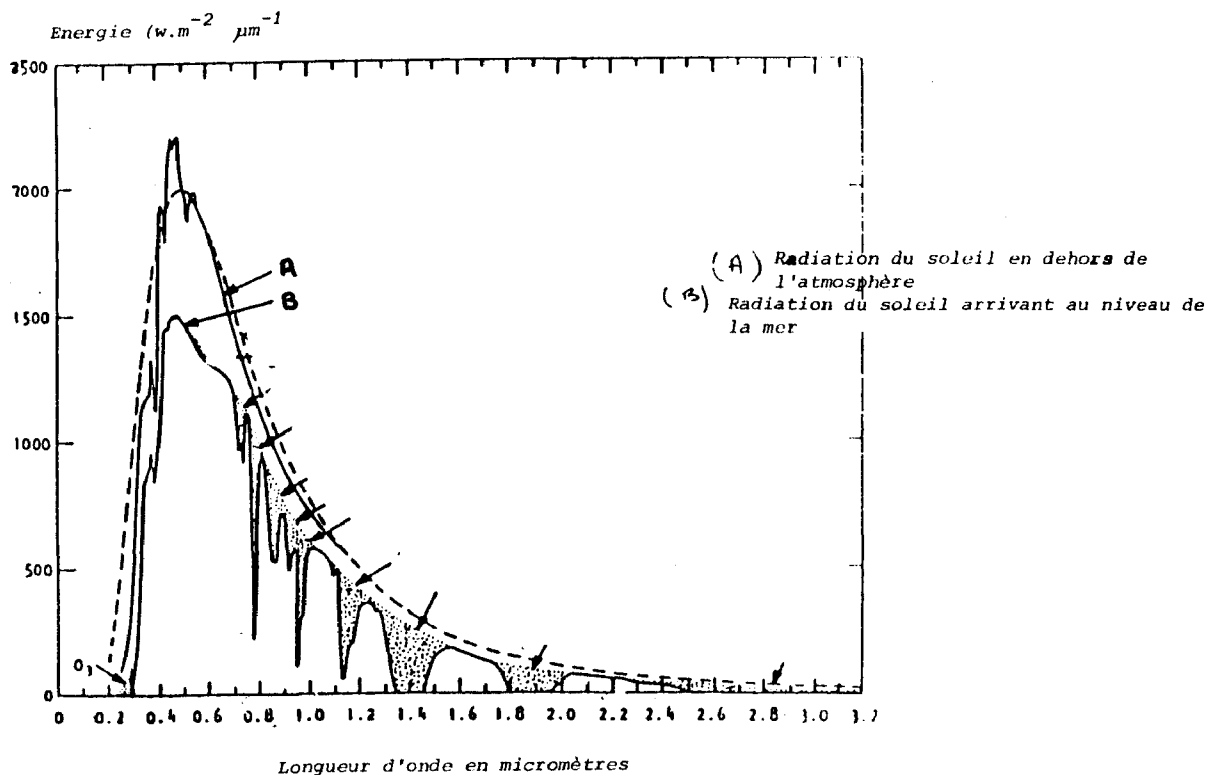


Figure 4

- A) Radiation du soleil en dehors de l'atmosphère**
- B) Radiation du soleil arrivant au niveau de la mer**

La figure 5 donne dans un autre mode de représentation les mêmes informations pour l'émission d'un corps à 5700°C (le soleil) et d'un corps à 27°C (la terre). On constate que la terre émet un rayonnement relativement important pour les longueurs d'onde pour lesquelles l'atmosphère est transparente : il est donc possible, depuis l'espace, de capter "une lumière" émise par la terre que notre oeil est incapable de voir. Cette "lumière" est appelée infra-rouge thermique.

Les longueurs d'onde supérieures à quelques millimètres appelées micro-ondes sont également utilisées, mais l'énergie émise par la surface de la terre étant très faible, chaque mesure réalisée correspond à des surfaces terrestres très grandes de plusieurs centaines de km². On obtient des informations beaucoup plus précises en les

utilisant à l'aide d'une source artificielle. On réalise ainsi des appareils variés : radar imageur, dit diffusiomètre, altimètre.

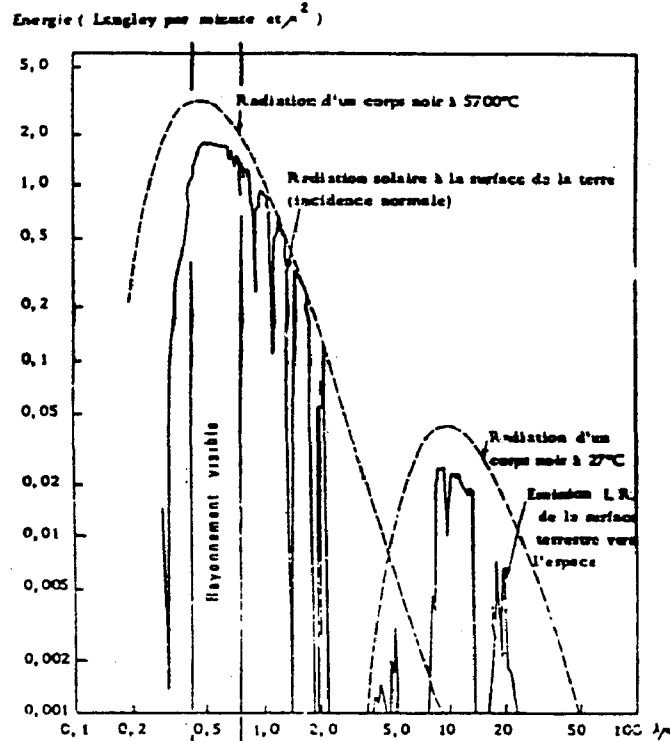


Figure 5

**Spectre du rayonnement solaire
et terrestre à la surface de la terre
d'après H.FLOHN, 1968**

Pour observer la terre, on peut donc utiliser trois types de rayonnement :

- le rayonnement visible et proche du visible dont la source est le soleil. Il est utilisable;
- le rayonnement infra-rouge thermique dont la source est la terre. Il est utilisable de jour et de nuit et donne des informations sur la température de la terre et des nuages;
- le rayonnement micro-onde, surtout utilisé grâce à une source artificielle, permet d'observer la terre de jour, de nuit, sans être gêné par les nuages.

Il convient de consacrer quelques mots à l'interaction entre le rayonnement et les objets. Les phénomènes de base sont simples. Lorsqu'un rayonnement électromagnétique arrive sur la surface d'un objet, il peut :

- traverser cette surface et poursuivre son chemin dans l'objet: l'objet est alors invisible comme un verre mince dans la lumière visible.
- être totalement réfléchi, l'objet est alors noir sauf si on l'observe dans la direction inverse au rayon réfléchi auquel cas il apparaît blanc (figure 6.a);
- être totalement diffusé dans toutes les directions : l'objet est alors visible dans toutes les directions (figure 6.c).

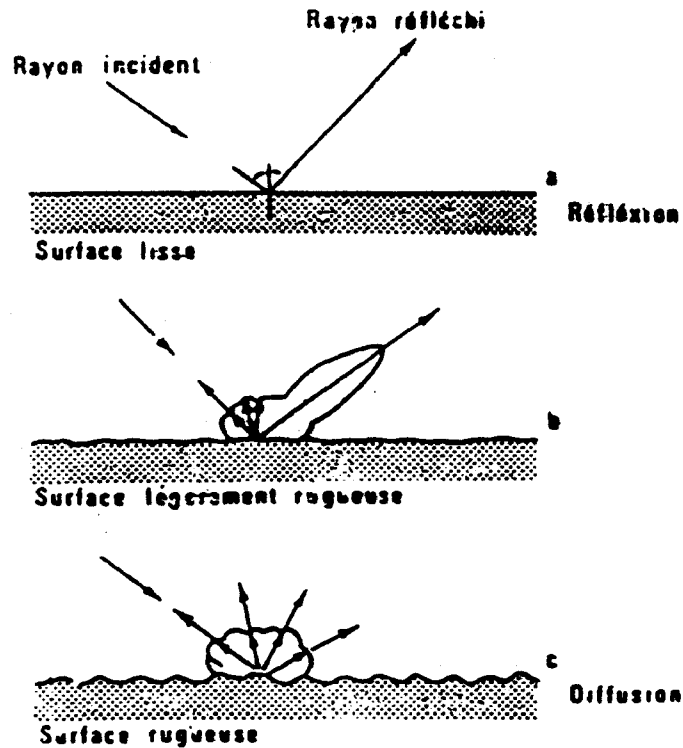


Figure 6

Interaction entre le rayonnement électromagnétique et la matière

Chaque corps se comportant de façon très variable selon les longueurs d'onde, à partir d'une même source de rayonnement, on obtient des caractéristiques très diverses pour le rayonnement diffusé. La figure 7 montre le comportement de plusieurs corps vis-à-vis du rayonnement compris entre 0,4 et 11,1 km, c'est-à-dire vis-à-vis de la lumière émise par le soleil. Les longueurs d'onde sont portées horizontalement. Rappelons que la lumière visible est composée entre 0,4 et 0,7 microns et qu'elle se compose du bleu (0,4 à 0,5 nm), du vert

vation de la terre, effectuent des mesures sur plusieurs bandes de longueurs d'onde du rayonnement électromagnétique du soleil diffusé par la surface de la terre et du rayonnement électromagnétique émis par la terre.

La figure 8 schématise le fonctionnement du radiomètre multispectral à balayage du satellite LANDSAT. Le radiomètre fonctionne sur quatre bandes de longueur d'ondes; sur quatre canaux.

Pour chaque canal, il dispose d'une cassette de six détecteurs. Ces détecteurs sont du même type que la "cellule" de votre appareil photographique qui "mesure" la lumière et vous permet de régler le diaphragme et le temps de pose. Ils sont également très utilisés dans les photocopieurs actuels. Ils transforment l'énergie du rayonnement électromagnétique reçu en une différence de potentiel électrique qui sera ensuite convertie en un nombre. Ce dernier sera retransmis au sol par une liaison radio.

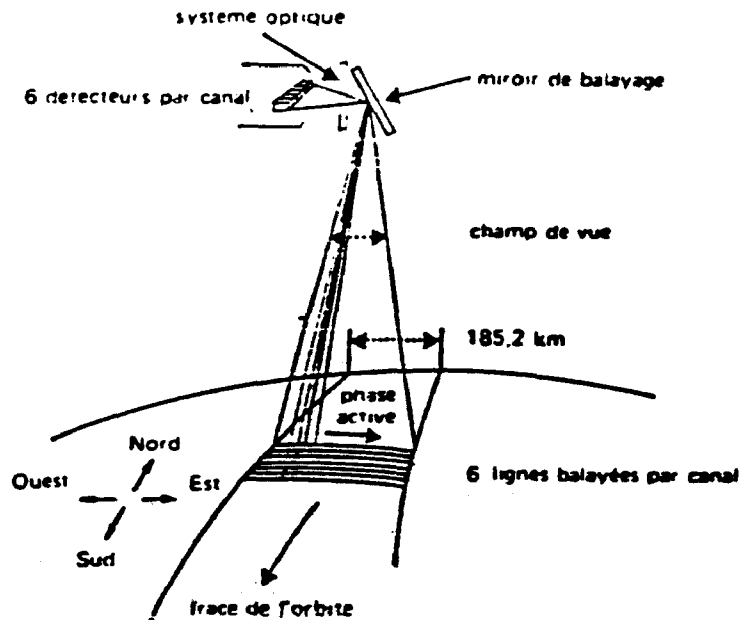


Figure 8

Principe de radiomètre multispectral à balayage (MSS) du satellite LANDSAT

Le rayonnement provenant du sol est décomposé en quatre bandes de longueur d'ondes et focalisé sur quatre barrettes de six détecteurs par un système optique. Un miroir oscillant permet au système

(0,5 à 0,6 nm) et du rouge (0,6 à 0,7 nm). La réflectance est le rapport exprimé en % entre la lumière diffusée par les corps et la lumière reçue.

La courbe de neige (1) a une réflectance très forte pour les trois couleurs. Pour nous, elle est blanche. A l'opposé, le sol brun (4) et les grès bruts (5) nous apparaissent très sombres avec une dominante rouge. L'eau (6) est bleue sombre et la végétation (3) est verte.

Avec un détecteur utilisant des longueurs d'onde voisines de 1,1 nm on obtient une image en noir et blanc assez surprenante où le calcaire (2) et la végétation (3) sont blancs, le sol brun (4) est gris, l'eau (6), la neige (1) et le grès brut (5) sont noirs.

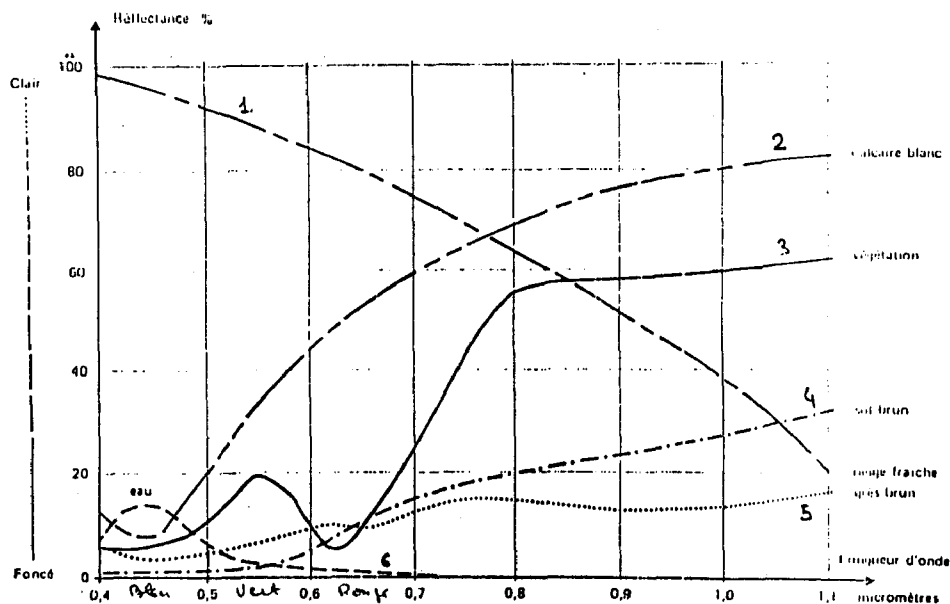


Figure 7

Ces différentes courbes montrent que chaque corps a son propre comportement vis-à-vis de la lumière solaire, ce qui le conduit à diffuser une lumière qui lui est caractéristique. Dans notre propre domaine de perception visuelle et avec notre vocabulaire quotidien, cela se traduit tout simplement par "chaque corps a une couleur".

Nous utilisons cette couleur pour identifier chaque objet. De la même façon, les radiomètres placés dans les satellites d'obser-

optique de balayer régulièrement la surface de la terre sur une largeur de 185 km. Le satellite se déplaçant sur son orbite, une trace de 185 km de large dite "trace de l'orbite" est donc continuellement observée à la surface de la terre.

Ce type de radiomètre est utilisé pour la lumière solaire réfléchie (visible) et le rayonnement électromagnétique émis (infrarouge thermique). La trace de l'orbite est décomposée en points élémentaires appelés "piscels", généralement carrés et de taille variable selon les satellites : 2,5 km et 5 km pour METEOSAT, 80 et 30 m pour LANDSAT, 20 et 10 pour SPOT. Les mesures sont faites sur un nombre variable de longueurs d'onde : 3 pour METEOSAT, 4 ou 7 pour LANDSAT, 3 pour SPOT.

Ce sont ces mesures, sous forme de nombres, qui sont transmises aux stations de réception au sol.

A partir de ces nombres, en utilisant des procédés photographiques, on reconstitue des images, en noir et blanc pour chaque canal ou en couleur en combinant les informations de trois canaux.

L'exploitation des observations

A ce point de l'exposé, il est intéressant de résumer toutes les étapes qui permettent d'observer la terre à partir de l'espace.

1) La surface de la terre, d'une part, reçoit le rayonnement émis par le soleil, en diffuse une partie, variable selon les longueurs d'onde, vers l'espace, d'autre part, émet un autre rayonnement électromagnétique vers l'espace, d'une énergie variable selon sa température.

2) Les radiomètres découpent la surface de la terre en carrés élémentaires (piscels), mesurent le rayonnement émis ou diffusé selon plusieurs longueurs d'onde. Ces mesures sont transmises au sol par radio.

3) A partir de ces mesures, par procédé photographique, on reconstitue des images de la terre en noir et blanc ou en couleur. Le rayonnement qui pour nous correspond à la couleur bleue (0,4 à 0,5 nm) n'étant pas mesuré, ces images ne peuvent nous présenter que des fausses couleurs.

4) Quand nous regardons ces documents, nous recommençons toute la démarche. Notre oeil remplace le radiomètre, les cônes et les bâtonnets de notre rétine jouant le rôle des détecteurs, les nerfs optiques transmettant les informations à notre cerveau, qui à son tour fait la synthèse des couleurs. C'est ainsi que nous pouvons regarder des choses que normalement nous ne voyons pas.

Lorsque nous avons considéré les différentes longueurs d'onde du rayonnement électromagnétique, je vous ai indiqué que l'atmosphère, avec ou sans nuage, est totalement transparente pour les longueurs d'onde supérieures à quelques millimètres (cf. figure 3). Cette propriété permet de faire des observations de la terre, de jour et de nuit et quel que soit le temps, en utilisant une source artificielle. Cela conduit à placer sur orbite des radars, diffusiomètres, altimètres. Ces appareils sont complexes. Il n'est pas possible d'en faire une description satisfaisante ici et pourtant il faudra bien signaler les résultats surprenants qu'ils nous permettent d'obtenir. Je vais simplement vous signaler qu'ils font, avec le rayonnement électromagnétique (micro-ondes), des exploits comparables à ceux que la chauve-souris réalise avec un rayonnement sonore (ultra-sons). La chauve-souris émet régulièrement des cris très brefs et écoute les échos retransmis par tous les objets qui l'entourent. Elle peut aussi, en volant, connaître sa vitesse. Ses oreilles lui donnent plus d'informations de jour et de nuit que nos yeux pendant la journée. Elle sait détecter un insecte qui vole, en analyser le battement des ailes et en déduire s'il est comestible. Elle sait détecter un poisson se déplaçant à une faible profondeur dans l'eau et le capturer.

En gardant cette comparaison à l'esprit, je vous demanderai simplement d'admettre que, avec les micro-ondes, nous obtenons les résultats très surprenants que je vous présenterai dans quelques instants.

L'eau des océans

Pour commencer je voudrais vous offrir quelques exemples d'informations que l'on peut obtenir sur les océans à partir de l'espace.

La mer, par rapport aux continents, est chimiquement très homogène et uniforme. On peut la décrire correctement avec des points élémentaires assez grands en utilisant des bandes de longueur d'onde très étroites. C'est ainsi que l'on peut faire des cartes de la teneur en chlorophylle de la mer car elle diffuse une couleur verte caractéristique. Cette chlorophylle est produite par des algues marines microscopiques (phytoplancton) qui constituent le début de la chaîne alimentaire.

Ces documents établis régulièrement permettent de localiser les zones où, la chlorophylle étant présente, la probabilité de présence de bancs de poissons est la plus probable. Ils permettent de suivre l'évolution des grands courants tels que le Gulf Stream et l'apparition des zones d'eaux froides le long des côtes (Upwelling). Ils sont utilisés par les armateurs pour améliorer la gestion des flottes de pêche. A l'inverse, ils permettent de détecter l'apparition de phénomènes anormaux tels que celui baptisé "El Nino" qui provoque des cyclones dans le Pacifique et la mort des anchois au large des côtes de l'Equateur et du Pérou.

La mer est actuellement le domaine privilégié pour l'emploi des micro-ondes (radars). Un satellite américain spécialisé SEASAT a fonctionné pendant quelques mois, et un satellite européen ERS 1 est actuellement en fabrication. Avec ces satellites, on peut mesurer de nombreux paramètres :

- la hauteur moyenne de la mer à quelques centimètres près et en déduire la hauteur des marées, la hauteur relative et la vitesse des grands courants;
- la hauteur et l'orientation des vagues et de la houle et en déduire la vitesse du vent;

- la topographie que la surface des océans présenterait s'il n'y avait pas de vent, pas de marée et pas de courant; cette topographie des creux et des bosses de plusieurs dizaines de mètres qui reflète la présence de bosses et de montagnes sous-marines dont certaines étaient inconnues à ce jour.

Comme la chauve-souris détecte un poisson qui se déplace sous l'eau parce que son mouvement provoque une légère ondulation à la surface, un radar peut détecter les dunes au fond de la Manche lorsque la marée produit un courant au-dessus de ces dunes.

A partir de l'espace nous obtenons de nombreuses informations sur la surface de la mer et accessoirement ou exceptionnellement sur le fond des océans. Par rapport aux moyens d'observation antérieurs, bateaux et avions, les progrès sont considérables car on a des informations sur l'ensemble des océans en un temps très court et on peut suivre l'évolution des phénomènes. Ces informations sont considérées comme suffisamment importantes vis-à-vis des activités en mer (transport, pêche, exploitation pétrolière) et l'influence des océans sur le climat pour qu'elles justifient le lancement de satellites spécifiques.

Les glaces n'ont pas encore justifié le lancement de satellite spécialisé car leur importance économique est faible, surtout depuis que le transport de pétrole dans l'océan arctique s'est considérablement réduit.

Les satellites existants donnent déjà de nombreuses informations. Ces informations sont utilisées pour les prévisions météorologiques et pour la conduite des bateaux.

L'eau dans l'atmosphère

La connaissance de l'eau dans l'atmosphère a également fait des progrès considérables avec les techniques spatiales. On est passé des mesures très ponctuelles faites par des appareils transportés par des ballons à des mesures globales et répétitives.

A partir de ces données, on essaye de déterminer la quantité d'eau de pluie arrivant au sol. Les résultats sont satisfaisants pour le total pluviométrique d'une année dans les régions du globe à régime convectif ou, si vous voulez, orageux. Pour des durées plus courtes et pour les autres régimes pluviométriques, des progrès restent à faire.

La détermination de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère, celle que l'on ne voit pas, est depuis plusieurs années réalisée de façon opérationnelle par des détecteurs spéciaux dans les satellites météorologiques. Le principe de la mesure est basé sur le fait que chaque corps chimique émet un rayonnement électromagnétique dans certaines longueurs d'onde bien déterminées. On connaît les longueurs d'onde de l'eau sous forme de vapeur et on sait mesurer pour différentes tranches d'altitude, l'énergie correspondante. Cette énergie est proportionnelle à la quantité de vapeur d'eau et à sa température. Donc, pour connaître la quantité d'eau, il faut connaître la température. Ce résultat est obtenu par l'artifice suivant : l'atmosphère contient en quantité très peu variable un autre corps chimique, le dioxyde de carbone (CO_2) qui lui aussi émet un rayonnement spécifique. En mesurant l'énergie de ce rayonnement, on peut en déduire sa température, et en admettant que, à la même altitude, la vapeur d'eau est à la même température que le CO_2 , on peut déduire de la mesure de l'énergie émise par la vapeur d'eau la quantité d'eau. Ces mesures ne sont pas utilisées pour établir des cartes, mais pour alimenter des modèles mathématiques de prévisions météorologiques.

L'eau dans le sol

Par les techniques spatiales il est possible d'obtenir des informations sur l'humidité du sol.

La figure 9 montre pour trois types de sol (sol sableux rouge, sol limoneux brun, sol gris-bleu) la représentation de la réflectance pour deux états, sec et humide. Les sols humides sont toujours plus sombres que les sols secs. Cette propriété pourrait éventuellement être utilisée en agriculture mais la répétitivité actuelle des satel-

lites LANDSAT et SPOT n'est pas suffisante pour détecter le passage d'une pluie et l'assèchement progressif du sol.

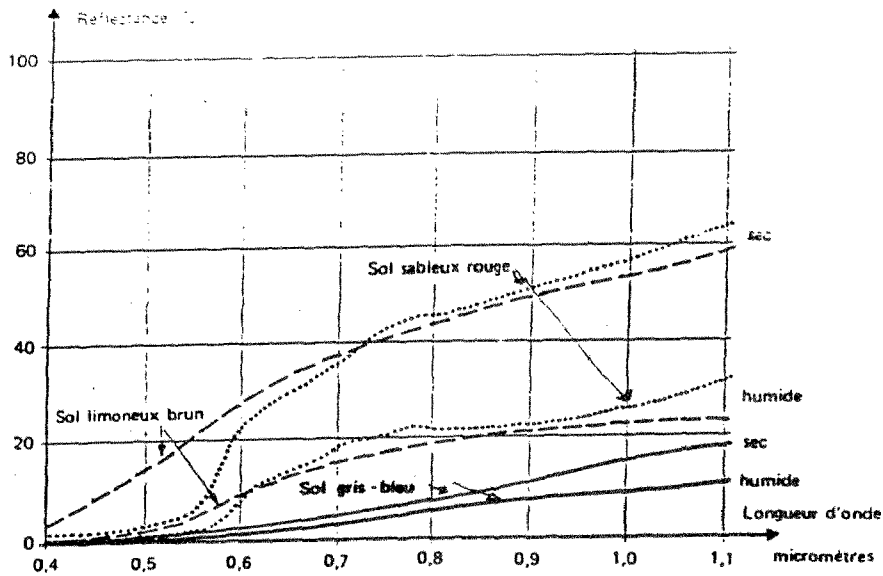


Figure 9

Réflectance et humidité des sols

De la même façon, un sol mouillé est généralement plus froid qu'un sol sec, surtout dans les pays chauds. Sur la figure 10, on montre

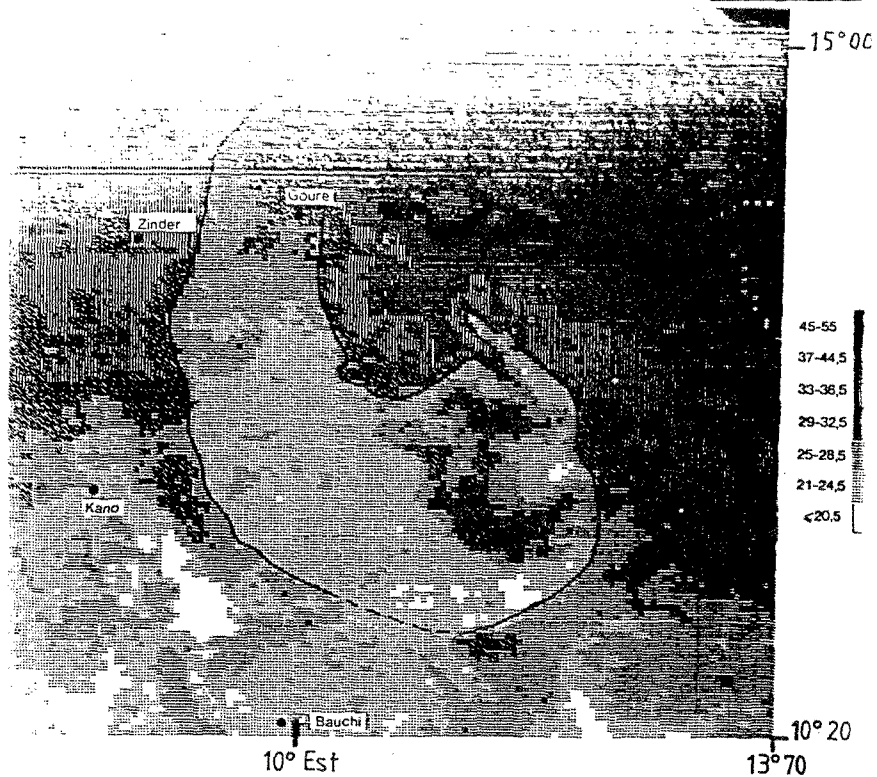


Figure 10

Tracé thermique au sol de précipitations
(Nord Nigéria Niger)

Extrait de l'image de synthèse 5 au 11 septembre 1985

la trace d'une averse qu'il a été facile de localiser à partir des données en infrarouge thermique de METEOSAT en Afrique Sahélienne car elles sont acquises plusieurs fois par jour et l'apparition brutale d'une telle "anomalie thermique" se voit bien. Dans ce cas on détecte la superficie concernée par l'averse mais pas la quantité d'eau tombée.

Indirectement, on peut avoir des informations sur l'humidité des sols en recherchant des indications sur l'état de santé des plantes. La figure 11 montre comment évolue la courbe de réflectance de la végétation selon son degré de flétrissement. On voit que cette courbe se modifie de façon importante. Pour que cette caractéristique puisse être exploitée efficacement, il faudrait ici aussi une meilleure répétitivité des "prises de vue" des satellites.

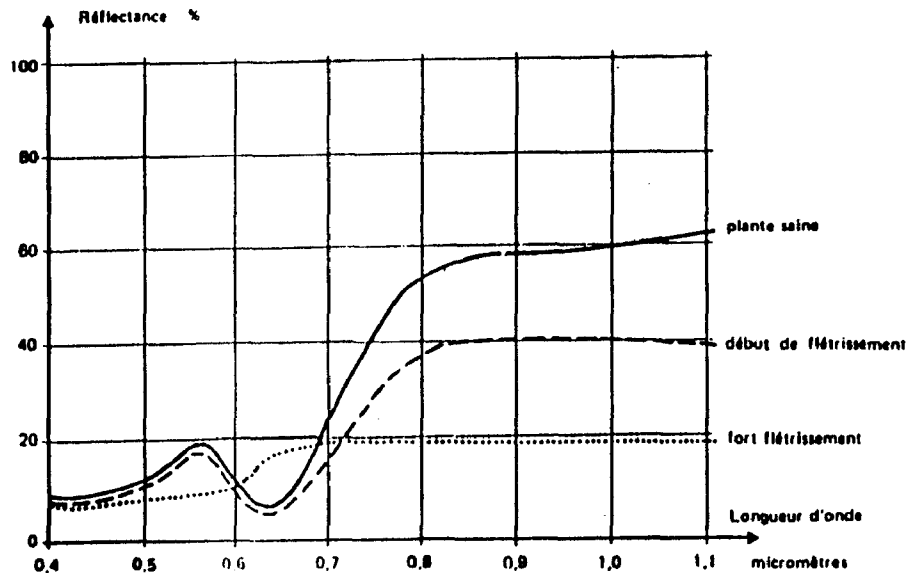


Figure 11

En analysant méticuleusement les données en infrarouge thermique de METEOSAT sur l'Afrique de l'Ouest, on a constaté que la température au sol de $39,5^{\circ}$ peut être considérée comme une limite entre l'Afrique sèche au Nord et l'Afrique humide au Sud. A partir de cette hypothèse, il est possible de suivre dans le temps le déplacement de cette limite et par là-même la mise en place de la saison des pluies. Cette surveillance se fait maintenant régulièrement et on espère qu'elle pourra permettre une prévision (figure 12).

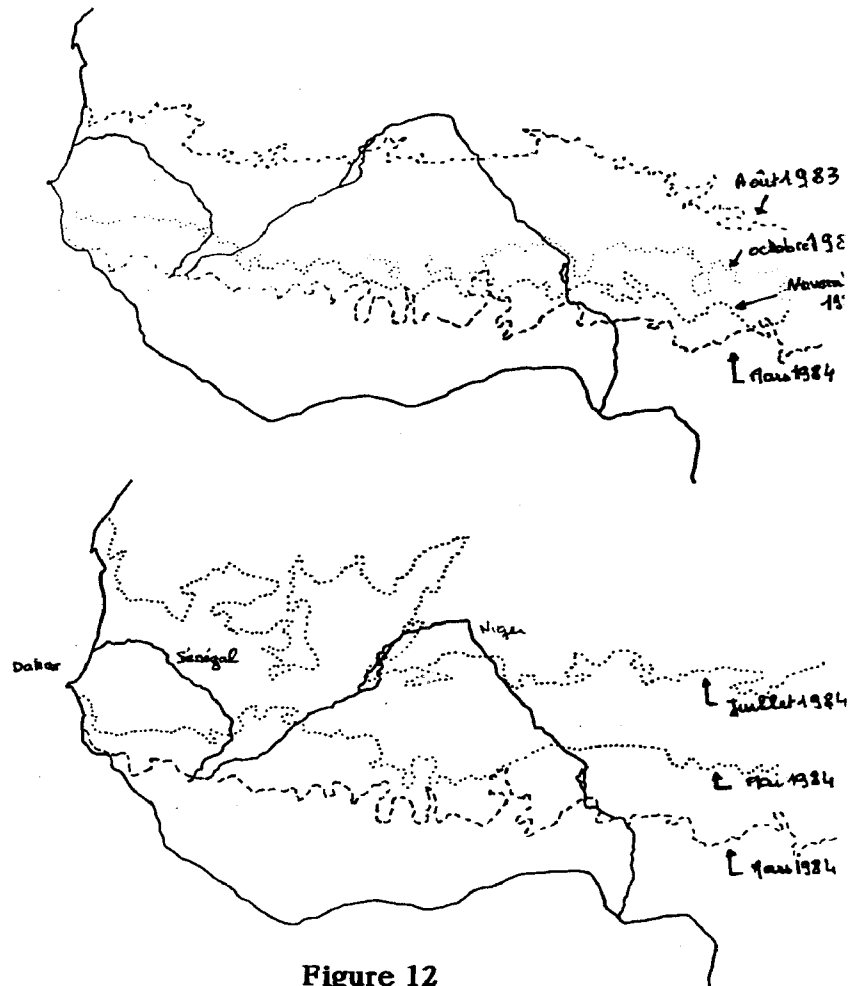


Figure 12
Déplacement du "pont thermique" sur l'Afrique de l'Ouest au cours d'une année

L'eau souterraine

Par son volume, l'eau souterraine qui constitue la deuxième forme de stockage d'eau douce après les glaces, n'est pas directement observable depuis l'espace. Indirectement, les données des satellites permettent de sélectionner les zones où leur présence est la plus probable.

En effet, les images obtenues apportent beaucoup d'informations sur la forme des couches géologiques et elles sont un outil important pour le géologue qui cherche à localiser les nappes d'eau et leur extension profonde.

Un résultat beaucoup plus surprenant a été obtenu dans les zones désertiques par un radar placé dans la navette spatiale américaine. Tout se passe comme si le sable sec était totalement transparent au rayonnement émis par le radar. L'image obtenue semble montrer un ancien réseau de rivières totalement recouvert de sable. Ces documents sont vraiment remarquables et devraient permettre une localisation précise des réserves d'eau peu profonde.

Les eaux de surface

Nous abordons maintenant le domaine des rivières, fleuves, lacs et étangs. Ces eaux sont en perpétuel mouvement et représentent la presque totalité des eaux qui vont des continents vers les océans. Elles constituent donc les 40.000 km³ renouvelés chaque année. C'est l'eau des hommes.

Les images des satellites LANDSAT et SPOT donnent de très belles représentations des eaux de surface. Ces représentations sont globales et répétitives.

Les techniques spatiales permettent donc de réaliser une cartographie dynamique des eaux libres. Elles permettent également d'analyser la couleur de l'eau et d'en détruire certaines propriétés telles que la turbidité, la présence de végétation et parfois la profondeur. La figure 13 vous explique sous une forme que vous connaissez bien maintenant l'influence de la turbidité de l'eau sur sa réflectance en fonction de la longueur d'onde de la lumière.

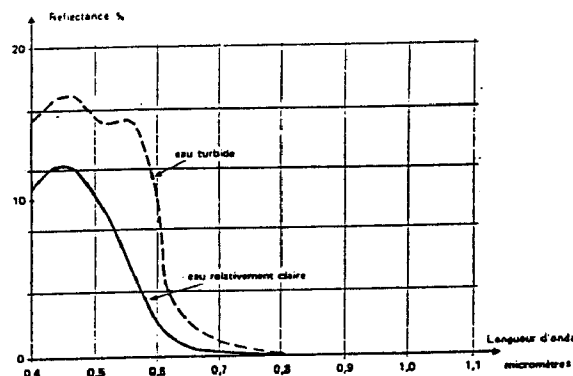


Figure 13

Un premier apport des techniques spatiales est donc un meilleur suivi et une meilleure connaissance des superficies d'eau libre.

Un deuxième apport est de pouvoir fournir une description de l'ensemble des bassins versants des fleuves et rivières, afin de mieux comprendre les mouvements de l'eau qui arrive sur le sol sous forme de pluie. Cette eau se déplace par les mouvements suivants :

- l'infiltration;
- l'évaporation;
- le ruissellement.

L'importance de chacun de ces phénomènes dépend, bien sûr, de la quantité d'eau de pluie, mais aussi de la pente du sol, de sa composition et de son occupation. L'expérience nous a montré que les données des satellites LANDSAT et SPOT nous permettaient de décrire le bassin versant selon le comportement de chacune de ses parties vis-à-vis de ces trois phénomènes. En effet, elles indiquent avec une précision satisfaisante les forêts, les champs cultivés, les prairies, les zones urbanisées.

De plus, le satellite SPOT nous apporte des informations supplémentaires qui n'étaient pas fournies par les satellites précédents.

Il est équipé d'un dispositif qui lui permet de choisir dans une "trace d'orbite" de 950 km de largeur, la bande de 60 km de large qui sera réellement observée (figure 14). Ce dispositif permet d'observer une région précise de la terre sous des angles différents (figure 15).

On peut aussi réaliser avec des images provenant de l'espace des vues en relief comme on le fait depuis longtemps à partir d'avion. En particulier, le déplacement d'un satellite sur son orbite étant beaucoup plus régulier que celui d'un avion sur sa trajectoire, on peut établir des cartes en relief de qualité satisfaisante sans aucune opération au sol. On obtient ainsi des documents semblables à celui

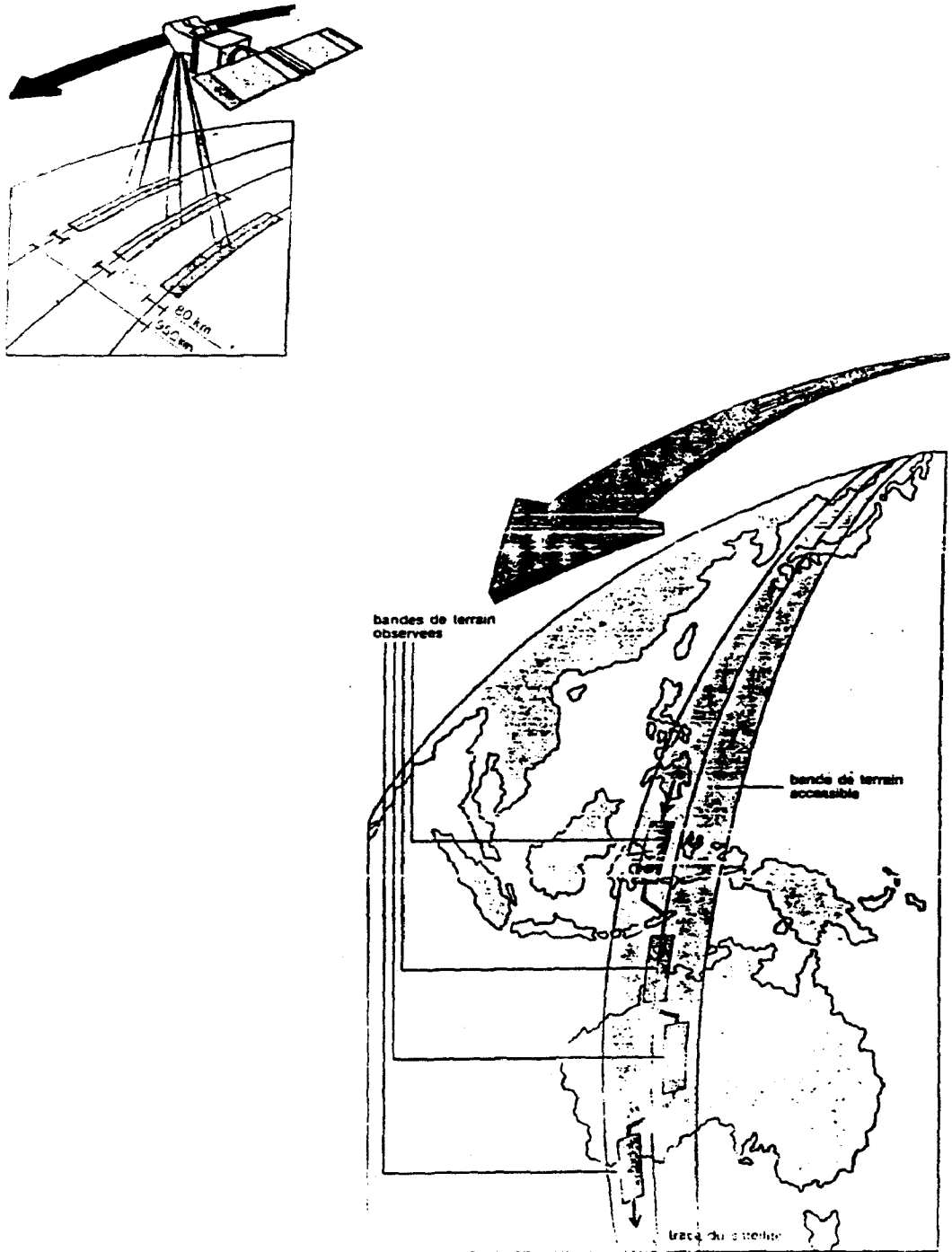


Figure 14
Visée réglable du satellite SPOT

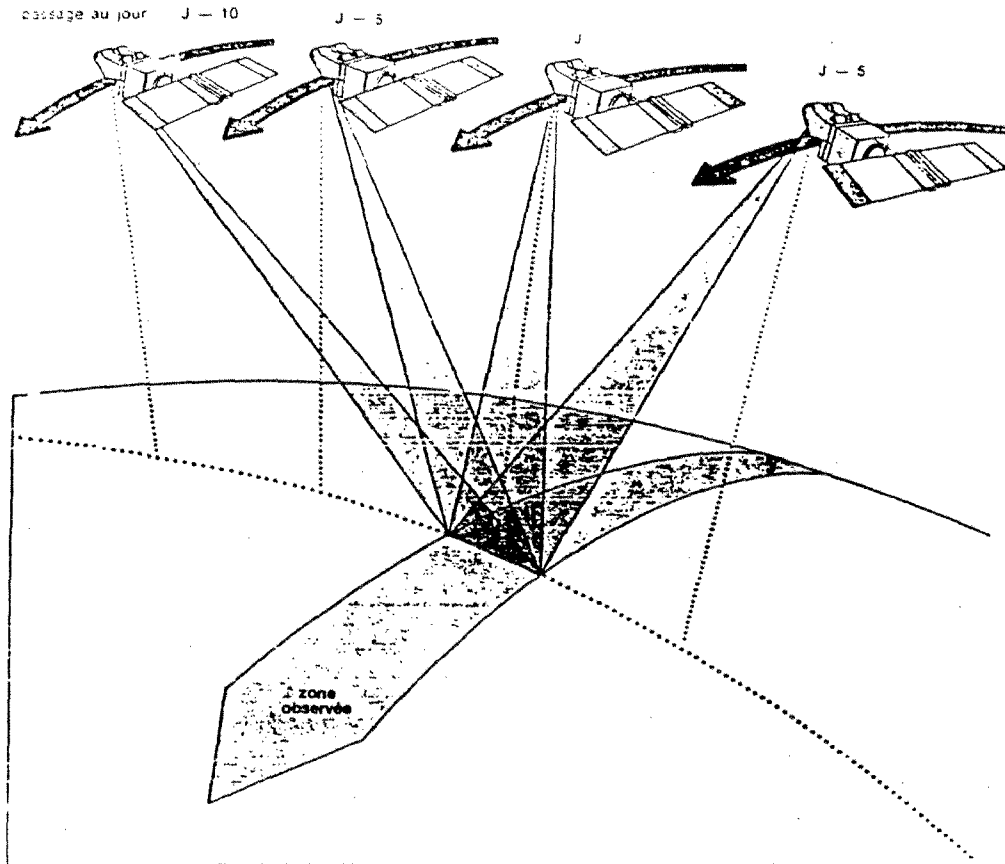


Figure 15

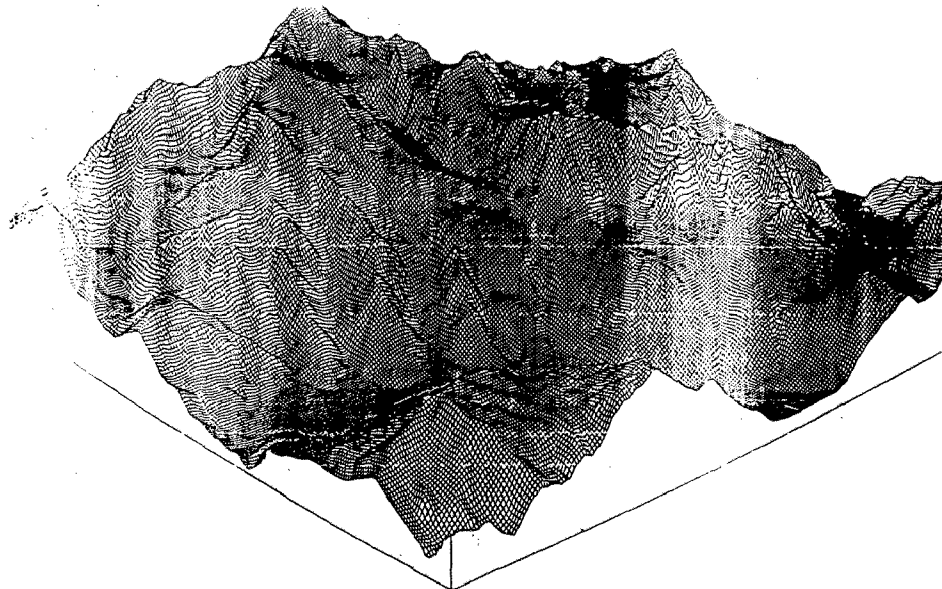


Figure 16

Détermination du relief terrestre réalisable par le satellite SPOT

de la figure 16 : la surface du sol est décomposée en carrés dont on détermine l'altitude de chacun des sommets. On peut ensuite représenter automatiquement le "paysage" sous n'importe quel angle de vue.

Tous ces éléments apportent leur contribution à la compréhension du fonctionnement d'un bassin versant. Cela signifie que l'on comprend de mieux en mieux ce que devient chaque goutte de pluie qui arrive au sol. Comment elle peut s'évaporer, s'infiltrer, ruisseler. Comment sont alimentés les nappes souterraines, les rivières, les fleuves et les lacs.

Les techniques de l'espace apportent ainsi une précieuse contribution à une meilleure gestion des eaux douces renouvelables.

Jacques CRUETTE
DIRECTEUR DE RECHERCHES A L'ORSTOM