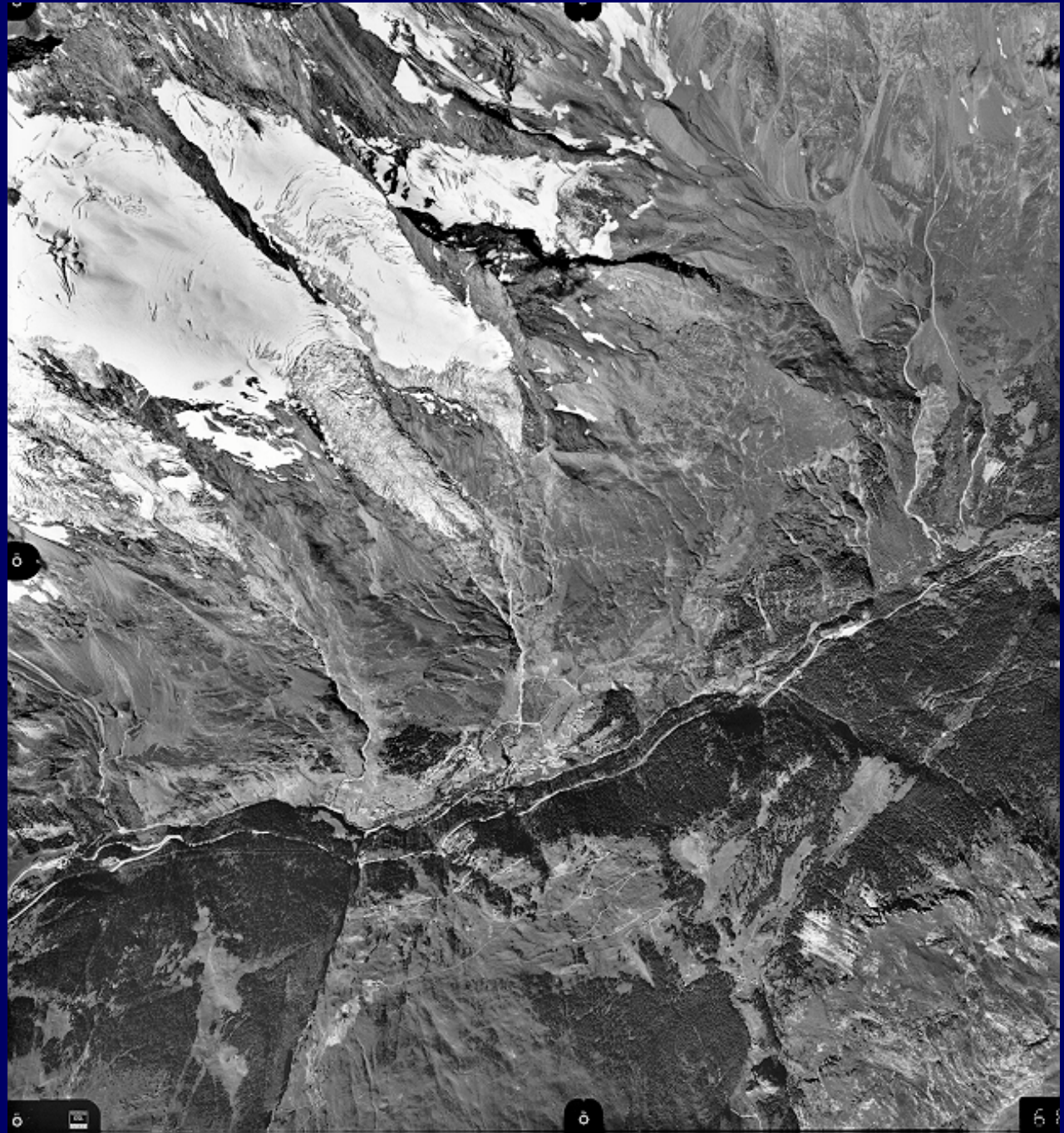
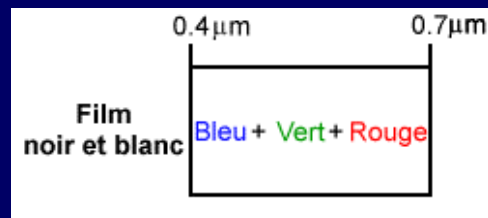


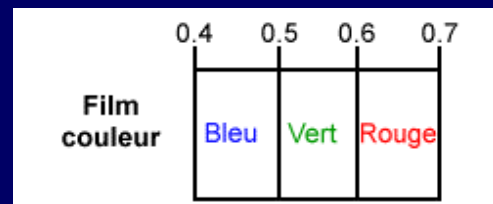
V. Les capteurs

La photographie

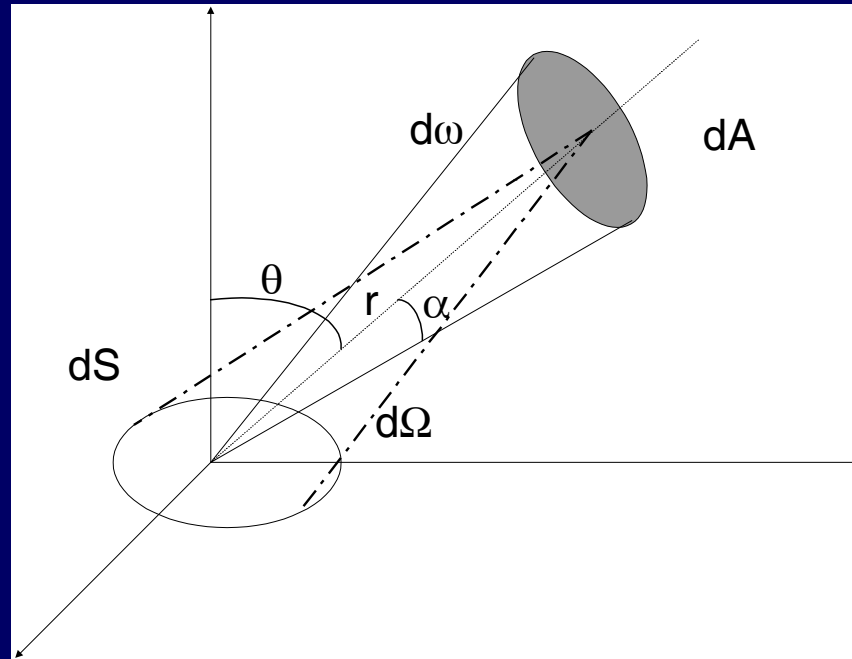
Film noir & blanc
panchromatique (©IGN)



Film couleurs
naturelles (©IGN)



Les radiomètres passifs ponctuels



Flux énergétique émis par la source :

$$d^2\phi_s(\theta, \varphi) = L(\theta, \varphi) dS \cos\theta_s d\omega$$

Intensité énergétique de la source :

$$I(\theta, \varphi) = \frac{d\phi_s(\theta, \varphi)}{d\omega}$$

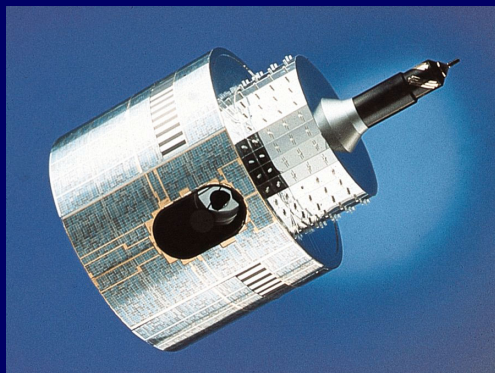
Flux énergétique atteignant le détecteur :

$$d\phi_r = I(\theta, \varphi) d\Omega = I(\theta, \varphi) \frac{dA \cos\theta_r}{r^2}$$

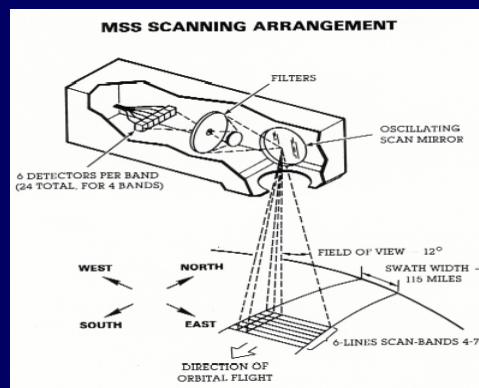
Eclairement énergétique du détecteur

$$E_r = \frac{d\phi_r}{dA} = I(\theta, \varphi) \frac{\cos\theta_r}{r^2}$$

Les radiomètres passifs imageurs



Systemes à balayage
optique et mécanique :
METEOSAT

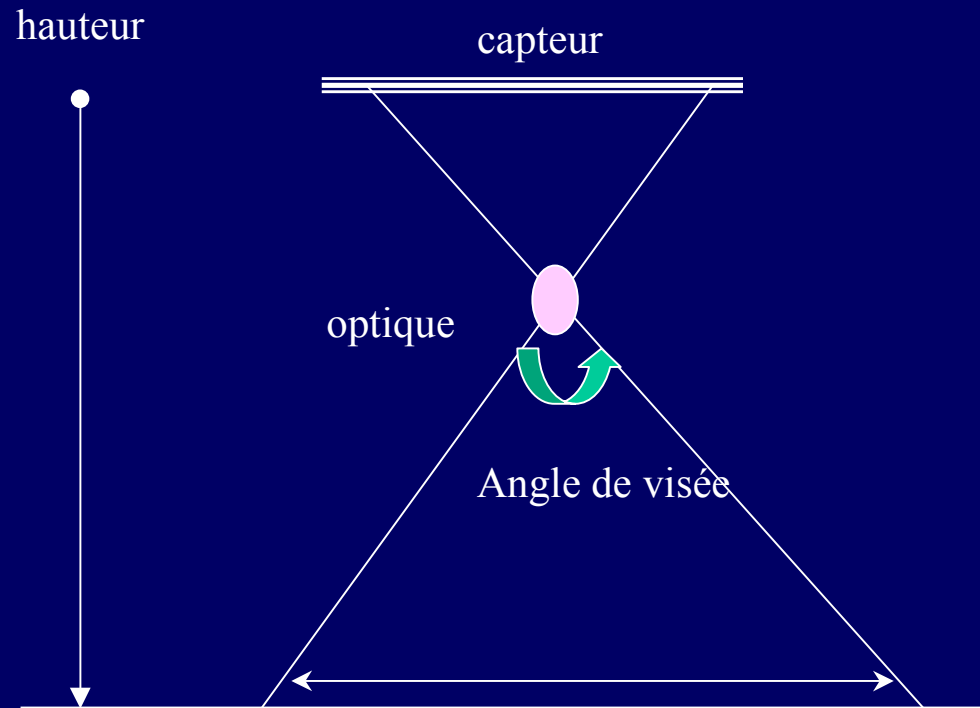


Miroir oscillant :
LANDSAT-MSS

Barette de détecteurs :
SPOT-HRV



- Champ instantané d'observation (IFOV = *Instantaneous Field of View*) : cône d'analyse d'un capteur donnée dépendant de son angle d'ouverture. Il permet de calculer la taille du pixel



- Champ global d'observation : taille du territoire observé par le satellite
- Résolution spectrale

Vecteur	Capteur	Mode	Altitude	IFOV	Taille du pixel	Champ global d'observation
ER2	AVIRIS	-	20 km	1 mrad	20 m	10,6 km
NOAA 5	AVHRR	-	1 515 km	1,3 mrad	1,1 km	2 700 km
LANDSAT	MSS	-	920 km	0,086 mrad	79 m	185 km
	TM	-	720 km	0,0425 mrad	30 m	185 km
SPOT 1, 2 et 3	HRV 1 et 2	XS	830 km	0,024 mrad	20 m	60 km
		P		0,012 mrad	10 m	
ADEOS	POLDER	-	797 km		6 × 7 km	2400 km
IKONOS		MS	681 km		4 m	11 km
		P			1 m	
TERRA	ASTER	VNIR	705 km		15 m	60 km
		SWIR			30 m	
		TIR			90 m	



Première image IKONOS acquise le 12 octobre 1999
Washington, DC

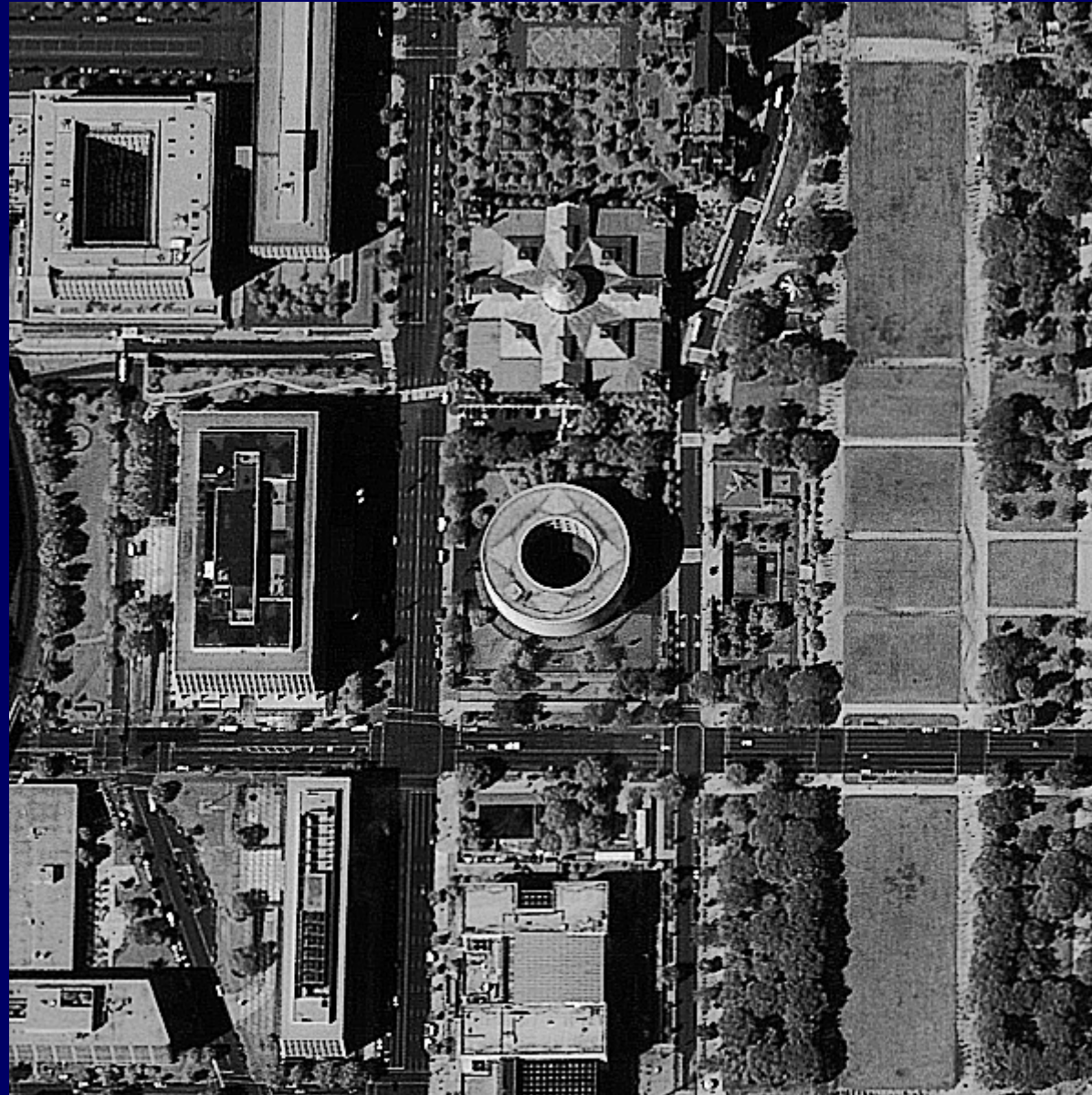
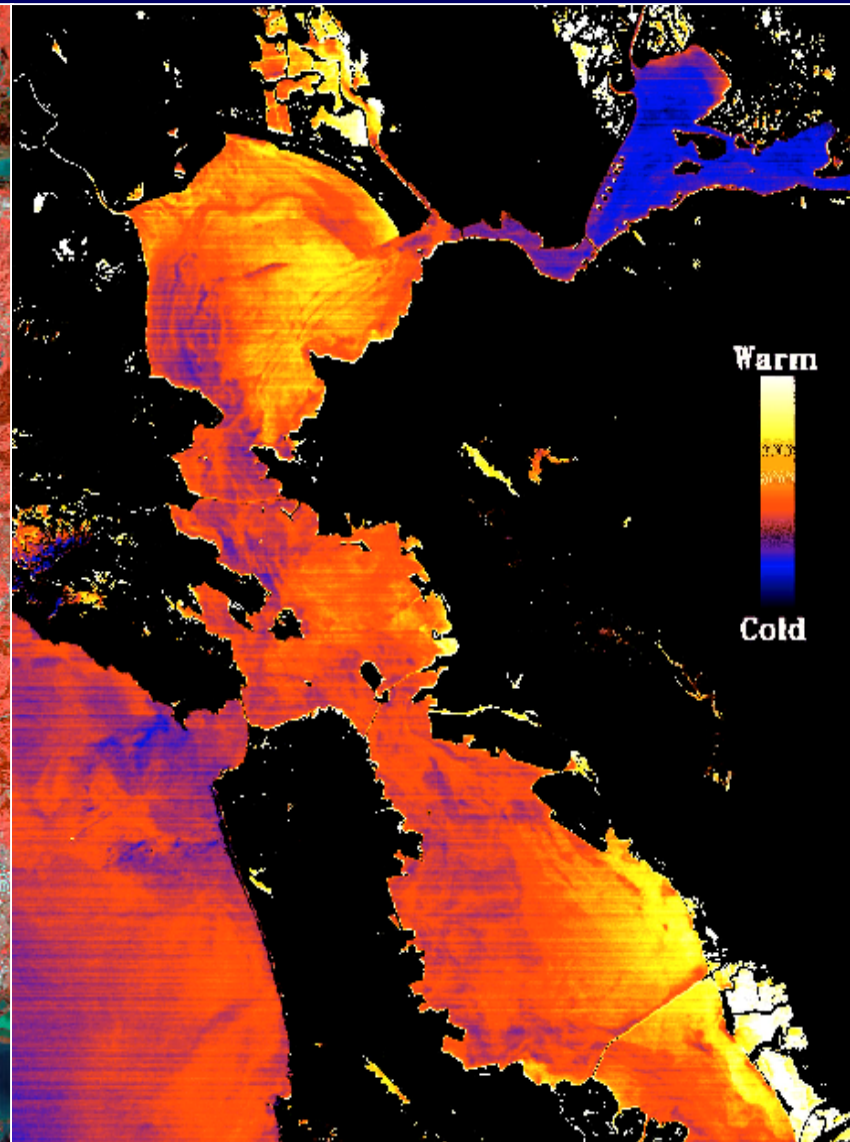


Image (60 km × 75 km) de la baie de San Francisco (CA) acquise par Terra-ASTER le 3 mars 2000



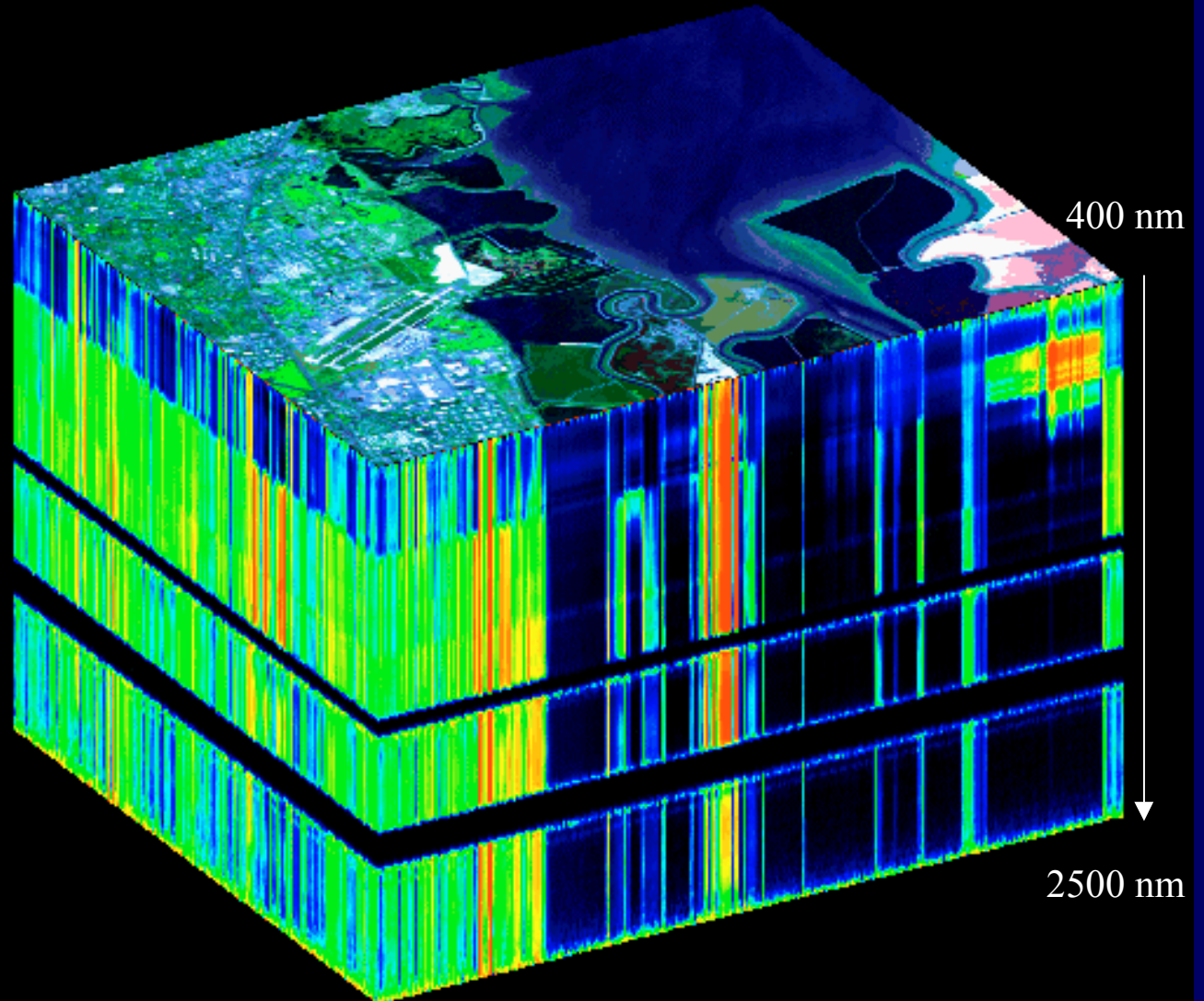
Visible - proche infrarouge



Infrarouge thermique

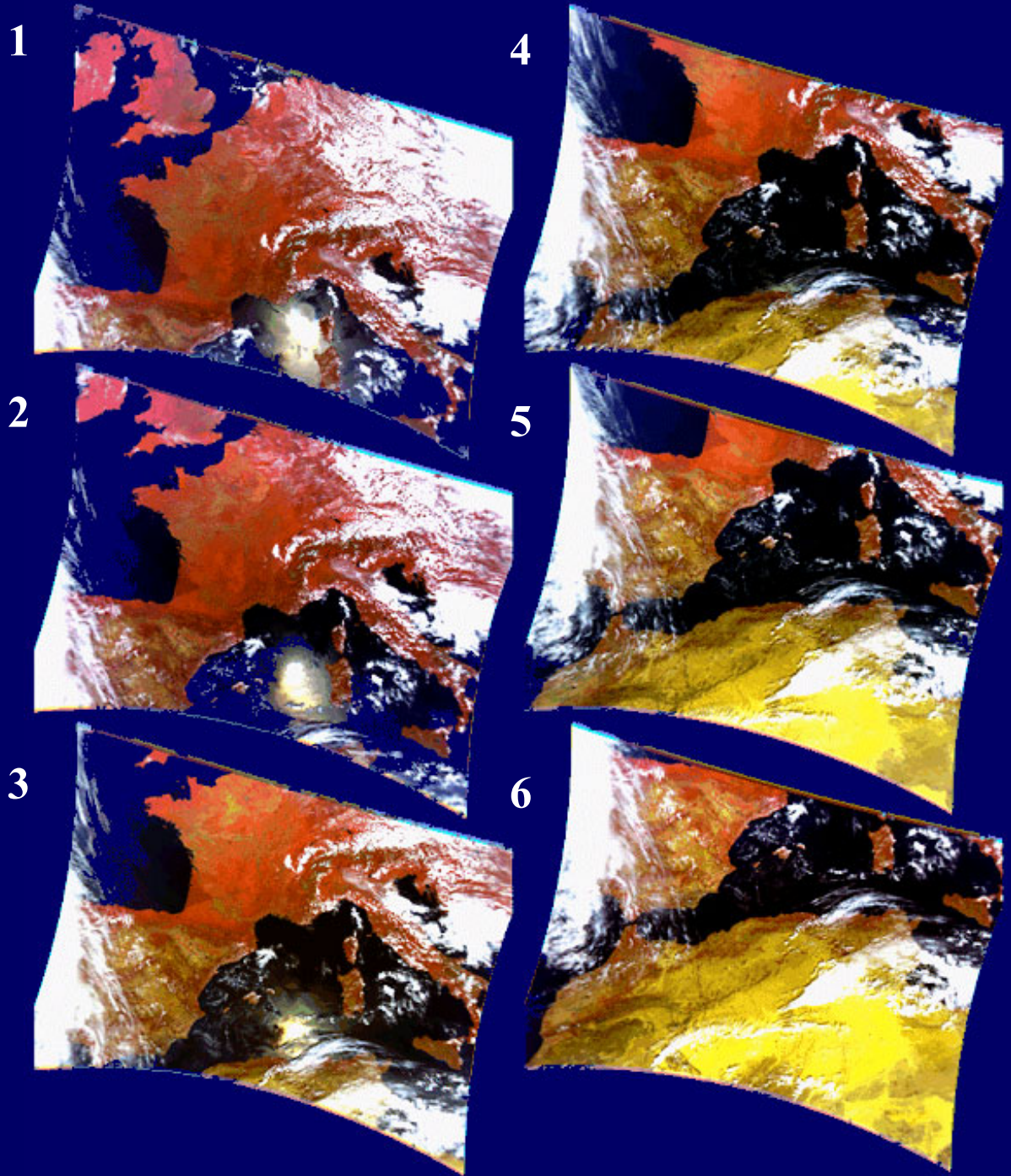


Cube AVIRIS (224 bandes spectrales entre 400 et 2500 nm) acquis le 20 août 1992 par l'avion ER-2 de la NASA (altitude : 20 km, vitesse : 730 km h⁻¹) sur le site de Moffett Field, CA (sud de la baie de San Francisco)

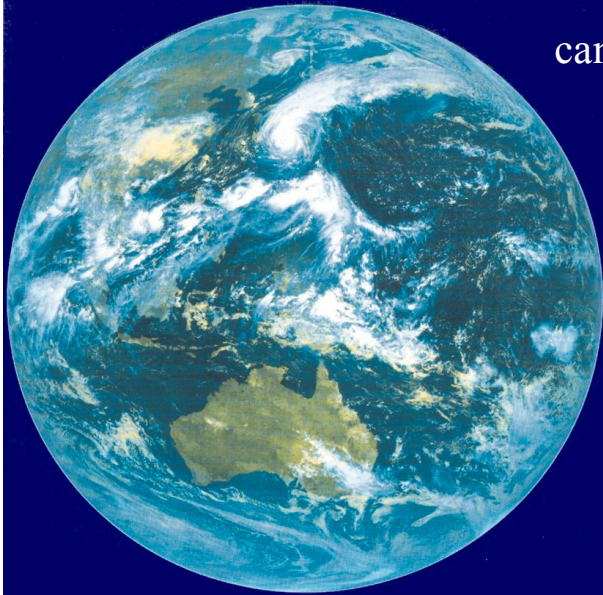




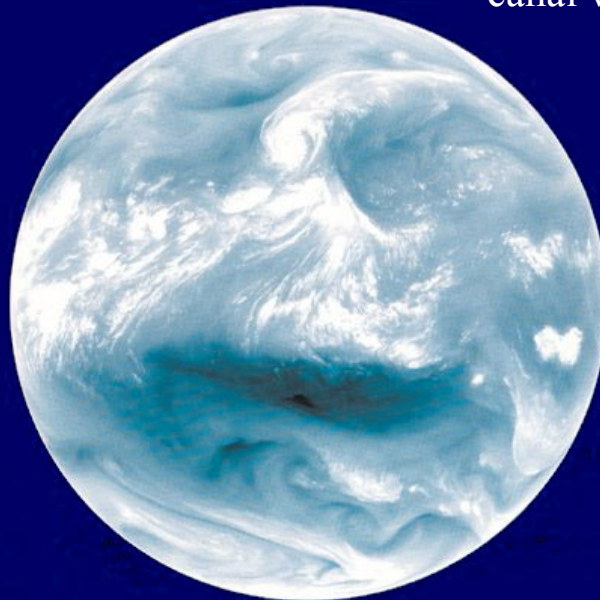
Première séquence ADEOS-POLDER (*PO*Larization and *DI*rectionality of the Earth's *R*eflectance) acquise sur l'Europe de l'ouest et l'Afrique du nord le 9 septembre 1996



Images du satellite GMS (Geostationary Meteorological Satellite ou "Himawari") acquises le 16 septembre 1995 à 03:00 UTC



canal visible (0,5 - 0,9 μm)



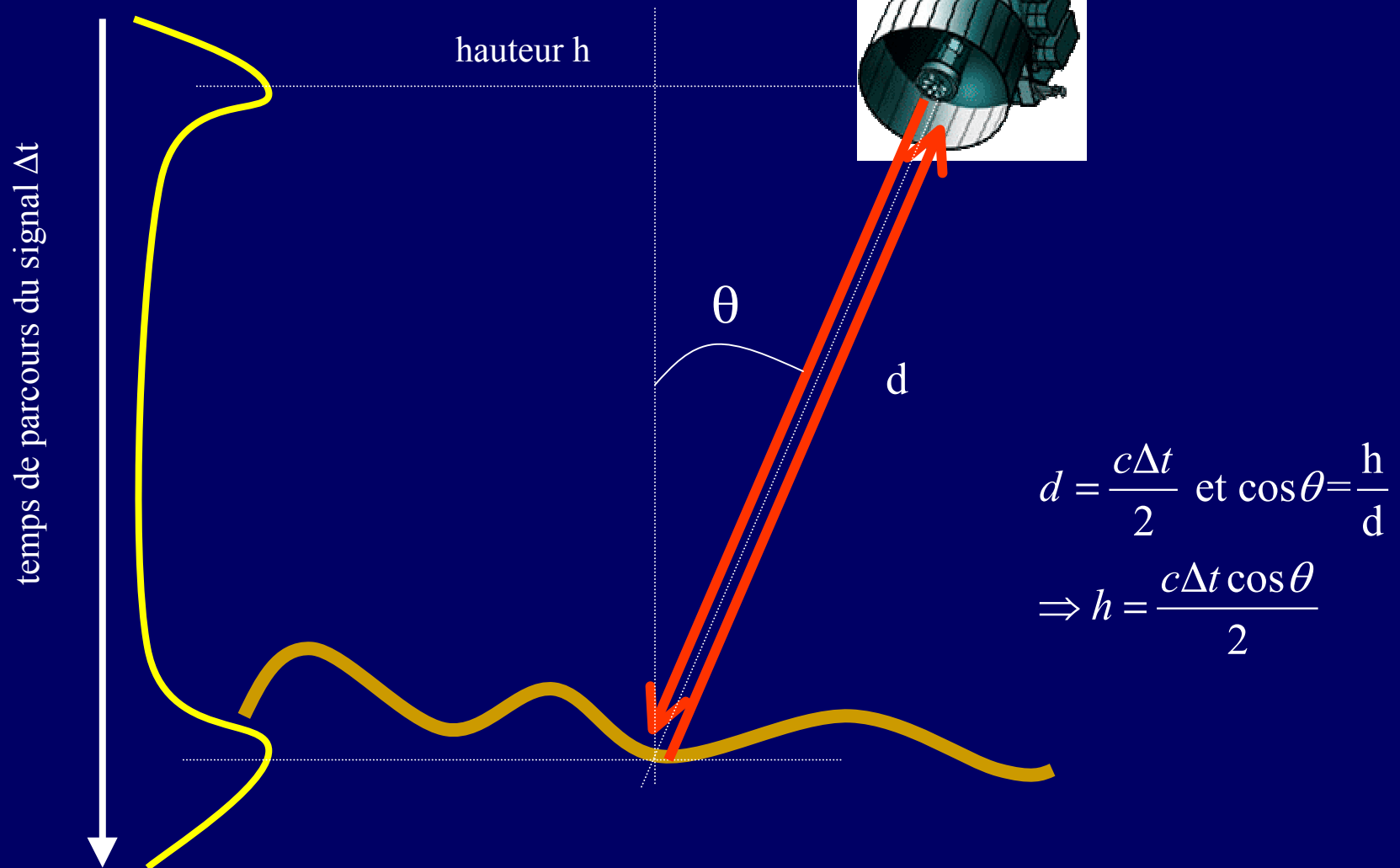
canal vapeur d'eau (6,5 - 7,0 μm)



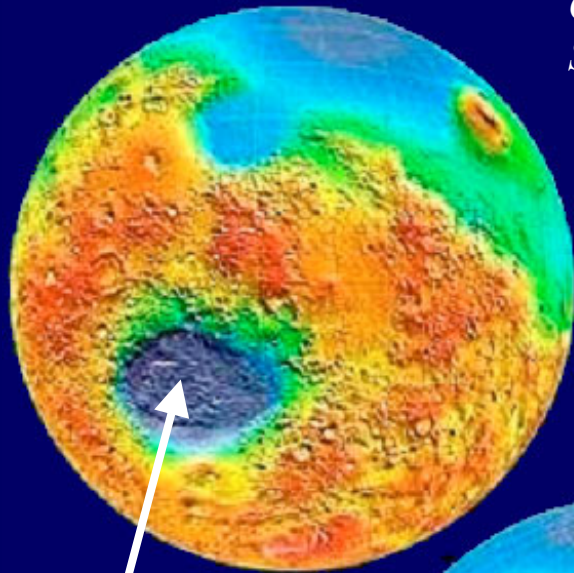
canal infrarouge (10,5 - 12,5 μm)

V.2. Capteurs actifs dans le domaine optique

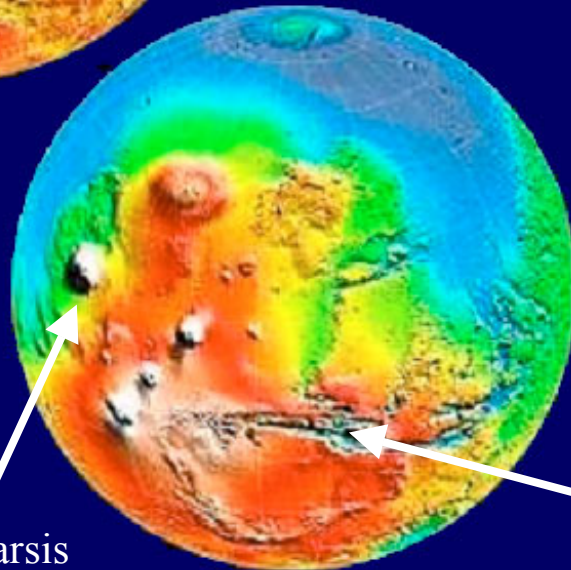
Principe du LIDAR (*Light Detection And Ranging*)



15 April 1999 : topographie de Mars mesurée par le lidar MOLA (*Mars Orbiter Laser Altimeter*) embarqué sur la sonde MGS (*Mars Global Surveyor*)



bassin d'impact
Hellas (~9 km
de profondeur,
~2300 km de
large)



Mont Tharsis

canyon Valles
Marineris

MOLA

- masse : 25.85 kg

Emetteur

- laser Nd:Yag pulsé

- longueur d'onde : 1064 nm

- fréquence de pulsation : 10 Hz

- angle d'ouverture : 0.4 mrad

Récepteur

- miroir parabolique : 50 cm

- photodiode avalanche au silicium

- Field Of View : 0.85 mrad

Résolution

- précision verticale relative : 37.5 cm

- précision verticale absolue : < 10 m

- taille du pixel : 130 m

- espacement entre deux pixels : 330 m

Emetteur

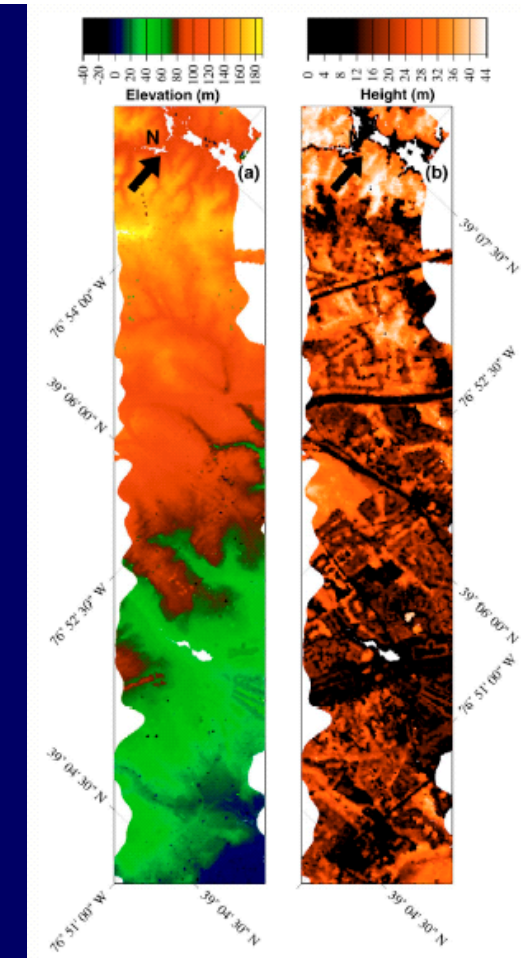
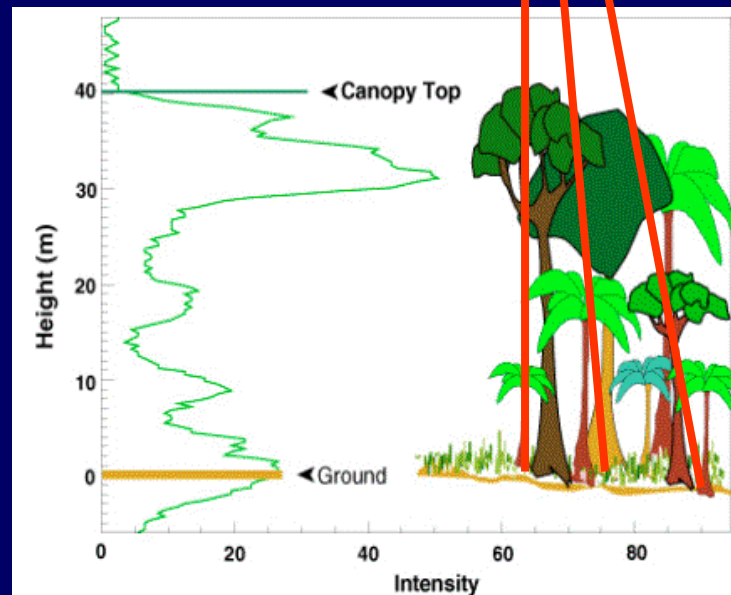
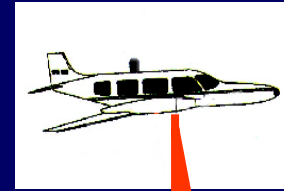
- laser Nd:Yag pulsé
- longueur d'onde : 1064 nm
- fréquence de pulsation : 100-500 Hz

Récepteur

- miroir parabolique : 20 cm
- détecteur Si:APD
- Field Of View : 8 mrad

Résolution

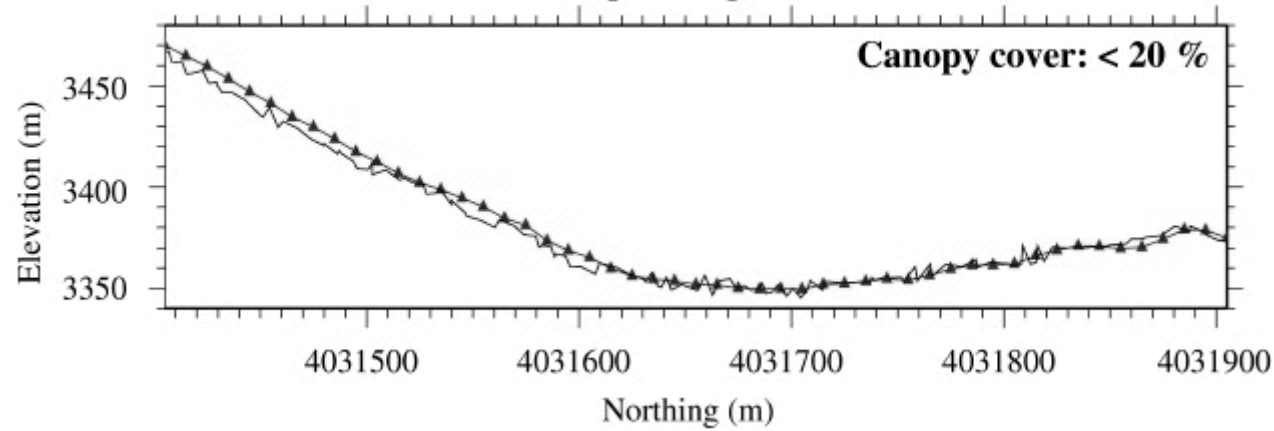
- précision verticale relative sur le couvert : 30 cm
- précision verticale relative sur le sol : 3 cm
- précision verticale absolue : 0.15 m sur sol nu
- taille du pixel : 1-80 m (25 m en moyenne)
- champ de visée horizontal à 8 km : 0.9 km



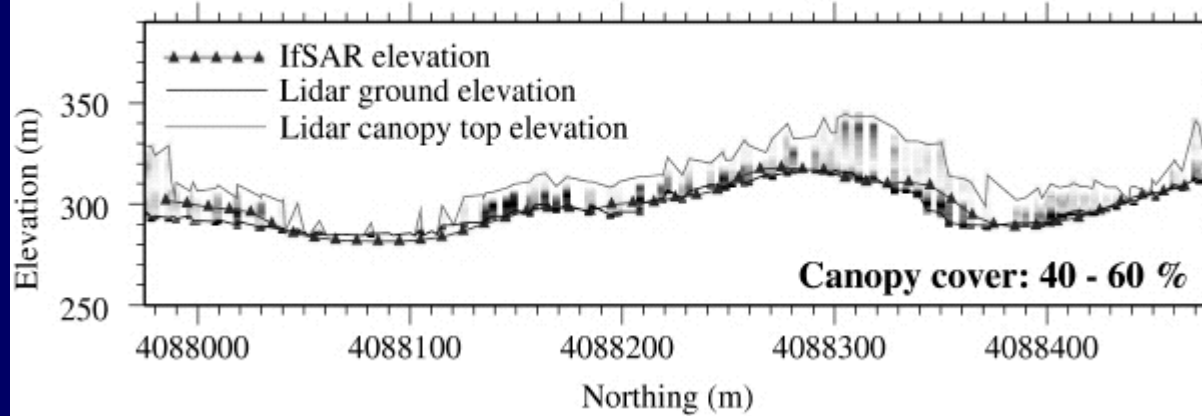
Altimétrie laser grâce au
LIDAR aéroporté LVIS (*Laser
Vegetation Imaging Sensor*)

Restitution de la
topographie du sol et de la
structure verticale et
horizontale du couvert
végétal avec une précision
inégalée à ce jour

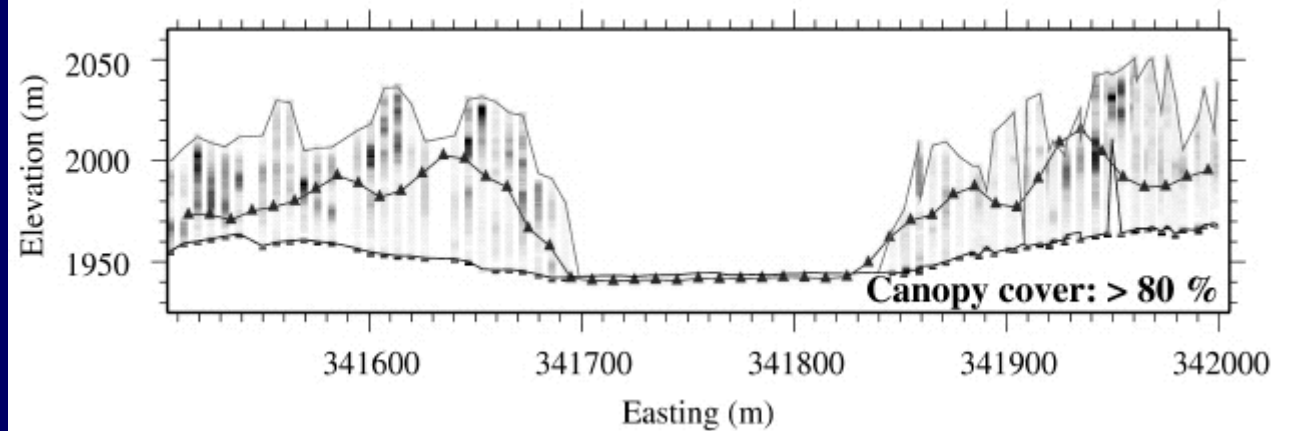
Alpine Region



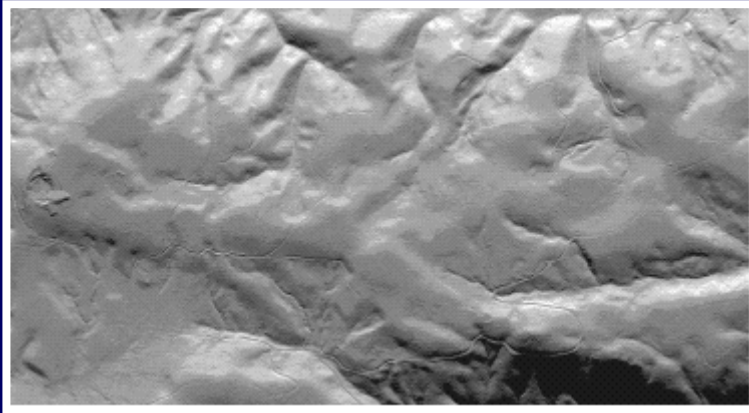
Montane Woodland Region



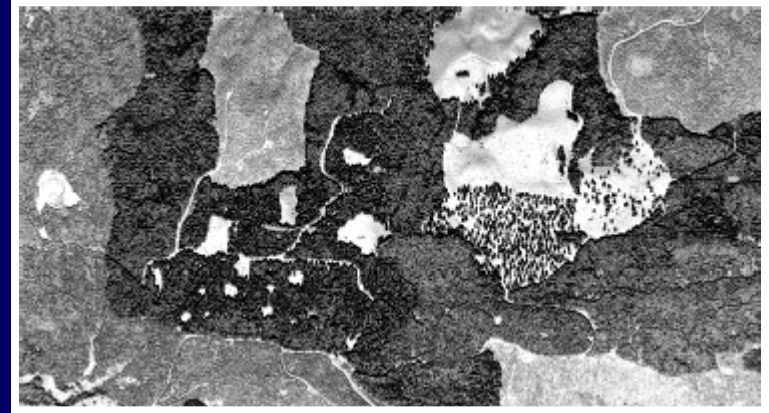
Sequoia National Forest



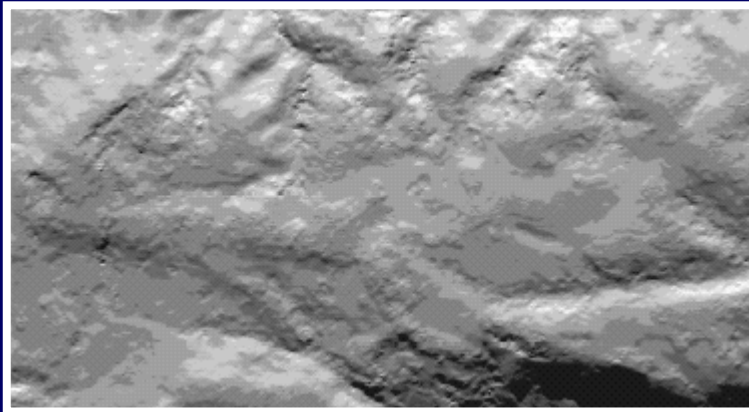
LIDAR-hauteur du sol



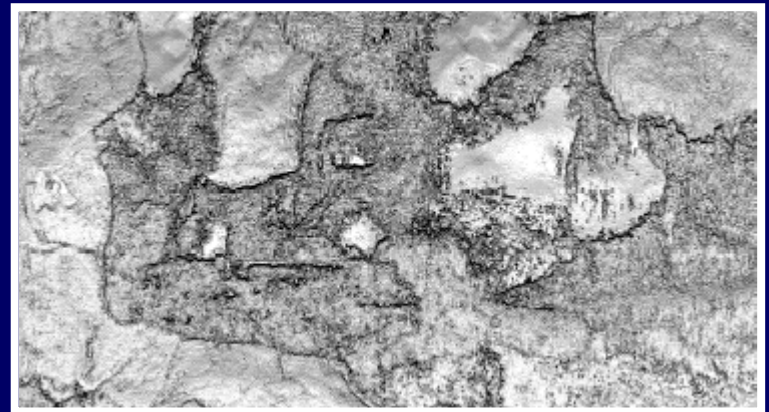
LIDAR-hauteur du couvert



InSAR bande P



InSAR bande X

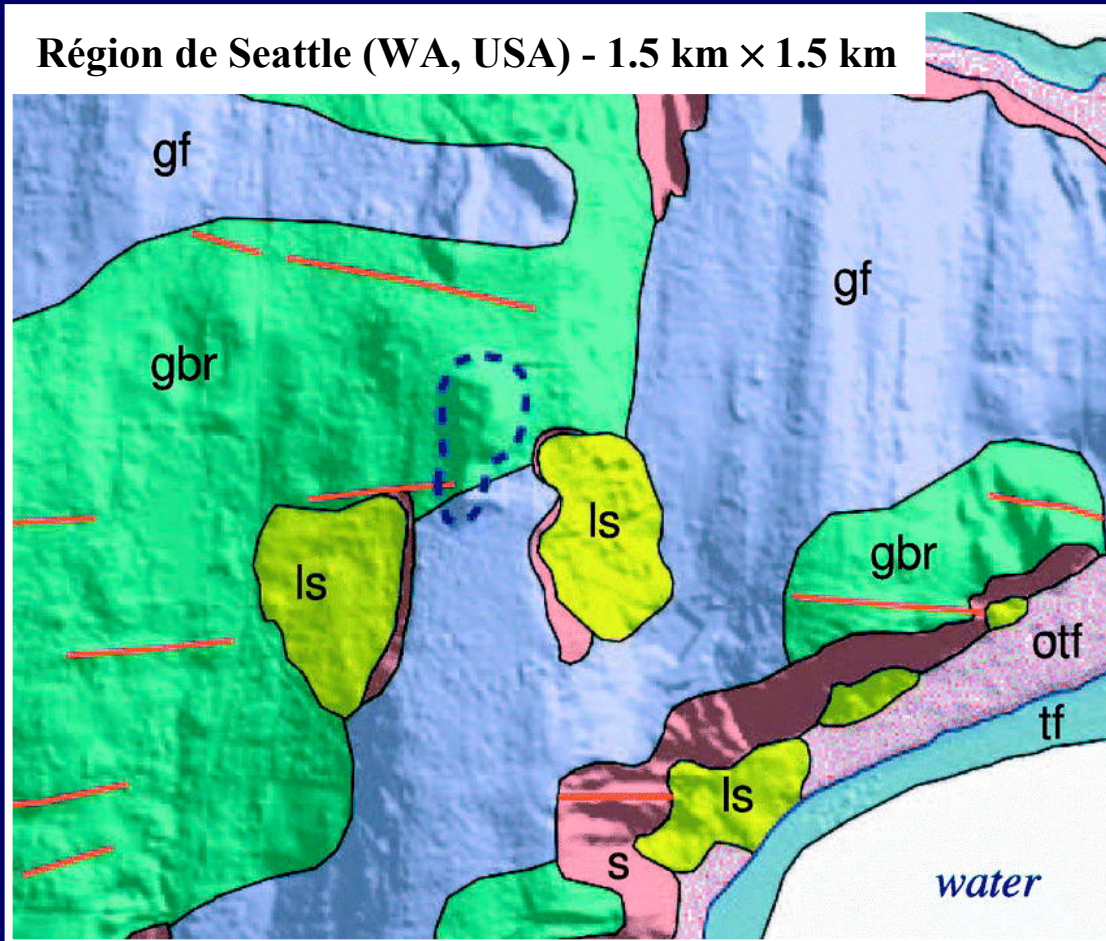


LIDAR = LIght Detection And Ranging ($\lambda = 1064$ nm)

InSAR = Interferometric Synthetic Aperture Radar (bande X : $\lambda = 3$ cm / bande P : $\lambda = 72$ cm)

H.E. Andersen, R.J. McGaughey, W.W. Carson, S.E. Reutebuch, B. Mercer & J. Allan, 2003, A Comparison of Forest Canopy Models Derived from LiDAR and InSAR Data in a Pacific NorthWest Conifer Forest, in Proceedings ISPRS Workshop 3-D reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data, Dresden, Germany, 8-10 October 2003

image LIDAR ⇒ géomorphologie



s - scarp
ls - landslide
tf - tideflat
otf - old tideflat
gf - fluted glaciated surface
gbr - glaciated bedrock surface



Geoscience Laser Altimeter System

The Next Generation Space Lidar



Satellite ICESat (*Ice, Cloud, and land Elevation Satellite*)
lancé le 12 janvier 2003

GLAS

- poids : 300 kg
- altitude : 600 km
- précision radiale de l'orbite : 5 cm
- durée de vie : 3-5 ans

Emetteur

- laser Nd:Yag
- longueurs d'onde : 532 nm et 1064 nm
- fréquence de pulsation : 40 Hz

Récepteur

- télescope : 1 m

Résolution

- précision absolue verticale : 1 m pour un pente de 10°
- taille du pixel : 70 m
- espacement entre deux pixels : 170 m

V.3. Capteurs actifs dans les hyperfréquences

Coefficient de rétrodiffusion radar (*Radio Detection And Ranging*) σ_0 :

$$\sigma_0(\theta, \varphi) = \left\{ \frac{(4\pi)^3}{\lambda^2} \frac{R^4}{S G^2(\theta, \varphi)} \right\} \frac{P_r(\theta, \varphi)}{P_t(\theta, \varphi)}$$

λ = longueur d'onde d'émission (en m)

R = distance cible-antenne (en m)

S = surface visée (en m²)

$G(\theta, \varphi)$ = gain de l'antenne

$P_r(\theta, \varphi)$ = puissance reçue (en W)

$P_t(\theta, \varphi)$ = puissance émise (en W)

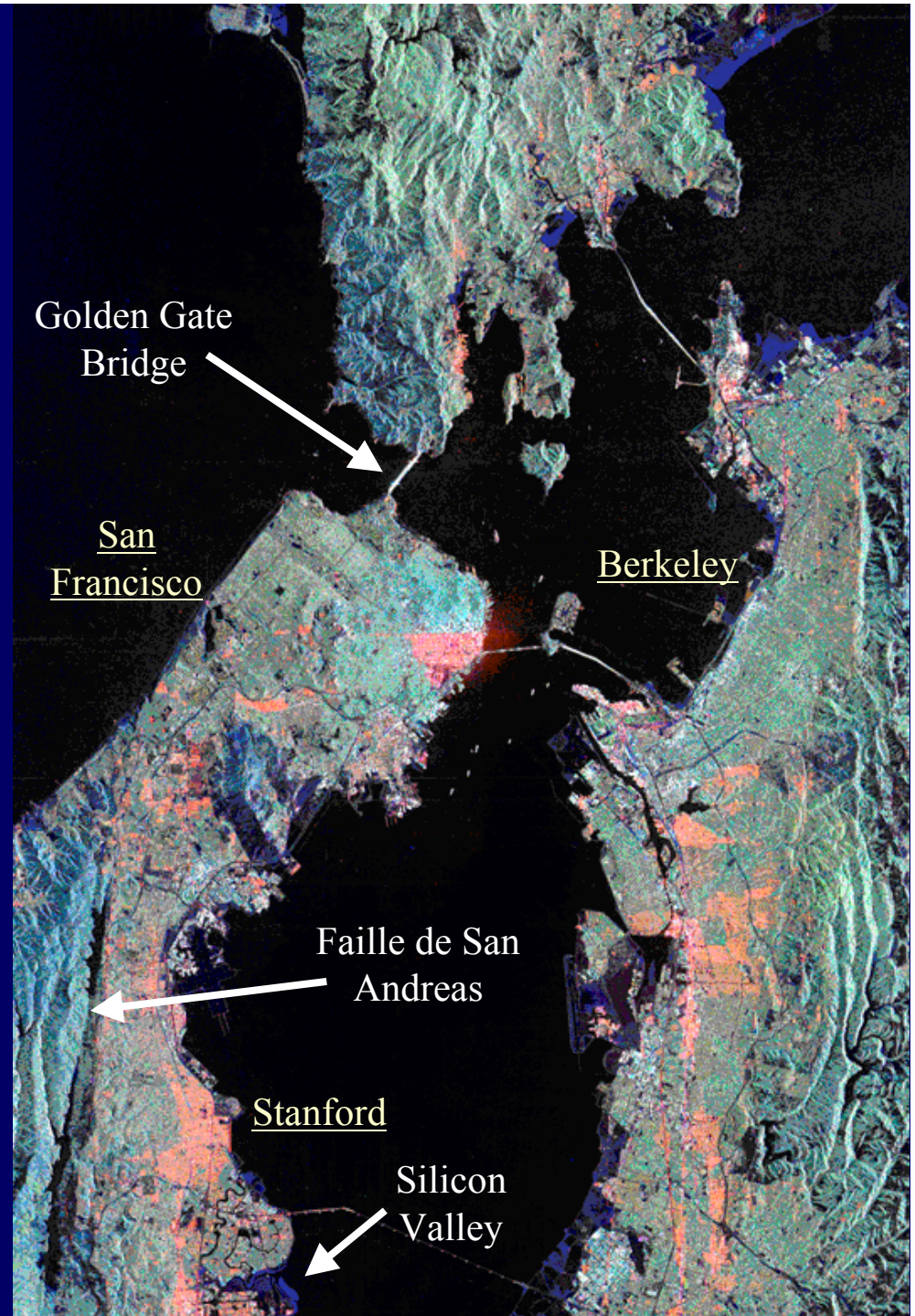
σ_0 dépend des paramètres suivants :

- fréquence $\nu = c / \lambda$
- angle d'incidence (θ, φ)
- polarisation (HH, VV, HV, VH)
- caractéristiques diélectriques du milieu : constante diélectrique ϵ
- géométrie de la surface

⇒ couple d'images : interférométrie radar

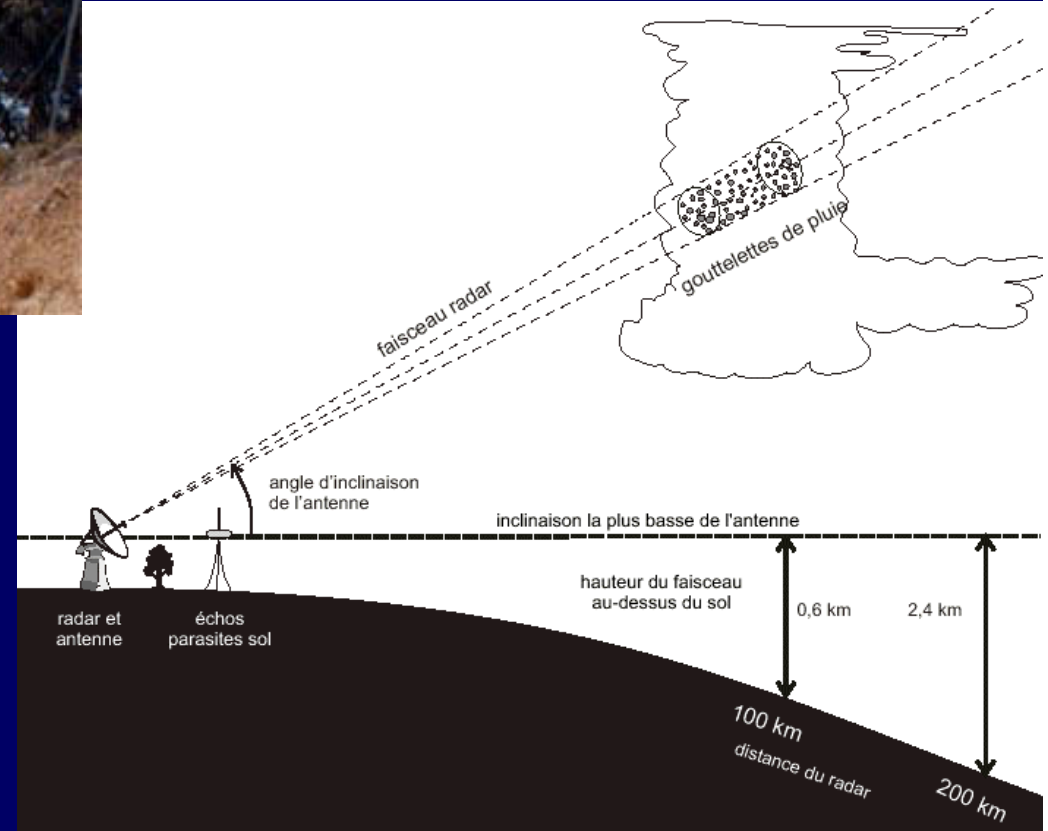


Image de la baie de San Francisco (42 km × 58 km) acquise le 3 octobre 1994 par le radar à ouverture synthétique SIR- C/X-SAR embarqué sur la navette spatiale Endeavour
2.4 cm < X < 3.75 cm < C < 7.5 cm
⇒ tectonique

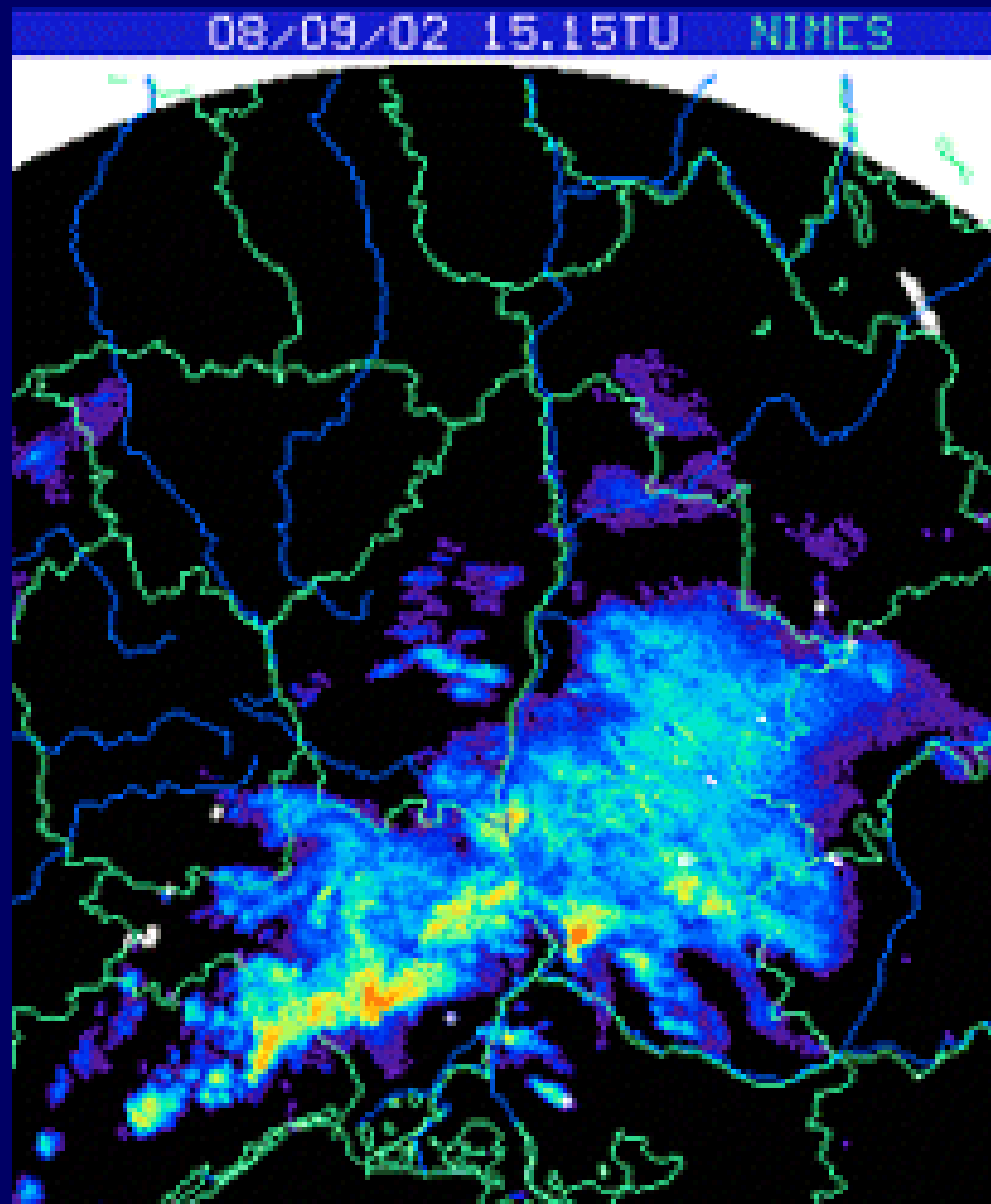




Un des nouveaux radars météorologiques de Météo-France, implanté à Bollène (Vaucluse). Seul apparaît ici son radôme, qui masque l'antenne qu'il protège. Ce radar permet d'améliorer la couverture radar du sud-est méditerranéen, auparavant gênée par l'obstacle des Cévennes et des contreforts alpins



Radar de Nîmes : 8 septembre 2002



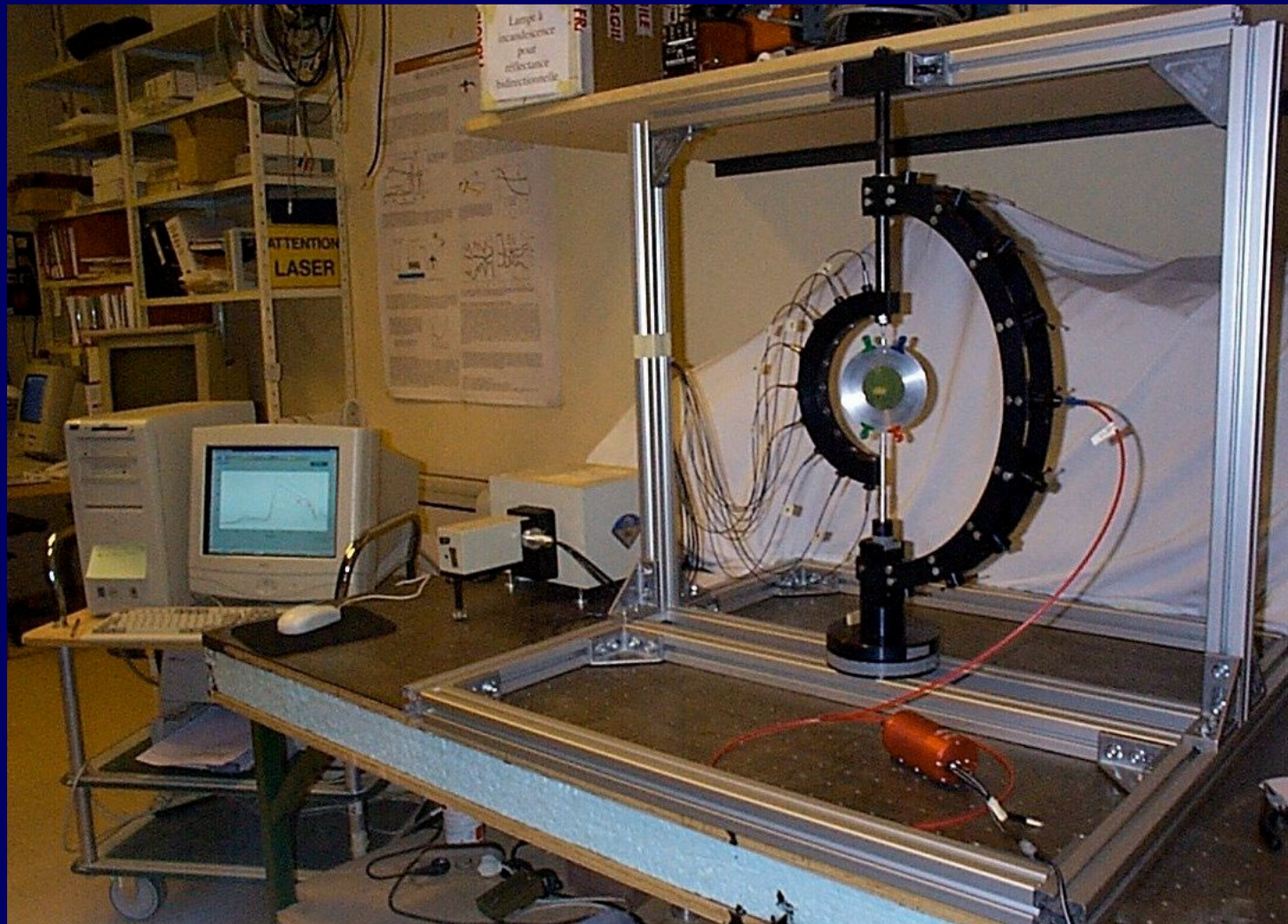
VI. Les vecteurs

VI.1. Plates-formes terrestres



GDR D1536
FLUOVEG

CNRS INRA CNES CEA MENRT



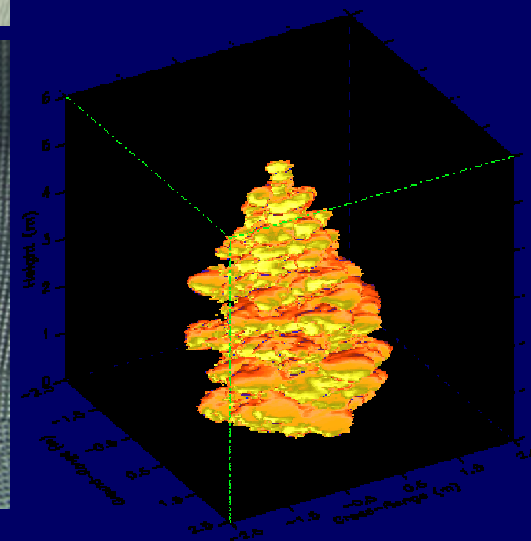
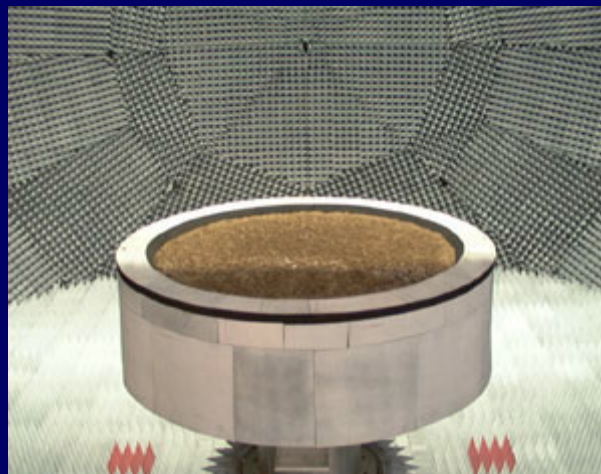
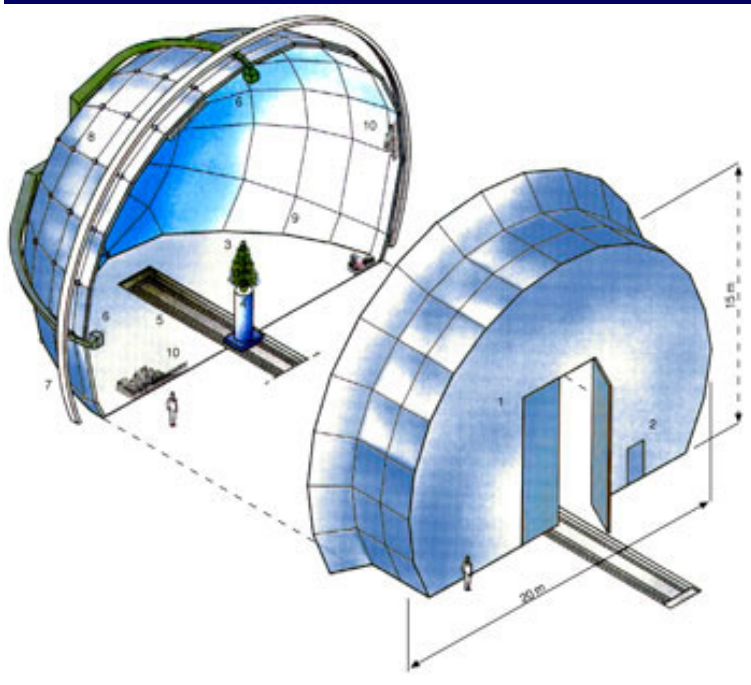
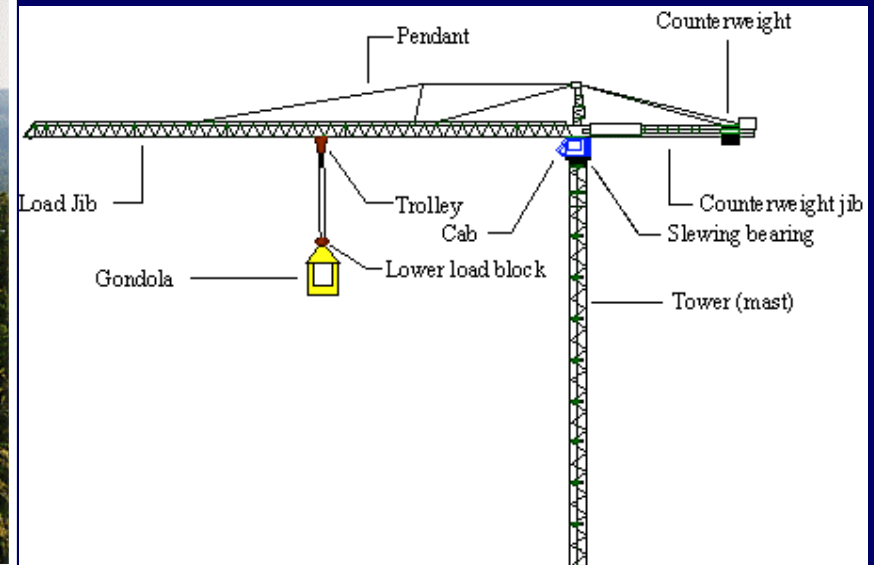


Image 3-D ISAR d'un sapin
(bandes L, S, C / polarisation VV)

Santa Monica Mountains
(California, June 1995)



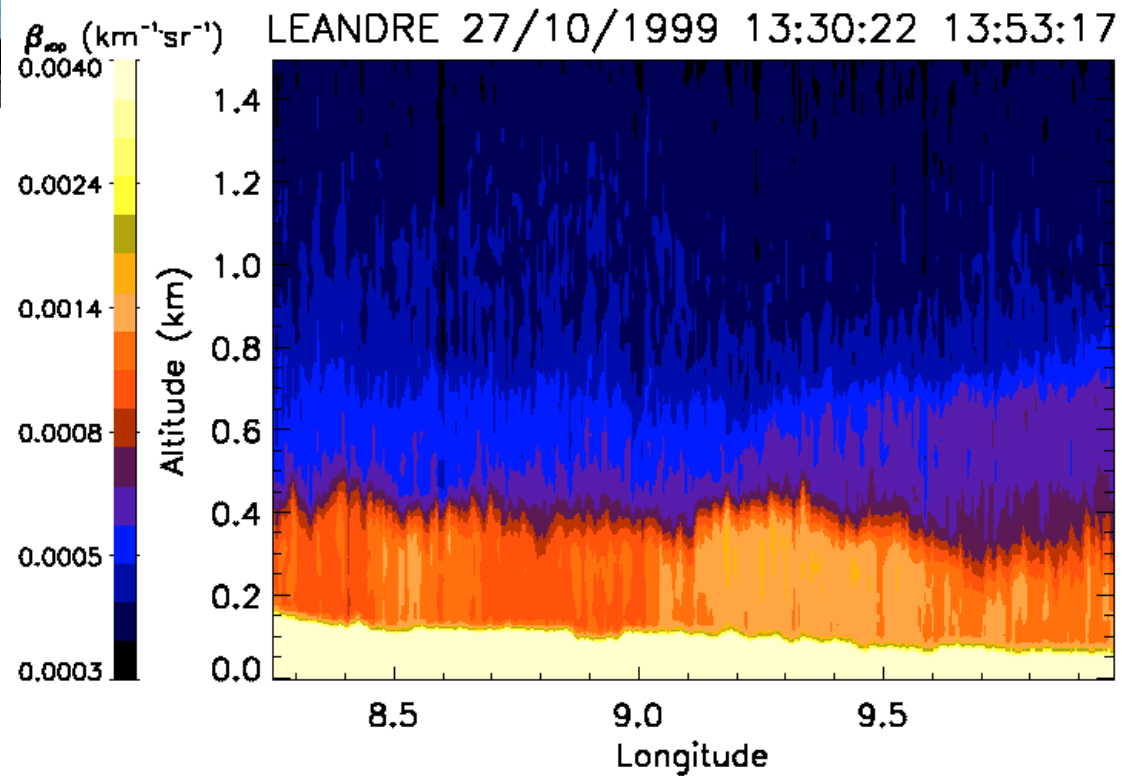
Wind River Canopy Crane (Oregon, Juillet 1996)



Jerry F. Franklin

VI.1. Plates-formes aériennes

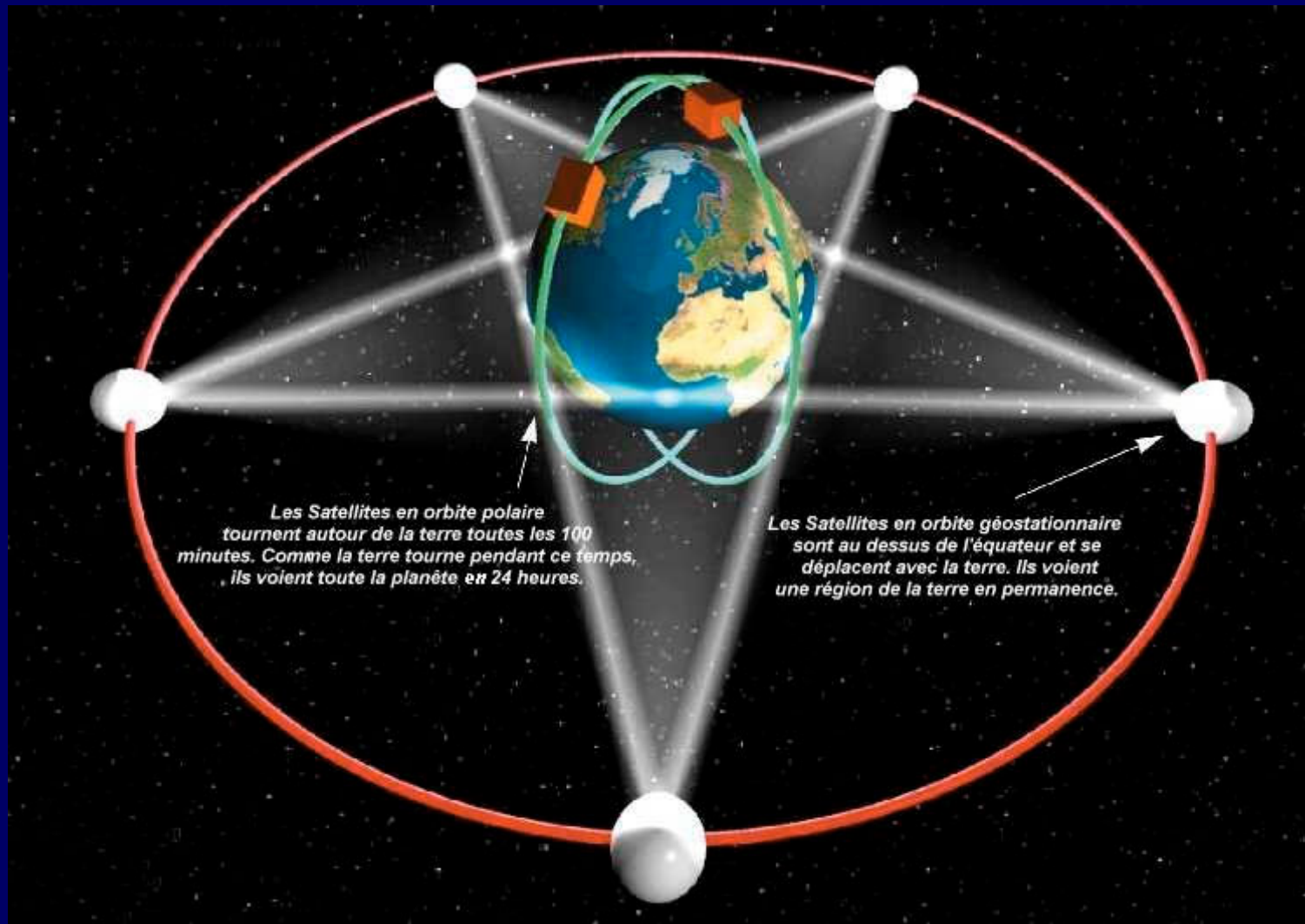
Réflectivité lidar mesurée à partir de l'avion ARAT (Avion de Recherche Atmosphérique et de Télédétection) sur la vallée du Pô (Italie) en octobre 1999



Cyrille Flamant, Aime Druihlet, Vincent Trouillet, Christian Allet, Sandrine Bernard

VI.2. Plates-formes spatiales





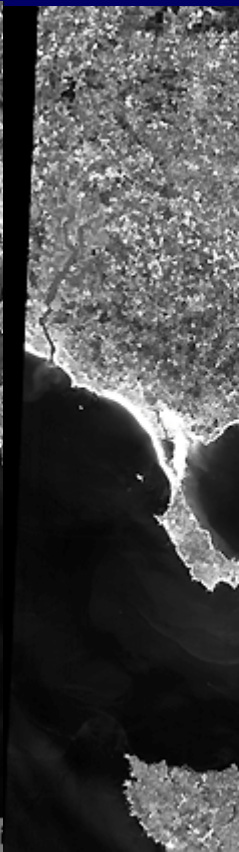
VII. Analyse des données

VII.1. Prétraitement des données

Niveau 1A

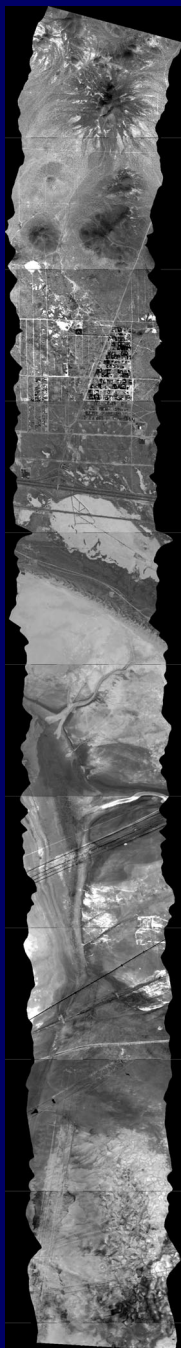


Niveau 1B



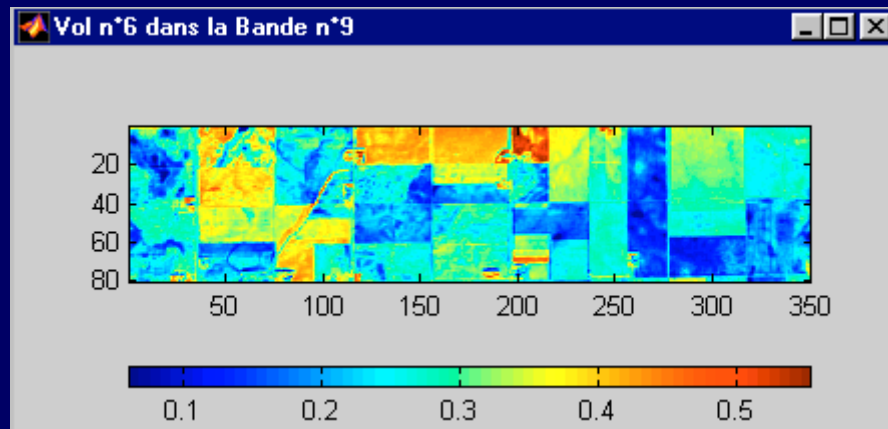
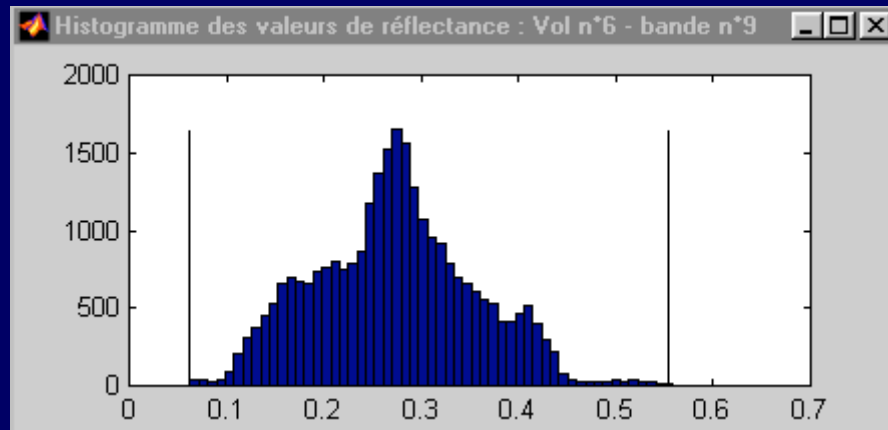
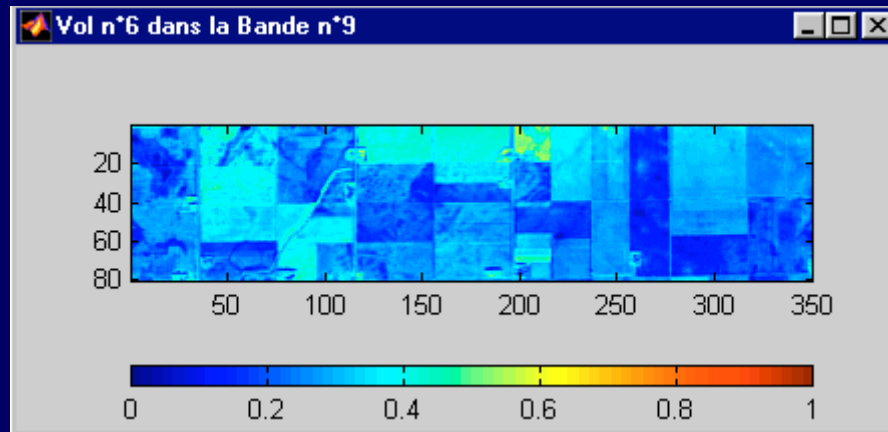
Niveau 2A

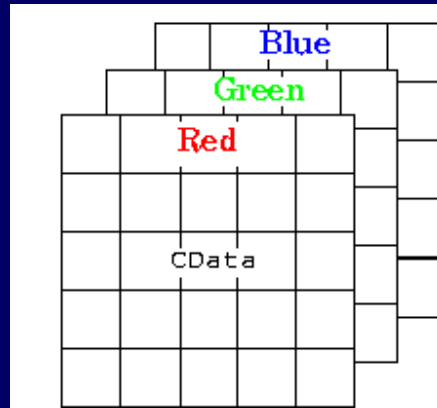




VII.2. Transformation des images

Etalement de la dynamique





Rouge
 bande 05 : 647 nm

Vert
 bande 03 : 556 nm

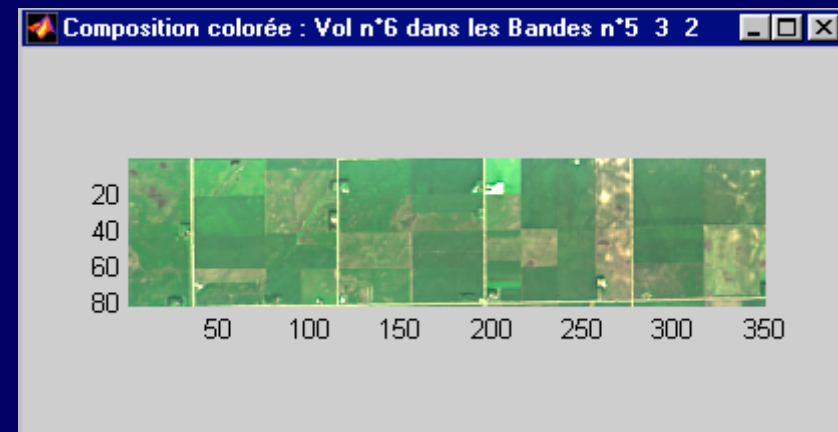
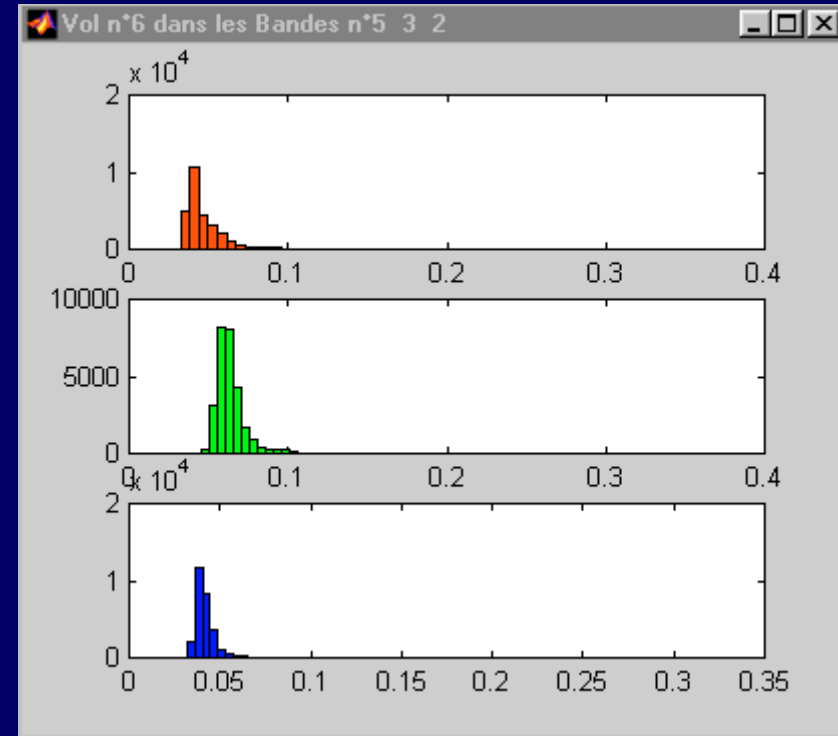
Bleu
 bande 02 : 488 nm

Histogramme

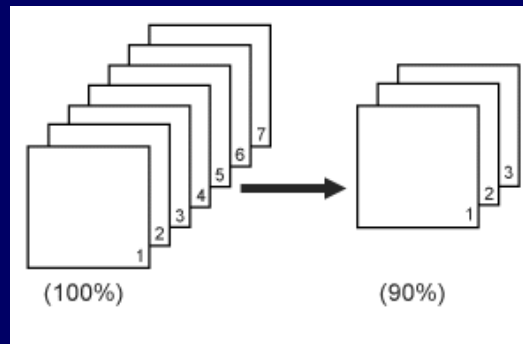
min max

Visualisation

Close



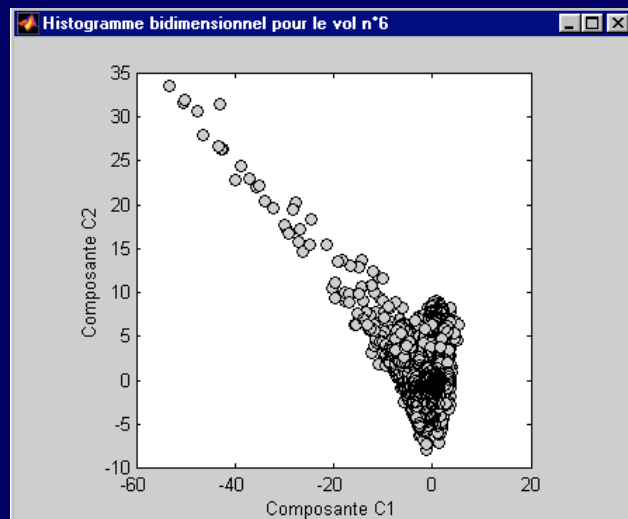
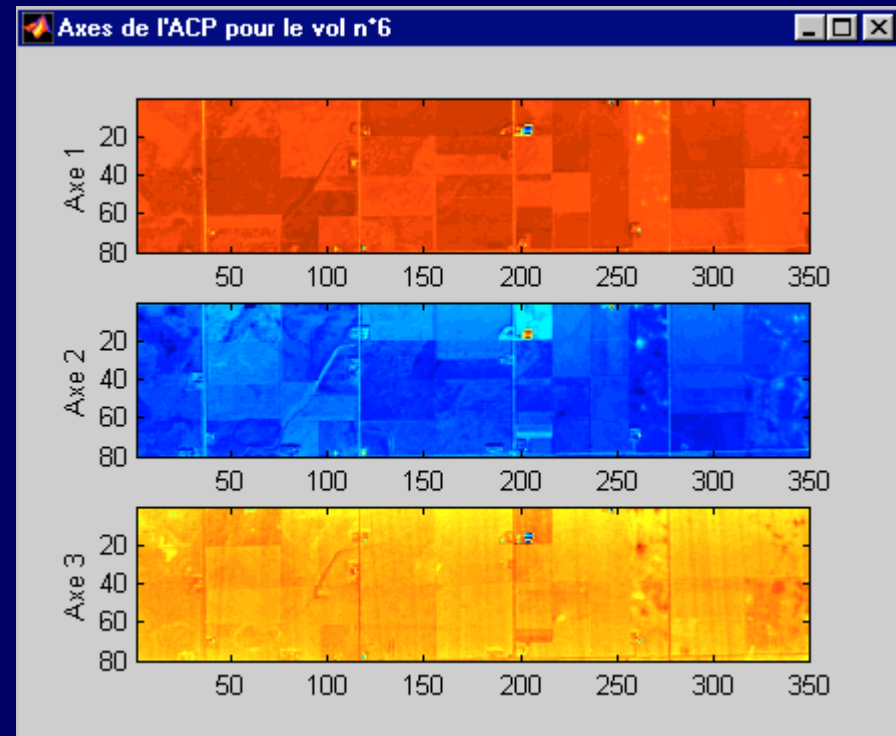
Composition colorée



ACP

1.0	52.2	52.2
2.0	45.0	97.1
3.0	1.8	98.9
4.0	0.8	99.8
5.0	0.2	99.9
6.0	0.1	100.0
7.0	0.0	100.0
8.0	0.0	100.0
9.0	0.0	100.0
10.0	0.0	100.0
11.0	0.0	100.0

Nombre de classes



Analyse en composantes principales

Indices de végétation

Rouge
 bande 05 : 647 nm

Proche infrarouge
 bande 11 : 899 nm

RVI
 NDVI
 PVI
 SAVI
 TSAVI
 GEMI

Etalement de la dynamique

Close

$$RVI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_R}$$

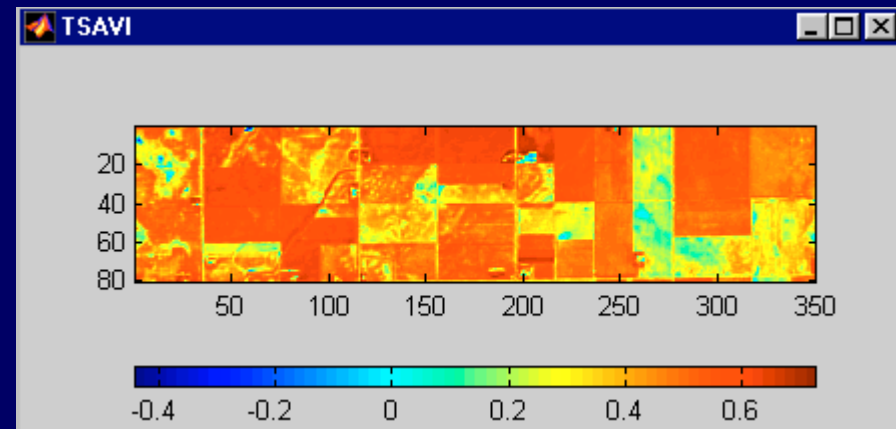
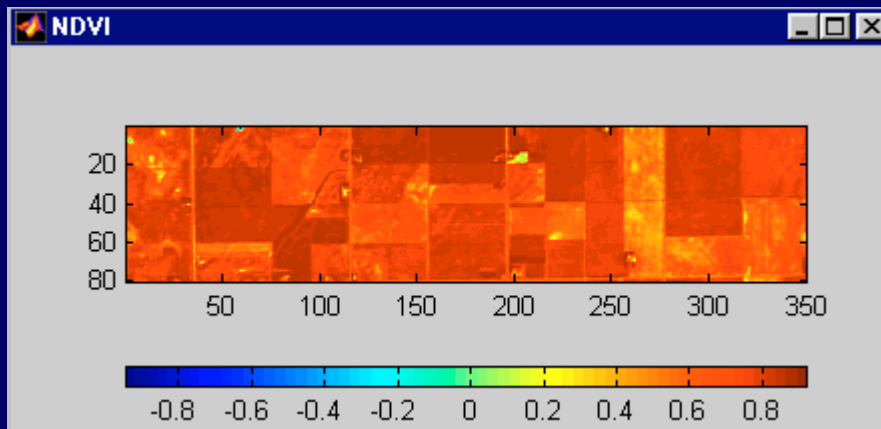
$$NDVI = \frac{\rho_{IR} - \rho_R}{\rho_{IR} + \rho_R}$$

$$PVI = \frac{\rho_{NIR} - a\rho_R - b}{\sqrt{1+a^2}}$$

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{NIR} - \rho_R)}{\rho_{NIR} + \rho_R + L} \text{ avec } L = 0.5$$

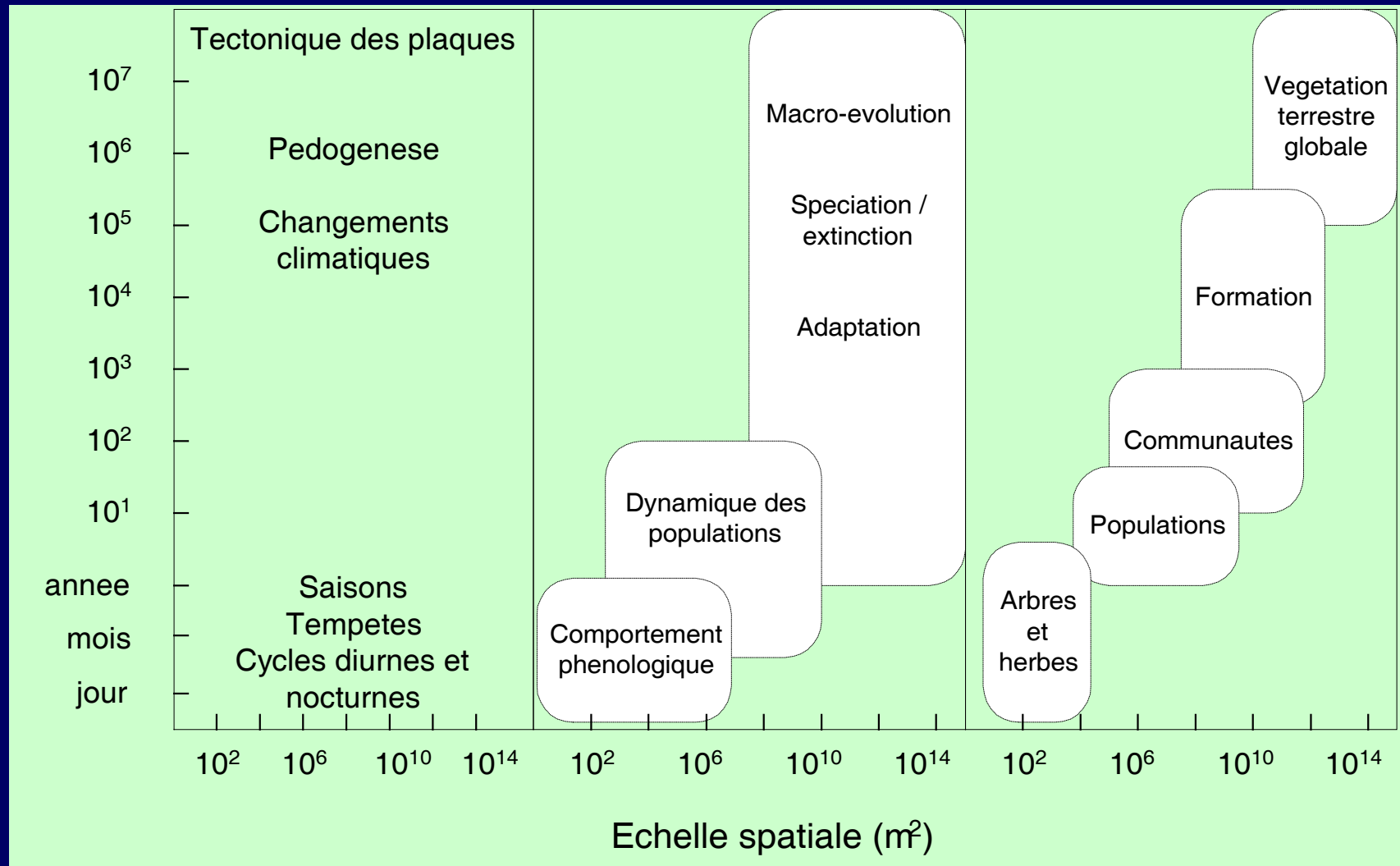
$$TSAVI = \frac{a(\rho_{NIR} - a\rho_R - b)}{a\rho_{NIR} + \rho_R - ab + X(1+a^2)} \text{ avec } X = 0.08$$

$$GEMI = \eta(1 - 0.25\eta) - \frac{\rho_R - 0.125}{1 - \rho_R} \text{ avec } \eta = \frac{2(\rho_{NIR}^2 - \rho_R^2) + 1.5\rho_{NIR} + 0.5\rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R + 0.5}$$

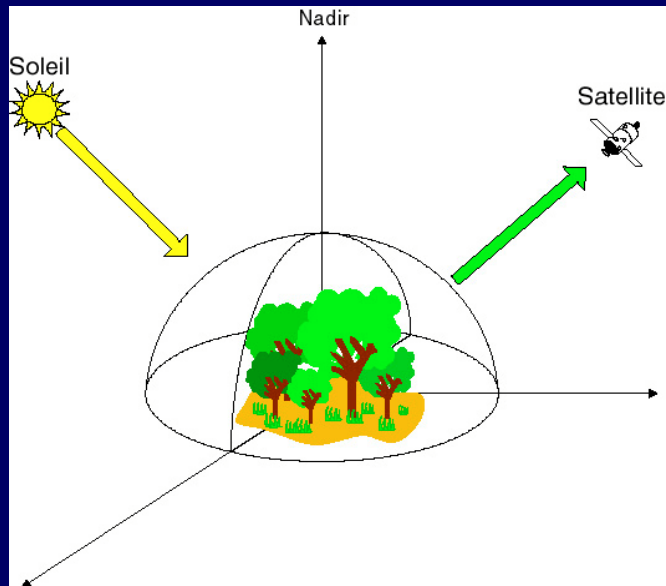


VIII. Télédétection de la végétation dans le domaine optique





VIII.1. Propriétés optiques des couverts végétaux

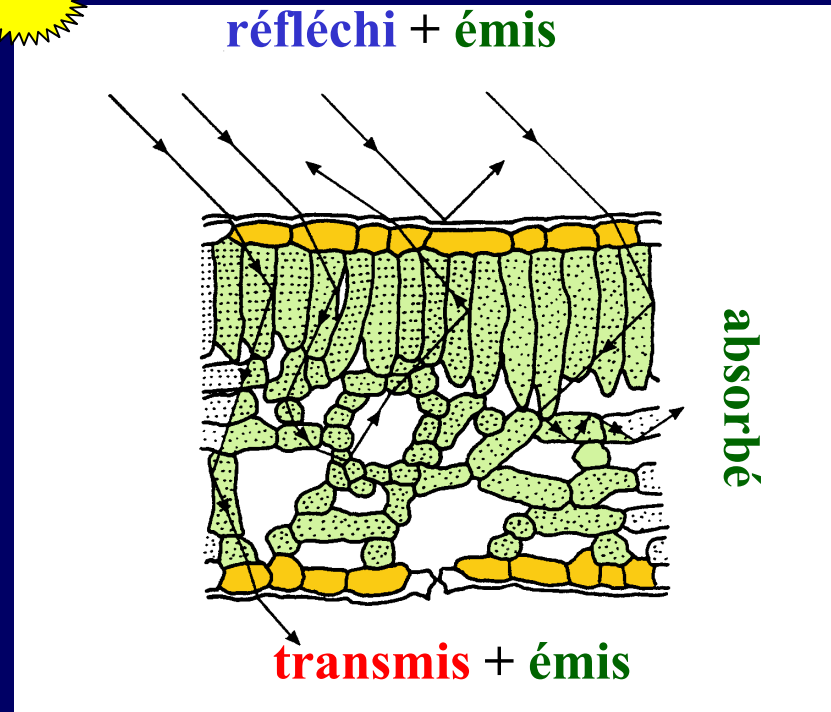


- configuration de mesure : angle zénithal d'éclairement (θ_i) et de visée (θ_v) et angle azimutal relatif (φ)
- propriétés optiques des feuilles : réflectance et transmittance
- propriétés optiques des sols : réflectance
- architecture du couvert : indice foliaire, angle moyen d'inclinaison des feuilles, paramètre de *hot spot* (dimension moyenne des feuilles / hauteur moyenne du couvert), etc.
- conditions d'éclairement : pourcentage de rayonnement diffus

Propriétés optiques des feuilles



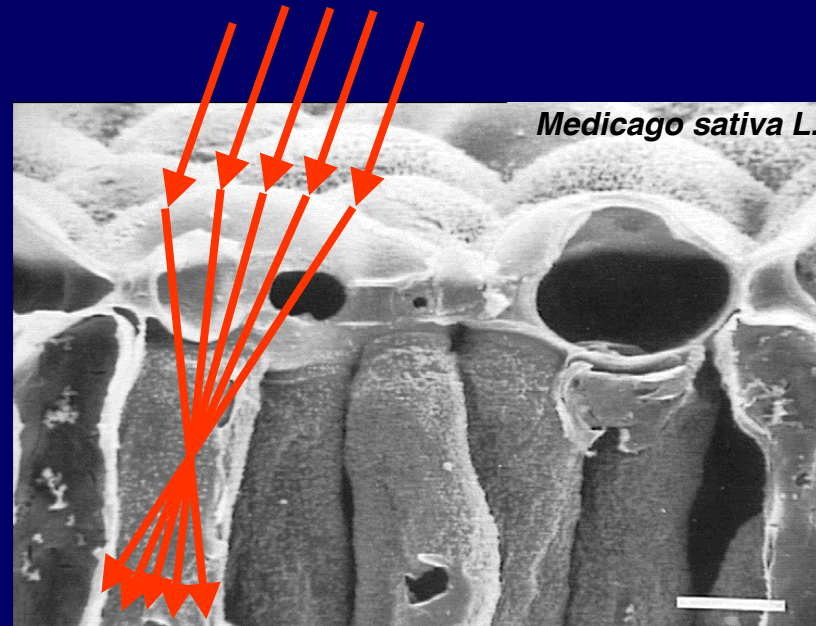
Tessa Traeger, 1997, Sight



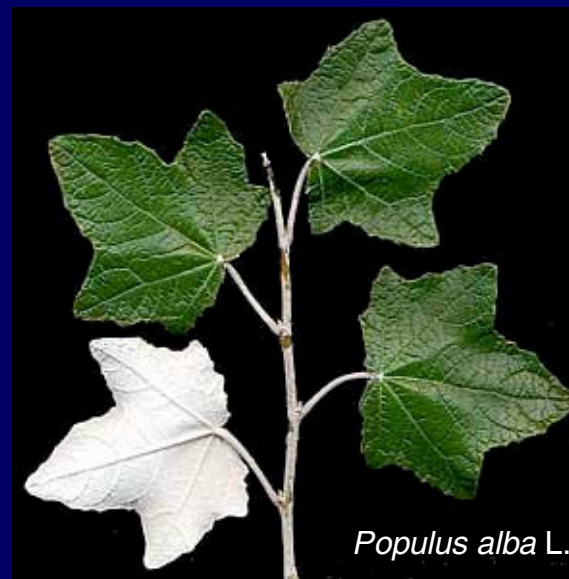
T.R. Sinclair, M.M. Schreiber & R.M. Hoffer, 1973, Diffuse reflectance hypothesis for the pathway of Solar radiation through leaves, *Agronomy Journal*, 65:276-283



D.W. Lee & J.B. Lowry, 1975, Physical basis and ecological significance of iridescence in blue plants, *Nature*, 254:50-51.

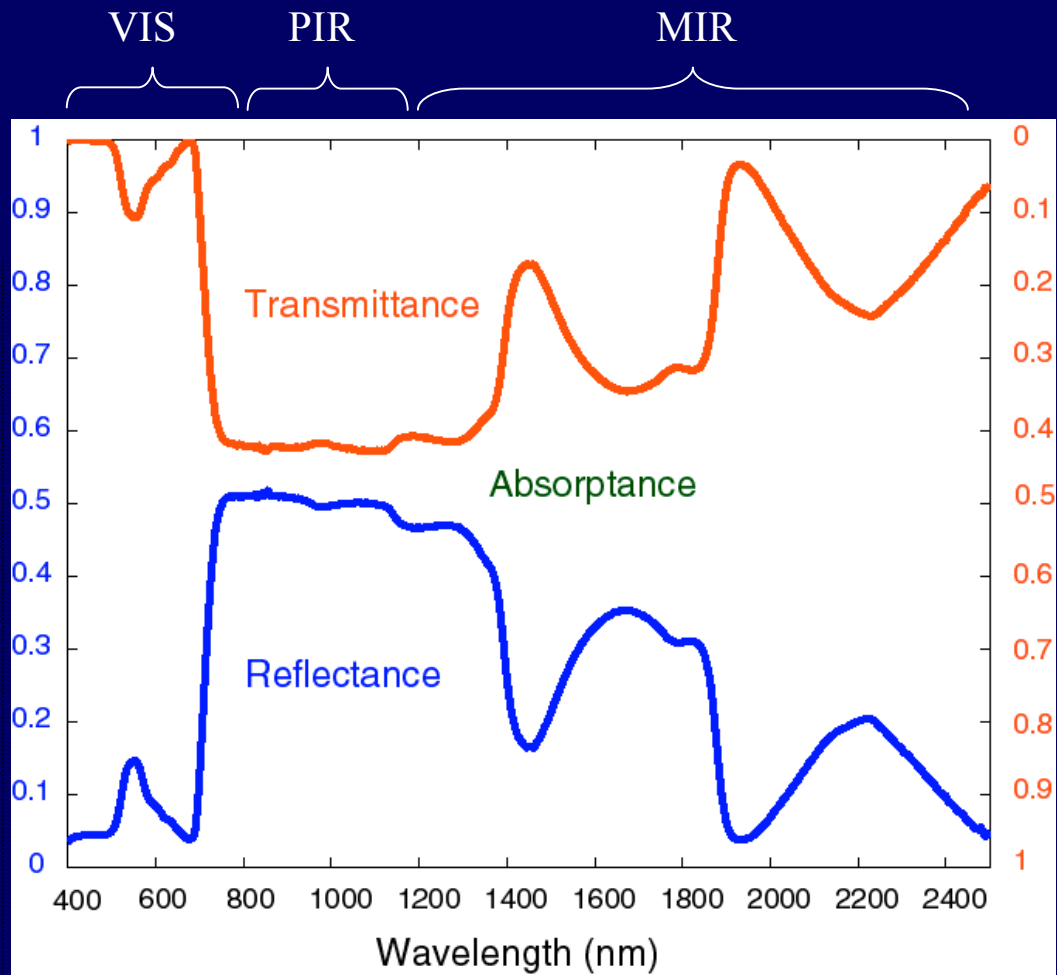
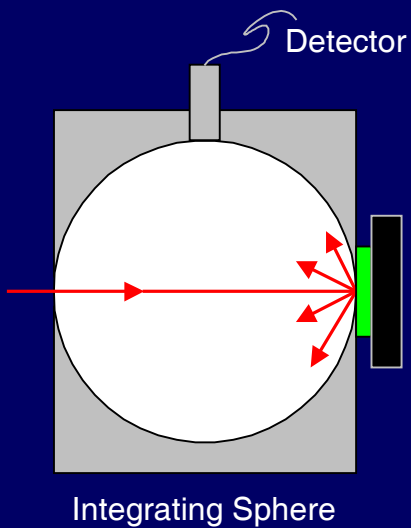
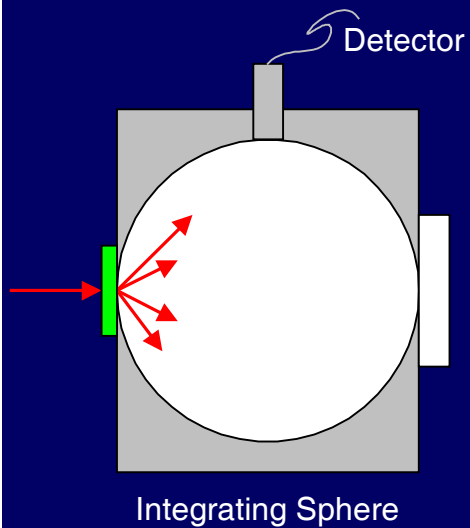


D.W. Lee, 1986, Unusual strategies of light absorption in rain-forest herbs, in *On the Economy of Plant Form and Function* (T.J. Givnish, ed), Cambridge University Press, pp. 105-131.

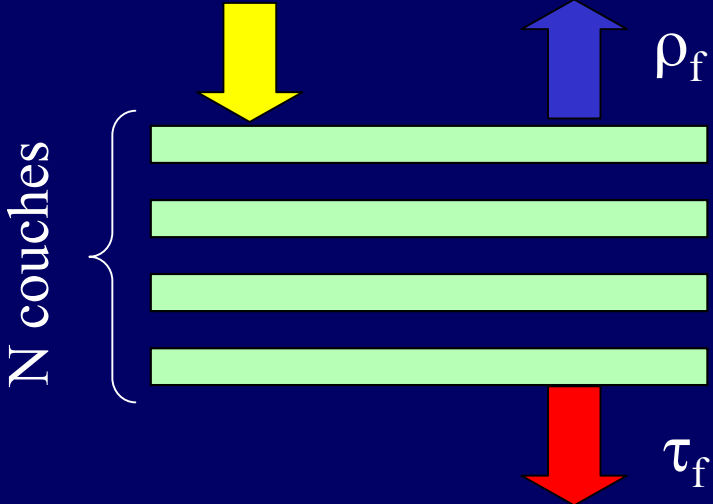
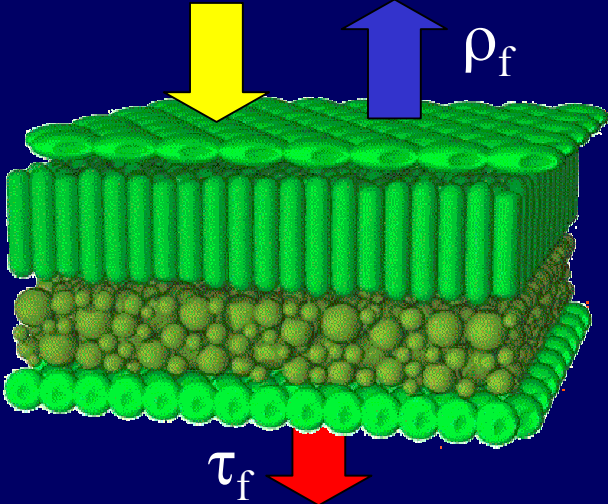


C.A. Shull, 1929, A spectrophotometric study of reflection of light from leaf surfaces, *Botanical Gazette*, 87:583-607.

$$\rho(\lambda) + \tau(\lambda) + \alpha(\lambda) + F(\lambda) = 1$$



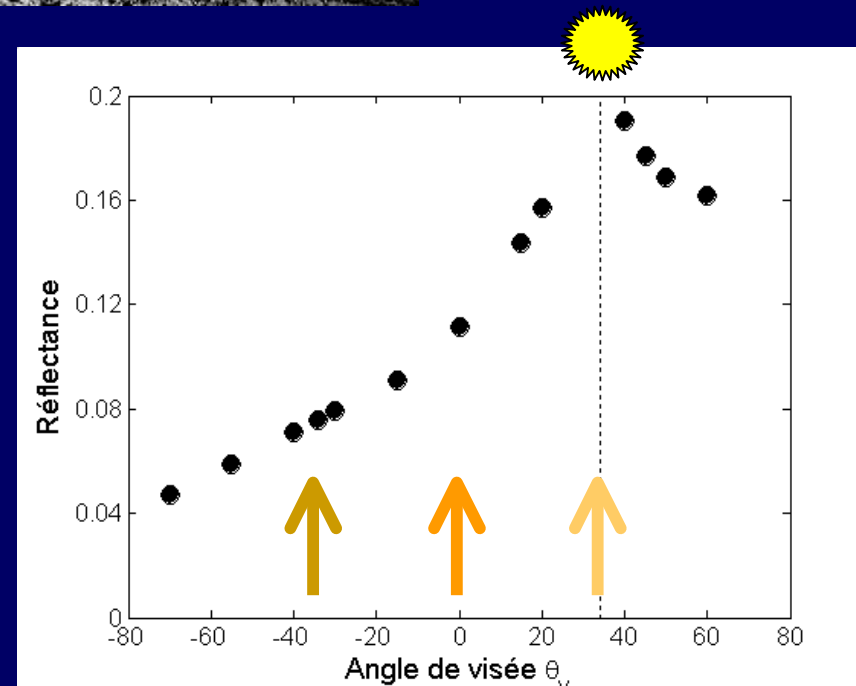
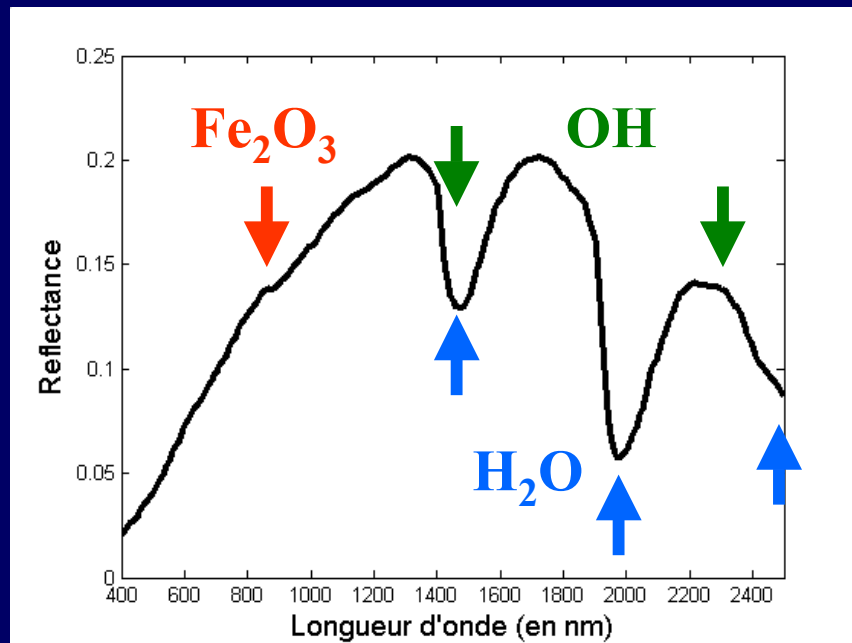
Trifolium pratense

PROSPECT	RAYTRAN
 <p data-bbox="309 486 369 742">N couches</p>	
- 1 dimension	- 3 dimensions
<ul style="list-style-type: none"> - paramètre de structure N - composition biochimique 	<ul style="list-style-type: none"> - description fine des cellules - composition biochimique
<ul style="list-style-type: none"> - réflectance et transmittance spectrales + directionnelles - fluorescence chlorophyllienne 	<ul style="list-style-type: none"> - réflectance et transmittance spectrales + directionnelles - profils d'absorption

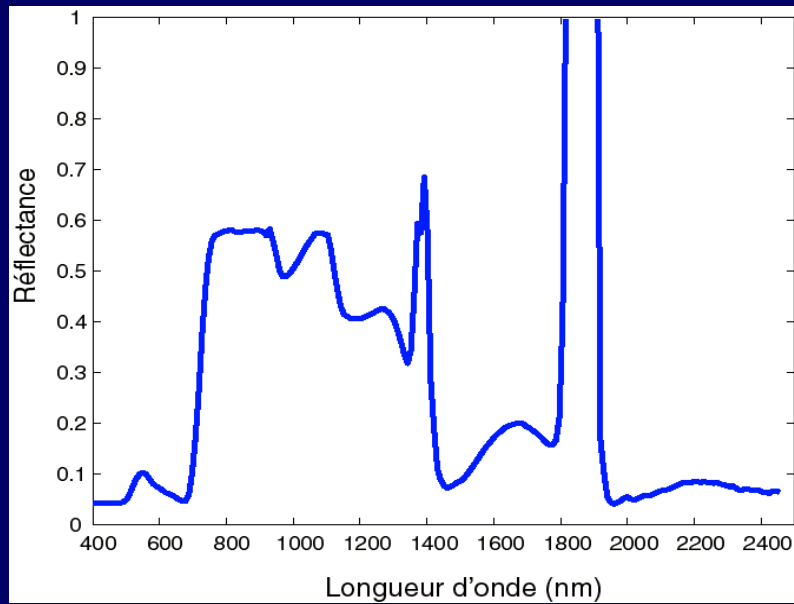
Propriétés optiques des sols



Sol argileux

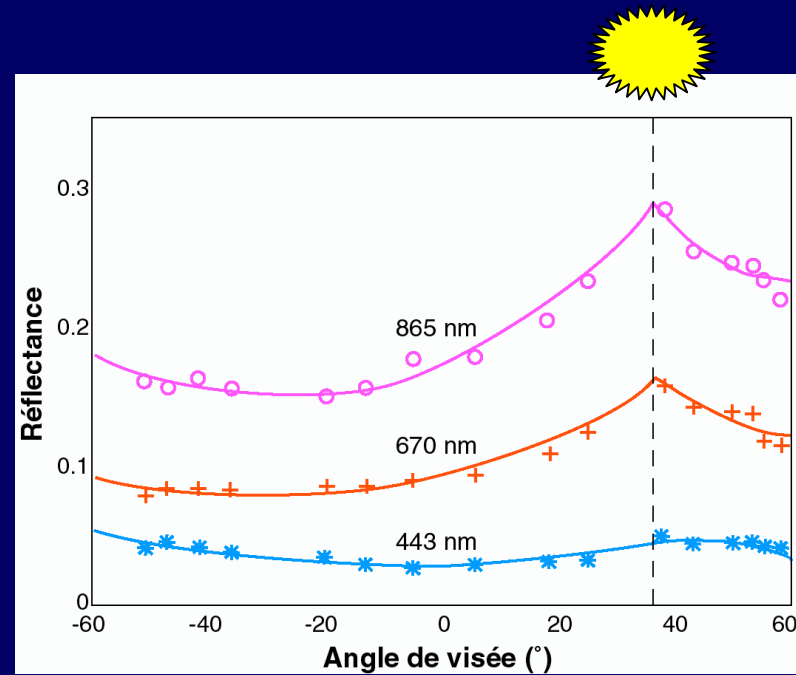


Propriétés optiques des couverts végétaux



Betterave à sucre - Brooms Barn

AVIRIS, MODIS, MERIS



Savane - Niger - POLDER

POLDER, MISR

VIII.2. Extraction des paramètres biophysiques de la végétation

VIII.3. Application à la détection d'une contamination environnementale