

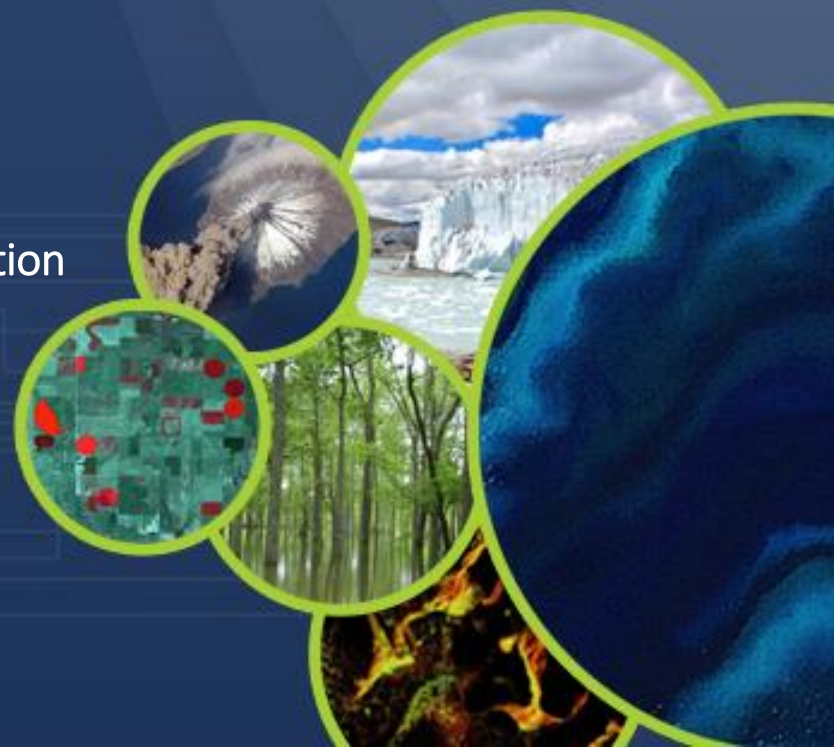
Série de formations associées au



**Recovery
bservatory Haiti**

Exploiter et créer des produits issus de l'observation de la terre par satellite

- Techniques et technologies spatiales pour l'observation de la terre
- RAZOR : un outil de modélisation pour l'évaluation des risques
- Introduction à la cartographie
- Formation imagerie spatiale
- Charte « espace et catastrophes naturelles »





1^{er} module : Les techniques et technologies spatiales pour l'observation de la terre et leur contraintes

par Frédéric MOLL, chef de projet au CNES (Agence Française de l'Espace)
avec la participation de Gabriel JEAN-BAPTISTE, spécialiste du CNIGS





Le **CEOS** est un groupement international chargé de l'observation de la terre par satellite

Il coordonne l'action des agences spatiales qui développent des missions d'Observation de la Terre.

Sa mission

- « Le CEOS assure la coordination internationale des programmes d'observation de la Terre axés sur le spatial civil et favorise l'échange de données pour optimiser les avantages sociétaux globaux et informe les décideurs étatiques pour assurer un avenir prospère et durable pour l'humanité »

9 agences en 1984, aujourd'hui 32 agences membres et 28 membres associés couvrant la grande majorité des acteurs spatiaux de la planète.



- Le CEOS est organisé en groupes de travail
 - Dont le groupe « WG disaster »
- Le « WG disaster » est organisé autour de 5 activités « pilotes » :
 - Risque sismique (ESA, INGV)
 - Risque volcanique (ASI, USGS)
 - Risque d'inondations (NASA, NOAA)
 - Risques gravitaires (NASA, USGS, EOST)
 - Observatoire du Relèvement / Recovery Observatory (CNES)

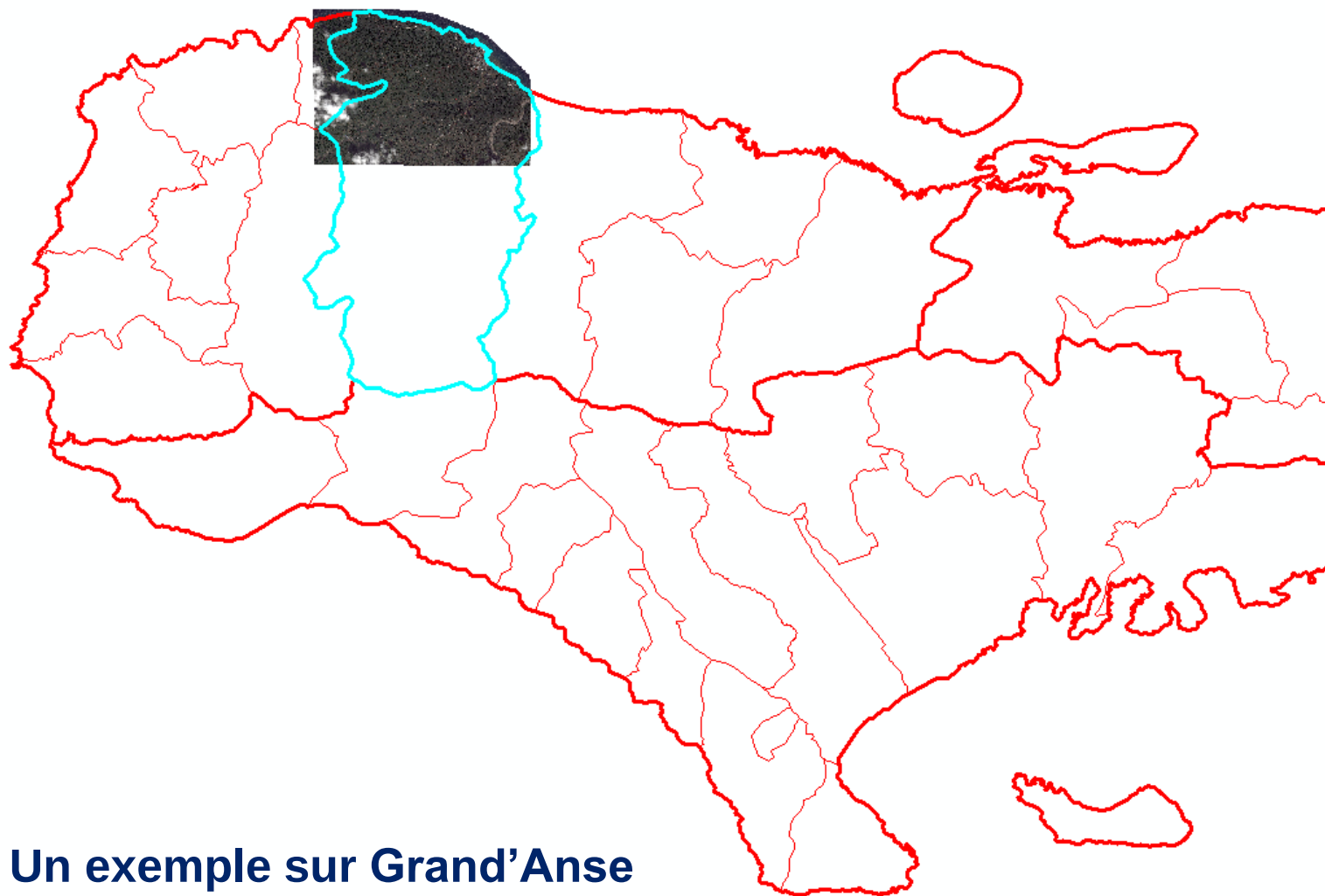


- Passage du **cyclone Mathieu** le 5 oct 2016,
- Déclenchement du RO sur 3 départements du Grand Sud fortement touchés



Objectif du RO sur Haïti :

- Doter Haïti des outils nécessaires au suivi de la reconstruction du Pays suite au passage du cyclone
- Transmettre le savoir faire pour permettre un suivi long terme par les organismes gouvernementaux Haïtiens
- Alimenter le pays en images satellites

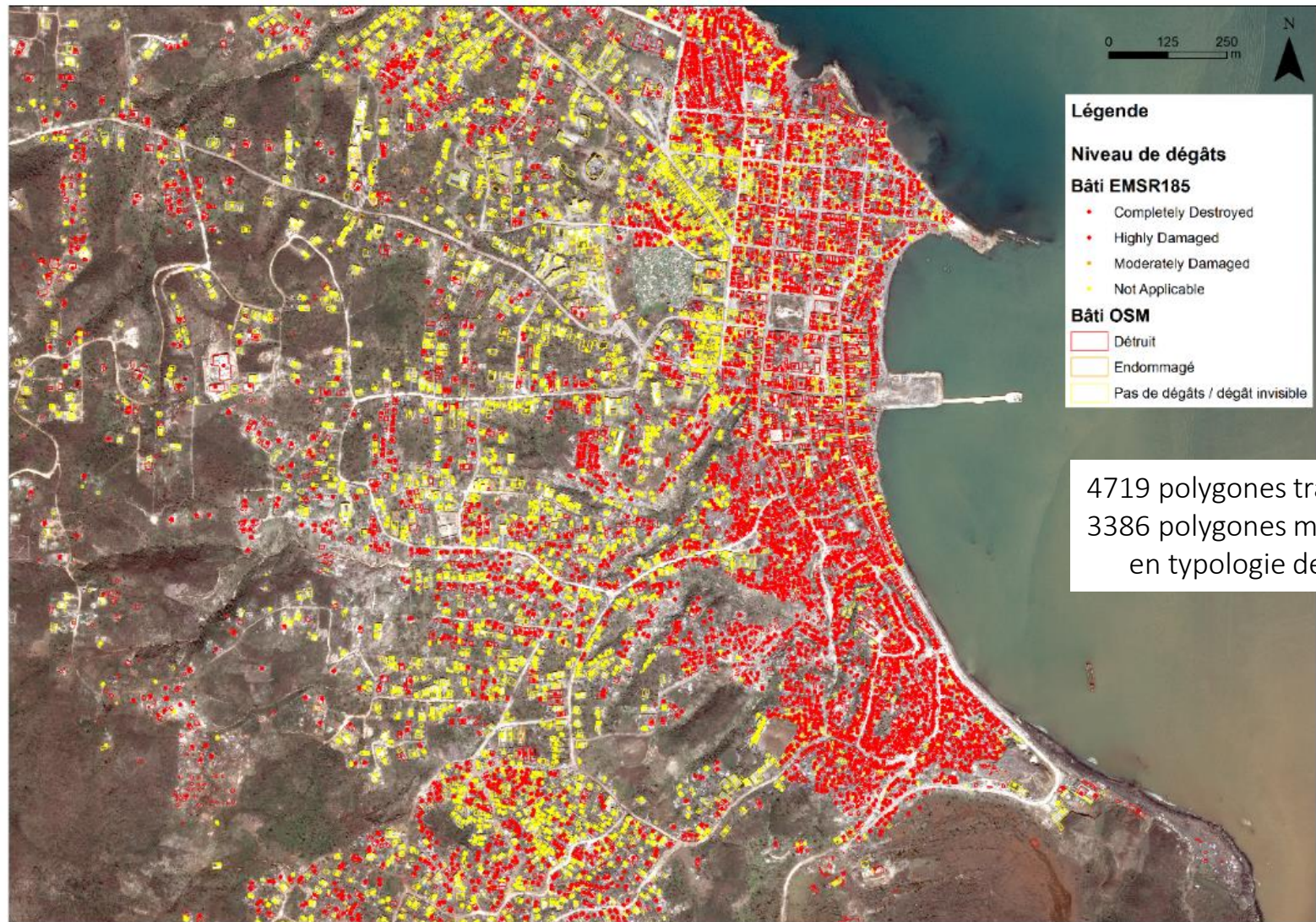


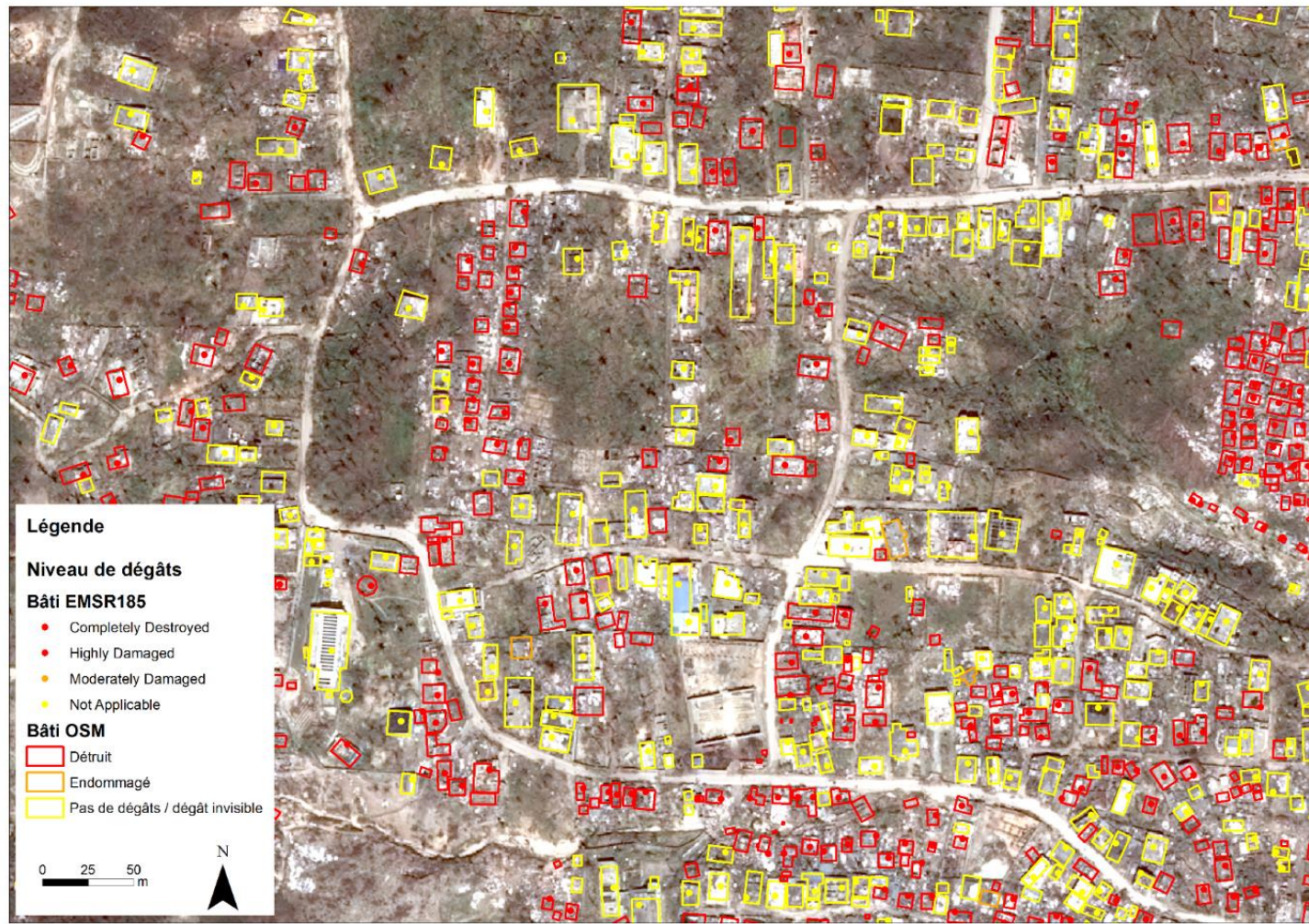
Un exemple sur Grand'Anse

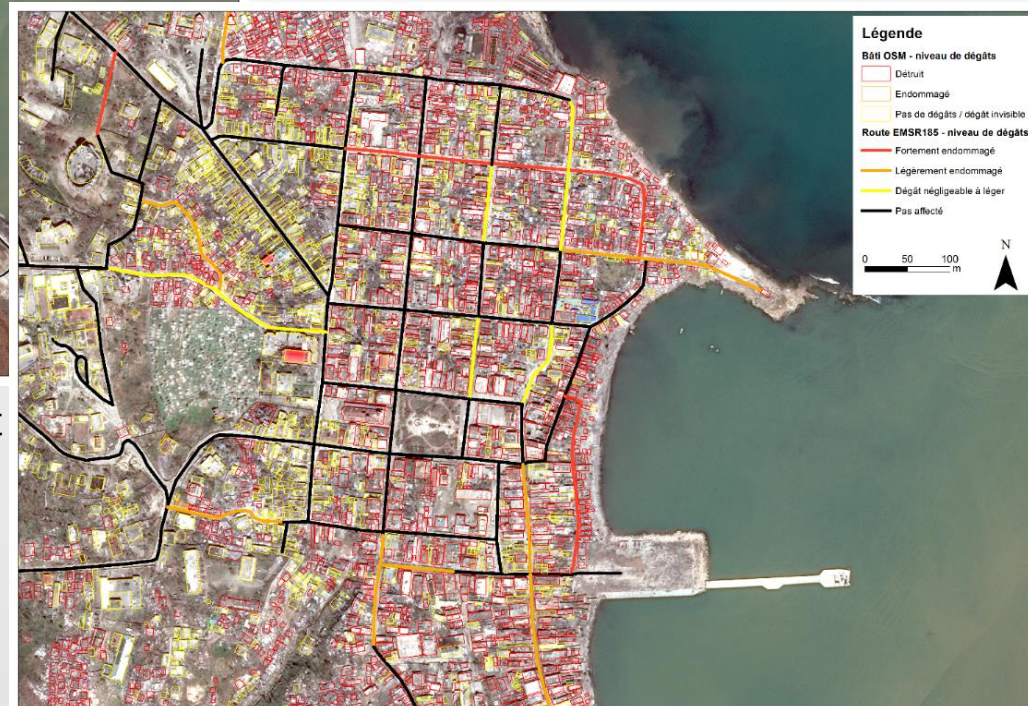


Avec un zoom sur le secteur de Jérémie









Les dommages au bâti ont également un impact sur le réseau routier et sa praticabilité

Un exemple sur Jérémie du niveau d'impact sur les routes

- L'espace
- Les orbites (théorie)
- Les satellites d'observation de la terre
 - Géostationnaires
 - Héliosynchrones
- Les observations possibles
 - Les fréquences observées
 - Les applications typique
- Principes d'imagerie Optique
 - Technologies mises en œuvre
 - Plate-forme géo-centrée (Spot5)
 - Plate-forme agile (Pléiades)
 - Principe Pushbroom
 - Traitements image à bord, stockage, vidage
 - Les corrections au sol
 - Dé-spatialisation des images



- Qu'est-ce que l'Espace ?





420 km



ISS et les
satellites les plus
bas

Espace

100 km : Séparation coiffe Ariane

Atmosphère

Apparition des météorites

40 km (3 hPa)

Ballons sondes
stratosphériques

10 km (250 hPa)



Avions de ligne

Niveau de la mer
(1000 hPa)





The diagram illustrates various satellite orbits around Earth. At the bottom, a realistic view of Earth shows the atmosphere as a red layer. Above it, a dashed line represents the orbit of Earth-observing satellites at 600-1000 km, with a satellite icon. Further up, another dashed line represents the orbit of positioning satellites at 12,000-23,000 km, with a satellite icon. At the top, an upward arrow points to the geostationary orbit at 36,000 km. A CEOS logo is in the top left, and an ISS inset is in the bottom left.

à 36000 km
satellites géostationnaires

12 000 à 23 000 km
satellites de localisation

Observation de la terre

600 à 1000 km

Épaisseur de
l'atmosphère
100 km

ISS

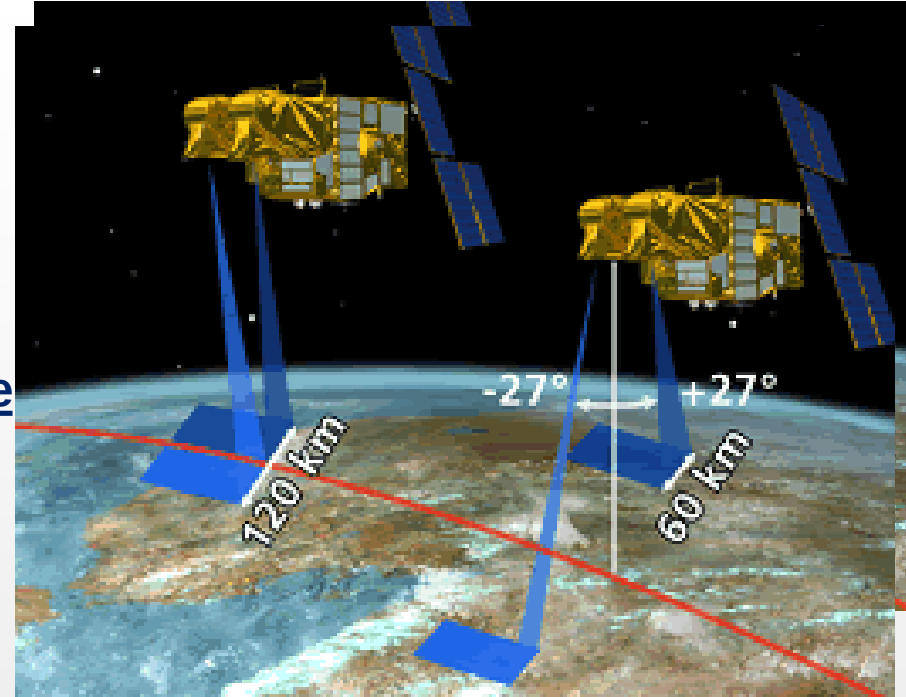
420 km

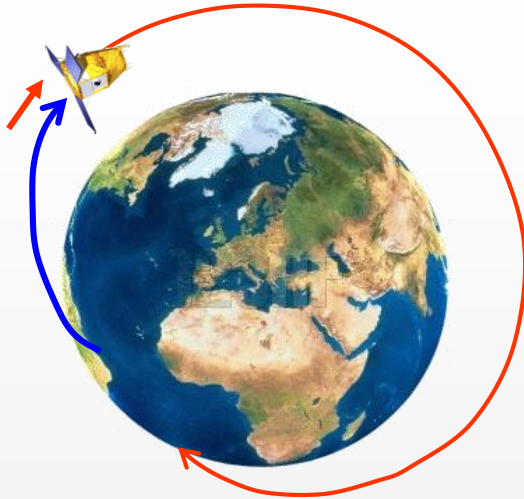




L'espace pourquoi ?

- Pour prendre de la hauteur
 - + Largeur du champs accessible
 - + Largeur de la fauchée image
 - Détails visibles
- Revisites / Reproductibilité
 - + Stabilité du « véhicule »
 - + Trajectoires maîtrisées, naturellement reproductibles
 - Météo locale des scènes visées

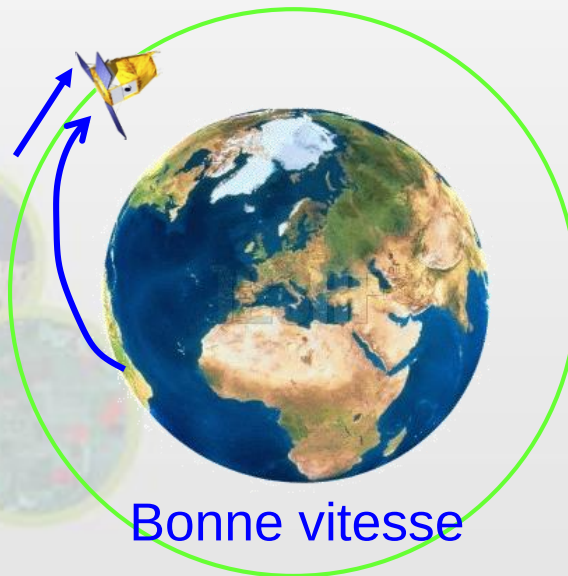




Vitesse trop petite



Vitesse trop grande

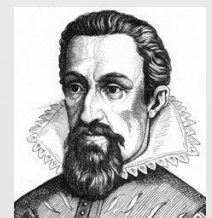
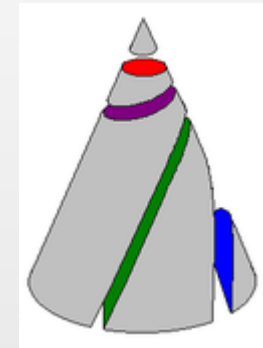
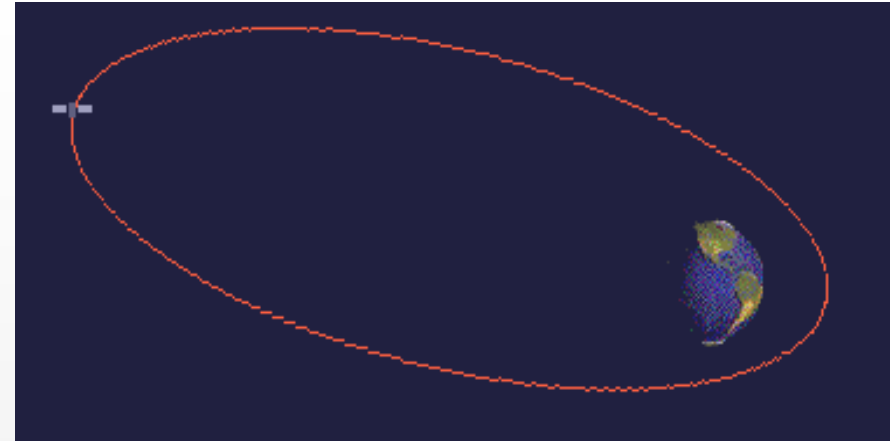


Bonne vitesse



Définition d'une orbite :

- Trajectoire que décrit un corps céleste gravitant autour d'un astre.
- L'orbite suit une trajectoire conique :
 - **cercle** ou **ellipse** pour rester autour d'un astre,
 - **parabole** ou **hyperbole** pour échapper à la sphère d'influence d'un astre.



Johannes Kepler (1571-1630)



- Dite « Loi des aires » : ***le rayon-vecteur reliant un satellite à sa planète balaie des aires égales en des temps égaux.***
- Le rayon-vecteur est une droite imaginaire reliant la planète T, située à l'un des foyers de l'ellipse, au satellite M se déplaçant sur l'ellipse





- A chaque mission son orbite optimale.
L'analyse de mission du satellite permet de choisir la meilleure orbite pour remplir la mission en tenant compte de tous les paramètres.
- On note quelques orbites classiques :
 - l'orbite géostationnaire : les télécoms, la météo (Alt. 36 000 km)
 - l'orbite intermédiaire : la science de l'univers et la localisation (positionnement / sauvetage) (12 000 à 24 000 km)
 - l'orbite basse : l'observation et la science de la terre (< 1500 km)
 - l'orbite revisitable : les satellites évolutifs ou à entretenir, les stations ou véhicules habitables (aujourd'hui < 700 km)



➤ Illustration : 2 orbites particulières à retenir

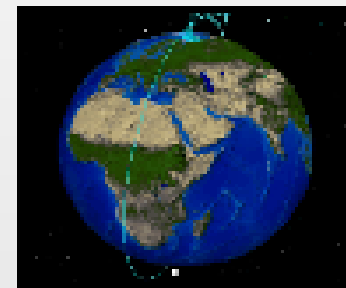
- **L'orbite géostationnaire**

- immobilité par rapport au sol
- plan de l'équateur



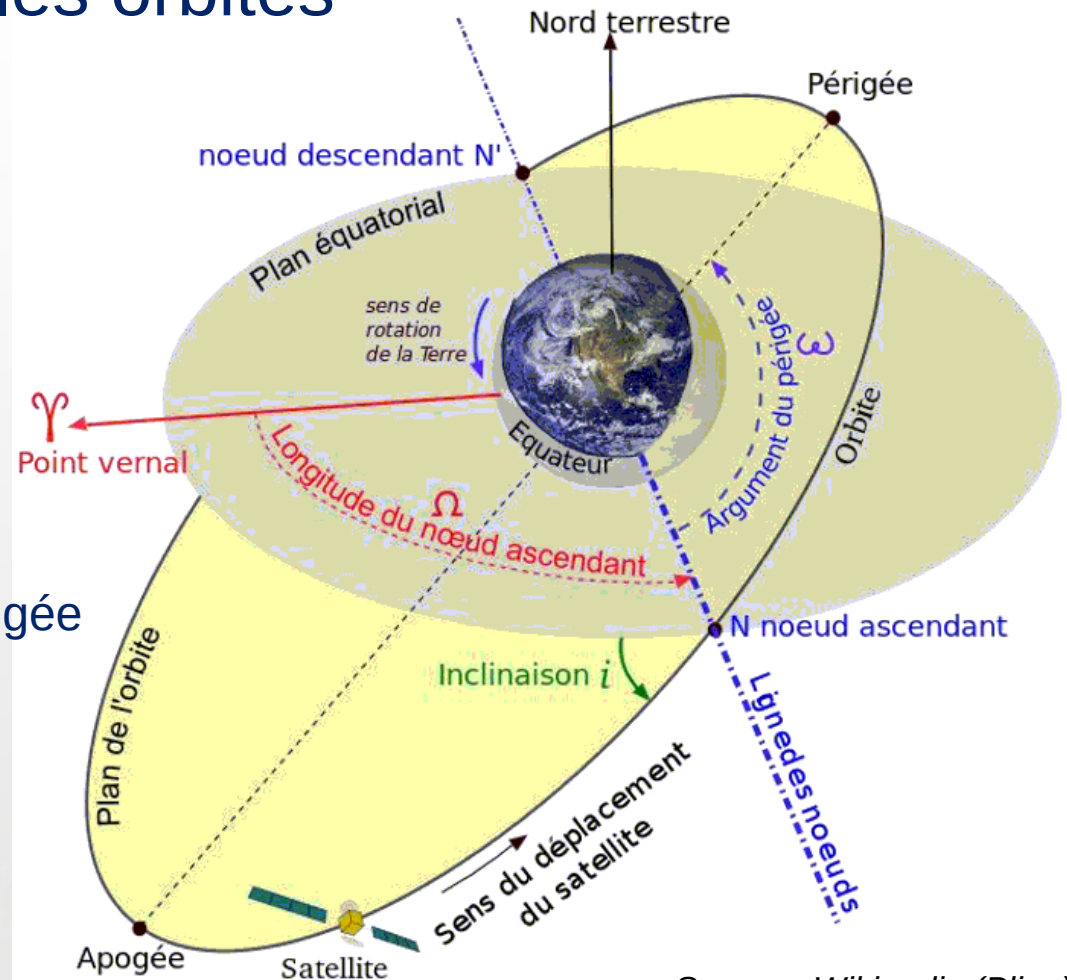
- **L'orbite Héliosynchrone**

- plan de l'orbite fixe par rapport à la droite terre/soleil
- calée sur une heure locale de survol



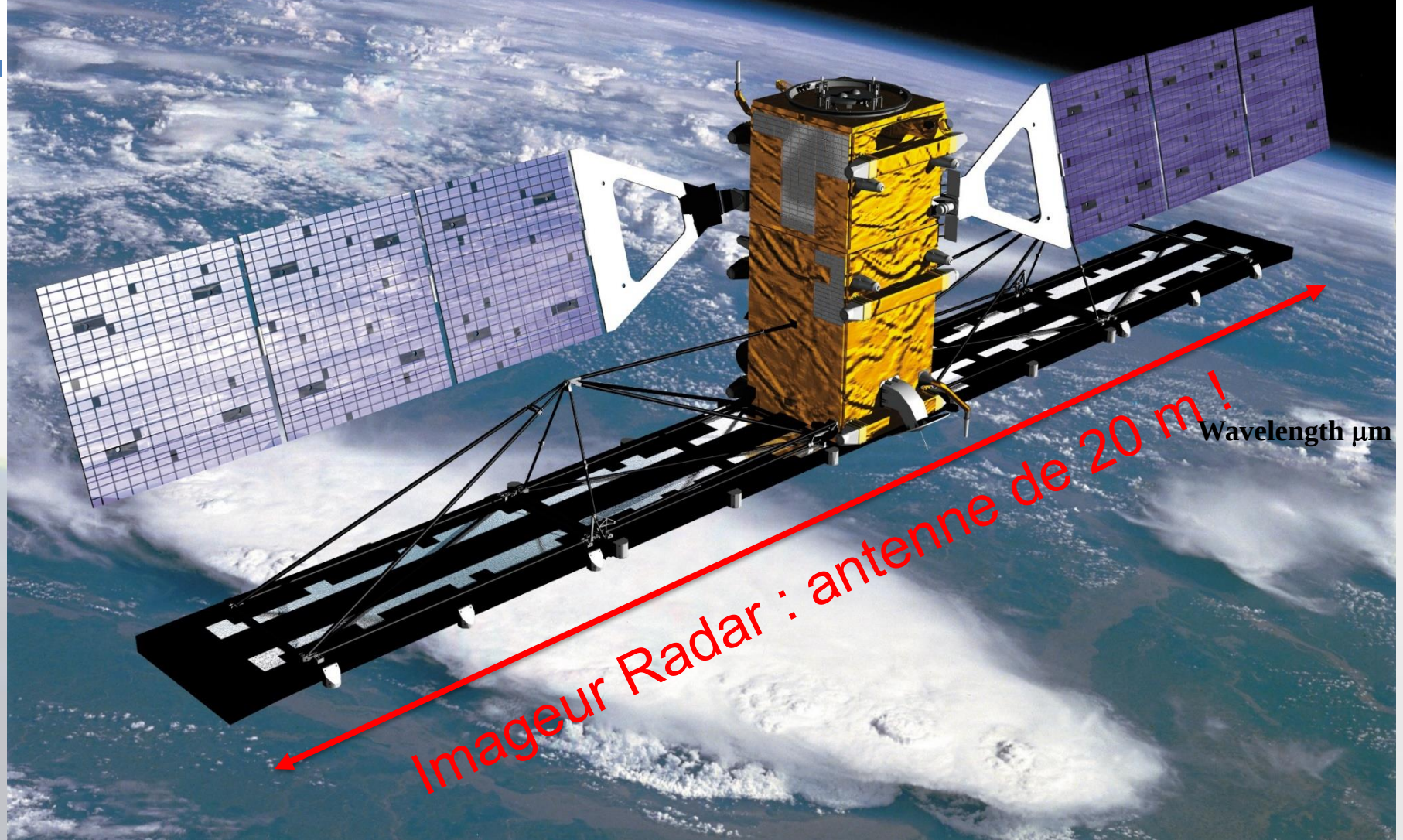
Paramètres décrivant les orbites

- Demi grand-axe
 - Généralement donnée à l'apogée
- Inclinaison i
 - Donnée par rapport au plan de l'équateur
- L'argument du périégée
 - Entre la droite Apogée-Périégée et la ligne des nœuds
- Et pour désigner une orbite donnée à une date D :
 - La longitude du nœud ascendant Ω



Source : Wikipedia (Pline)

RadarSat (CSA)

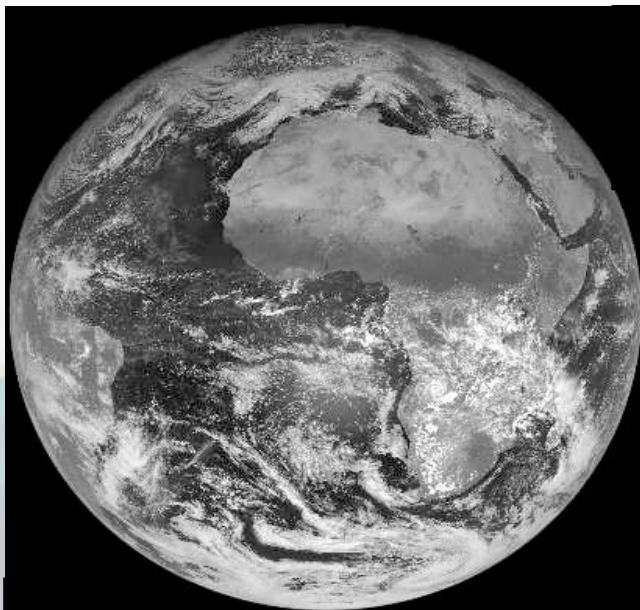


Imageur Radar : antenne de 20 m !

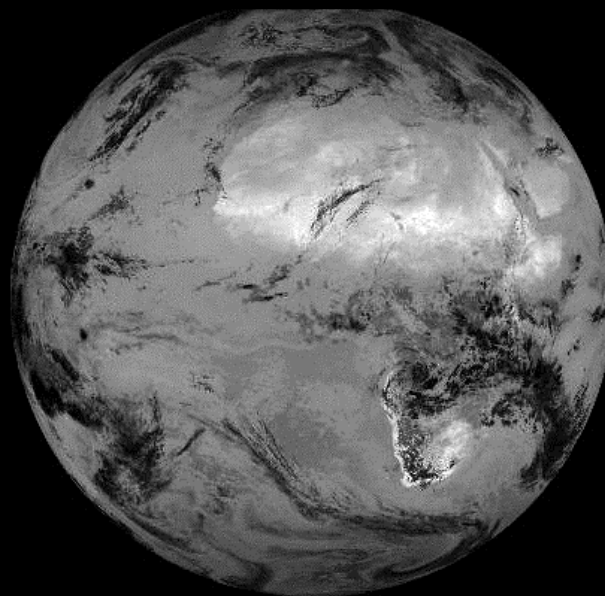
Wavelength μm



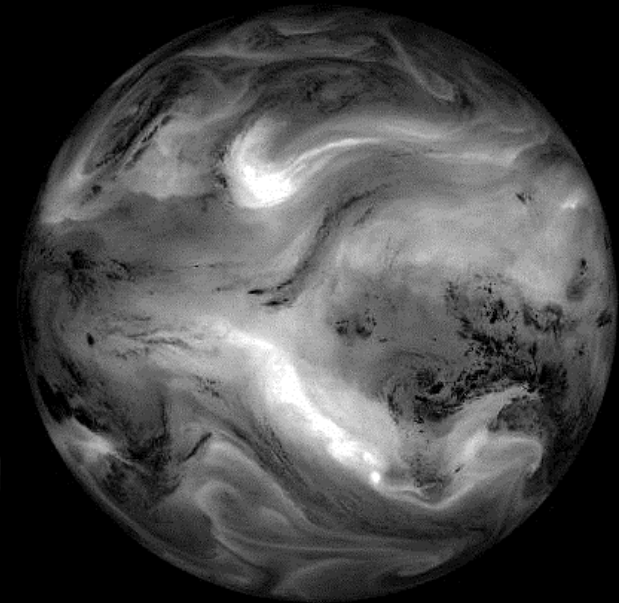
- Observation en bandes spectrales optiques :
 - L'infra-rouge



Visible + Proche IR :
0.4-1.1 μm



Infra-rouge thermique : 10.5-12.5 μm



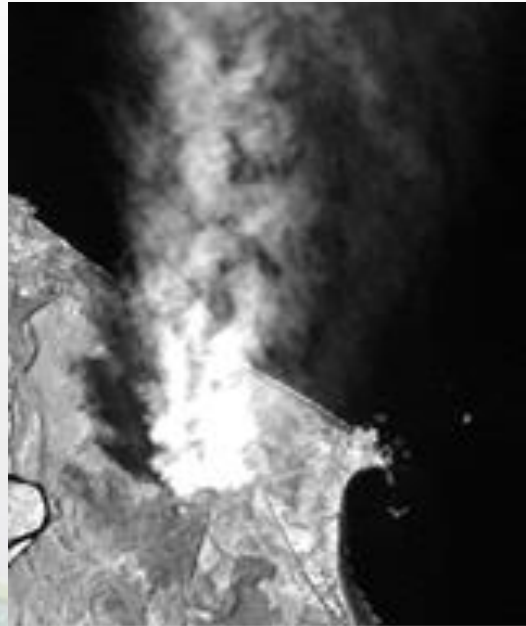
Moyen IR (vapeur d'eau) :
5.7-7.1 μm



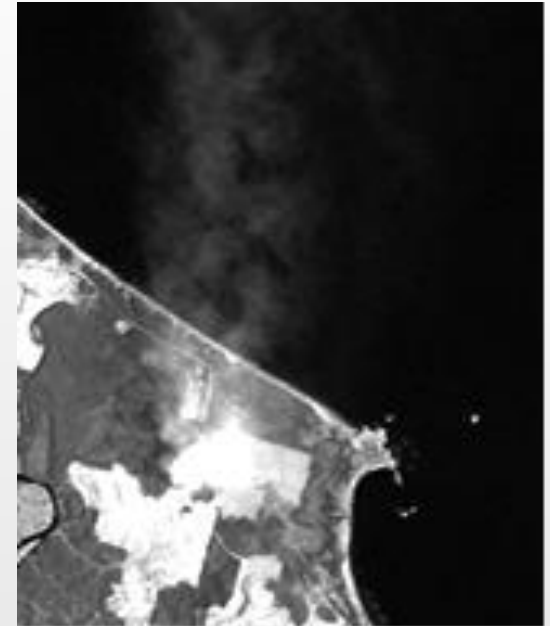
- Exemple : un incendie de forêt
 - Chaleur, poussières, fumées...



Blue band
 $\lambda = 0.42 \mu\text{m}$



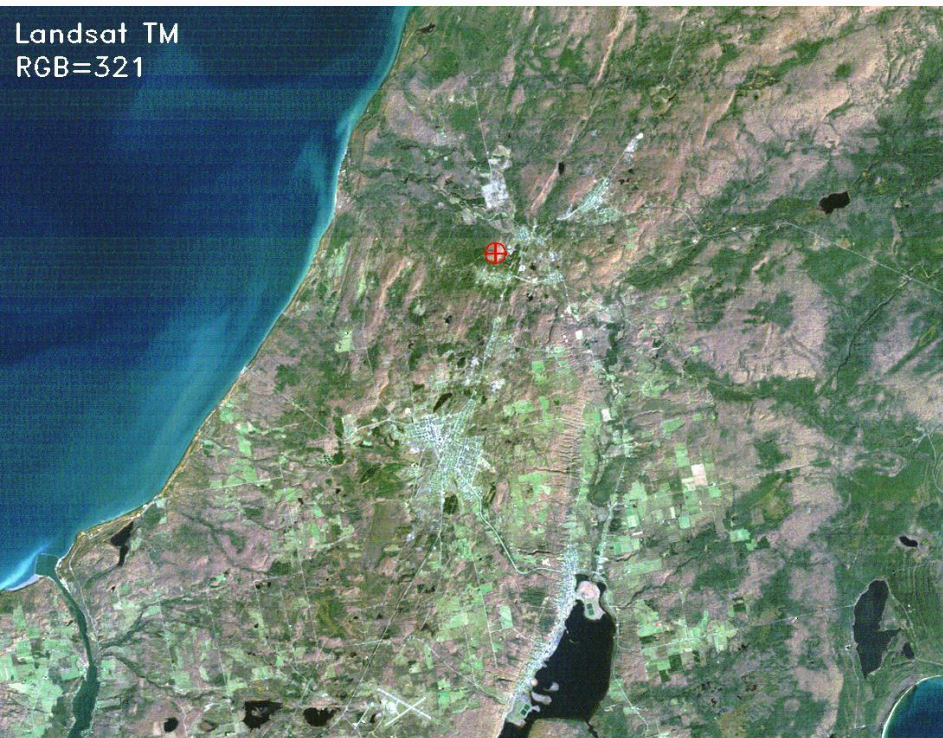
Proche IR
 $\lambda = 1 \mu\text{m}$



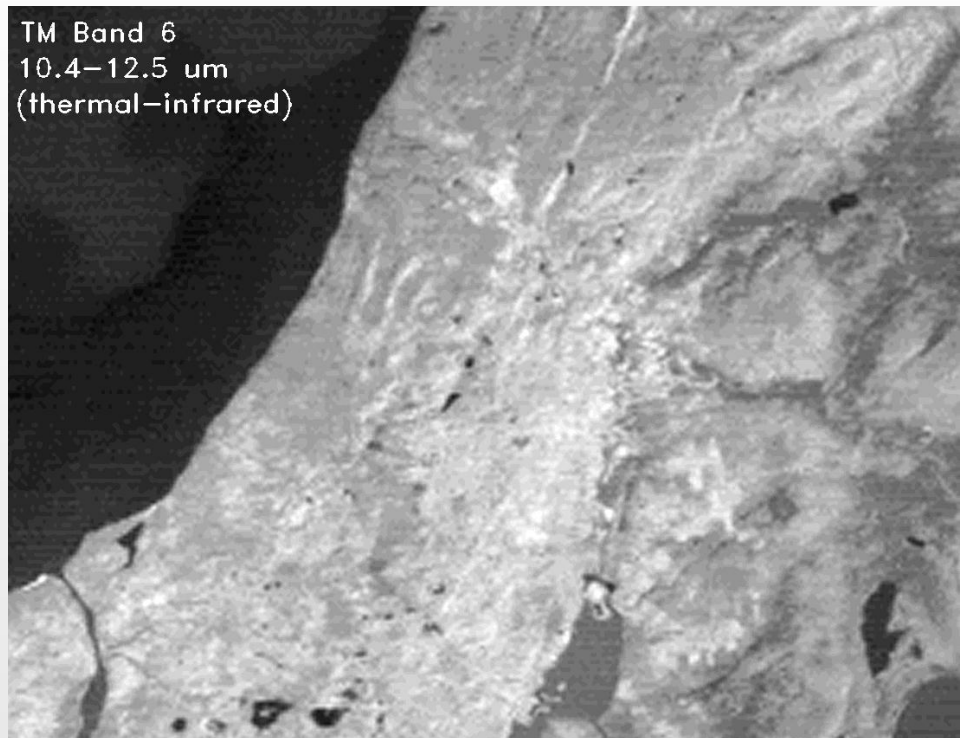
Moyen IR
 $\lambda = 3 \mu\text{m}$



- Détection de chaleur en IR Thermique



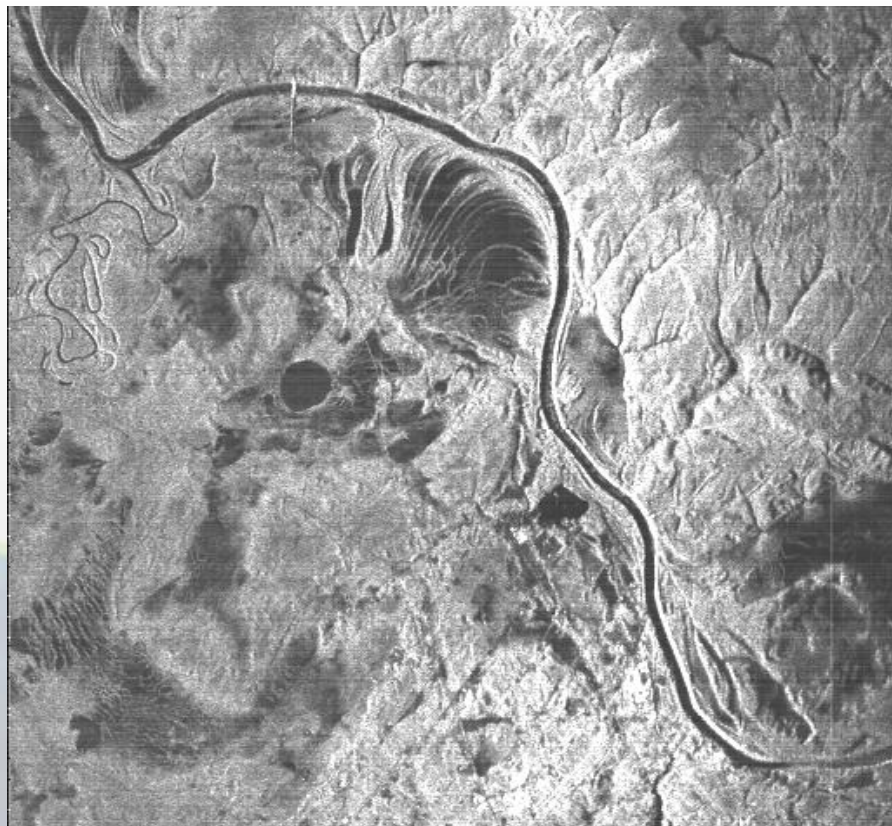
Visible (RVB)
Résolution 100 m



IR Thermique
Faible résolution : 300 m



Images Radar



**Radiomètre Radar (passif) en
bande S (2 GHz)**



**Imageur Radar (actif) en
bande P (300 MHz)**

CNES 2009

*Centre Spatial
de Toulouse*

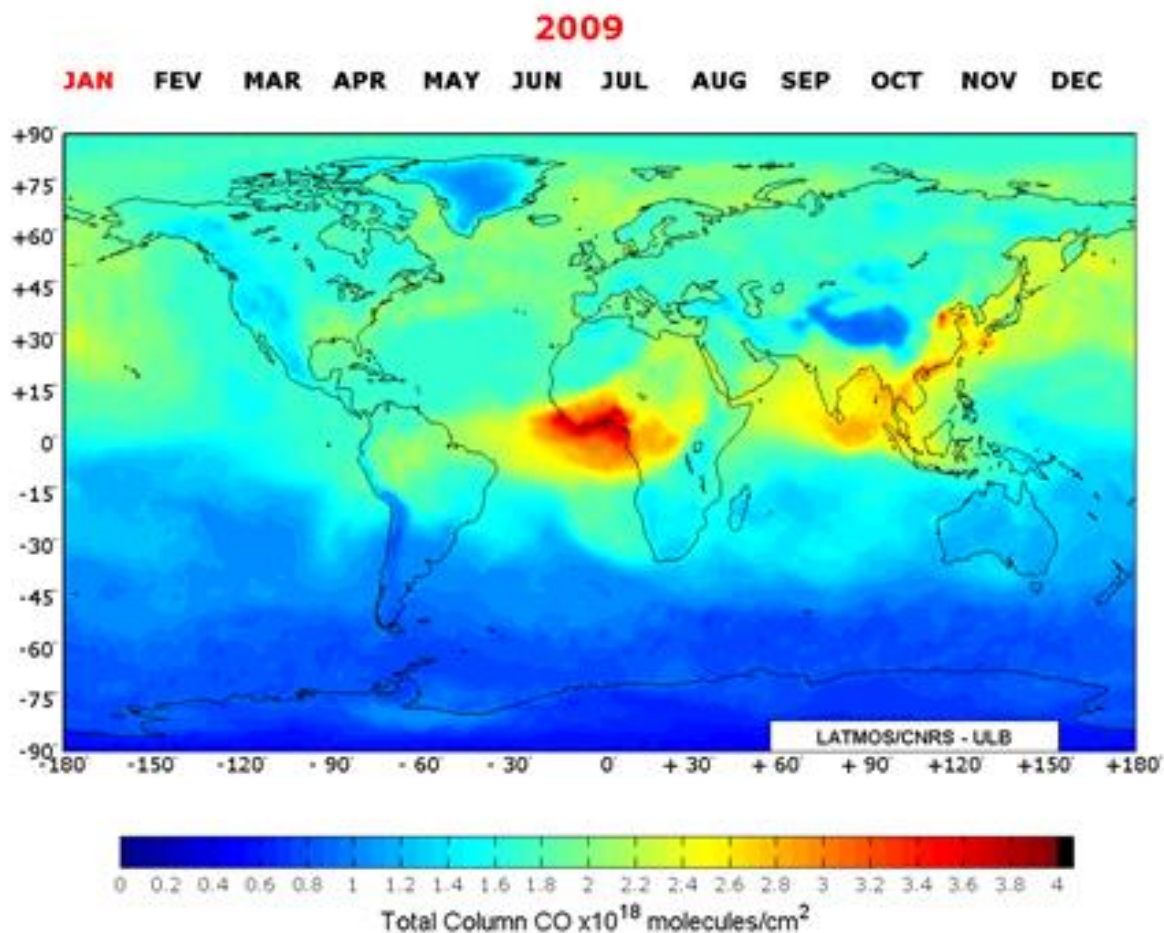


Image Visible



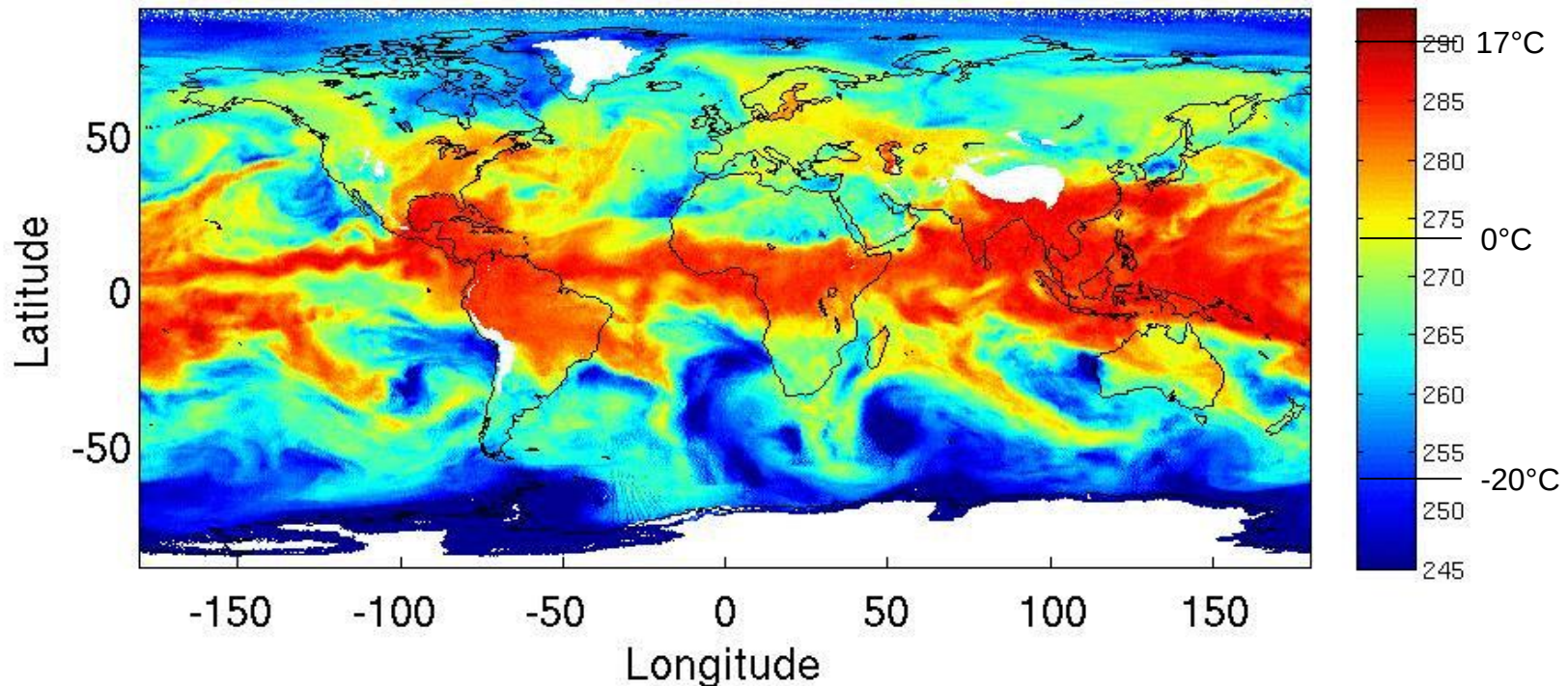
Image Radar (imageur)

- Observations du monoxyde de carbone par l'instrument IASI sur le satellite METOP



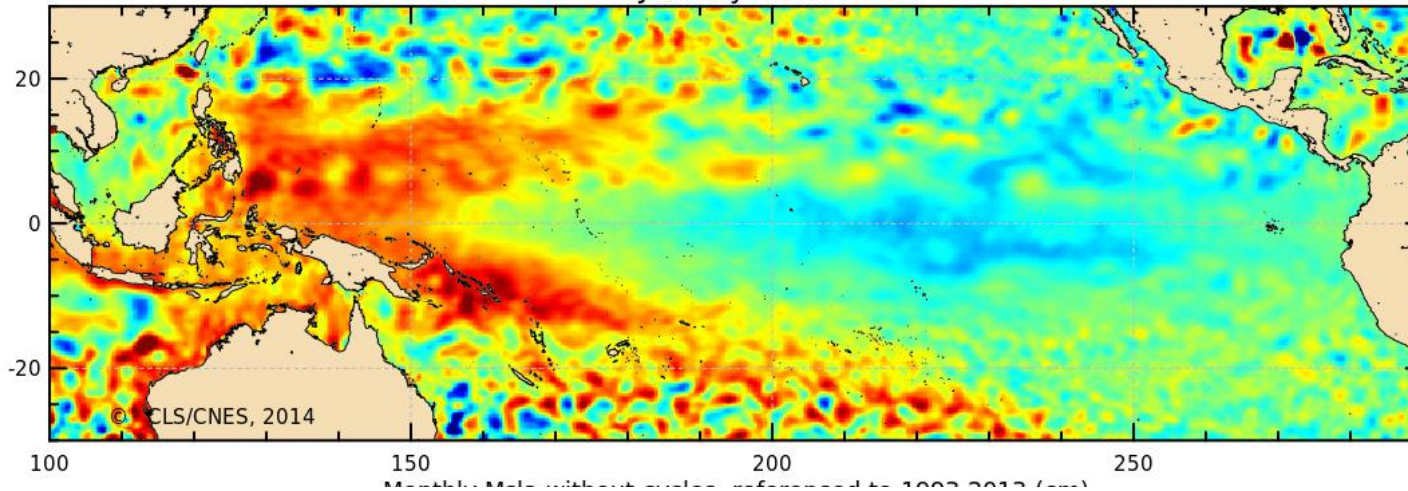
- Mesures de températures par l'instrument IASI
 - o La température est mesurée dans l'atmosphère lorsque la densité atteint 800hPa soit entre 1500 et 1800 m

Dew point temperature [K] at 800 hPa 20130601 A



- Mesures des températures de l'océan par Jason

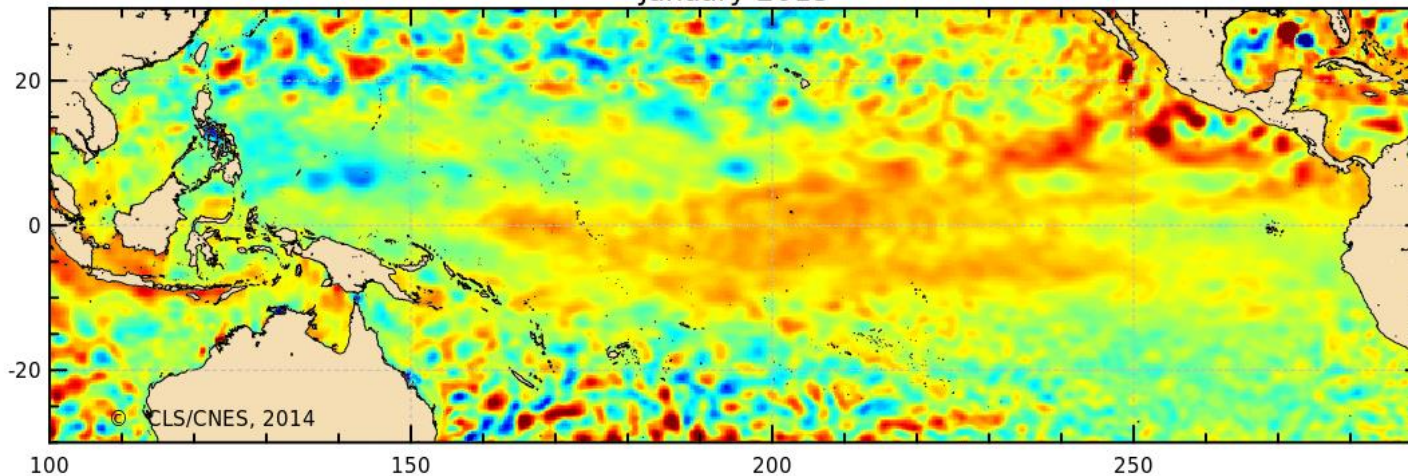
January 2012



**2012 :
Année
normale**

**Observation
du phénomène
« El Niño »**

January 2015



**2015 :
Année
atypique
El Niño**





➤ 2 types de satellites

1- Les satellites géocentrés

Exemples : Spot5, Sentinel

Permettent à plusieurs instruments de fonctionner en même temps

Permettent de longues fauchées

Généralement de faible à moyenne résolution (100 m à 2,5 m)





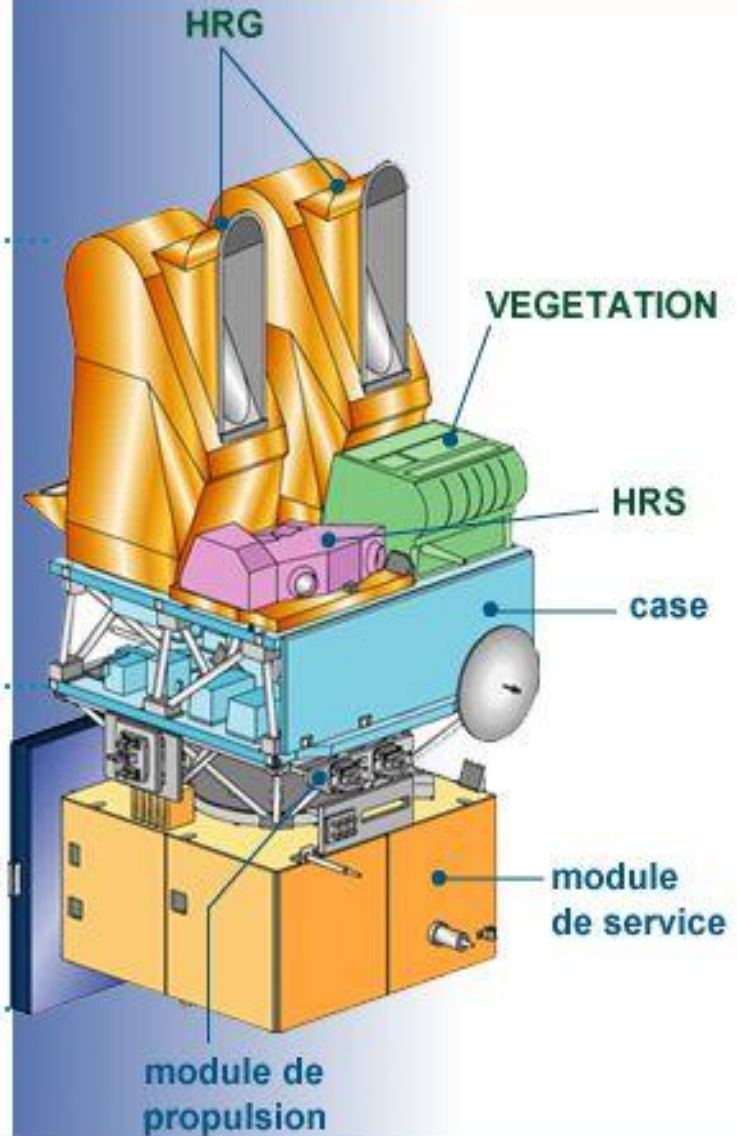
Visite du satellite



SPOT 5

Charge utile

Plateforme





➤ 2 types de satellites (suite)

2- Les satellites agiles

Exemples : Pléiades

Pointent les instruments pour faire une prise de vue

Permettent d'imager plusieurs scènes à une même latitude

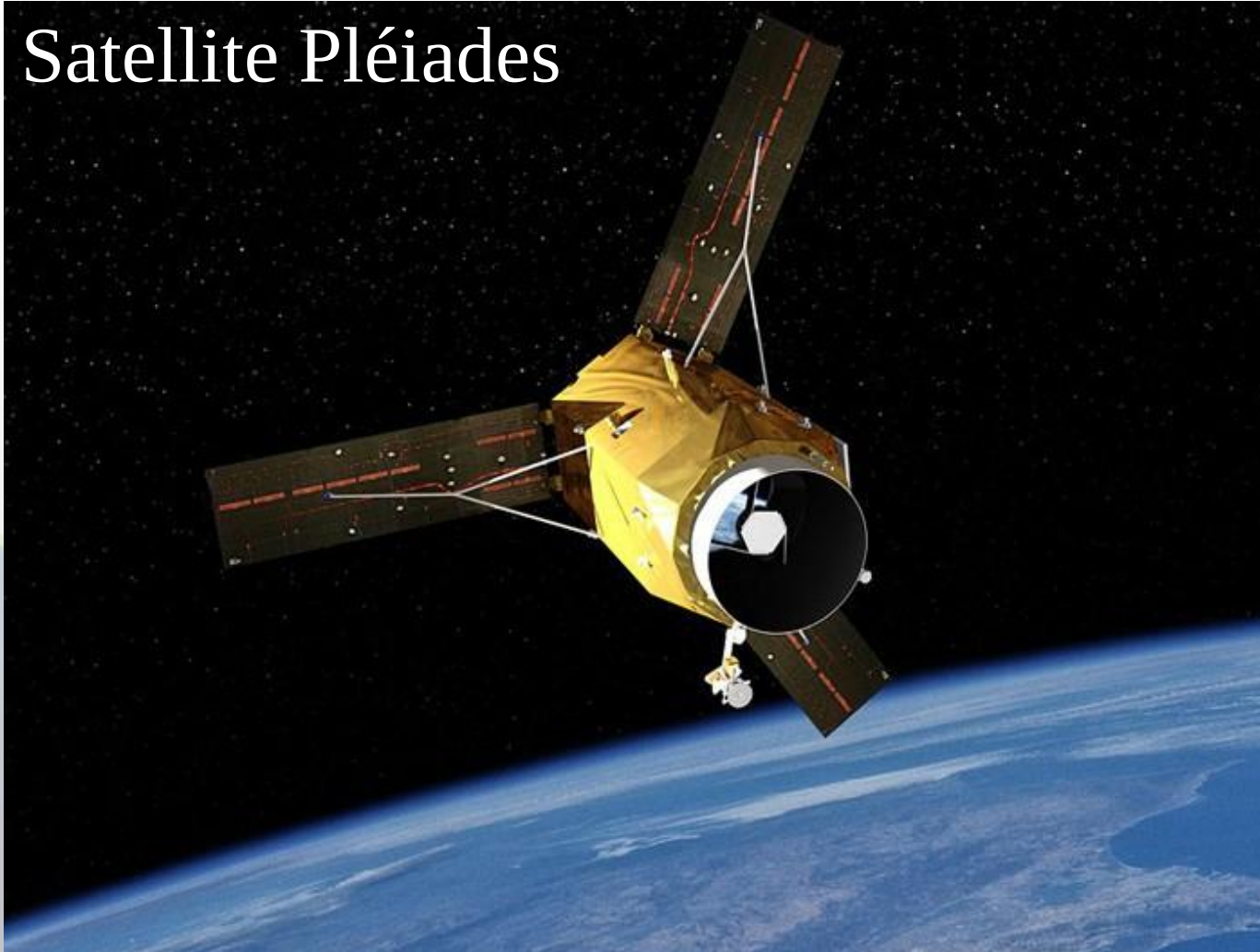
Possibilité de réaliser une image stéréo lors d'un passage
restitue le relief en pleine résolution

Possibilité de faire une image tri-stéréo lors d'un passage
permet de générer une visite virtuelle en supprimant les parties
masquées dans l'images (rue profonde, canyon)

Généralement de haute à très haute résolution (2 m à 0,7 m)



Satellite Pléiades



Résolution : pixel
image = 0,7m



➤ Les principes d'imagerie satellite

➤ Les Scanners type whiskbroom

➤ Le télescope ne possède que quelques détecteurs

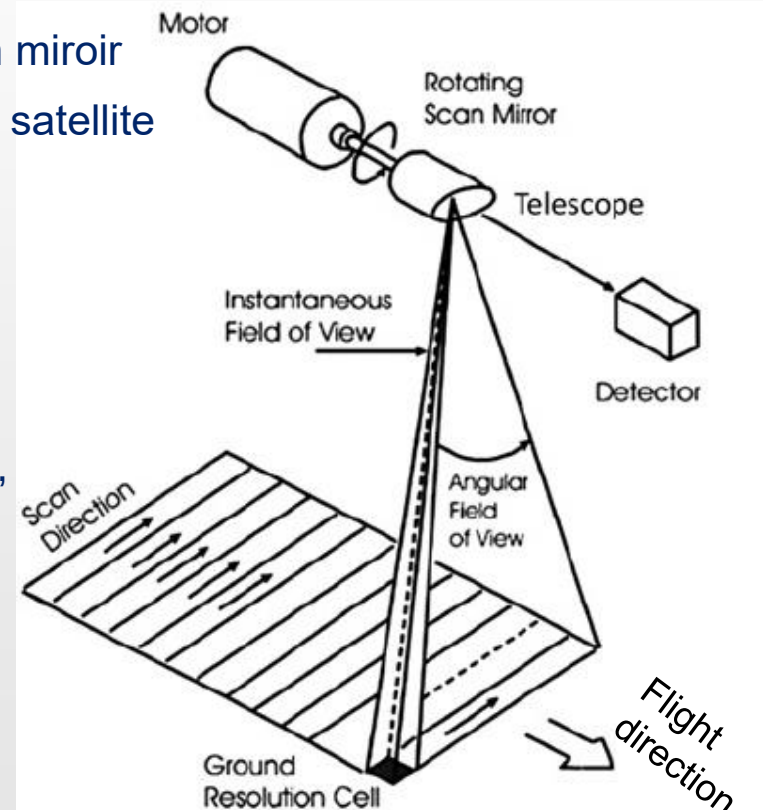
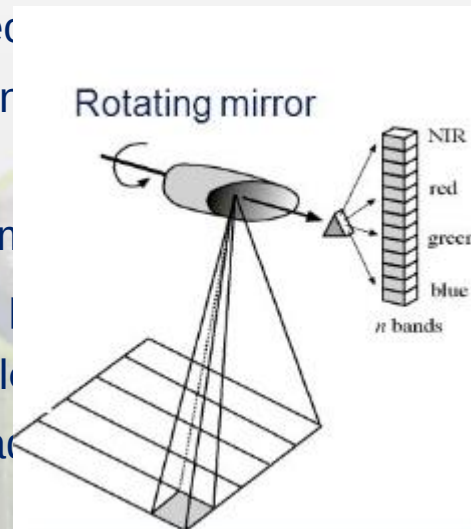
- imagent les lignes grâce à la rotation d'un miroir
- imagent les colonnes grâce à l'avance du satellite

➤ avantages

- Peu de détecteurs
- radiométrie r

➤ Inconvénients

- Stabilité du n
- mouvement
- Qui limitent l
- (affaibli la ra



➤ Les détecteurs en ligne (« Push-Broom » ou « à balayage »)

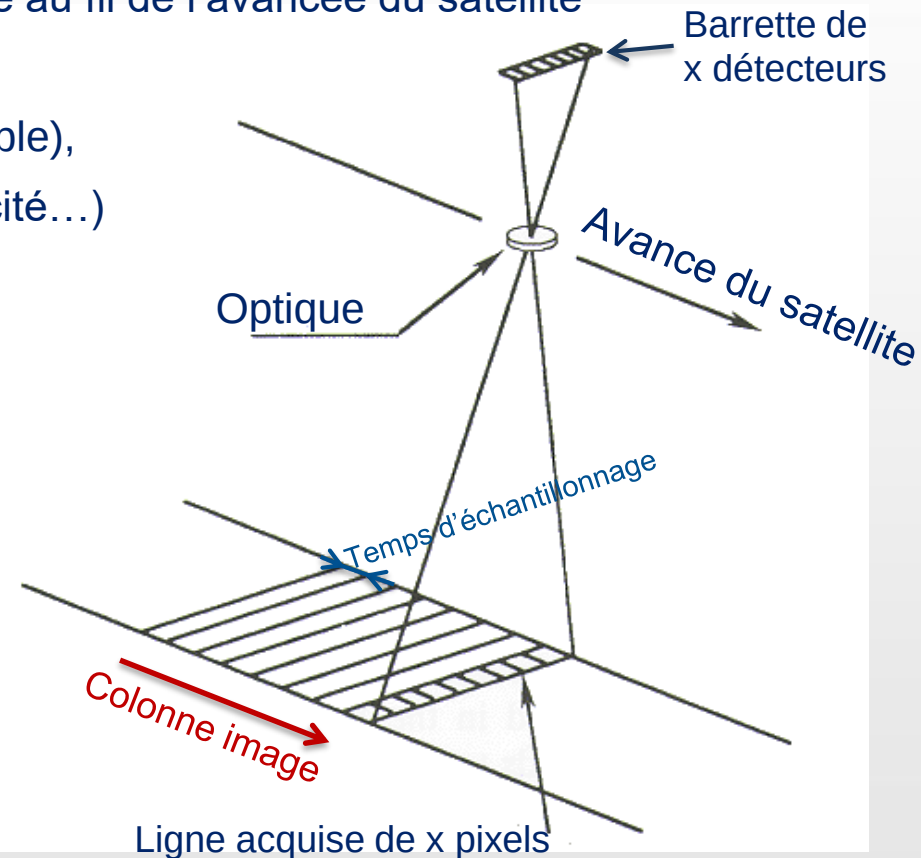
- Le capteur (la rétine) est composé d'une ligne de détecteurs
 - l'imaget se constitue ligne par ligne au fil de l'avancée du satellite

➤ avantages

- Qualité géométrique (si satellite stable),
- Pas de mécanisme (fiabilité, simplicité...)

➤ Inconvénients

- complexité du plan focal,
- faible taille des détecteurs (radiométrie)
- égalisation nécessaire (de préférence à bord)



➤ Les détecteurs matriciels (type appareil photo)

➤ La rétine est composé d'une matrice CCD

➤ avantages

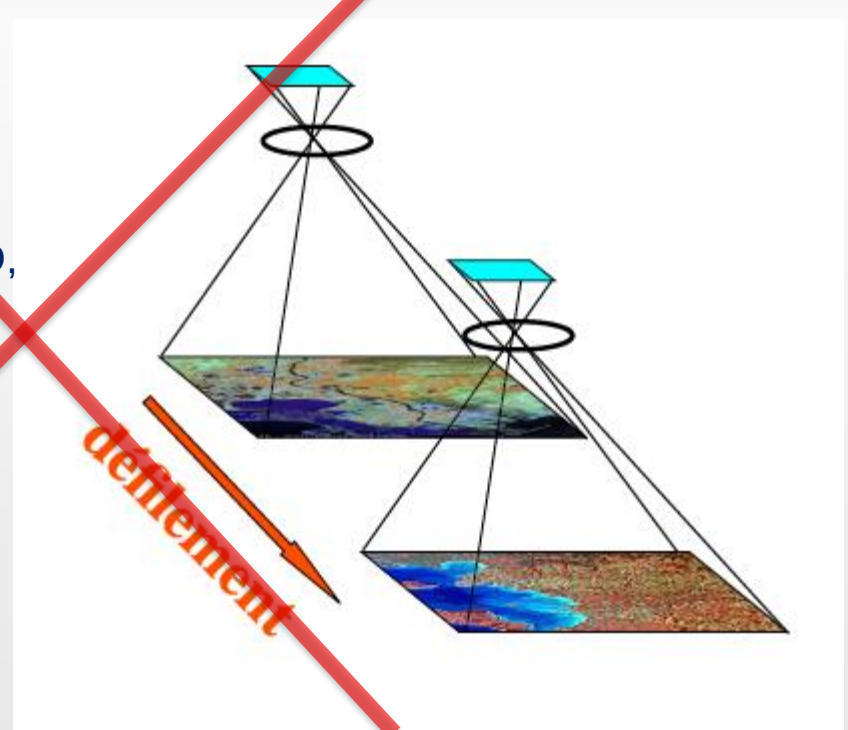
- qualité géométrique,
- nombre de prises de vues possibles

➤ Inconvénients

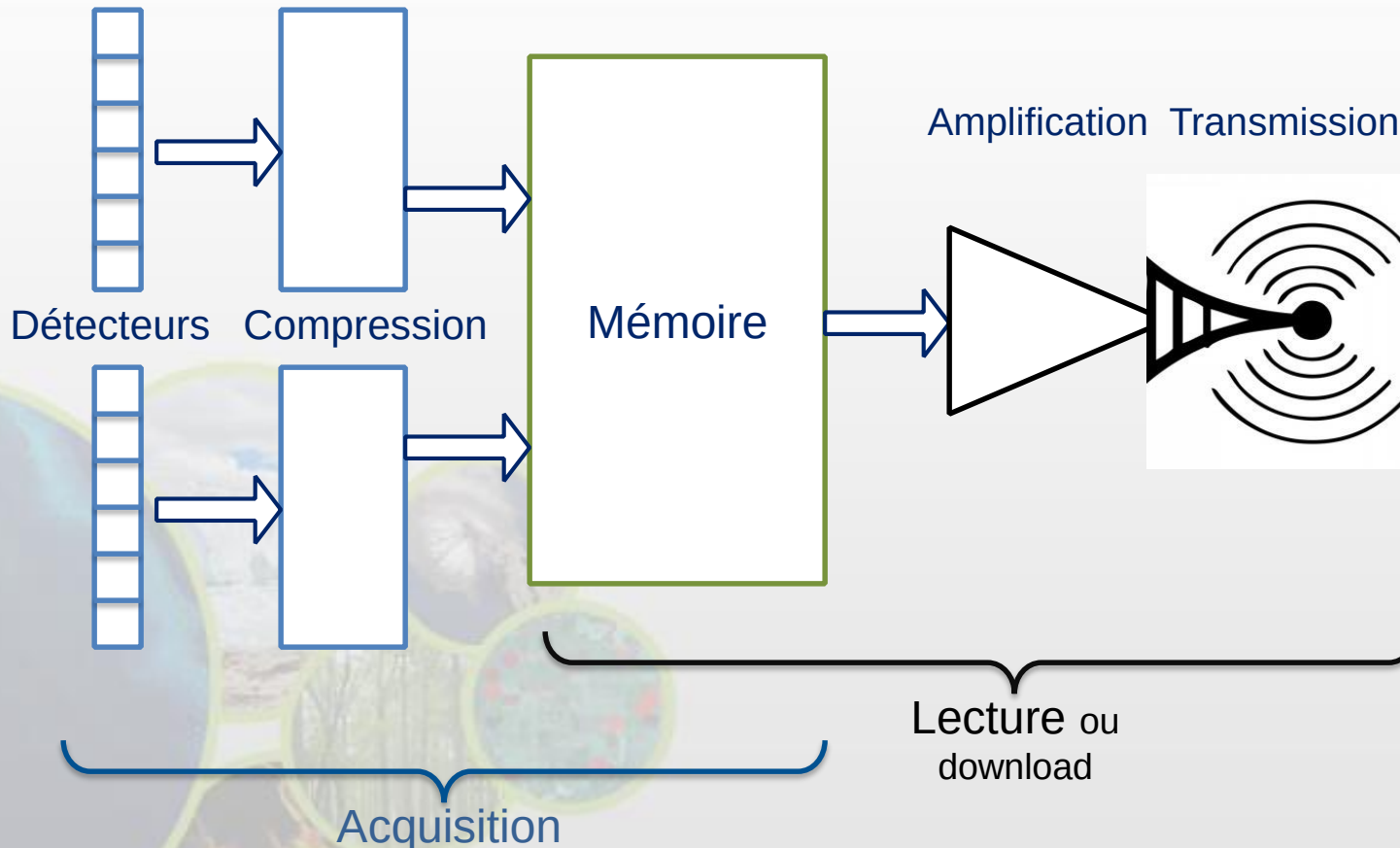
- complexité liée à la technologie CCD,
- Mouvement permanent du satellite,

➤ Peu utilisée pour les images HR

- Plutôt pour des applications video (faible définition)



- Mémorisation égalisation compression transmission : la chaîne image bord





➤ Mêlées aux données « image » le satellite livre :

- La date bord de la donnée
- Sa position sur l'orbite
- L'orientation de l'optique
 - c'est-à-dire l'orientation du satellite si l'optique est fixe (attitude)
 - gyroscopes, senseurs stellaires
 - et aussi l'orientation du miroir pivotant ou rotatif s'il y en a un



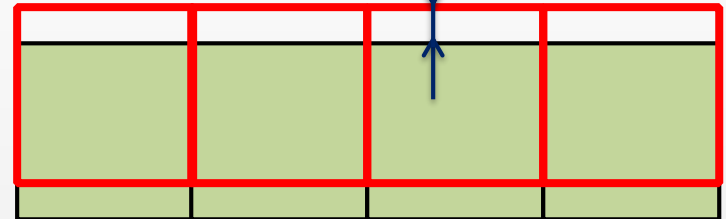


➤ Restituer la localisation des pixels image au sol

➤ Datation du pixel

- Une erreur de datation provoque un glissement le long de la trace

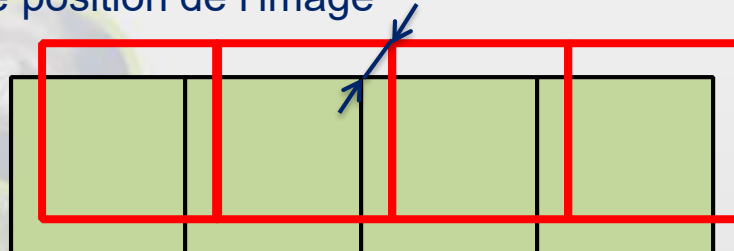
Déplacement
du satellite



➤ Position sur l'orbite

- Une erreur de position sur l'orbite provoque une erreur de position de l'image

Déplacement
du satellite

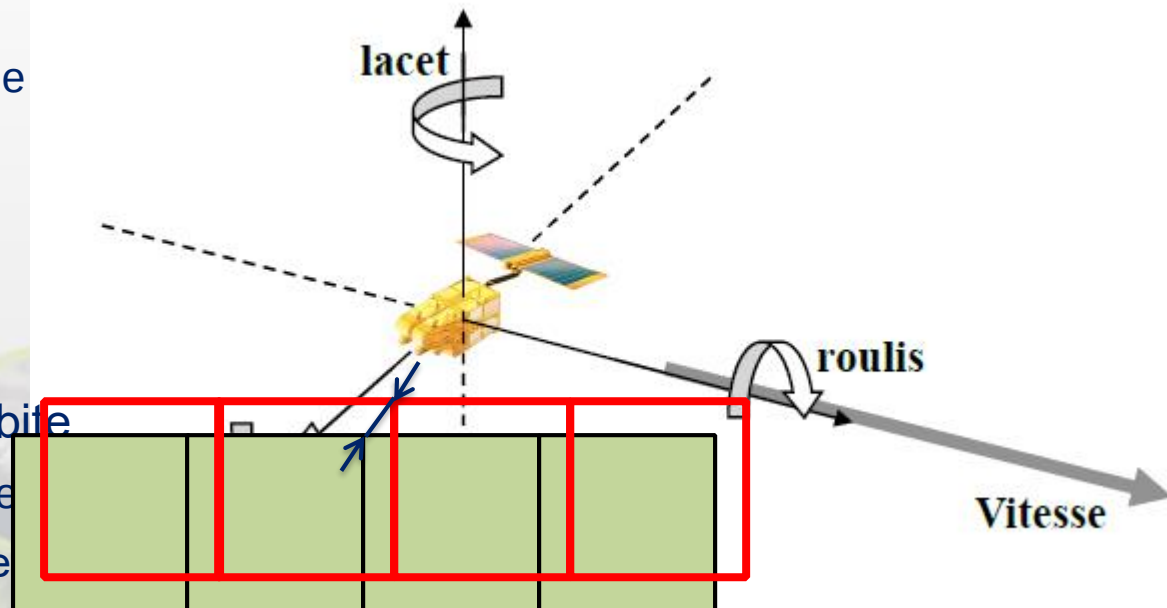




➤ Restituer la localisation des pixels image au sol

➤ Restitution de l'attitude

- L'attitude est l'orientation du satellite autour de son centre de gravité en
 - Roulis
 - Tangage
 - Lacet



➤ Position sur l'orbite

- Déplacement du satellite
- Une erreur de
- une erreur de



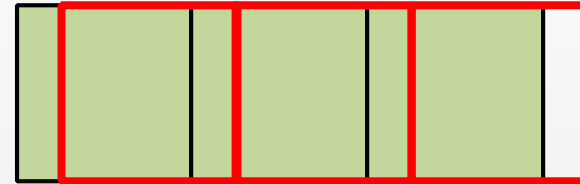
➤ Restituer la localisation des pixels image au sol

➤ Erreur de roulis :

- L'attitude est l'orientation du satellite autour de son centre de gravité en

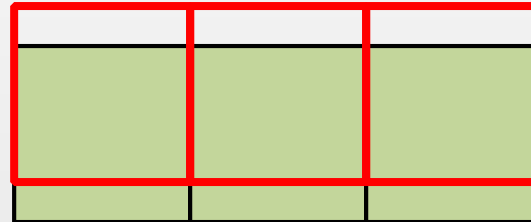
- Roulis

Déplacement
du satellite



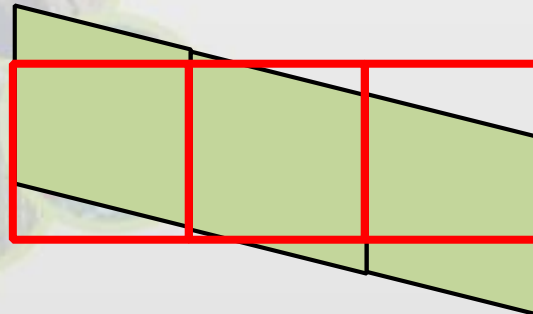
- Tangage

Déplacement
du satellite



- Lacet

Déplacement
du satellite





➤ Erreur de parallaxe

- Erreur de localisation liée à la méconnaissance du relief

Optique

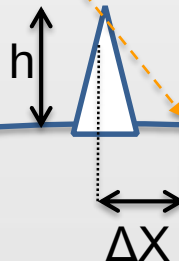
i
Direction de visée

Verticale

Erreur de localisation ΔX :

$$\Delta X = h \cdot \text{tg}(i)$$

- Importance du MNT !

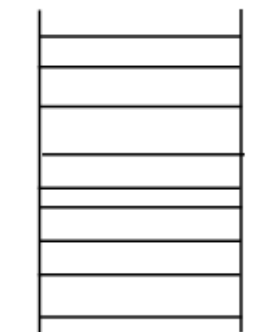
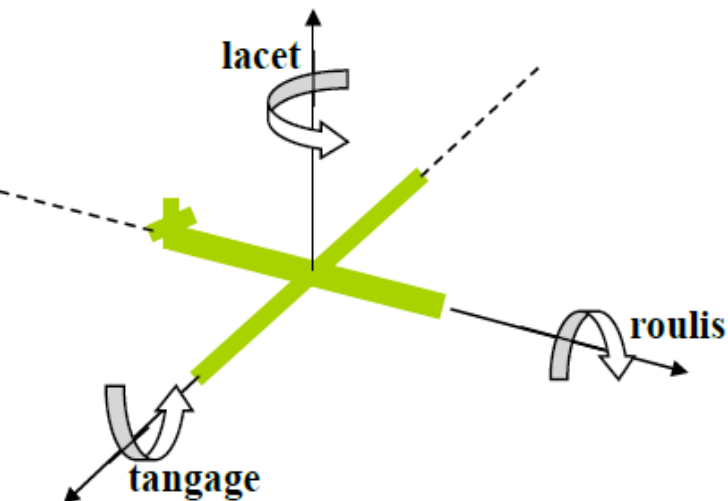




➤ Déformation d'images liées à la dynamique d'un satellite

Déformations géométriques dues aux mouvements d'attitude

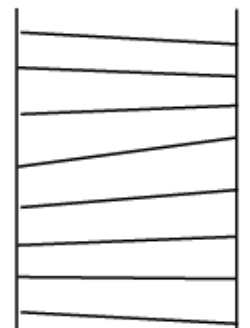
- ♦ Exemple : variation des vitesses en tangage, roulis et lacet :



Perturbations
en tangage



Perturbations
en roulis

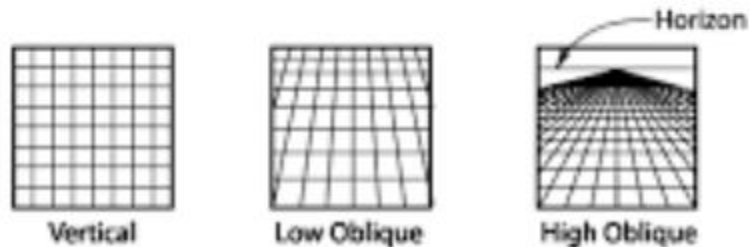
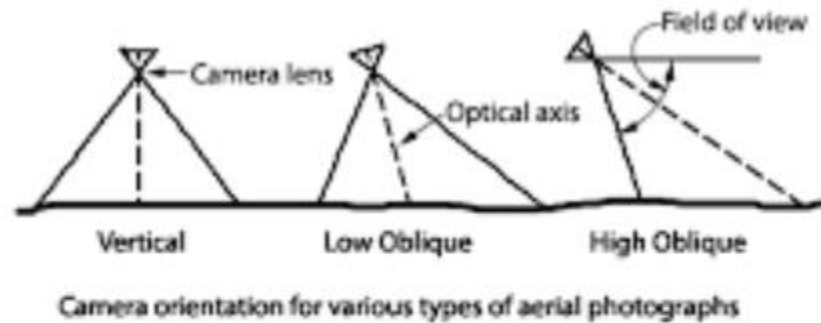


Perturbations
en lacet



➤ Déformation liée à l'inclinaison

➤ Déformation introduite par le dépointage du satellite



➤ Phénomène aggravé par la rotondité de la terre



Formulaire