

Université Paris Diderot – Paris 7  
UFR des Sciences de la Terre, de l'environnement et des planètes  
L3 Géosciences fondamentales

*Rayonnement, transfert radiatif,  
télétection – 3/3*



*Stéphane Jacquemoud*

Février 2008

## Troisième partie : applications

VII. Bilan radiatif et bilan d'énergie à la surface de la Terre

VIII. Altimétrie

IX. Composition minéralogique et biochimique

X. Exobiologie

Conclusion

Références

Principales revues

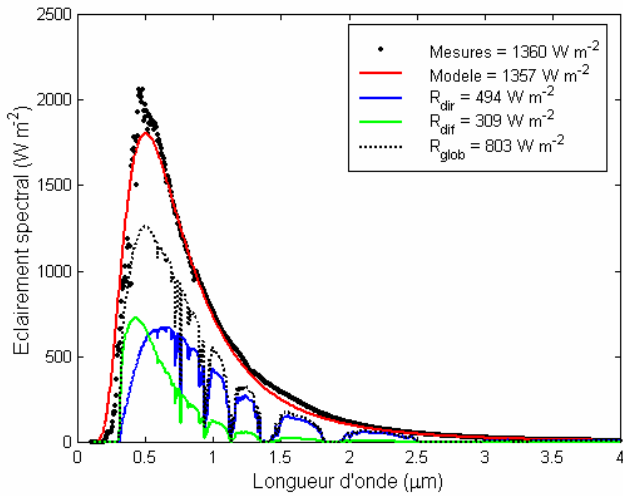
Adresses Web utiles

## VII. Bilan radiatif et bilan d'énergie à la surface de la Terre

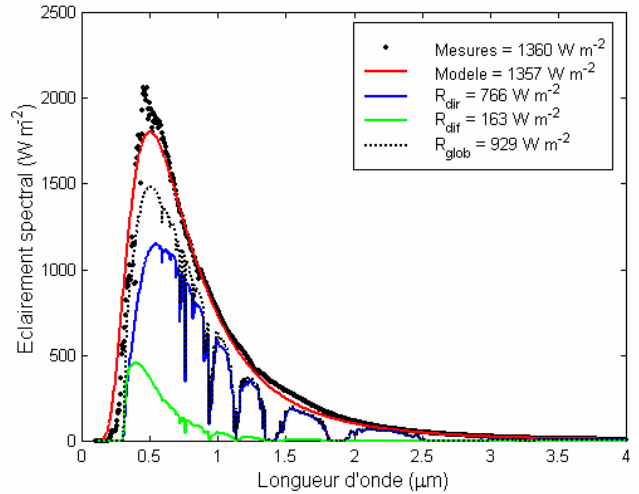
## Rayonnement dans les courtes longueurs d'onde

Paris (45°50' lat N, 2°16' long E)  
22 juin 2002, 12 h TU

⇐ visibilité horizontale  $vis = 5$  km

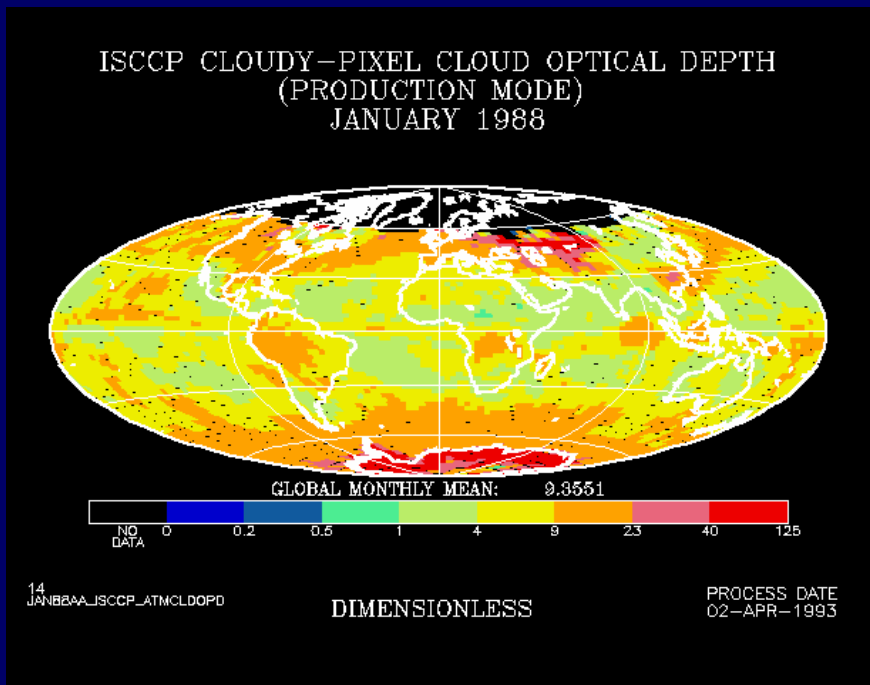


visibilité horizontale  $vis = 25$  km ⇒

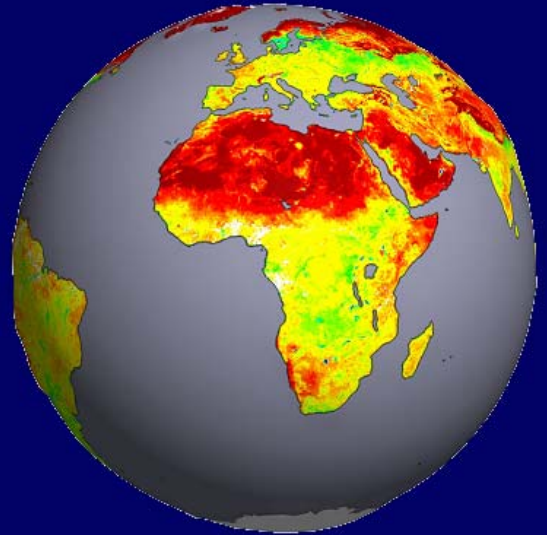
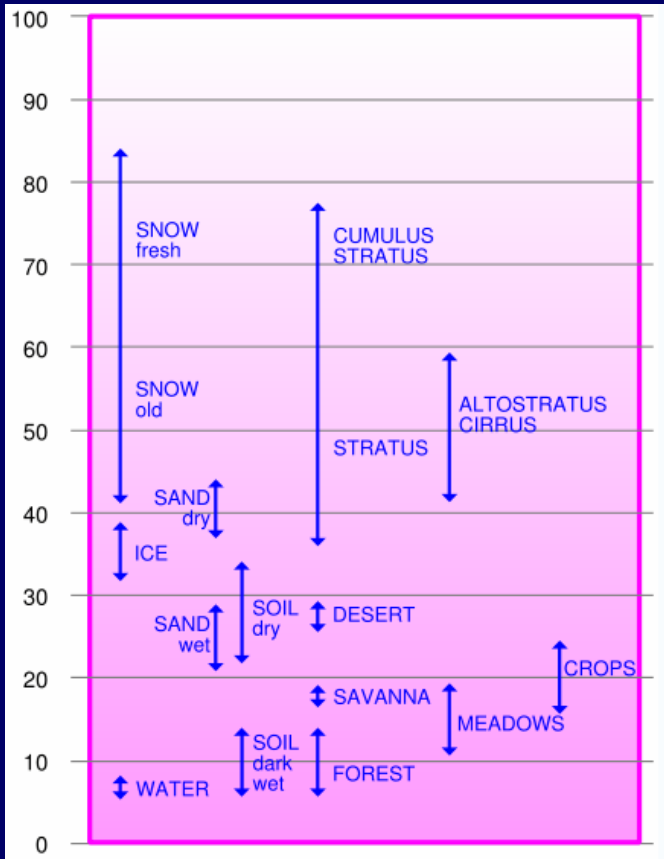


## Transmittance des nuages

Nuages hauts	Transmittance	Nuages moyens	Transmittance	Nuages bas	Transmittance
cirrus	0.83	altocumulus	0.50	stratocumulus	0.34
cirrostratus	0.80	altostratus	0.41	stratus	0.25
				nimbostratus	0.18
				brouillard	0.17

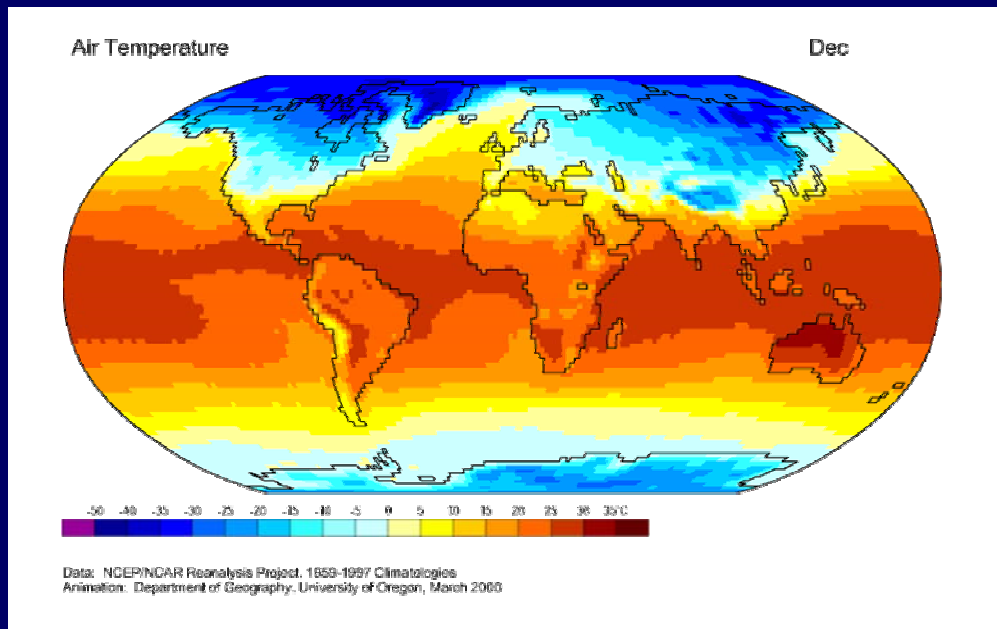


# Albedo



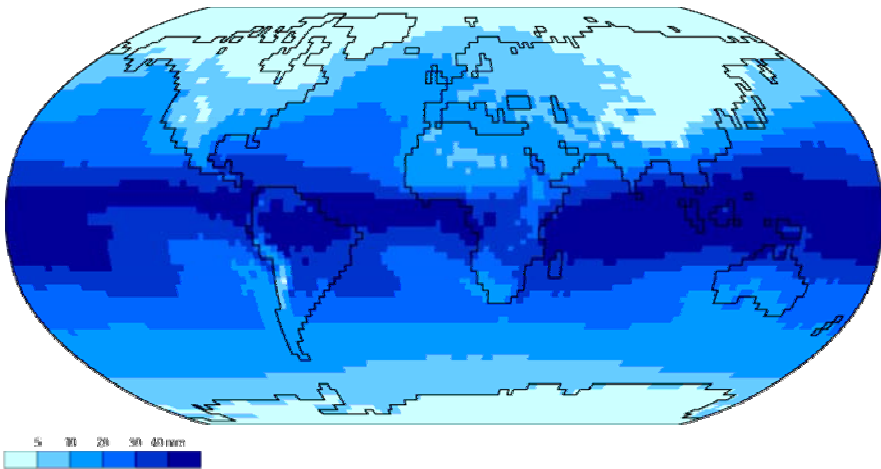
## Rayonnement atmosphérique dans les grandes longueurs d'onde

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \sigma T_a^4$$



Precipitable Water

Dec



5 10 20 30 40 mm

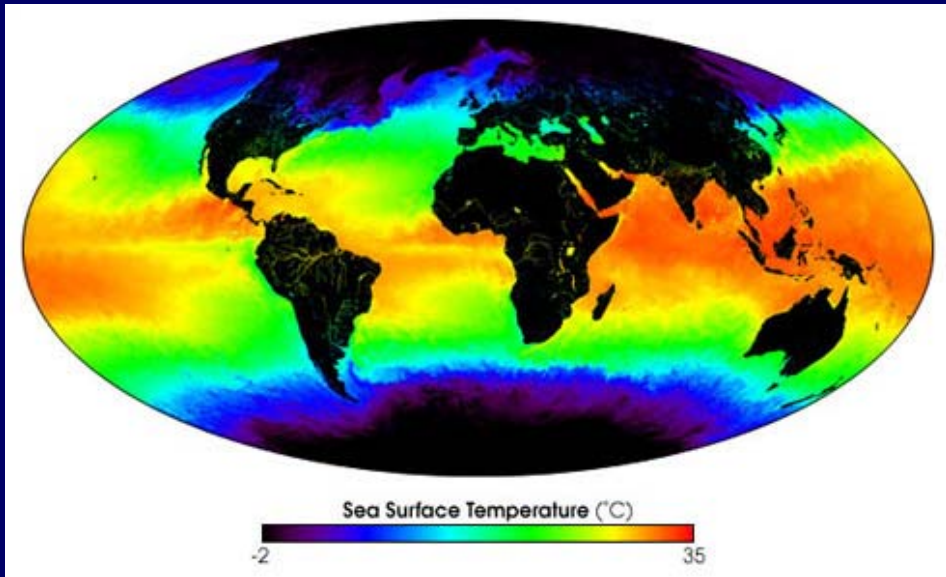
Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies  
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000



Rayonnement terrestre dans les grandes longueurs d'onde

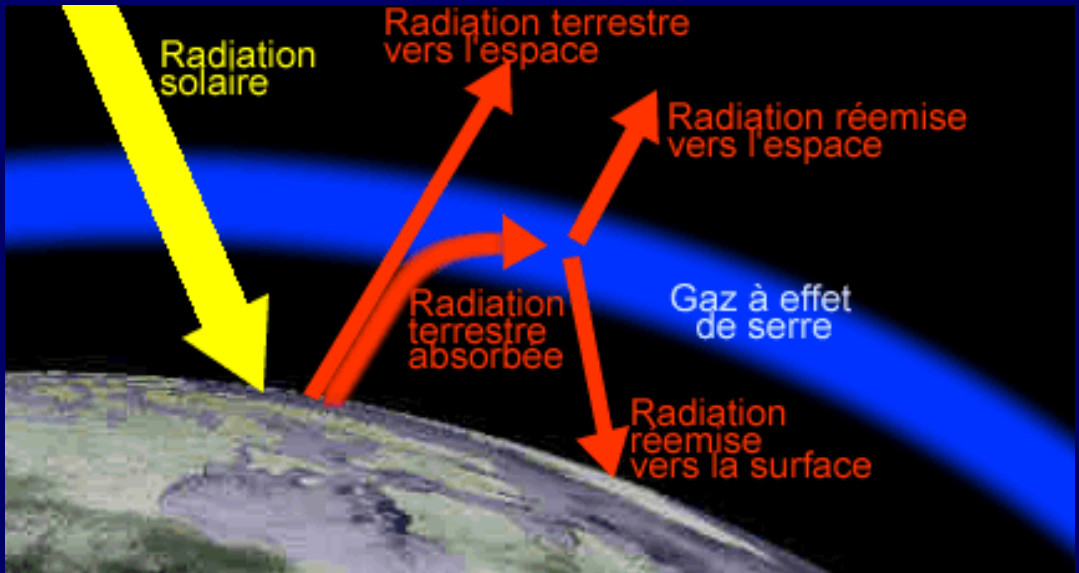
$$R_{L\uparrow} = \varepsilon \sigma T_s^4$$

Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) - Mai 2001



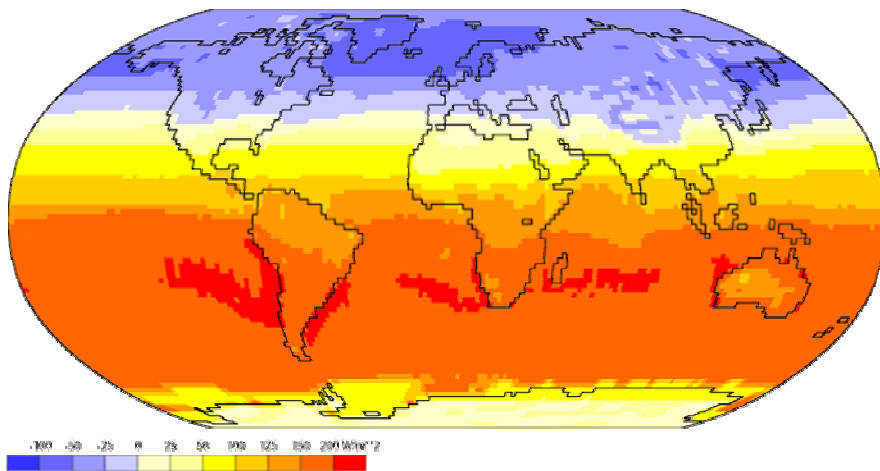
## Rayonnement net

$$R_N = R_{glob} (1 - \alpha) + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow}$$



Net Radiation

Dec



Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies  
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000

## Bilan d'énergie

$$R_N = LE + G + H + s$$

$R_N$  = rayonnement net

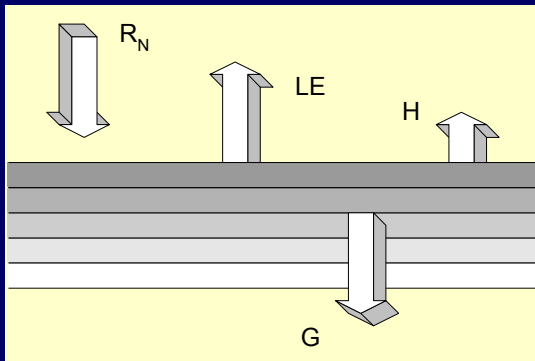
LE = flux de chaleur latente dans l'air

= chaleur latente de vaporisation de l'eau ( $2454 \text{ kJ kg}^{-1}$ )  $\times$  masse d'eau évaporée par unité de temps

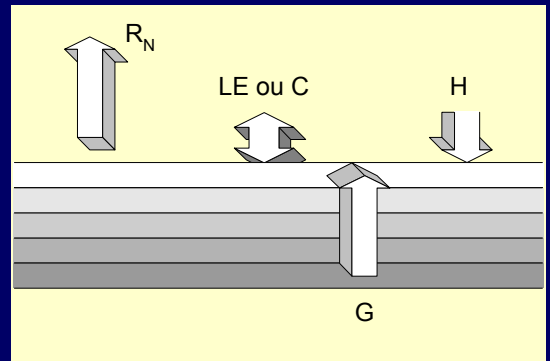
H = flux de chaleur sensible

G = flux de chaleur dans le sol

S = photosynthèse

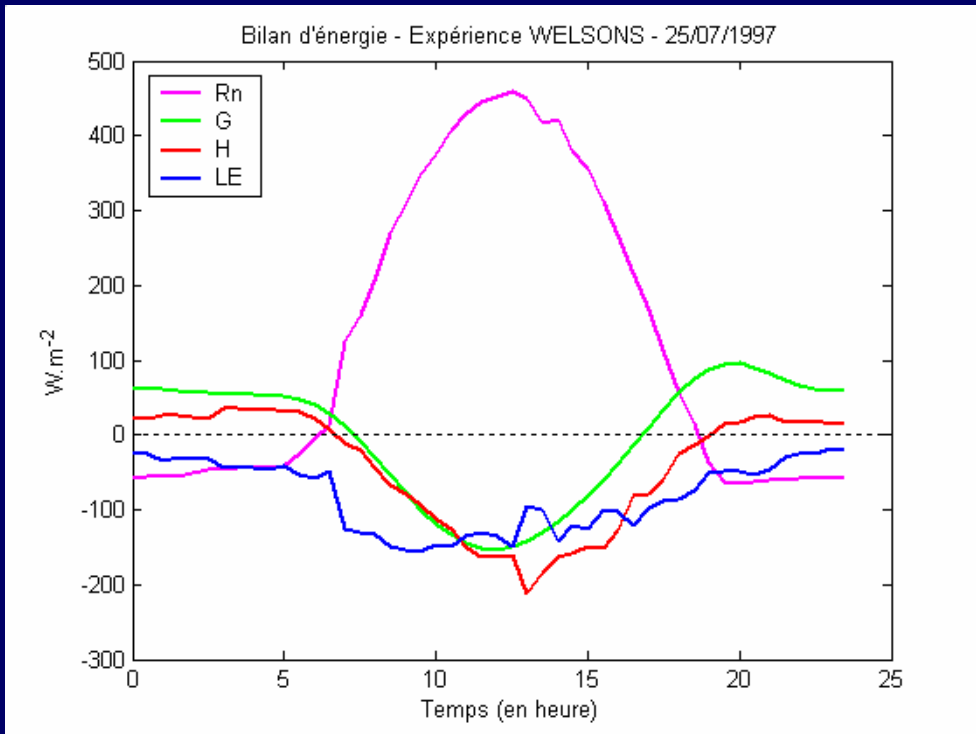


JOUR



NUIT

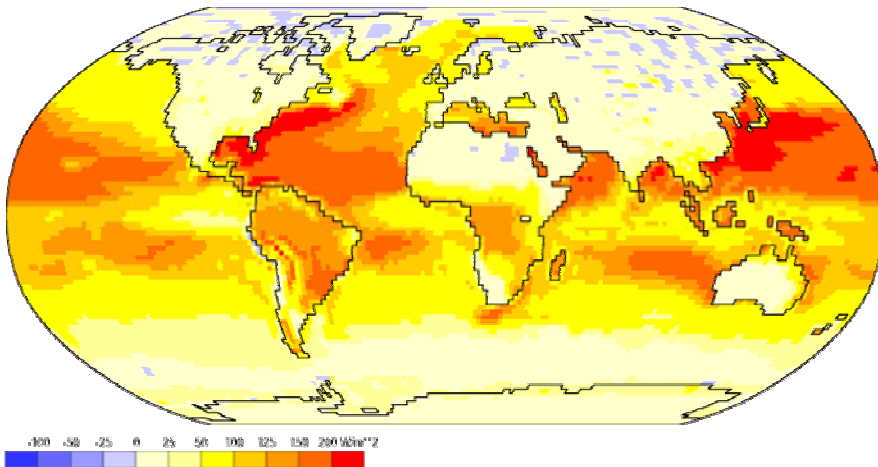
## Variations journalières sur un sol nu du nord de l'Espagne



Source : Daniel Richard (IPGP)

Latent Heat Flux

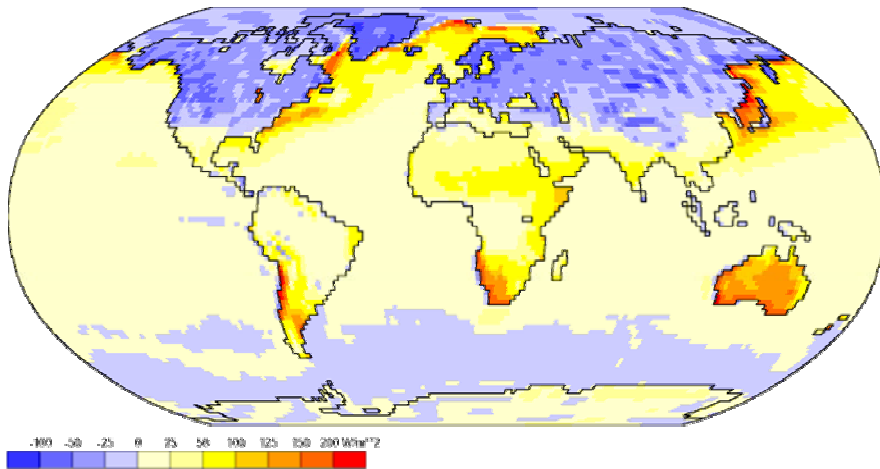
Dec



Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies  
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000

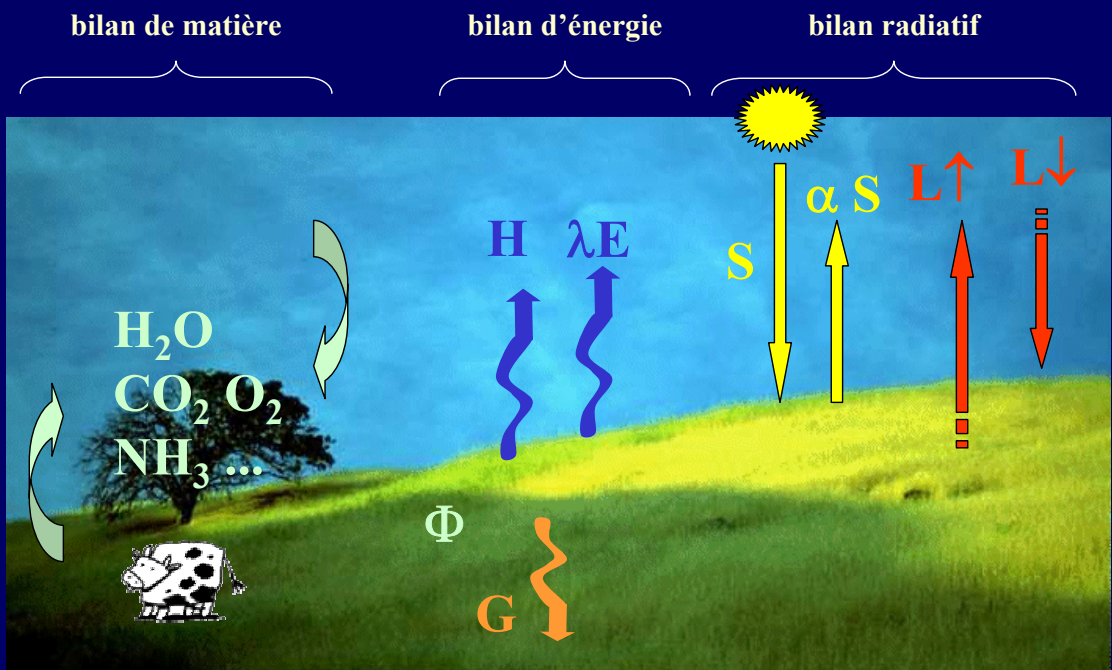
Sensible Heat Flux

Dec



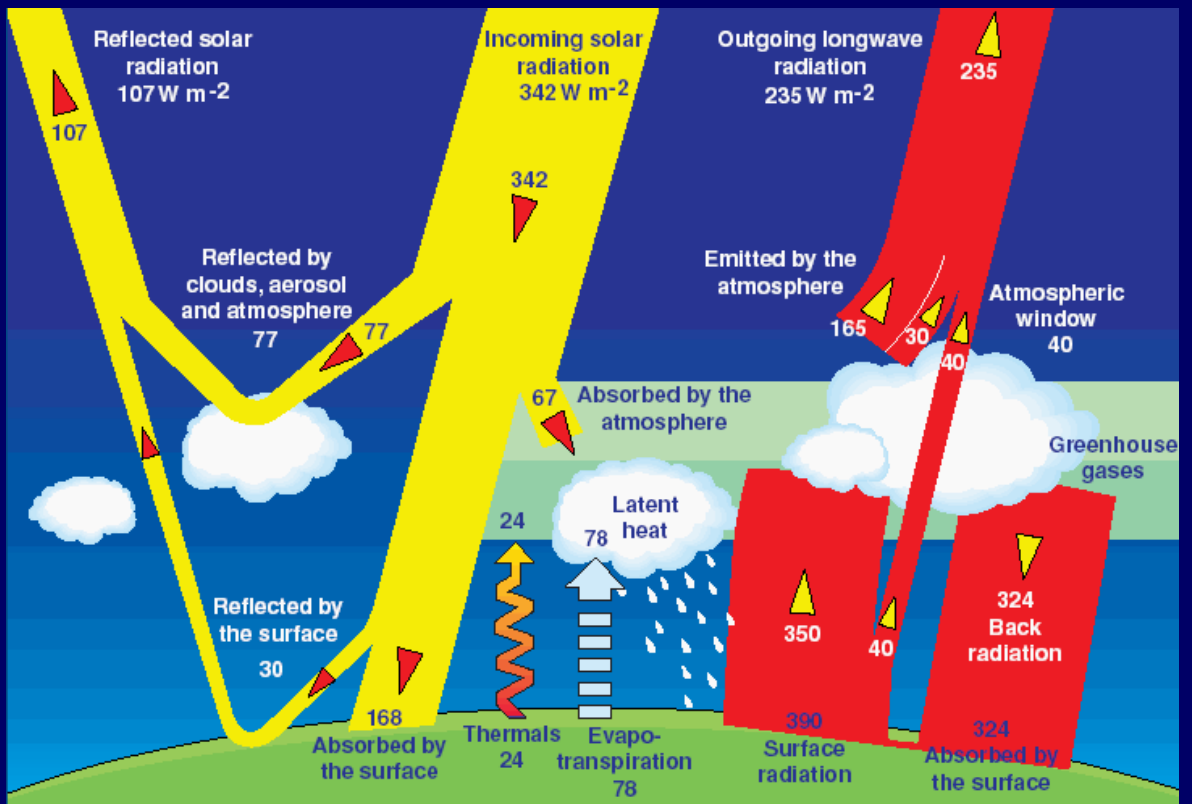
Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies  
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000

## Couplage des bilans





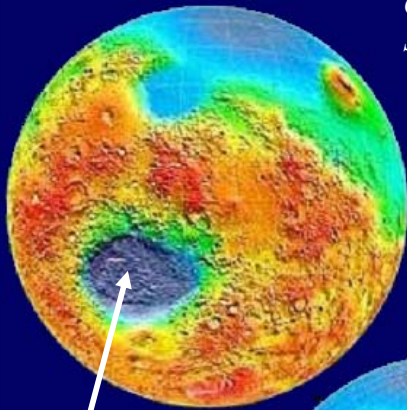
flux solaire moyen (moyenne globale et annuelle) à la limite de l'atmosphère :  $342 \text{ W m}^{-2}$



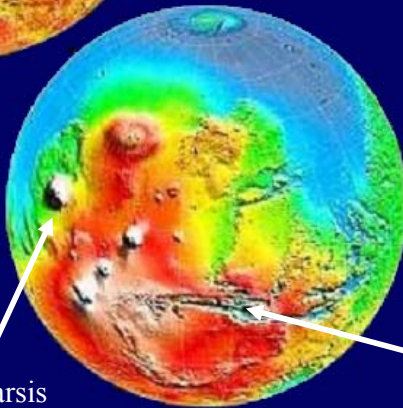
J.T. Kiehl, K.E. Trenberth, 1997, Earth's annual global mean energy budget, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(2):197-208.

## VIII. Altimétrie

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

D.E. Smith, M.T. Zuber, S.C. Solomon, R.J. Phillips, J.W. Head, J.B. Garvin, W.B. Banerdt, D.O. Muhleman, G.H. Pettengill, G.A. Neumann, F.G. Lemoine, J.B. Abshire, O. Aharonson, C.D. Brown, S.A. Hauck, A.B. Ivanov, P.J. McGovern, H.J. Zwally & T.C. Duxbury, 1999, The Global Topography of Mars and Implications for Surface Evolution, *Science*, 284(5419):1495-1503, 28 May 1999

### Emetteur

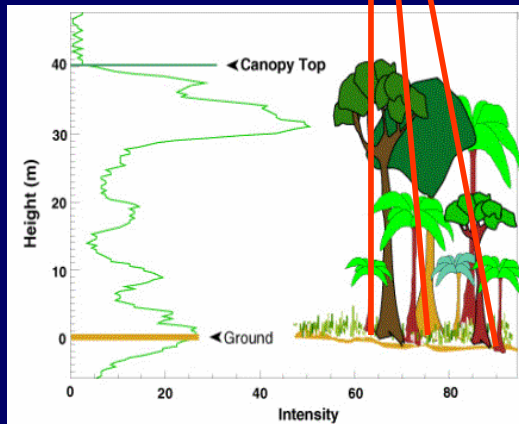
- laser Nd:Yag pulsé
- longueur d'onde : 1064 nm
- fréquence de pulsation : 100-500 Hz

### Récepteur

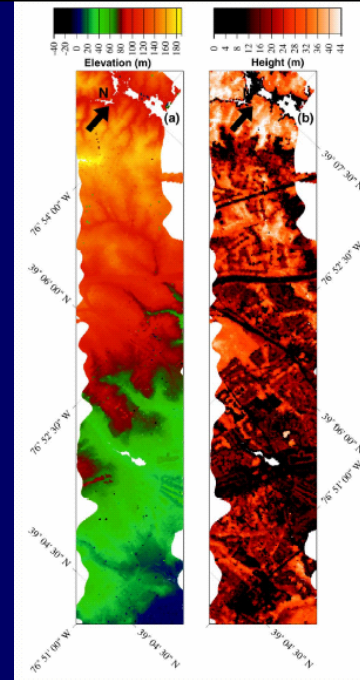
- miroir parabolique : 20 cm
- détecteur Si:APD
- Field Of View : 8 mrad

### Résolution

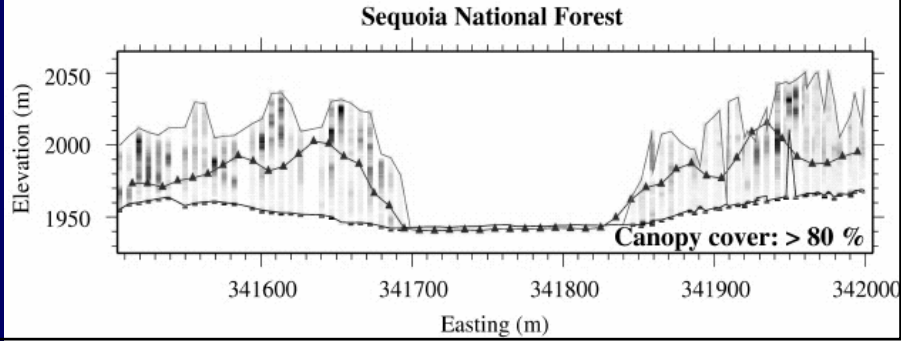
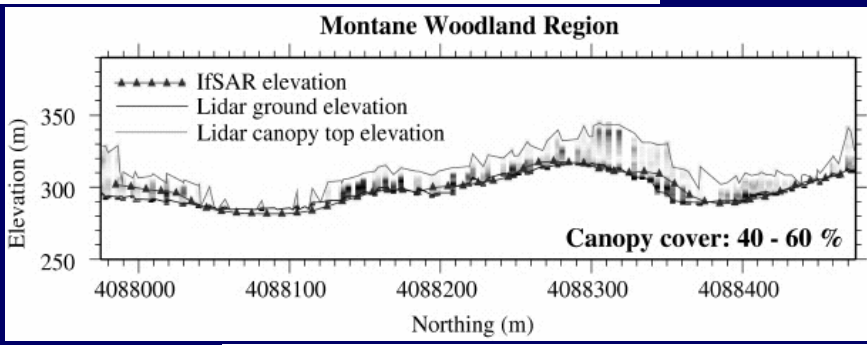
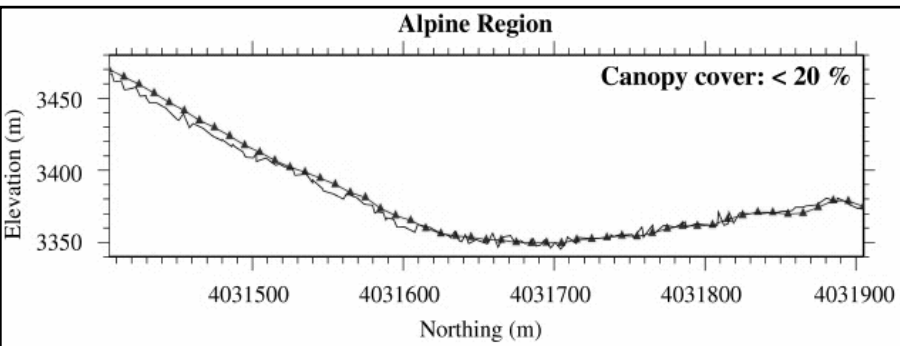
- précision verticale relative sur le couvert : 30 cm
- précision verticale relative sur le sol : 3 cm
- précision verticale absolue : 0.15 m sur sol nu
- taille du pixel : 1-80 m (25 m en moyenne)
- champ de visée horizontal à 8 km : 0.9 km



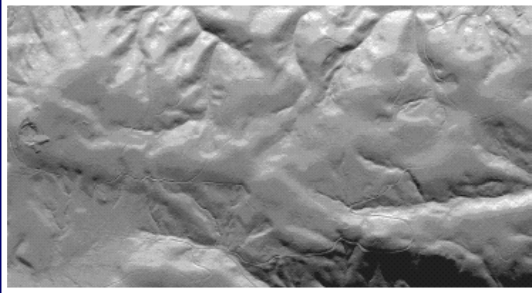
Altimétrie laser grâce au  
LIDAR aéroporté LVIS (*Laser  
Vegetation Imaging Sensor*)



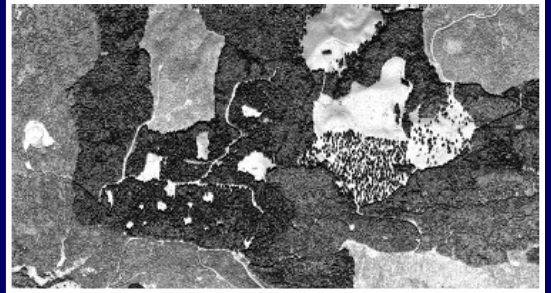
Restitution de la  
topographie du sol et de la  
structure verticale et  
horizontale du couvert  
végétal avec une précision  
inégalée à ce jour



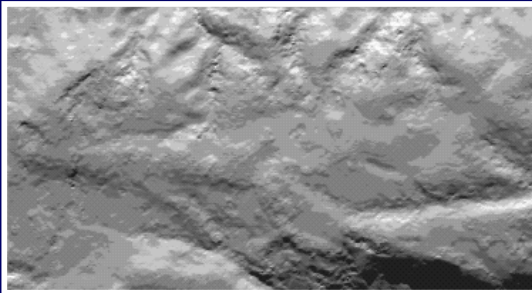
**LIDAR-hauteur du sol**



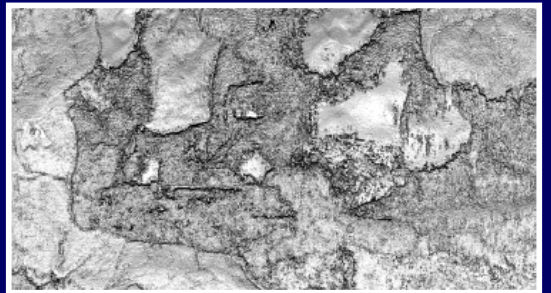
**LIDAR-hauteur du couvert**



**InSAR bande P**



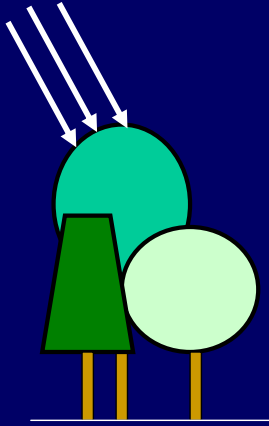
**InSAR bande X**



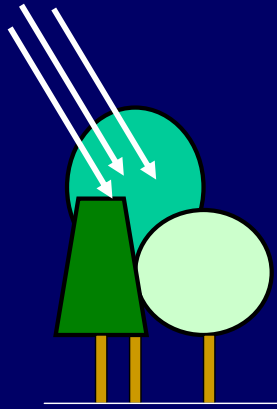
**LIDAR = LIght Detection And Ranging ( $\lambda = 1064 \text{ nm}$ )**

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

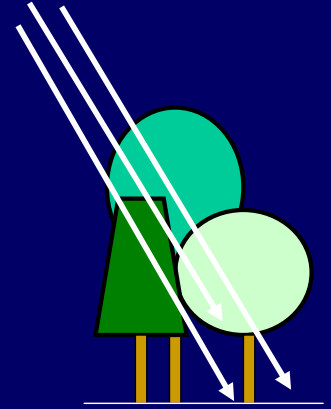
H.E. Andersen, R.J. McGaughey, W.W. Carson, S.E. Reutebuch, B. Mercer & J. Allan, 2003, A Comparison of Forest Canopy Models Derived from LiDAR and InSAR Data in a Pacific North West Conifer Forest, in Proceedings ISPRS Workshop 3-D reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data, Dresden, Germany,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



Les courtes longueurs d'onde (bande X/C) répondent principalement à la surface du couvert végétal (feuilles)

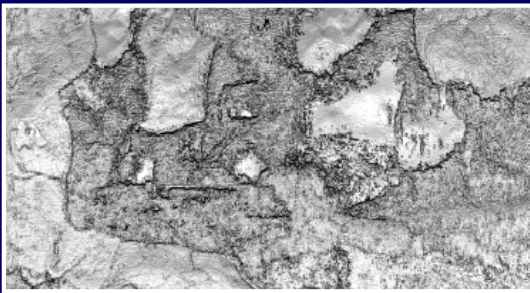


Les moyennes longueurs d'onde (bande C/L) répondent principalement à l'intérieur du couvert végétal (branches et troncs)

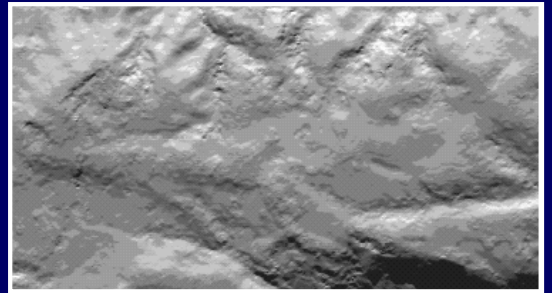


Les grandes longueurs d'onde (bande L/P) pénètrent jusqu'à la surface du couvert végétal (sol)

InSAR bande X

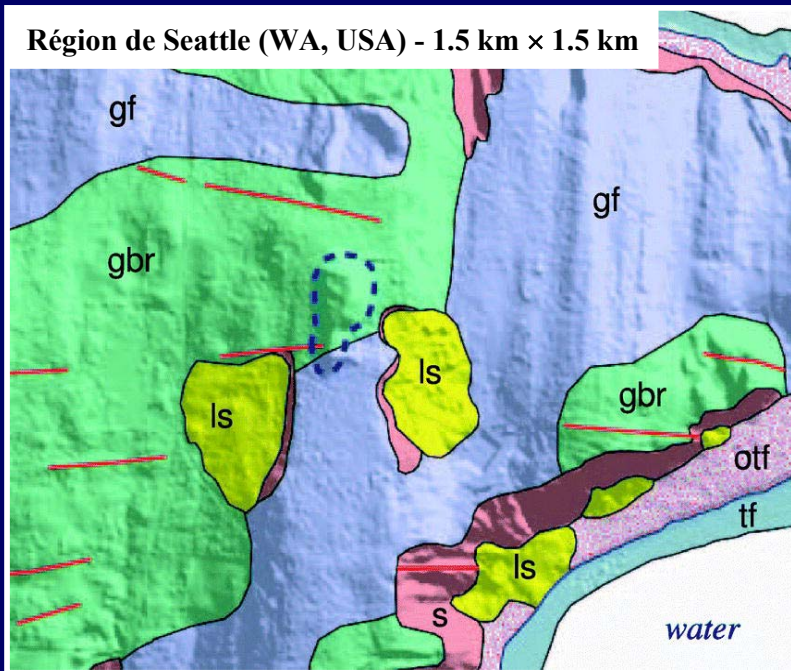


InSAR bande P





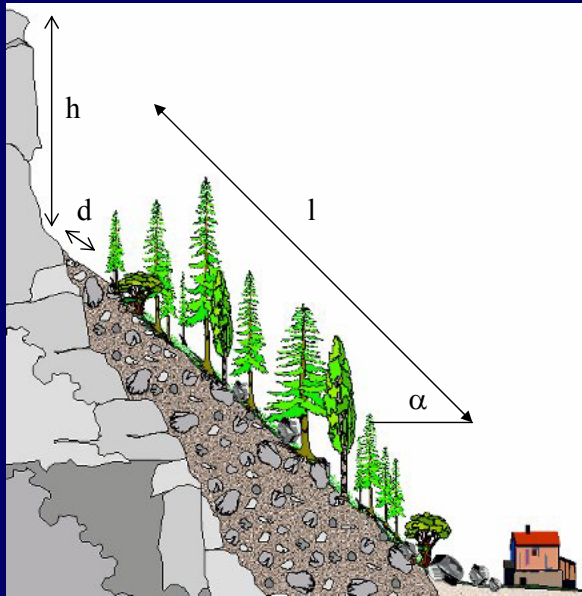
## Altimètre LiDAR et géomorphologie



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

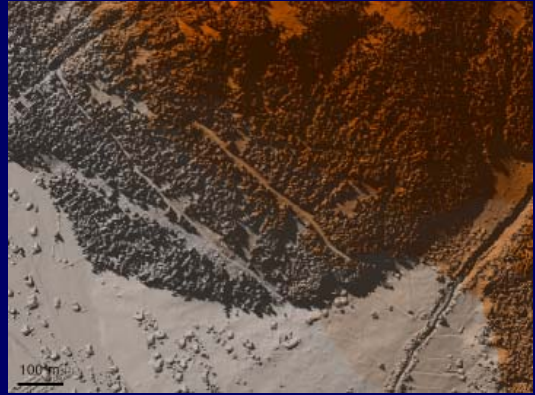


## Altimètre LiDAR et prévention des risques naturels dans les Alpes

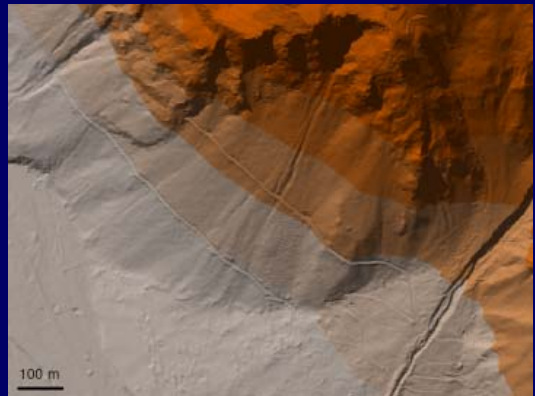


$h$  = hauteur maximum de la falaise  
 $l$  = longueur de la zone boisée  
 $d$  = distance d'entrée dans la zone boisée  
 $\alpha$  = pente moyenne

Source : Luuk Dorren (CEMAGREF Grenoble)  
<http://www.rockfor.net/>



Modèle numérique d'élevation



Modèle numérique de terrain

## Altimètre LiDAR et risque hydrologique dans le Val de Loire



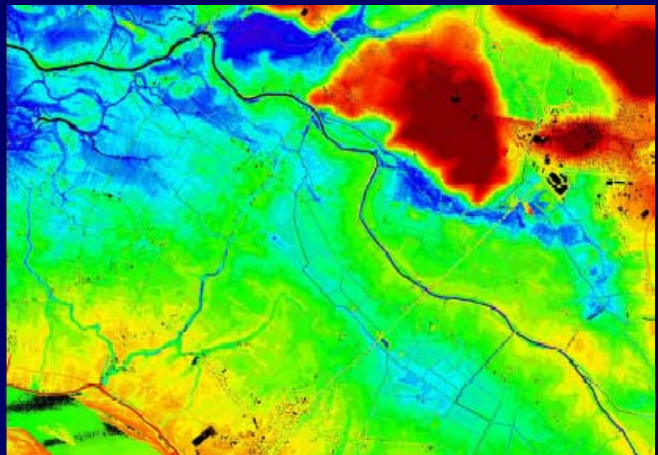
Localisation : la Loire, 1870 km<sup>2</sup>

Objectifs :

- cartographie des zones inondables
- amélioration des modèles hydrauliques
- contrôle des zones submergées

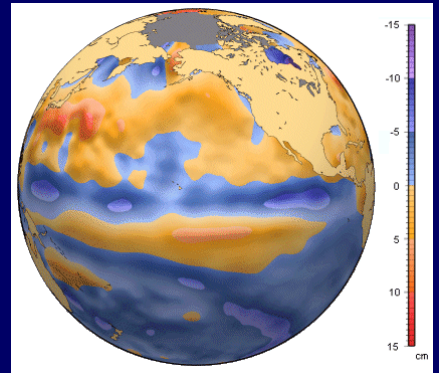
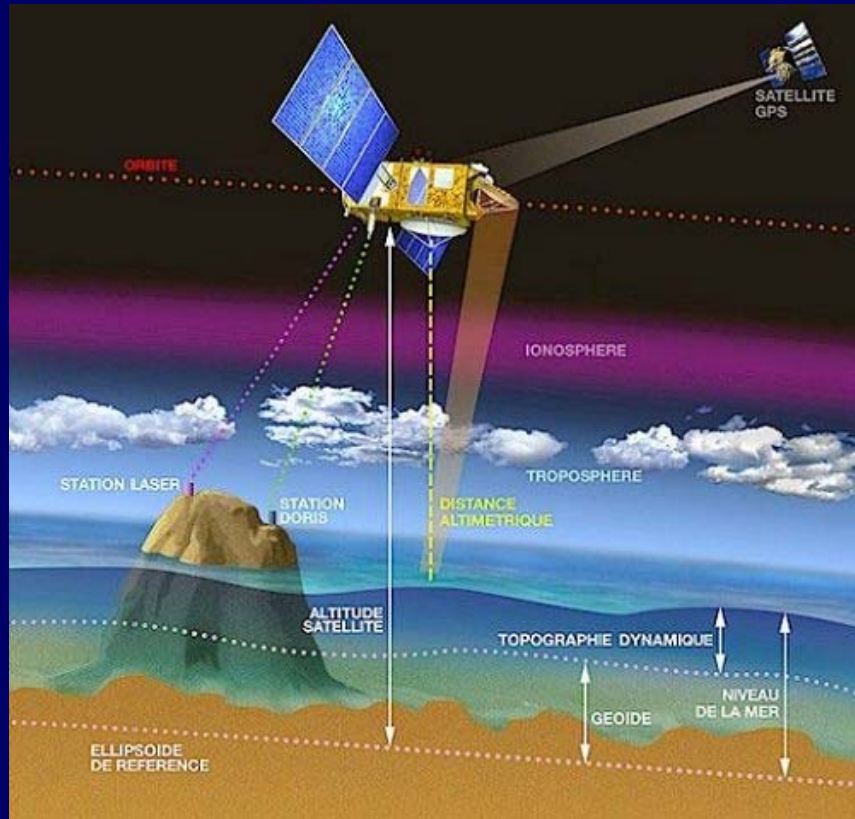
Aquisition : printemps 2002 & 2003

Fréquence d'impulsion : 25 000 Hz  
Largeur de bande : 680 m  
Altitude de vol : 950 m  
Distance entre bandes : 500 m  
Chevauchement des bandes : 180 m  
Vitesse de l'avion : 75 m/s  
Taille du faisceau au sol : 25 cm<sup>2</sup>  
Résultat : 1 point / 4 m<sup>2</sup> sous végétation

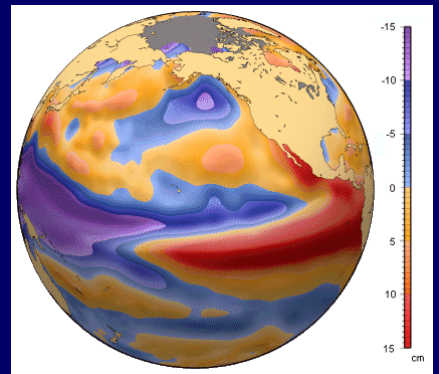


Source : Laurent Coudercy (DIREN Centre)

## Altimètre radar et hauteur des océans



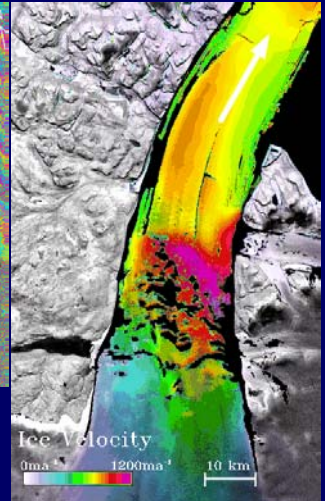
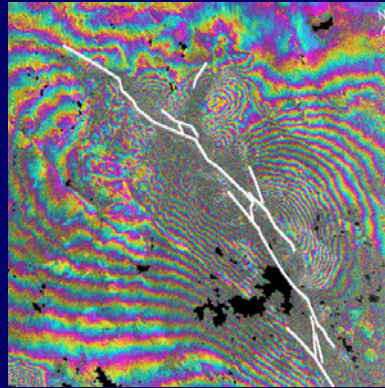
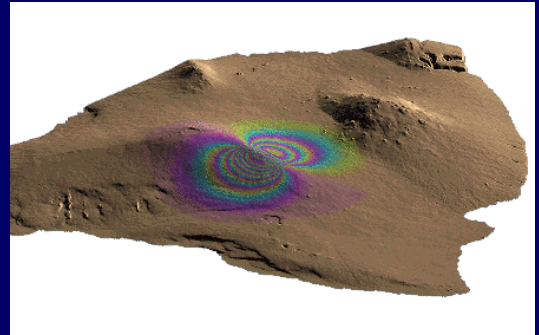
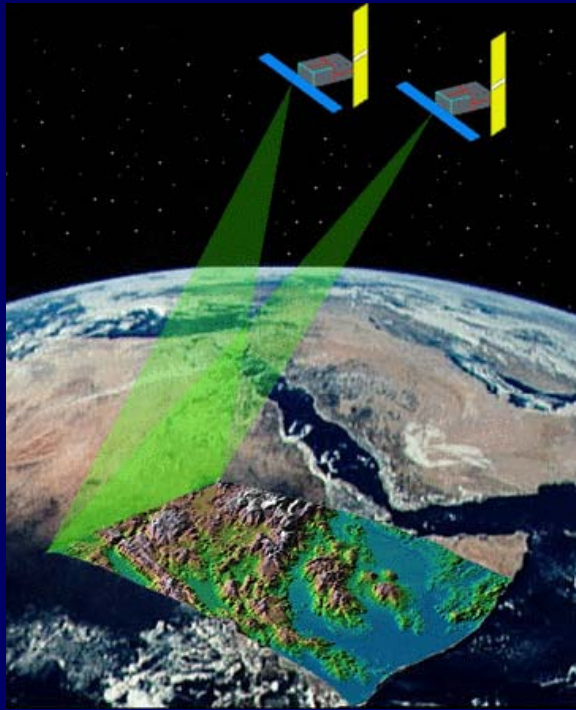
Novembre 1993 : situation normale



Novembre 1997 : El Niño



## Interférométrie radar et déformations de la croûte terrestre



Source : Howard Zebker (Stanford University)  
<http://www.stanford.edu/group/radar/eq.gif>