

SIG – TELEDETECTION

Partie 1: Télédétection

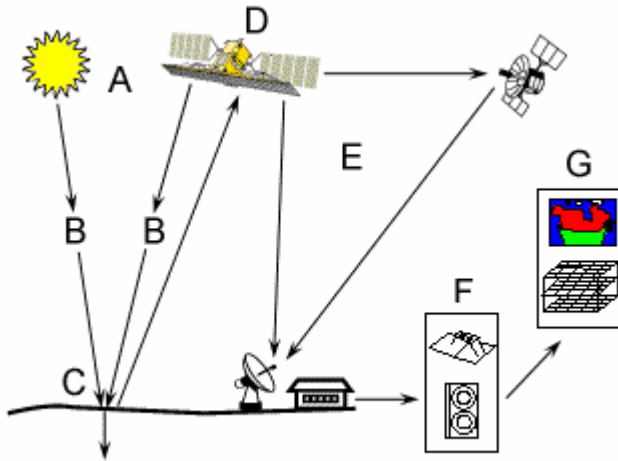
Tébourbi Riadh, 2006

Riadh.Tebourbi@supcom.rnu.tn



<http://www.supcom.mincom.tn/~tebourbi/>

Télédétection: 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 ».

INTERET

- Lorsqu 'il faut une **couverture** de zones d '**étendues considérables** de la terre ou des planètes,
- Lorsqu 'il faut une **couverture répétée** du phénomène à étudier sur des vastes zones,
- Lorsque les régions étudiées **ne sont pas couvertes**: ni par des levés cartographiques ni par des photos aériennes récentes,
- Lorsque l '**accès à l 'information classique est difficile** voir impossible pour des raisons politiques ou militaires,
- Lorsque les **phénomènes** à reconnaître ne peuvent être bien perçus dans la totalité de leur grande **extension spatiale**.

SPOT-2 : 255/339 - 26TH. December 2004 (Pseudo Natural Colour)
Immediate Aftermath of Tsunami at Banda Aceh (Indonesia)
04:23:39.775 UTC Time

Observation/évaluation globale

Whirlpool →

Original
Shoreline →

Innundated
Area

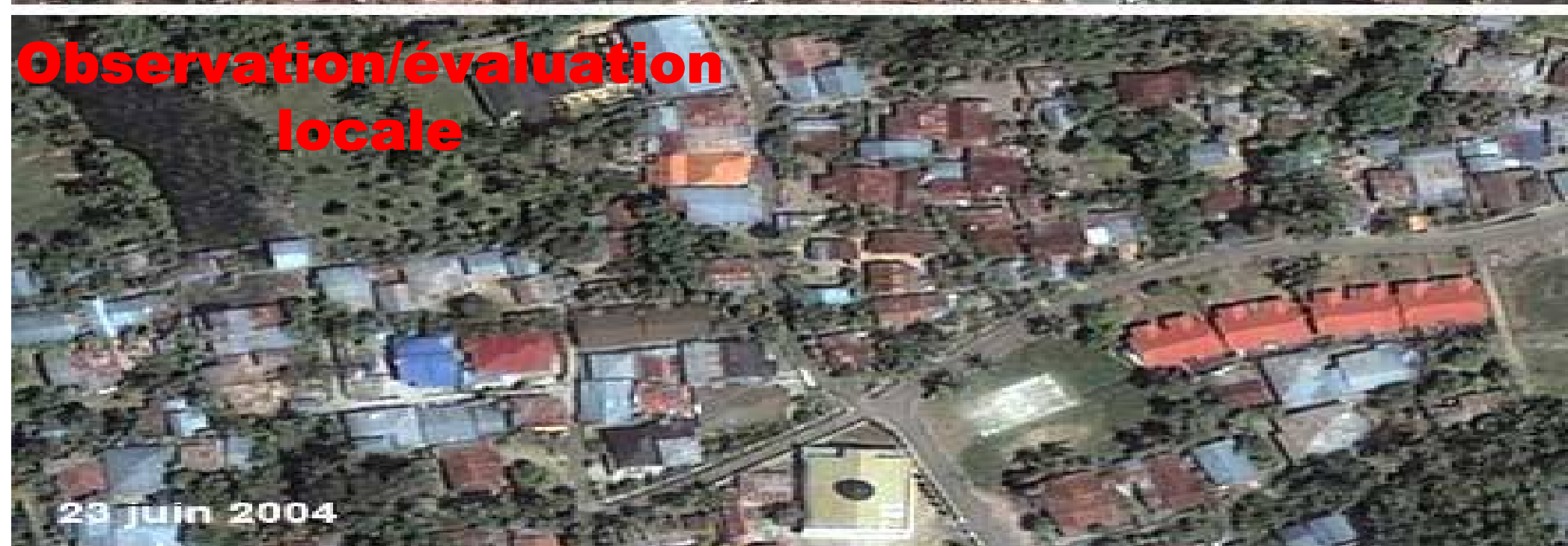
Original
Shoreline →

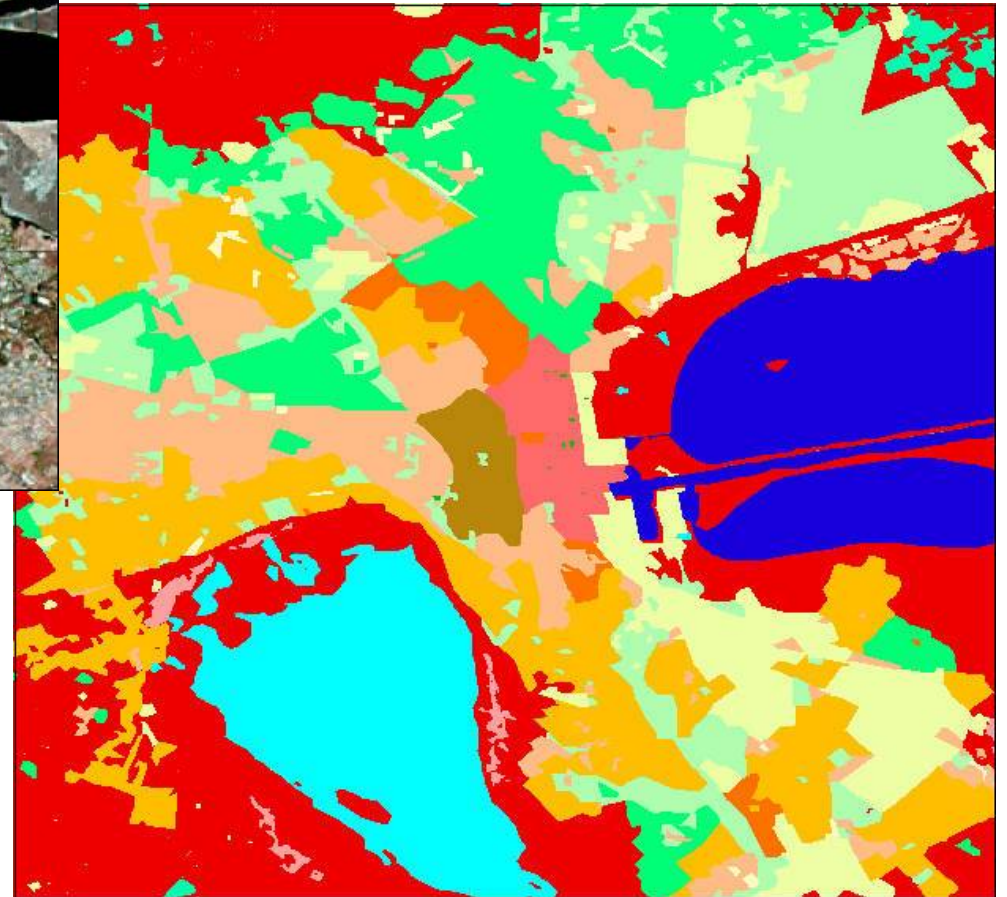
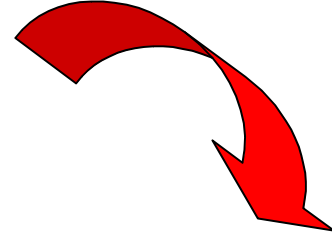
4.2 km

Original
Shoreline →

Innundated
Area

Banda Aceh



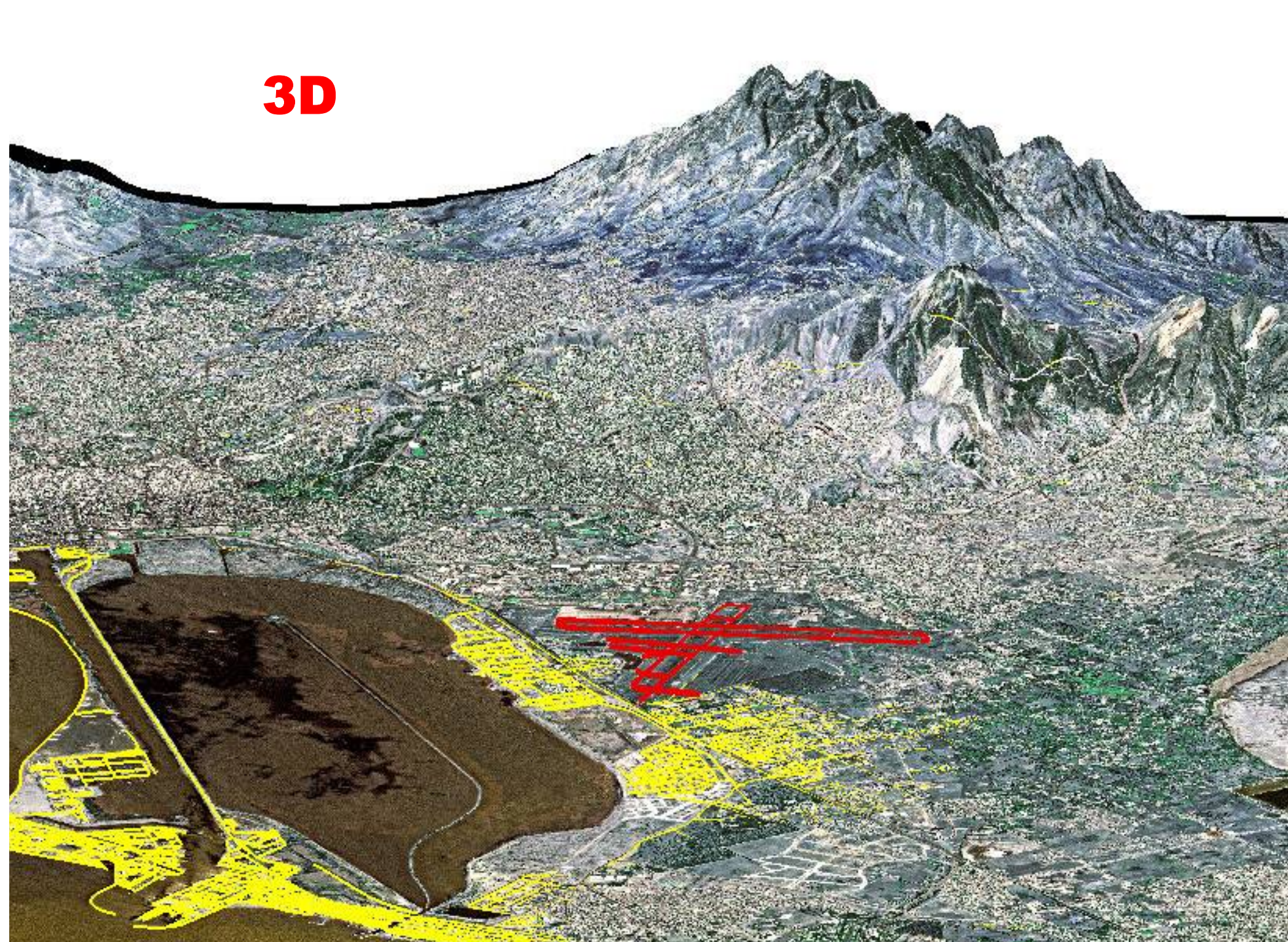


Occupation du sol
Classification



Digitalisation réseaux

3D



LES PLATES-FORMES UTILISEES EN TELEDETECTION (I)

◆ Les Plates-Formes Terrestres

Ce type de plate-forme est utilisé principalement à des fins d'expérimentation et d'étalonnage.

Ordinairement on se sert d'un bras télescopique fixé à un camion ou à un véhicule tout-terrain et à l'extrémité duquel le capteur est installé.



◆ Les Plates Formes Aériennes

■ **Les ballons** : Ils sont constitués en général d'une membrane très mince que l'on gonfle avec un gaz plus léger que l'air : l'air chaud, l'hélium ou l'hydrogène.

Ils sont peu utilisés, sauf en météorologie. altitude : environ 2 – 40 Km.

LES PLATES-FORMES UTILISEES EN TELEDETECTION (II)

■ **Les Avions** : les avions sont des plates-formes d'emploi très souple. Ils ont trois limitations :

- ❑ la **prise répétitive** des données n'est pas garantie, les conditions météorologiques pouvant perturber considérablement les plans de vol.
- ❑ Le **territoire couvert**, lors d'une seule mission, est assez limité,
- ❑ des **coûts** relativement élevés sont généralement associés à ces plates-formes.

Exemples : Convair 580 du Canada, JPL AIRSAR de la NASA,...



LES PLATES-FORMES UTILISEES EN TELEDETECTION (III)

◆ Les plates-formes Spatiales

Les plates-formes spatiales ou satellites sont des vaisseaux en orbite terrestre qui se déplacent selon une **ellipse** dont un des foyers est occupé par le centre de la Terre.

Les déplacements du satellite répondent aux seules forces de gravité suivant les lois de Kepler

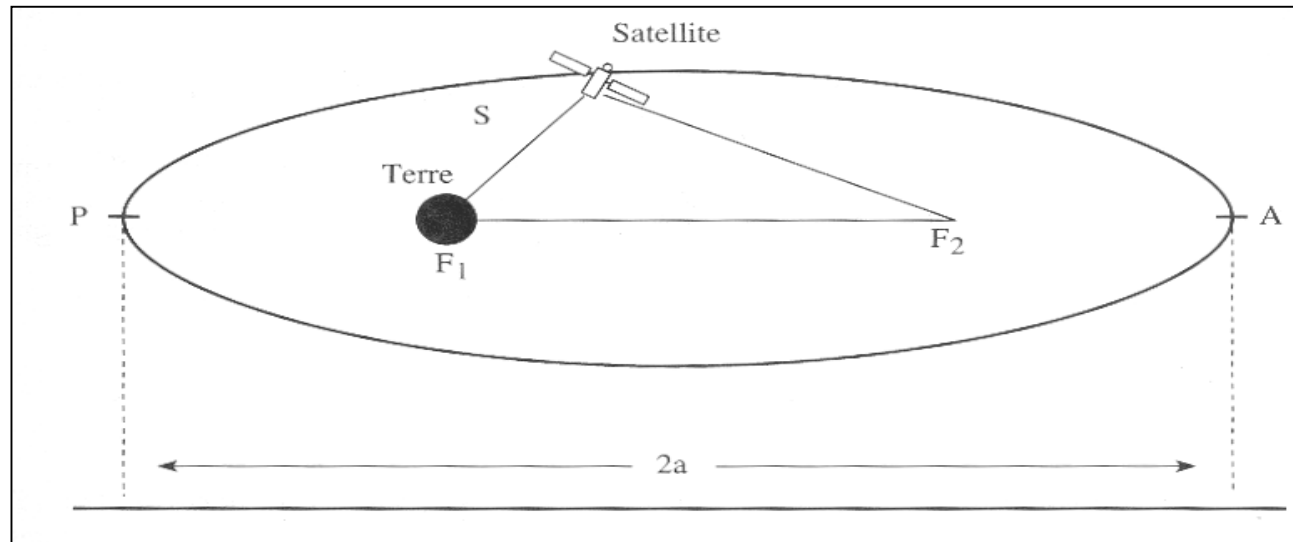
$$T^2 = \frac{a^3}{K}$$

T : La période de rotation

a : est le demi grand axe de l'ellipse (le rayon pour un orbite circulaire)

K : est la constante de Kepler, égale à $1,0 \times 10^{13}$ unités SI pour une orbite terrestre

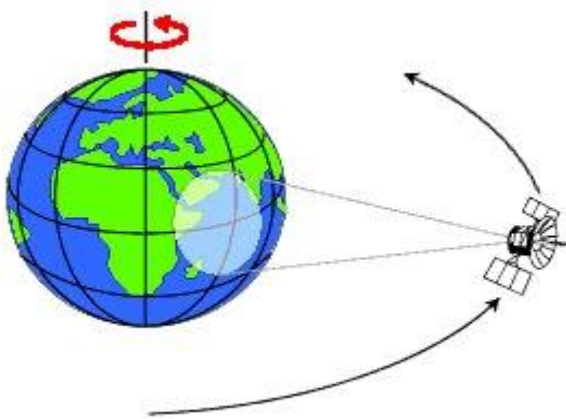
LES PLATES-FORMES UTILISEES EN TELEDETECTION (IV)



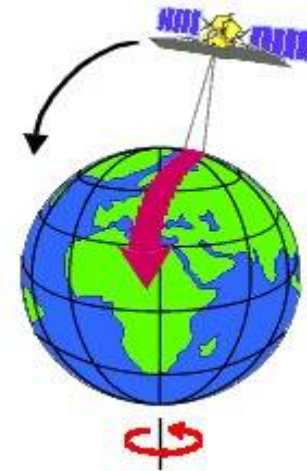
- L'inclinaison i de l'orbite est l'angle que forme le plan orbital avec le plan équatorial de la terre.
- Une orbite polaire présente une inclinaison de 90°

Acquisition des données en Télédétection: les satellites

Les Trajectoires Orbitales des Satellites de Télédétection (IV)



Orbite géostationnaire



Orbite quasipolaire

Les Trajectoires Orbitales des Satellites de Télédétection (II)

Orbite géostationnaire : Le satellite reste constamment au-dessus d'un point fixe de la Terre.

- Une orbite géostationnaire est forcément équatoriale (son plan d'orbite se confond avec le plan équatorial) et circulaire. Altitude : environ 36 000 Km
- Elle permet la surveillance constante d'une partie de la Terre, soit entre les parallèles de $81,3^\circ$ nord et sud. Applications : météo et télécommunications.

Exemple : GEOS (NOAA Geostationary Operational Environmental Satellite), METEOSAT

Les Trajectoires Orbitales des Satellites de Télédétection (I)

→ **Orbite héliosynchrone** : Le plan de l'orbite reste fixe par rapport à l'axe Terre soleil.

■ Altitudes (résolution)

500 et 1 500 Km.

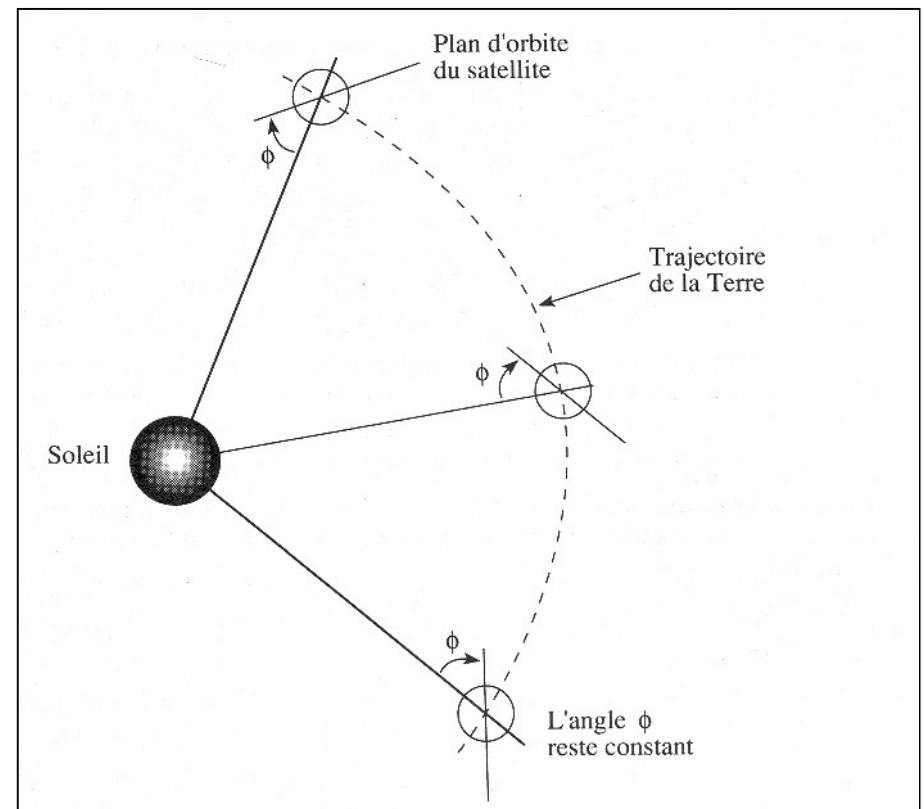
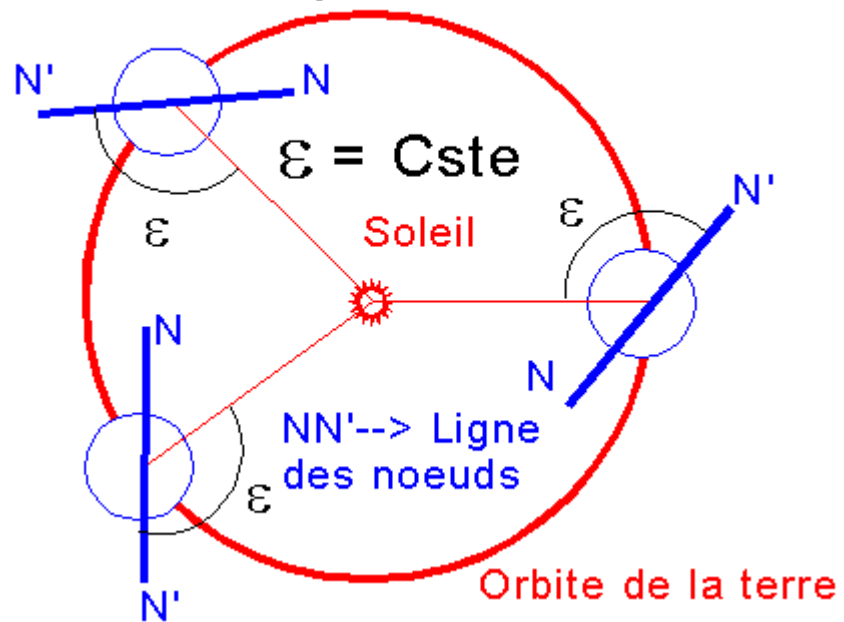
■ Le satellite passe au dessus d'un point géographique quelconque approximativement à la même heure locale (héliosynchronisme)

→ Recouvrement presque complet de la Terre (sauf les régions polaires).

Inclinaison orbitale: quasi-polaire ($>90^\circ$)

Exemple : LANDSAT, SPOT. **Altitude** : environ 700 Km

Héliosynchronisme



Remarques

- La **fourchette des inclinaisons** possibles se situe sensiblement entre **97°** et **104°** environ.
- La **constance de l'angle θ** assure un survol du **nœud ascendant** systématiquement à la même **heure locale H** . Cette propriété garantit alors une grande stabilité d'image, en ce qui concerne les ombres, le relief, les couleurs.
- le **nœud descendant** est survolé à l'heure locale **$H+12$** après l'heure H
- L'heure locale H de survol du nœud ascendant est une caractéristique du satellite, qui doit être soigneusement choisie en fonction de la mission. Par exemple **SPOT** passe au nœud descendant (là où se font les prises de vue) à **10 h 30 mn**, donnant donc au nœud ascendant **$H = 22 \text{ h } 30 \text{ mn}$** .
- Un **avantage des orbites quasi polaires** est d'assurer une **couverture pratiquement complète** de toutes les zones habitées du globe, ce qui est un atout en matière d'imagerie spatiale.

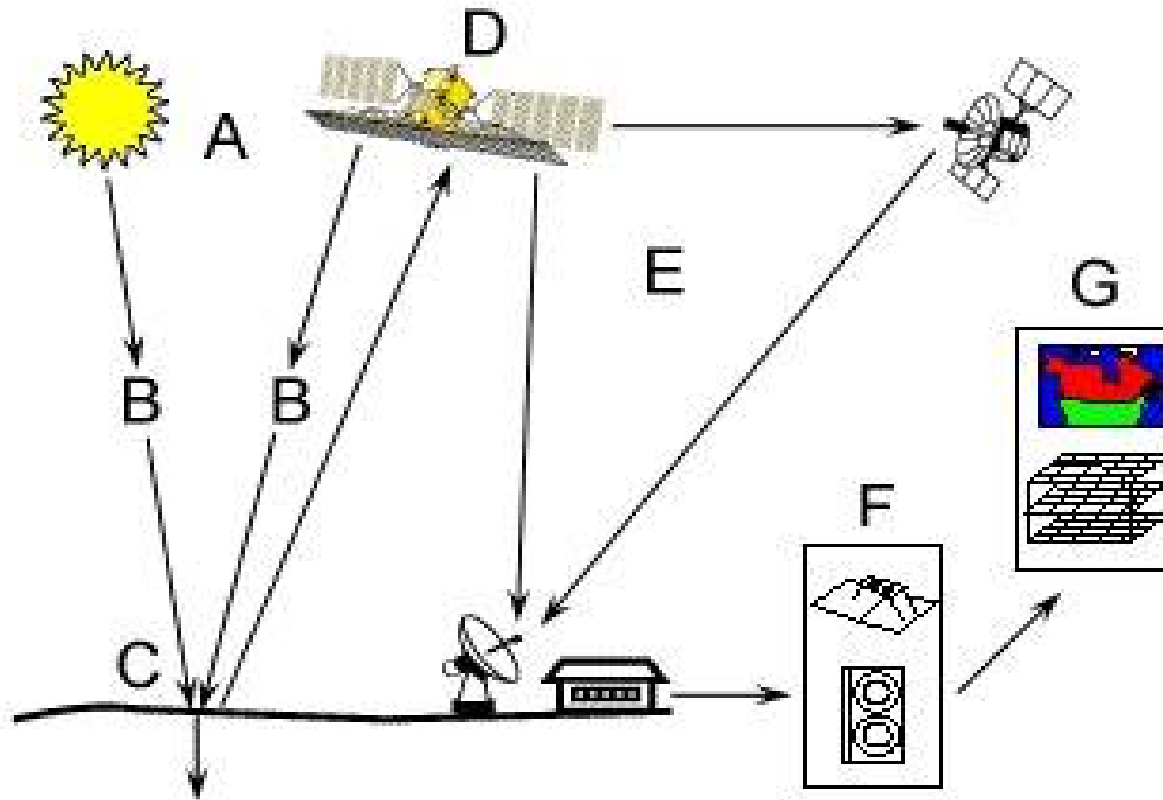
Les Trajectoires Orbitales des Satellites de Télédétection (III)

- **Orbite circulaire quelconque** : Survole la Terre à la même altitude. L'excentricité, qui est le rapport de la distance des foyers au grand axe de l'ellipse, devient nulle.
- **Exemple** : ERS-1, RADARSAT, SEASAT

Composantes des satellites en télédétection

- **Systèmes de rétablissement d 'altitude** ayant pour but de **maintenir l 'altitude initiale** du satellite, altitude qui tend continuellement à décroître en raison des forces de freinage exercées principalement par les frottement atmosphériques et la pression de radiation solaire.
- **Systèmes de commande d 'attitude** ayant pour but de **contrôler la position relative** de l 'axe de prise de vue.
- **Des panneaux solaires** qui **produisent l 'électricité nécessaire** à l 'exercice des fonctions de bord à partir du rayonnement solaire.
- **Systèmes de contrôle de bord** responsables de l 'ensemble des opérations à bord et des **communications avec la station** de commande au sol.
- **Antennes** qui servent à **transmettre des données** à la Terre et à **recevoir des commandes** des stations de contrôle terrestre.
- **Capteurs.**
- **Des enregistreurs magnétiques** qui permettent le **stockage des informations** à bord lorsque le satellite se trouve à l 'extérieur du rayon d 'action d 'une station réceptrice. Transmissions au sol des données stockées lorsque le satellite entre dans le cercle de réception d 'une station.

PROCESSUS D 'ACQUISITION d 'IMAGES



PROCESSUS D 'ACQUISITION d 'IMAGES

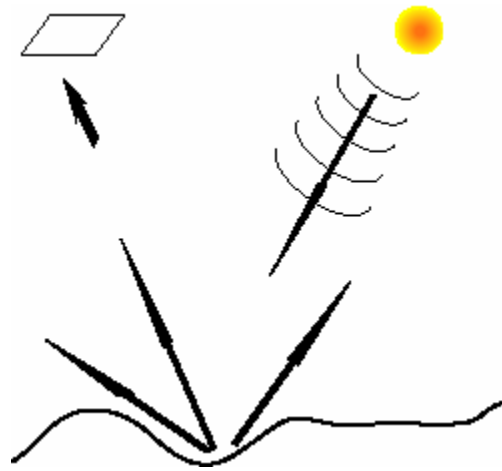
- Source d'énergie ou d'illumination (**A**) - À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible.
- Rayonnement et atmosphère (**B**) - Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.
- Interaction avec la cible (**C**) - Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface.
- Enregistrement de l'énergie par le capteur (**D**) - Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible) pour être enfin enregistrée.

PROCESSUS D 'ACQUISITION d 'IMAGES (II)

- Transmission, réception et traitement (**E**) - L'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).
- Interprétation et analyse (**F**) - Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
- 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.

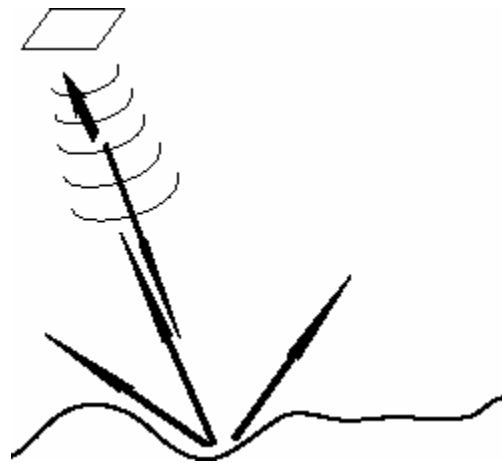
Capteurs

Passif: on se contente d'enregistrer l'énergie naturelle (réfléchié ou émise) provenant de la terre: Radiomètres, les balayeurs thermiques, les balayeurs optiques, les chambres de prise de vue, les spectroradiomètres..etc.



Il recueille de l'énergie
réfléchié par la scène et
provenant d'une autre source
(Soleil en général).

Actif: On éclaire artificiellement les corps à étudier avant d'enregistrer l'énergie que ceux-ci renvoient vers le capteur: radars, diffusomètres, lidars..etc.



Il lui est associé un émetteur qui envoie un signal vers la scène.

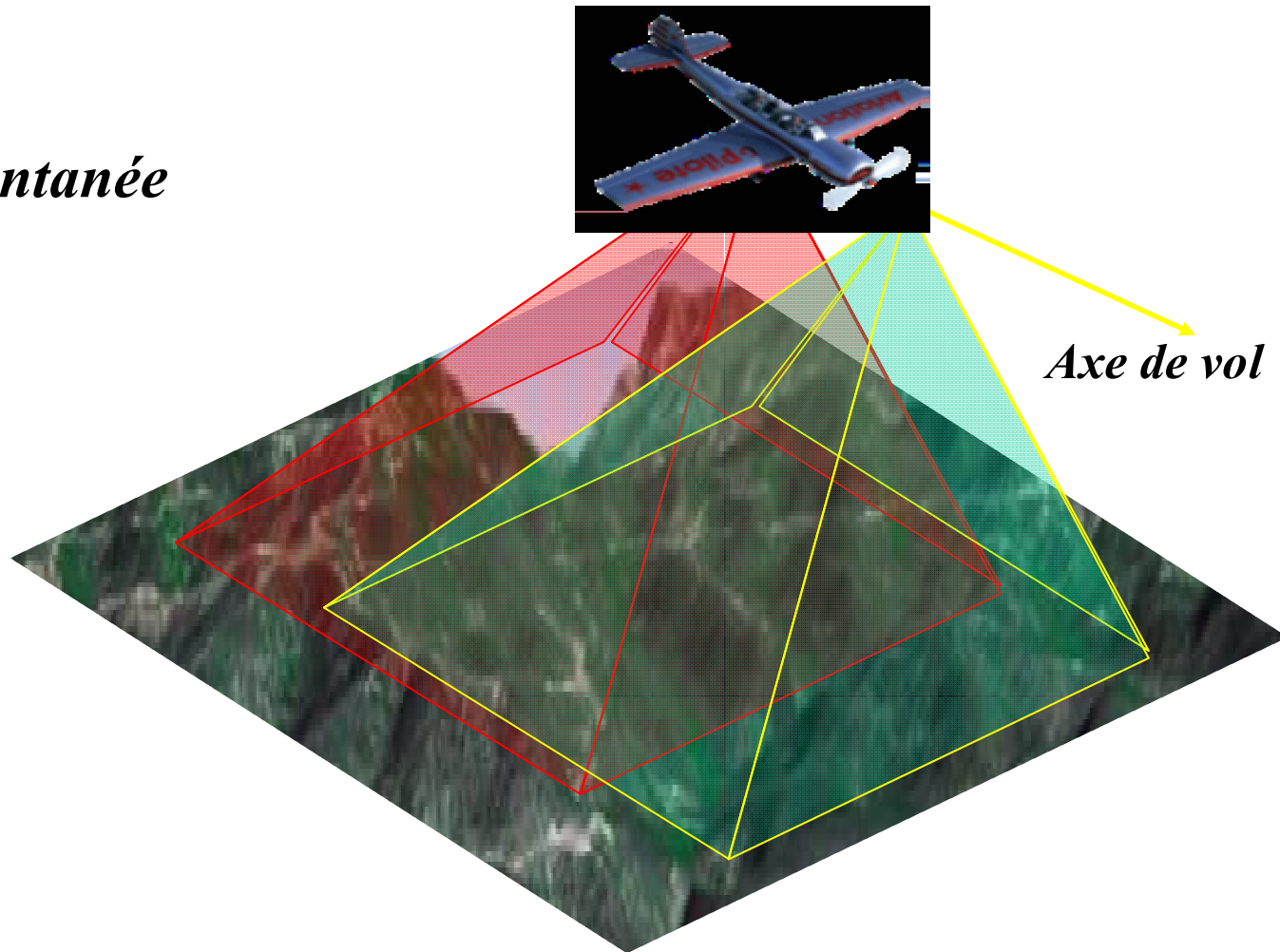
Composantes d 'un capteur

- **Un système optique:** conditionne la limite de résolution spatiale, définit la géométrie, les caractéristique optiques et l 'angle de visée du système.
- **Un filtre spectral:** conditionne le domaine spectral de mesure.
- **Un détecteur:** commande à la fois la limite de résolution radiométrique et la limite de résolution spectrale, transforme le signal physique reçu en une forme de données (voltage, réaction photos-chimique) qui deviennent analysables mathématiquement ou perceptibles à l 'Œil humain (codage).

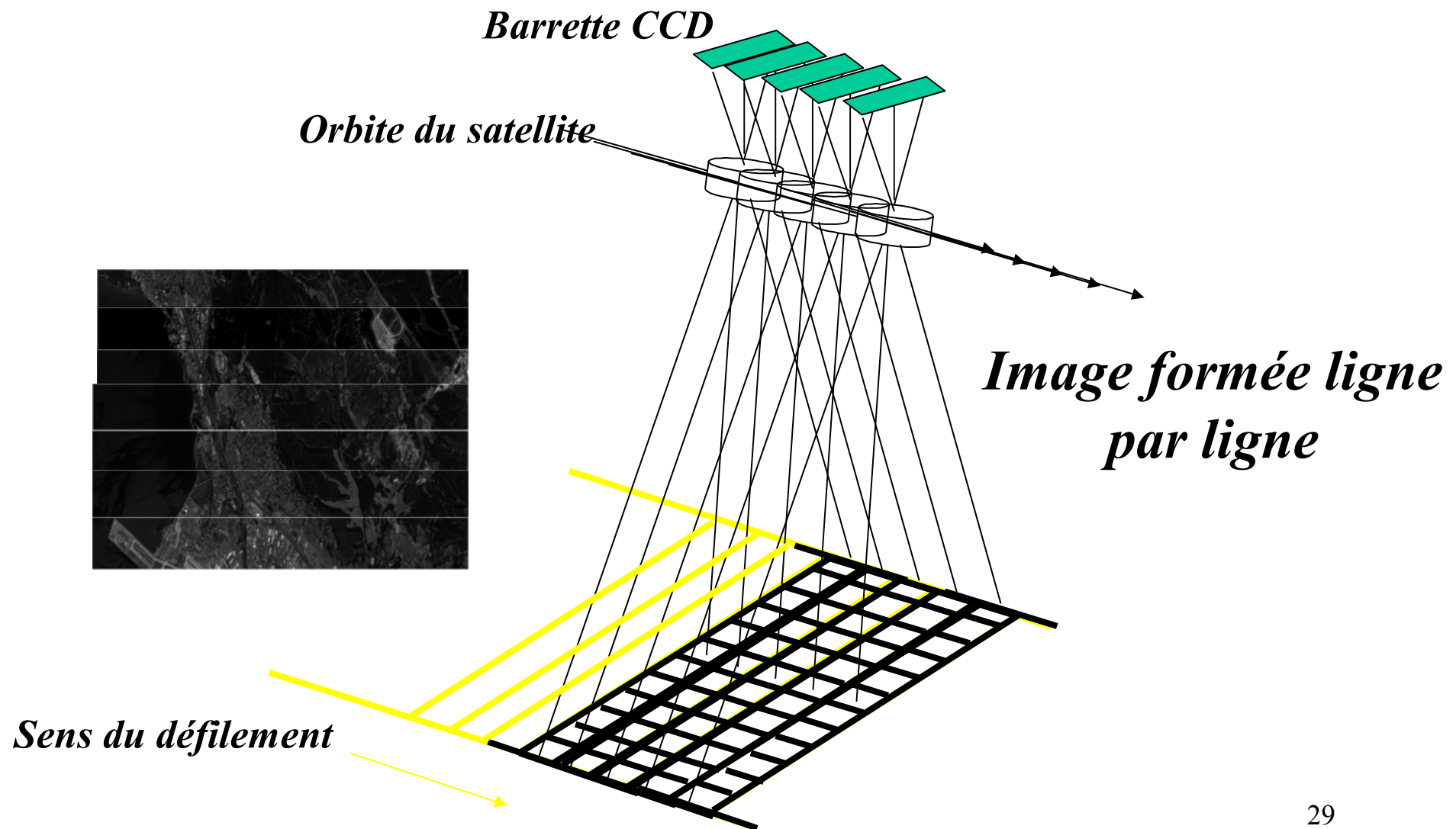
L'énergie recueillie par le capteur correspond à l'énergie réfléchie par la scène. Cependant le capteur n'est pas sensible à toute l'énergie qui est renvoyée vers lui. Il ne retient que l'énergie d'une bande du **spectre électromagnétique**. cette bande correspond à la couverture spectrale du satellite.

Acquisition : cas aérien

- *Acquisition instantanée*



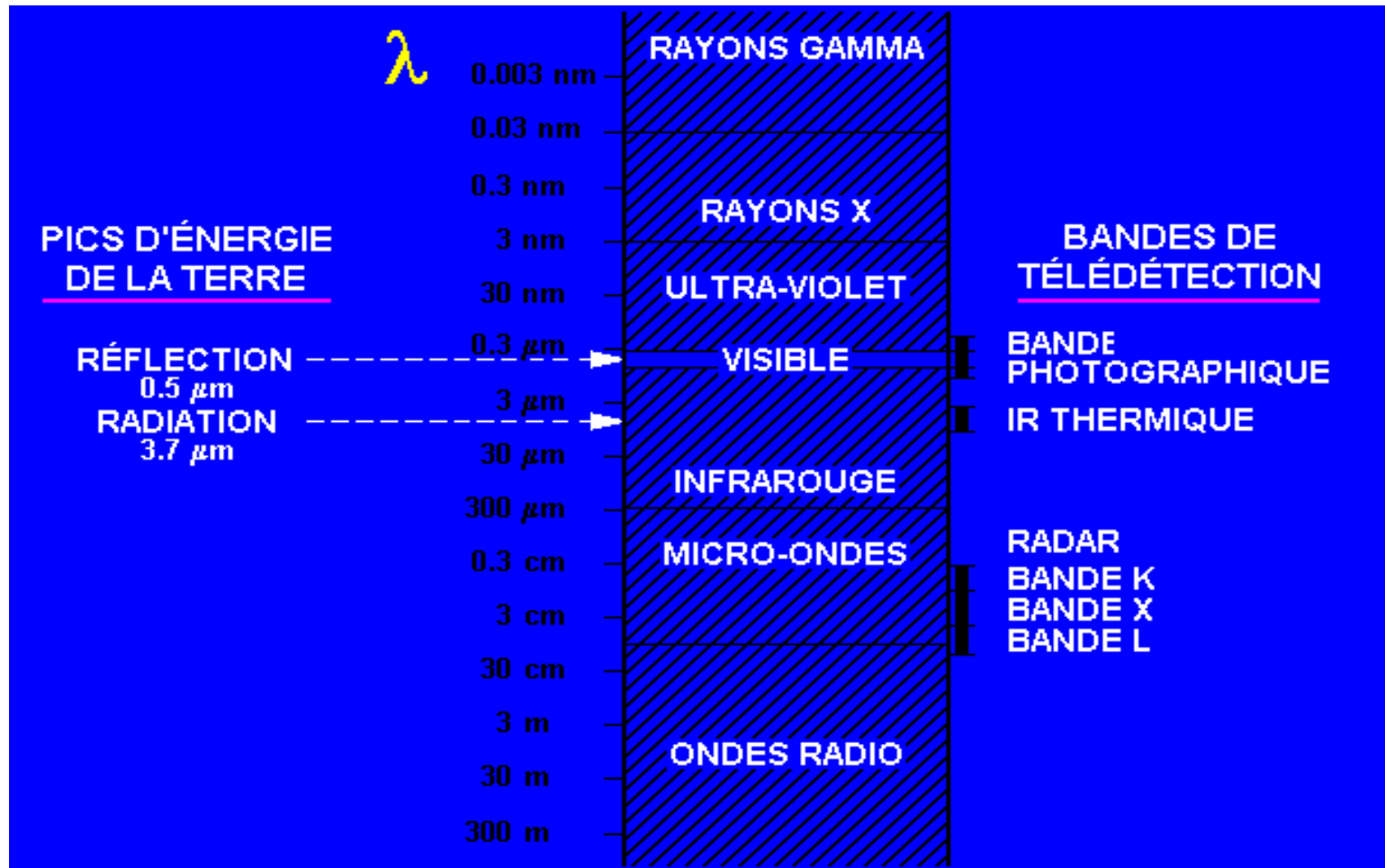
Cas du capteur *push broom*



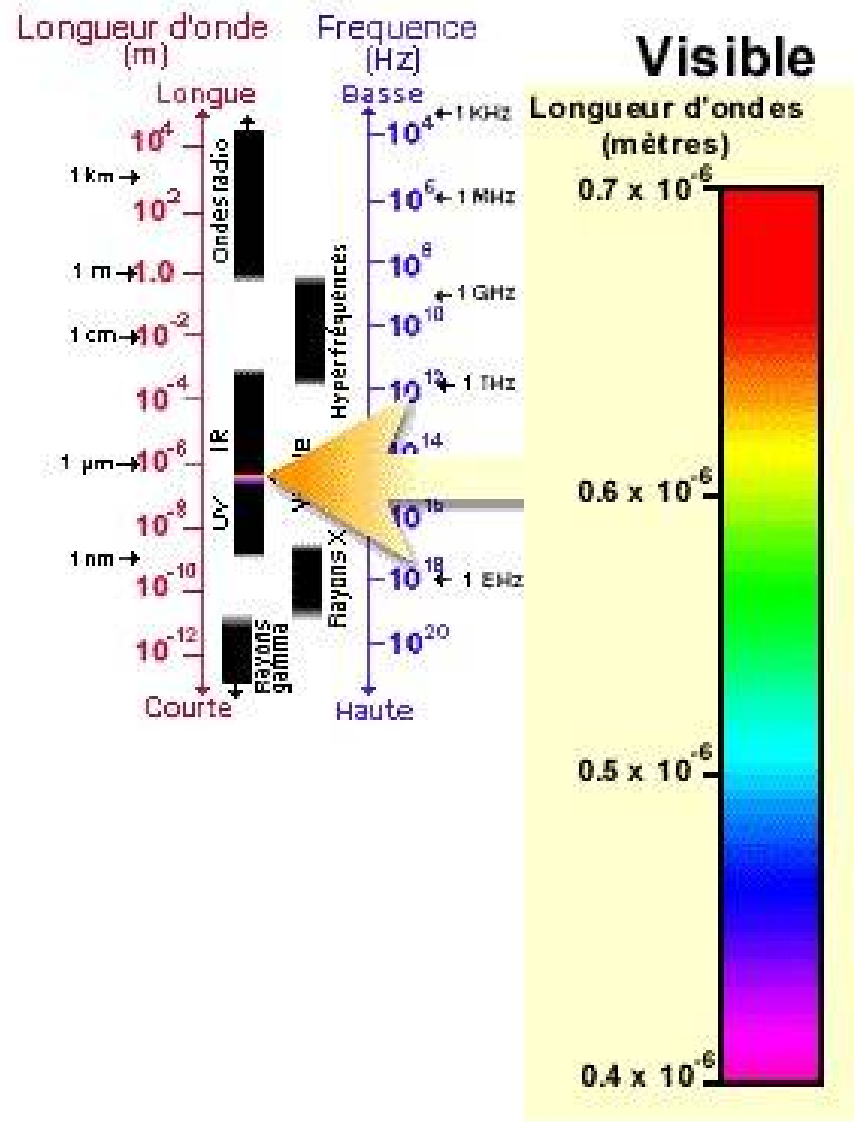
Spectre électromagnétique

Longueur d'onde de la source

→ On ne travail pas forcément dans le domaine du visible



Spectre électromagnétique (II)



- **violet** : 0.4 - 0.446 μm
- **bleu** : 0.446 - 0.500 μm
- **vert** : 0.500 - 0.578 μm
- **jaune** : 0.578 - 0.592 μm
- **orange** : 0.592 - 0.620 μm
- **rouge** : 0.620 - 0.7 μm

HYPERFREQUENCE(I)

- ▶ Les radars imageurs les plus courants fonctionnent à des fréquences comprises entre 1,25 GHz et 35,2 GHz (24 cm à 0,8 cm).
- ▶ La capacité du radar à traverser les précipitations ou à pénétrer différentes couches à la surface du sol augmente en fonction de la longueur d'onde. Un radar opérant dans les longueurs d'onde supérieures 2 cm n'est pratiquement pas affecté par la couverture nuageuse. Cependant, la pluie affecte le signal radar pour les longueurs d'onde inférieures à 2 cm.

HYPERFREQUENCE (II)

Les hyperfréquences ont été arbitrairement découpées en bandes spectrales identifiées par les lettres.

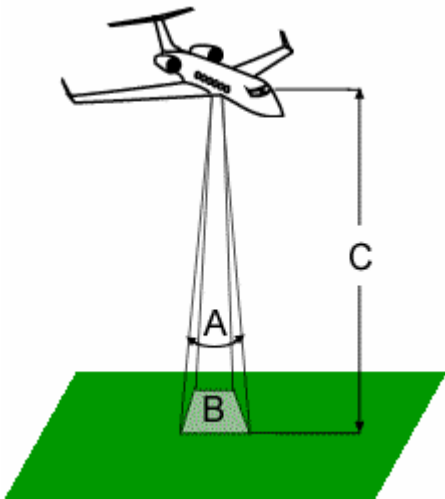
- **Bande X** : fréquences entre 12,5 GHz et 8 GHz (2,4 cm à 3,8 cm). Cette bande est largement utilisée pour effectuer des reconnaissances militaires ainsi que des relevés de terrain d'application civile.
- **Bande C** : fréquences entre 8 GHz et 4 GHz (3,8 cm à 7,5 cm). Plusieurs RSO montés à bord de plates-formes spatiales comme ERS-1, et RADARSAT, fonctionnent dans cette bande spectrale.
- **Bande S** : fréquences entre 4 GHz et 2 GHz (7,5 cm à 15 cm).
- **Bande L** : fréquences entre 2 GHz et 1 GHz (15 cm à 30 cm). Cette bande est exploitée par les RSO à bord de satellites d'observation de la terre tels que SEASAT ou JERS-1 le satellite japonais.

AVANTAGES

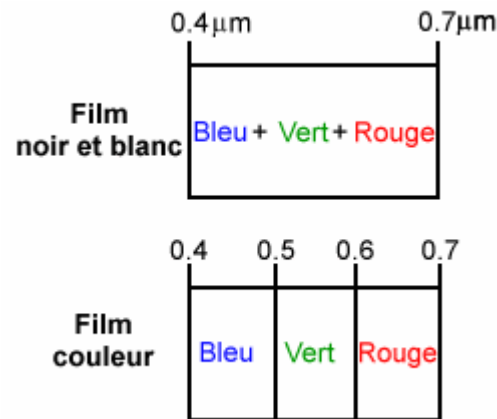
- ▶ Les hyperfréquences traversent les nuages et sont peu affectées par la pluie. La télédétection radar convient ainsi parfaitement aux régions du globe où les nuages et la pluie constituent un sérieux problème pour l'acquisition d'images.
- ▶ Un système radar est un système de télédétection actif. Il peut opérer le jour comme la nuit parce qu'il transporte sa propre source d'illumination.
- ▶ L'interprétation des images-radars fournit de précieuses informations qui ne peuvent pas être obtenues dans la région visible ou infrarouge du spectre électromagnétique.

Résolutions d'un capteur

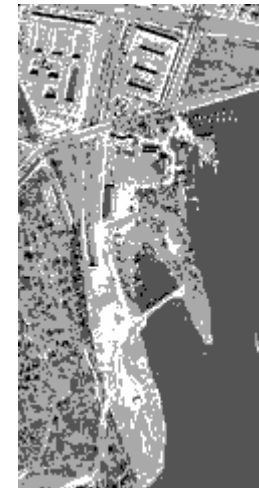
La résolution spatiale est fonction de la dimension du plus petit élément qu'il est possible de détecter



La résolution spectrale décrit la capacité d'un capteur à utiliser de petites fenêtres de longueurs d'onde. Plus la résolution spectrale est fine, plus les fenêtres des différents canaux du capteur sont étroites.



La résolution radiométrique d'un système de télédétection décrit sa capacité de reconnaître de petites différences dans l'énergie électromagnétique



Résolution spatiale



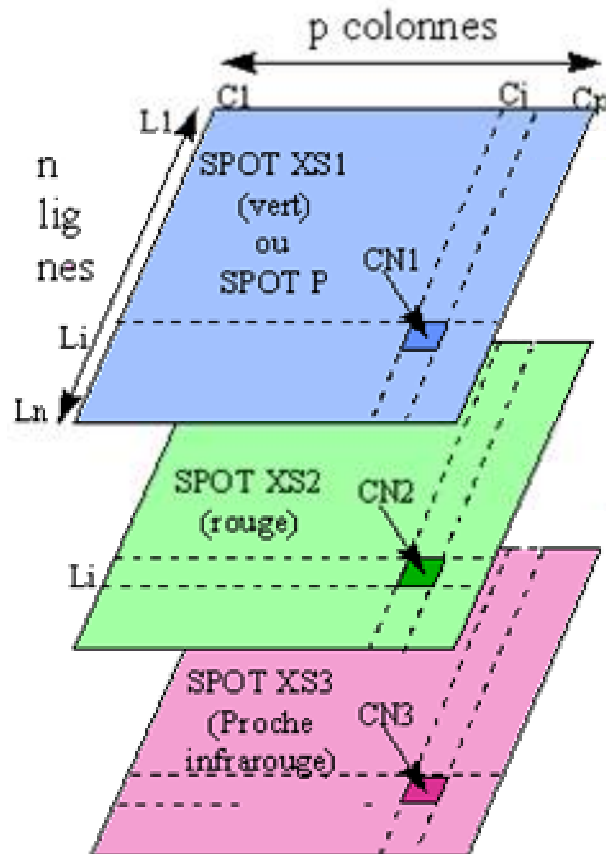
Caractéristiques des capteurs de LANDSAT et de SPOT

	LANDSAT MSS	LANDSAT RBV	LANDSAT-4-5 TM	SPOT-1-2 HRV
Bandes spectrales (en μm)	0,5 à 0,6 MSS4 0,6 à 0,7 MSS5 0,7 à 0,8 MSS6 0,8 à 1,1 MSS7 10,5 à 12,4 MSS8 (LANDSAT-3)	0,5 à 0,75	0,45 à 0,52 TM1 0,52 à 0,60 TM2 0,63 à 0,69 TM3 0,76 à 0,90 TM4 1,55 à 1,75 TM5 10,4 à 12,5 TM6 2,10 à 2,35 TM7	0,50 à 0,59 XS1 0,61 à 0,69 XS2 0,79 à 0,90 XS3 0,51 à 0,73 (P)
Tache au sol	80 m 240 m IR therm.	40 m	30 m 120 m IR therm. TM6	20 m (XS) 10 m (P)
Heure locale au nœud descendant	9 h 30	9 h 30	9 h 30	10 h 30
Largeur de balayage	185 km	185 km	185 km	2 x 60 jours orientable dans ± 400 km
Répétitivité	18 jours	18 jours	16 jours	26 jours accessibilité en tout point du globe en 5 jours maximum

La structure d'une image satellitale

Lors de l'acquisition il y a double échantillonnage de l'information :

- spatial : la zone observée est découpée en surfaces élémentaires (pixels) caractéristiques de la résolution spatiale du satellite,
- numérique : le signal analogique enregistré par les détecteurs est codé à l'aide d'entiers compris entre 0 et 255.



Une image monospectrale est une grille
Un pixel est défini par :
1) i : sa coordonnée en ligne
2) j : sa coordonnée en colonne
3) CN : son compte numérique
(valeur de luminance codée entre 0 et 255)

Une image multispectrale est composée de k grilles
(k : nombre de bandes spectrales ou canaux)
Un pixel est défini par :
1) i : sa coordonnée en ligne
2) j : sa coordonnée en colonne
3) CN (k) : compte numérique dans chaque bande k
(valeur de luminance codée entre 0 et 255)

• Une image numérique est un tableau à deux dimensions. Ainsi, par exemple, une image SPOT de dimension 60 km x 60 km avec une taille de pixel de 20m x 20m correspond à un tableau de 3 000 lignes x 3 000 colonnes. Cette représentation des données est plus connu sous le terme de format raster.

• Par exemple SPOT étant muni de trois canaux, une image multispectrale SPOT comprend donc trois tableaux. Une image SPOT en mode multispectral est constituée de 3 000 pixels x 3 000 pixels x 3 canaux soit un volume total de 27 Mo (Méga Octets).

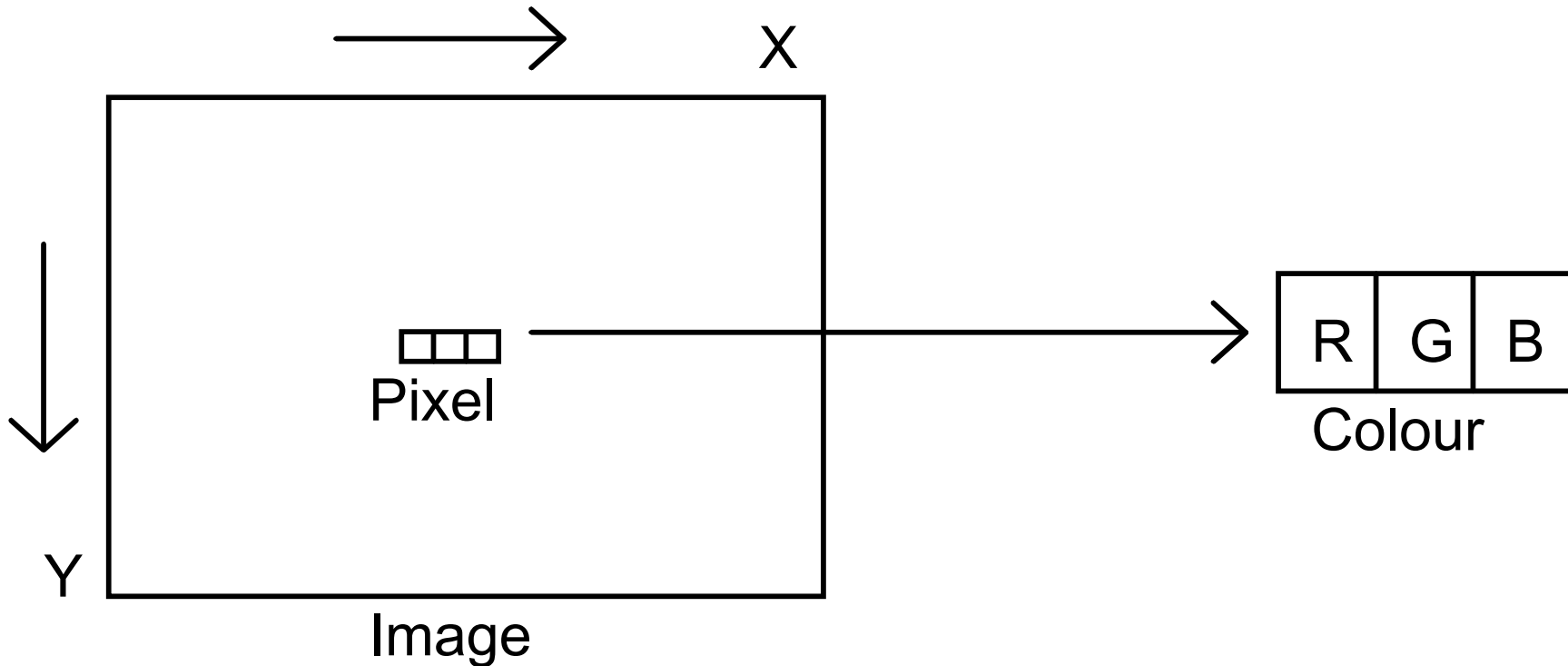
•

• Une image de 20 x 20 km d'un satellite à très haute résolution (1 m) serait quant à elle constituée de 20 000 x 20 000 pixels soit un volume total de 400 Mo.

• → les images satellites représentent des volumes considérables de données, ce phénomène se renforçant considérablement avec l'arrivée de satellites civils à très haute résolution spatiale.

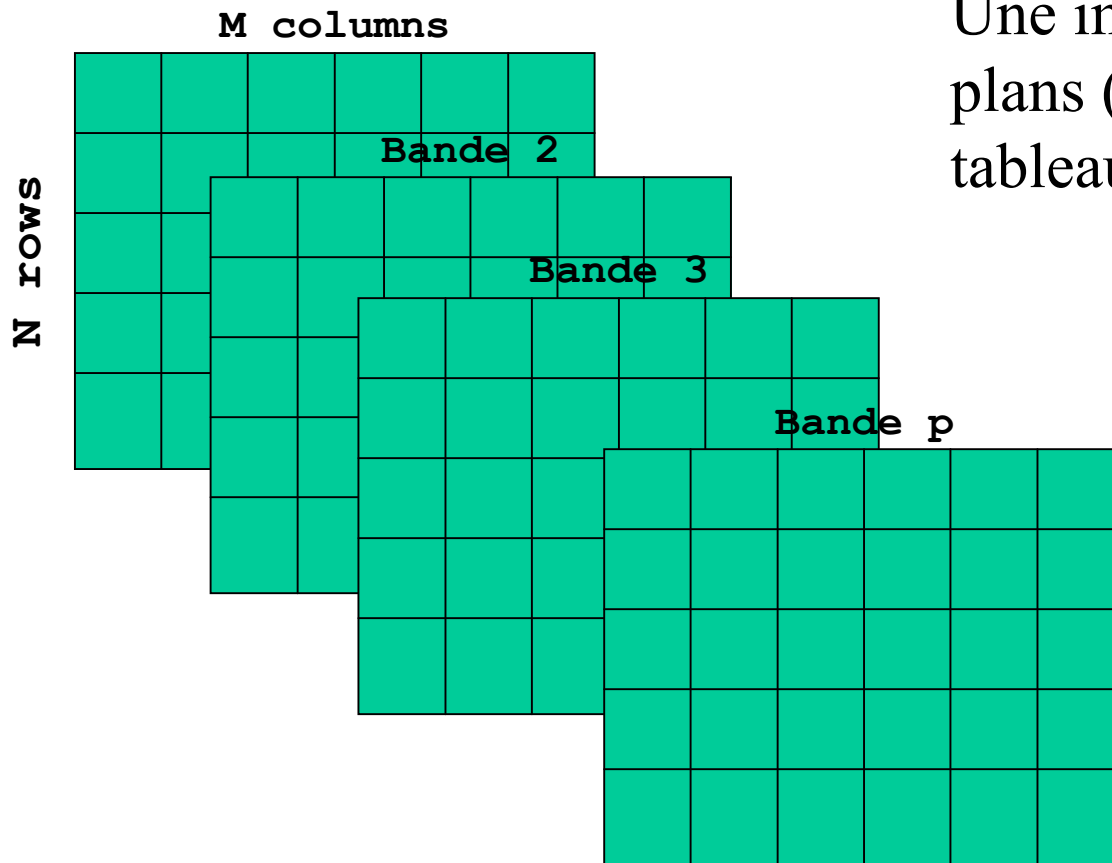
Visualisation

→ Image couleur



Un triplet de valeurs décrit chaque pixel. Ceci peut être vu comme : (3 * Tableau 2D) ou un (tableau 3D).

→ Image sat.: cas général



Une image = une structure 2D sur p plans (bandes ou canaux) $\Rightarrow$ un tableau $M \times N \times P$

Spot2/3: $p=3$

Spot4: $p=4$

Landsat TM: $p=7$

Pas forcément dans le visible (R,V,B)

Visualisation $\Rightarrow$ Image couleur

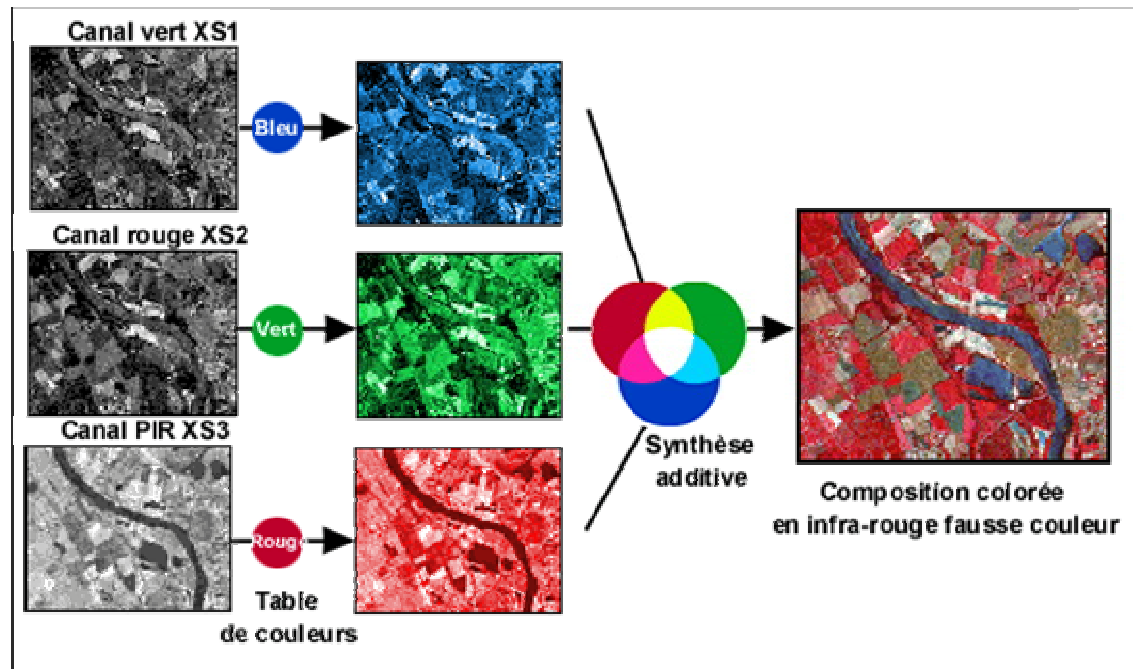
→ Solution

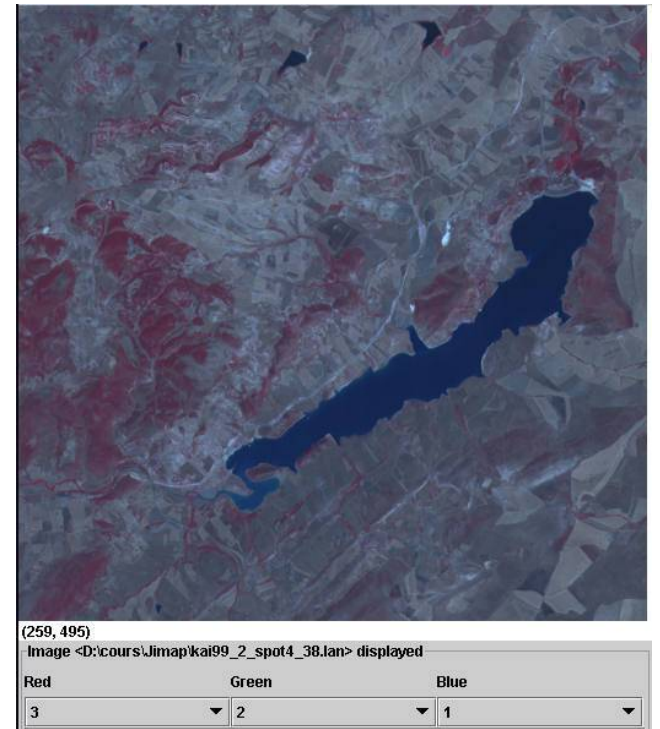
Une image en **pseudo-couleurs** (fausse couleur ou composition colorée)

- 1) Choix de 3 bandes $\{b\}$ parmi $\{P\}$.
- 2) Correspondance entre $\{b\}$ et $\{R,V,B\}$

Exemple: image SPOT 4 (4 bandes):

$\{P\} = \{\text{Vert}(1), \text{Rouge}(2), \text{Proche Infra Rouge}(3) \text{ et } \text{Moyen Infra Rouge}(4)\}$



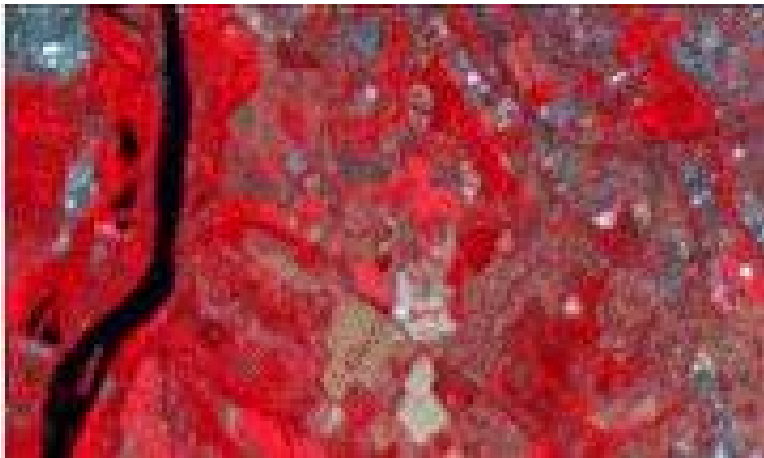


Quelques satellites

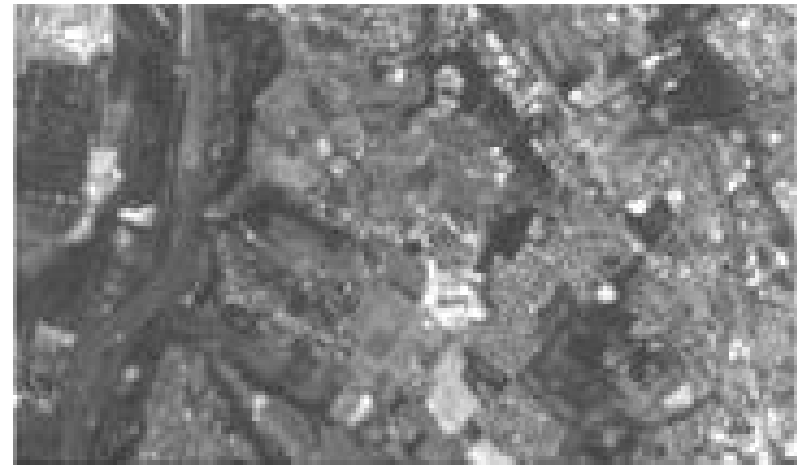
SPOT

Le système Spot opérationnel depuis 1986 met à la disposition des utilisateurs l'accès à trois satellites en orbite.

Depuis Spot 4, ce satellite donne la possibilité d'utiliser une quatrième bande spectrale et la parfaite registration du mode Panchromatique et Multispectral lui confère la capacité de produire des images 4 canaux à 10 mètres de résolution sur une zone de 3600 Km²



Spot 4 XS, 20 m



Spot 4 Panchro, 10 m

SPOT

Caractéristiques techniques :

**Heliosynchrone, Altitude 832 km,
Fauchée 60km * 60 km, répétitivité
26 jours**

Spot 1 à 3: 2 modes :

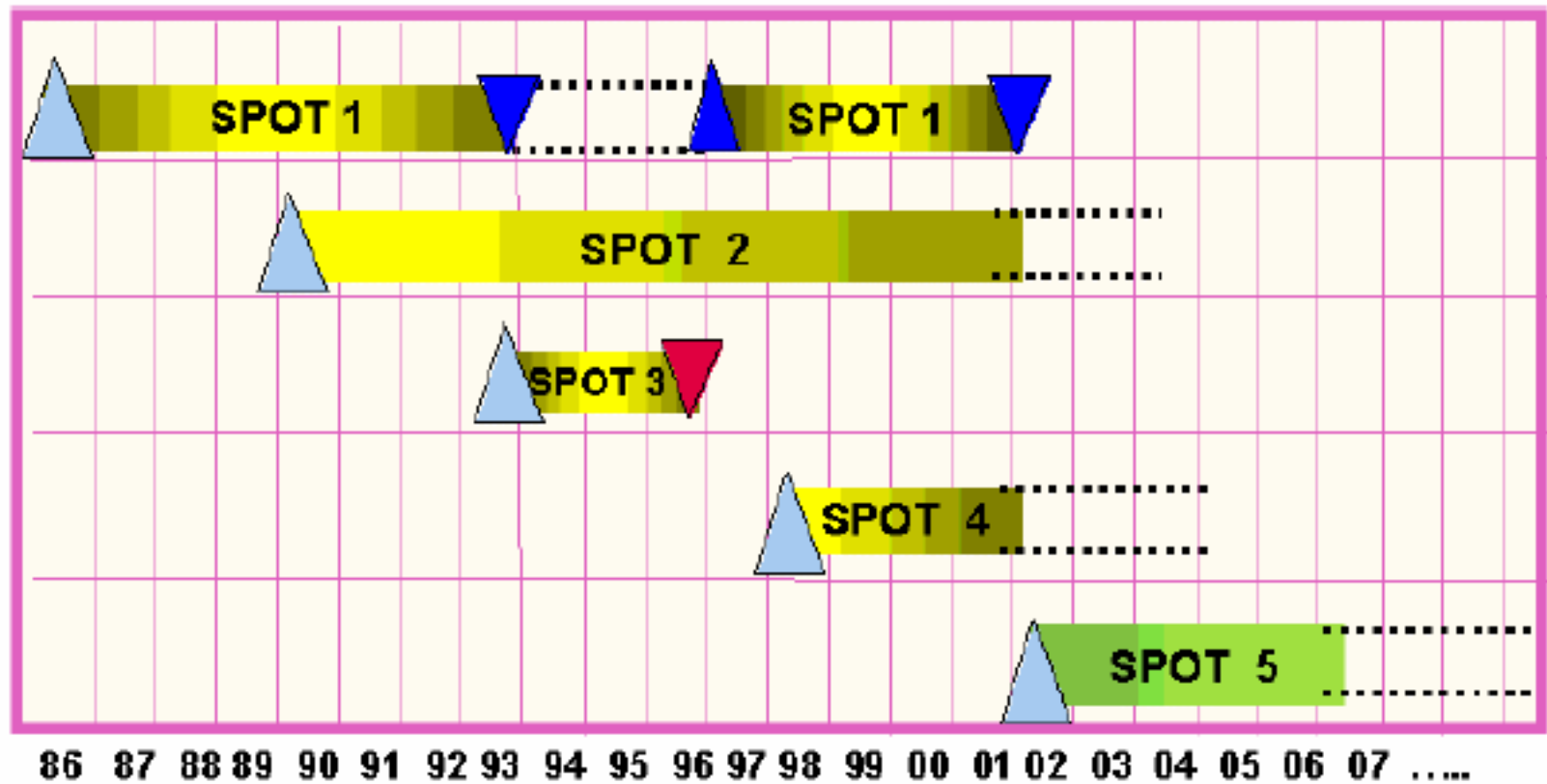
- **XS mode 3 bandes Vert, Rouge et Proche Infra Rouge résolution spatiale 20**
- **PAN mode 1 bande le visible résolution spatiale 10 m**

Spot 4 : 2 modes :

- **XI mode 4 bandes Vert, Rouge, Proche Infra Rouge et Moyen Infra Rouge résolution spatiale 20 m**
- **PAN mode 1 bande Rouge résolution spatiale 10 m**



SPOT: Chronologie des Missions



Satellite	SPOT 1,2,3	SPOT 4	SPOT 5
Masse	1 800 kg	2 760 kg	3 000 kg
Vitesse du satellite	7,4 km/s	7,4 km/s	7,4 km/s
Durée du cycle orbital	26 jours	26 jours	26 jours
Durée de vie	3 ans	5 ans	5 ans
Orbite	<i>Héliosynchrone</i> circulaire	Héliosynchrone circulaire	Héliosynchrone circulaire
Altitude	822 km	822 km	822 km
Résolution Mode <i>panchromatique</i> (noir et blanc)	10 m	10 m	2,5 ou 5 m
Résolution Mode <i>multispectral</i> (couleur)	20 m	20 m	10 m

Landsat

Les satellites Landsat ont la caractéristique de posséder 6 bandes spectrales avec une résolution de 30 mètres et depuis Landsat 7 d'avoir un panchromatique à 15 mètres. Bien que d'une fauchée supérieure à Spot (185 km), la donnée est moins accessible du fait qu'un seul satellite (Landsat 7) est maintenu commercialement.



Spot XS1 XS3 XS2 du 7 août 1992



Landsat TM2 TM4 TM3

Landsat

Caractéristiques techniques de Landsat 7:

Heliosynchrone, Altitude 705 km, Fauchée 185km * 185 km répétitivité 16 jours

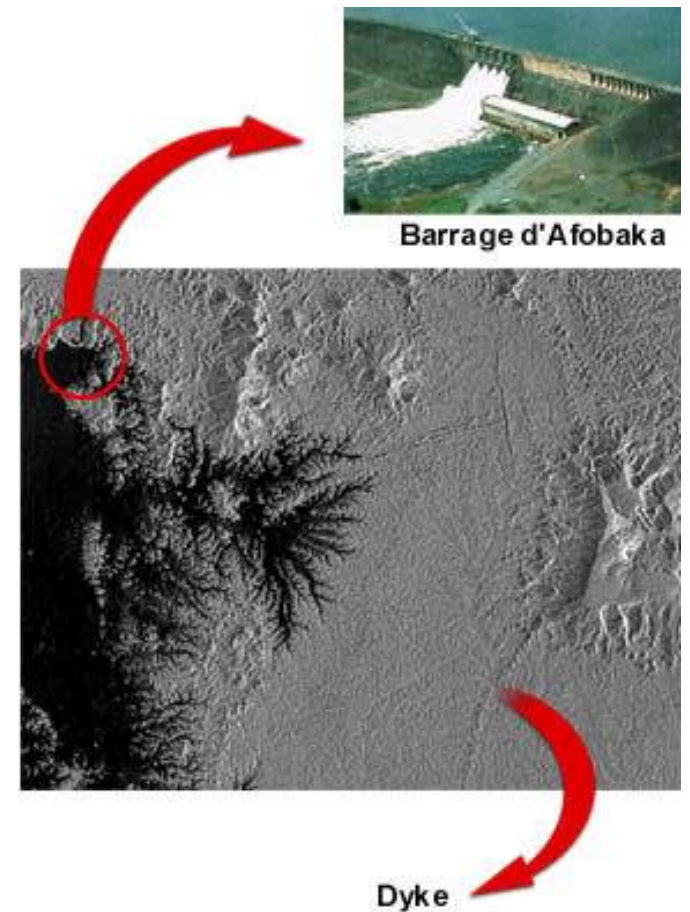
2 modes :

- Multispectral mode 6 bandes Bleu, Vert, Rouge, Proche Infra Rouge, Moyen Infra Rouge 1 et Moyen Infra Rouge 2 résolution spatiale 30 m plus une bande Infra Rouge Thermique à 60 m**
- PAN mode 1 bande le visible résolution spatiale 15 m**

ERS

Les satellites européens ERS (ERS1 et ERS2, lancés respectivement en 1991 en 1995, à 785 km d'altitude) sont des satellites actifs : ils émettent vers le sol des ondes radar (longueur d'onde d'environ 5 cm) sous forme d'impulsions très brèves dont ils enregistrent immédiatement les échos "déformés" par le sol ou la surface de l'océan.

Grâce à ce système de télédétection actif, ERS peut observer la Terre de nuit comme de jour et "voir" à travers les nuages.



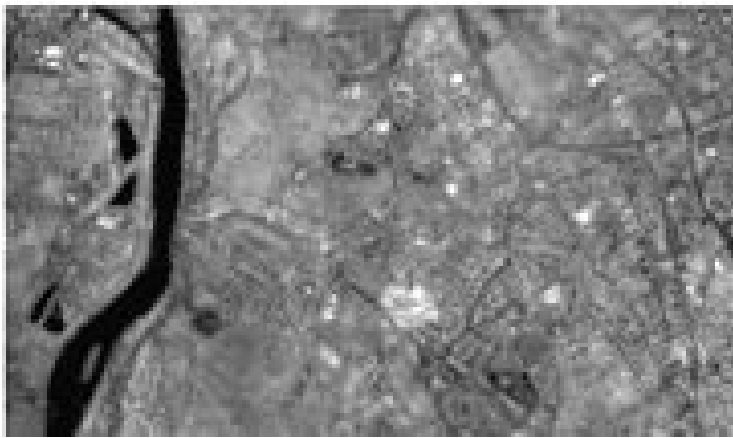
ERS

Caractéristiques techniques de ERS:

- Orbite circulaire héliosynchrone
- Altitude 785 km
- Inclinaison : 98.5°
- Cycle orbital : entre 3 et 176 jours

IKONOS

Premier satellite civil à 1 mètre de résolution spatiale, Ikonos est de la famille des satellites de type agile (ils bougent sur les trois axes afin d'adapter l'angle de prise de vue à la zone visée). Sa haute résolution spatiale le dédie aux applications urbaines



Panchro: 1m



Xs: 4m

IKONOS

Caractéristiques techniques :

→ **Spaceimaging**

- Heliosynchrone, Altitude 681 km,
- Fauchée 11km * 11 km
- Orbite tout les 98 minutes → 14.7 orbites / 24 heures
- répétitivité 3 jours

• 2 modes :

- Multispectral mode 4 bandes Bleu, Vert, Rouge, Proche Infra Rouge, résolution spatiale 4 m plus une bande Infra Rouge Thermique à 60 m

- PAN mode 1 bande (le visible et le proche Infra Rouge) résolution spatiale 1 m

Scène enregistré de superficie de 121 Km²



IKONOS

Résolution spectrale (μm)	Résolution spatiale (m)	Largeur d'analyse (km)	Période de révision	Altitude de l'orbite
Panchromatic : 0,45 - 0,90	1 × 1	11	~3 days	681 km, near polar, sun- synchr onous
canal 1 (bleu) : 0,45 - 0,50	4 × 4			
canal 2 (vert) : 0,52 - 0,60				
canal 3 (rouge): 0,63 – 0,69				
canal 4 (proche infrarouge) : 0,76 - 0,90				

Quickbird

→ DigitalGlobe.

- Mis en orbite en 18 octobre 2001
- Altitude 450 Km
- Orbite tout les 98 minutes → 14.7 orbites / 24 heures
- Fréquence de revisite max de 3.5 jours
- Le premier vaisseau spatial à fournir une résolution inférieure à un mètre.
- Peut produire des images couleur de taille 2.44 m et noir & blanc de taille 0.61m.
- Scène enregistré de superficie de 100 Km²

Quickbird

Mode		Bande spectrale	Résolution
Panchromatique		0,450 - 0,900 μm	0,61 m x 0,61 m
Multispectrale	1	0,450 - 0,520 μm	2,44 x 2,44 m
	2	0,520 - 0,600 μm	2,44 x 2,44 m
	3	0,630 - 0,690 μm	2,44 x 2,44 m
	4	0,520 - 0,600 μm	2,44 x 2,44 m

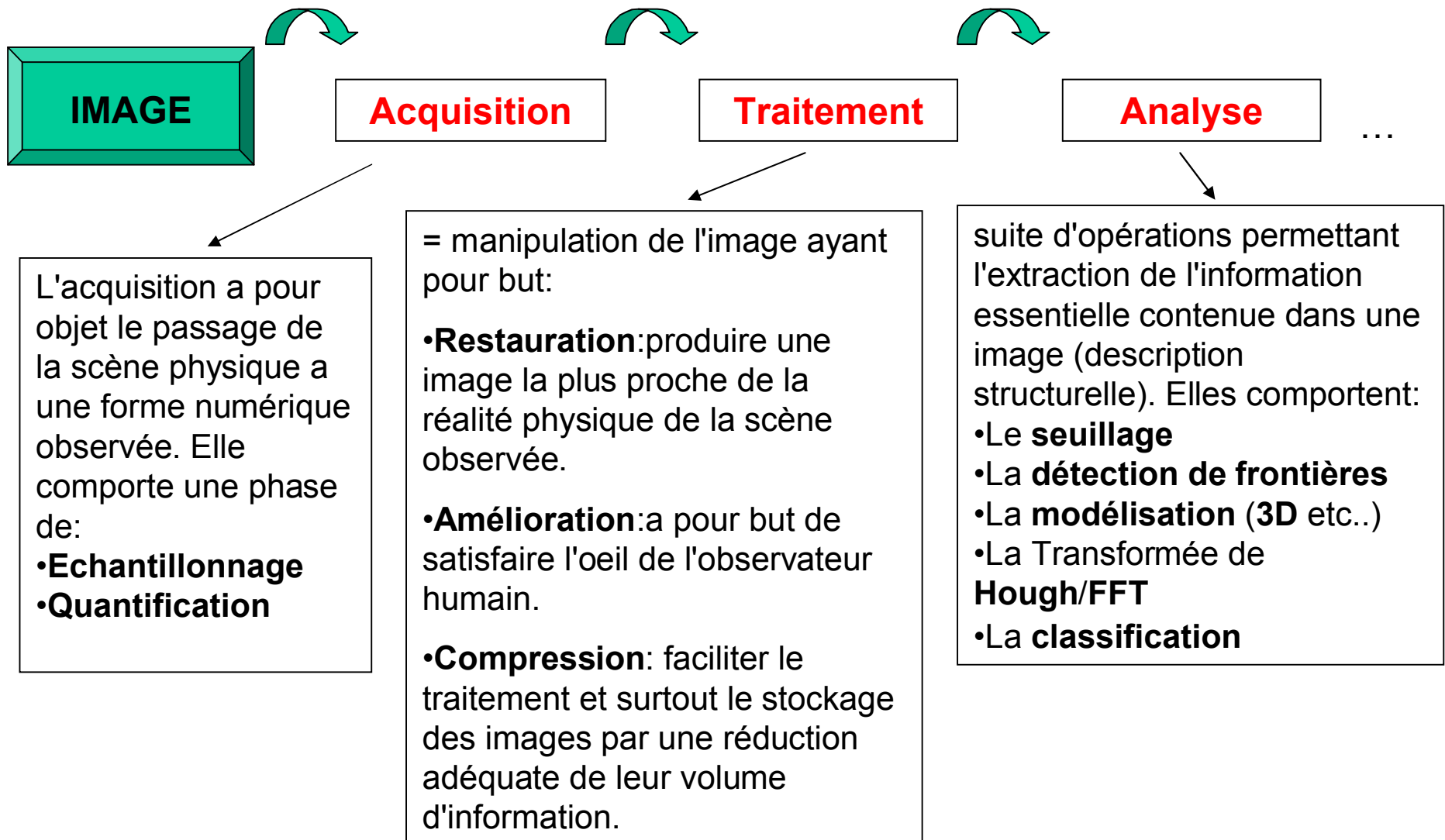
Quickbird



Pour plus d'informations

- <http://www.spaceimaging.com>
- <http://www.digitalglobe.com>
- <http://www.cnes.fr>
- <http://www.spotimage.fr>

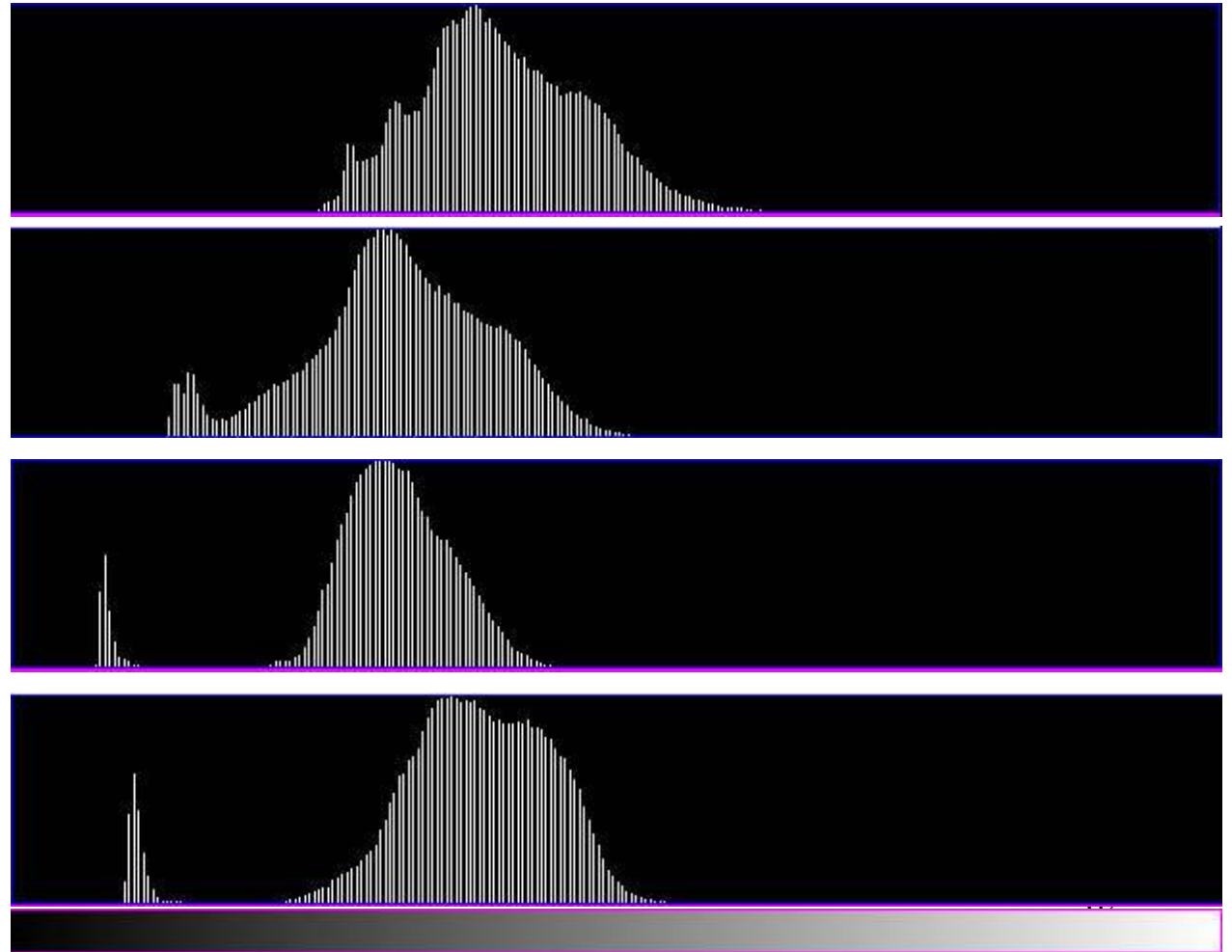
Traitement/Analyse des images de télédétection



Histogramme

1D: La distribution statistique d'une bande spectrale → Effectif de i

En général: $0 \leq i < 255$



Statistiques

---->Bande 1 : Min =55 Max =254 Mean =104.72
Stdev=18.07

---->Bande 2 : Min =31 Max =223 Mean =82.74
Stdev=19.72

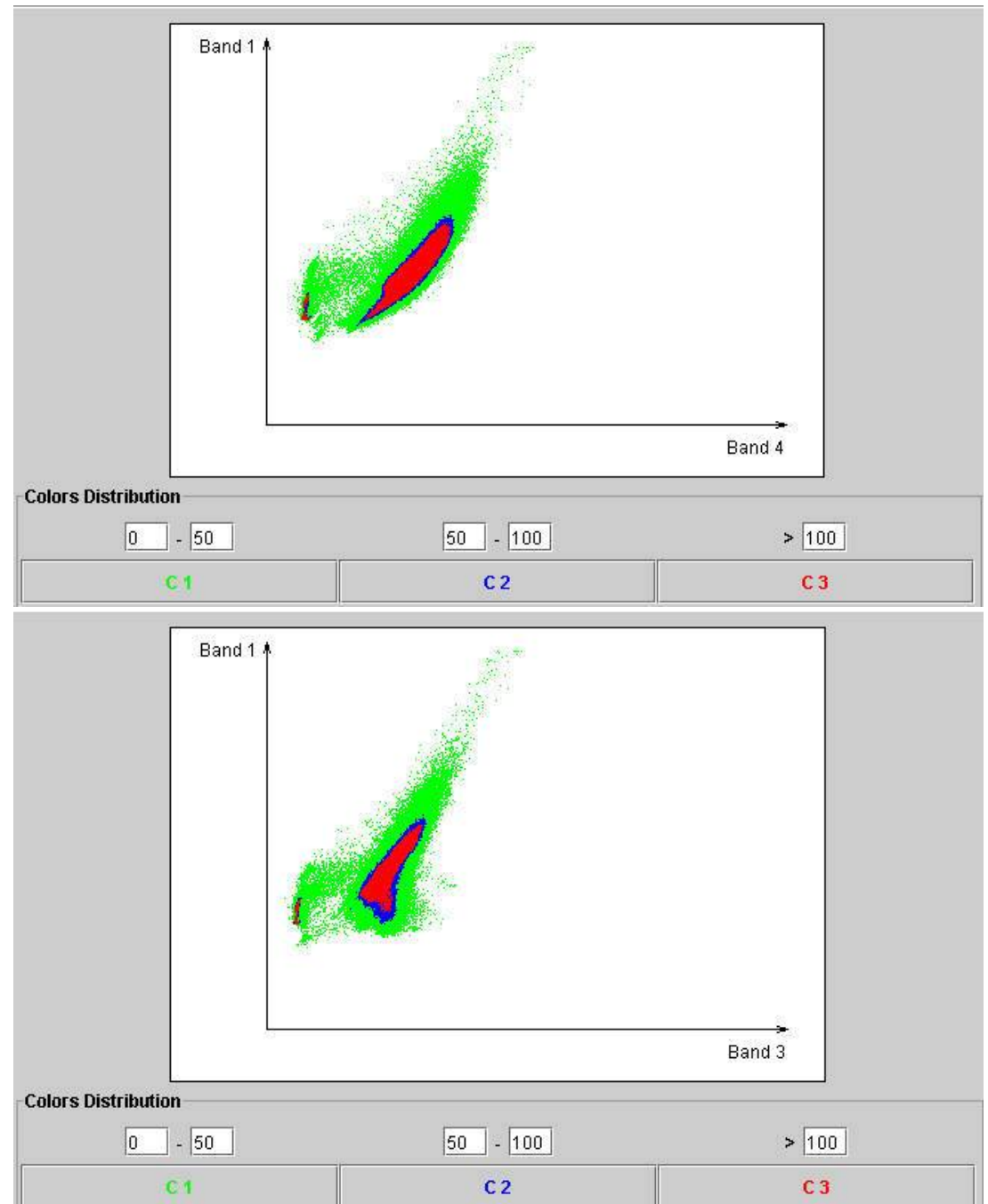
---->Bande 3 : Min =12 Max =171 Mean =78.85
Stdev=17.68

---->Bande 4 : Min =17 Max =179 Mean =95.25
Stdev=21.86

2D: Effectif (i,j)

$i \in \text{bande } m$

$j \in \text{bande } n$

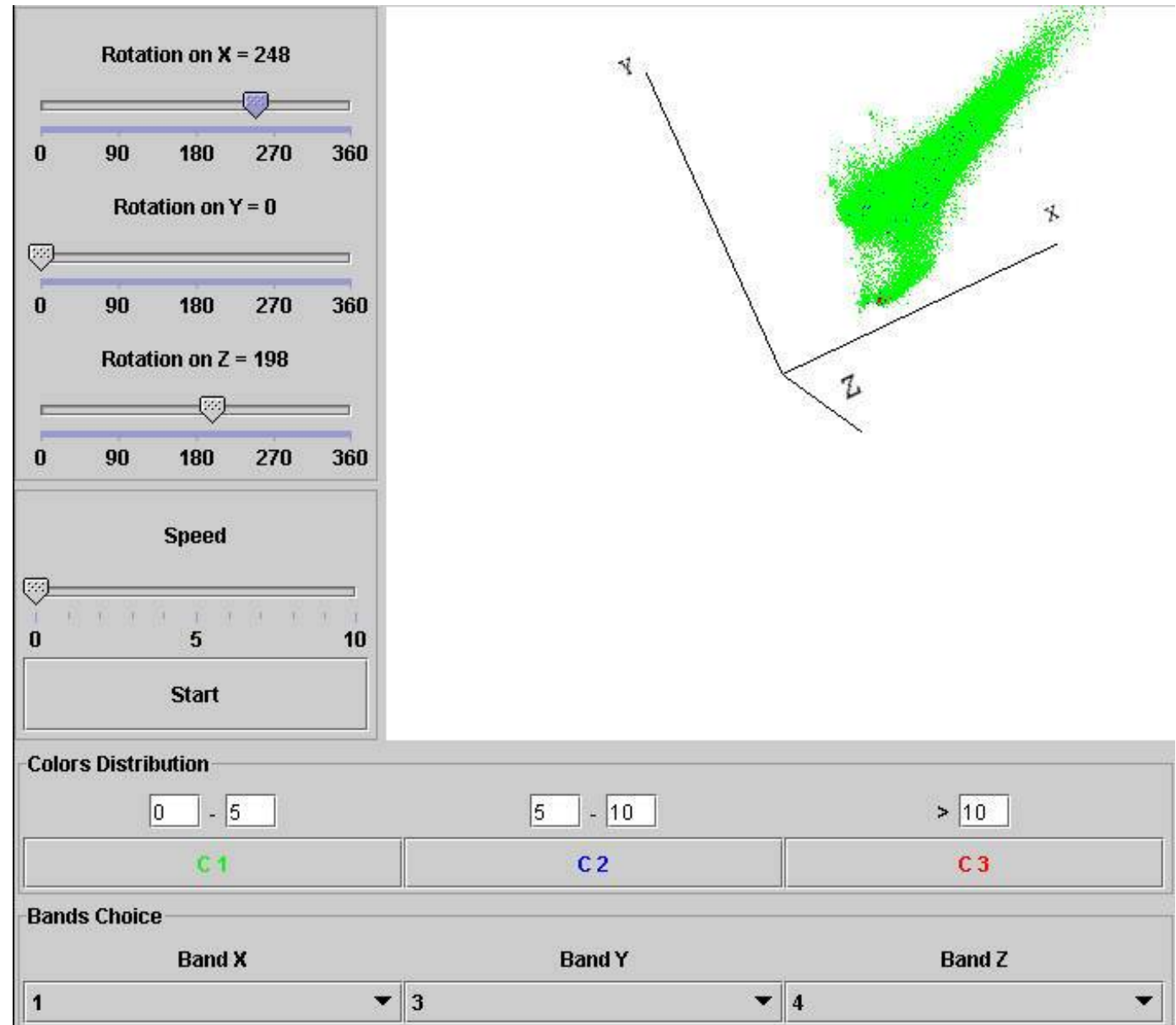


3D: Effectif (i,j,k)

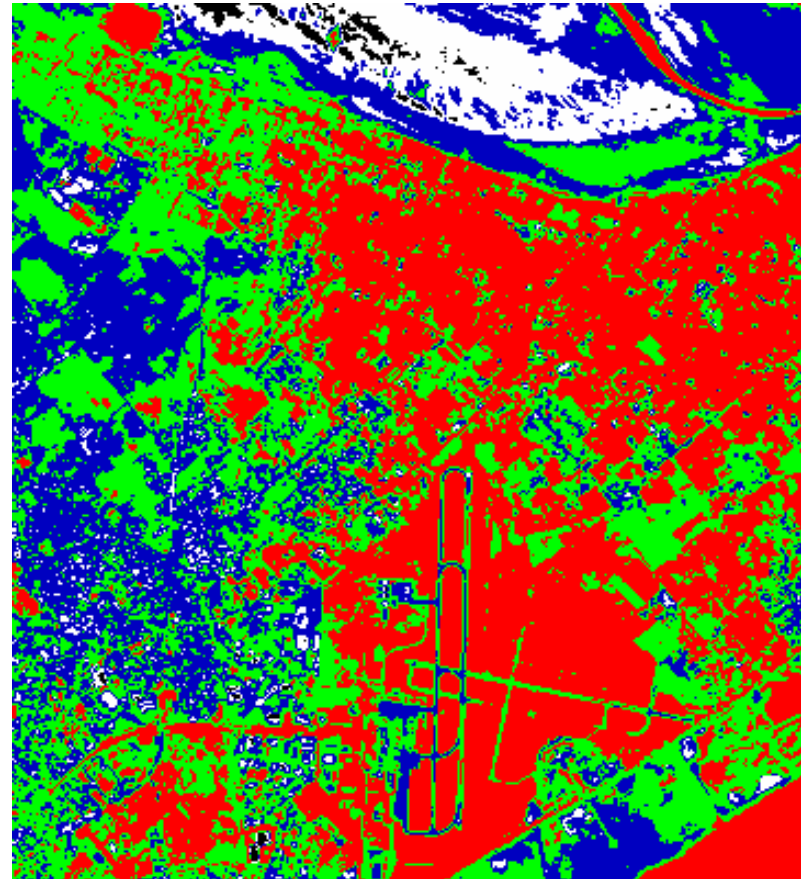
$i \in \text{bande } m$

$j \in \text{bande } n$

$k \in \text{bande } p$



Classification



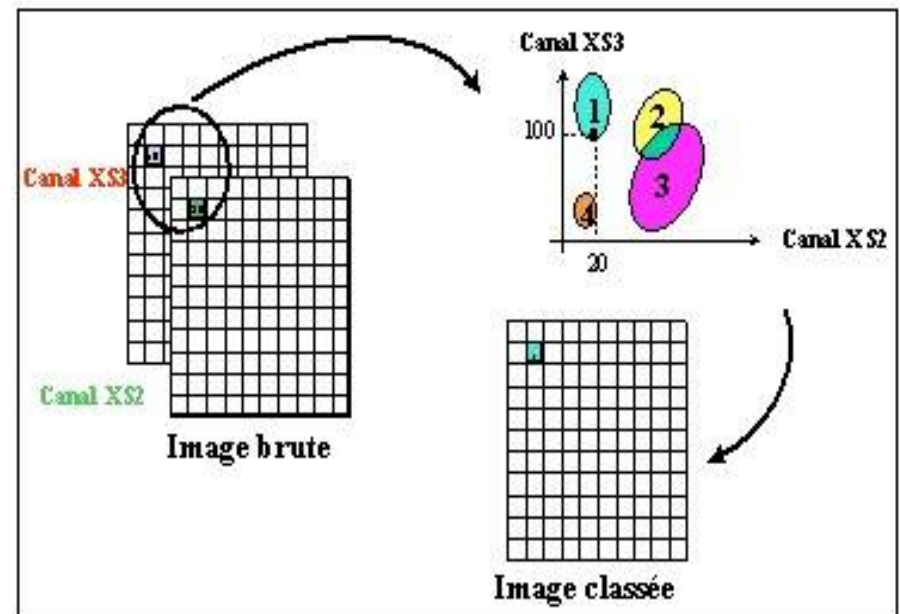
Méthodologie de classification

- la classification se résume à une division de l'espace de caractéristiques en partitions disjointes.

Classification = Segmentation + Identification

Non supervisée:

- Aucune connaissance *a priori* sur les constituants de l'image.
- Apprentissage et extraction automatique des caractéristiques des classes.



Principe de la classification thématique d'une image

Classification par Clustering: K-means

- On dispose de nuages de points (vecteurs) dans un espace de dimension N .
- Chaque nuage représente une classe
 - On cherche le centre de chaque nuage qui est son point représentatif.
- Le nombre de classe est fixé a priori.

Algorithme du K-mean

- 1-Initialisation: On fait une partition arbitraire de l'ensemble d'échantillons en un nombre M de clusters.
- 2- Associer chaque pixel au cluster le plus proche
- 3- Les centres des clusters vont se déplacer et les nouveaux centres sont calculés à partir de tous les pixels du cluster considéré
- 4- Répéter sur 2 et 3 jusqu'à ce que une condition d'arrêt est satisfaite.

K-means: Init./Condition d'arrêt 1

Initialisation des centres de classes:

- Uniformement
- Aléatoire

Condition d'arrêt:

- Mesurer le pourcentage des pixels qui ont changer d'une itération a une autre. Arrêter l'algorithme au dessous d'un certain seuil (2% ou moins).
- Simplement fixer le nombre d'itérations.

FCM (Logique Floue)

- L'appartenance d'un élément X a un ensemble P n'est pas affirmative comme le cas de la logique binaire
- On parle de la notion de degré d'appartenance
 - ✓ Un élément x appartient a un ensemble P_i avec un degré d'appartenance u_i
 - ✓ La somme des degrés d'appartenance d'un élément est égale a 1

Notations

- x_j un pixel de l'image (ayant n pixels)
- c_i un représentant ou un prototype d'un cluster de l'ensemble C des clusters .
- u_{ij} le degré d'appartenance de x_j au cluster c_i (on pose $U=[u_{ij}]$ matrice $C*N$)
- $d_E(x_j, c_i)$ la distance Euclidienne entre x_j et c_i .

Principe du FCM

Partitionnement de l'image en n classes (clusters). Chaque pixel appartient à une classe avec un degrés d'appartenance.

Ceci peut être formulé comme étant une minimisation d'une fonction objective:

$$J(C, U, X) = \sum_{i=1}^C \sum_{j=1}^N (u_{ij})^m d_E^2(x_j, c_i)$$

M réel positif appelé « Fuzzifier »

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^C \left(\frac{d_E^2(x_j, c_i)}{d_E^2(x_j, c_k)} \right)^{\frac{1}{m-1}}}$$

Algorithme

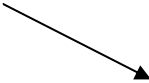
1) Fixer le nombre de classes C, Fixer m

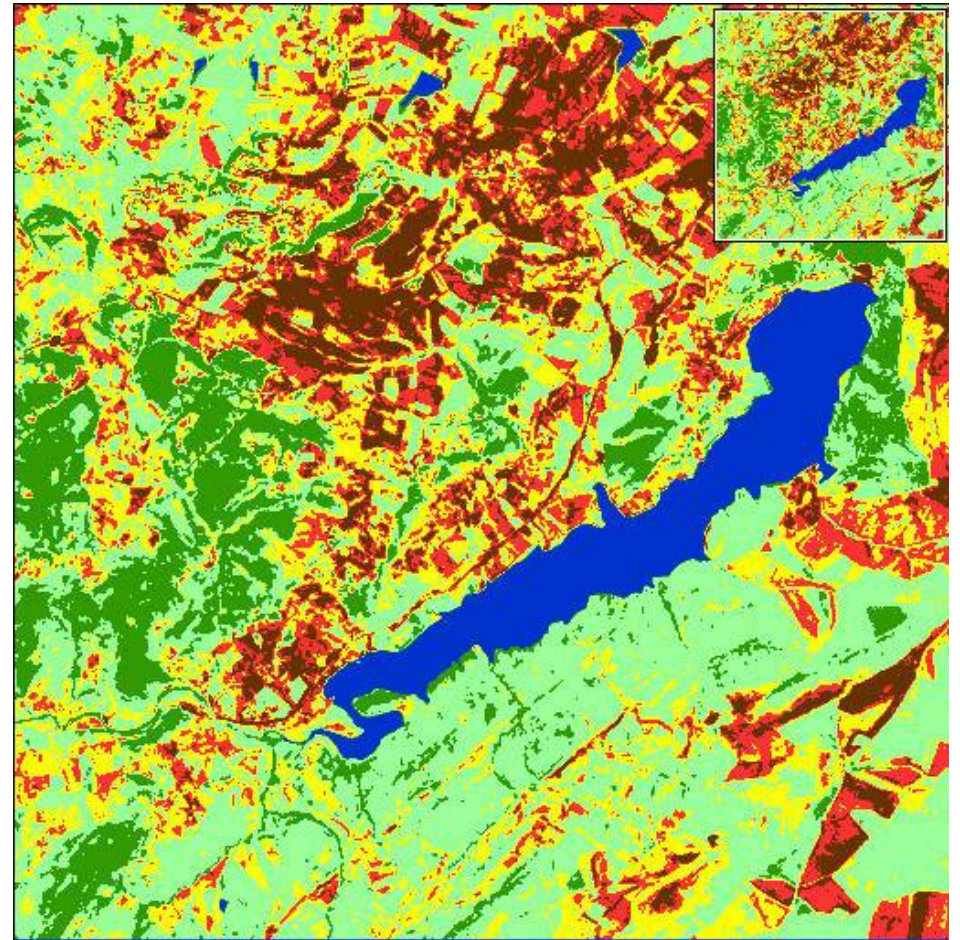
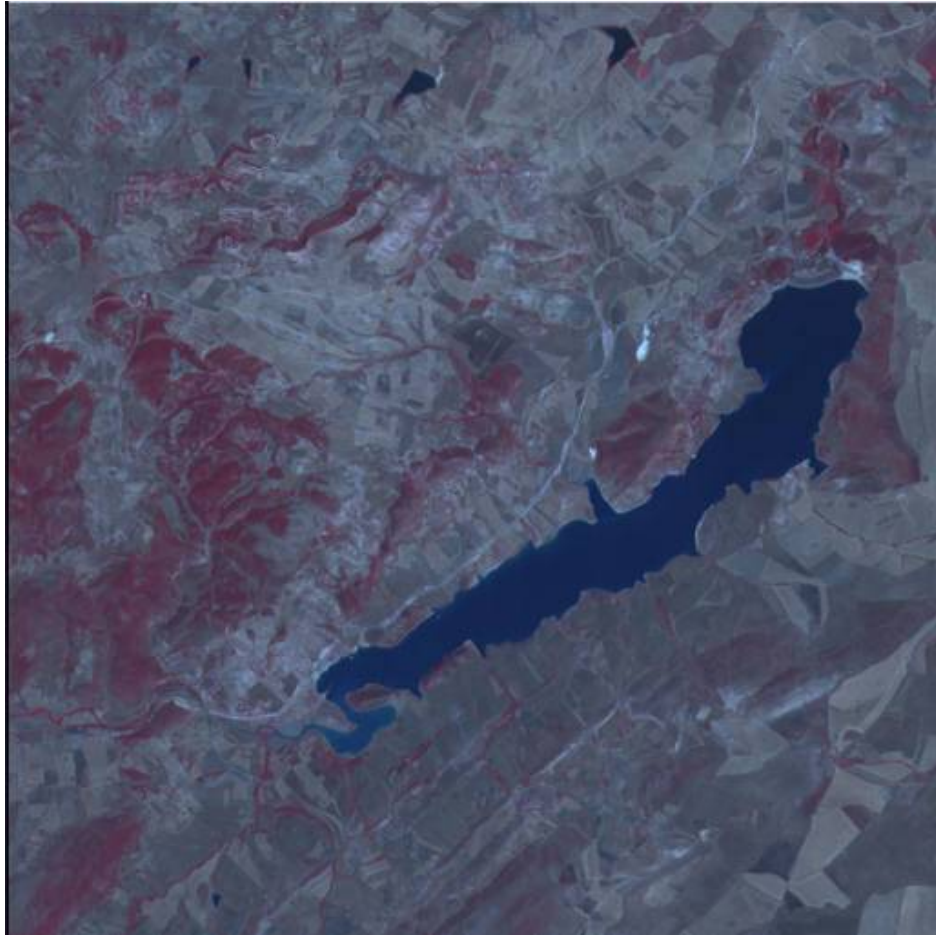
Faire

2) Mettre à jour chaque centre de classe

3) Mettre à jour la matrice U

Tan que (condition arrêt=false)


$$c_i = \frac{\sum_{j=1}^N (u_{ij})^m x_j}{\sum_{j=1}^N (u_{ij})^m}$$



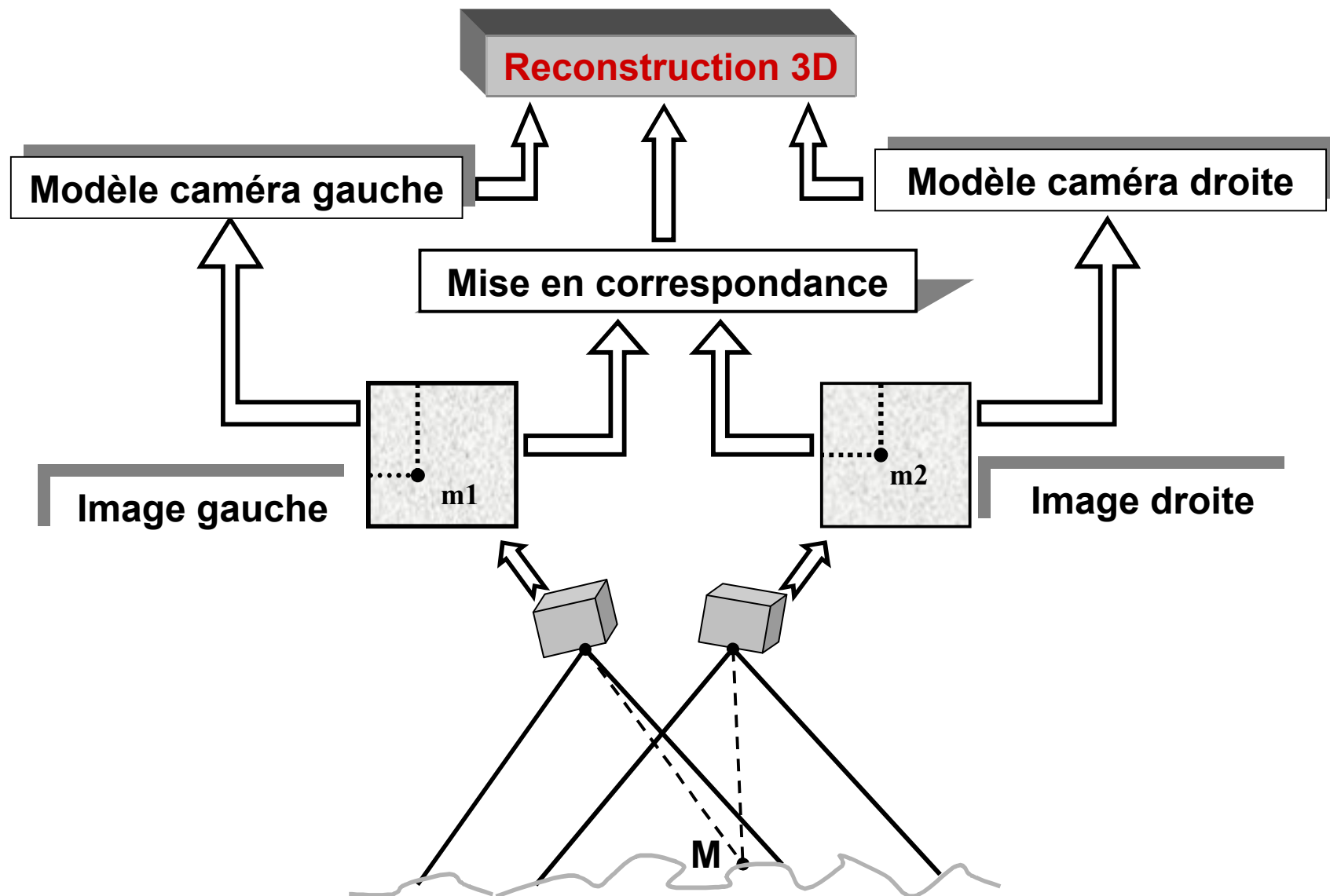
Value	Label	Count	Red	Green	Blue	Color
0	1	15892	0	51	204	...
1	2	30792	51	153	0	...
2	3	88869	153	255	153	...
3	4	25469	102	51	0	...
4	5	39671	255	51	51	...
5	6	61451	255	255	0	...

Reconstruction 3D

- Interprétation Géologique
- Télécommunications
- Planning de construction
- Simulation de vol
- Intégration de GIS (Système d'Information Géographique)

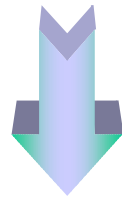
Stéréovision: Principe

→ Stéréovision

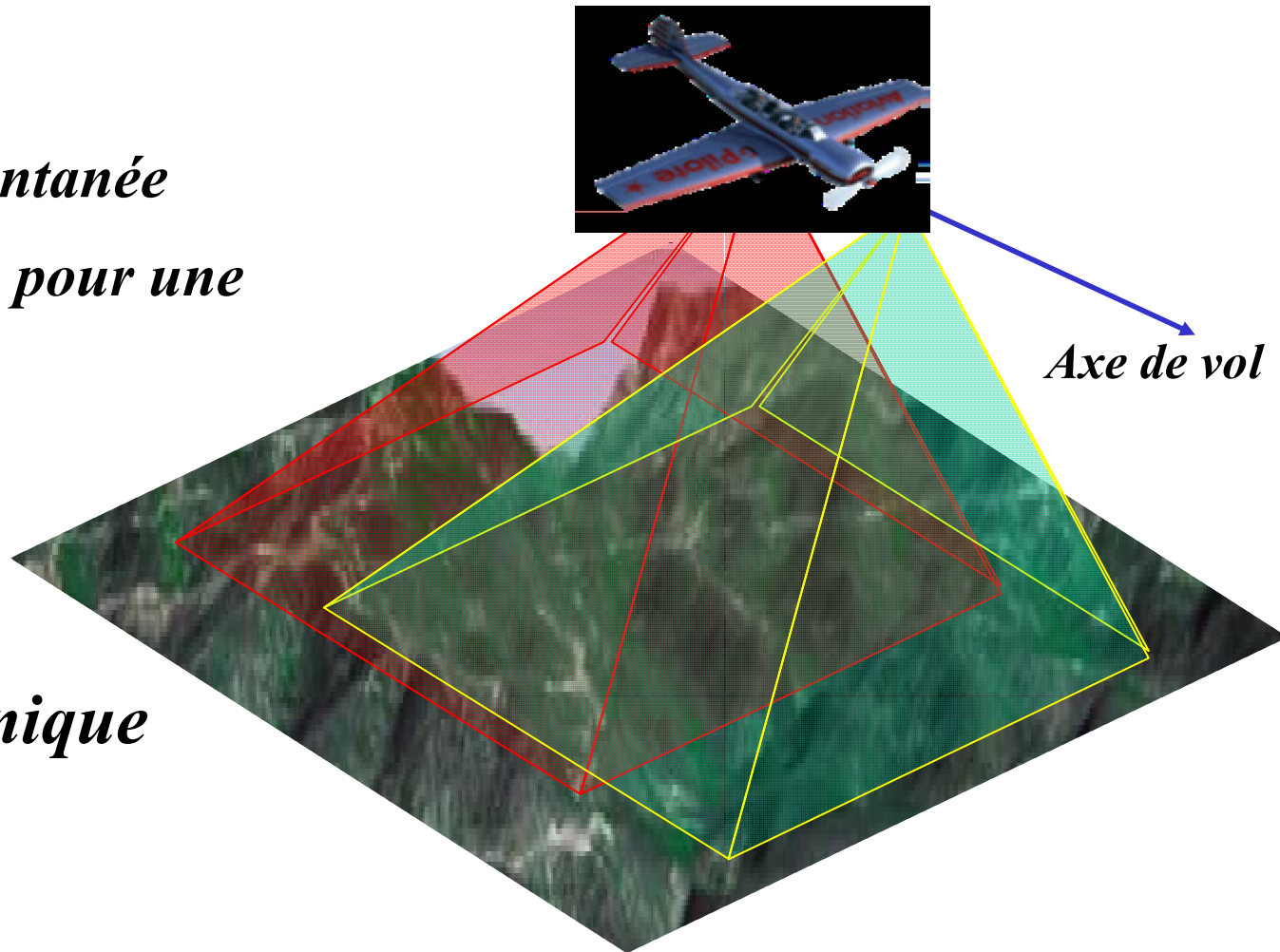


Acquisition : Stéréoscopie aérienne

- *Acquisition instantanée*
- *Centre optique fixe pour une image*



Perspective conique



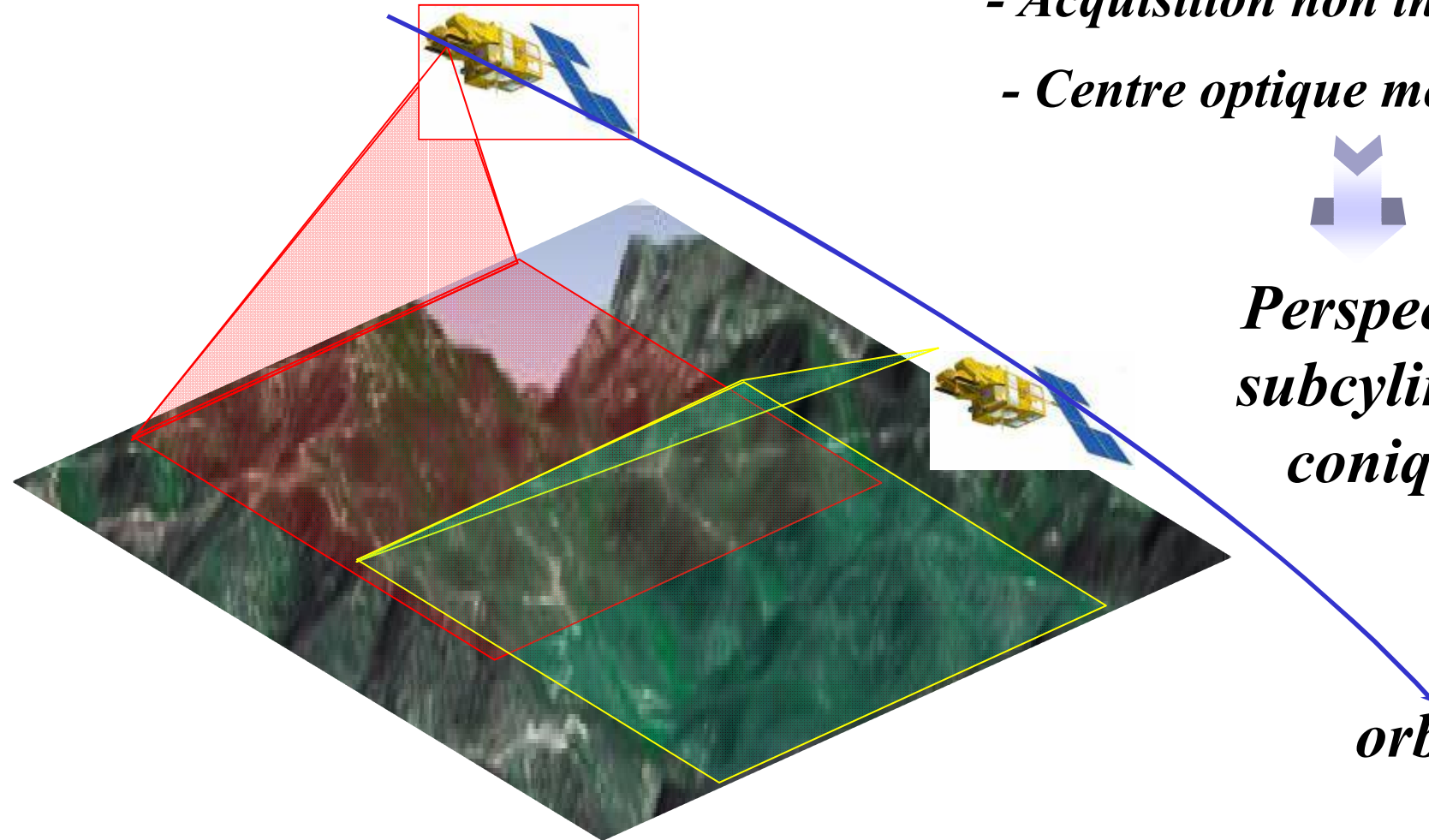
Acquisition : Stéréoscopie satellitaire

- *Acquisition non instantanée*
- *Centre optique mobile*



*Perspective
subcylindro
conique*

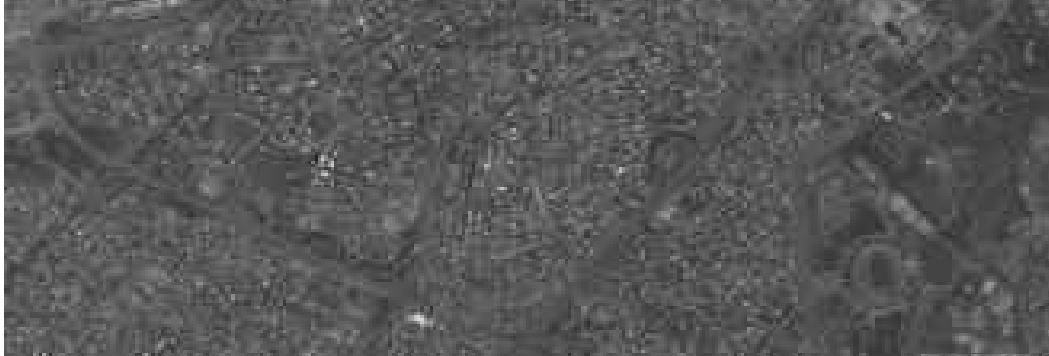
orbite



Aériennes



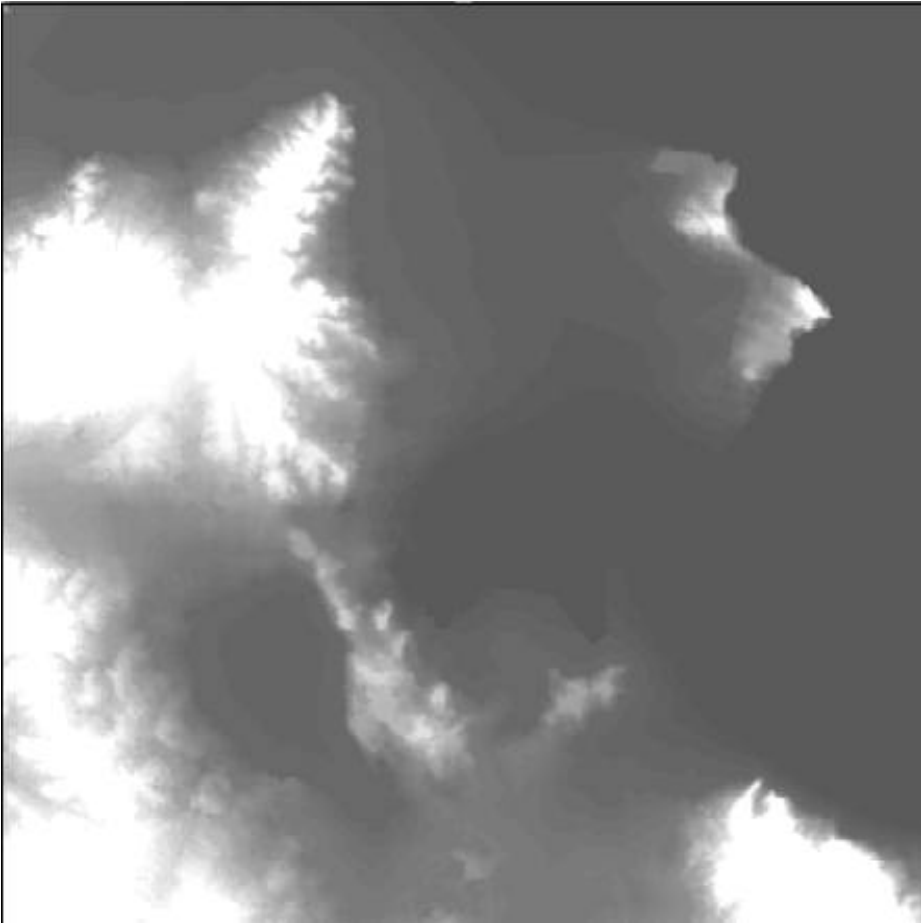
Satellites (SPOT5)



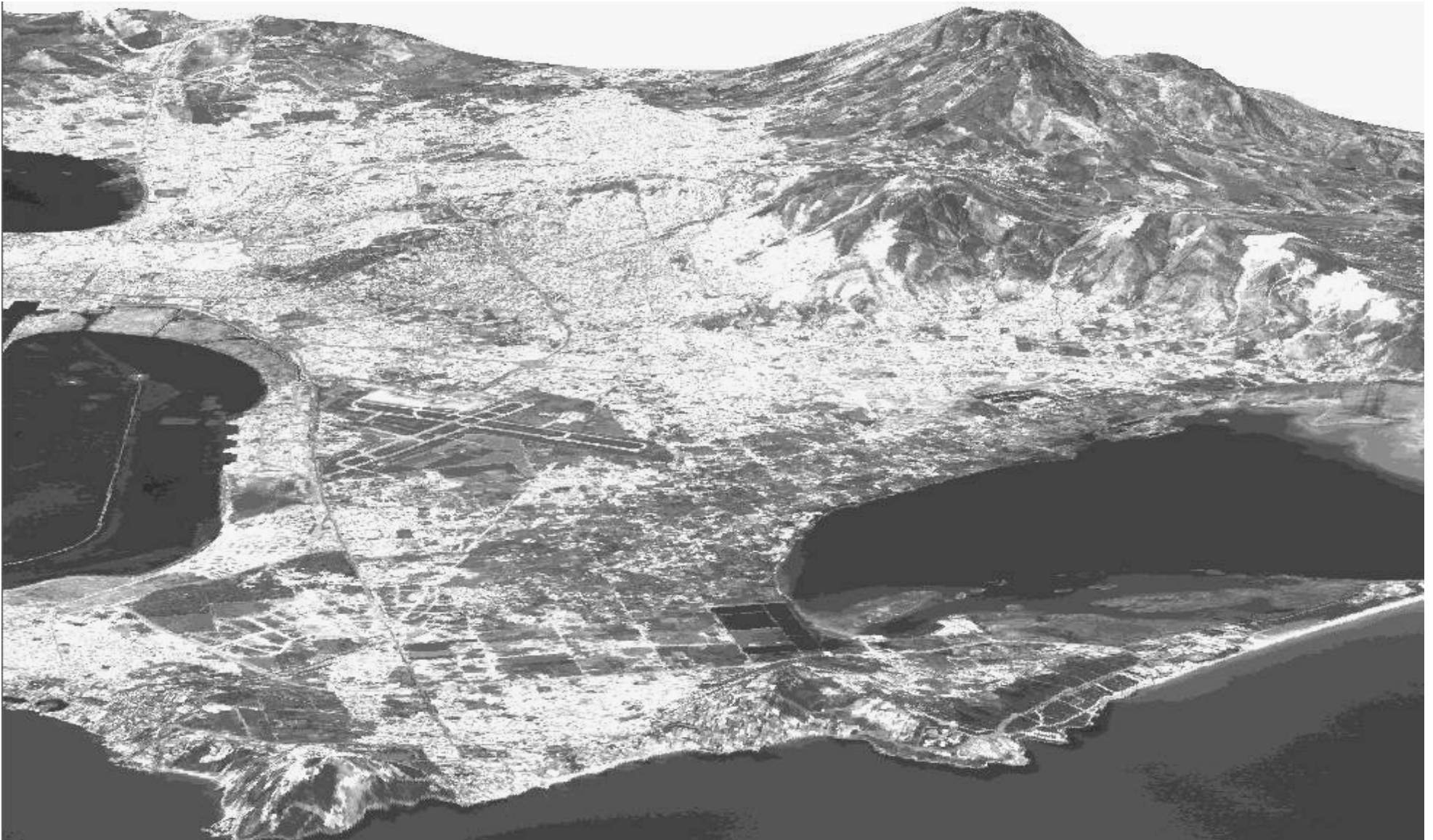
Satellites (IKONOS)

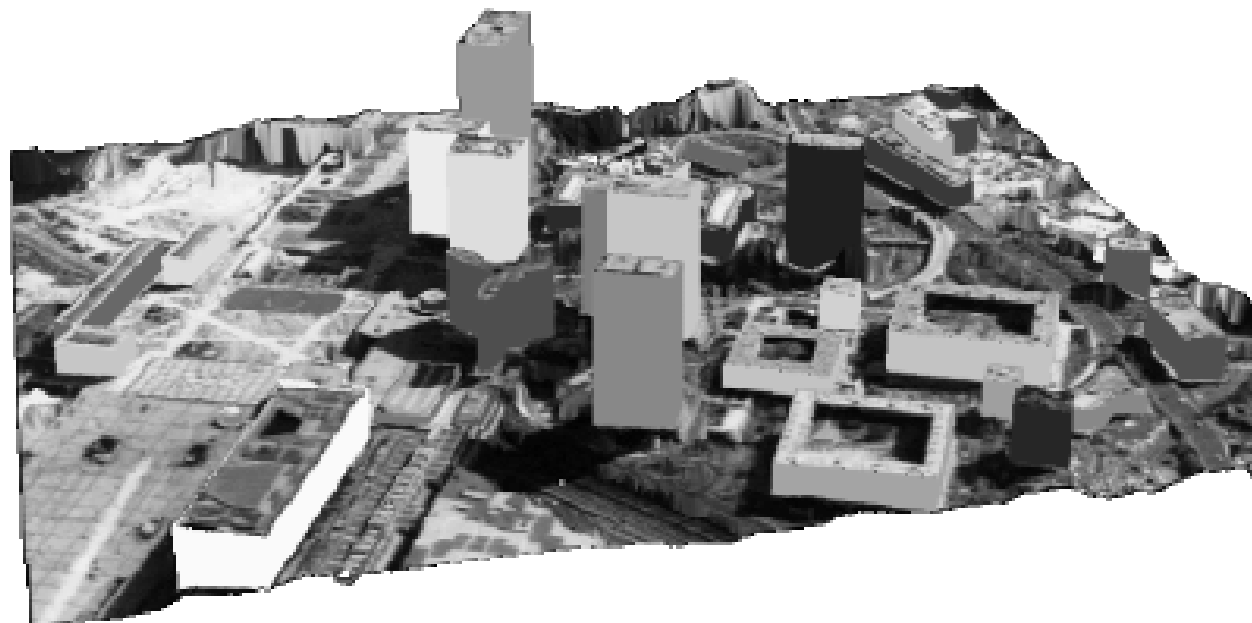


MNT



Visualisation 3D





Navigation 3D

