



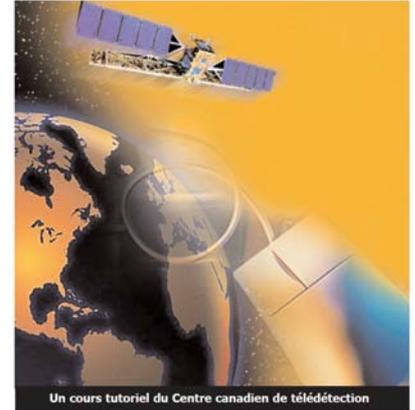
Capteurs Spatiaux et Leurs Applications

Yuliya Tarabalka
yuliya.tarabalka@inria.fr
Tel. 04 92 38 77 09

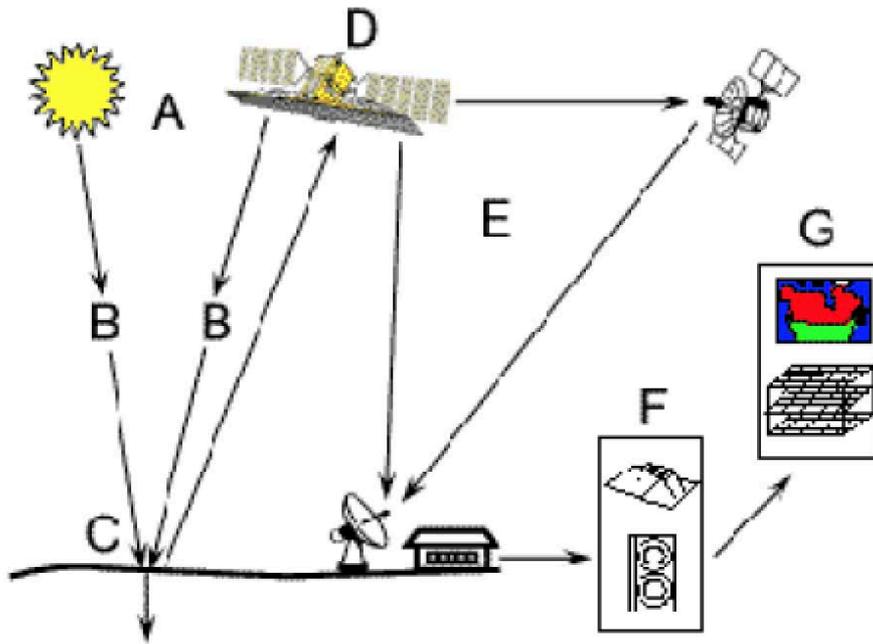
Biblio

- **Notions fondamentales de télédétection: <http://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/limite-geographique/teledetection/fondements/1331>**
- **Buien, H., J., Clevers, J, Land Observation by remote sensing : Theory and applications, GIP, 642 Pages**

*Notions fondamentales
de télédétection*



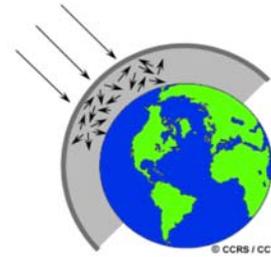
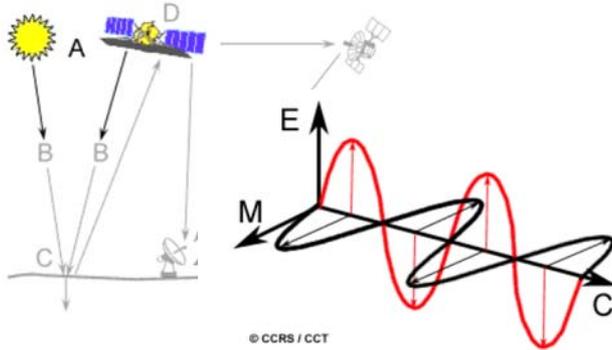
Sept étapes du processus de télédétection



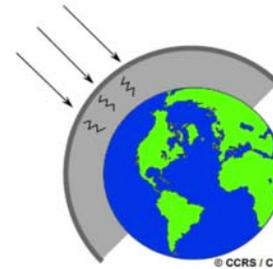
- A. Source d'énergie ou d'illumination
- B. Rayonnement et atmosphère
- C. Interaction avec la cible
- D. Enregistrement de l'énergie par le capteur
- E. Transmission, réception et traitement
- F. Interprétation et analyse
- G. Application

Interaction rayonnement – atmosphère

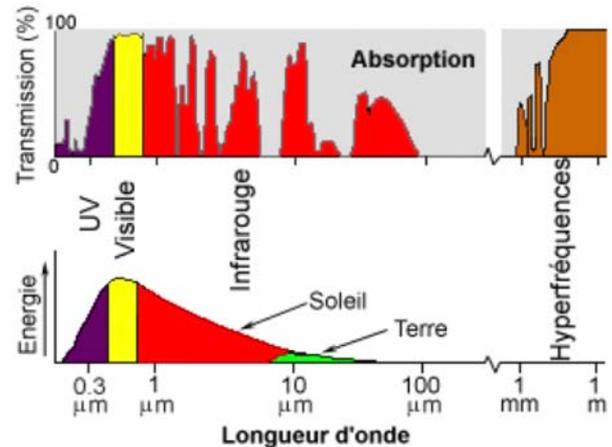
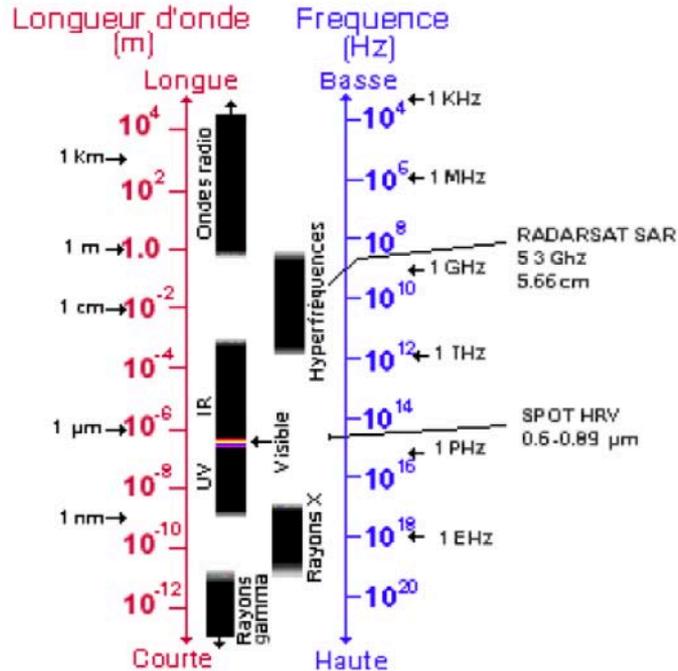
Rayonnement électromagnétique



Diffusion



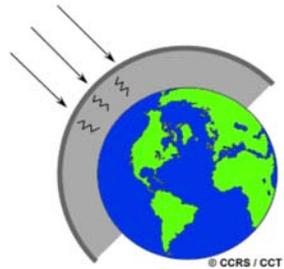
Absorption



Interaction rayonnement – atmosphère

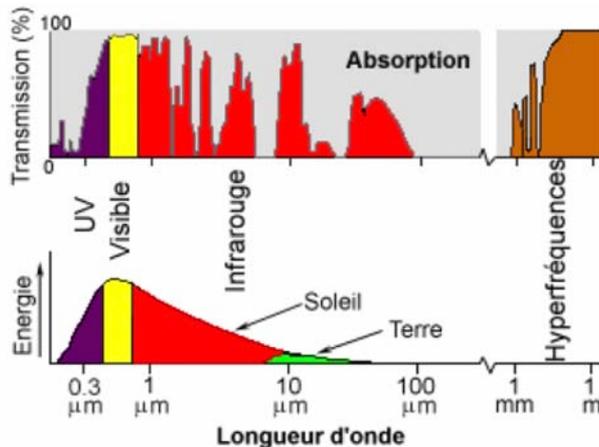


Diffusion



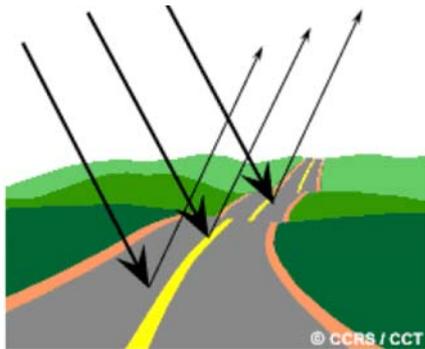
Absorption

- **Longueurs d'onde les plus utiles pour la télédétection:**
 - **visible:** fenêtre max d'énergie solaire
 - **infrarouge:** énergie thermique émise par la Terre
 - **hyperfréquences:** bonne transmission

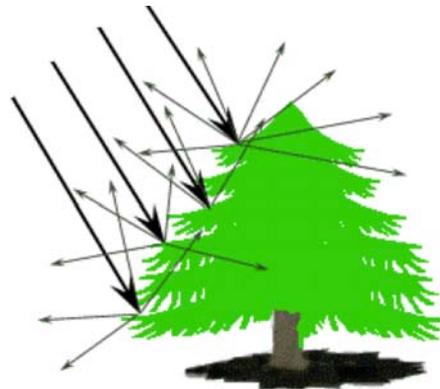


Interaction rayonnement – cible

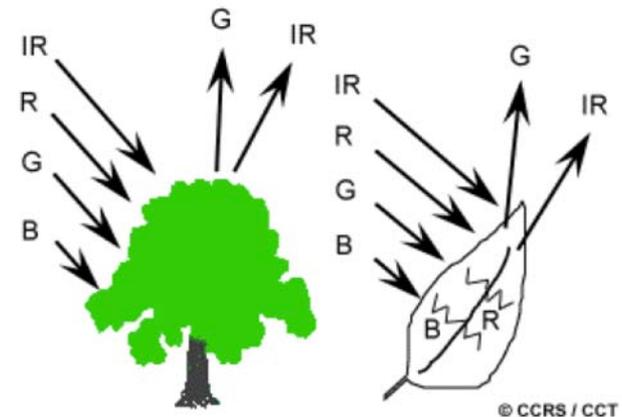
- **La surface peut:**
 - absorber
 - transmettre
 - réfléchir l'énergie incidente



Réflexion spéculaire

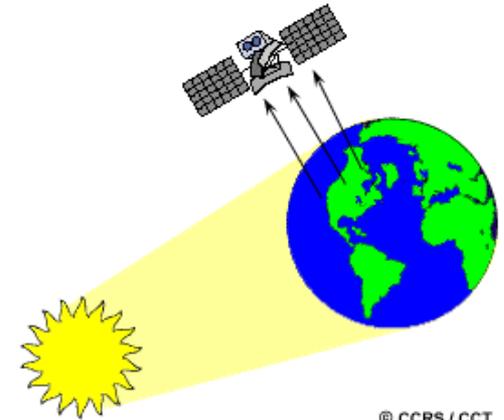


Réflexion diffuse



Capteurs passifs et actifs

- **Passif:** seulement perçoit l'énergie réfléchie lorsque le Soleil illumine la Terre



- **Actif:** produit sa propre énergie pour illuminer la cible

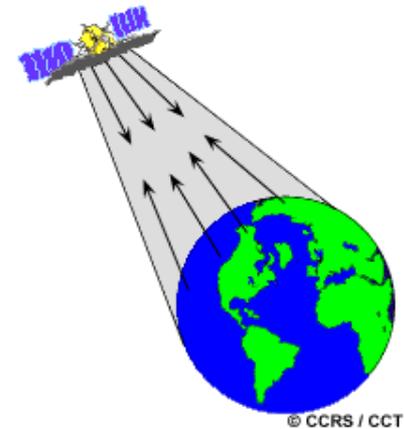


Plate-formes

- Capteur de télédétection doit être installé sur une **plate-forme** distante de la surface observée
 - capteurs au sol
 - sur des avions
 - navettes spatiales
 - **satellites**: objets en orbite autour de la terre

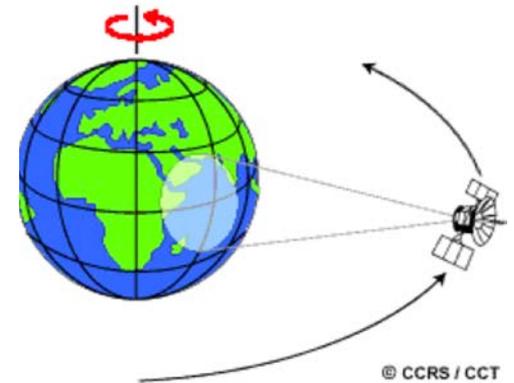


Caractéristiques d'un satellite

- **Orbite** : trajectoire effectuée par un satellite autour de la Terre

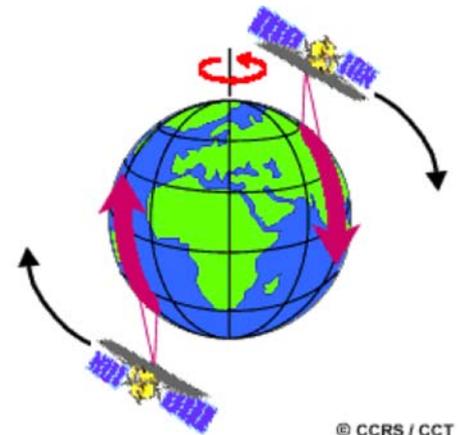
- **géostationnaire**

- altitude très élevée (~36000 km)
- regarde toujours la même région de la Terre
- satellites de communication et d'observation des conditions météorologiques



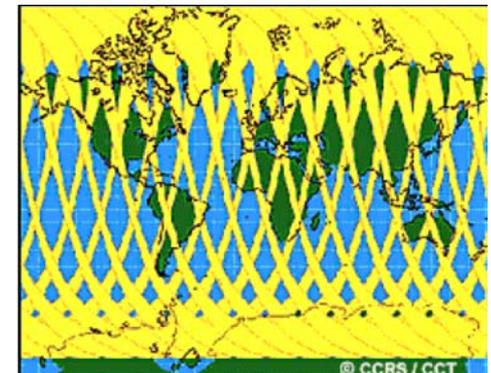
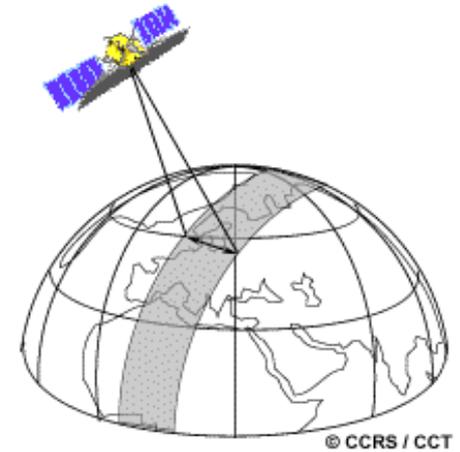
- **quasi polaire**

- allant pratiquement du nord au sud (orbite descendante) et du sud au nord (ascendante)
- observe la presque totalité de la surface de la Terre
- **héliosynchrone** = observe chaque région du globe à la même heure solaire



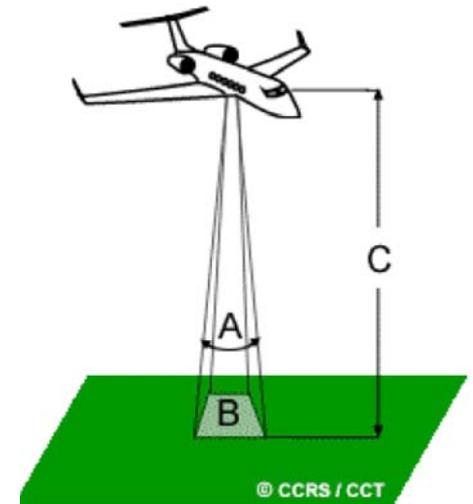
Caractéristiques d'un satellite

- **Fauchée** : partie de la surface de la Terre observée par un satellite
- Point **nadir** : points sur la surface de la Terre qui se trouvent directement en dessous de la trajectoire du satellite
- **Cycle de passage** du satellite : période de temps nécessaire pour que le satellite revienne au-dessus d'un point nadir pris au hasard
 - ne pas confondre avec la période de revisite



Résolution spatiale

- **Résolution spatiale** : fonction de la dimension du plus petit élément qu'il est possible de détecter
 - dépend de son CVI
- **Champ de vision instantanée (CVI)**
 - cône visible du capteur (A)
- **Cellule de résolution**
 - aire de la surface visible à une altitude donnée et à un moment précis (B)



basse résolution

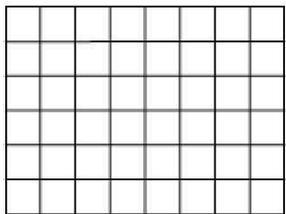
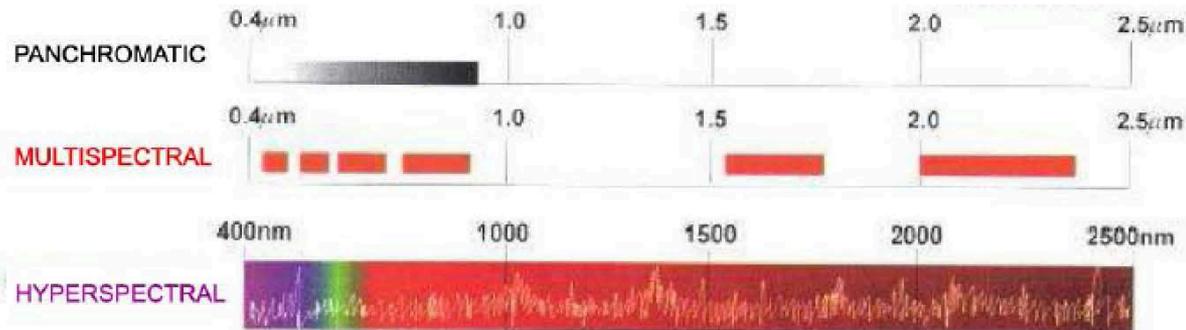


haute résolution

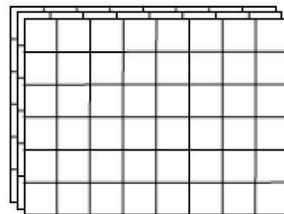


capteurs militaires

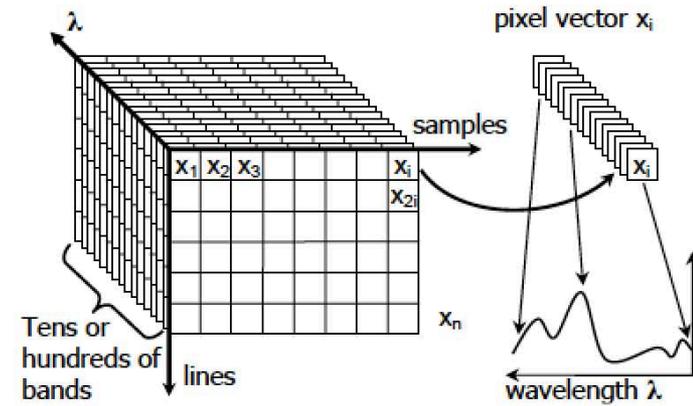
Résolution spectrale



1 band



2-10 bands



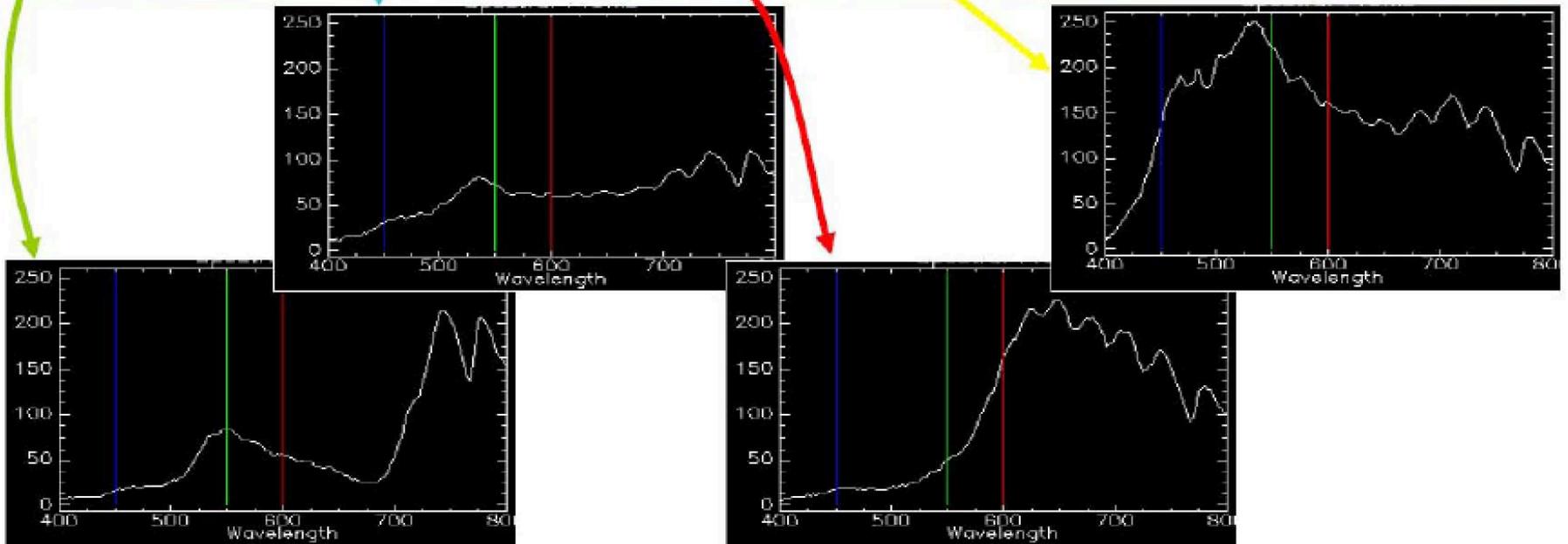
Tens or hundreds of bands

hyperspectrale

panchromatique

multispectrale

Résolution spectrale



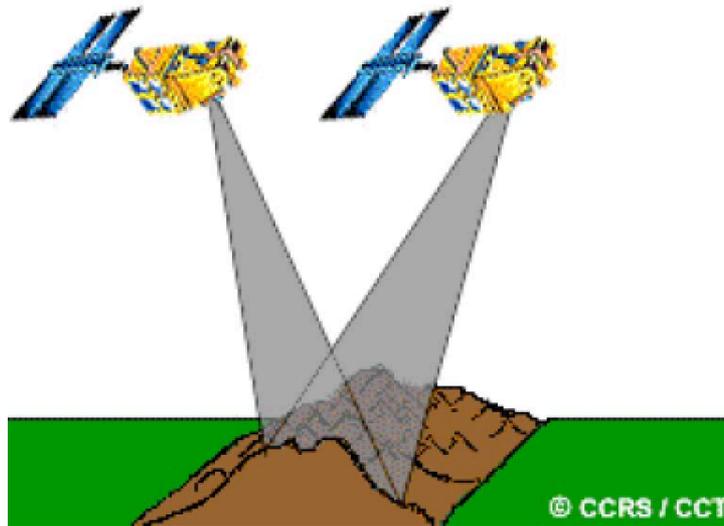
Résolution radiométrique

- **Résolution radiométrique** décrit la capacité de reconnaître de petites différences dans l'énergie électromagnétique
 - Exemple : capteur utilisant 4 bits, 8 bits etc.
- **Plage dynamique** : gamme de longueurs d'onde à l'intérieur de laquelle un capteur est sensible



Résolution temporelle

- **Absolue = au cycle de passage du satellite**
- **Effective : dépend de**
 - zone de chevauchement entre les fauchées adjacentes
 - capacité du satellite et de ses capteurs
 - latitude

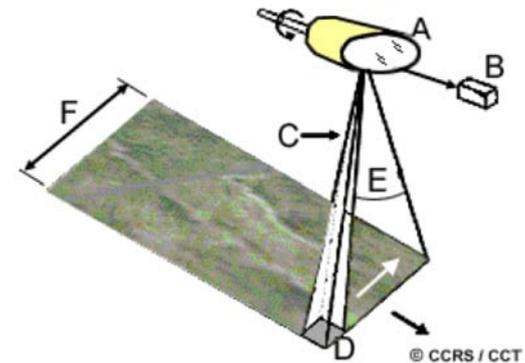


Balayage multispectral

- capteur dont CVI est étroit, mais qui balaie la surface de façon à en produire une image bidimensionnelle de la surface

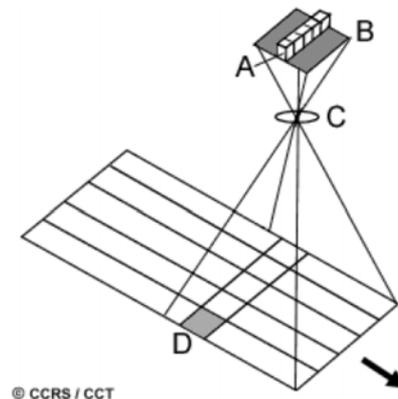
- **2 modes principales:**

- balayage perpendiculaire à la trajectoire



- balayage parallèle à la trajectoire

- résolutions spatiale et spectrale plus fines
- plus petits, plus légers, fiables et durables



Satellites et capteurs météorologiques

- **Prédiction et surveillance de la météo**
 - une des 1^{ères} applications civiles de télédétection
- **1960 : 1^{er} satellite météorologique TIROS-1**
 - Television and Infrared Observation Satellite
- **Orbites polaires héliosynchrones**
- **1966 : la NASA a lancé ATS-1**
 - fournissait des images hémisphériques toutes les 30 minutes



Satellites et capteurs météorologiques

- **GOES : Geostationary Operational Environmental Satellite**

- GOES 1-11

- orbite géostationnaire
 - résolution spatiale grossière, résolution temporelle élevée



GOES-8

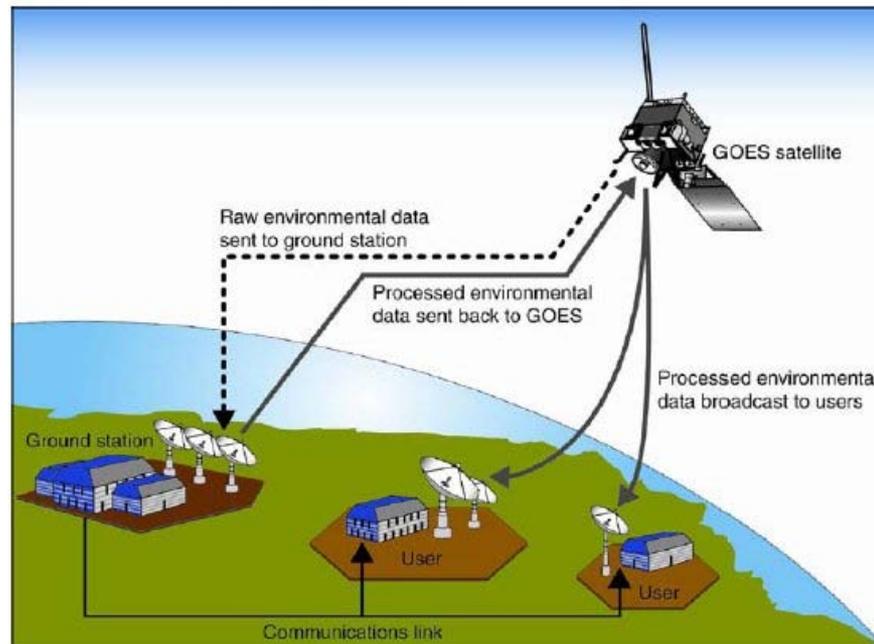


Bande	Domaine spectral (microns)	Résolution spatiale	Application
1	0,52 - 0,72 (visible)	1 km	Nuages, pollution, identification de tempêtes sévères
2	3,78 - 4,03 (proche IR)	4 km	Identification de la brume durant la nuit, différenciation des nuages de pluie et de neige ou glace durant le jour; détection de feux et d'éruptions volcaniques, détermination de la température de la surface des océans durant la nuit
3	6,47 - 7,02 (vapeur d'eau au niveau supérieur)	4 km	évaluation de l'advection et du contenu en humidité des couches atmosphériques intermédiaires. Suivi du mouvement des masses atmosphériques intermédiaires. Suivi du mouvement des masses atmosphériques
4	10,2 - 11,2 (IR à longue longueur d'onde)	4 km	identification des vents qui entraînent les nuages, les tempêtes sévères, la pluie torrentielle
5	11,5 - 12,5 (fenêtre de l'IR qui est sensible à la vapeur d'eau)	4 km	identification de l'humidité dans la couche inférieure de l'atmosphère, détermination de la température de la surface des océans, détection de poussière et de cendre volcanique dans l'atmosphère

Satellites et capteurs météorologiques

- **GOES : Geostationary Operational Environmental Satellite**
 - GOES 1-11
 - orbite géostationnaire
 - résolution spatiale grossière, résolution temporelle élevée

Figure 2: Generic GOES Data Relay Pattern



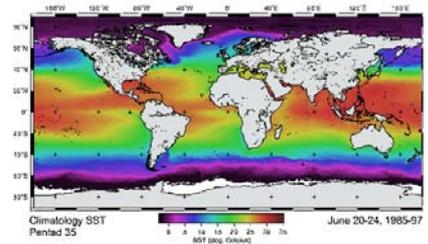
Source: GAO analysis of NOAA data.

Satellites et capteurs météorologiques

- **GOES : Geostationary Operational Environmental Satellite**
 - GOES 1-11
 - résolution spatiale grossière, résolution temporelle élevée
 - GOES 12-15 sont actuellement opérationnels
 - GOES-R doit être lancé en 2015
 - Advanced Baseline Imager
 - Hyperspectral Environmental Suite
 - Space Environment In-Situ Suite : Magnetospheric Particle, Energetic Heavy Ion and Solar and Galactic Proton Sensors
 - Solar Imaging Suite : Solar Ultraviolet Imager, Solar X-Ray and Extreme Ultraviolet Sensors
 - Geostationary Lightning Mapper
 - Magnetometer

Satellites et capteurs météorologiques

- **NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) AVHRR**
 - Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)
 - Orbite polaire héliosynchrone
 - Utilisé pour la météorologie & pour la surveillance de la Terre à petite échelle



Bande	Domaine spectral (μm)	Résolution spatiale	Application
1	0,58 - 0,68 (rouge)	1,1 km	surveillance des nuages, de la neige et de la glace
2	0,725 - 1,1 (proche IR)	1,1 km	surveillance de l'eau, de la végétation, et de l'agricole
3	3,55 - 3,93(IR moyen)	1,1 km	température de la surface des océans, volcans, feux de forêts
4	10,3 - 11,3(IR thermique)	1,1 km	température de la surface des océans, humidité du sol
5	11,5 - 12,5 (IR thermique)	,1 km	température de la surface des océans, humidité du sol

Satellites et capteurs météorologiques

- **Defense Meteorological Satellite Program DMSP (EU)**
- **Geostationary meteorological satellite GMS (Japon)**
- **Météosat (Europe)**
 - géostationnaire
 - des images toutes les demi-heures
 - 3 bandes:
 - visible (0.4 à 1.1 μm , résolution spatiale de 2.5 km)
 - infrarouge moyen (5.7 à 7.1 μm , résolution spatiale de 5 km)
 - infrarouge thermique (10.5 à 12.5 μm , résolution spatiale de 5 km)



Satellites d'observation de la Terre: Landsat

- 1^{er} programme spatial d'observation de la Terre dédié à des fins civiles
- Landsat-1
 - 1972, 4 bandes spectrales
 - balayage perpendiculaire (whiskbroom)
 - altitude : 907-915 km, fauchée : 185 km, cycle : 18 jours
- Landsat-8/LDCM
 - 2013, 8 bandes spectrales
 - balayage parallèle (pushbroom), cycle : 16 jours

Operational
Land
Imager

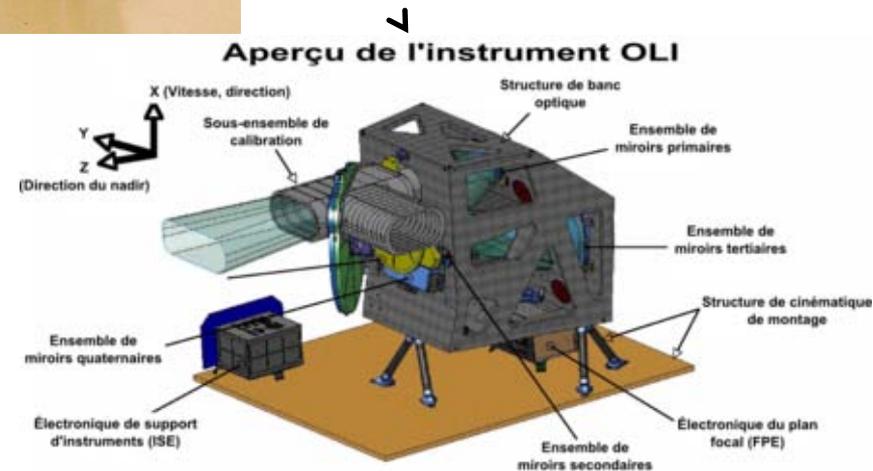
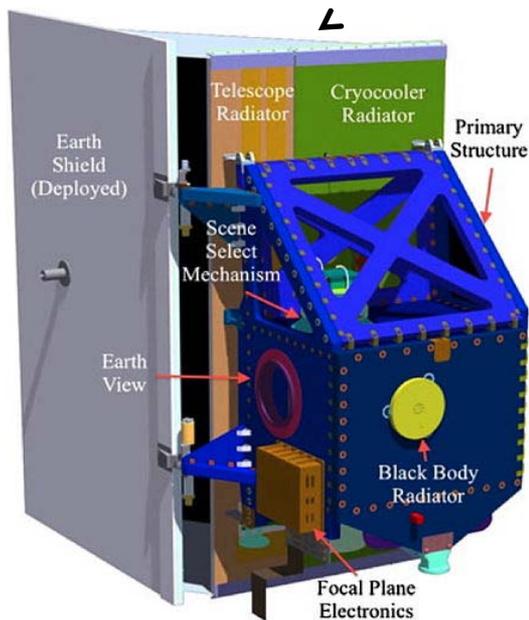
Bande spectrale	Longueur d'onde	Résolution
Bande 1 - Aérosols	0,433 - 0,453 μm	30 m
Bande 2 - Bleu	0,450 - 0,515 μm	30 m
Bande 3 - Vert	0,525 - 0,600 μm	30 m
Bande 4 - Rouge	0,630 - 0,680 μm	30 m
Bande 5 - Infrarouge proche	0,845 - 0,885 μm	30 m
Bande 6 - Infrarouge moyen 1	1,560 - 1,660 μm	30 m
Bande 7 - Infrarouge moyen 2	2,100 - 2,300 μm	30 m
Bande 8 - Panchromatique	0,500 - 0,680 μm	15 m
Bande 9 - Cirrus	1,360 - 1,390 μm	30 m

Bande spectrale	Longueur d'onde	Résolution
Bande 10 - Infrarouge moyen	10,30 - 11,30 μm	100 m
Bande 11 - Infrarouge moyen	11,50 - 12,50 μm	100 m

Thermal Infrared Sensor

Satellites d'observation de la Terre: Landsat

- Landsat-8/LDCM



Satellites d'observation de la Terre: Landsat

- **Succès de Landsat**

- domaines spectraux façonnées pour l'observation de la Terre
- résolution spatiale fonctionnelle
- bonne couverture du globe
 - fauchée et répétitivité

- **Applications :**

- gestion des ressources
- cartographie
- surveillance de l'environnement
- détection du changement
 - ex: surveillance des coupes à blanc



Satellites d'observation de la Terre: **SPOT**

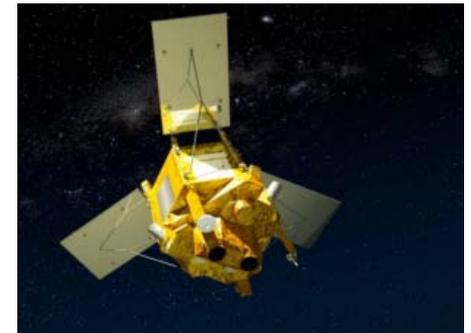
- **Système Pour l'Observation de la Terre**
- **Développé par le CNES, France**
 - en collaboration avec Belgique et Suède
- **SPOT-1**
 - lancé en 1986
 - orbite quasi polaire héliosynchrone
 - balayage longitudinal
 - cycle : 26 jours (couverture complète de la Terre)
 - 1 bande panchro (10m)
 - 3 bandes MS (20m, vert, rouge, proche infrarouge)



Satellites d'observation de la Terre: **SPOT**

- **Génération SPOT 6 et 7**

- SPOT 6 a été lancé en 2012, SPOT 7 est prévu en 2014
- la même orbite que Pleiades (694 km d'altitude)
- fauchée : 60 km
- bande panchromatique (1.5 m)
 - 455 – 745 μm
- bandes multispectrales (6 m)
 - bleue (455 – 525 μm)
 - verte (530 – 590 μm)
 - rouge (625 – 695 μm)
 - proche infrarouge (760 – 890 μm)



Satellites d'observation de la Terre: **SPOT**



- **Avantages**

- résolution fine
- banque d'images couvrant la planète depuis plus de 20 ans
- images stéréoscopiques

- **Utilisation**

- Défense
 - ex: images stéréoscopiques → modèles numériques de terrain
- Agriculture
 - évaluation des dégâts causés par des intempéries
- Cartographie
 - SPOT 5 permet la réalisation de cartes au 1:50 000
- Suivi de l'environnement
 - météorologie, prévision des récoltes

Satellites d'observation de la Terre: **IRS**

- Indian Remote Sensing Satellite (1988-2013)
- Orbite polaire héliosynchrone
- Actuellement 12 satellites opérationnelles

Capteurs de IRS-1C lancé en 1995

Capteur	Domaine spectral (microns)	Résolution spatiale	Largeur de la fauchée	Répétitivité (à l'équateur)
PAN	0,5 - 0,75	5,8 m	70 km	24 jours
LISS-II				
Vert	0,52 - 0,59	23 m	142 km	24 jours
Rouge	0,62 - 0,68	23 m	142 km	24 jours
Proche IR	0,77 - 0,86	23 m	142 km	24 jours
IR moyen	1,55 - 1,70	70 m	148 km	24 jours
WiFS				
Rouge	0,62 - 0,68	188 m	774 km	5 jours
Proche IR	0,77 - 0,86	188 m	774 km	5 jours

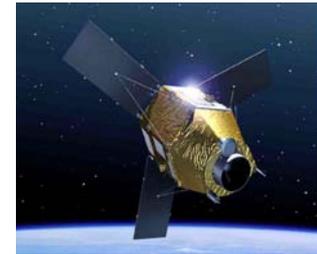
➤ planification urbaine
cartographie

➤ discrimination de la
végétation, gestion des
ressources naturelles

➤ surveillance de la
végétation à l'échelle
régionale

Satellites d'observation de la Terre: **Pleiades**

- **2 satellites optiques 1A (2011) et 1B (2012)**
- **France, Suède, Belge, Espagne, Italie, Autriche**
- **Objectifs:**
 - très haute résolution
 - 0.7 m en mode panchromatique
 - 2,8 m en mode multispectral
 - capacité de revisite quotidienne



Mode	Canal	Bande spectrale
Multispectral	1	430 – 550 nm (bleu)
	2	490 – 610 nm (vert)
	3	600 – 720 nm (rouge)
	4	750 – 950 nm (proche infrarouge)
Panchromatique	P	480 – 830 nm (noir & blanc)

Satellites d'observation de la Terre: **Pleiades**

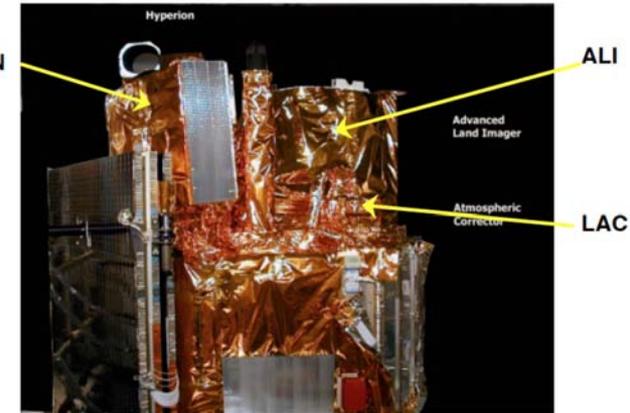
- **Applications : télédétection à très haute résolution**
 - Aménagement : détection des véhicules mobiliers urbains, réseaux de voirie, buisson isolés.
 - Agriculture : gestion des espaces agricoles
 - Urbanisme : localisation de constructions individuelles
 - Défense : planification tactique
 - Sécurité civile : prévention, assistance durant les crises
 - Mer et littoral : reconnaissance de navires et pollutions
 - Hydrologie : topographie
 - Forêts : déforestation illégales
 - Génie civil : tracés routiers et ferrés.



Satellites hyperspectrales

- **Hyperion (EO-1 lancé en 2000)**
 - cycle : 16 jours, balayage parallèle

Parameters	EO-1		
	ALI	HYPERION	AC
Spectral Range	0.4 - 2.4 μm	0.4 - 2.4 μm	0.9 - 1.6 μm
Spatial Resolution	30 m	30 m	250 m
Swath Width	36 Km	7.6 Km	185 Km
Spectral Resolution	Variable	10 nm	6 nm
Spectral Coverage	Discrete	Continuous	Continuous
Pan Band Resolution	10 m	N/A	N/A
Total Number of Bands	10	220	256

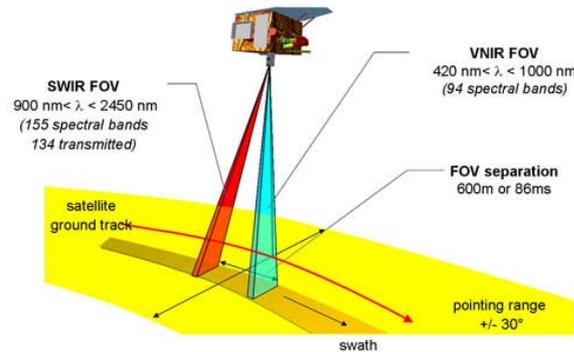


- Applications :
 - agriculture de précision
 - minéralogie
 - surveillance et gestion d'environnement
 - surveillance militaire

Satellites hyperspectrales

- **EnMAP**

- Allemagne, prévu pour 2015
- orbite héliosynchrone
- 244 bandes spectrales, résolution spatiale : 30 m



- **HyspIRI**

- Etats-Unis, en cours de développement

- **HYPXIM**

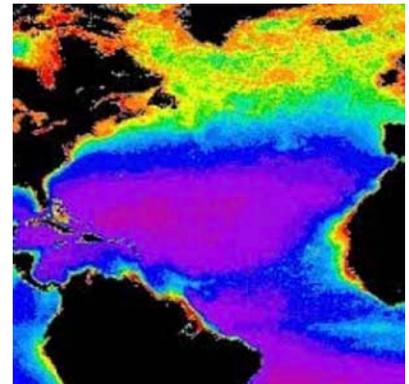
- France, en cours de développement ??

Satellites d'observation marine

- **CZCS (Coastal Zone Colour Scanner)**

- Lancé en 1978 (satellite Nimbus-7)
- 1^{er} capteur spécifiquement conçu pour la surveillance des océans et des étendues d'eau
 - objectif : observer la couleur et la température de l'océan
- orbite héliosynchrone polaire, cycle : 6 jours
- résolution spatiale : 825 m
- largeur de fauchée : 1566 km

Bandes	Domaine spectral (microns)	Paramètre primaire mesuré
1	0,43 - 0,45	Absorption de chlorophylle
2	0,51 - 0,53	Absorption de chlorophylle
3	0,54 - 0,56	Gelbstoffe (substance jaune)
4	0,66 - 0,68	Concentration de chlorophylle
5	0,70 - 0,80	végétation de surface
6	10,5 - 12,50	température de surface



Satellites d'observation marine

- **MOS-1 et MOS-1b (Marine Observation Satellite)**
 - lancés en 1987 et 1990
 - cycle : 17 jours
 - 3 capteurs :
 - radiomètre multispectral électronique à autobalayage (MESSR, 4 bandes)
 - radiomètre du visible et de l'infrarouge thermique (VTIR, 4 bandes)
 - radiomètre micro-ondes à balayage (MSR, 2 bandes)

Capteur	Domaine spectral (microns)	Résolution spatiale	Largeur de la fauchée
MESSR	0,51 - 0,59	50 m	100 km
	0,61 - 0,69	50 m	100 km
	0,72 - 0,80	50 m	100 km
	0,80 - 1,10	50 m	100 km
VTIR	0,50 - 0,70	900 m	1500 km
	6,0 - 7,0	2700 m	1500 km
	10,5 - 11,5	2700 m	1500 km
	11,5 - 12,5	2700 m	1500 km

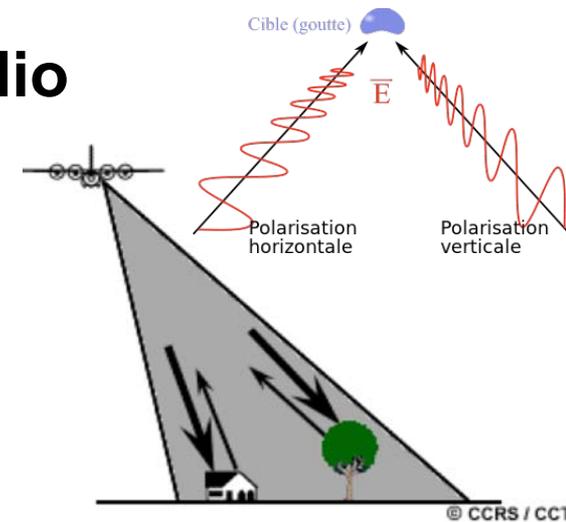
Satellites d'observation marine

- **SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor)**
 - lancé en 1997, n'est plus opérationnel (depuis 2010)
 - conçu pour la surveillance des océans (pour remplacer CZCS)
 - surveillance de la production primaire des océans
 - l'influence des océans sur les processus climatiques
 - surveillance des cycles du carbone et de l'azote
 - résolution spatiale : 1.1 km (fauchée de 2800 km) et 4.5 km (fauchée de 1500 km)

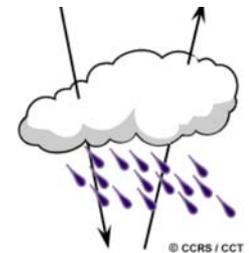
Bandes	Domaine spectral (microns)
1	0,402 - 0,422
2	0,433 - 0,453
3	0,480 - 0,500
4	0,500 - 0,520
5	0,545 - 0,565
6	0,660 - 0,680
7	0,745 - 0,785
8	0,845 - 0,885

RADAR (Radio Detection and Ranging)

- **détection et télémétrie par ondes radio**
- **capteur actif**
 - transmet vers la cible un signal radio dans les hyperfréquences
 - détecte la partie rétrodiffusée du signal
 - l'**intensité** du signal rétrodiffusé est mesurée pour **discerner les différentes cibles**
 - le **délai** entre la transmission et la réception du signal sert à déterminer la **distance** de la cible



- **détecteurs toutes saisons, jour + nuit**



Radars



- **Seasat (1978)**

- NASA (Etats-Unis)
- orbite basse terrestre (800 km d'altitude)
- premier satellite radar civil

- **ERS-1 (1991) et ERS-2 (1995)**

- Agence spatiale européenne
- orbite héliosynchrone (780 km d'altitude)
- Radar à synthèse d'ouverture (SAR)
 - images bidimensionnelles à haute résolution (6 m)
 - Mode «35 jours» : couverture globale de la surface terrestre



- **JERS-1 (1992)**

- Japon
- orbite héliosynchrone (568 km), cycle : 44 jours, SAR

Radars – Applications

- **Seconde Guerre mondiale : premières utilisations opérationnelles**
- **militaire**
 - radars de détection et de surveillance aérienne au sol ou embarqués, autodirecteurs de missiles...
- **aéronautique**
 - contrôle du trafic aérien, guidage d'approche d'aéroport
- **maritime**
 - radar de navigation, anti-collision
- **météorologie**
 - détection de précipitations (pluie, neige, grésil, grêle, etc.) et de formations nuageuses
- **circulation et sécurité routière**
 - contrôle de la vitesse des automobiles, ...

LIDAR (Light Detection and Ranging)

- **technique d'imagerie active**
- **émet des impulsions de lumière laser (visible ou infrarouge) & détecte l'énergie réfléchie par la cible**
- **principe similaire à celui de RADAR**
 - mais radar utilise les ondes radio
- **1962 Luna See**
 - Louis Smullin et Giorgio Fiocco obtiennent les premiers échos Lidar de la surface lunaire



LIDAR – Applications

- **météorologie**
 - détection de la force et de la direction du vent par effet Doppler
- **étude de l'atmosphère**
 - aérosols, vapeur d'eau, ozone
- **réalisation de Modèles Numériques de Terrain**
- **robots, voitures évoluant sans intervention humaine**
- **détecteurs biologiques**
 - détection par fluorescence induite par laser, d'agents biologiques aérosol

FASOR, utilisé pour exciter les atomes de sodium dans la haute atmosphère

