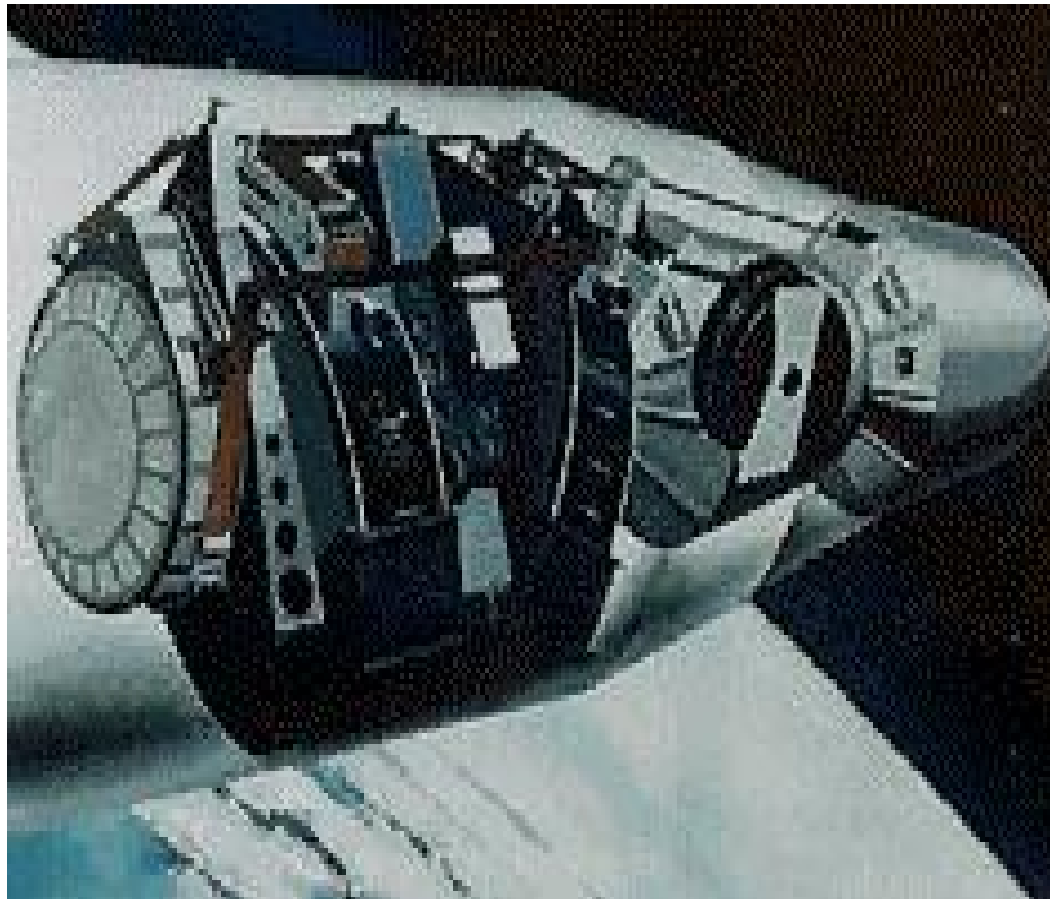


# Cours de Téledétection



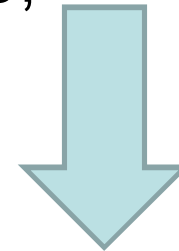
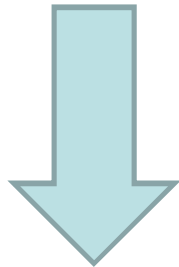
Téledétection-Mme Messaadi

# Naissance de la télédétection

La télédétection devient possible le jour du **premier vol en ballon** en **1783**.



Cet événement historique, jumelé à l'invention de la **plaque photographique** par **Daguerre et Niepce** en **1839**,



permet à **Félix Tournachon** de prendre, en **1858**, la **première photographie aérienne** de Paris

- “ Dès **1855**, le physicien **Maxwell** envisage la possibilité de réaliser des photographies en couleurs,
- “ La **première pellicule couleur** est mise au point en **1859**,
- “ **1935** la sortie du **premier film couleur commercial** par la société Kodak.

➤ **1939 Æ 45 : seconde guerre mondiale**

la photographie aérienne est utilisée pour localiser les positions stratégiques ã

➤ **début des années 60 : la** aventure spatiale . le premier homme dans le space : vision extraordinaire de la terre.

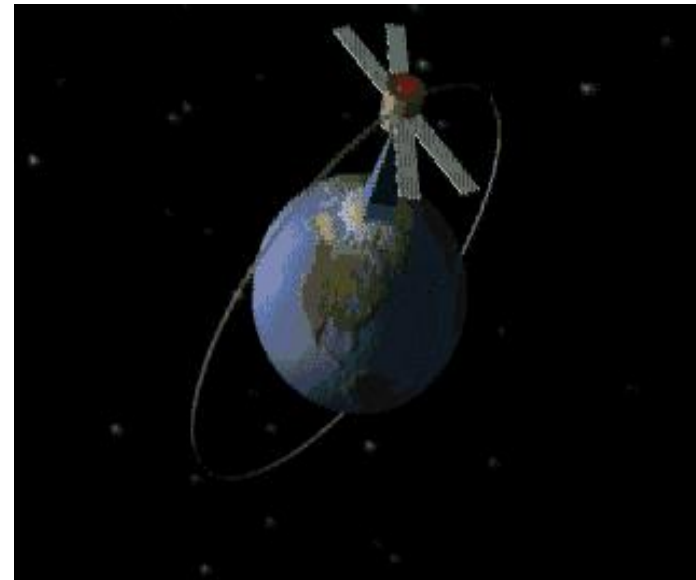
➤ **décennie 70 :**

programme expérimental de surveillance des récoltes (LANDSAT) ;

➤ **2000 Å ?** Utilisation militaire médiatisée : Irak, Afghanistan ã

# Il est actuellement difficile d'imaginer le nombre de satellites qui gravitent autour de notre planète !!!!

- Civils ou militaires
- Actifs ou épaves
- Télécommunication
- Télévision
- Météorologie
- Observation spatiale et surveillance



# Concepts fondamentaux de la Téledétection

# I -1 DÉFINITION DE LA TELEDETECTION

La **télédéttection** est une discipline ayant pour objet les informations portées par le **rayonnement électromagnétique** issues de la surface de la terre ou de celles d'autres planètes, captées **à distance** par des **instruments aéroportés ou spatiaux** --[Chorowicz, 1980].

# Autre définition

La télédétection est une technique d'observation permettant de **détecter** et d'**interpréter à distances** les caractères morphologiques, physiques et spectraux des matériaux. Elle étudie leur propriété de **réflexion, absorption** ou **émission** des **radiations électromagnétique** ; dans le but de tirer des informations concernant leurs natures, leurs propriétés, et leurs états.

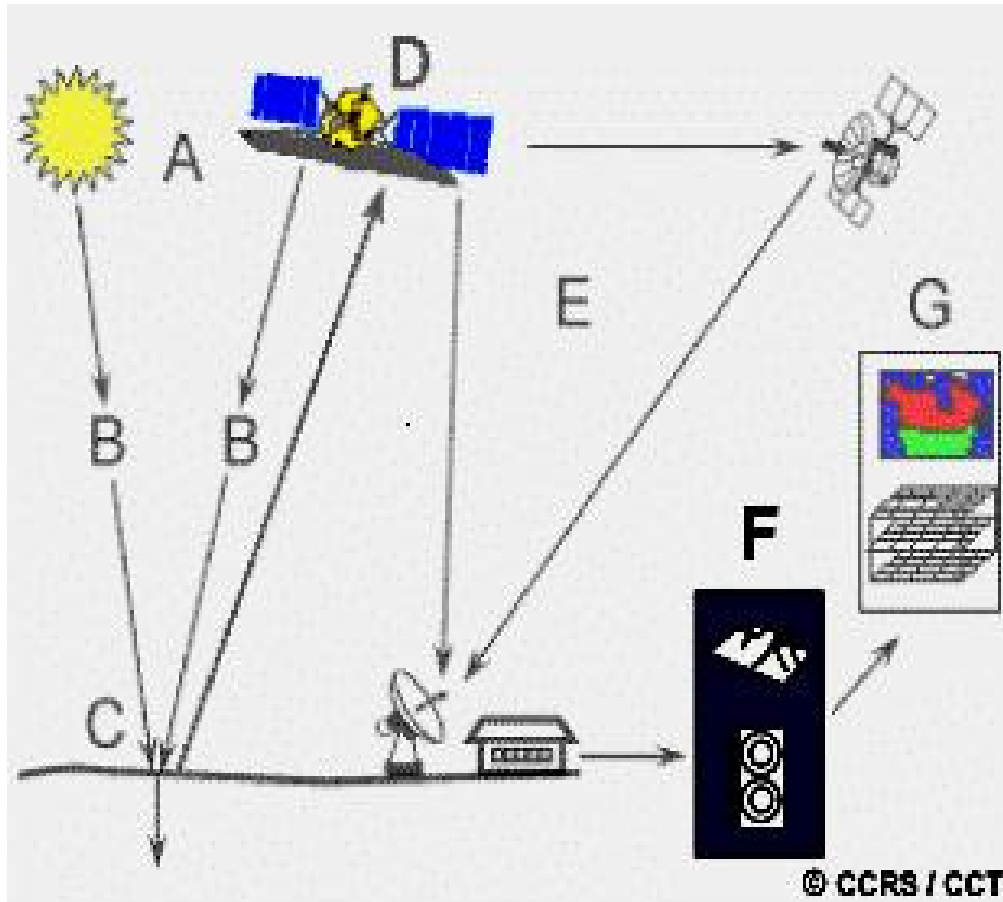


## Autre définition

La **télédétection** est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre **sans contact direct** avec celle-ci.

La télédétection englobe tout le processus qui consiste à **capter** et à **enregistrer** l'énergie d'un **rayonnement électromagnétique** émis ou réfléchi, à **traiter** et à **analyser** l'information, pour ensuite mettre en application cette information.

# Le processus de la télédétection au moyen de systèmes imageur



**7. Application (G)** - La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

# Les acteurs

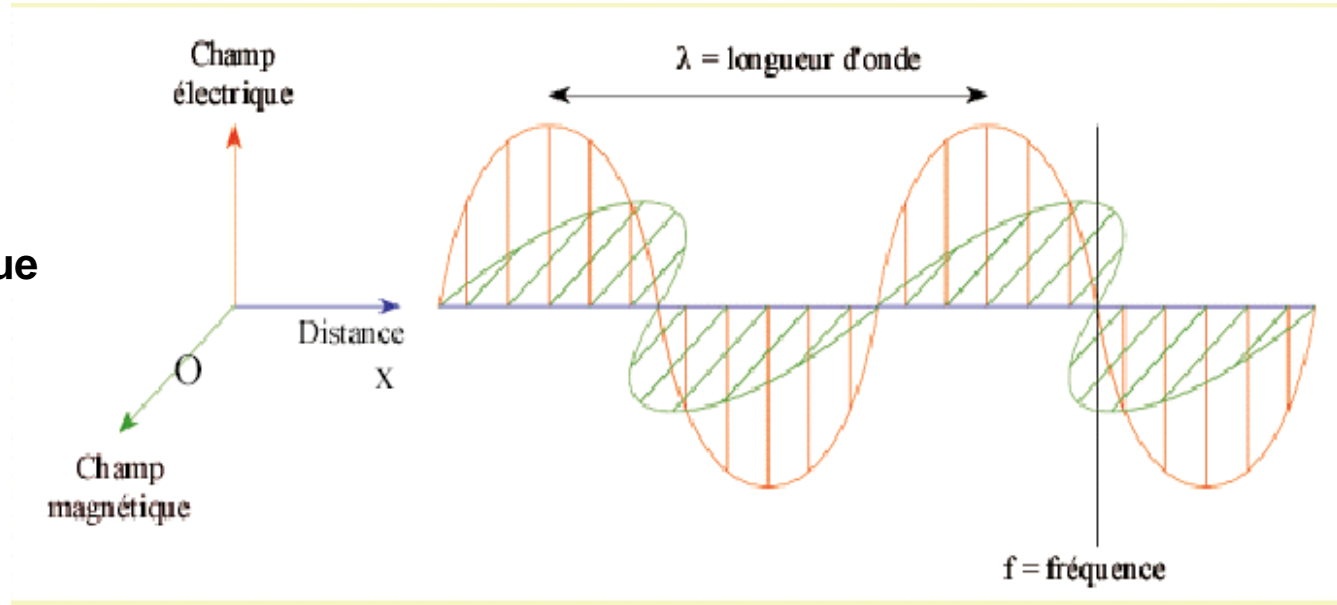
- “ Le rayonnement électromagnétique
- “ La cible
- “ Le système d'acquisition
- “ La détection
- “ Le milieu perturbateur
- “ Le système de traitement
- “ L'interprète

# RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE

C'est une énergie qui se propage dans l'espace et interagit avec la matière. Cette énergie constituée de ondes électromagnétiques est considérée comme le vecteur porteur d'informations relatives à l'objet étudié.

Une onde électromagnétique résulte de la propagation simultanée dans l'espace d'un champ électrique et d'un autre magnétique et dont l'amplitude varie de façon périodique avec le temps. Sa propagation se fait suivant le milieu où elle se trouve, (GDTA, 1991).

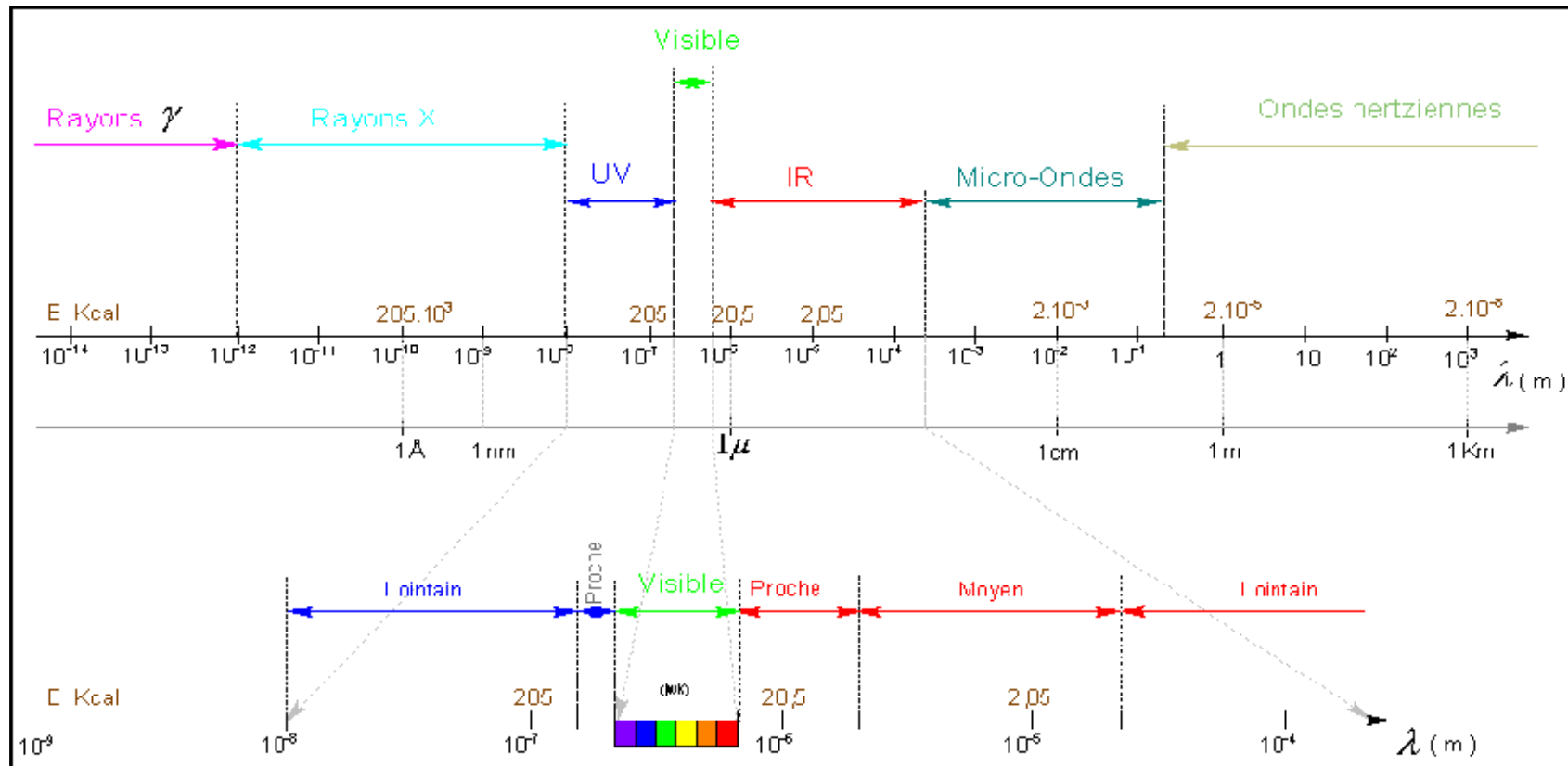
**Une onde électromagnétique est caractérisée par:**



- “ **Longueur d'onde** : distance entre deux points homologues exprimée en  $\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$ .
- “ **Fréquence** : nombre d'oscillations par unité de temps ( $\text{s}^{-1}$  ou Hz-Hertz).
- “ **Période  $T$** : Temps nécessaire pour réaliser une oscillation :  $T = 1/f$ .
- “ **Relation fondamentale** :  $c = \lambda f$
- “  **$c$ : vitesse de la lumière dans le vide  $= 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$**

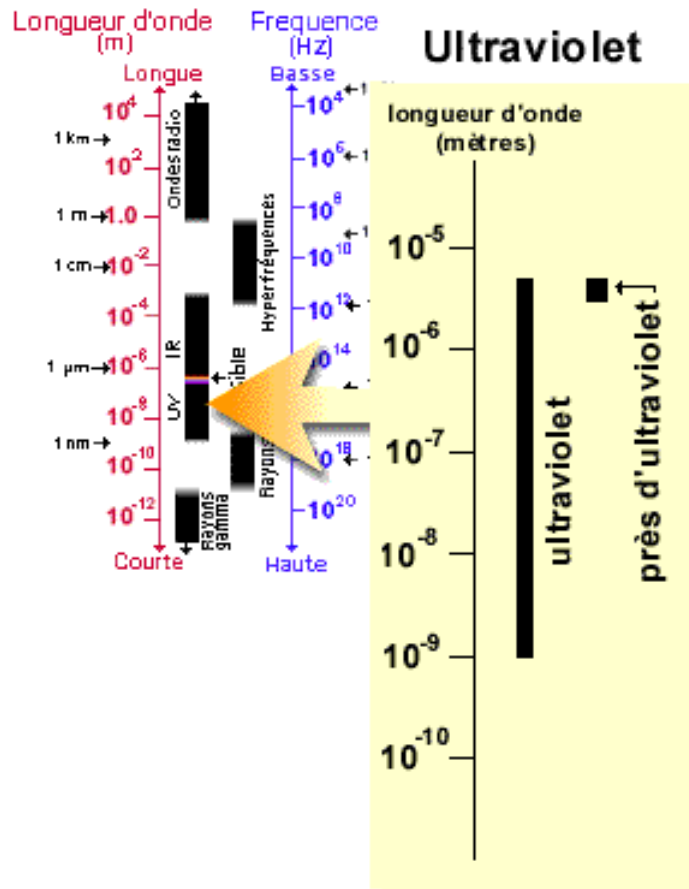
## Les principaux domaines du spectre :

Le soleil émet dans toutes les longueurs d'ondes. Celles-ci ont été fractionnées en différentes classes en fonction d'une part de leur amplitude et de leur fréquence, et d'autre part de leurs propriétés sur la matière. On distingue successivement, en partant des longueurs d'onde inférieures



- **Rayons gamma:** de longueur d'onde inférieure à 0,03 nanomètre. A cette longueur d'onde, le rayonnement incident du soleil est totalement absorbé par la haute atmosphère et n'est donc pas utilisable pour la télédétection. Toute fois un avion volant à basse altitude peut détecter la radiation gamma émise par les minerais radioactifs.

- **Rayon X:** de longueur d'onde comprise entre 0,03 et 3 nanomètre. L'atmosphère absorbe totalement ce rayonnement.



- **Rayon ultraviolet:** de longueur d'onde comprise entre **3** et **400 nm**. Dans la haute atmosphère, l'Ozone absorbe totalement les radiations inférieurs à 300 nm, de même que l'Oxygène et l'Azote dans la stratosphère et l'ionosphère. Entre 300 et 400 nm, la détection est possible par films et photodétecteurs malgré une diffusion atmosphérique très importante.

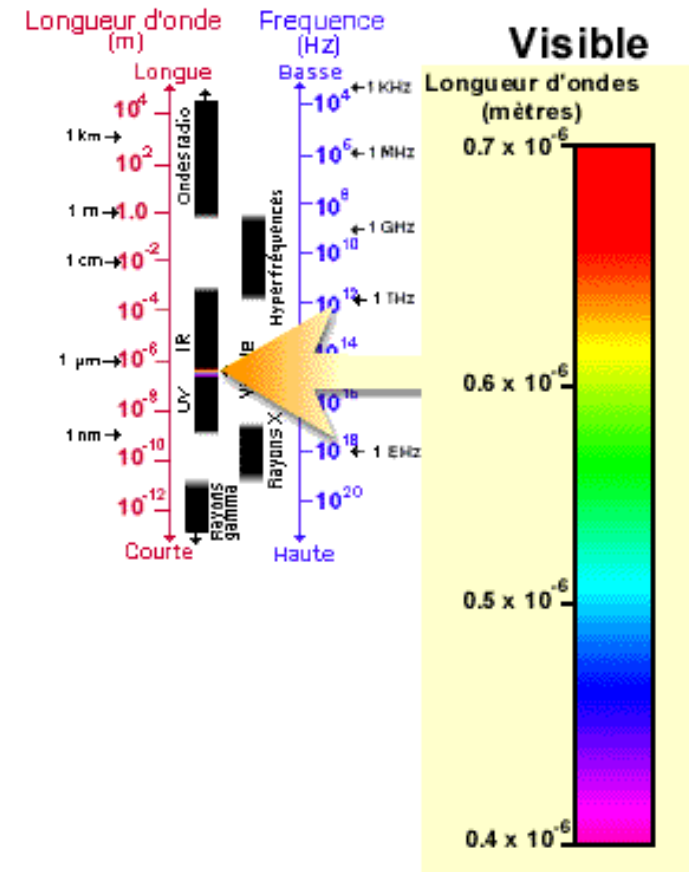
Certains matériaux de la surface terrestre, surtout des roches et minéraux, entrent en fluorescence ou émettent de la lumière visible quand ils sont illuminés par un rayonnement ultraviolet.



## “ *Rayonnement visible:*

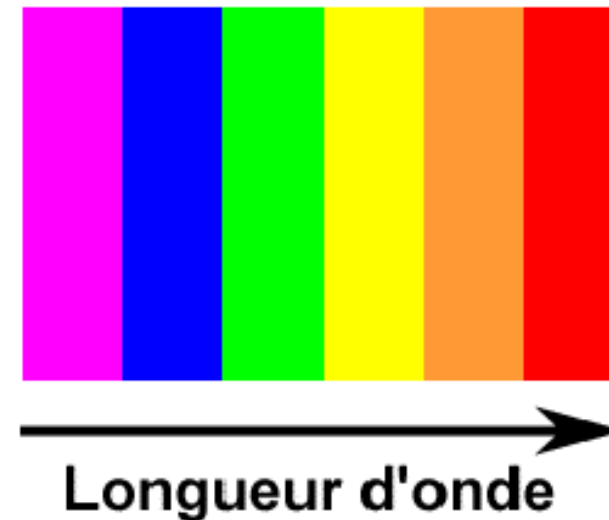
petite partie du spectre électromagnétique  
située entre **0,4** et **0,72  $\mu\text{m}$** .

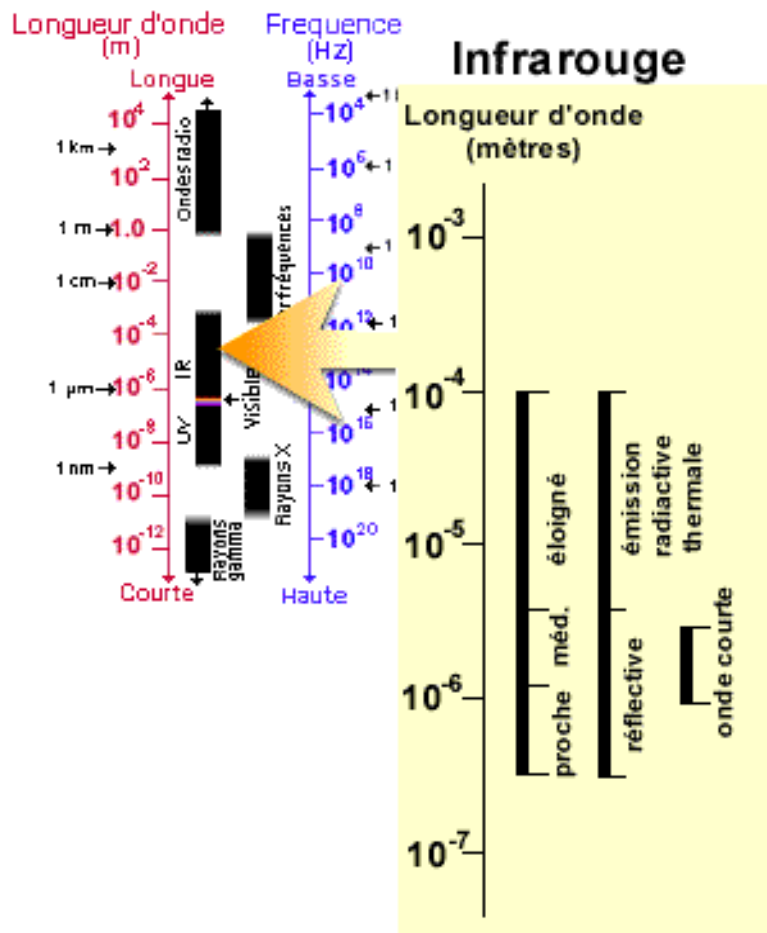
Il est important de constater que le spectre visible représente une bien petite partie de l'ensemble du spectre. Une grande partie du rayonnement électromagnétique qui nous entoure est invisible à l'oeil nu, mais il peut cependant être capté par d'autres dispositifs de télédétection. Les longueurs d'onde visibles s'étendent de 0,4 à 0,7  $\mu\text{m}$ .



- “ La couleur qui possède la plus grande longueur d'onde est le rouge, alors que le violet a la plus courte. Les longueurs d'onde du spectre visible que nous percevons comme des couleurs communes sont énumérées ci-dessous. Il est important de noter que c'est la seule portion du spectre que nous pouvons associer à la notion de couleurs

*Violet* : 0.4 - 0.446 microns  
*Bleu* : 0.446 - 0.500 microns  
*Vert* : 0.500 - 0.578 microns  
*Jaune* : 0.578 - 0.592 microns  
*Orange* : 0.592 - 0.620 microns  
*Rouge* : 0.620 - 0.7 microns



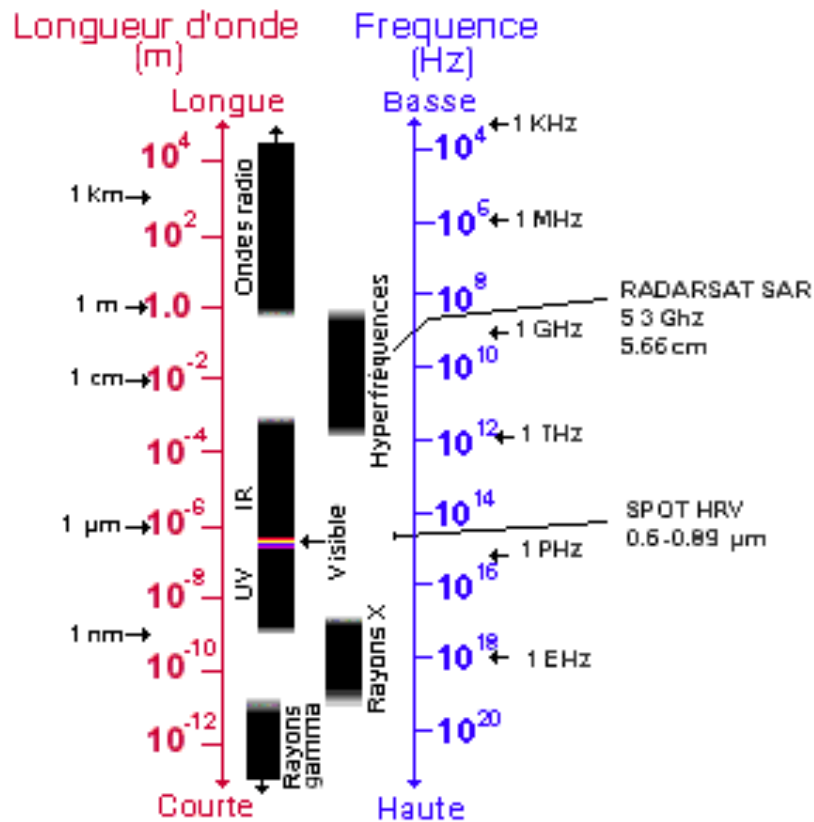


## Rayonnement infrarouge:

L'infrarouge s'étend approximativement de **0,7 à 100  $\mu\text{m}$** , ce qui est un intervalle environ 100 fois plus large que le spectre visible. L'infrarouge se divise en deux catégories:

**IR réfléchi** s'étend approximativement de **0,7 à 3  $\mu\text{m}$**  et est utilisé en télédétection de la même façon que le rayonnement visible

**IR émis** ou **thermique** il est très différent du spectre visible et de l'infrarouge réfléchi. Cette énergie est essentiellement le rayonnement qui est émis sous forme de chaleur par la surface de la Terre et s'étend approximativement de **3 à 100  $\mu\text{m}$** .<sup>19</sup>



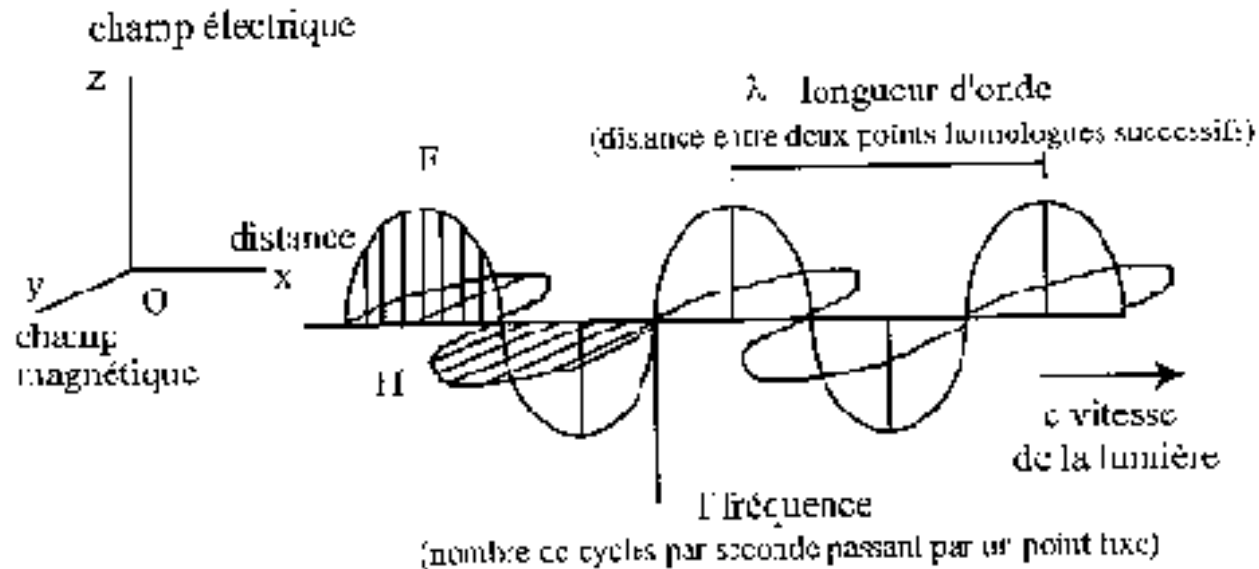
### **Micro-onde :**

extension à partir de **3 mm** ou jusqu'à 100 GHz, bien qu'il n'y ait pas de définition fermement adoptée [Bariou et al, 1985].

***Le rayonnement électromagnétique messenger de l'Information relative à l'Objet étudié.***

# La polarisation

Une onde électromagnétique peut être représentée dans l'espace par les vecteurs de champ électrique  $E$  et de champ magnétique  $H$ . Le vecteur  $E$ , qui reste perpendiculaire à l'axe  $x$ , peut tourner autour de cet axe.



Caractéristiques d'une onde  
(d'après Bonn et Rochon, 1992)

Si le déphasage  $f$  (manière dont  $E$  se comporte dans un plan parallèle à  $yOz$ ) varie de façon aléatoire dans le temps, l'onde est non polarisée, si  $f$  garde une valeur constante, l'onde est polarisée. On distingue :

- la polarisation verticale, lorsque le vecteur  $E$  est contenu dans le plan d'incidence,
- la polarisation horizontale, lorsque le vecteur  $E$  est perpendiculaire au plan d'incidence.

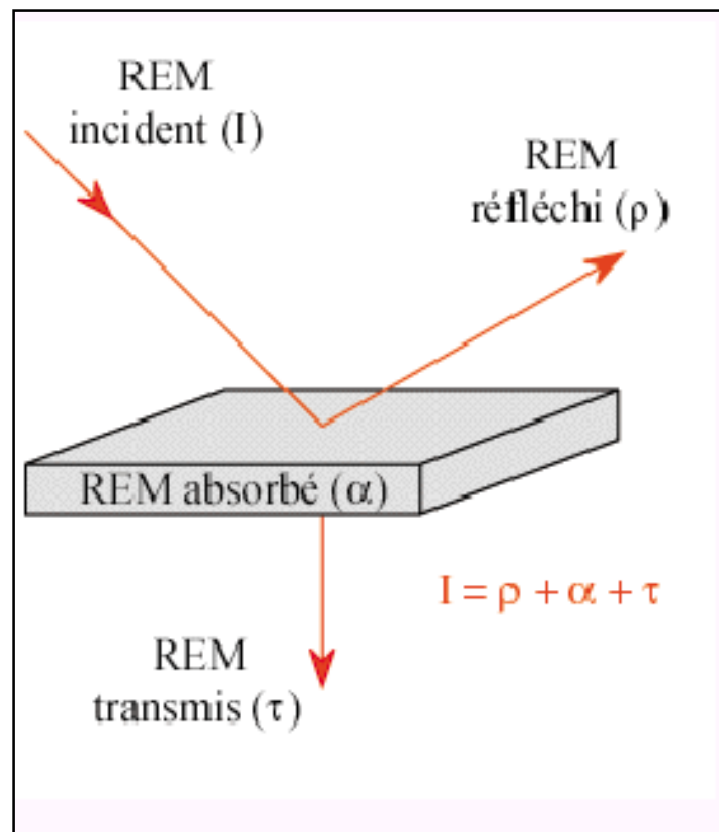
En hyperfréquences la polarisation apporte des informations sur l'objet étudié, par exemple sa rugosité.

Téledétection-Mme Messaadi

# LA CIBLE

La cible : réfléchit, émet, transmet ou absorbe le rayonnement électromagnétique.

La réflexion et l'émission sont des porteurs d'information concernant l'objet.

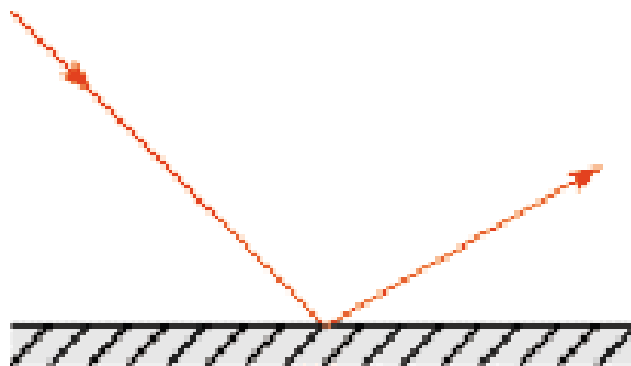


Réflexion, absorption et transmission d'énergie

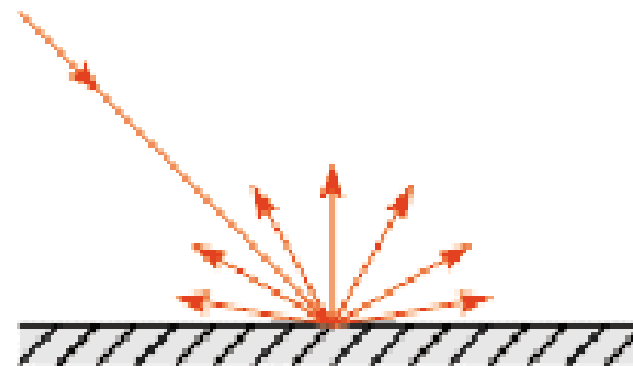
Téledétection-Mme Messaadi

## Réflexion du signal reçu

Les surfaces réfléchissent différemment le rayonnement électromagnétique reçu



Réflexion spéculaire



Réflexion diffuse

# Propriétés des ondes électromagnétiques

Parmi les nombreuses propriétés des ondes électromagnétiques, certaines sont fondamentales pour la compréhension des principes de base de la télédétection. C'est le cas de la réflexion, de l'absorption, de la transmission, de la diffusion et de l'émission.



# Emission

Emission : tout corps dont la température thermodynamique est supérieure au zéro absolu ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) émet un rayonnement électromagnétique. L'émetteur, appelé aussi source, peut être le soleil, le satellite (RADAR) ou encore la cible (infrarouge thermique).

Le spectre d'émission propre d'un corps est donc caractéristique de sa température

# Notion de «corps noir »

Un corps noir est un corps théorique qui absorbe la totalité de la radiation qu'il reçoit. Il ne réfléchit pas et ne transmet aucune radiation.

Pour un corps noir, on peut écrire:

= 1 absorption

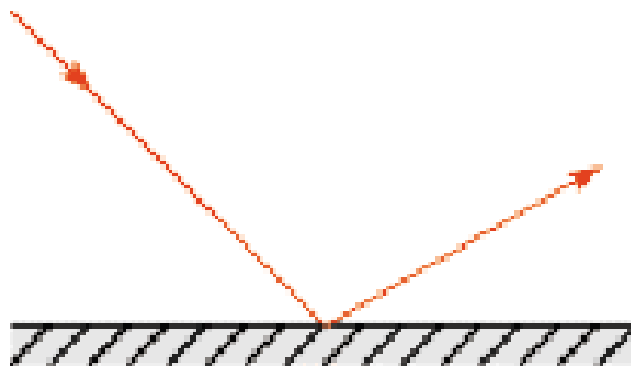
= 0 réflexion

= 0 transmission

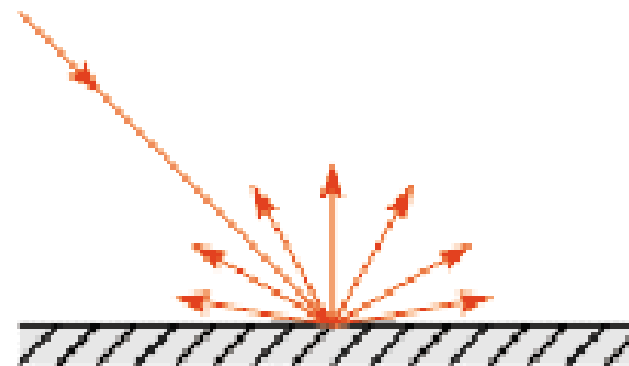
Le corps noir correspond à un émetteur thermique idéal, parfaitement absorbant et parfaitement émissif. La luminance du corps noir définie par Planck est la suivante:

# Réflexion

Réflexion : Un corps qui reçoit une quantité de REM peut en réfléchir une partie. Lorsqu'il s'agit d'énergie solaire réfléchie par une portion d'espace terrestre, on parle d'albédo. Il s'exprime en pourcentage d'énergie réfléchie. La réflexion peut être spéculaire, c'est à dire qu'elle est dirigée entièrement dans une seule direction, ou diffuse lorsqu'elle est dirigée dans toutes les directions.



Réflexion spéculaire



Réflexion diffuse

# Absorption

Absorption : Un corps qui reçoit une quantité de REM peut en absorber une partie. Cette énergie absorbée est transformée et modifie l'énergie interne du corps. Ainsi, la température interne du corps peut augmenter ce qui va être la source d'émissions plus importantes dans d'autres longueurs d'ondes (infrarouge thermique par exemple).

# Transmission

Transmission : Un corps qui reçoit une quantité de REM peut en transmettre une partie. Un objet transparent à une transmittance élevée dans les longueurs d'ondes visibles. Une surface d'eau pure ou le feuillage d'arbres sont des exemples de surfaces susceptibles de transmettre une partie du REM.

# Diffusion

Diffusion : Ce phénomène a une très grande importance en télédétection aérospatiale. Des particules microscopiques, comme celles contenues dans l'atmosphère, amènent la diffusion dans toutes les directions d'une partie du REM. Le REM traversant ce milieu peut alors être considérablement transformé. Le ciel nous paraît bleu car la diffusion de la lumière se fait préférentiellement dans les petites longueurs d'ondes (bleu). Si cette diffusion due à l'atmosphère n'existait pas, le ciel serait noir et les zones d'ombre seraient également d'un noir absolu. Environ 25% du rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère est diffusé. Ce chiffre peut être beaucoup plus important lorsque l'atmosphère est chargée en aérosols et vapeur d'eau

# La Atmosphère

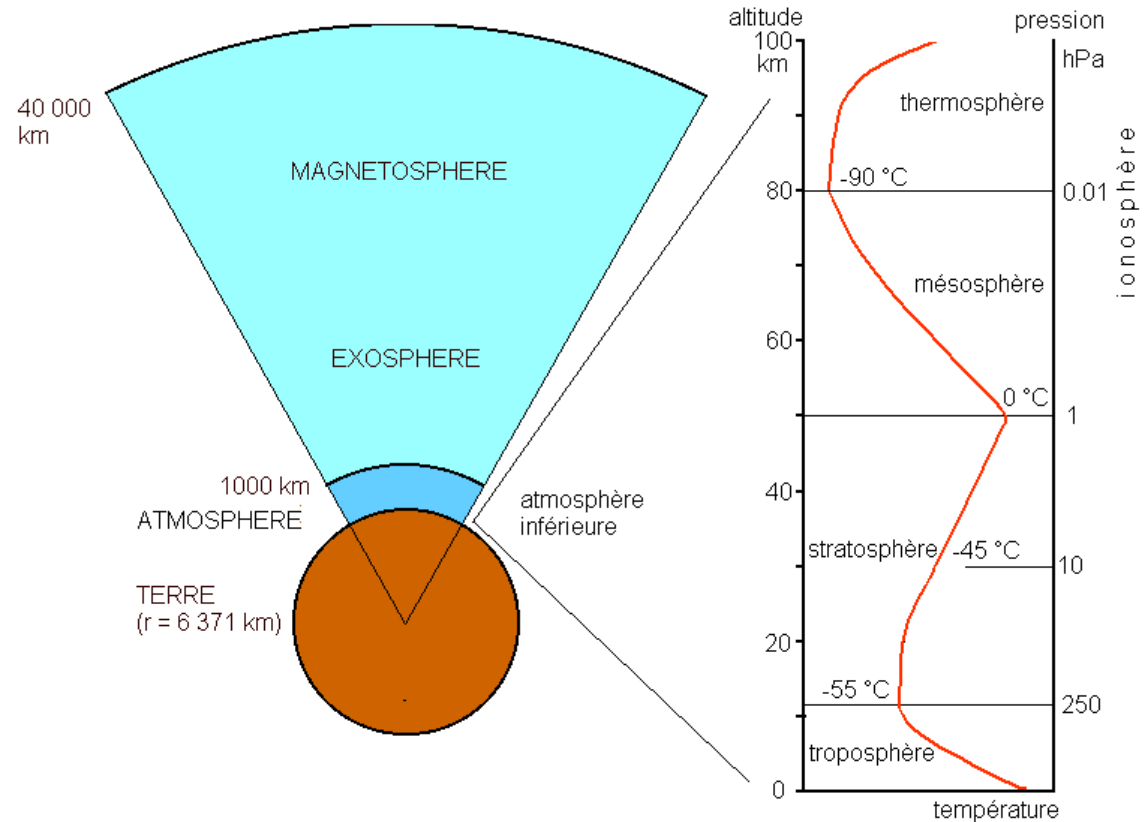
0 à 1000 km :  
**Atmosphère.**

1000 à 40000 km : **Exosphère et Magnétosphère.**

0 - 7 km (au pôle) à 16 km (à l'équateur): la **Troposphère**, avec des nuages, des précipitations, et des variations notables de pression.

jusqu'à 50 km : la **Stratosphère**; la température cesse de diminuer dans la stratosphère inférieure.

La couche d'ozone est située au sommet de la stratosphère inférieure vers 25 à 30 km; les molécules d'oxygène absorbent les ultra-violet courts.



50 à 700 ou 1000 km : **l'ionosphère**: la température y est variable.

L'ionosphère est divisée en **mésosphère** (50 à 80 km) et **thermosphère** Vers 800 km

# milieu perturbateur

L'atmosphère est un milieu très hétérogène (gaz divers) : ces gaz et les particules ont des températures supérieures à 0°k ; ils émettent de l'énergie (processus d'absorption, de réémission, de diffraction, de réfraction, de réflexion) et introduisent ainsi des parasites. Le voisinage introduit une diminution ou une augmentation d'énergie liée à l'état de la surface et la résolution alors que l'atmosphère introduit deux types de perturbations: les perturbations géométriques et les perturbations radiométriques (ROBERT 1978).

L'atmosphère altère le signal dans son double trajet:

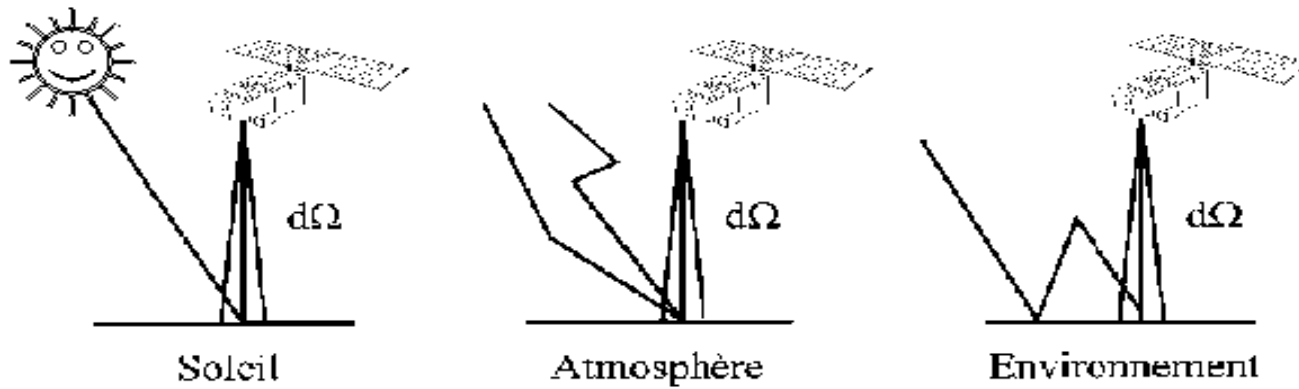
source-cible  
Cible-capteur



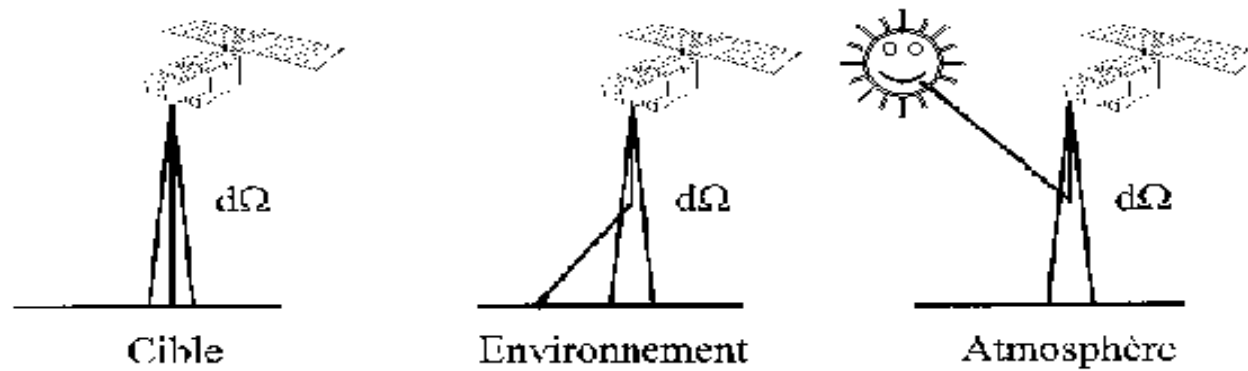
***Perturbations géométriques:*** elles sont dues essentiellement au fait que le REM ne se propage pas en ligne droite dans l'atmosphère. Cette propagation est due à la variation de l'indice de réfraction de l'atmosphère suivant la trajectoire du REM et à la variation de la densité de l'atmosphère en fonction de l'altitude et la turbulence.

***Perturbation Radiométriques:*** elles sont dues aux interactions du REM avec les constituants de l'atmosphère. Ces constituants introduisent un effet d'atténuation dû essentiellement à l'absorption moléculaires et à la diffusion, et un effet d'émission et de rediffusion

### Contribution à l'éclairage de la cible

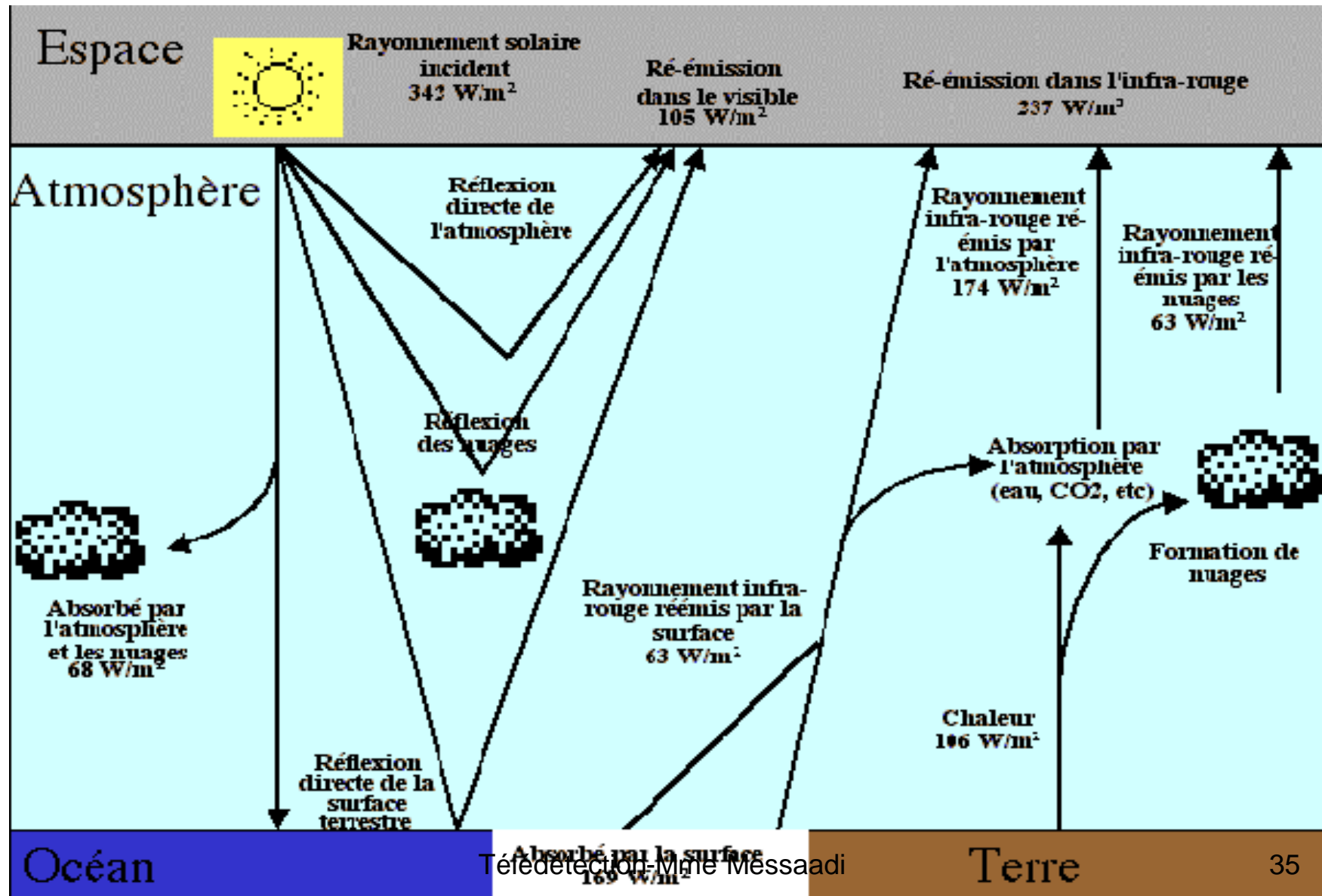


### Contribution à la luminance mesurée



Influence de l'atmosphère et de l'environnement de la cible sur le signal mesuré par un satellite

# Fonctionnement général de l'atmosphère



# Les perturbations atmosphériques

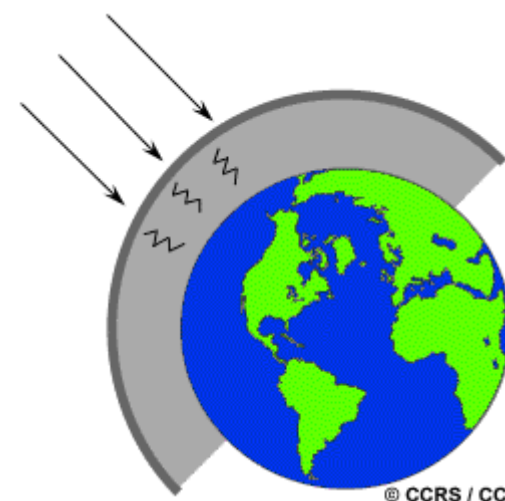
Avant que le rayonnement utilisé pour la télédétection n'atteigne la surface de la Terre, celui-ci doit traverser une **certaine épaisseur d'atmosphère**. Les particules et les gaz dans l'atmosphère peuvent dévier ou bloquer le rayonnement incident. Ces effets sont causés par les mécanismes de **diffusion** et d'**absorption**

# L'absorption atmosphérique

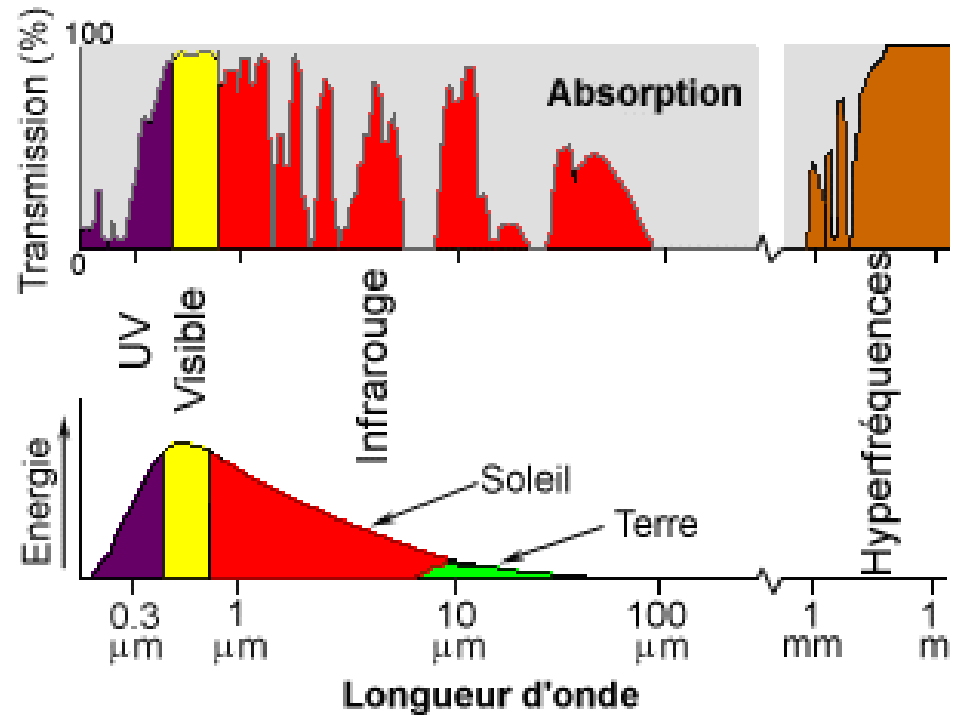
Les gaz de l'atmosphère absorbent une partie du rayonnement solaire

Si l'atmosphère est relativement transparente dans le visible et présente une large fenêtre atmosphérique dans l'infrarouge (de 8 à 14 $\mu\text{m}$ ), elle est opaque de 22 $\mu\text{m}$  à 1mm, ce qui explique la non utilisation de cette portion de spectre en télédétection.

Dans les hyperfréquences, l'atmosphère est transparente au-delà de 3cm, mais devient opaque pour des longueurs d'onde supérieures à 30m, pour lesquelles il y a interaction avec l'ionosphère.

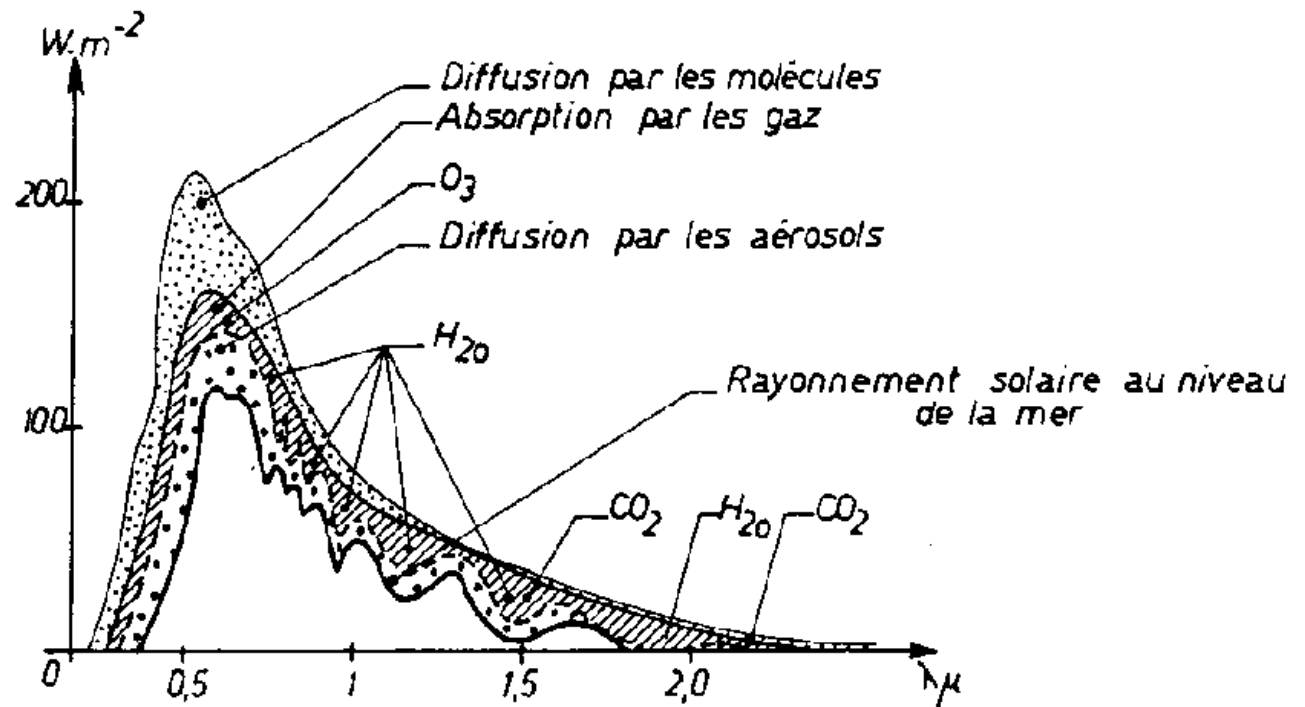


- “ L'ozone absorbe les rayons ultraviolets qui sont néfastes aux êtres vivants. Sans cette couche de protection dans l'atmosphère, notre peau brûlerait lorsqu'elle est exposée au Soleil.
- “ Vous avez peut-être entendu dire que le bioxyde de carbone est un gaz qui contribue à l'effet de serre. Ce gaz absorbe beaucoup de rayonnement dans la portion infrarouge thermique du spectre et emprisonne la chaleur dans l'atmosphère.



La vapeur d'eau dans l'atmosphère absorbe une bonne partie du rayonnement infrarouge de grandes longueurs d'onde et des hyperfréquences de petites longueurs d'onde qui entrent dans l'atmosphère (entre 22μm et 1 m). La présence d'eau dans la partie inférieure de l'atmosphère varie grandement d'un endroit à l'autre et d'un moment à l'autre de l'année. Par exemple, une masse d'air au-dessus d'un désert contient très peu de vapeur d'eau pouvant absorber de l'énergie, tandis qu'une masse d'air au-dessus des tropiques contient une forte concentration de vapeur d'eau.

L'**ozone** absorbe les longueurs d'onde en deçà de **290 nm** et provoque une faible atténuation à **600nm**. L'**oxygène** a une bande d'absorption intense mais très étroite à **760nm**. Du proche infrarouge à l'infrarouge thermique, la vapeur d'eau, le gaz carbonique et le méthane sont principalement responsables de l'absorption atmosphérique.



Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire direct

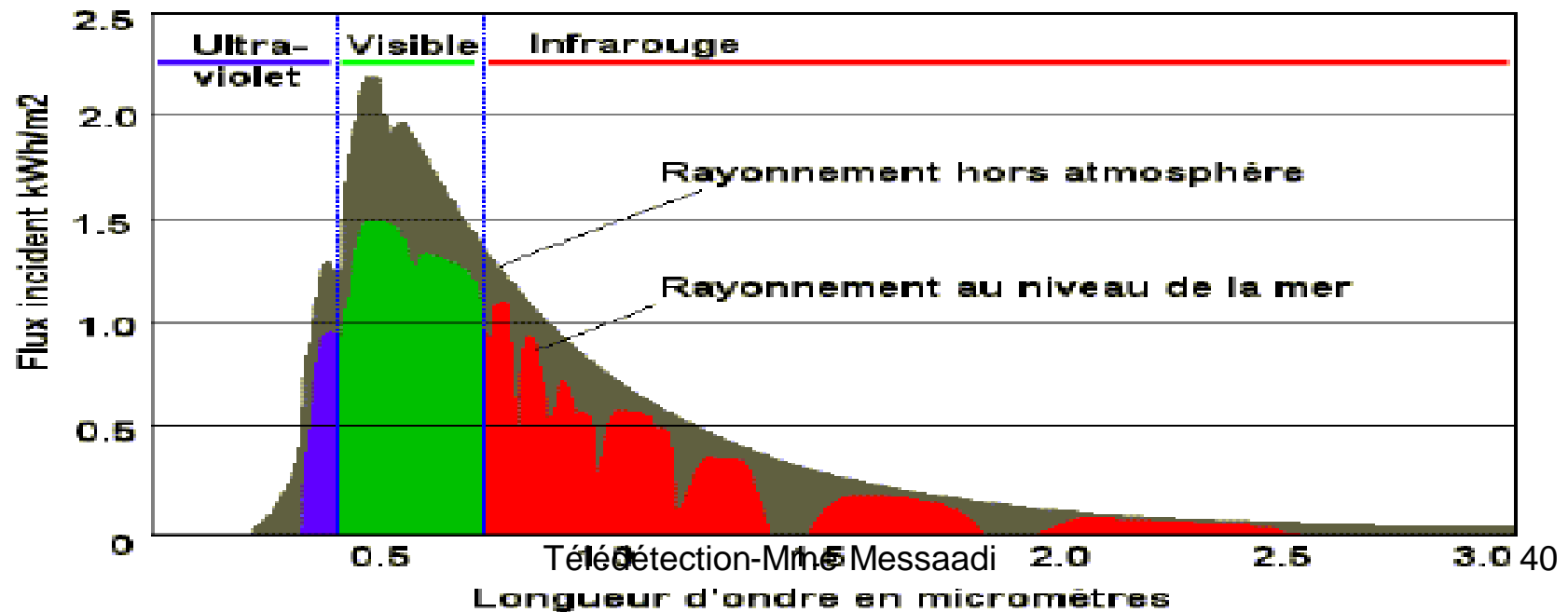
(d'après Perrin de Brichambaut, 1985)

Pour une faible hauteur zénithale du soleil, l'épaisseur d'atmosphère traversée par le rayonnement solaire est grande, le rayonnement solaire direct est faible.

# Fenêtre Atmosphérique

L'atmosphère ne laisse passer le rayonnement solaire que dans un nombre limité de bandes spectrales appelées **fenêtres atmosphériques**.

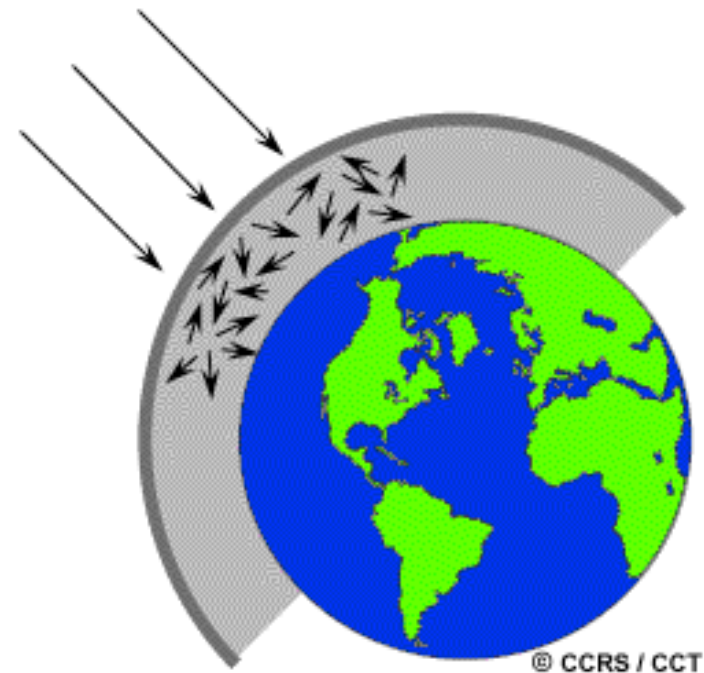
les fenêtres atmosphériques sont les régions du spectre qui ne sont pas influencées de façon importante par l'absorption atmosphérique, et qui sont donc utiles pour la télédétection





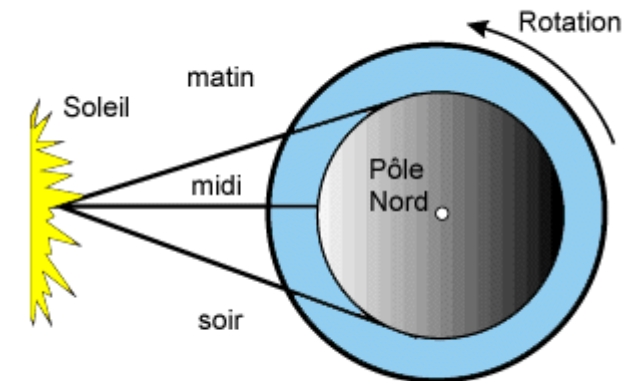
# Diffusion atmosphérique

La diffusion se produit lors de l'interaction entre le rayonnement incident et les particules ou les grosses molécules de gaz présentes dans l'atmosphère. Les particules dévient le rayonnement de sa trajectoire initiale. Le niveau de diffusion dépend de plusieurs facteurs comme la longueur d'onde, la densité de particules et de molécules, et l'épaisseur de l'atmosphère que le rayonnement doit franchir. Il existe trois types de diffusion :



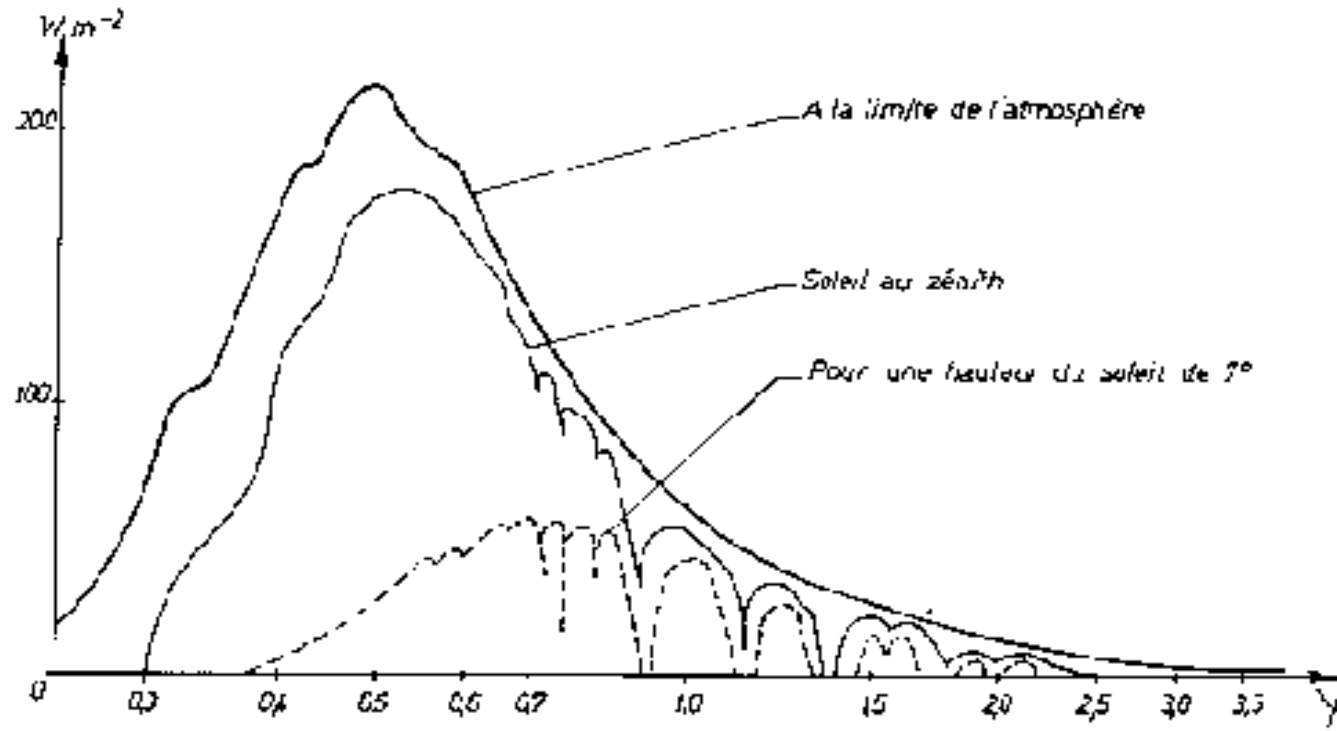
“ La **diffusion de Rayleigh** se produit lorsque la taille des particules est inférieure à la longueur d'onde du rayonnement. Celles-ci peuvent être soit des particules de poussière ou des molécules d'azote ou d'oxygène. La diffusion de Rayleigh disperse et dévie de façon plus importante les **courtes longueurs d'onde** que les grandes longueurs d'onde. Cette forme de diffusion est prédominante dans les couches supérieures de l'atmosphère. Ce phénomène explique pourquoi nous percevons un ciel bleu durant la journée. Comme la lumière du Soleil traverse l'atmosphère, les courtes longueurs d'onde (correspondant au bleu) du spectre visible sont dispersées et déviées de façon plus importante que les grandes longueurs d'onde. Au coucher et au lever du Soleil, le rayonnement doit parcourir une plus grande distance à travers l'atmosphère qu'au milieu de la journée. La diffusion des courtes longueurs d'onde est plus importante. Ce phénomène permet à une plus grande proportion de grandes longueurs d'onde de pénétrer l'atmosphère.

## diffusion de Rayleigh



>  $d$  . **diffusion de Rayleigh**, proportionnelle à  $\lambda^{-4}$ , importante pour  $\lambda < 550\text{nm}$ , liée à l'action des molécules d'oxygène et d'azote.

**Influence de la hauteur du Soleil sur la répartition spectrale du rayonnement solaire direct au sol (d'après Perrin de Brichambaut, 1985)**



On constate une diminution plus importante du rayonnement pour les bandes spectrales violet et bleu que pour les bandes orange et rouge du visible.

## diffusion de Mie

On parle de **diffusion de Mie** lorsque les particules sont presque aussi grandes que la longueur d'onde du rayonnement. Ce type de diffusion est souvent produite par la poussière, le pollen, la fumée et l'eau. Ce genre de diffusion affecte les plus grandes longueurs d'onde et se produit surtout dans les couches inférieures de l'atmosphère où les grosses particules sont plus abondantes. Ce processus domine quand le ciel est ennuagé.

- “  $10^{-2} < d < .10^2$ . **diffusion de Mie**, suit une loi simplifiée en  $\lambda^{-1}$ , due aux aérosols en suspension dans l'air (poussières, micro gouttelettes d'eau) particulièrement importante près des sites industriels

la **diffusion non-sélective**. Ce genre de diffusion se produit lorsque les particules (les gouttes d'eau et les grosses particules de poussière) sont beaucoup plus grosses que la longueur d'onde du rayonnement. Nous appelons ce genre de diffusion "non-sélective", car toutes les longueurs d'onde sont dispersées. Les gouttes d'eau de l'atmosphère dispersent le bleu, le vert, et le rouge de façon presque égale, ce qui produit un rayonnement blanc (lumière bleue + verte + rouge = lumière blanche). C'est pourquoi le brouillard et les nuages nous paraissent blancs.

## Diffusion non-selective



“ **Diffusion non-selective:**  $d \gg \lambda$ , toutes les longueurs d'onde sont dispersées d'une façon presque égale

# Interactions rayonnement - cible

la cible peut absorber, transmettre ou réfléchir l'énergie incidente.

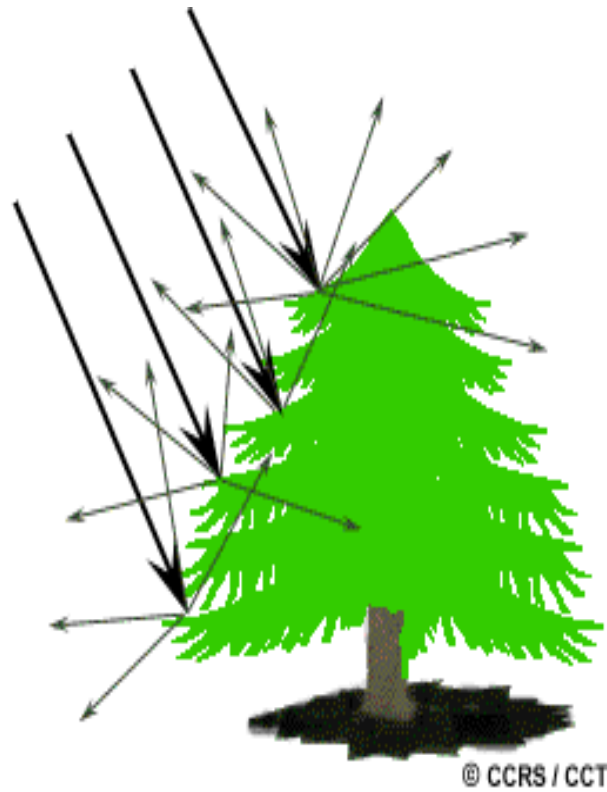
En télédétection, nous mesurons le rayonnement réfléchi par une cible.

La **réflexion spéculaire** et la **réflexion diffuse** représentent deux modes limites de réflexion de l'énergie.

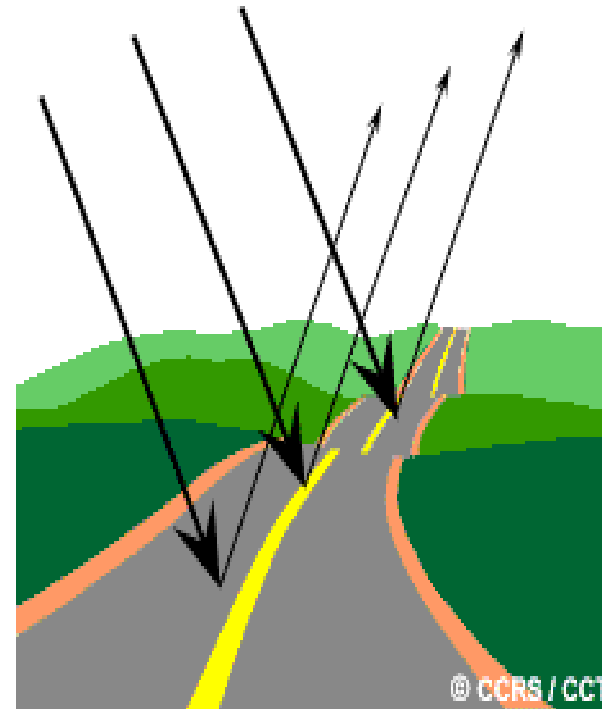
Une surface lisse produit une réflexion spéculaire, c'est-à-dire que toute l'énergie est redirigée dans une même direction.

La réflexion diffuse se produit quand la surface est rugueuse, ce qui redirige l'énergie uniformément dans toutes les directions.

La façon dont une cible réfléchit le rayonnement dépend de l'amplitude de la rugosité de la surface par rapport à la longueur d'onde du rayonnement incident.



**réflexion diffuse**



**réflexion spéculaire**

## I-1.4 Systèmes d'observation

### les capteurs

Les capteurs sont des appareils capables de recevoir le rayonnement qui vient de la terre et de le transformer en un signal permettant la mémorisation de l'information. Ils se distinguent par leurs types d'acquisitions (passif ou actif), leurs modes d'acquisitions et leurs résolutions.

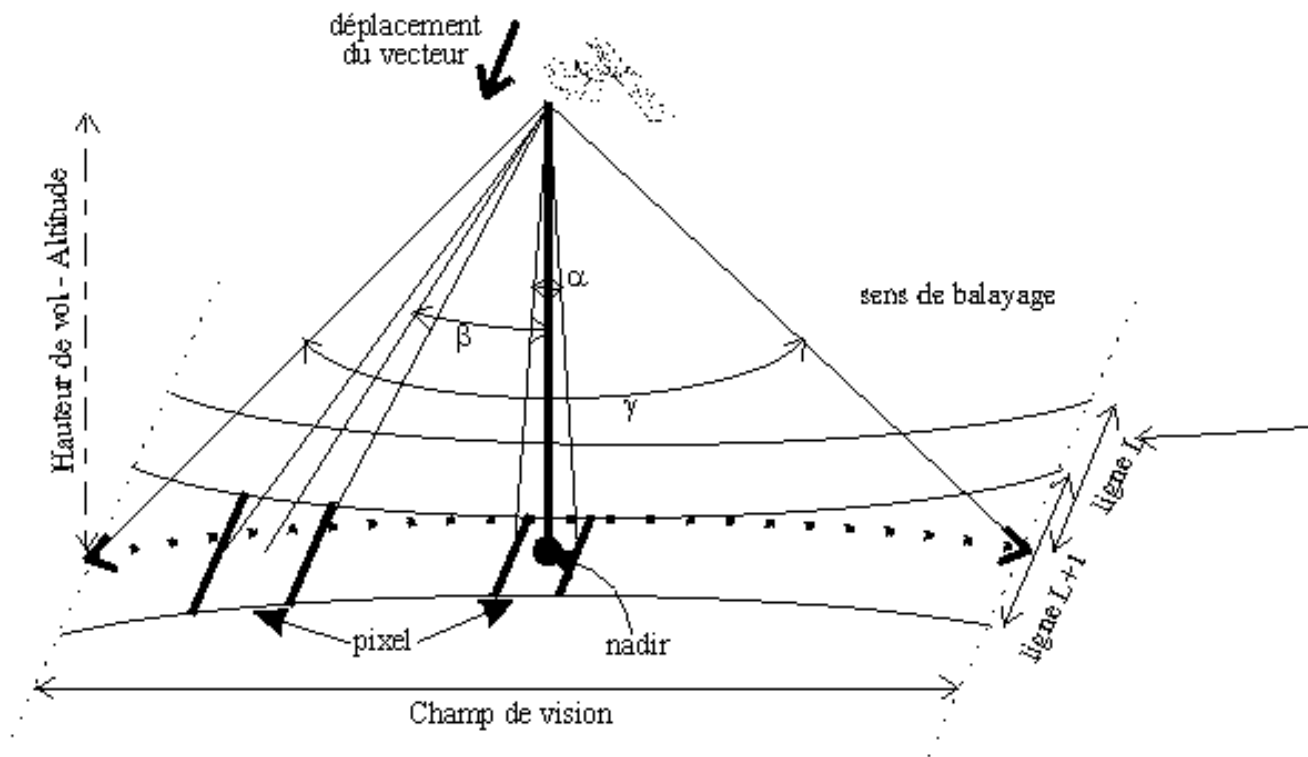
### 1. Type d'acquisition:

- “ **Les capteurs passifs** : sont des dispositifs de télédétection qui mesure l'énergie disponible naturellement.
- “ **les capteurs actifs**: produisent leur propre énergie pour illuminer la cible, et mesurer le signal rétro-diffusé dans sa direction. Ce sont des radiomètres opérant dans le domaine des hyperfréquences, ils ont l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison.



## 2. Mode d'acquisition:

Il est soit à balayage électronique (cas de *SPOT* qui a une barrette de détecteurs qui balaye un champ de *60 Km* de largeur - balayage ligne), soit à balayage mécanique (cas de *LANDSAT* qui balaye un champ de *185 Km* de largeur en utilisant un miroir rotatif).

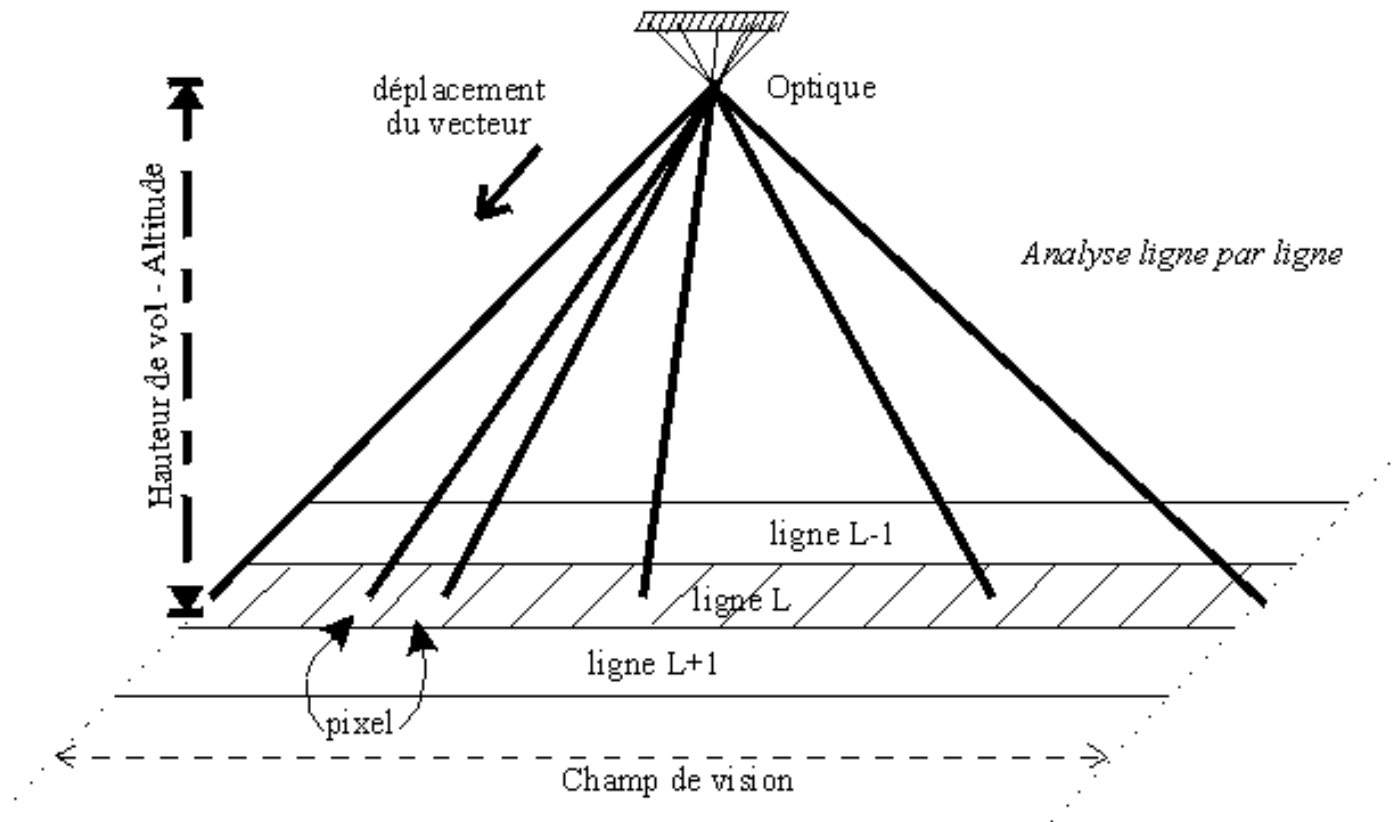


$\alpha$  angle de vision instantanée (IFOV)  
 $\gamma$  angle d'ouverture

$\beta$  angle de visée

### Principe du balayage mécanique

## Capteurs à barrettes



Plus récent que le système de balayage, il comporte de 1 728 à 12 000 détecteurs CCD (*Charge-Coupled Device*) qui reçoivent en même temps l'information de 1728 ou 6 000 pixels placés sur une même ligne. L'énergie reçue est transformée en un signal électrique le courant induit est amplifié puis stocké sur support magnétique.

### 3. Résolution

La résolution est une mesure de la capacité d'un système optique de séparer des signaux proches spatialement et/ou spectralement. La capacité de mesurer une information par télédétection exige la considération prudente de quatre types de résolution: radiométrique, spatiale, spectrale, et temporelle.

#### “ *La résolution radiométrique :*

Elle est définie comme le seuil de sensibilité du radiomètre, c'est à dire la plus faible intensité réfléchie ou émise par la scène que le capteur est capable de détecter dans chaque bande spectrale (**CALOZ. 1992**).

#### “ *La résolution spectrale :*

C'est la plus petite largeur de bande spectrale  $d\lambda$  dans laquelle le radiomètre est capable de mesurer une intensité suffisante. Elle est de  $0.1 \mu\text{m}$  pour les radiomètres destinés aux satellites d'observation des ressources terrestres et de l'ordre de  $10 \text{ nm}$  pour les radiomètres à haute résolution spectrale (**CALOZ. 92**).

## ” **Résolution temporelle :**

La résolution temporelle du système de télédétection est égale à la période de passage au nadir d'un satellite, qui est le temps mis par un satellite pour effectuer un cycle orbital complet. Cette période est généralement de quelques jours. Il faut donc quelques jours à un tel satellite pour qu'il puisse observer de nouveau exactement la même scène à partir du même point dans l'espace.

La résolution temporelle d'un radiomètre est le changement que peut rapporter ce radiomètre entre deux dates pour une surface particulière. Cette résolution est très intéressante pour le suivi d'un phénomène à évolution dans le temps (études multidates).

## ” **Résolution spatiale**

C'est la plus petite unité au sol décelable par un capteur. Elle correspond à 30 mètres pour le capteur ETM+ de Landsat.

# Vecteur

Un vecteur correspond à tout objet se déplaçant et susceptible de porter un capteur. En fonction de la distance au sol on distingue: les véhicules, les avions, les hélicoptères, les ballons et les satellites qui observent la terre.

Selon les applications attendues, les satellites d'observation de la Terre occupent différentes orbites.

## Les lois générales de l'Orbitologie :

En fonction des utilisations recherchées les satellites présentent des caractéristiques orbitales dictées par un certain nombre de lois générales.

### *L'attraction des corps (Newton)*

$$F = g \frac{TS}{d^2}$$

avec F : force d'attraction

T : masse de la Terre

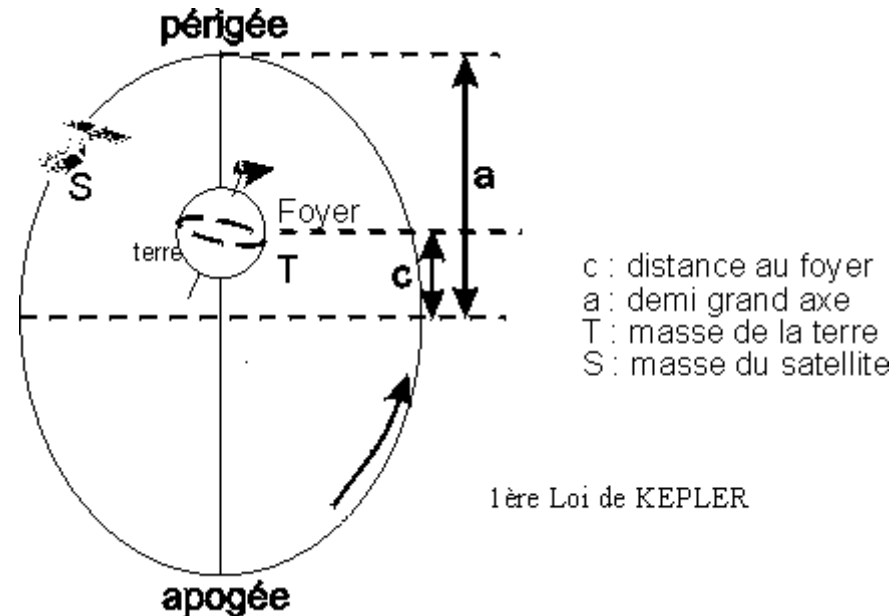
S : masse du satellite

d : distance entre la Terre et le satellite

g : constante de gravitation.

## Première loi de Kepler

Le satellite décrit une orbite en forme d'ellipse autour de la Terre qui occupe un foyer de cette ellipse.



Orbite d'un satellite selon la première loi de Kepler  
(adapté de JM. Gilliot, 1994)

$e = c/a$  : excentricité de l'ellipse

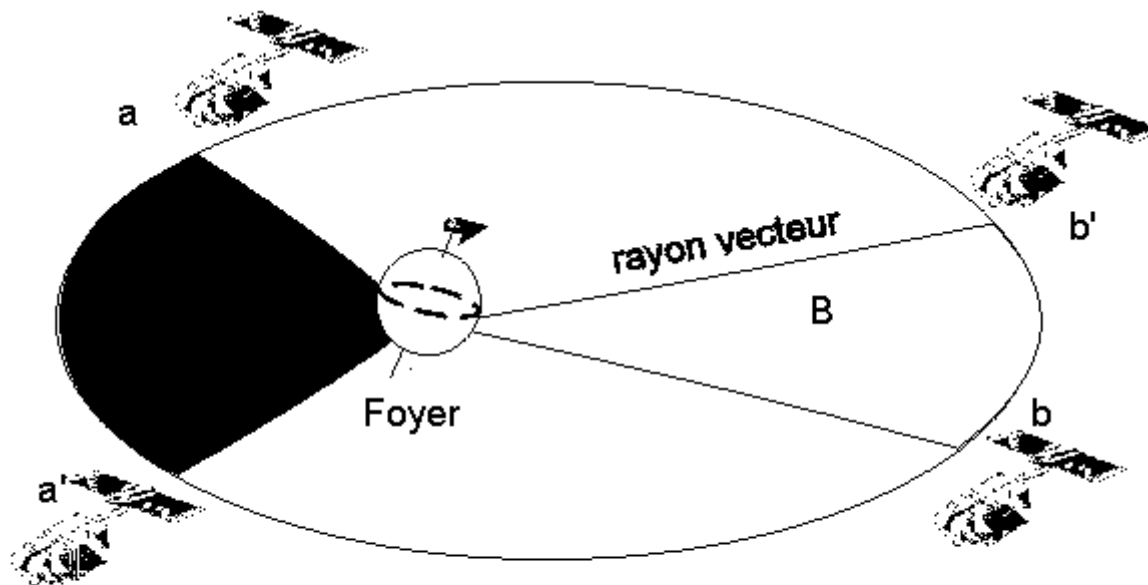
périgée : point où le satellite est le plus proche de la Terre (818 km pour SPOT)

apogée : point où le satellite est le plus éloigné de la Terre (833 km, pour SPOT).

Afin de ne pas retomber sur terre le périgée d'un satellite doit être supérieur à 200 km au dessus du sol.

## Deuxième loi de Kepler

L'ellipse n'est pas parcourue à une vitesse linéaire constante par le satellite.  
Dans un temps donné, c'est la surface balayée par le rayon vecteur joignant le satellite à la Terre qui est constante.



2ème Loi de Kepler

Les aires A et B sont égales

A est l'aire décrite par le rayon vecteur entre les points a et a' dans un temps t

B est l'aire décrite par le rayon vecteur entre les points b et b' dans le même temps t

Vitesse des satellites selon la 2ème loi de  
Kepler (*adapté de JM. Gilliot, 1994*)

### ***Troisième loi de Kepler***

$$(T+S) P^2 = a^3 .$$

avec T : masse de la Terre

S : masse du satellite

P : période (en années) du satellite

a : valeur du demi-grand axe de l'ellipse exprimée en unité astronomique

(1 u.a. = distance Terre-Soleil)



## Les orbites:

### Orbite circulaire quelconque

Orbite circulaire : ellipse à excentricité nulle.

Le satellite tourne autour de la terre à une même altitude.

Pour  $H=200\text{km}$ ,  $a=6500\text{km}$ , on aura  $V=7.77\text{km/s}$  et  $p$  de l'ordre de 1h30; mais la durée de vie et de quelques mois.

Les satellites TIROS, NOAA et ERS-1 ont des orbites circulaires.

### Orbite géostationnaire

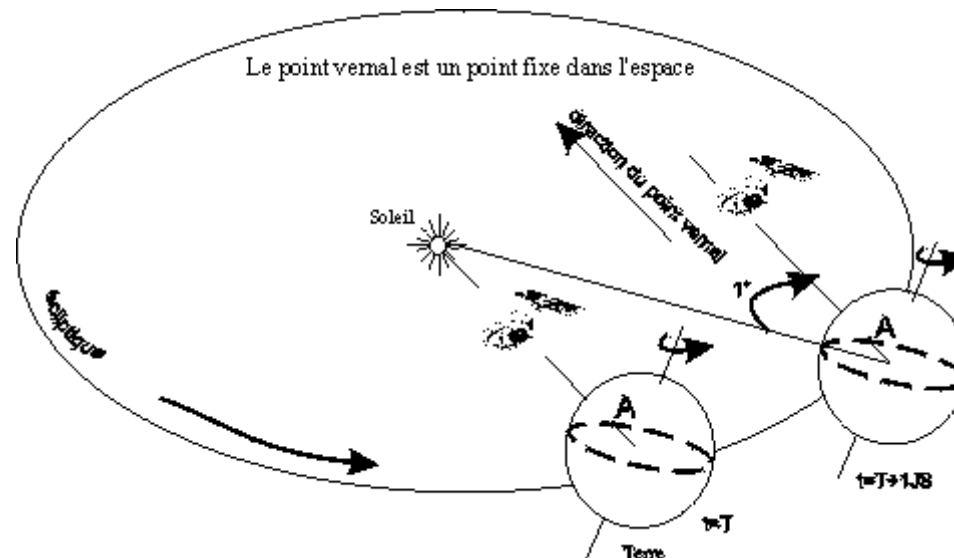
Un satellite géostationnaire se situe toujours au zénith du même point sur l'équateur terrestre, le plan orbital est confondu avec le plan équatorial, et l'orbite est circulaire. Le satellite tourne à la même vitesse angulaire que la Terre. Le rayon  $R$  de l'orbite est donné par la 3ème loi de Kepler :

42 164 km (35 786 km au-dessus de l'équateur).

Les satellites METEOSAT (France), GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellites*, USA), GMS (Japon) et INSAT (Inde) sont géostationnaires.

## Orbite héliosynchrone

Un satellite héliosynchrone passe toujours à la même heure solaire locale au-dessus d'un même point de la Terre. Le plan orbital du satellite reste fixe par rapport au plan orbital de la Terre autour du Soleil, donc la ligne des noeuds fait un angle constant avec la droite des centres de la Terre et du Soleil. Le plan orbital du satellite doit se déplacer de  $360^\circ$  en 365,2425 j soit de  $0,9856^\circ$  par jour.



Déplacement du plan orbital d'un satellite héliosynchrone

(adapté de JM. Gilliot, 1994)

Pour une orbite circulaire à 832 km d'altitude (SPOT), l'inclinaison doit être de  $98,7^\circ$ , les pôles sud et nord ne sont jamais survolés. Les satellites NIMBUS, [LANDSAT](#) et [SPOT](#) circulent sur ce type d'orbite.

Satellites et Capteurs	Canaux	Résolution Spatiale	Cycle orbital	Champ total d'observation au sol
<b>LANDSAT 4 &amp; 5 MSS</b>	MSS 4 : 0.5-0.6 MSS 5 : 0.6-0.7 MSS 6 : 0.7-0.8 MSS 7 : 0.8-1.1	79 m x 57 m	18 jours	(183 x 172) km <sup>2</sup>
<b>LANDSAT 4 &amp; 5 TM</b>	TM 1 : 0.45-0.52 TM 2 : 0.52-0.60 TM 3 : 0.63-0.69 TM 4 : 0.76-0.90 TM 5 : 1.55-1.75 TM 7 : 2.08-2.35 TM 6 : 10.42-12.50 (IR thermique)	30 m 120 m	16 jours	
<b>LANDSAT 7 ETM+</b>	ETM+ 1 : 0.45-0.52 ETM+ 2 : 0.52-0.60 ETM+ 3 : 0.63-0.69 ETM+ 4 : 0.76-0.90 ETM+ 5 : 1.55-1.75 ETM+ 7 : 2.08-2.35 ETM+ 6 : 10.4-12.5 (IR thermique) PAN : 0.52-0.90	30 m 30 m 30 m 30 m 30 m 30 m 60 m 15 m	16 jours	(185 x 185) km <sup>2</sup>
<b>SPOT 1, 2, 3</b>	XS 1 : 0.50-0.59 XS 2 : 0.61-0.68 XS 3 : 0.79-0.89 PAN : 0.51-0.73	20 m 20 m 20 m 10 m	26 jours	(60 x 60) km <sup>2</sup> à (80 x 80) km <sup>2</sup>
<b>SPOT 4</b>	XS 1 : 0.50-0.59 XS 2 : 0.61-0.68 XS 3 : 0.79-0.89 PAN : 1.58-1.75 Végétation	20 m 20 m 20 m 10 m 1 km	26 jours	(60 x 60) km <sup>2</sup> à (80 x 80) km <sup>2</sup> (2000 x 2000) km <sup>2</sup>

**Caractéristiques des données LANDSAT et SPOT**  
Télédétection-Mme Messaadi

## ” **Caractéristiques des données Alsat 1**

(Microsatellite Algérien d'Observation de la terre).

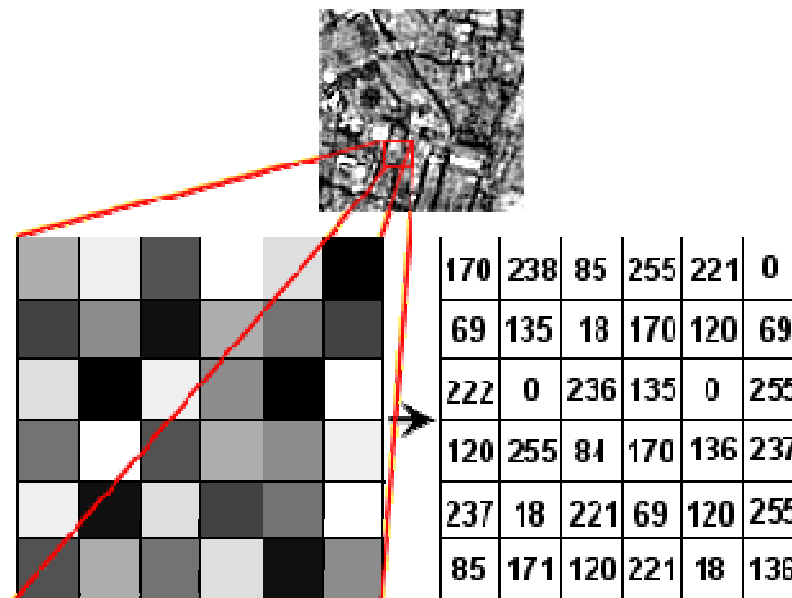
- ” Dimensions 60 x 60 x 60 cm;
- ” Poids 90 kg;
- ” Durée de vie 5 ans (nominal);
- ” Date de lancement 28 Novembre 2002;
- ” Orbite 680 km (héliosynchrone);
- ” Inclinaison  $98.1^{\circ}$  ;
- ” Heure de passage local 9h30;
- ” Bandes Spectrales
- ” Vert (0, 523 . 0, 605)
- ” Rouge (0, 629 . 0,690)
- ” Proche infrarouge (0, 774 . 0, 900).
- ” Nombre de Pixels 10200;
- ” Résolution 32m;
- ” Taille d'image 600 x 560 km<sup>2</sup> (336.000 km<sup>2</sup>).



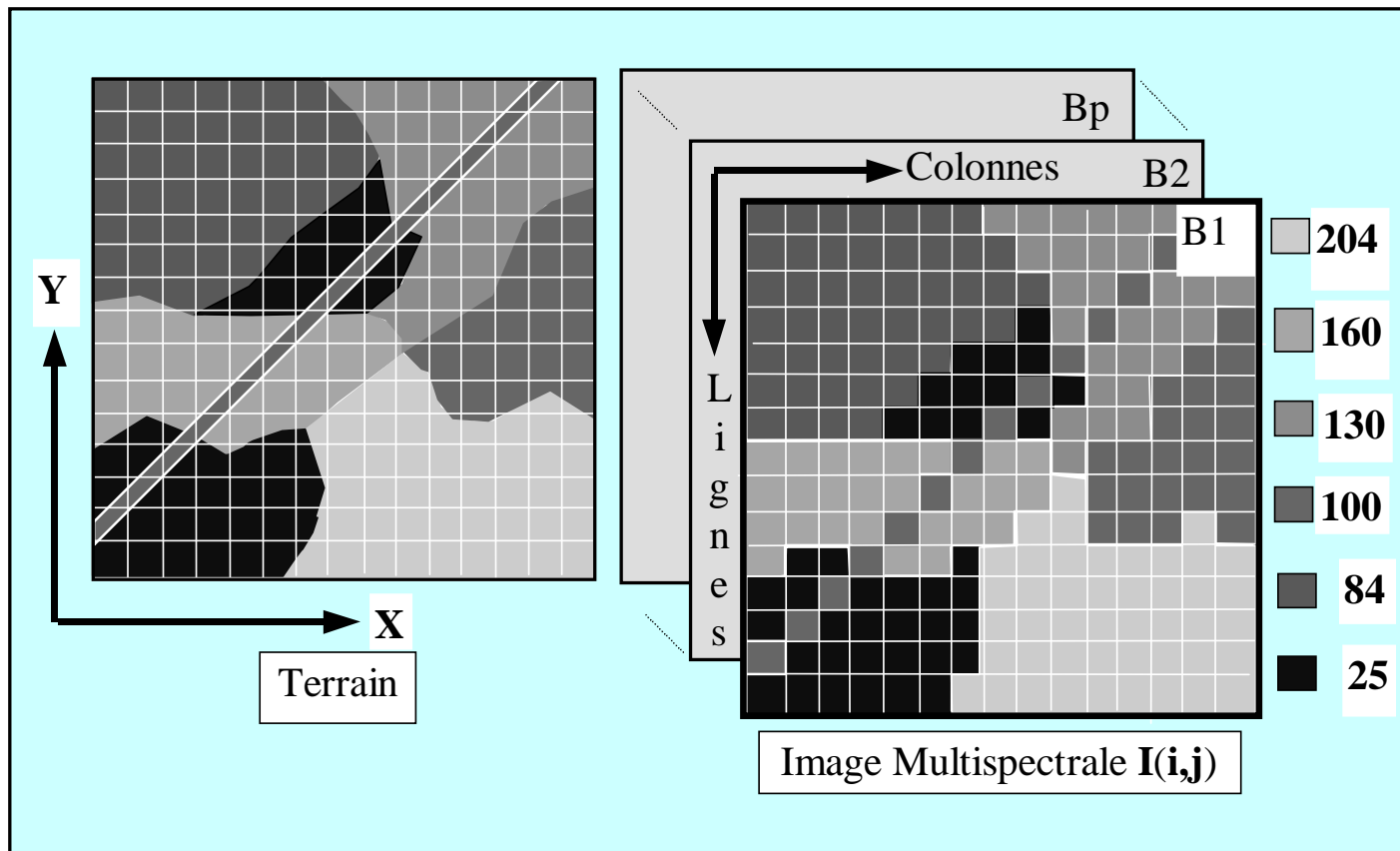
# **Nature et Caractéristique de l'image**

## Définition de l'Image

Selon le mode de stockage, on distingue les images analogiques et les images numériques. L'*image numérique* est une fonction  $F(X, Y)$  à deux variables  $X$  et  $Y$  qui sont respectivement la ligne et la colonne, fournissant une ou plusieurs valeurs entières représentant les niveaux de gris du pixel dans les différents canaux.



Chaque valeur radiométrique est codée sur  $N$  bits ( $N$  bits = 8 pour la plupart des systèmes de télédétection) et il lui correspond  $2^N$  niveaux de gris. Chaque image peut occuper un espace mémoire égal à  $X \times Y \times N$  bits pour une seule bande spectrale.



**Représentation d'une surface sol en images multispectrales**



# Formats D'Images

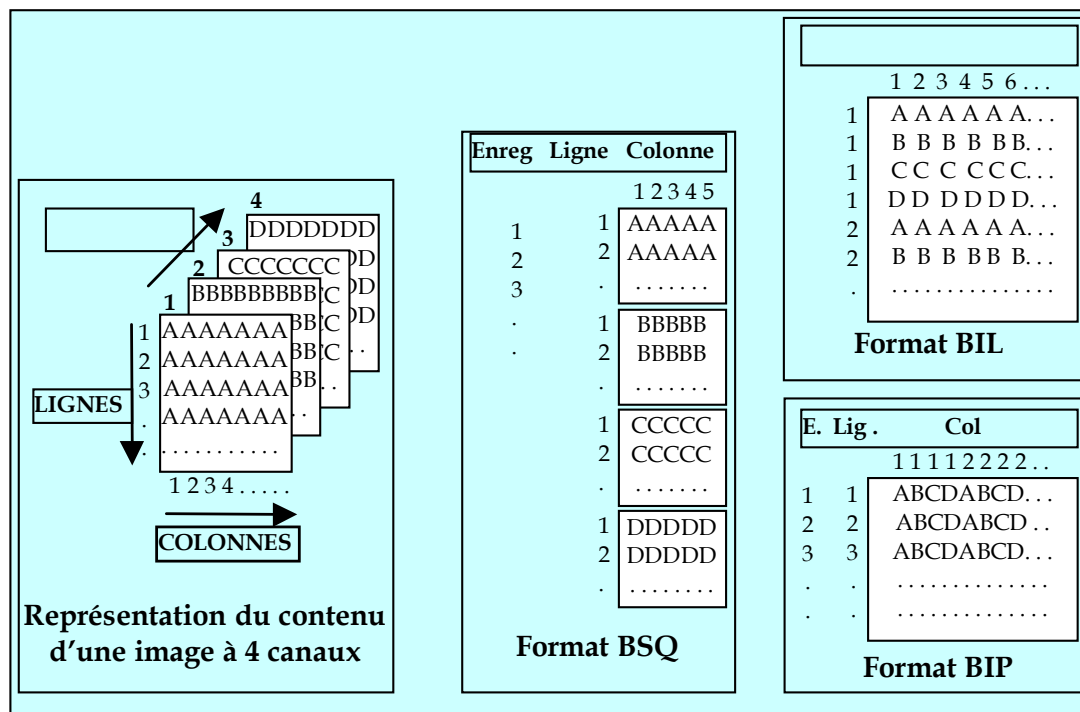
Les formats standard de bandes magnétiques que l'on peut trouver en télédétection sont:

**BSQ:** Band Sequential,

**BIL:** Band Interleaved by Line,

**BIP:** Band Interleaved by Pixel,

etc.



# Principe de visualisation de l'image numérique

On appelle fonction image toute représentation d'un objet ou d'une scène dans un plan. Il existe trois formes physiques d'existence d'une image:

- 1/ forme binaire (en trait)
- 2/ en niveau de gris
- 3/ en couleur.

Le principe de la visualisation d'un canal d'une image numérique est d'associer en niveau de gris ou une couleur à chaque compte numérique.

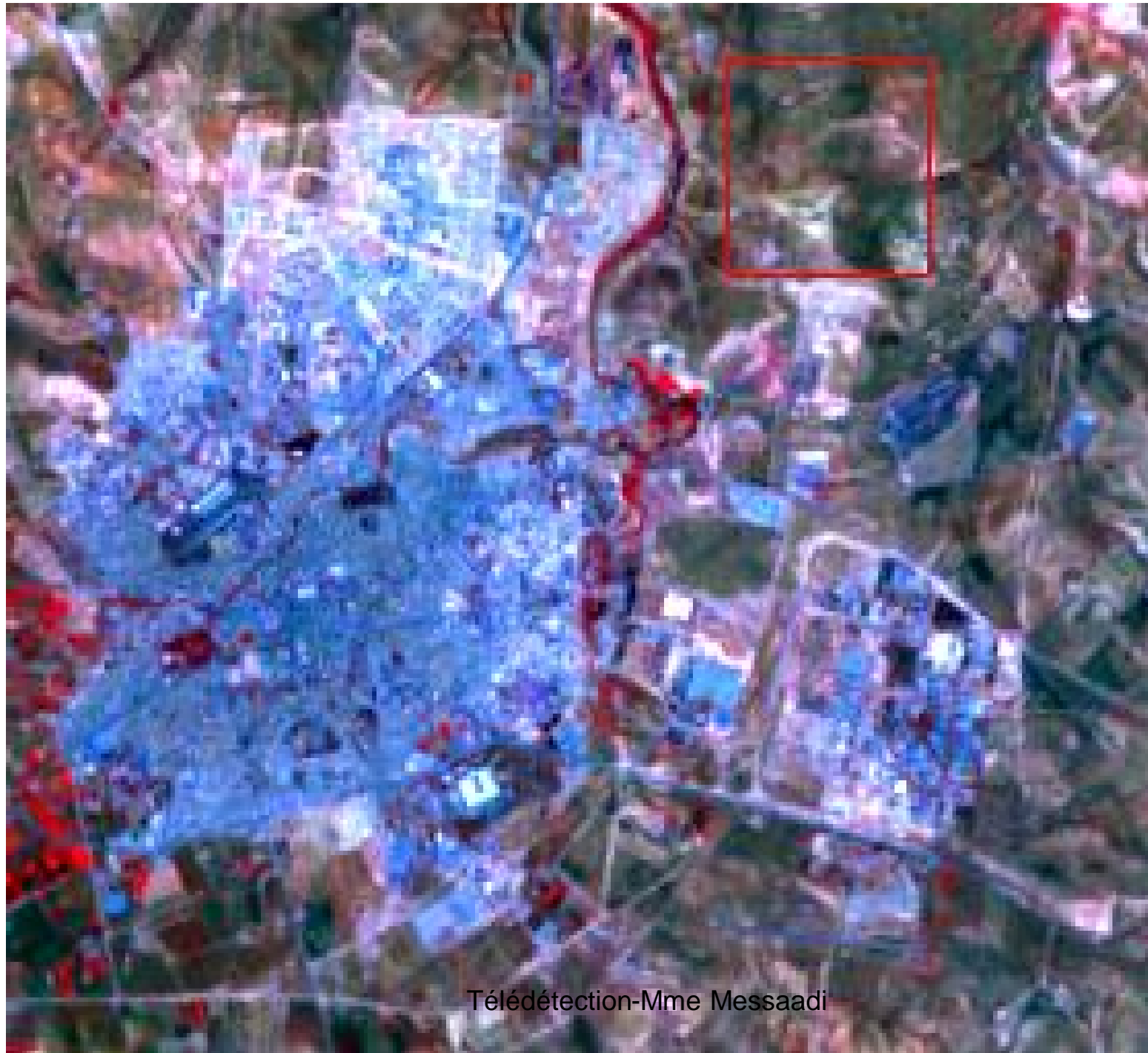
Mais il est également possible de visualiser plusieurs canaux simultanément en système additive des couleurs. C'est ce que l'on appelle une composition colorée, ceci constitue une généralisation de la visualisation d'un canal à deux ou trois dimensions.

## **Représentation des couleurs:**

La couleur blanche correspond à l'ensemble des couleurs, donc à l'ensemble des ondes du spectre du visible, par contre une autre couleur correspond à l'absence d'une onde ou d'une partie des radiations composant la lumière blanche ( GDTA, 1991 ).









## Couleurs primaires:

Elles sont indépendantes et avec lesquels on produit toutes les couleurs par combinaison. Elles sont représentées par les trois couleurs : Bleue; Verte et Rouge.

## Couleurs secondaires:

Elles sont obtenues par le mélange deux à deux des couleurs primaires. Ce sont les couleurs :

Jaune : obtenue avec le vert et le rouge.

Cyan : obtenue avec le vert et le bleu.

Magenta : obtenue avec le rouge et le bleu.

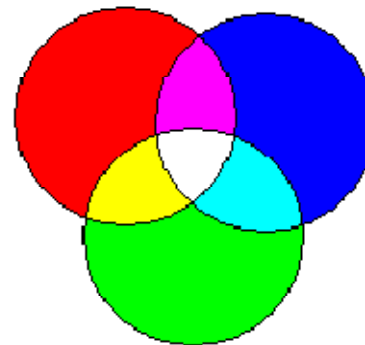
## Couleurs complémentaires:

Lorsqu'elles sont mélangées elles donnent la couleur blanche:

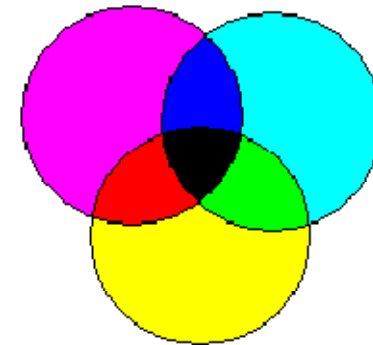
Le rouge avec le cyan.

Le vert avec le magenta.

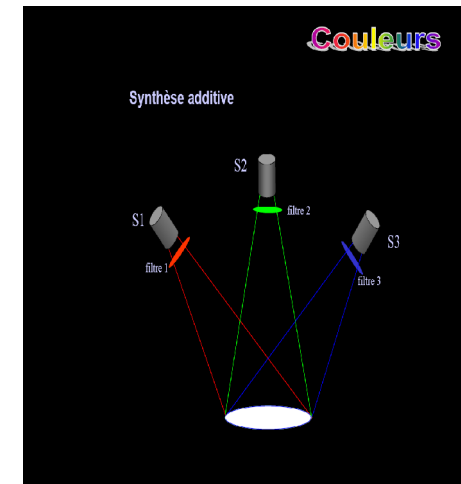
Le bleu avec le jaune.



couleurs additives



couleurs soustractives



## Couleurs métamères:

Elles sont visuellement identiques mais spécialement différentes.

## Reproduction polychrome:

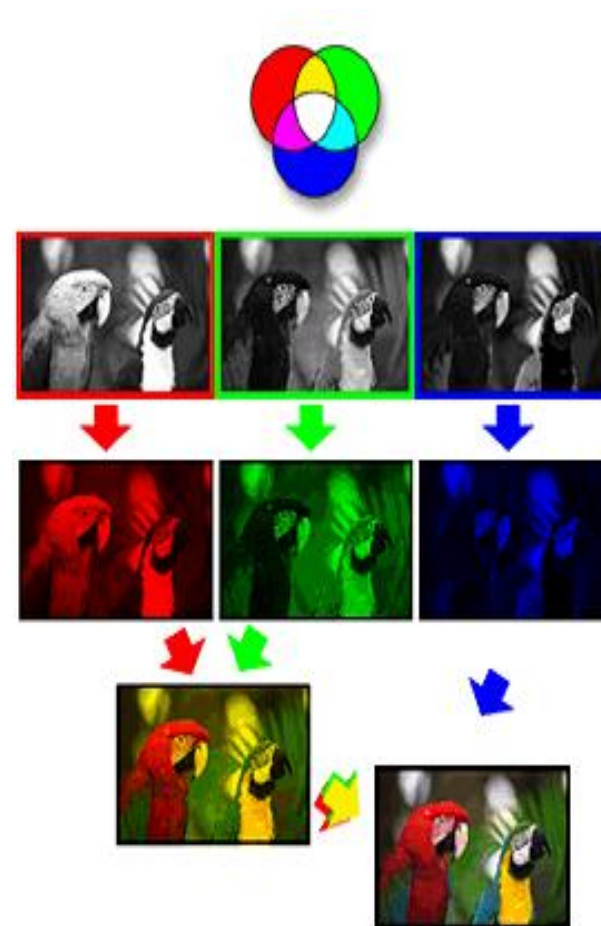
### Synthèse additive:

Elle consiste à ajouter une couleur à une autre pour avoir une troisième différente. C'est ainsi qu'on peut obtenir n'importe quelle couleur par combinaison des trois couleurs primaires et par pondération de leur intensité lumineuse en partant du noir.

### Analyse soustractive:

Elle consiste à utiliser plusieurs filtres colorés qui arrêtent leur couleur complémentaire respectivement associée. Les filtres cyan, magenta, jaune absorbent respectivement les couleurs primaires rouge, verte, bleue et il ne reste que du noir.

C'est ainsi qu'on peut obtenir n'importe quelle couleur par filtration en partant d'une source de lumière blanche





# La Photographie aérienne

La photographie aérienne est l'une des sources privilégiées de constitution de bases de données à moyenne ou grande échelle.

Les photographies aériennes peuvent en effet être exploitées par différents procédés dont :

- interprétation
- stéréo-restitution (photogrammétrie)
- corrélation automatique

pour produire des données de base (ex. orographie...) ou thématiques (ex. occupation du sol...)





### Avantages

N&B ou couleur  
Possibilité de passages  
successifs  
Séries temporelles sur  
plusieurs décennies  
Faible coût à l'achat  
Stéréoscopie

### Limites

Forme analogique  
Déformations géométriques  
intrinsèques (perspective  
conique) nécessitant des  
corrections

## Inconvénients des instruments photographiques pour l'observation spatiale:

1. le film n'est pas réutilisable: autant de surface sensible que de vues à prendre; prévoir un embarquement d'un stock de film à bord périodiquement au cours du temps.
2. L'information n'est pas directement disponible: soit on récupère les films exposés en les ramenant sur terre avec le satellite, soit on développe les films à bord et on analyse point à point la transparence du film par un appareil de type micro- densitomètre et transmission par télémétrie.

Sur le plan scientifique, les films présentent diverses limitations:

1. ils sont sensibles dans un domaine étroit du spectre ( $0.9\mu\text{m}$ ),
2. leurs dynamiques sont limitées.

L'utilisation des films reste toujours très intéressante pour la haute résolution (observation militaire) ou pour des vols habités de durée limitée

## **Intérêt des instruments à détecteurs photoélectrique pour l'Observation spatiale:**

- “ existence des détecteurs permettant l'observation depuis l'U.V. à l'infrarouge Thermique,
- “ ces détecteurs délivrent un signal électrique en sortie directement utilisable par une transmission vers le sol en temps réel,
- “ Etc

**TRAITEMENT**

**DES**

**DONNEES**

Le traitement d'image recouvre l'ensemble des techniques consistant à modifier une image dont le but de faciliter sont interprétation ou d'extraire des informations d'ordre quantitatif: exemple occupation du sol

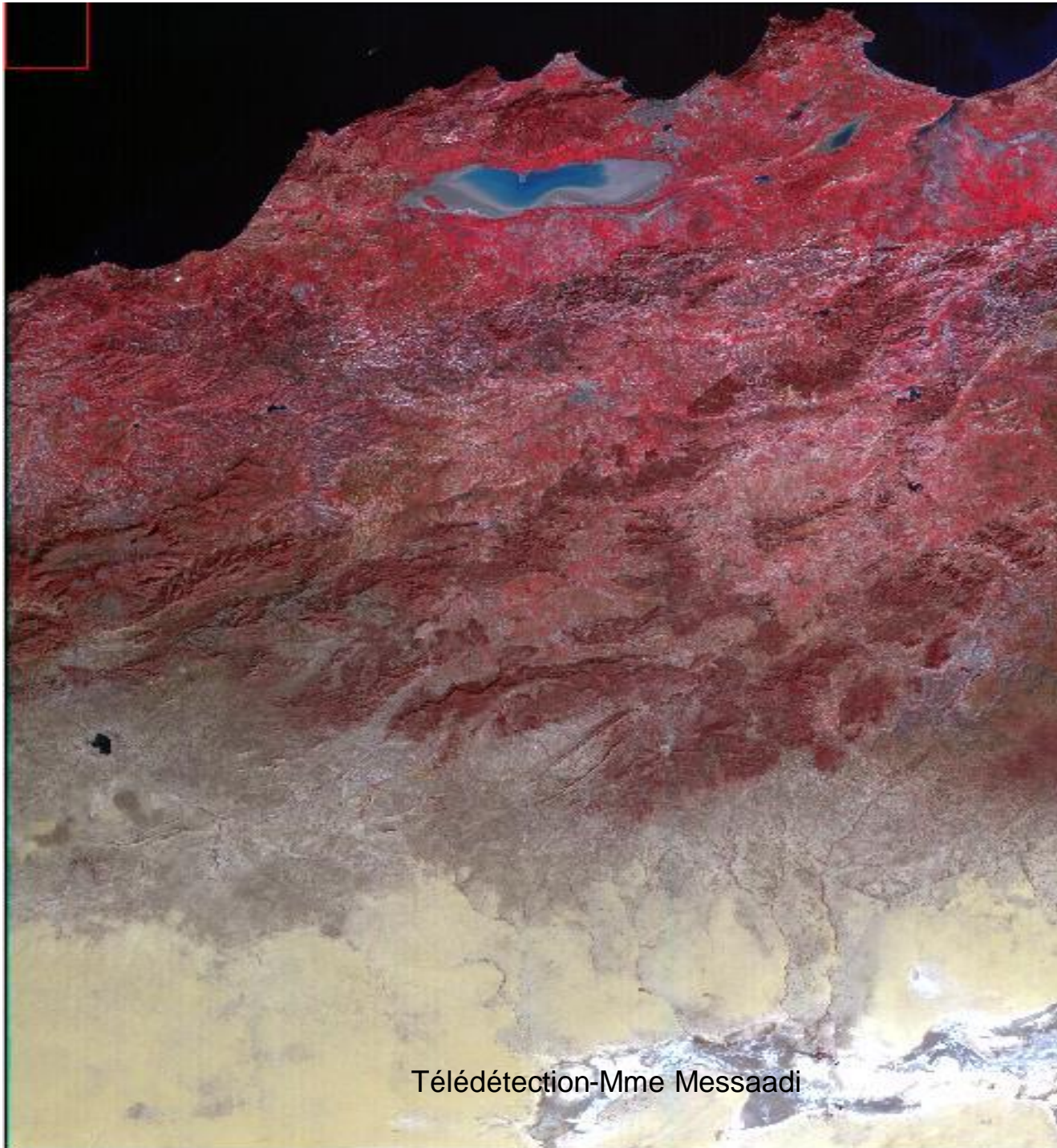
Le traitement d'image est une discipline exigeant une démarche rigoureuse, simple, cohérente et de bon sens, qui demandera l'examen des différentes étapes de la chaîne de traitement et de production.

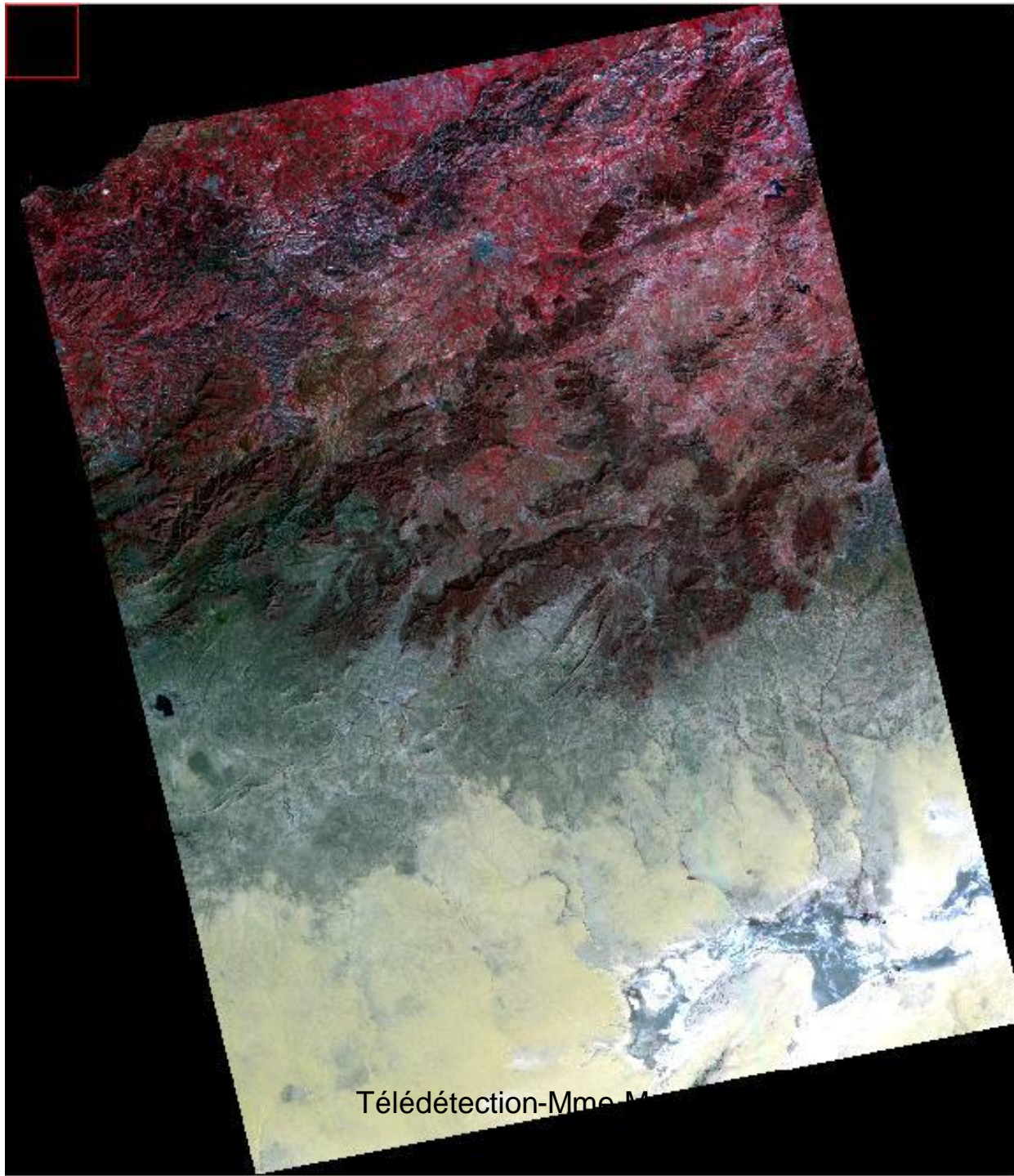
### **Prétraitements:**

On peut dire que le prétraitement doit fournir à partir des images brutes des images propres

### **Correction géométrique**

Toutes les images brutes obtenues par télédétection affichent, au départ, une ou plusieurs formes de distorsion géométrique. Les corrections géométriques sont appliquées sur les images pour réduire ces déformations géométriques intervenues lors de l'enregistrement de la scène. Elles comprennent trois étapes principales

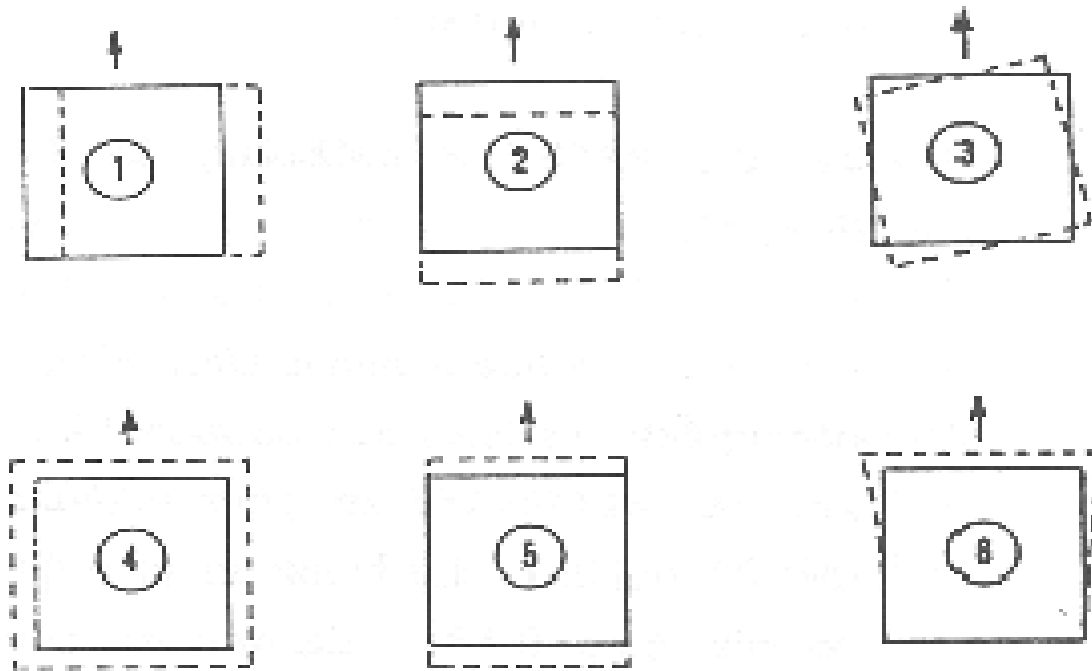




Téledétection-Mme M

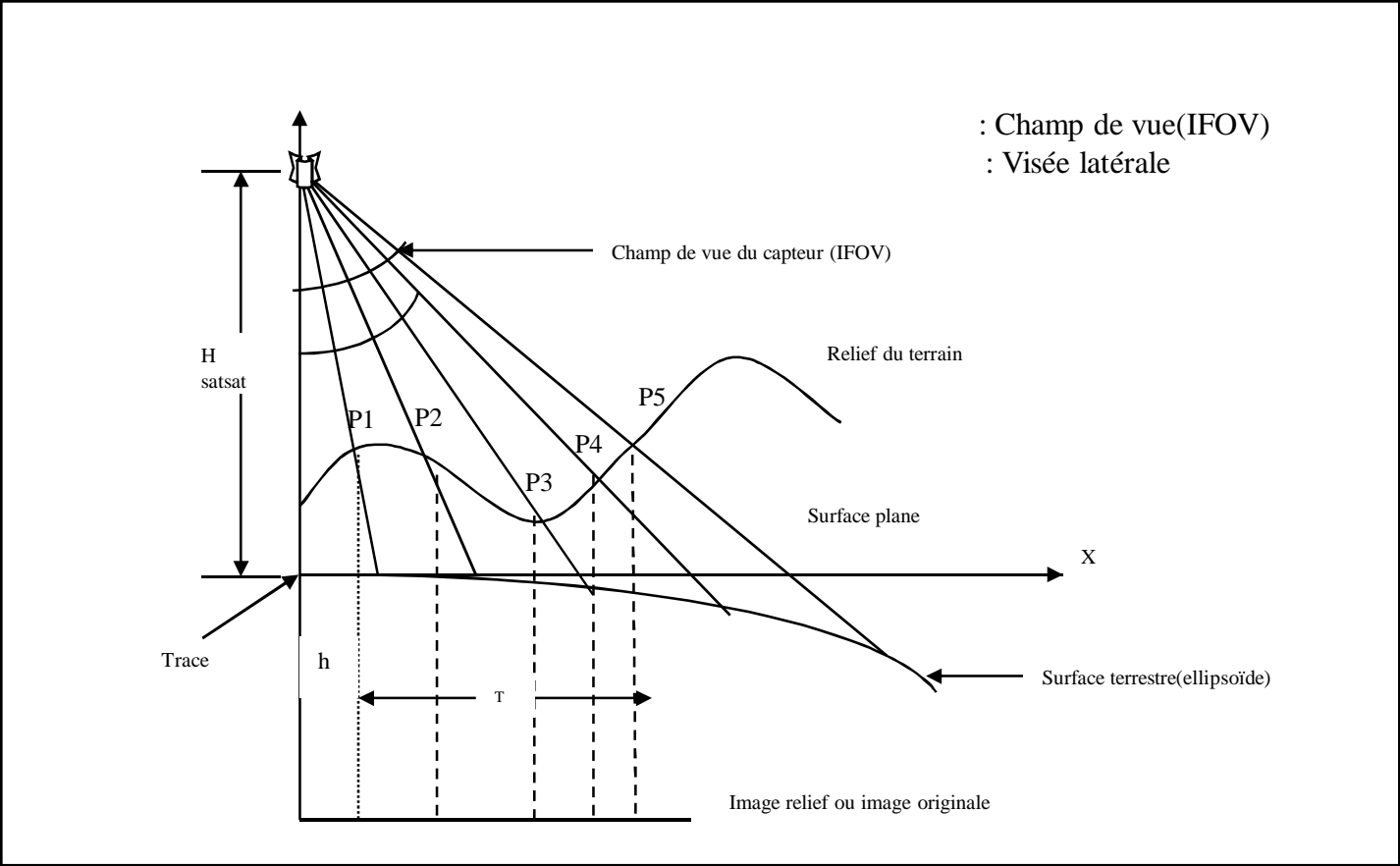


## Correction des déformations dues au système de prise de vue



Les déformations géométriques dues à l'instabilité du satellite  
**(CASSANET. 1984).**

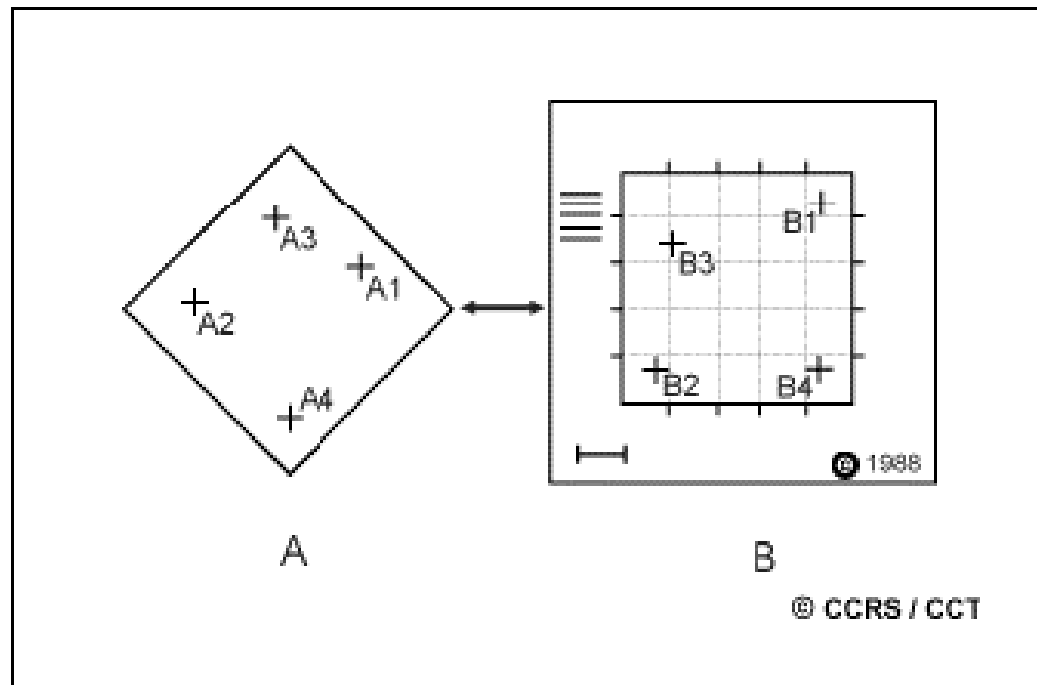
**Correction des déformations dues au relief et à la courbure de la terre:**



**Effet du relief et de l'angle de visée  
(CALOZ.1992)**

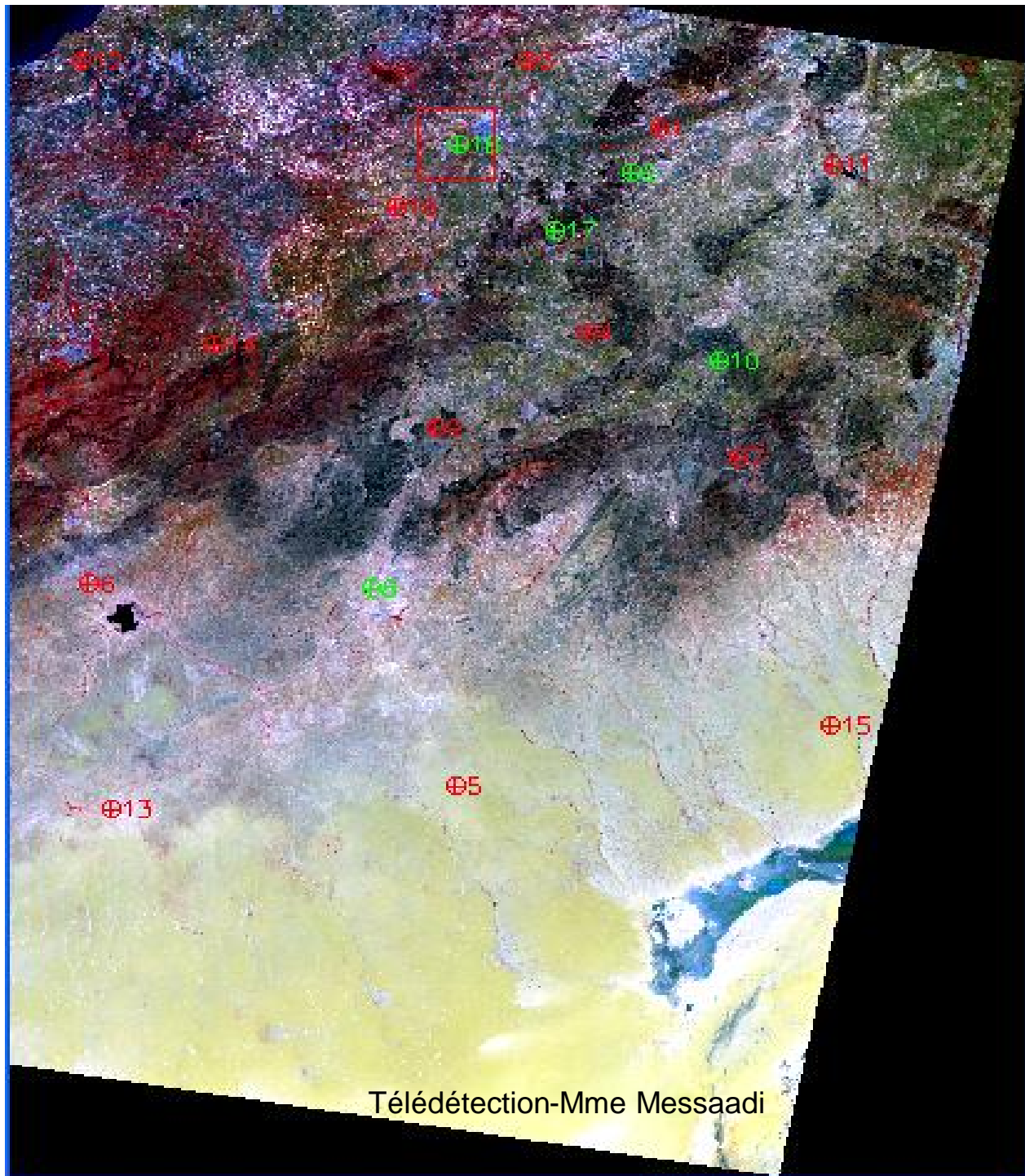
**Calage de l'image dans un nouveau système de coordonnées:**

**La première étape :** consiste à trouver des points d'appui.



Points d'appui (de contrôle)

Téledétection-Mme Messaadi



Télédétection-Mme Messaadi

**La seconde étape** : consiste à calculer la relation entre les points source et points de référence.

Plus il y a de déformations plus il faut utiliser un modèle de déformation de degré élevé (c'est à dire un polynôme de déformation à degré élevé) et plus le nombre de points d'amer nécessaire est élevé.

Le nombre minimal de points amer peut être calculé de la façon suivante :

$$N = ((T+1) (T+2)) / 2$$

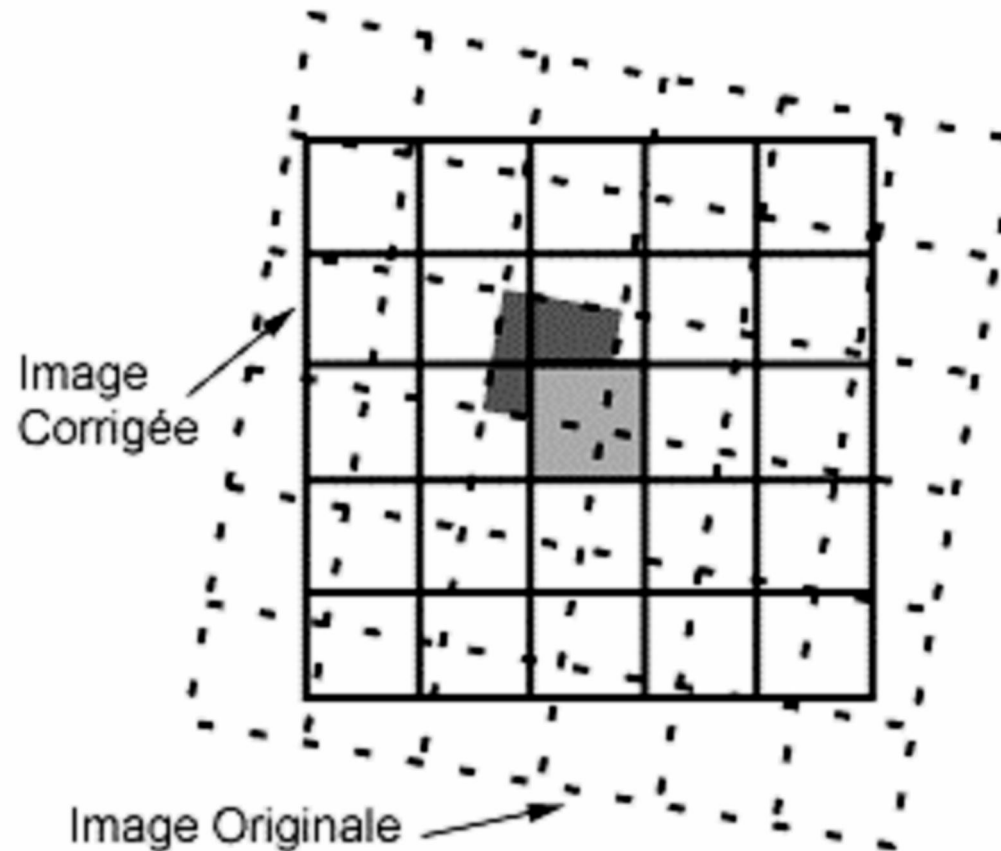
Où :

$N$  : le nombre minimal de points amer nécessaire.

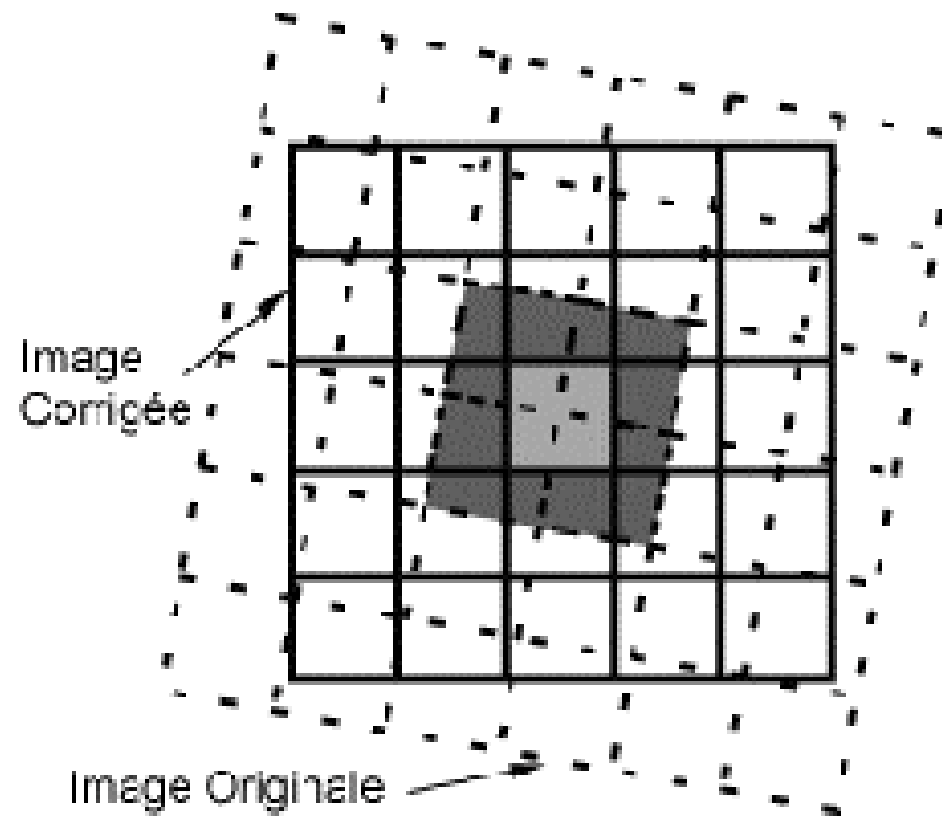
$T$  : l'ordre de la transformation choisie.

**La troisième étape** : consiste à appliquer le polynôme de déformation sur l'image à corriger pour créer une nouvelle image dans le référentiel choisis.

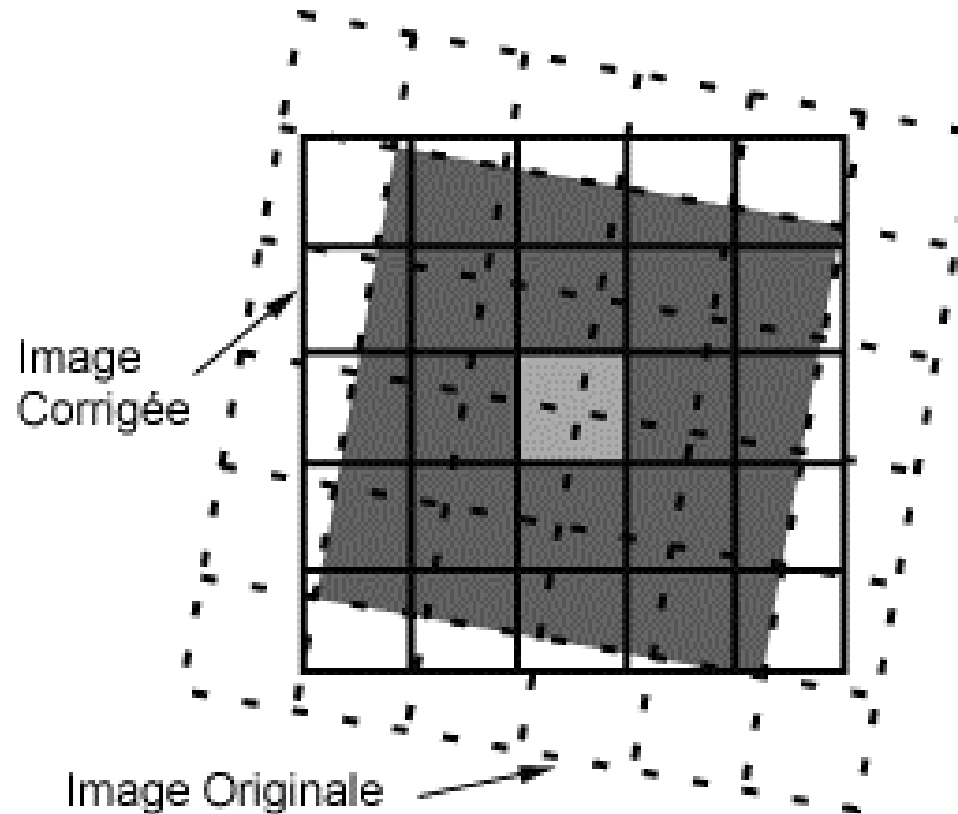
Trois méthodes d'interpolation sont possibles :



**Méthode du plus proche voisin :**  
Téledétection-Mme Messaadi



### ***Méthode d'interpolation bilinéaire***



### ***Méthode de convolution cubique***



La correction géométrique se fait à partir de trois méthodes principales de complexité croissante :

Linéaire (polynôme du 1er degré, permet d'effectuer des translations, des rotations et des changements d'échelle)

Quadratique (polynôme du 2e degré)

Cubique (polynôme du 3e degré)

Le choix de la méthode est lié à la nature de la correction à effectuer

Il est généralement préférable de comparer la qualité des résultats obtenus par plus d'une méthode

# Comparison des méthodes

## “ **Méthode du plus proche voisin**

- . Exige moins de temps de calcul
- . Ne change pas les valeurs originales de l'image
- . Peut générer un effet de saut

## “ **Méthode d'interpolation bilinéaire**

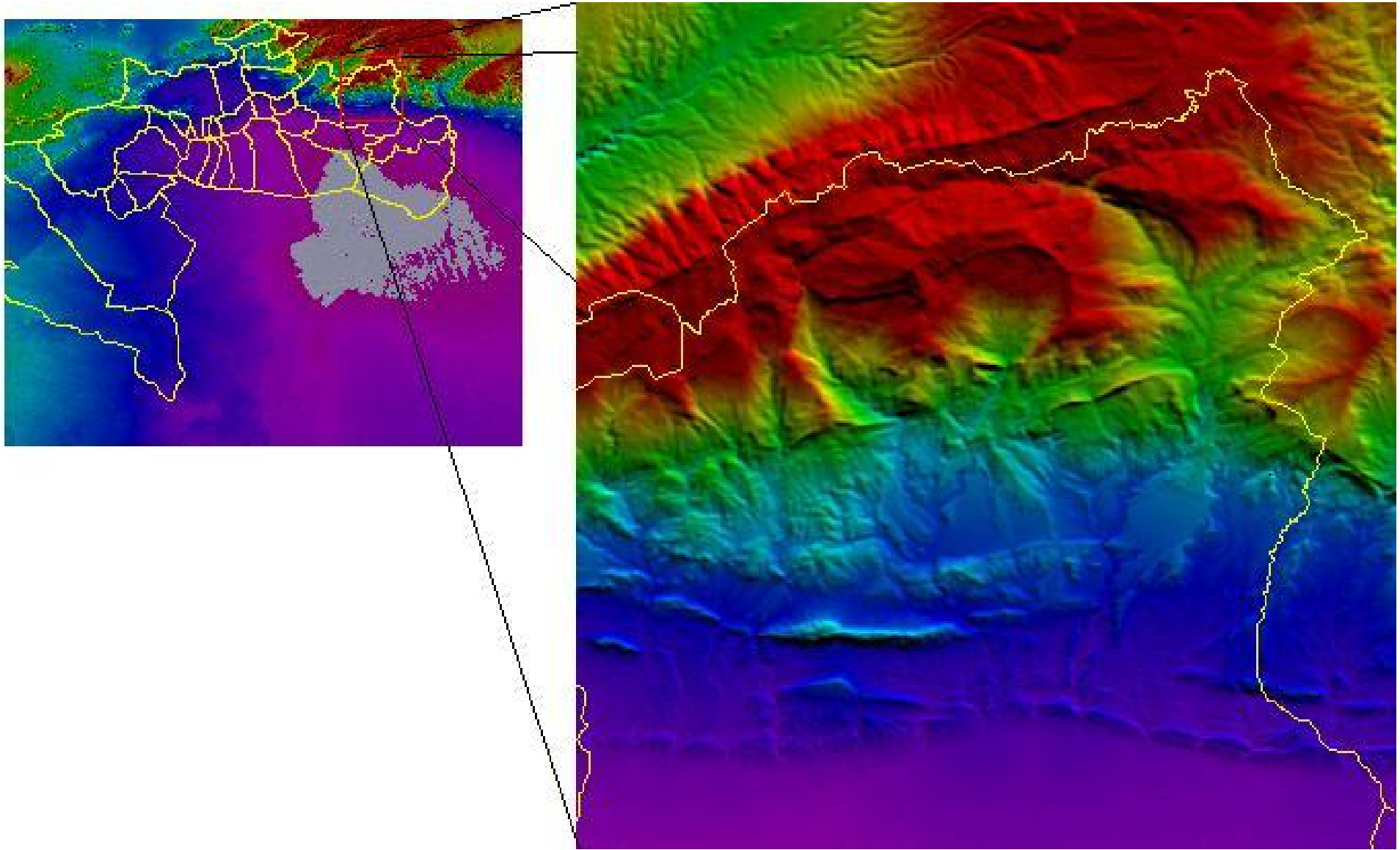
- . Exige plus de temps de calcul que la précédente
- . Modifie les valeurs originales de l'image
- . Améliore la précision de la localisation des cellules

## “ **Méthode de convolution cubique**

- . Exige le plus de temps de calcul
- . Assure une meilleure continuité dans l'image

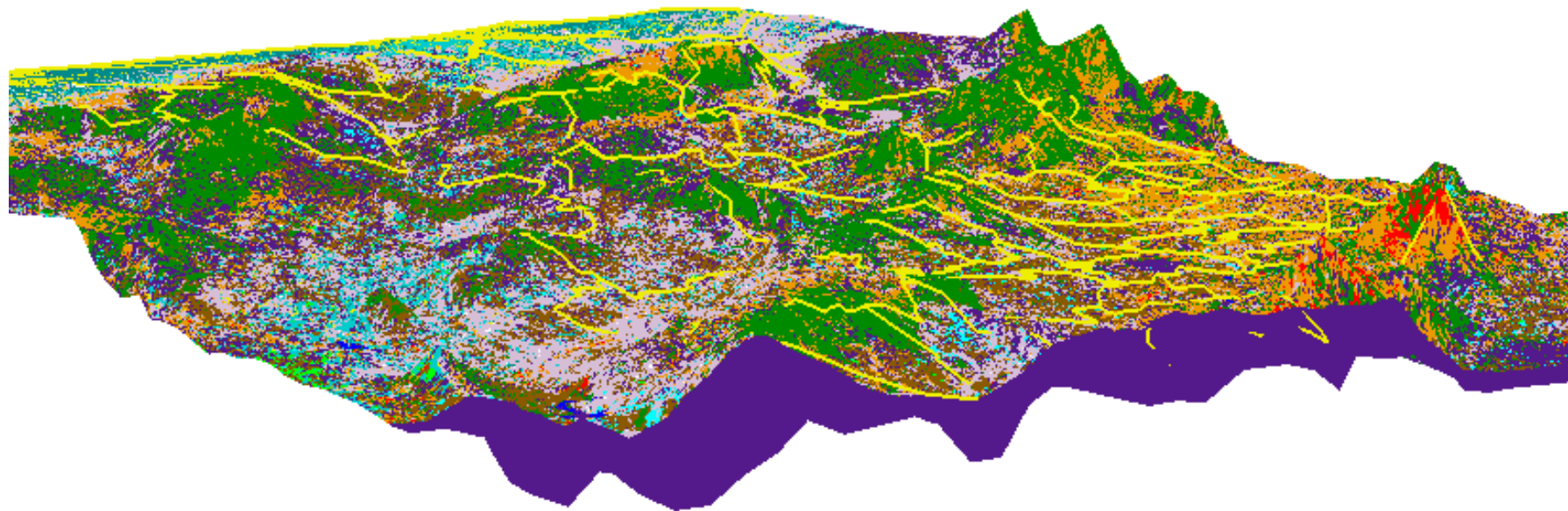
En zone de fortes variations d'altitude, il est également possible, en plus de toutes ces opérations, de corriger géométriquement les images en prenant en compte le relief. Pour cela, on utilise un modèle numérique d'altitude, ce qui accroît davantage la précision spatiale des images. Ce procédé s'appelle "orthorectification".

Les organismes distributeurs d'images de télédétection spatiale fournissent des données avec des degrés de précision géométrique variables en fonction du prix payé.





**Vue en 3D des zones de Doucen et Ouled Djellal**



## **Correction radiométrique :**

Les corrections radiométriques sont appliquées sur les images pour réaffecter à chaque pixel une valeur radiométrique la plus proche possible de celle mesurée sur le terrain. Les corrections radiométriques comprennent entre autres, la correction des erreurs dues aux irrégularités du capteur, aux bruits dus au capteur ou à l'atmosphère. Ces corrections sont réalisées afin que les valeurs radiométriques puissent représenter précisément le rayonnement réfléchi ou émis mesuré par le capteur.

## **Correction atmosphérique:**

Le signal lumineux mesuré par les capteurs d'un satellite traverse deux fois l'atmosphère terrestre, la première fois lors du trajet soleil - cible et la seconde lors du trajet cible - capteurs. A chacun de ces deux traversées, le rayonnement électromagnétique va subir des transformations dues aux propriétés physico-chimiques des deux composants majeurs de l'atmosphère terrestre qui sont les gaz (oxygène, ozone, vapeur d'eau) et les aérosols (poussières, pollens) (**UNIGE 2001**).

