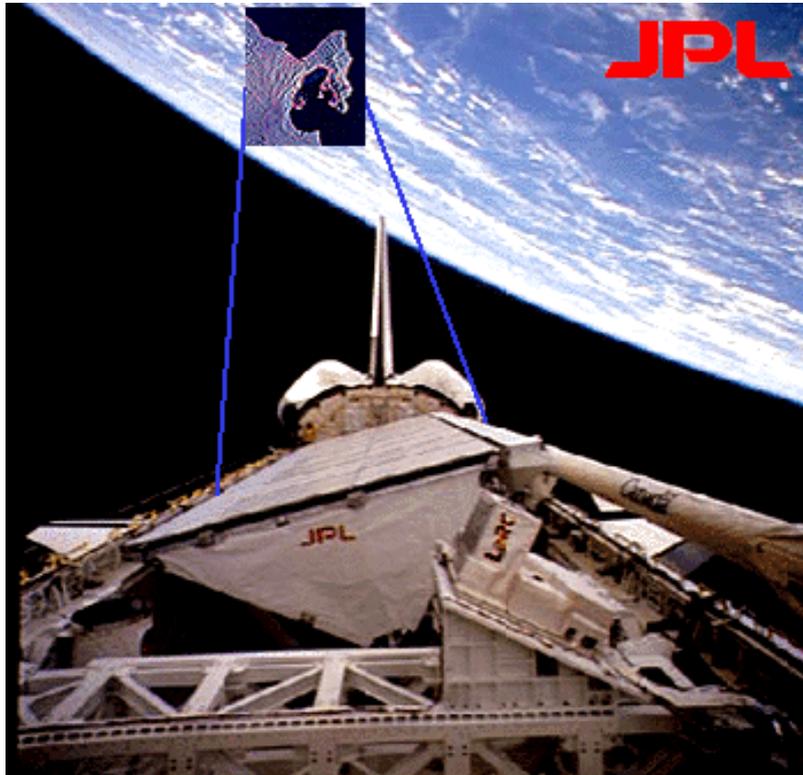




# Imagerie SAR

F. Tupin, J.-M. Nicolas





- I : Quelques images
- II : Principes et Historique
- III : Formation d'une image
- IV : Aspects géométriques
- V : Aspects radiométriques
- VI : Applications



# I : Quelques images



# GoogleEarth en Russie (Volvograd)



Zone plate



# Terrasar-X : au même endroit



Zone plate

Stripmap  
HH  
51°  
19/06/2007

©DLR





© 2007 Europa Technologies  
Map Data © 2007 AND  
Image © 2003 DigitalGlobe



©DLR



# Friedrichshafen



©DLR

ECOM  
risTech





Image © 2008 GeoContent

©2007 Google



Friedrichshafen, Allemagne



pourquoi le radar ?

à travers les nuages...

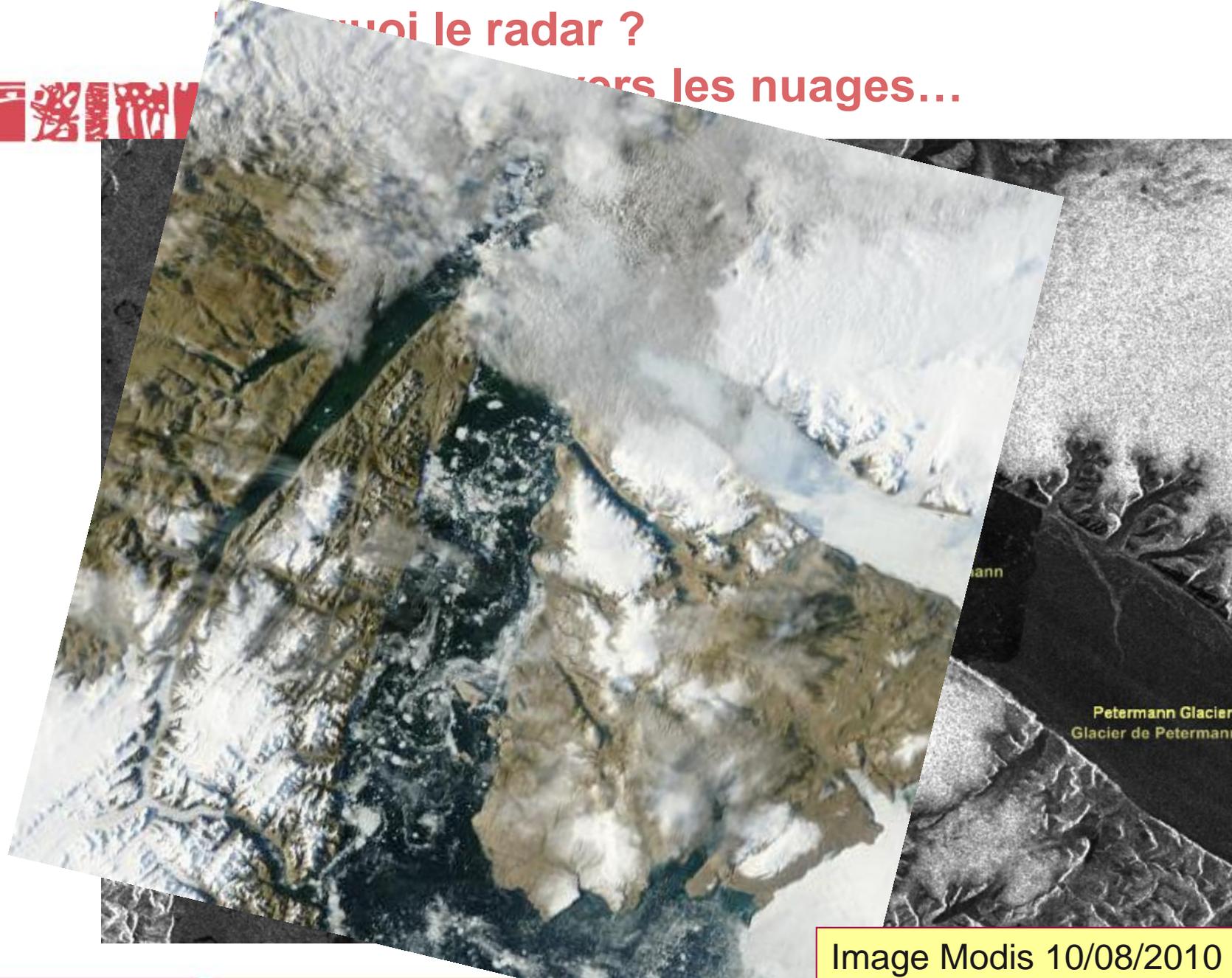


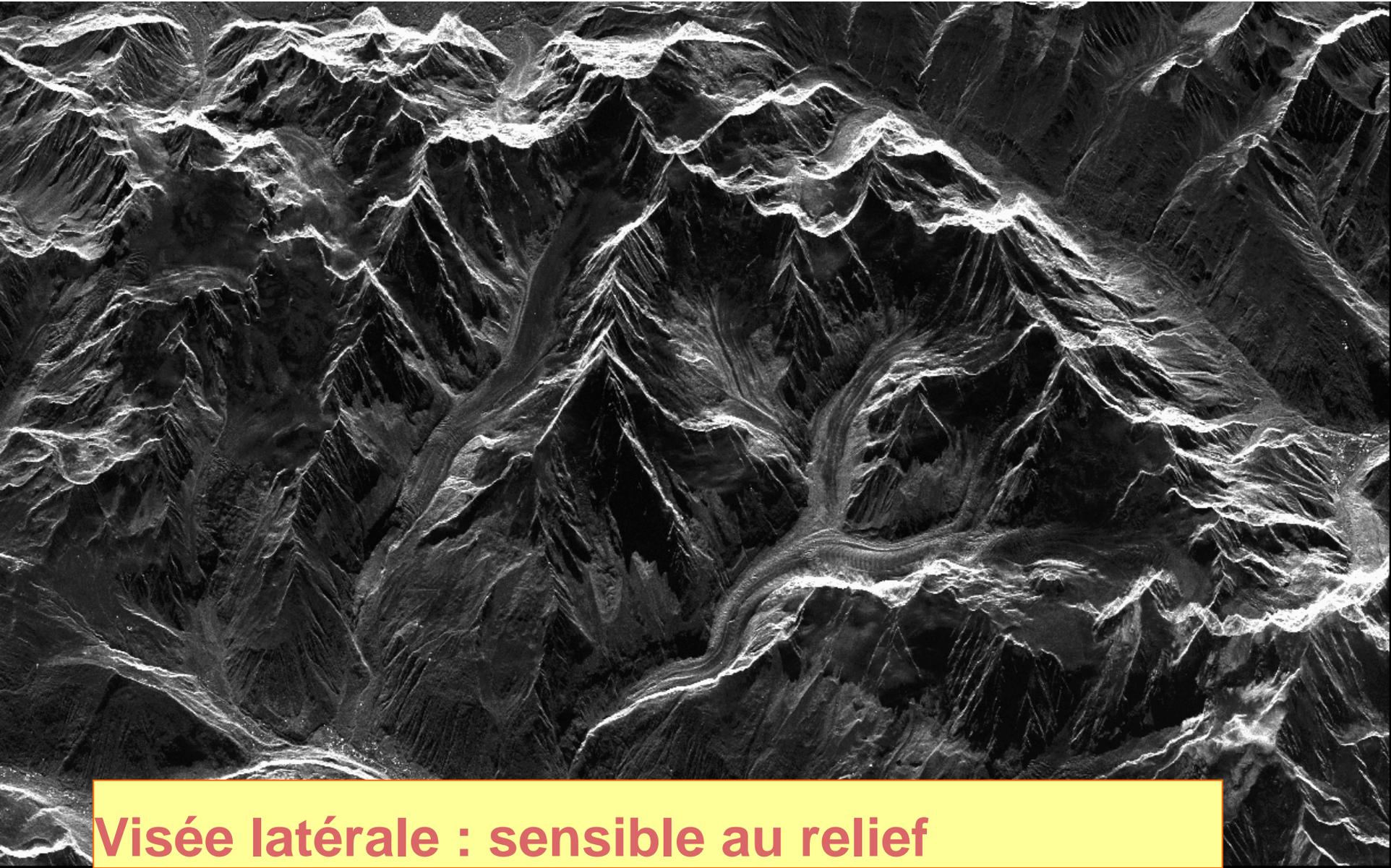
Image Modis 10/08/2010

Le suivi des glaces arctiques ©ASC

# Image optique à la verticale : où est le relief ?



**Filtre « multivues » sur image TSX  
visée latérale depuis l'ouest**



**Visée latérale : sensible au relief**

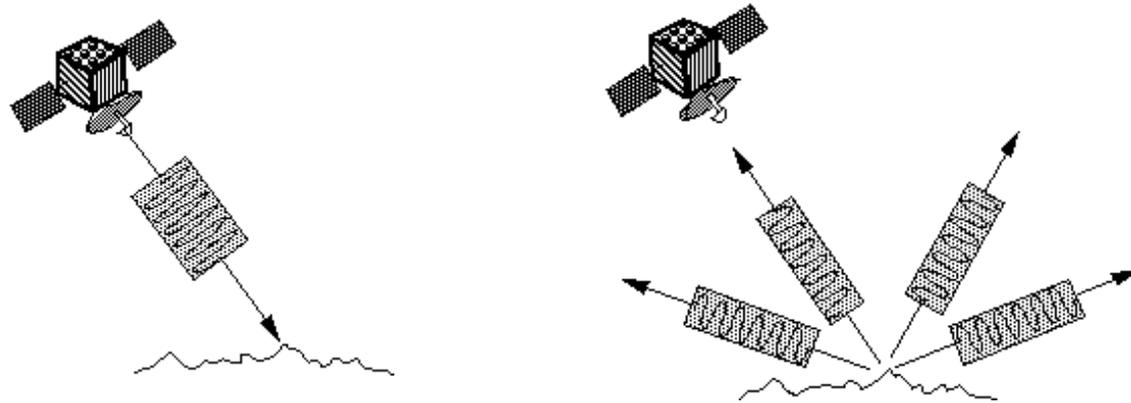


## II : Principes et historique



# Introduction

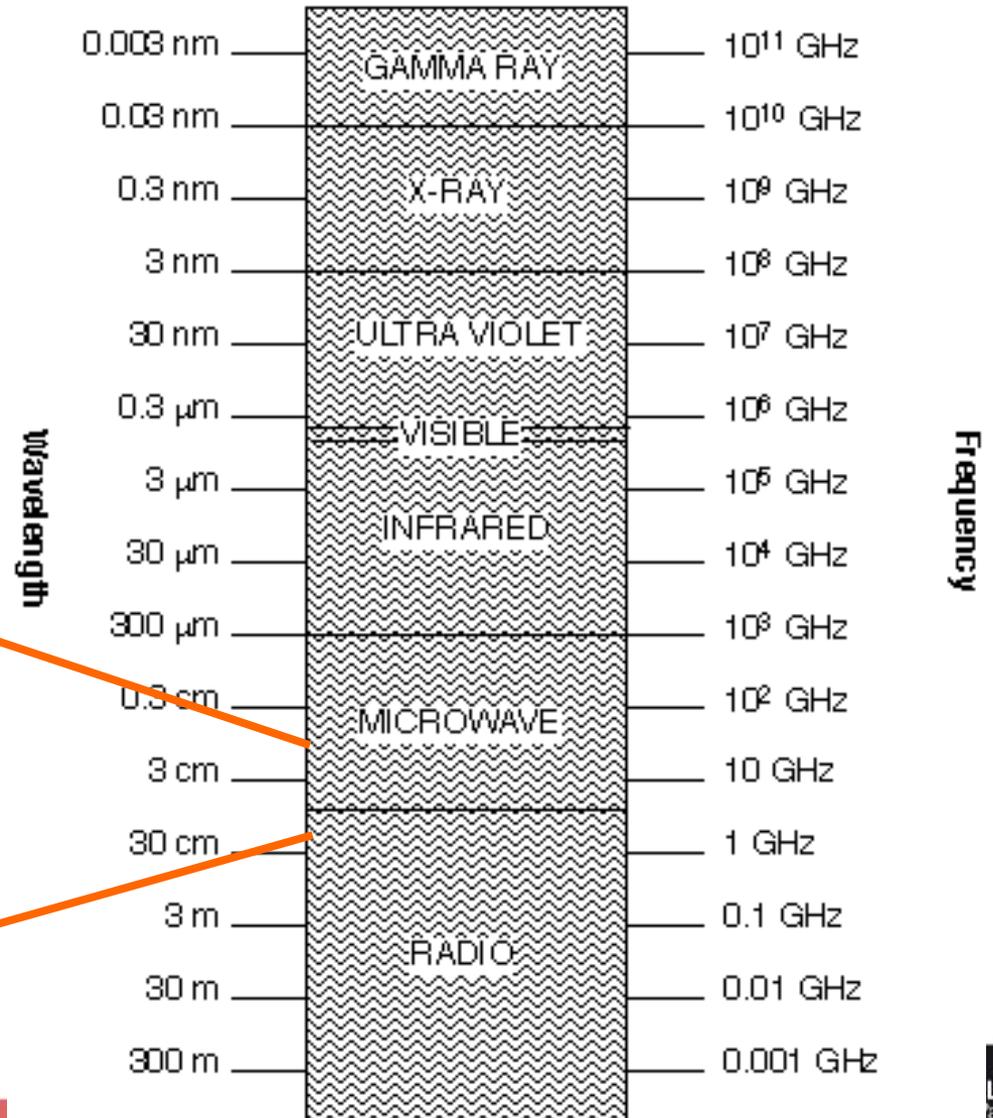
- Principe du radar imageur
  - Émission d'ondes électro-magnétiques
  - Enregistrement du signal rétro-diffusé



- Domaine des hyper-fréquences 1-300GHz (0.1-30cm)
- Radar à visée latérale et monostatique



# Ondes



## Bandes Radar:

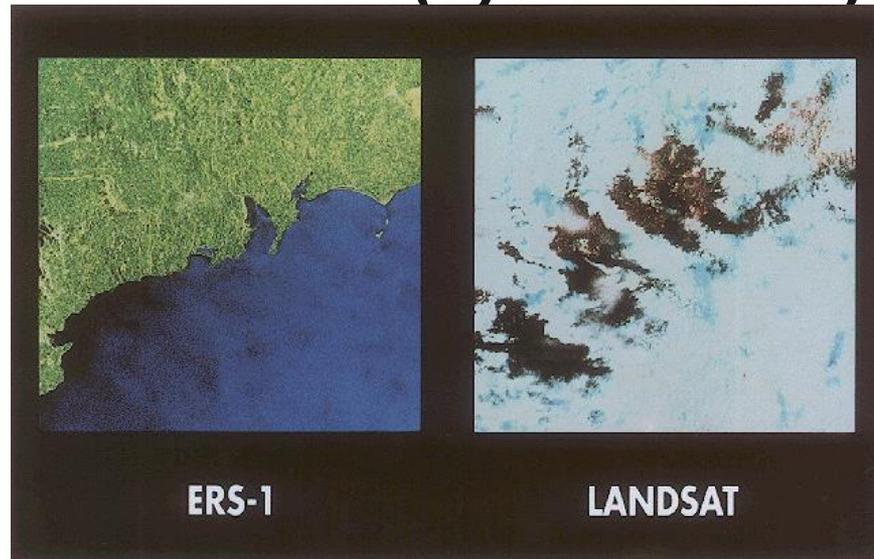
- X ~ 2 cm (~ 9 GHz)
- C ~ 5 cm (~ 5 GHz)
- L ~ 20 cm (~ 1 GHz)





## Particularités des systèmes radars

- **Systèmes tous temps (transparence des nuages) et de jour comme de nuit (système actif)**



- **Perspectives différentes des systèmes optiques (visée latérale, échantillonnage en distance)**
- **Possibilités de pénétrer la végétation et certaines surfaces**



# Historique du RSO

- Principes posés par Wiley (1951)
- Mise en œuvre pour l'imagerie de la surface lunaire (Apollo 17)
- L'expérience américaine SEASAT (1978)
- Les réalisations soviétiques (Kosmos et Almaz)
- L'utilisation de la navette : SIR(1982,1984 et 1994) et SRTM (2000)
- L'Europe : ERS (1991,1995) et Envisat (2002)
- Le Japon (1992,2006) et le Canada (1995, 2007)
- Les capteurs métriques : Terrasar-X (2007), CSK (2008)
- Les constellations : Orfeo-Pleiades (2012) et Sentinel



# Les RSO satellitaires civils

## Première génération

		cycle	altitude	bande
ERS	1991	35 j	780 km	C
JERS	1992	46 j	580 km	L
RADARSAT-1	1996	25 j	798 km	C
ENVISAT	2002	35 j	780 km	C



# Les RSO satellitaires civils

## Seconde génération

		cycle	altitude	bande
<b>ALOS</b>	<b>2006</b>	<b>46 j</b>	<b>580 km</b>	<b>L</b>
<b>Terrasar-X</b>	<b>2007</b>	<b>11 j</b>	<b>514 km</b>	<b>X</b>
<b>Cosmo SKymed (CSK)</b>	<b>2007</b>	<b>16j</b>	<b>619 km</b>	<b>X</b>
<b>Radarsat-2</b>	<b>2007</b>	<b>26 j</b>	<b>780 km</b>	<b>C</b>



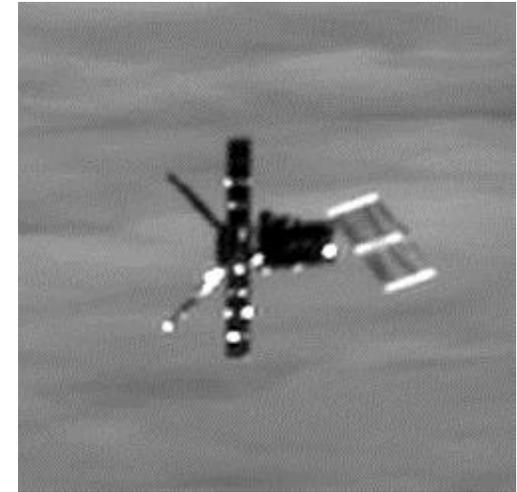
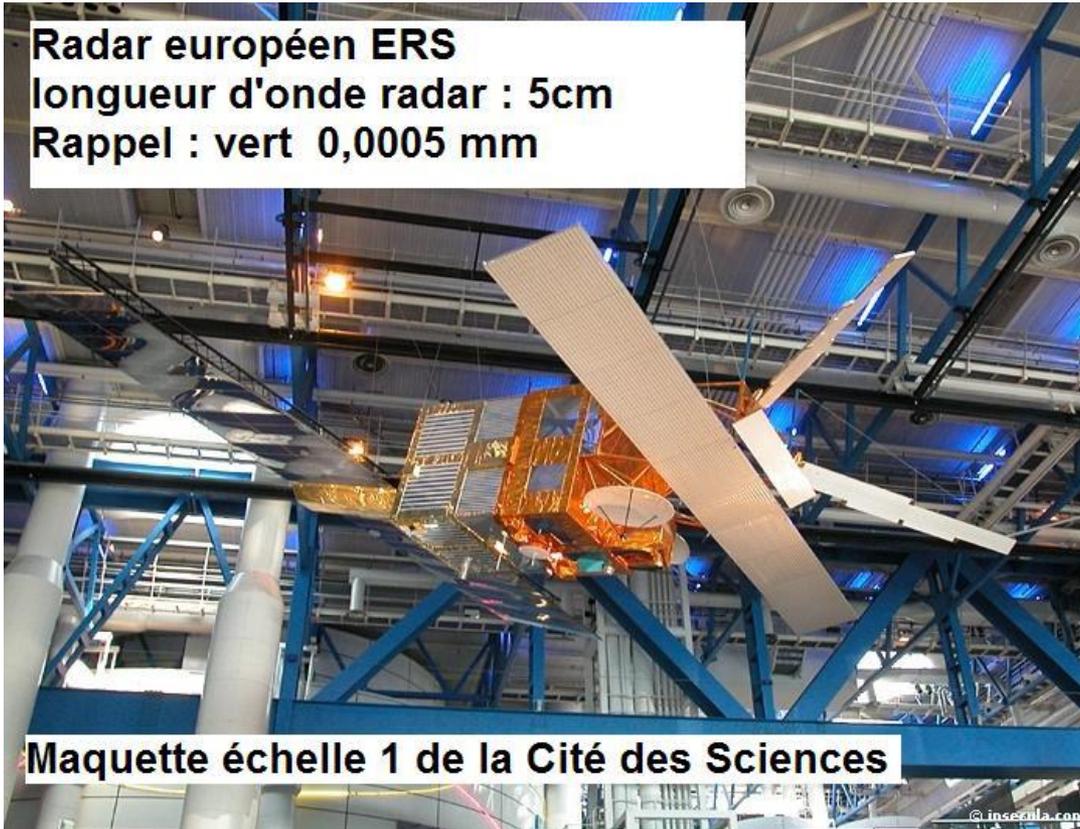
# JERS : 2m x 12.5m





# ERS-1 : vu par SPOT 5

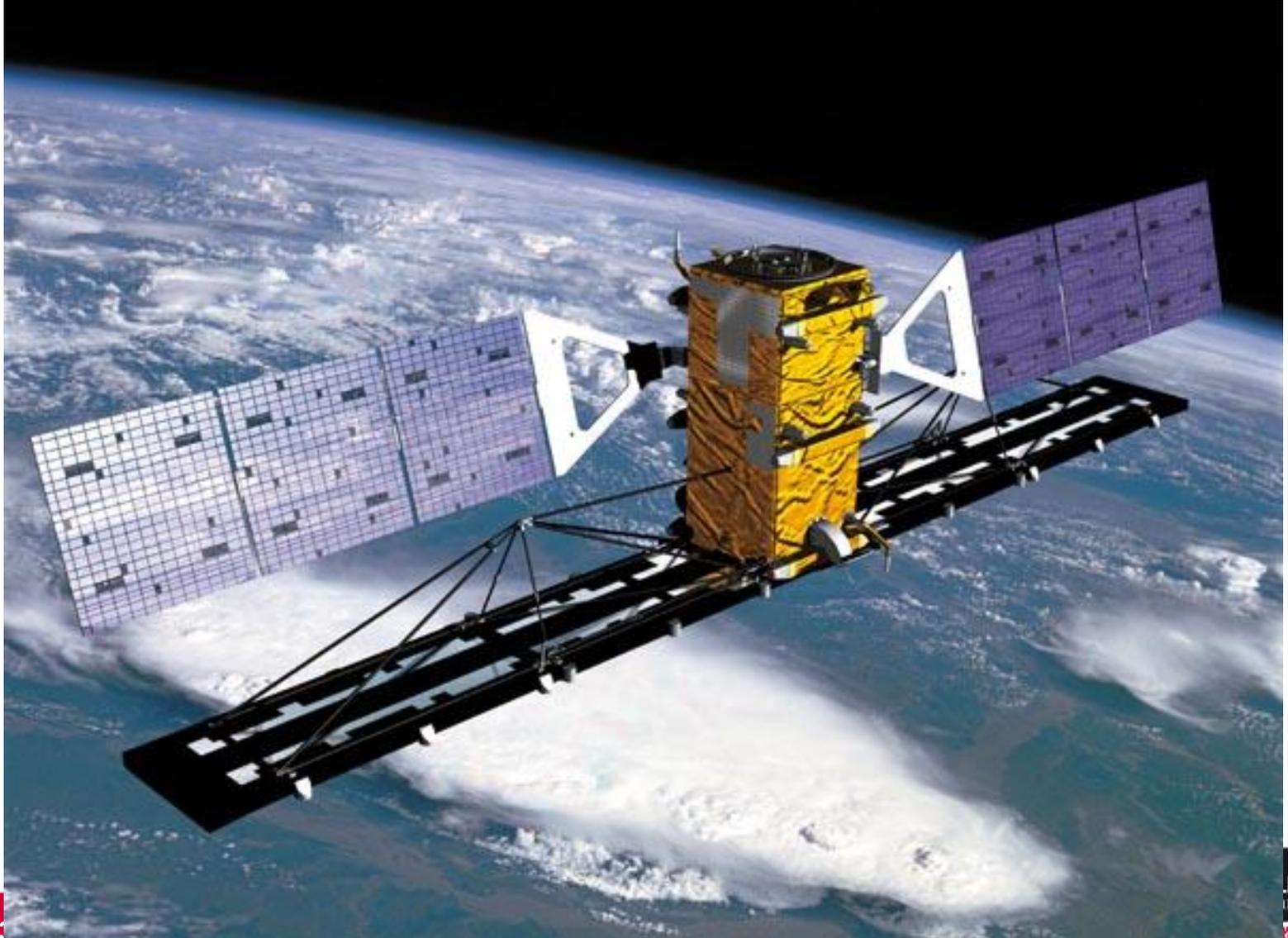
**Radar européen ERS**  
longueur d'onde radar : 5cm  
Rappel : vert 0,0005 mm



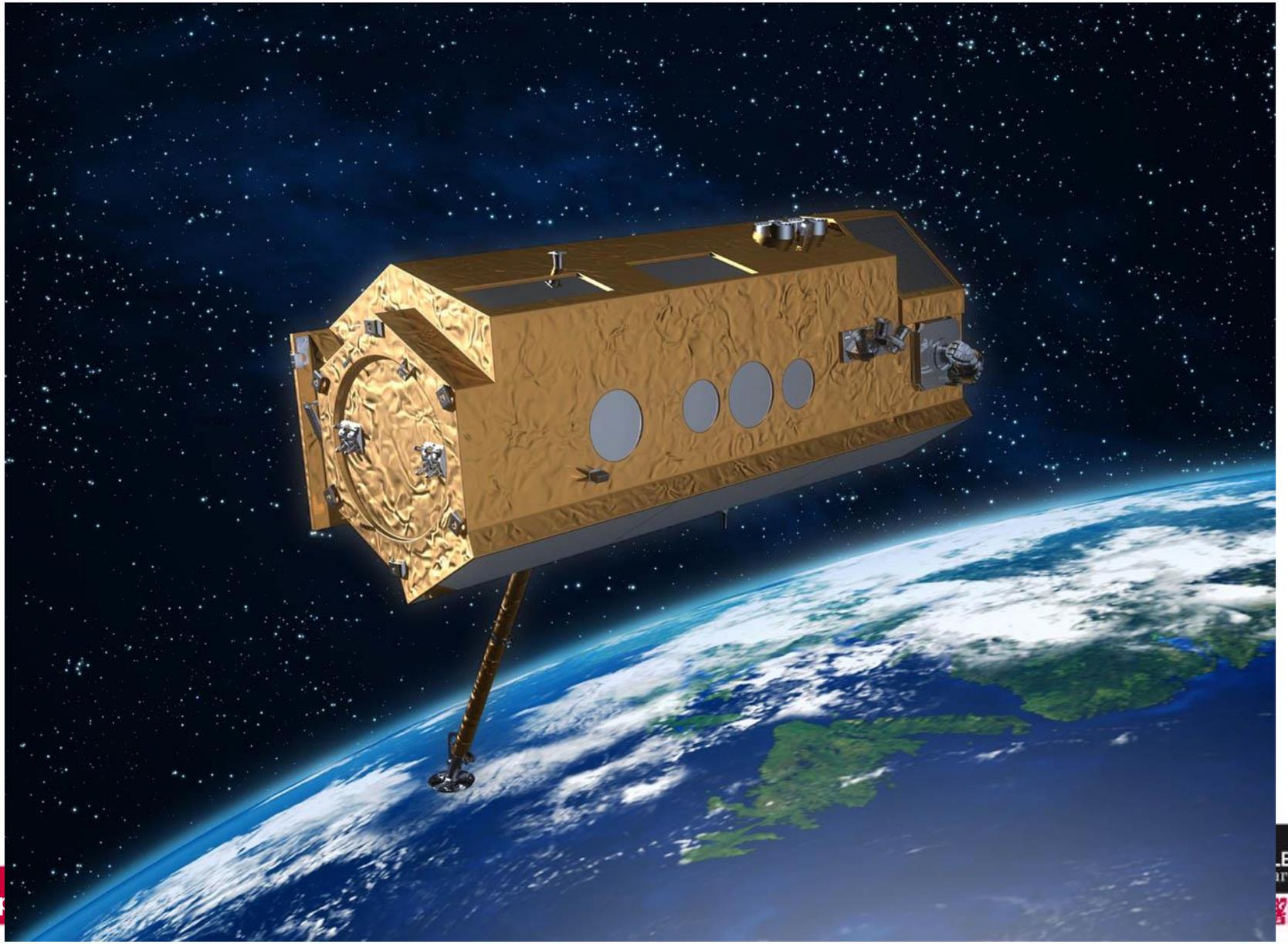
**Maquette échelle 1 de la Cité des Sciences**



# Radarsat-2 (Canada)

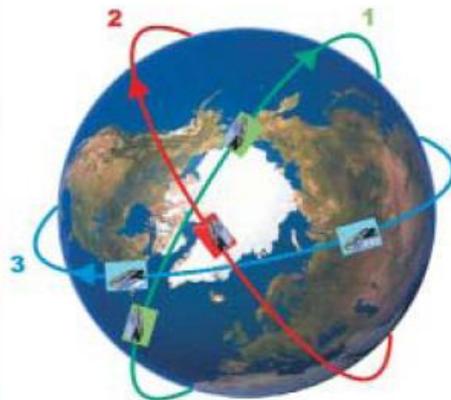


# Terrasar-X (DLR)

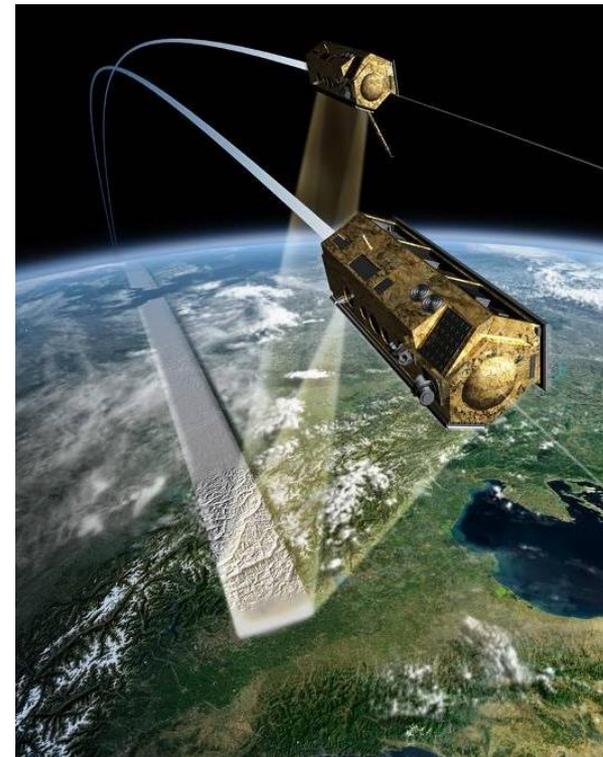




# Constellations



**Anzahl der Satelliten:** 5, identisch  
**Bahnebenen:** 3  
**Mittlere Höhe:** ca. 500 km, optimiert für höhere Auflösung  
**Bahninklination:** ca. Polar, alle  
**Anzahl der Satelliten in den Bahnebenen:**  
Orbit 1: 2 Satelliten  
Orbit 2: 1 Satellit  
Orbit 3: 2 Satelliten  
**Winkel zwischen den Bahnebenen und Phasenwinkel der Satelliten optimiert für eine kürzest mögliche Systemantwortzeit**



3 orbites pour améliorer le temps de revisite

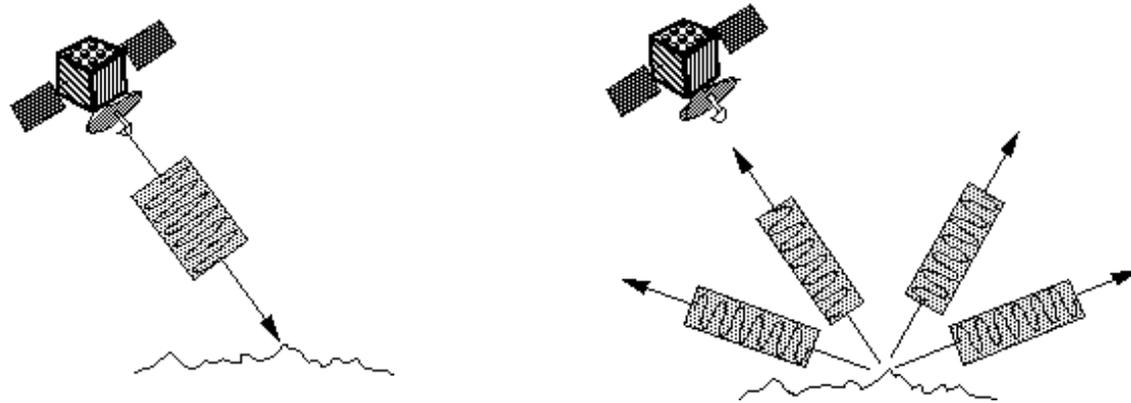


# III : Formation des images RSO



# Introduction

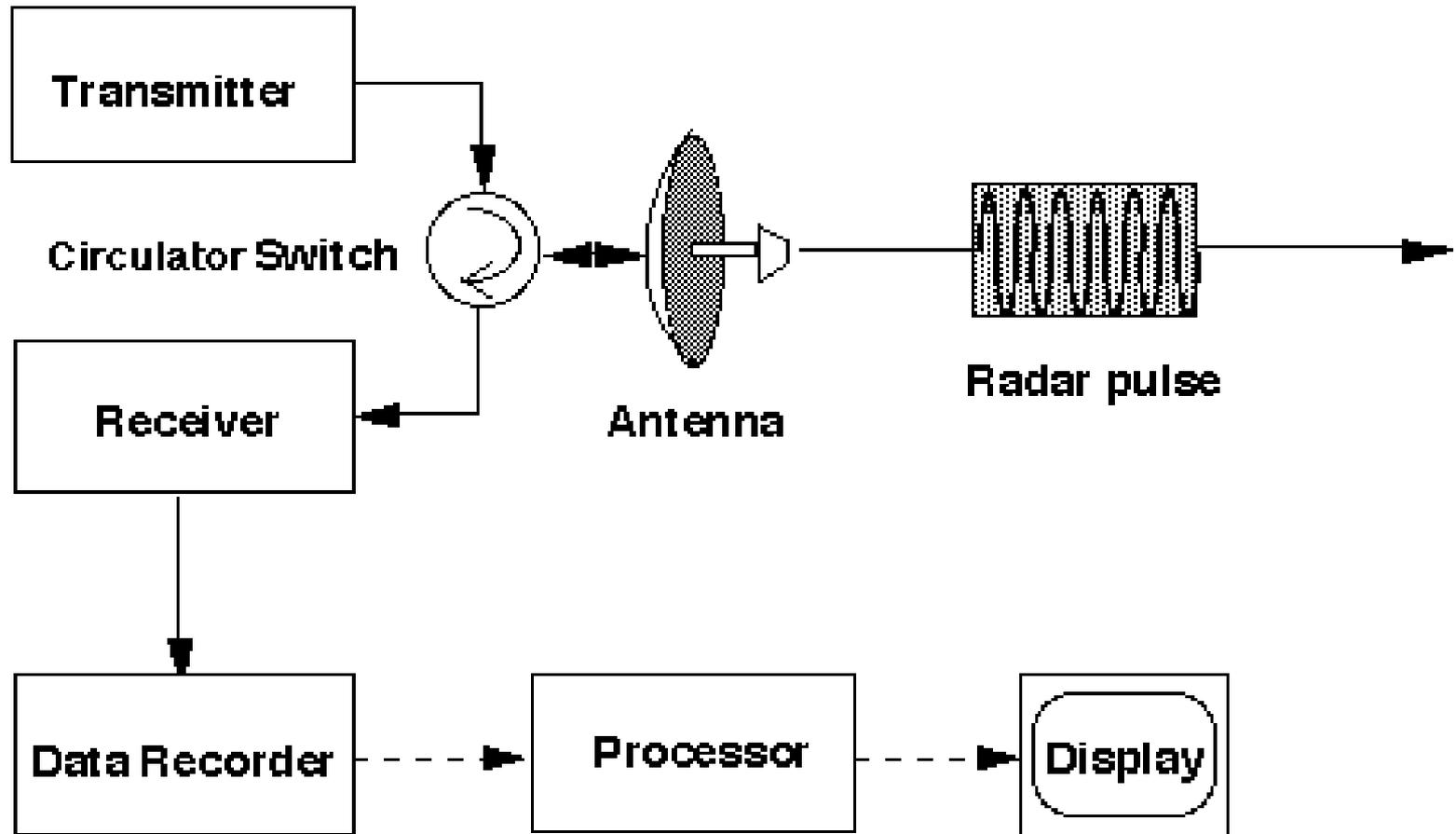
- Principe du radar imageur
  - Émission d'ondes électro-magnétiques
  - Enregistrement du signal rétro-diffusé



- Domaine des hyper-fréquences 1-300GHz (0.1-30cm)
- Radar à visée latérale et monostatique

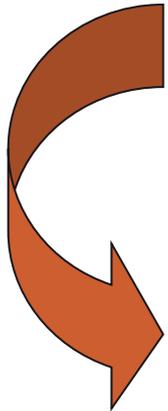


# Principes du Radar : émetteur et récepteur





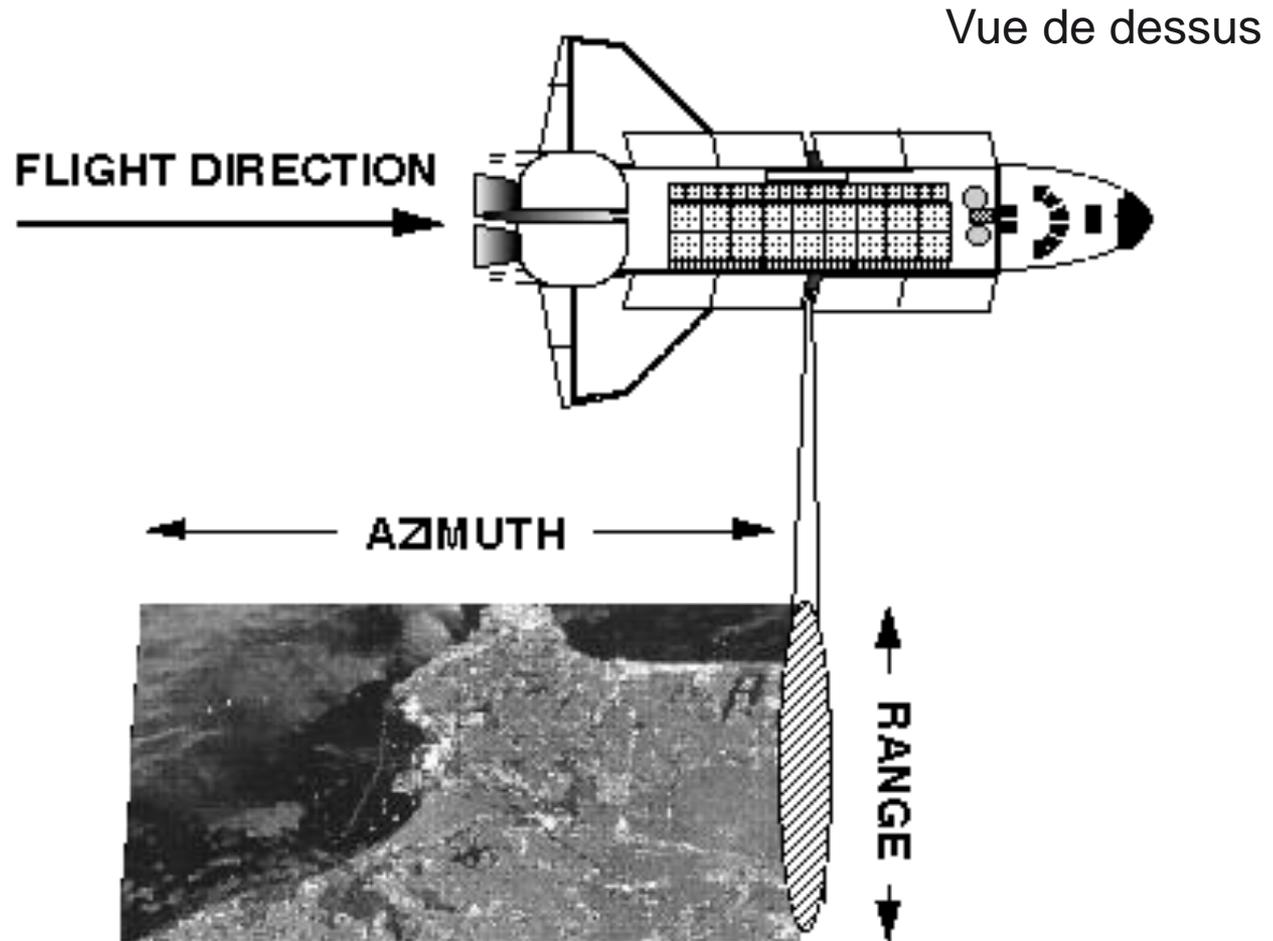
# Les deux principes fondamentaux du RSO



- **Aspects « signal » : mesure du temps de vol, donc d'une distance.**
- **Aspects « antenne » : pouvoir séparateur angulaire**
- **Deux dimensions : une image**



# Formation des images radar

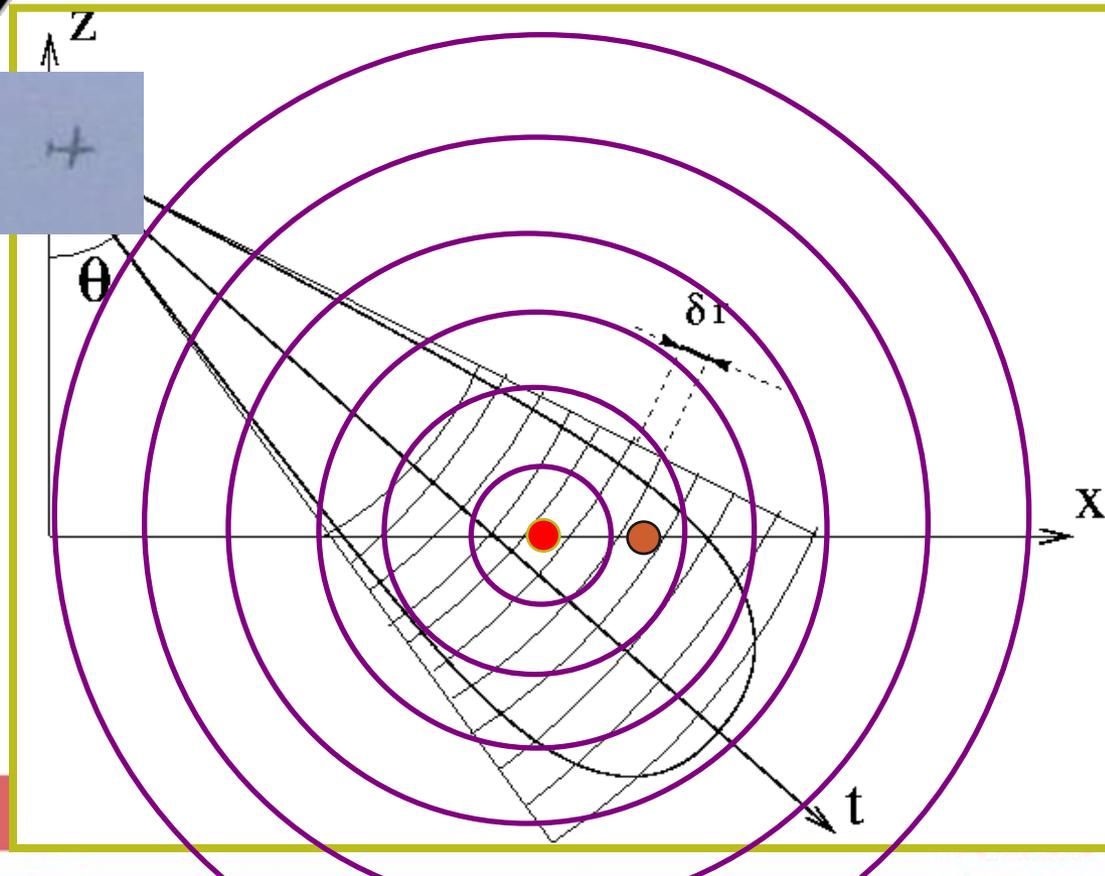


# « Ranging » : Echolocation



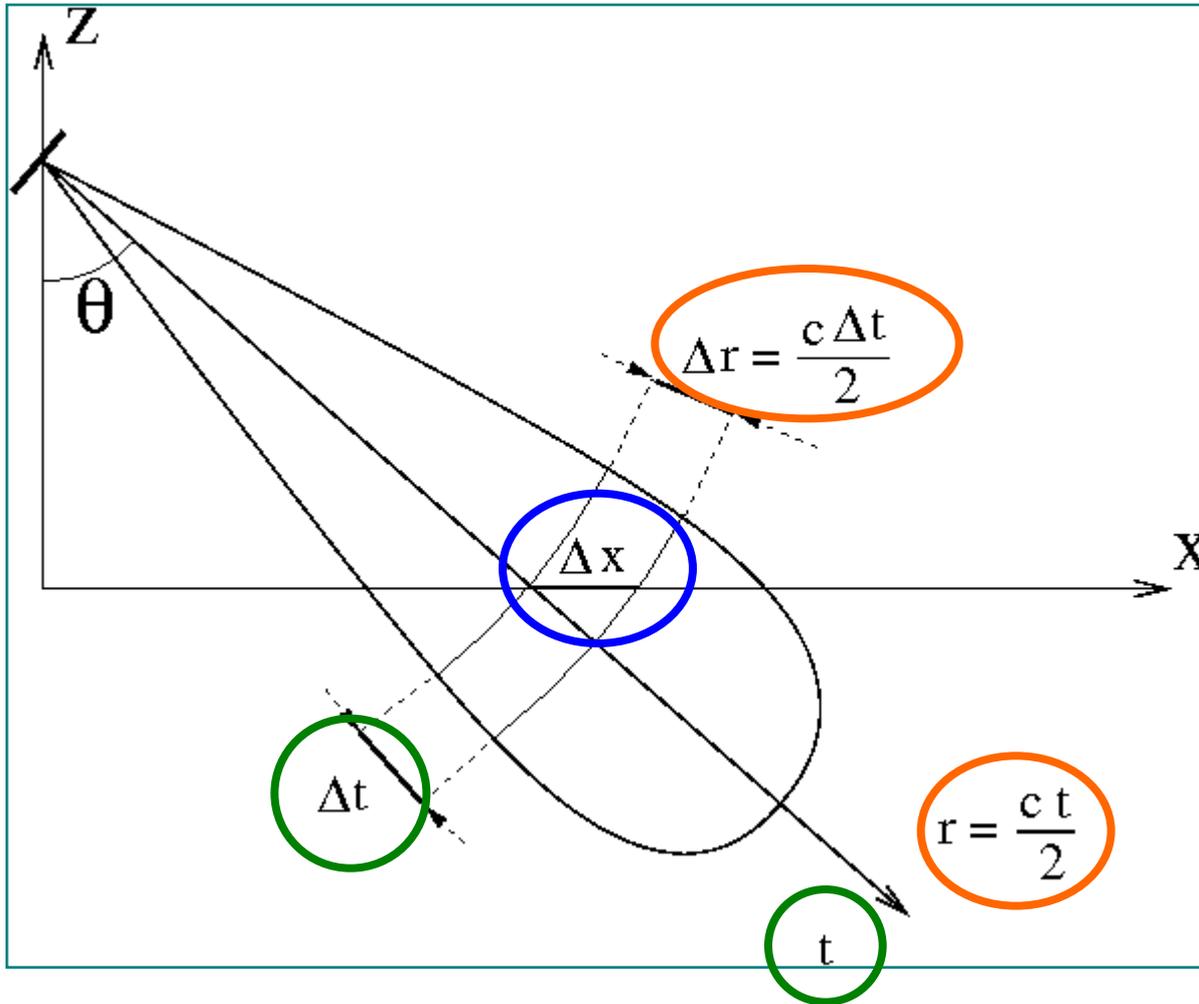
- Visée latérale
- Entre 20° et 50°

Case distance  
Colonne de l'image



# Case temps, case distance, case sol

Echantillonnage  $\Delta t \leftrightarrow \Delta r \leftrightarrow \Delta x$



■ Case temps :

$$\Delta t$$

■ Case distance :

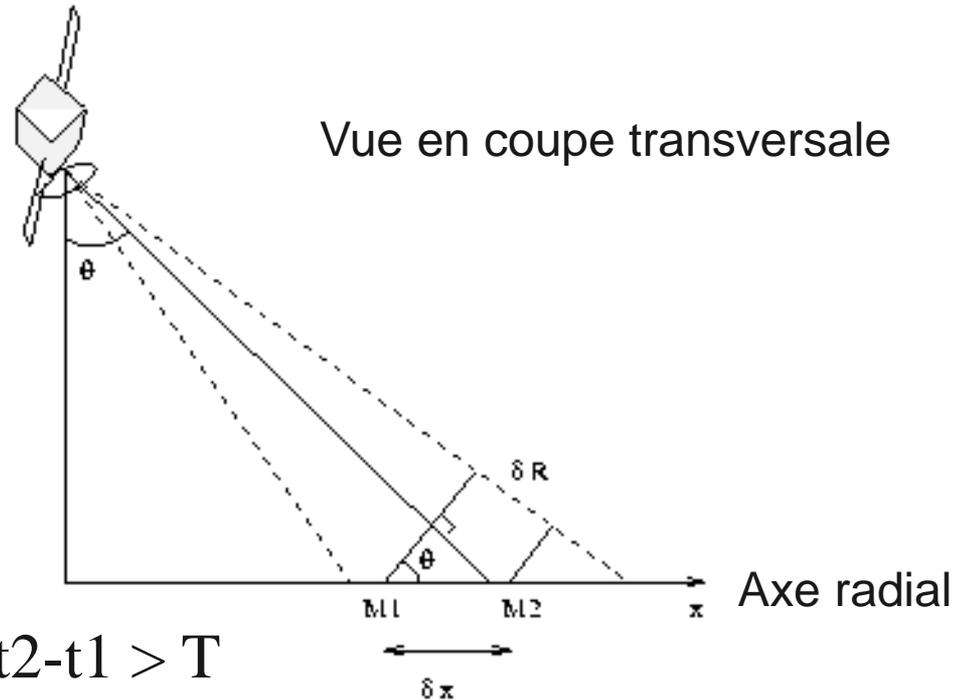
$$\Delta r = \frac{c \Delta t}{2}$$

■ Case sol

$$\Delta x = \frac{\Delta r}{\sin \theta}$$



# Résolution en distance (ou radiale ou “en range”)



Signal de durée  $T$  de fréquence  $f_0$

Pour distinguer deux cibles il faut  $t_2 - t_1 > T$

$$dR > cT/2$$

$$dx = dR / \sin(\theta)$$

$dR$  resolution en distance (prop. au temps)

$\Rightarrow dx$  résolution au sol (variable sur la fauchée)

Pour ERS :  $dx = 14,2 \text{ km} !!!$

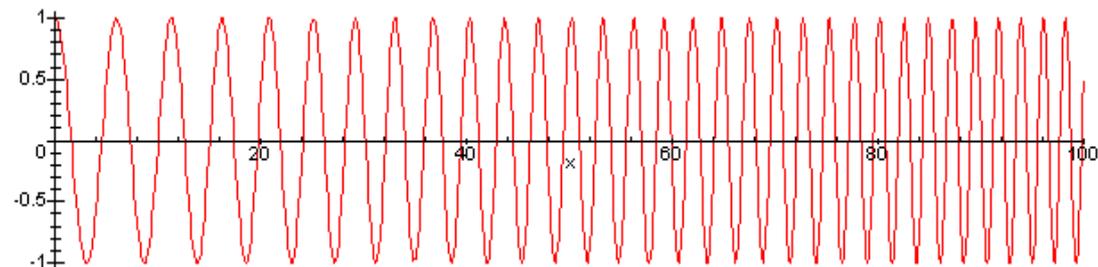


# Contraintes à l'émission

Echolocation : signal bref (T le plus petit possible!)

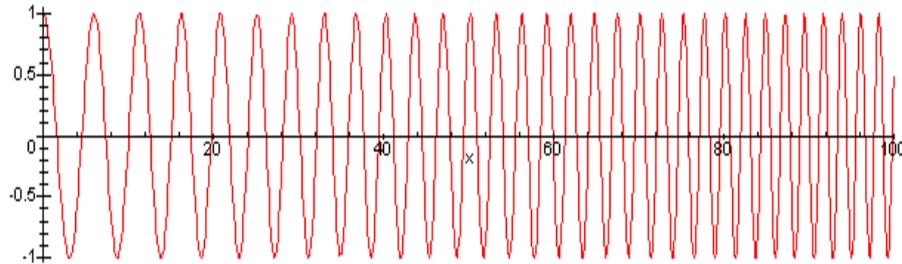
**MAIS** :contrainte de puissance !!

⇒Emission d'une rampe en fréquence

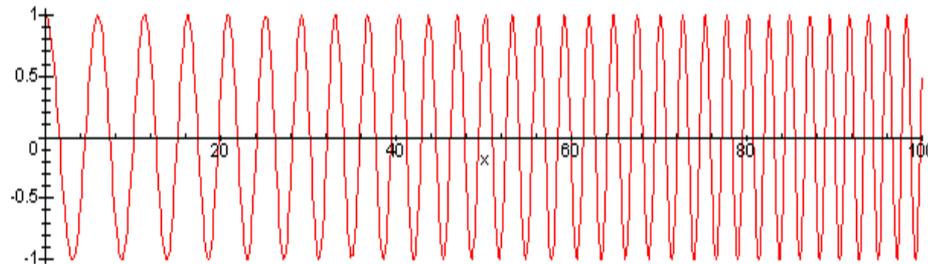




# Solution : le filtrage adapté

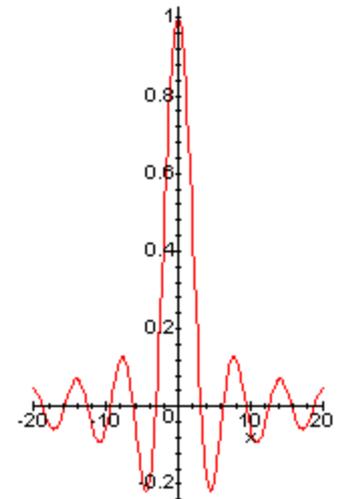


\*



Résolution : 7,9 m

=





# Chirp et sinus cardinal de même bande

## Cas d'ERS

### ■ Chirp

- Durée vraie : 37  $\mu$ s
- 18 MHz  $\leftrightarrow$  11 Km (5.5 km en trajet A/R)

### ■ Sinus Cardinal :

- Durée utile : 55 ns (=1/B)
- 18 MHz  $\leftrightarrow$  16 m (7.9 m en trajet A/R)



## Récapitulatif

- On raisonne comme si le signal émis était un sinus cardinal
- La durée utile du sinus cardinal est  $\tau$
- La bande passante du sinus cardinal est

$$B = \frac{1}{\tau}$$

- Le chirp émis a une durée

$$T = \frac{1}{K\tau}$$



## Conclusion

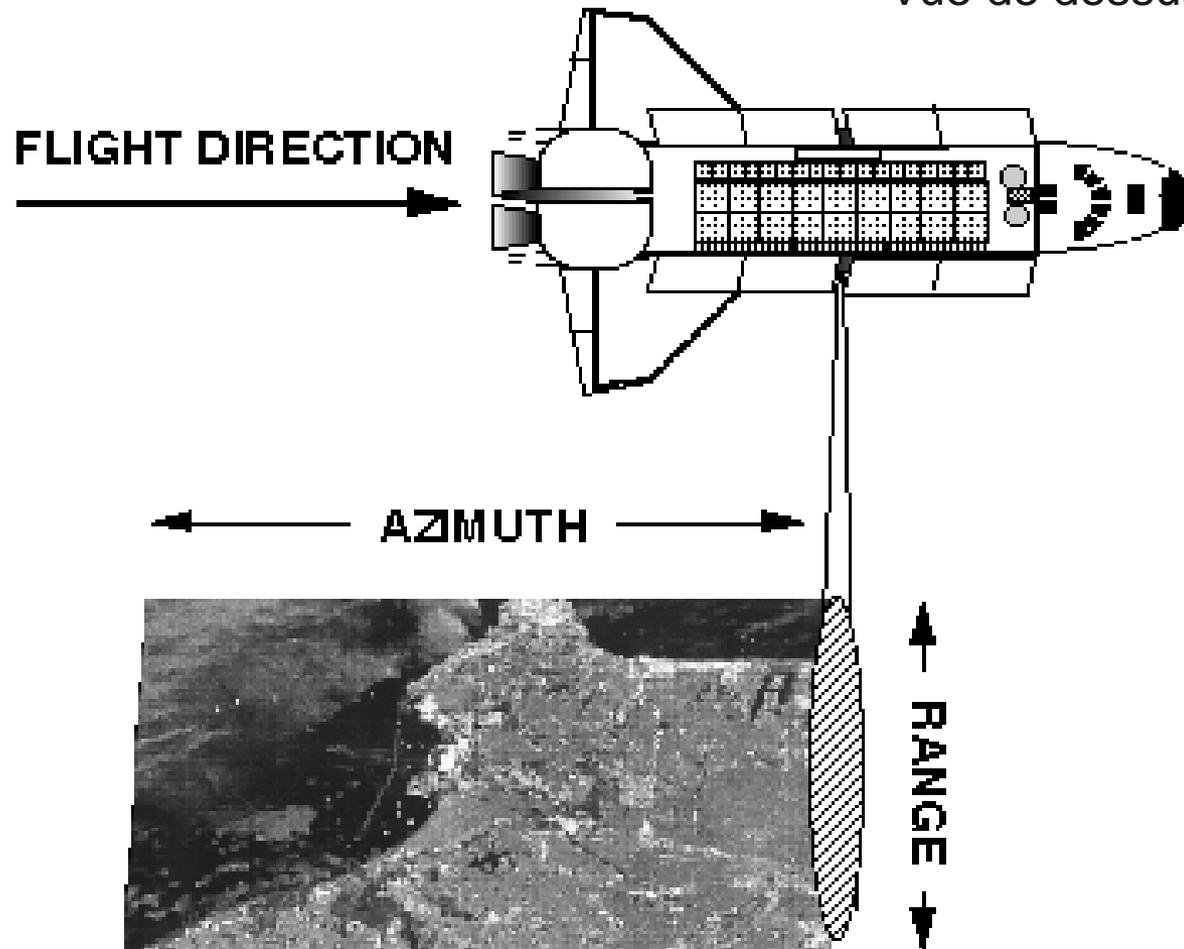
- La résolution radiale d'un capteur RSO est lié à sa bande passante

	Bande passante
ERS	15.55 MHz
Radarsat 1	30 MHz
Terrasar-X	300 MHz
ESAR	120 MHz
Ramses	600 MHz 1200 MHz



# L'antenne synthétique

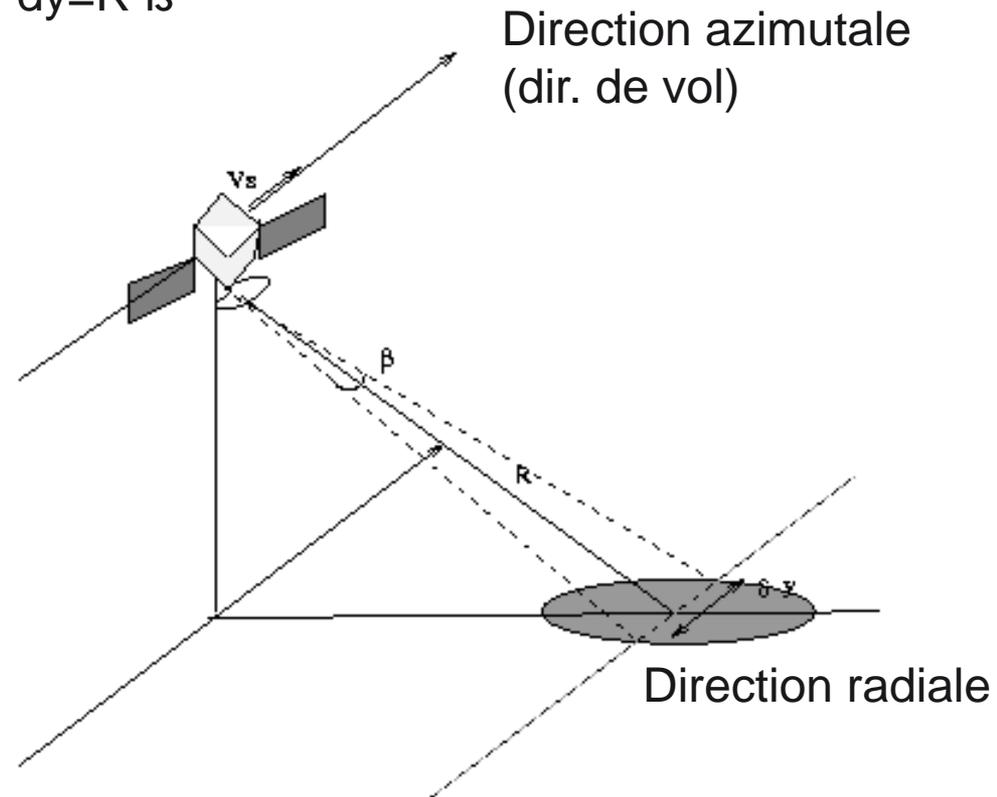
Vue de dessus





# Résolution azimutale

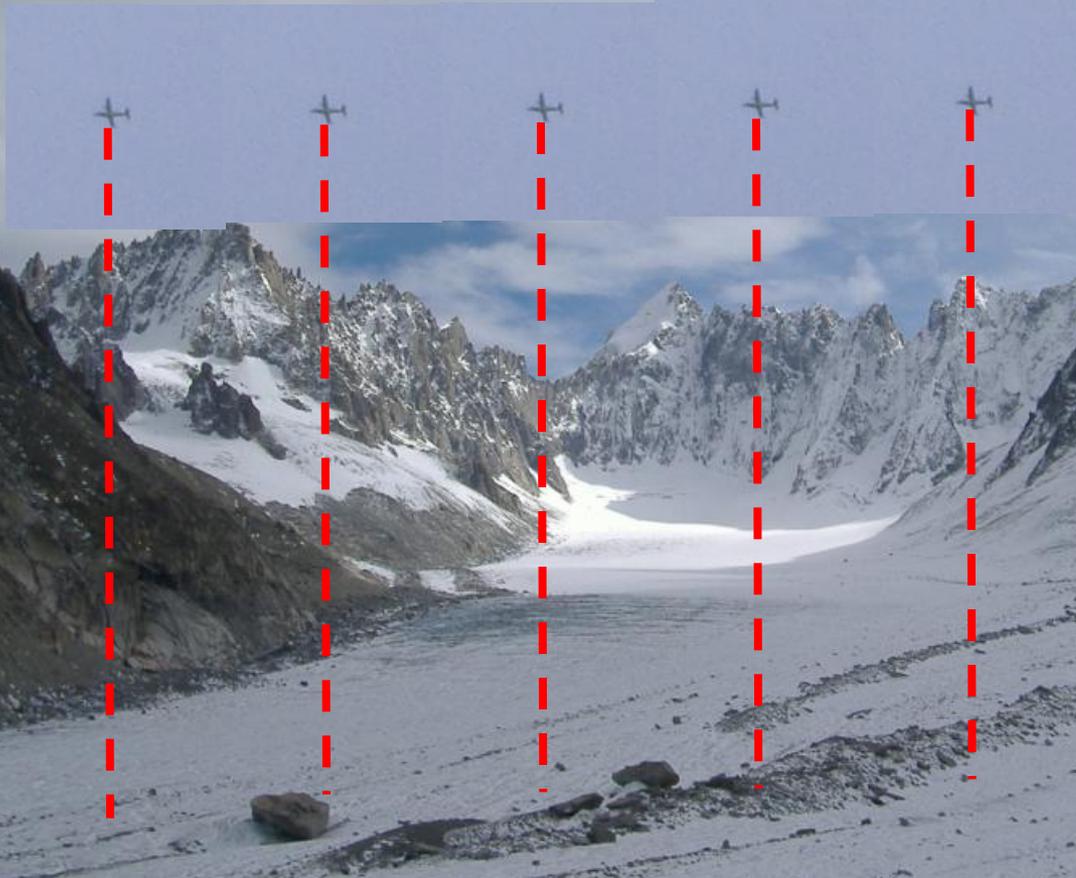
- Ouverture angulaire :  $\beta = \lambda/D$
- Résolution à la distance R :  $dy = R \beta$



AN ERS-1 :  $dy = 4.5\text{km}$  !!!

L'avion se déplace en acquérant des données le long de sa trajectoire

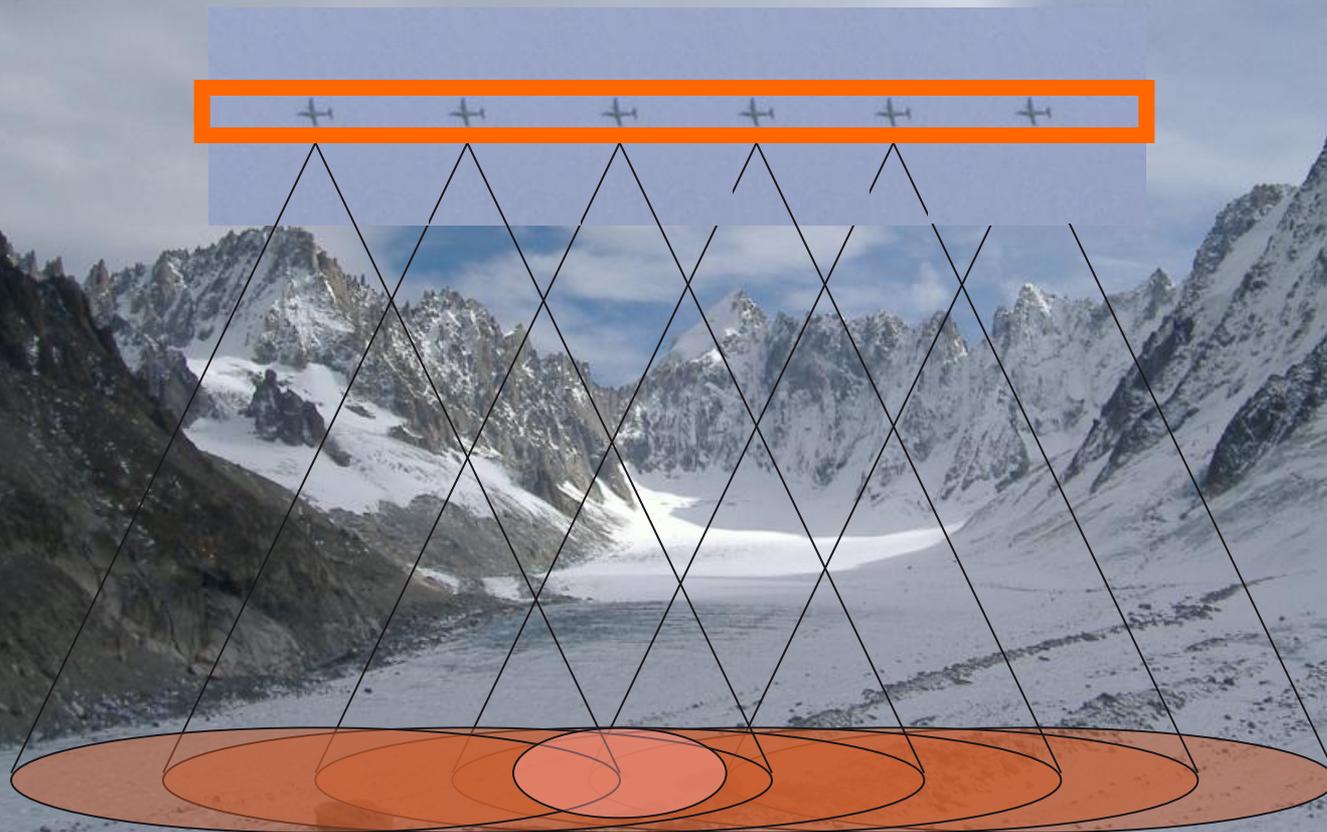
Antenne en visée latérale



Lignes de l'image

L'antenne ***réelle*** est trop petite : elle « voit » une trop **grande** zone

L'avion se déplace en acquérant des données le long de sa trajectoire



Un même point est vu depuis plusieurs positions de l'antenne

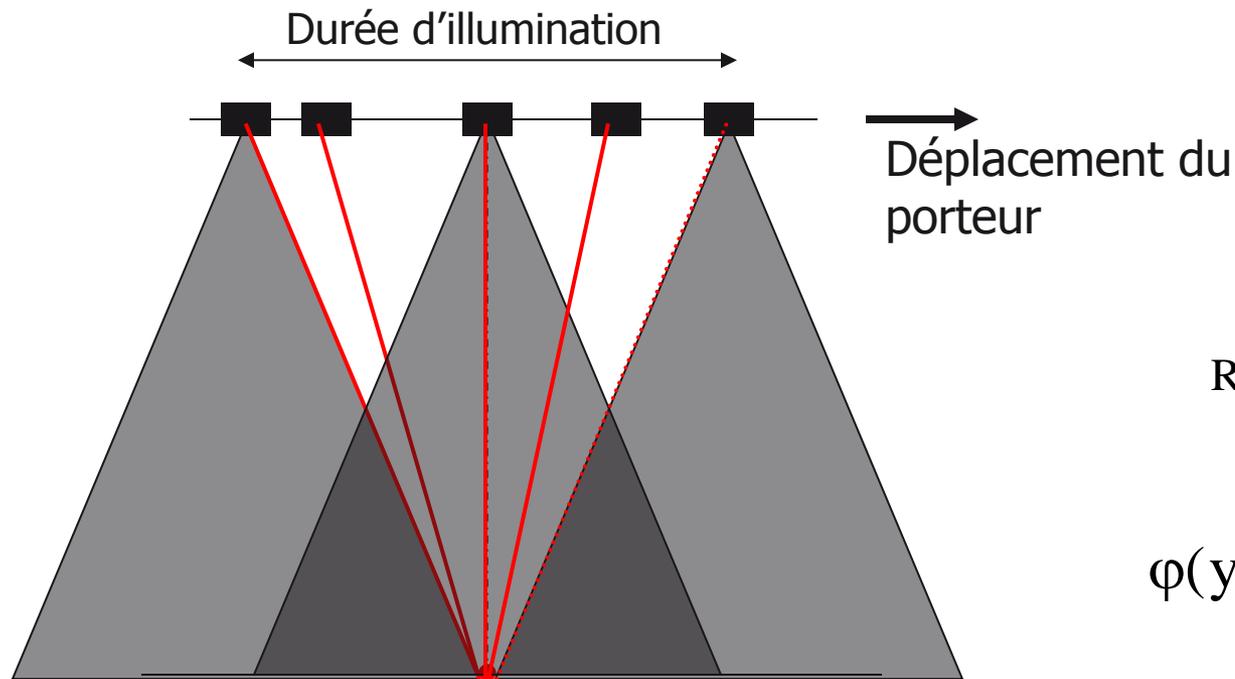
L'antenne ***synthétique*** « voit » une **petite** zone

→ Traitement d'antenne



# L'antenne synthétique

Attention : on se place dans le plan trajectoire capteur / point imagé mais la visée n'est pas verticale!



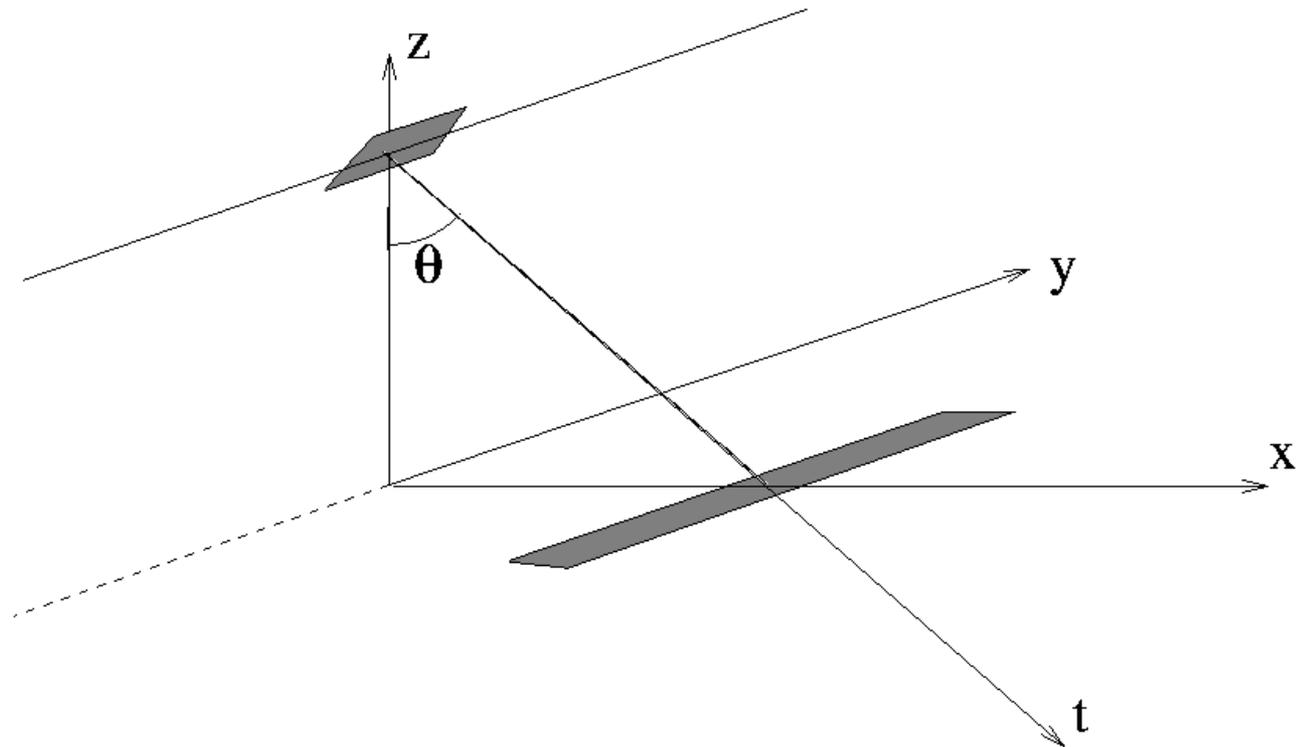
$$R = R_0 + \frac{y^2}{2R_0}$$

$$\varphi(y) = \frac{2\pi y^2}{\lambda R_0} + k$$

$$f(y) = \frac{2y}{\lambda R_0}$$

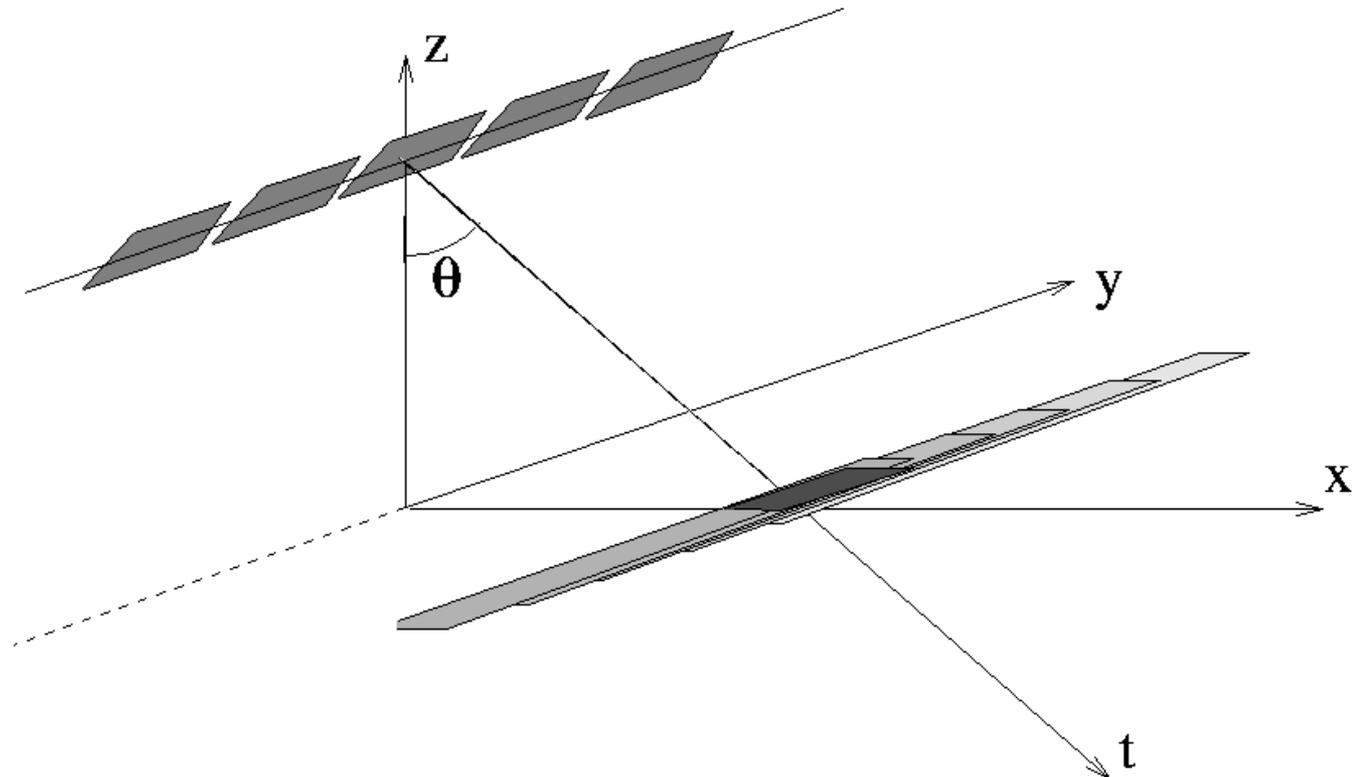


# L'antenne synthétique





# L'antenne synthétique

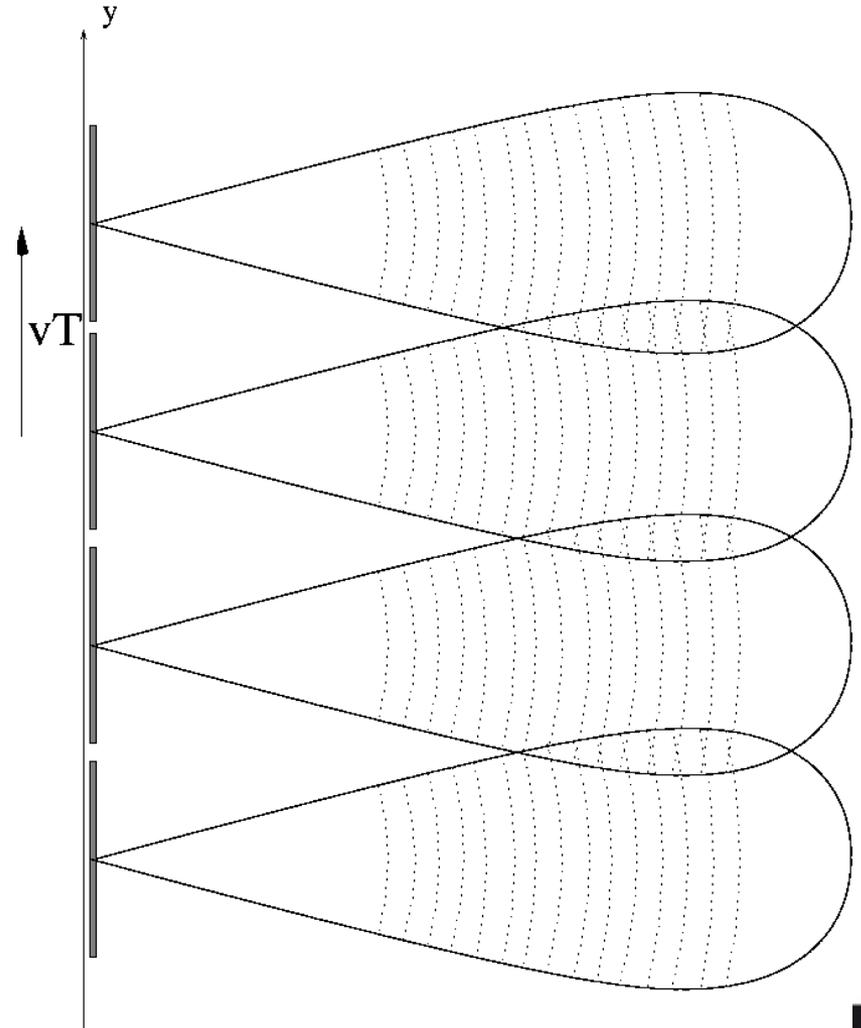
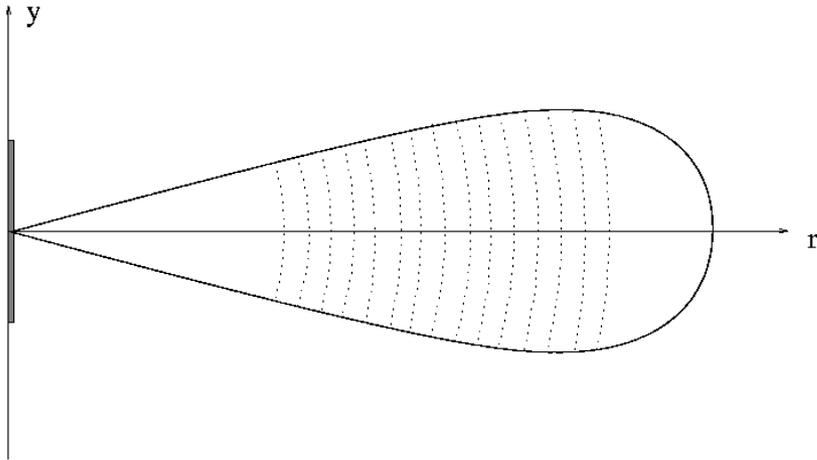




# Antenne synthétique

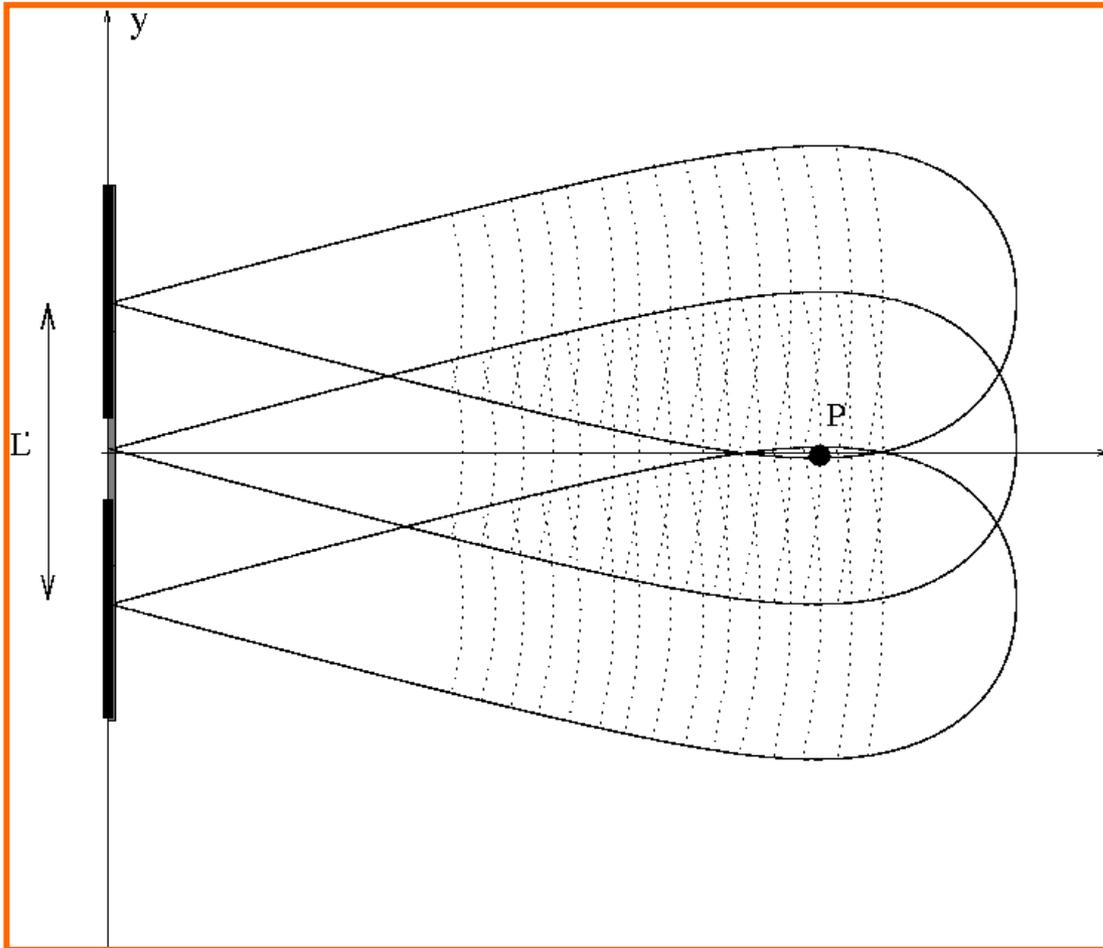
## Utilise le mouvement du satellite

Vue de dessus





## Visibilité d'une cible : lobe d'antenne



- Le point P est visible pour une antenne fictive de taille  $L'$
- $L' = 2 R \lambda / D$

$$\delta y = \frac{\lambda R}{L'}$$



## Juxtaposer des antennes sur L'

$$L' = 2 \left( \frac{\lambda R}{D} \right)$$

Résolution

$$\delta y = \frac{\lambda R}{L'} = \frac{\lambda R}{2 \left( \frac{\lambda R}{D} \right)} = \frac{D}{2}$$



# Résolution de l'antenne synthétique

- Ne dépend pas du critère de résolution (premier zéro, 1,22 ...)

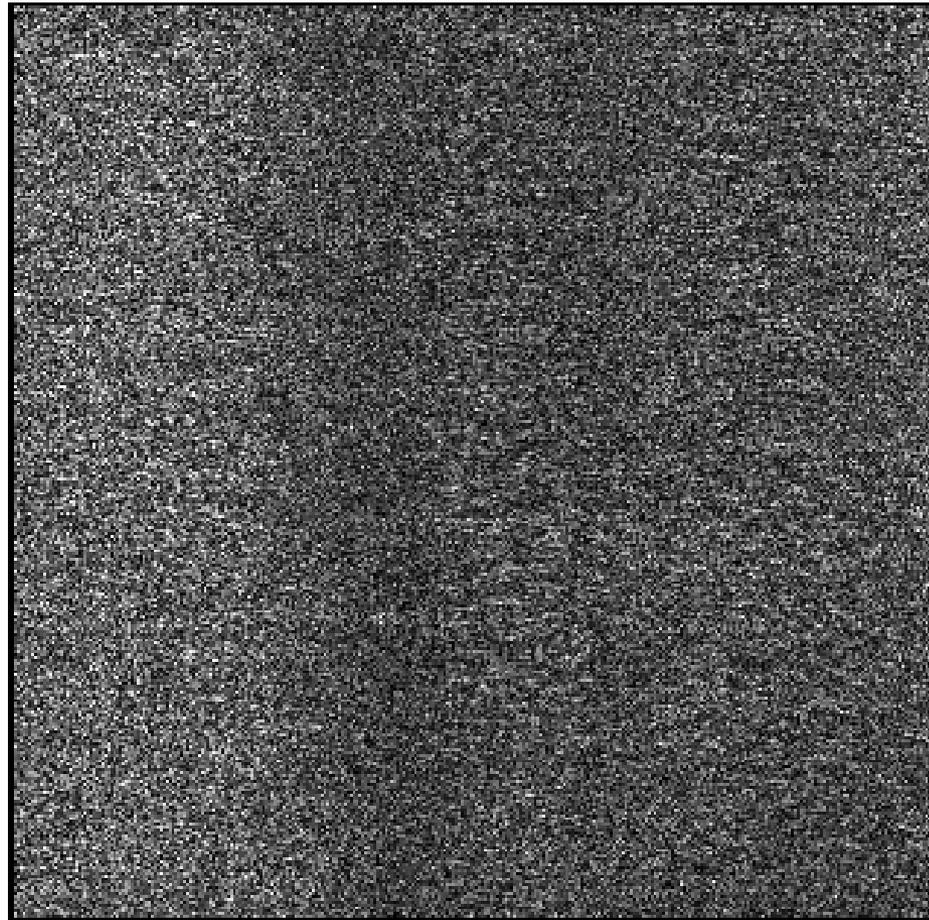
Résolution :

$$\frac{D}{2}$$

- Ne dépend pas de la distance à la cible !!
- Ne dépend pas de la longueur d'onde
- Dépend seulement de la taille de l'antenne !

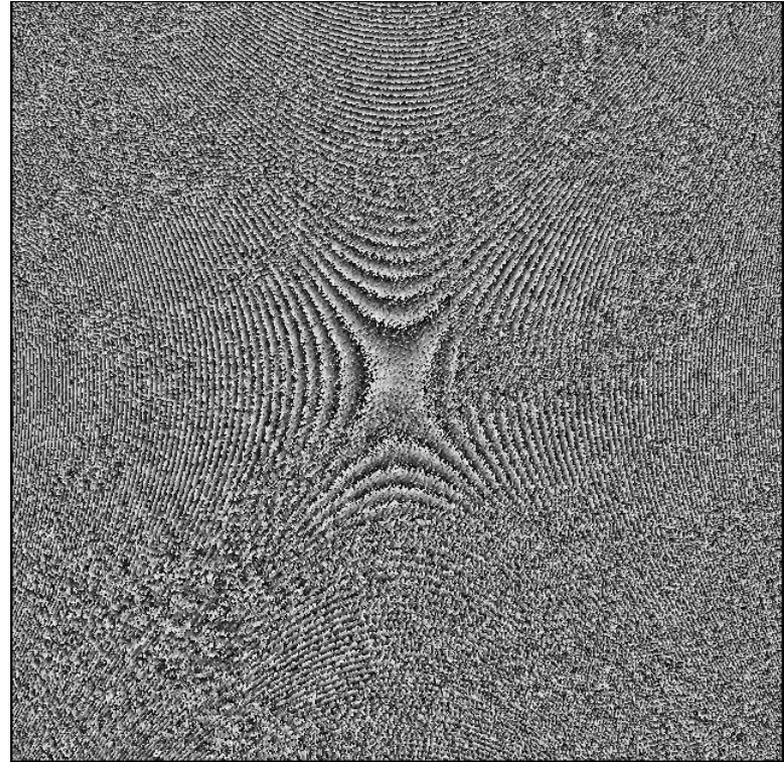
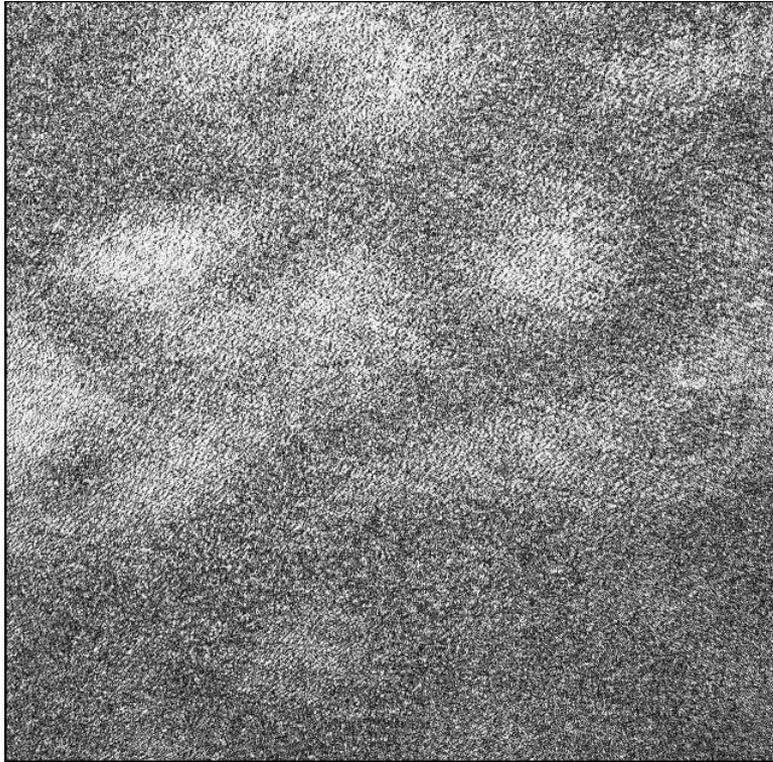


# Données brutes



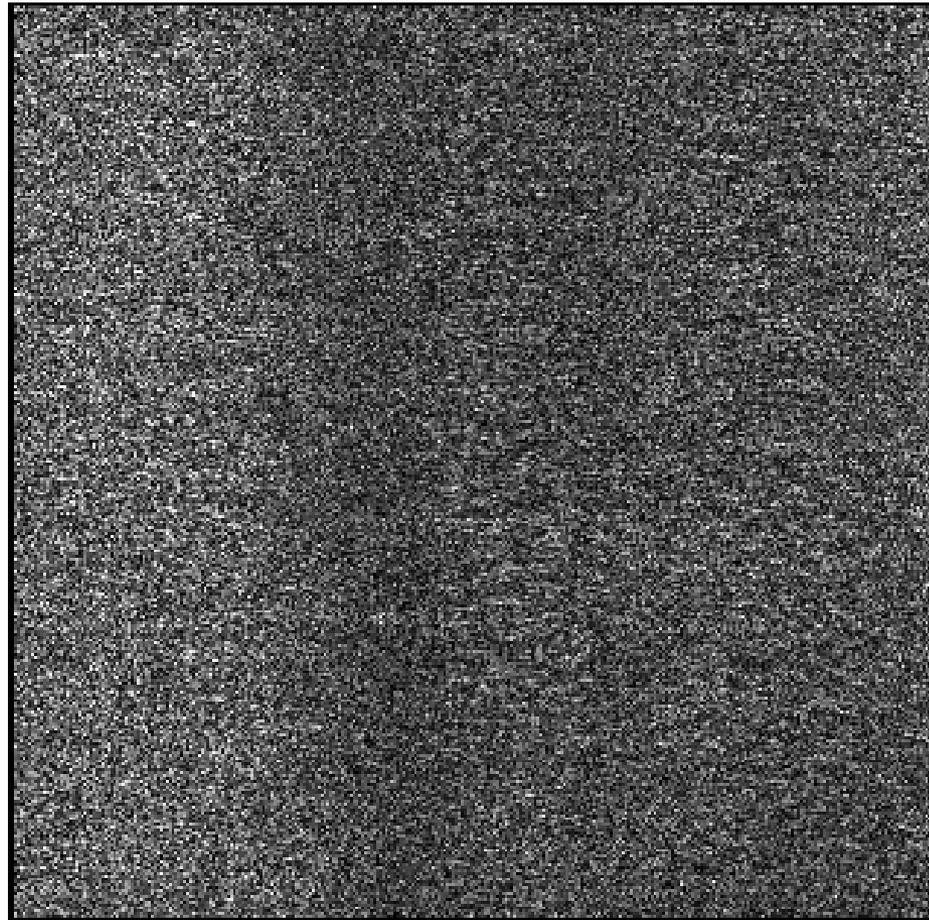


## Données brutes : amplitude et phase



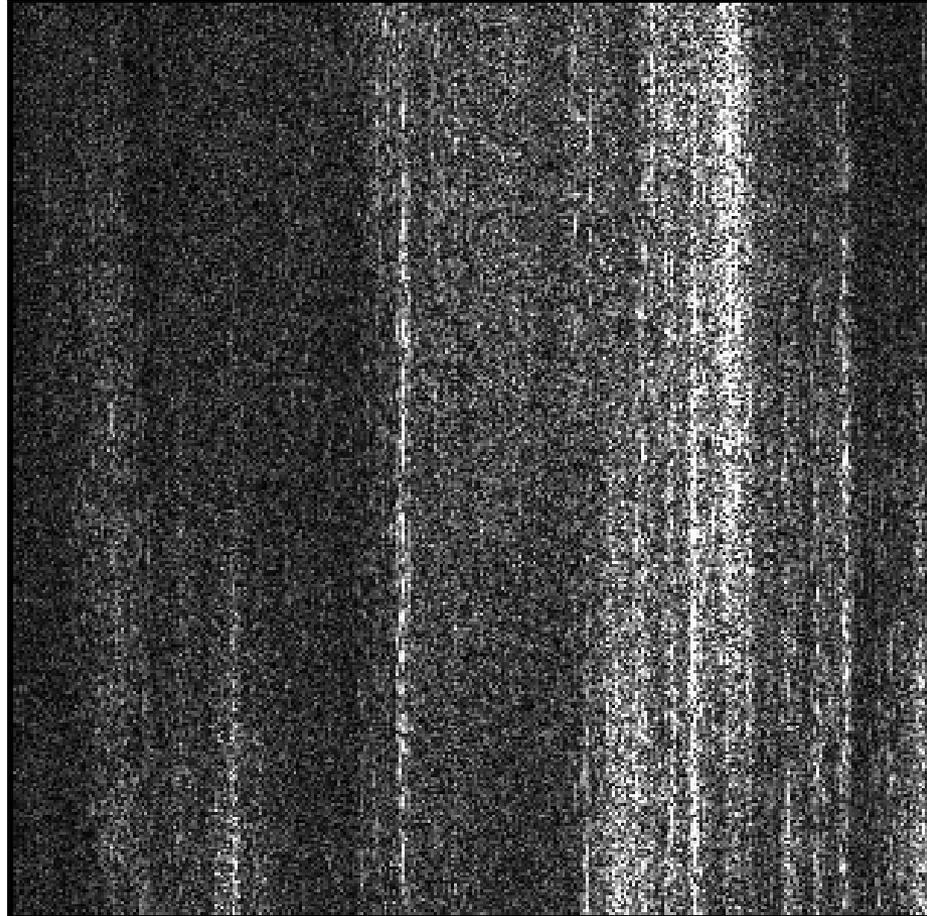


# Données brutes





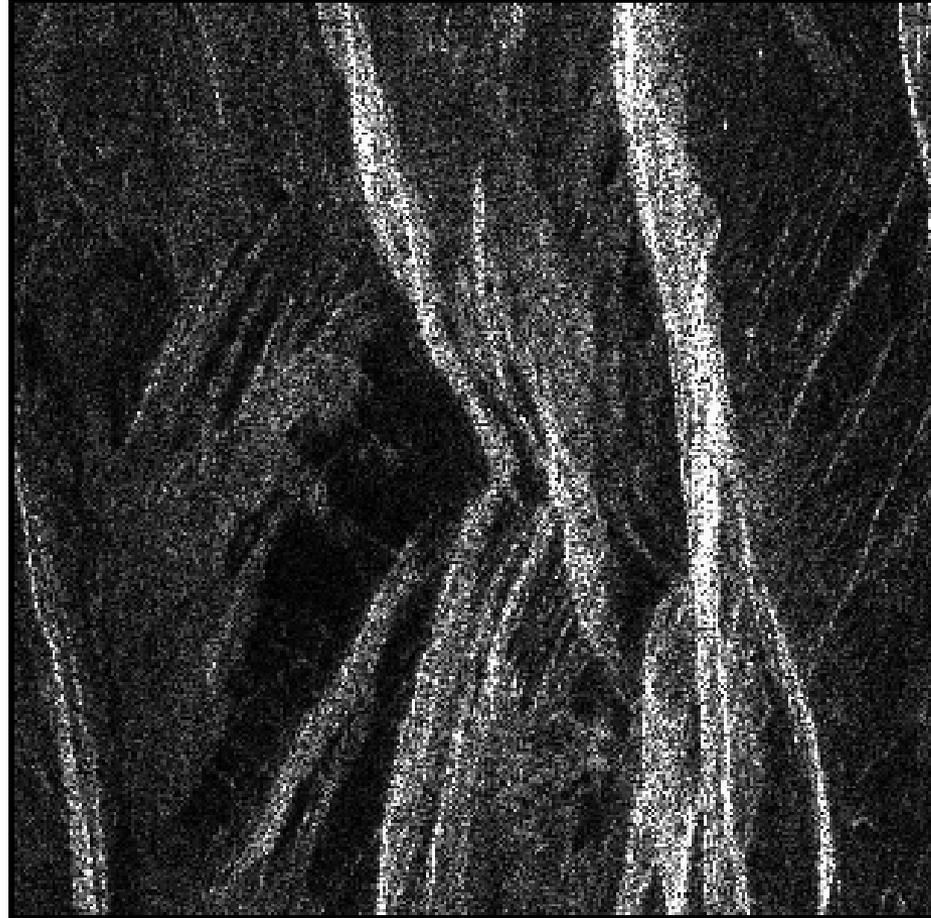
# Filtrage adapté



Filtrage adapté en distance (chirp)



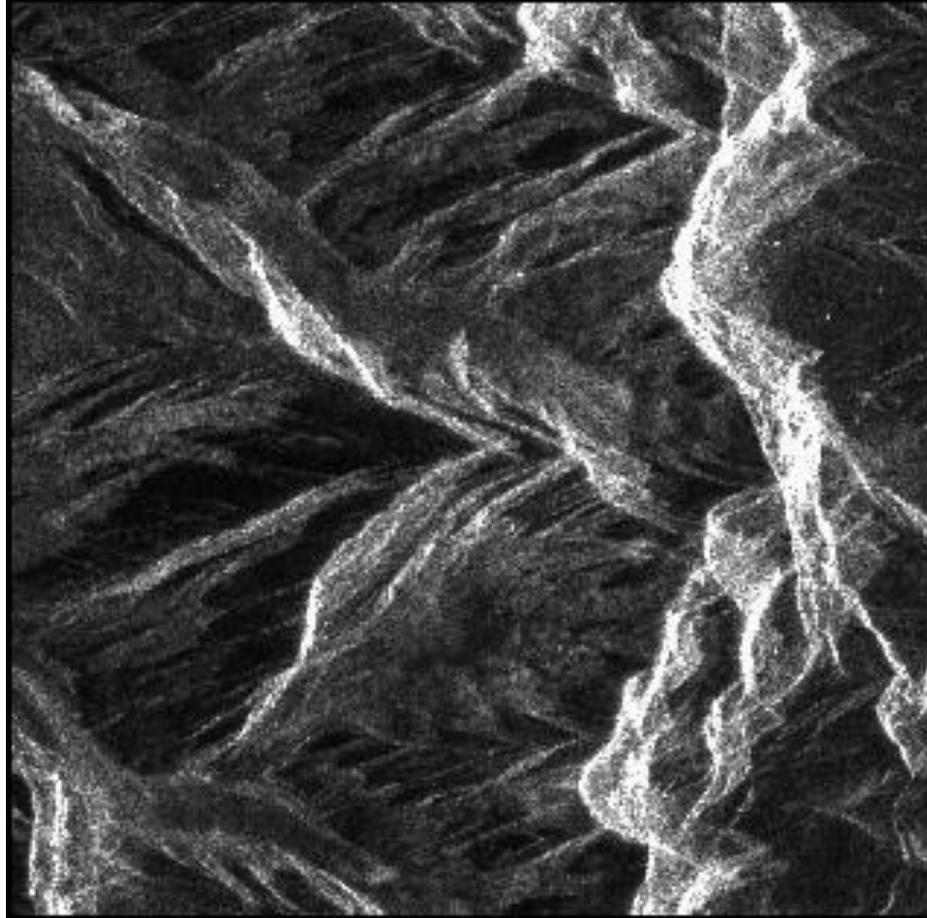
# Synthèse d'ouverture !!



Filtrage adapté en range (synthèse d'ouverture)



## Traitement « multivue »

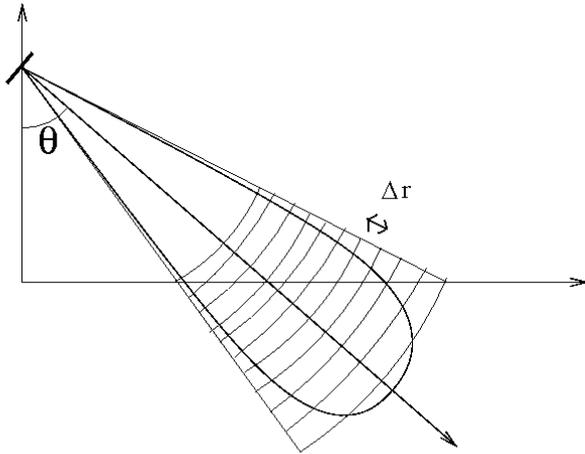


Moyennage de plusieurs pixels pour améliorer la lisibilité



# En range : toolbox « signal »

$$\delta r = \frac{c}{2B} \quad \Delta r = \frac{c}{2B_e}$$



	ERS 23°	TSX 30°
Fréquence d'échantillonnage	18,96 MHz	109 MHz
$\Delta r$ : case distance	7,91 m	1,37 m
$\Delta x$ : case sol	20,4 m	2,74 m
Bande passante	15,55 MHz	100 MHz
$\delta r$ : Résolution range	9,65 m	1,5 m
$\delta x$ : Résolution sol	24,7 m	3,0 m

$$\Delta x = \frac{\Delta r}{\sin \theta} = \frac{c}{2B_e} \frac{1}{\sin \theta}$$

- Projeter au sol
- Dépend de l'incidence locale



## En azimut: toolbox « antenne »

$$\delta y = \frac{L}{2}$$

$$L_S = \frac{2\lambda D}{L}$$

	ERS	TSX
Antenne physique	10 m	4,8 m
Antenne synthétique	9,71 km	7,66 km
Résolution	5 m	2,4 m



# IV : Aspects géométriques

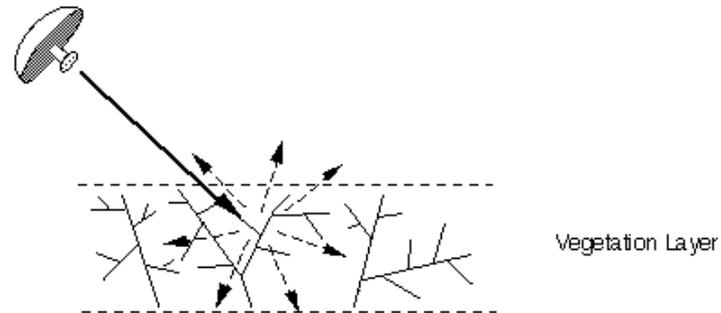
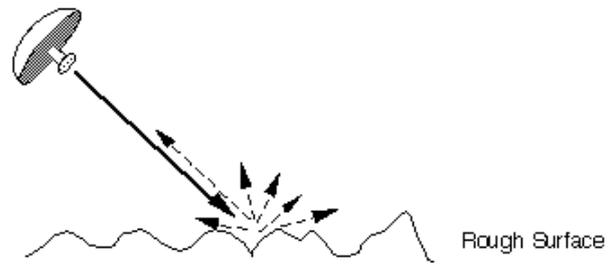
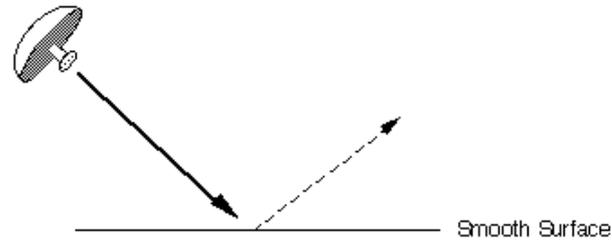
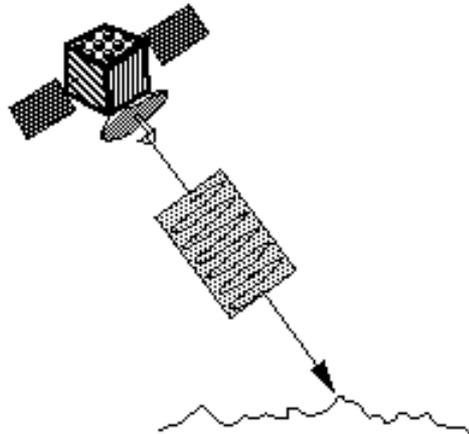


# Caractéristiques du signal radar

- **Grandeur physique caractéristique des surfaces :  
coefficient de rétrodiffusion**
- **Fonction des paramètres :**
  - Propriétés électro-magnétiques
  - Rugosité
  - **Géométrie**
  - Polarisation

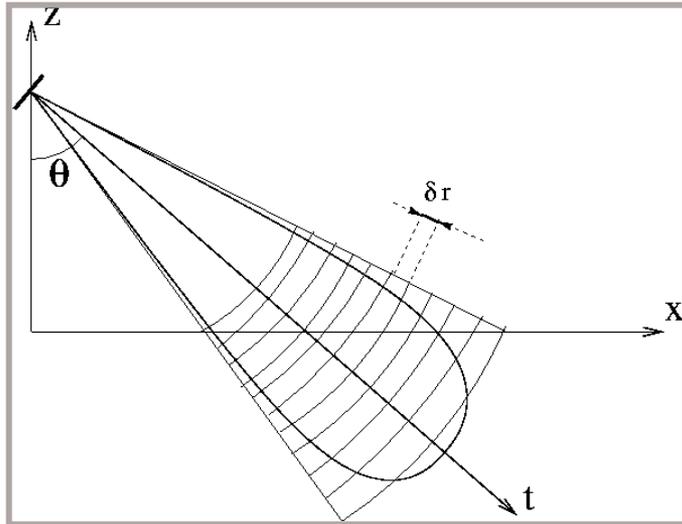


# Mécanismes de rétrodiffusion





# Comment voit-on une scène sur une image RSO?



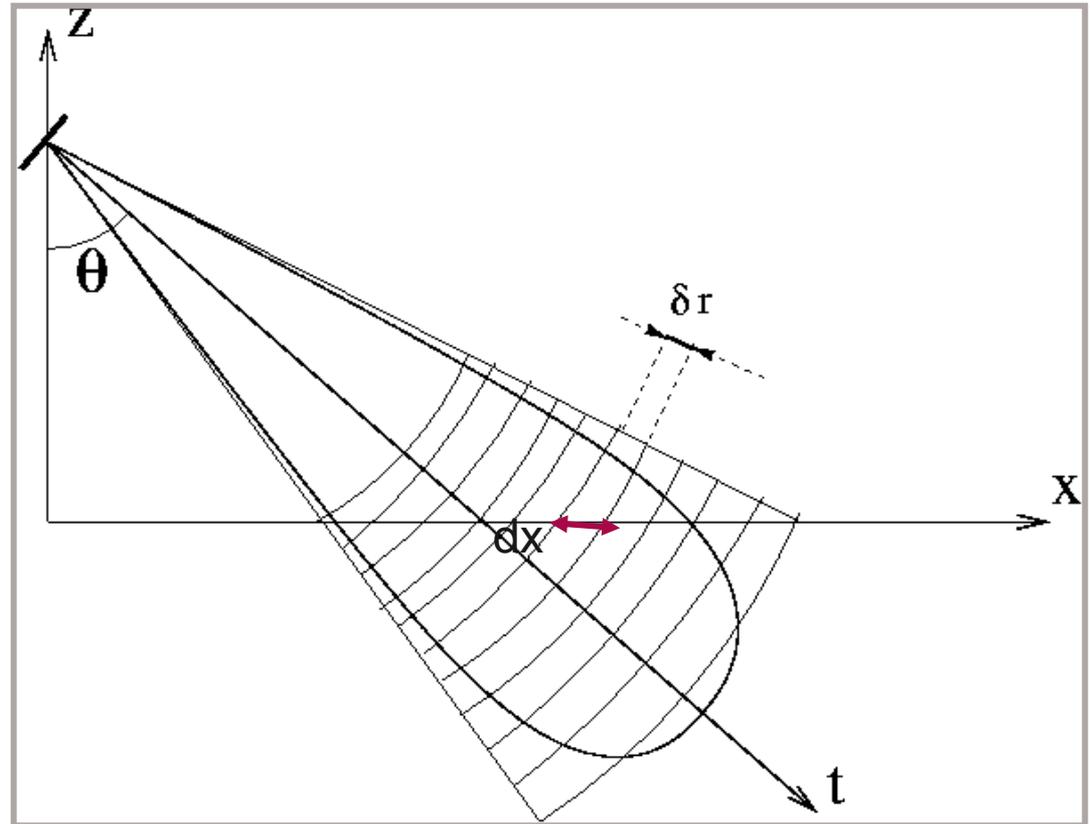
- **Système imageur en visée latérale :**
  - Case temporelle et résolution « au sol »
  - Effets d'ombres et de « repliement »
- **Analyse des effets de relief**
- **Divers modes d'acquisition**



# Distorsions géométriques

## ■ Sol plat

$$\delta x = \frac{\delta r}{\sin(\theta)}$$



$\delta r$ : résolution radiale (case temporelle)  
 $\delta x$ : résolution au sol (« ground range »)



# Geometrical distortions

## Variable incidence angle: variable resolution

$\theta=6^\circ$ ,  $dx$

$\theta=60^\circ$ ,  $dx/10$

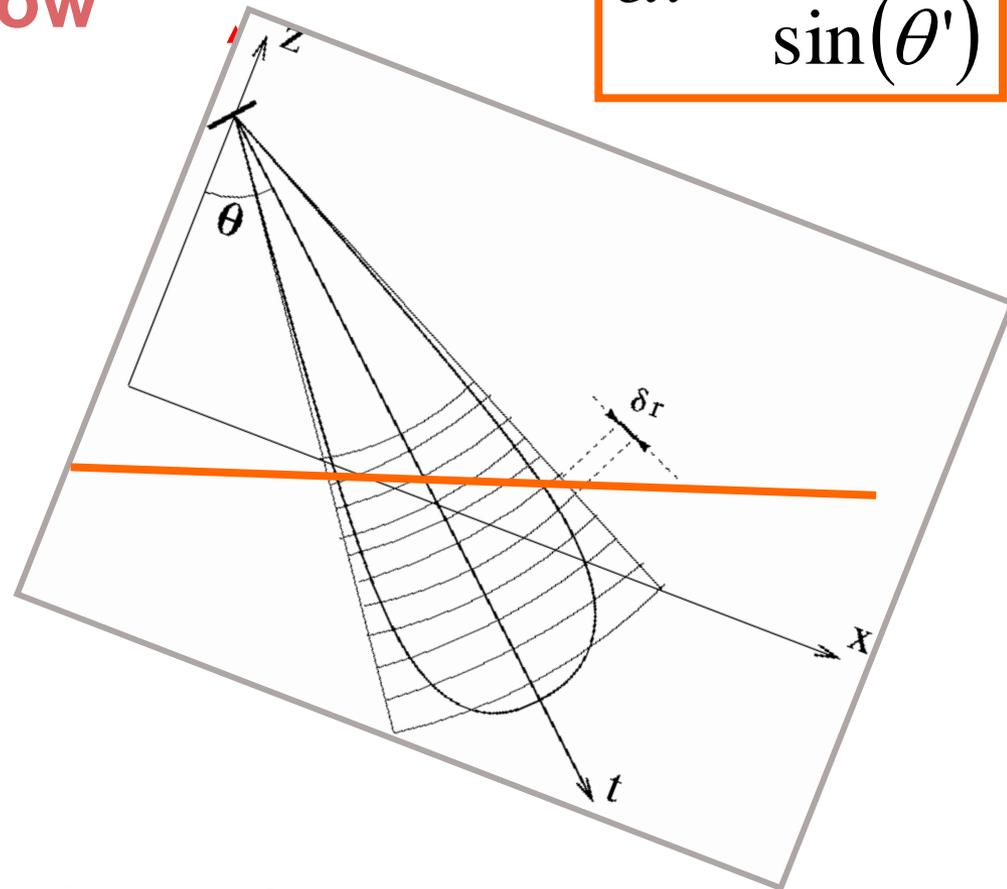
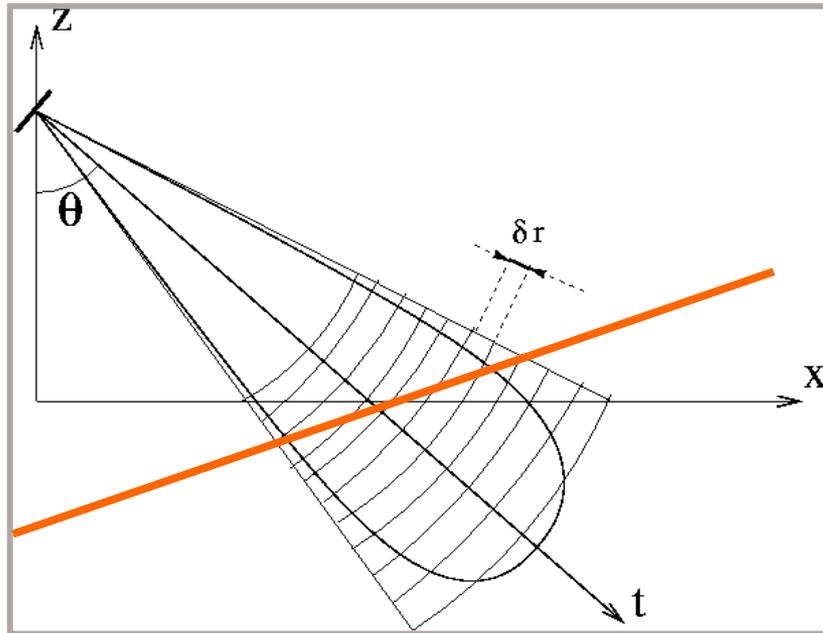


Airborn system: same  $\delta r$ , variable  $\delta x$  along the swath

# Geometrical distortions

## Lay-over / shadow

$$\delta x = \frac{\delta r}{\sin(\theta')}$$



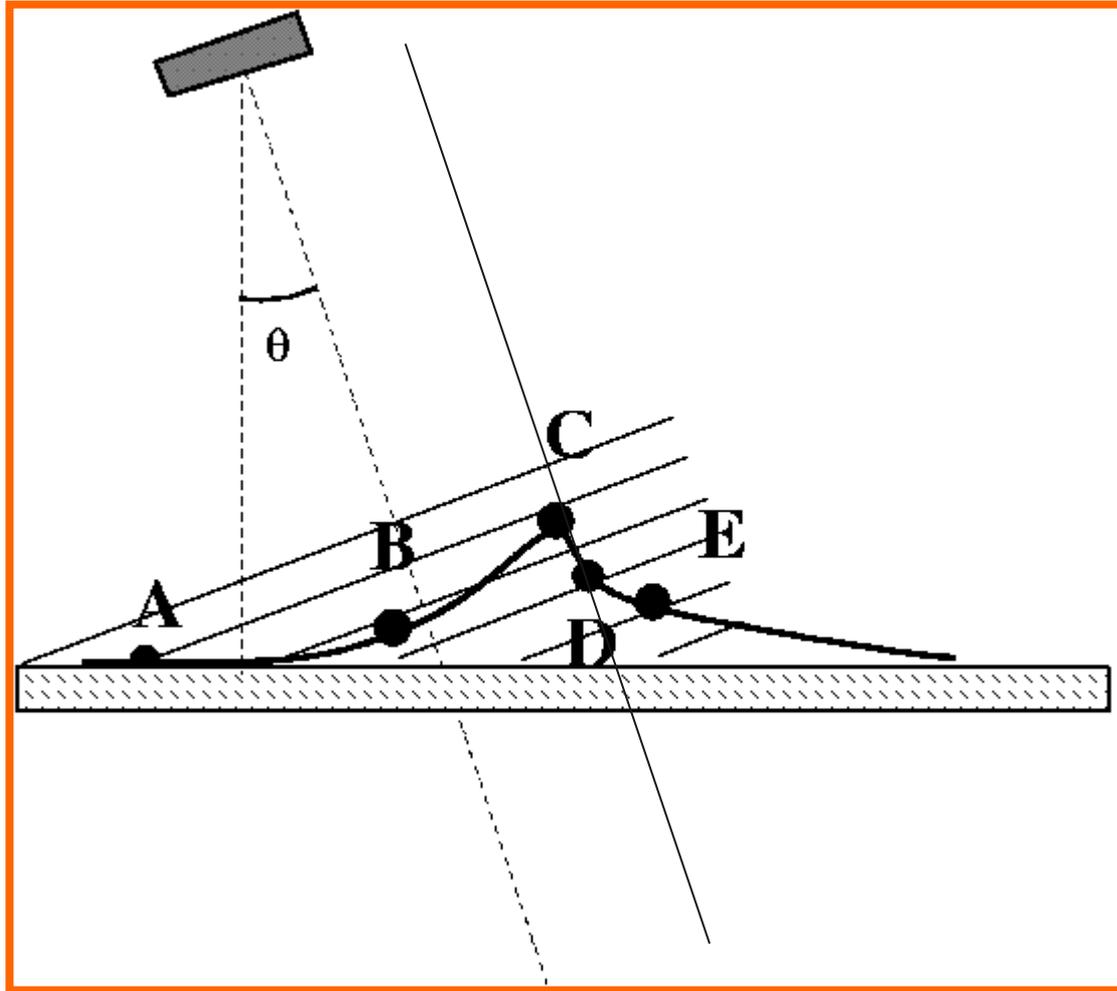
- Relief :  $\theta \rightarrow \theta'$

- ⇒ pentes positives : dégradation de la résolution, voire repliement
- ⇒ pentes négatives : amélioration de la résolution, voire ombrage.



# Distorsions géométriques

## Lay-over / shadow



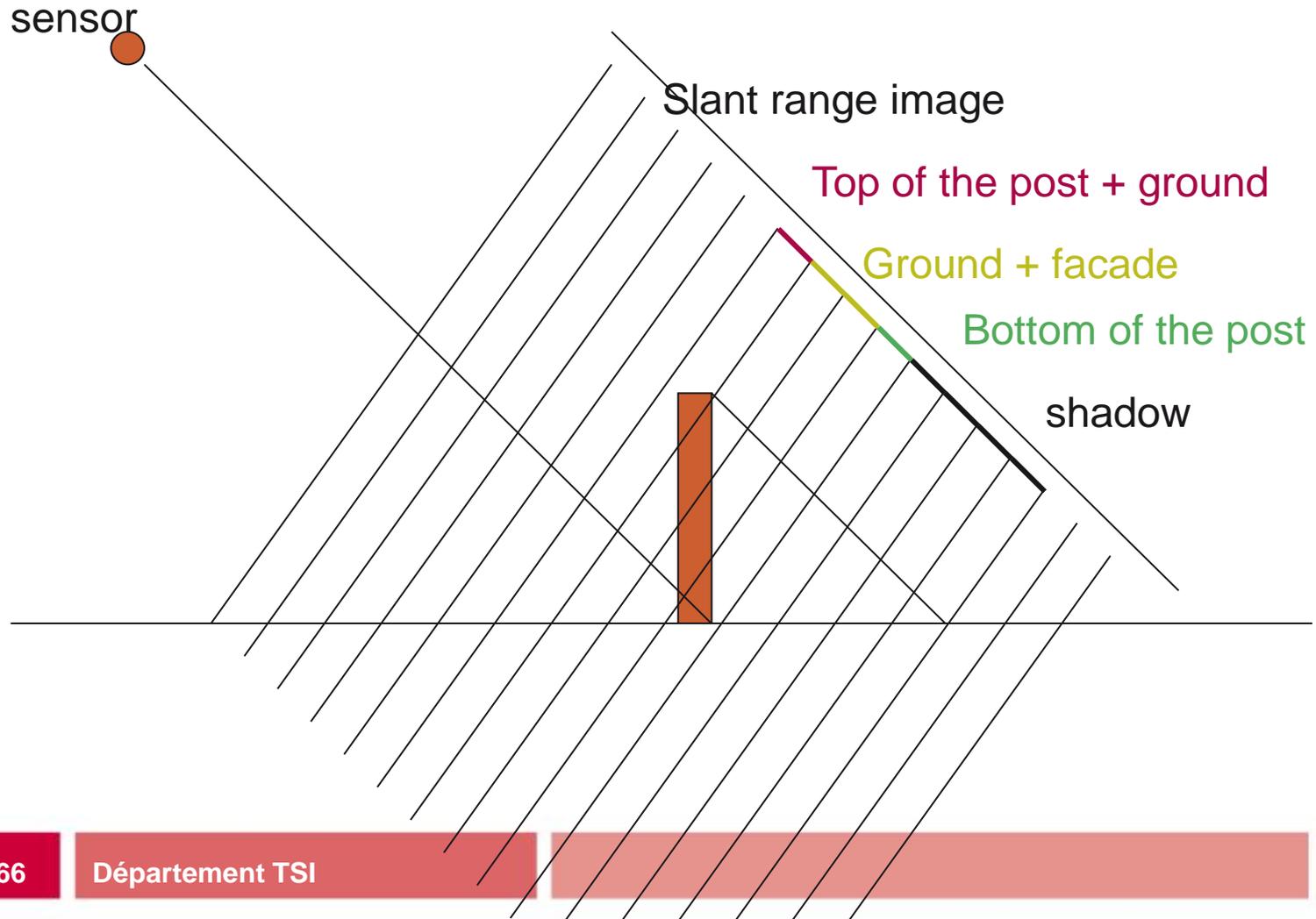
- Repliement (lay-over): C and A
- Inversion: C before B
- Ombre: D



# Geometrical distortions

## Lay-over / shadow

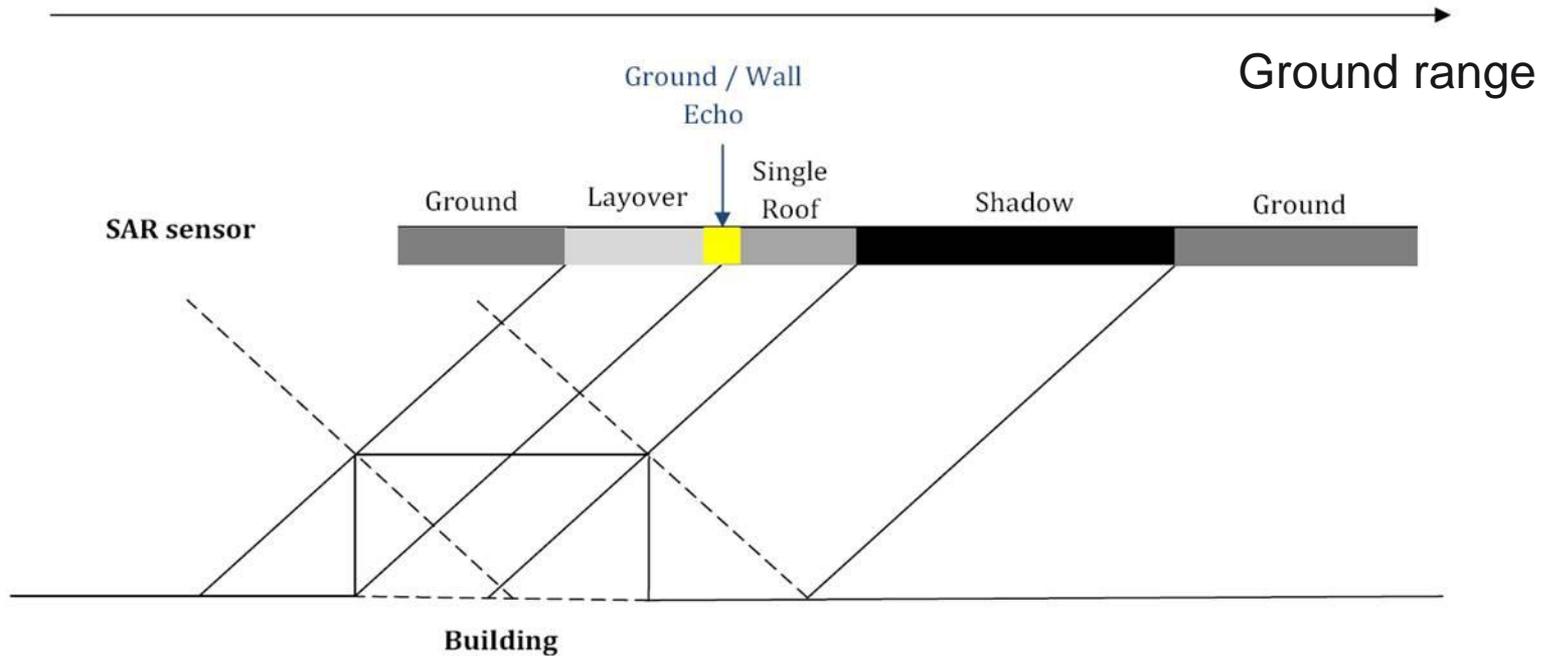
### ■ Example of a vertical post





# Geometrical distortions

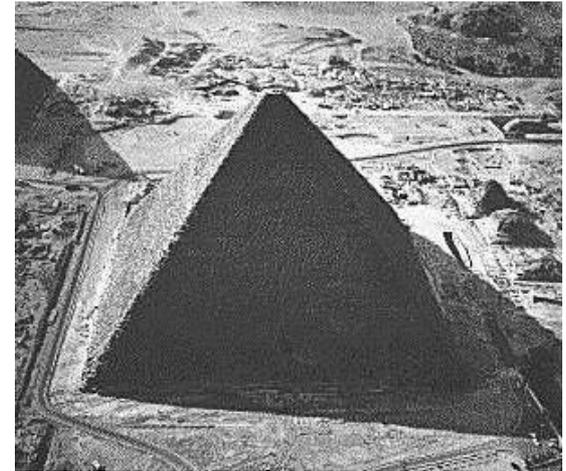
## Lay-over / shadow



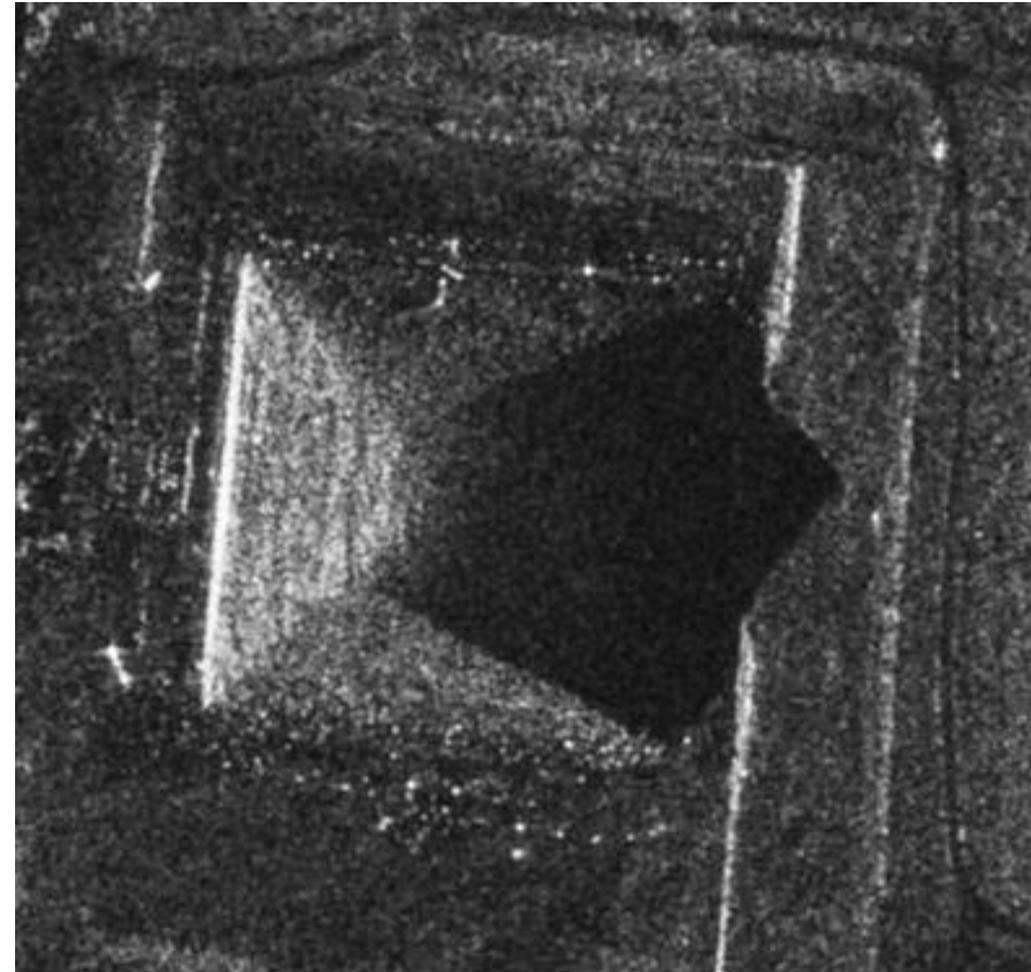
Increased effects for buildings: vertical walls



# TERRASAR-X : Kheops



- Length: 232m
- Height: 146m
- Slope: 51°

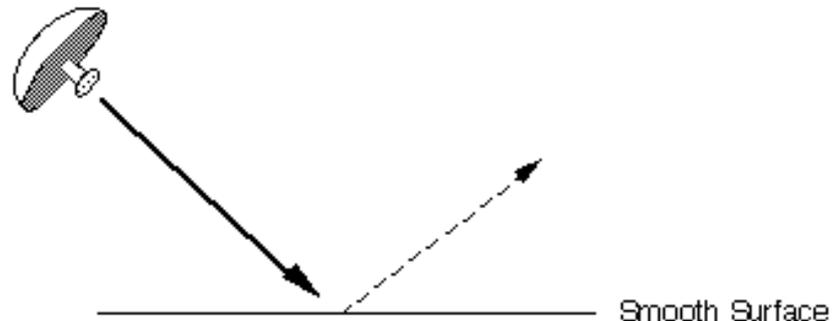




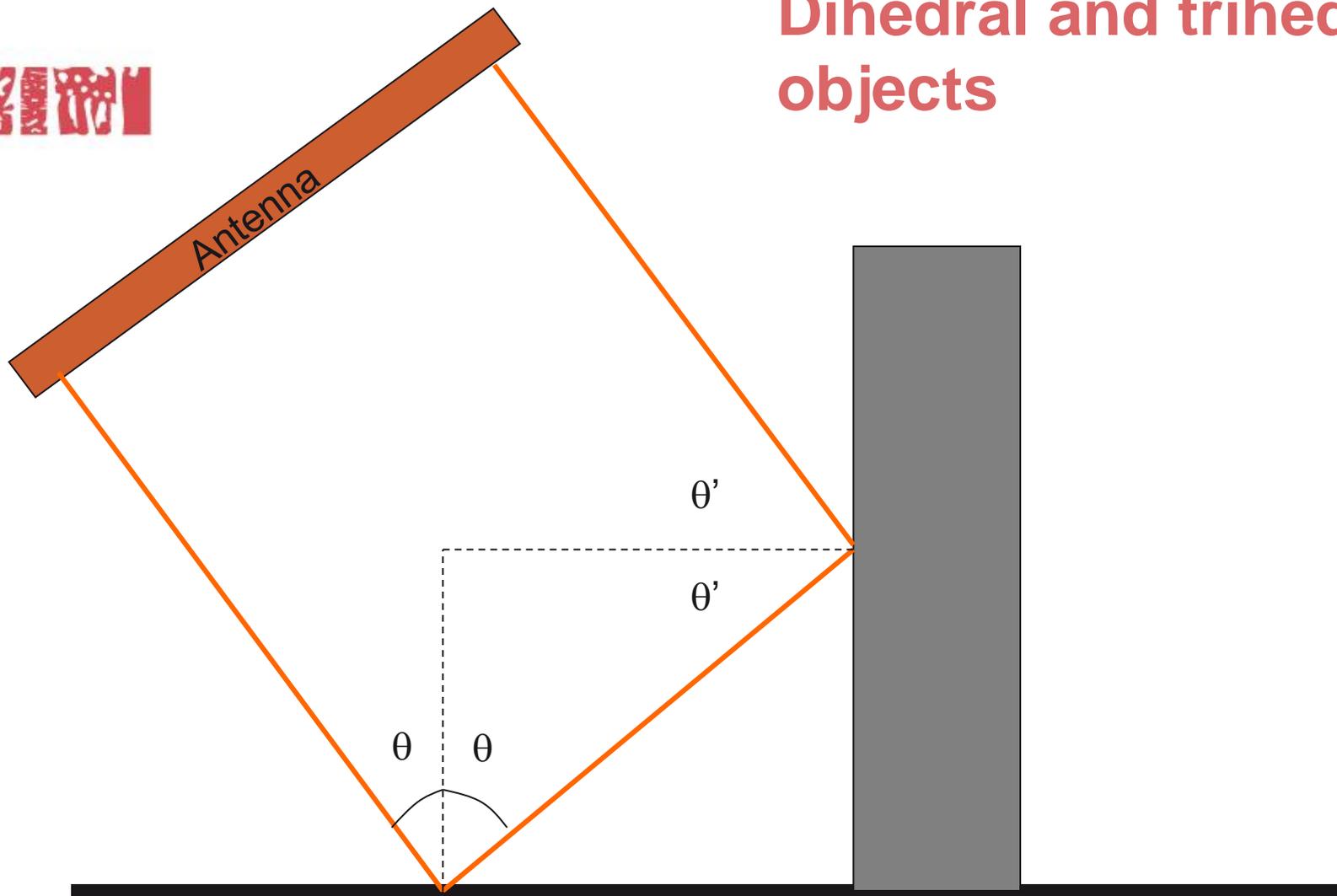
# Backscattering and geometry

- **An object is defined by its radar cross section:**
  - Depends on the material (roughness, di-electric properties,...)
  - Depends on the **shape** (geometry and relative orientation compared to the incidence direction)

Case of a smooth surface



# Dihedral and trihedral objects

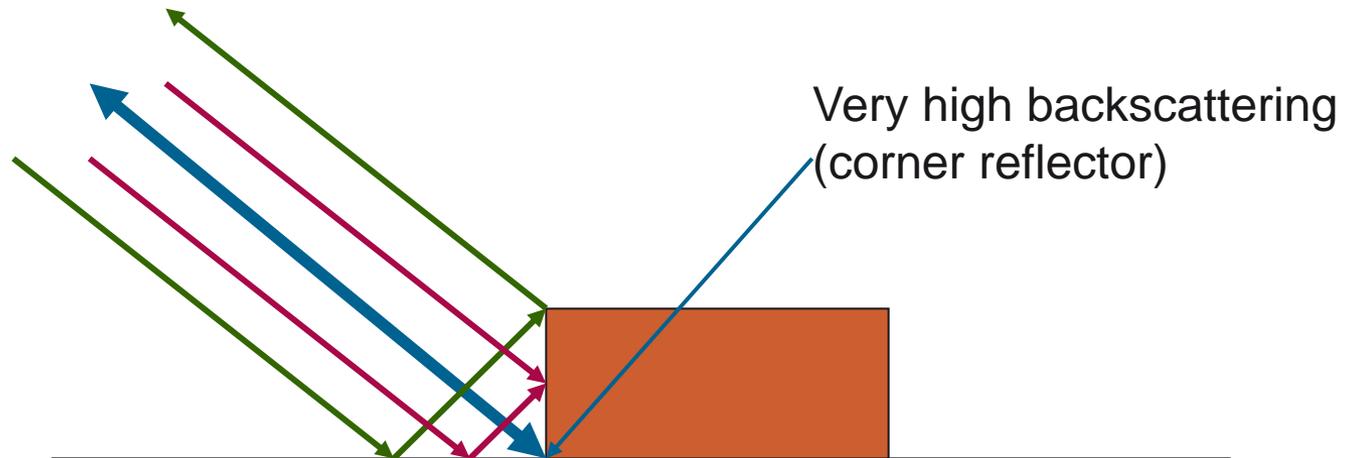


- $2\theta + 2\theta' = \pi \gg$  backscattered wave parallel to incident wave



# Dihedral and trihedral objects

## ■ Ground-wall corner (smooth surfaces)



## ■ Trihedral configurations

- Chimneys
- Balconies
- Sidewalks
- Parapets....



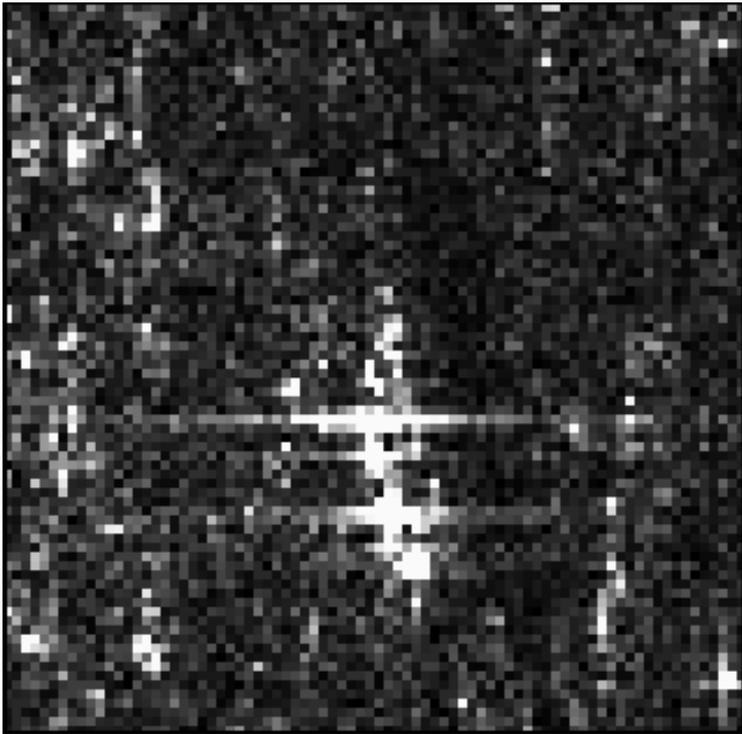


# Building backscattering

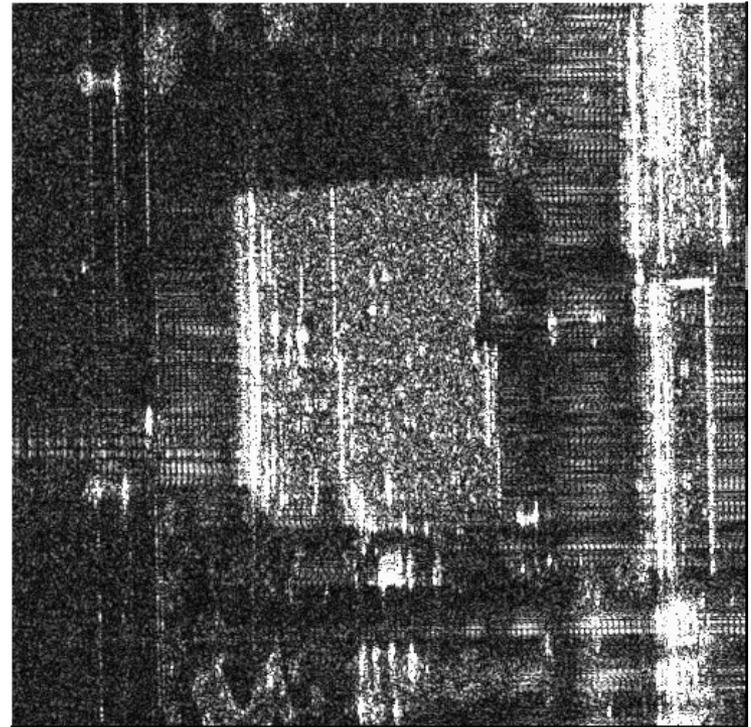




## « Bright scatterers »



Low resolution

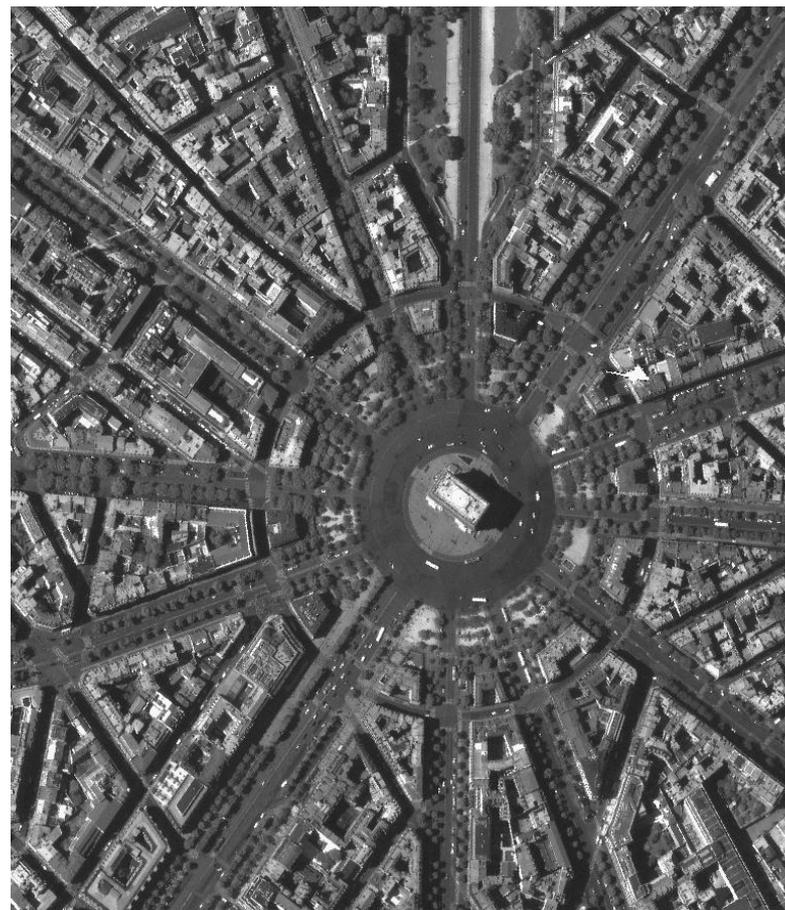


high resolution

# Comparaison optique-radar :

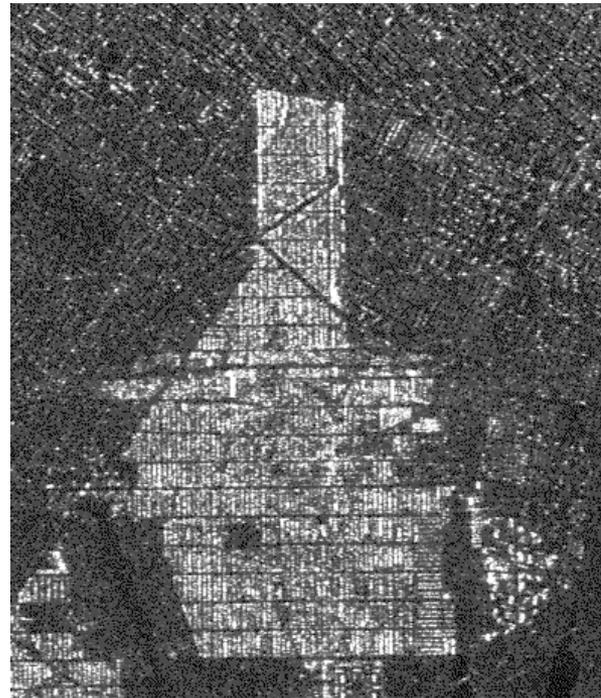
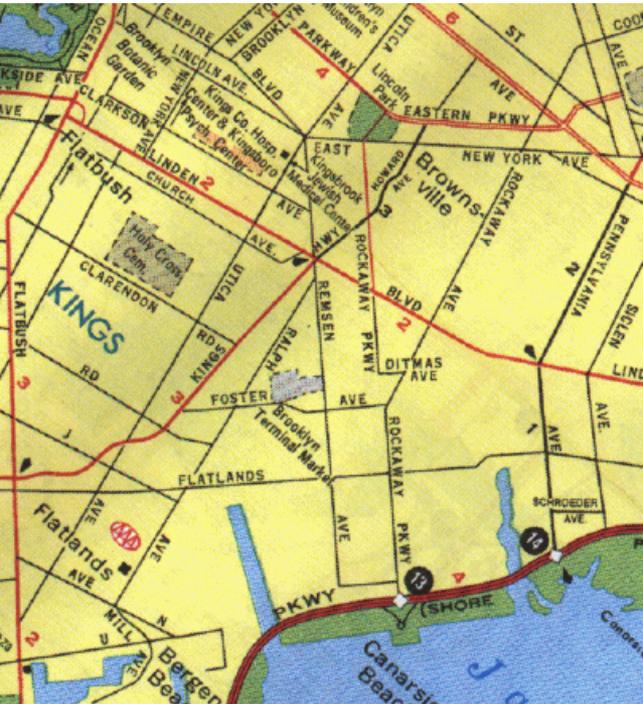
## La Tour Eiffel







# Influence of the viewing direction

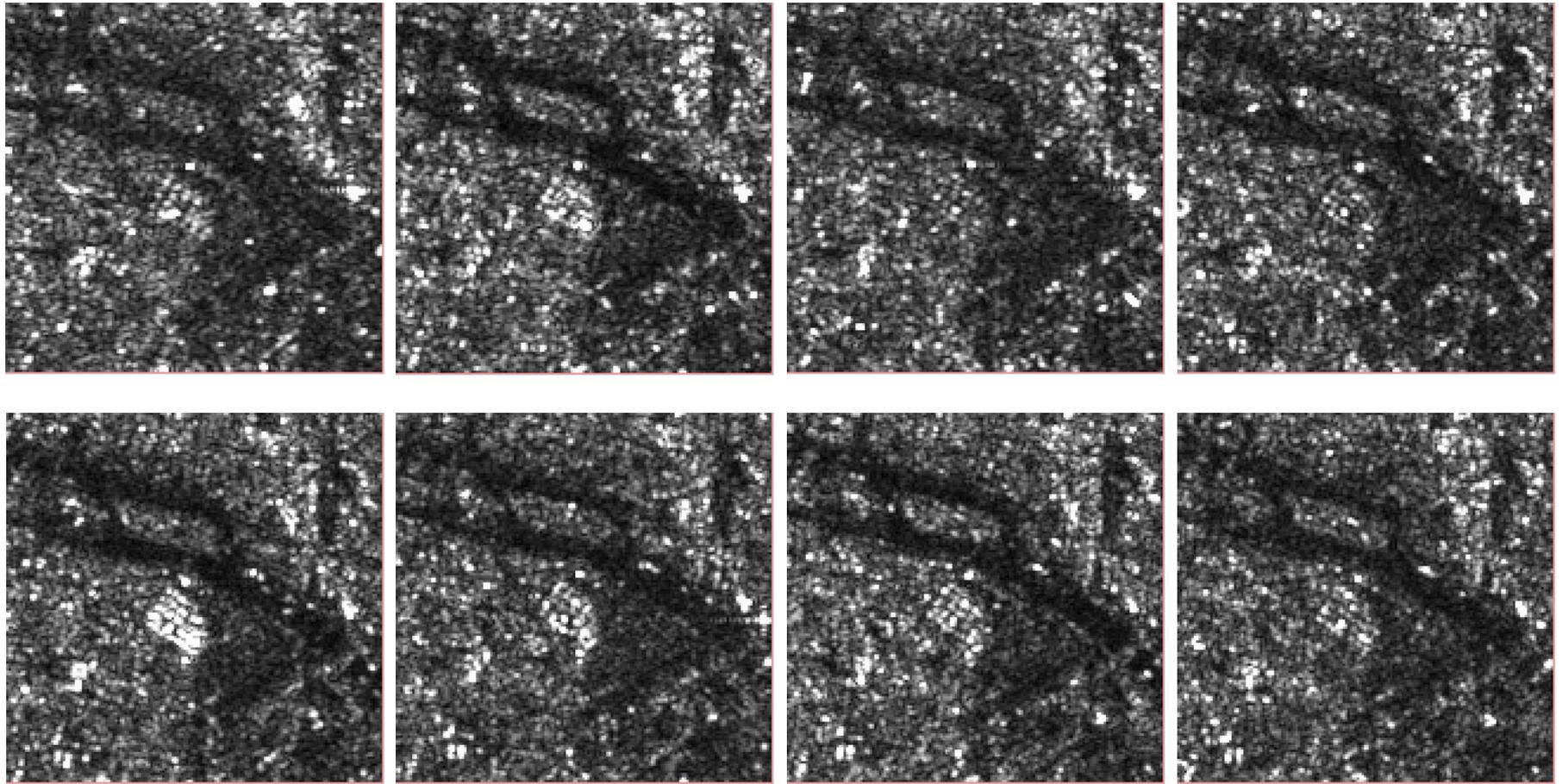


X-SAR image of Brooklyn, New-York, resolution 6.5m



# Exemple sur Jussieu :

données ERS, incidence entre  $20^\circ$  et  $25^\circ$





## Sensibilité à la polarisation

- **Polarisation de l'onde émise : choix du capteur**
- **Polarisation de l'onde rétrodiffusée : fonction des mécanismes de rétrodiffusion dominants (volumique, surfacique, ...) liés aux matériaux**
- **Cas non polarimétrique (ERS, RadarSat,...) :**
  - Onde émise avec une certaine polarisation (horizontale ou verticale)
  - Mesure de l'onde à la réception avec la même polarisation
- **Cas polarimétrique (missions SIR, ENVISat) :**
  - mesures des 4 combinaisons (HH, HV, VH, VV)
  - analyse des mécanismes de rétrodiffusion (Bragg, Fresnel, volume,...)



# Comparison between HH and HV images

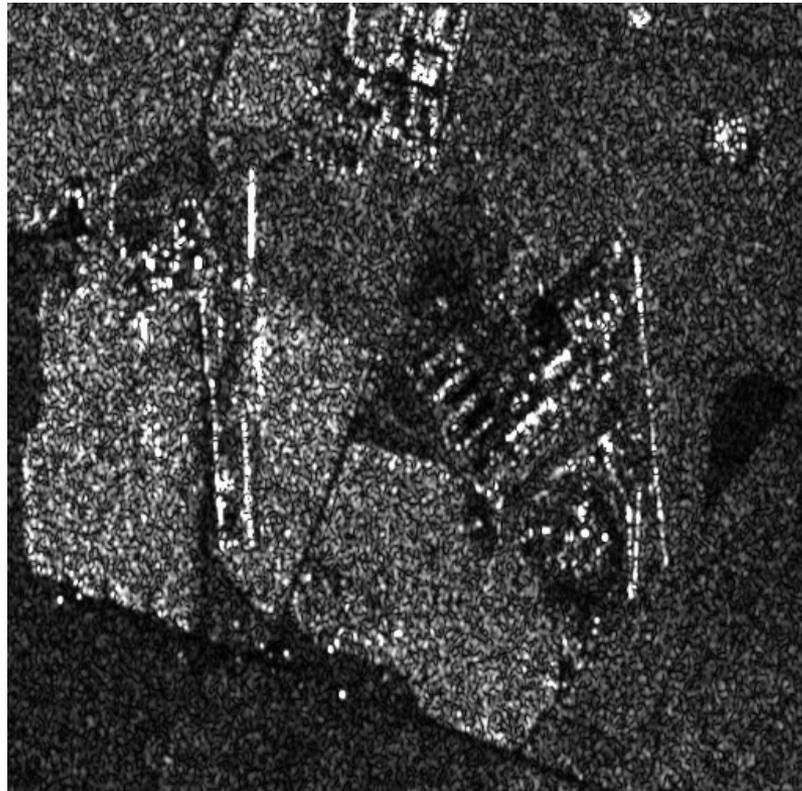


Composition of TerraSAR-X images HH and HV polarizations



# Sensibilité du signal radar

## ■ Potentiel multi-polarisation



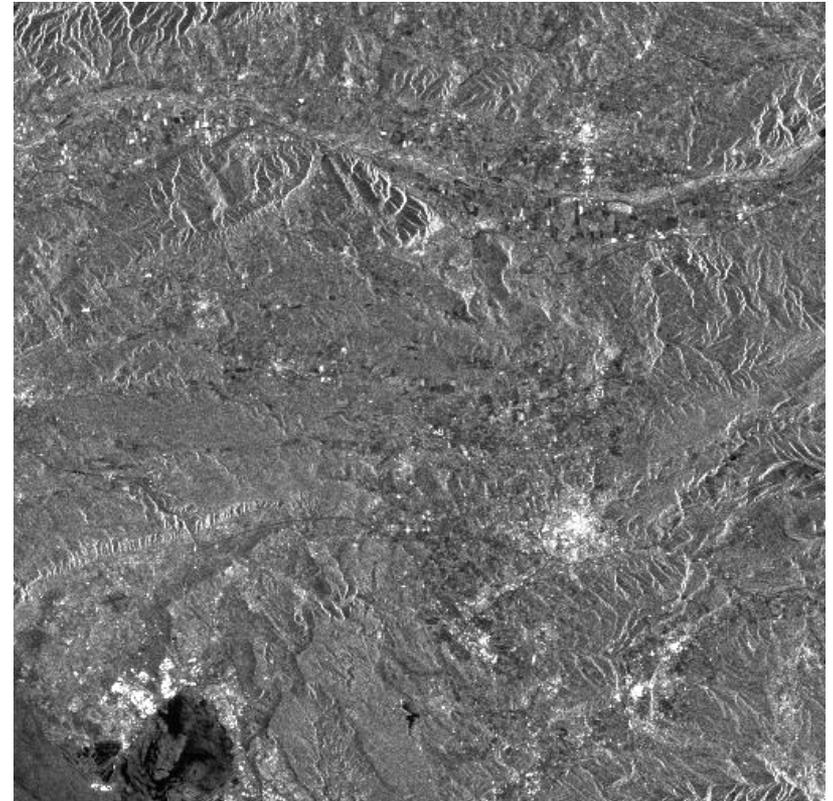
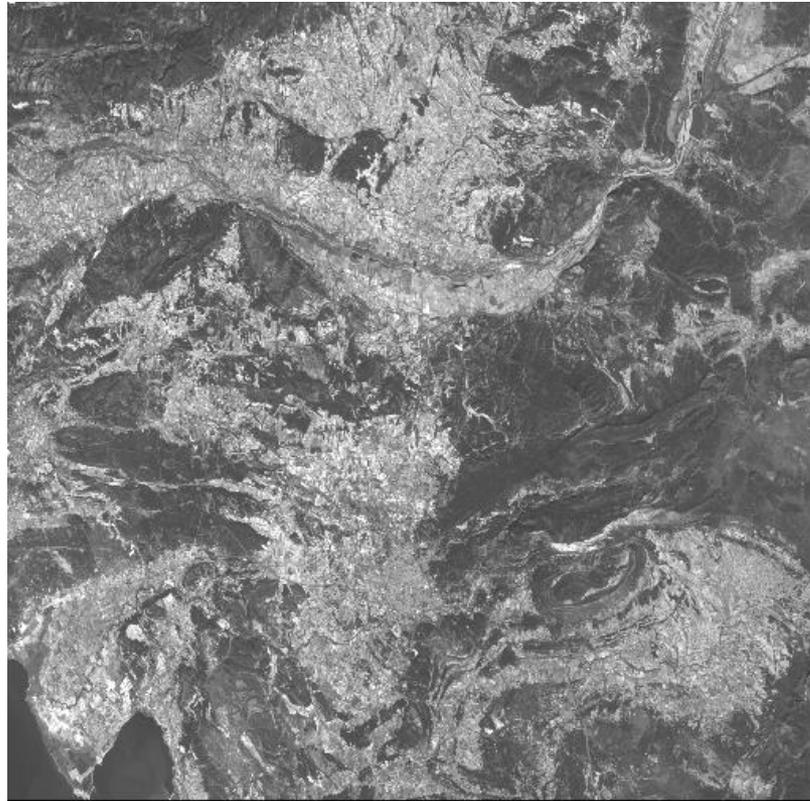
Polarisation HH



Polarisation VV

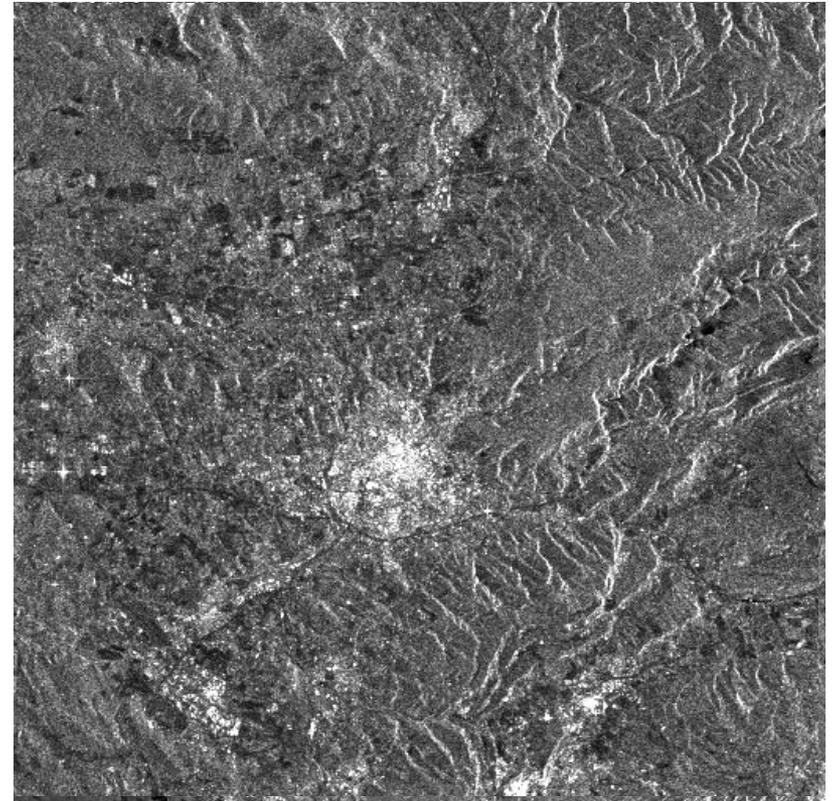
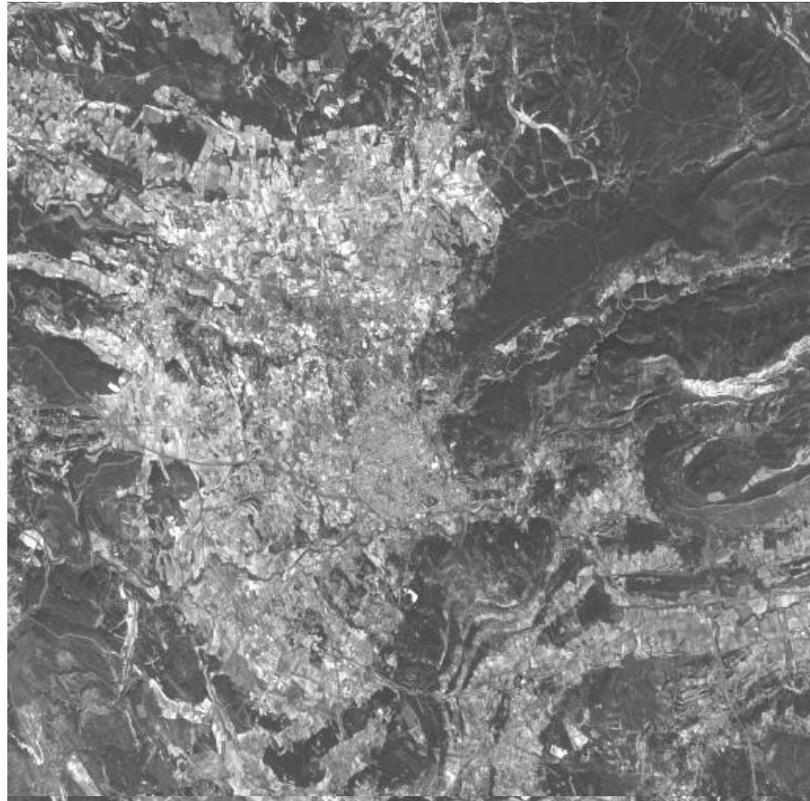


# Comparaison optique / radar



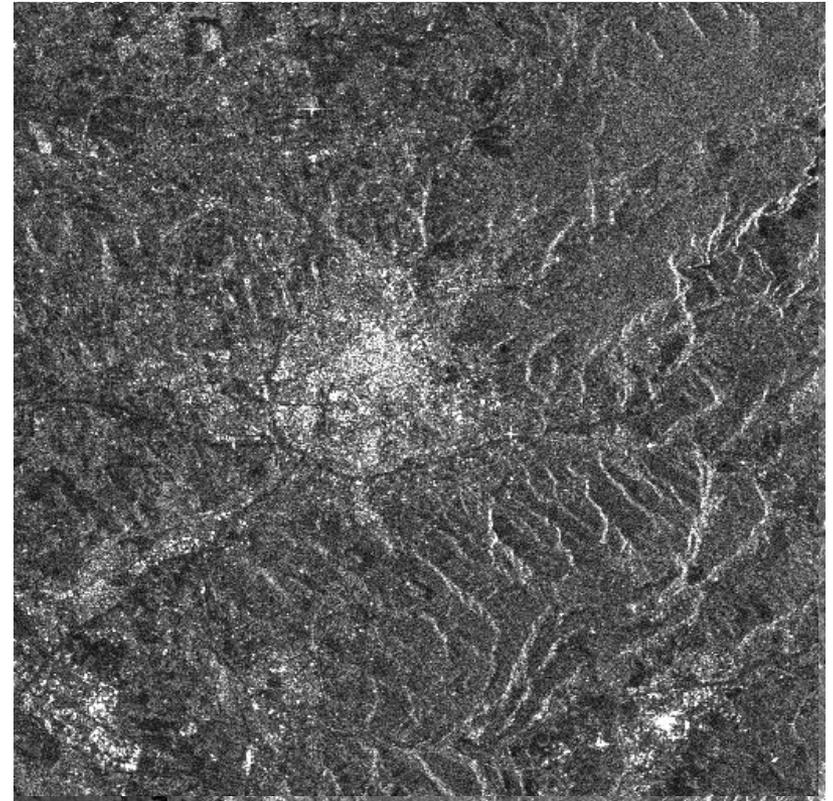
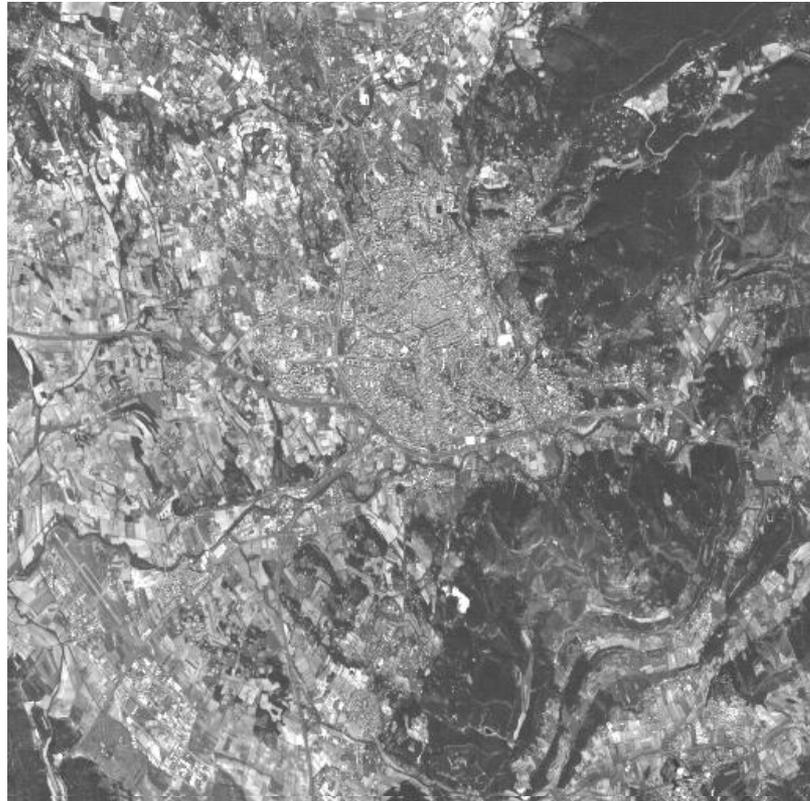


# Comparaison optique / radar



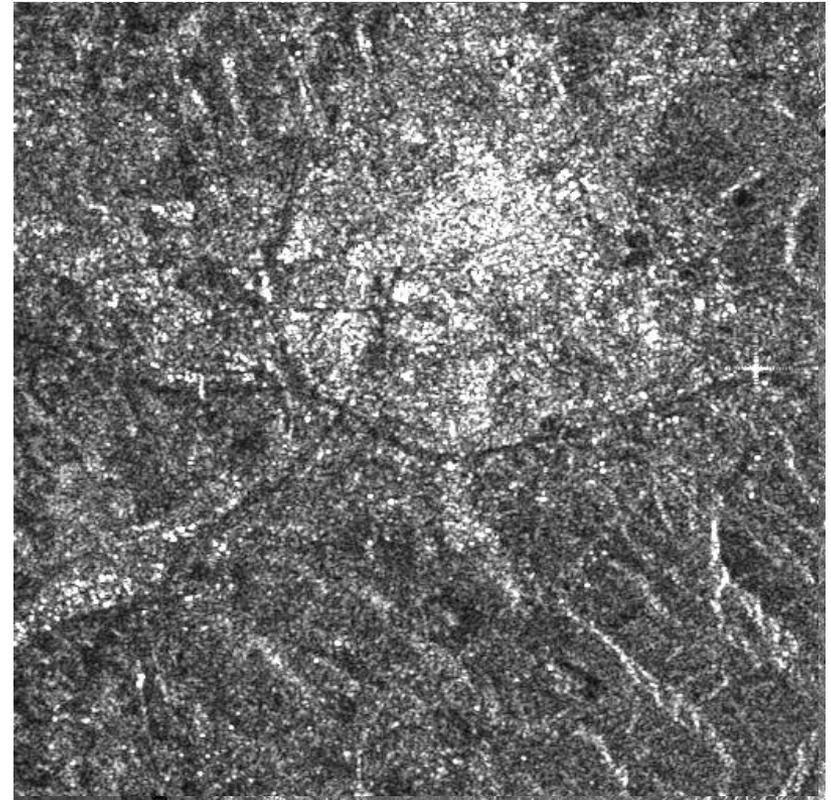
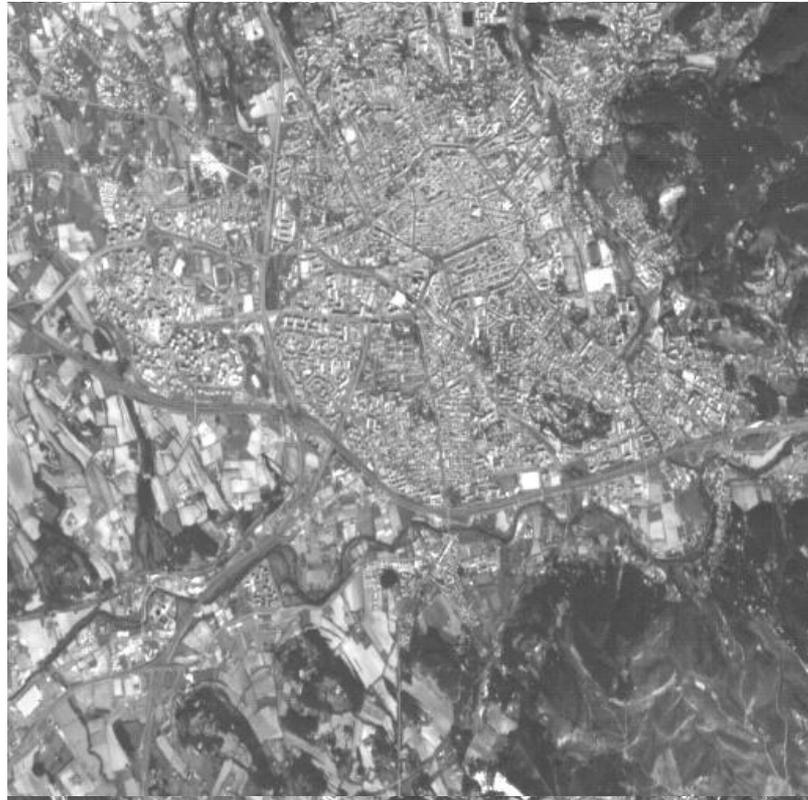


# Comparaison optique / radar





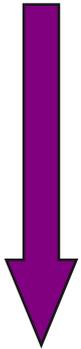
# Comparaison optique / radar



# Lambesc : TSX et SPOT5

## Structures urbaines





•Mais.... Quel est le coté du bateau qui est montré sur l'image ?



# V : Aspects radiométriques



# Que voit-on sur une image RSO?





# Image « SLC » complexe

- **Chaque pixel est décrit par :**
  - Une partie réelle
  - Une partie imaginaire
- **Autre représentation**
  - Amplitude (module) ou Intensité (module au carré)
  - phase

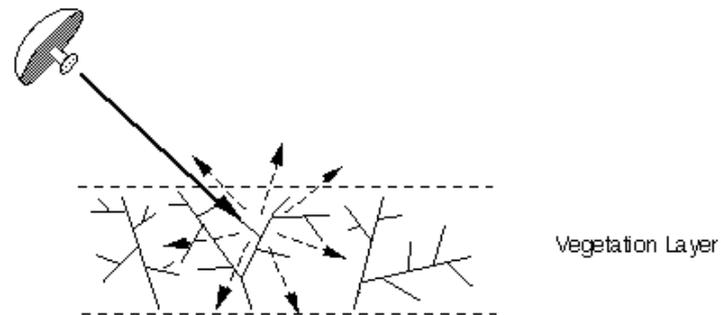
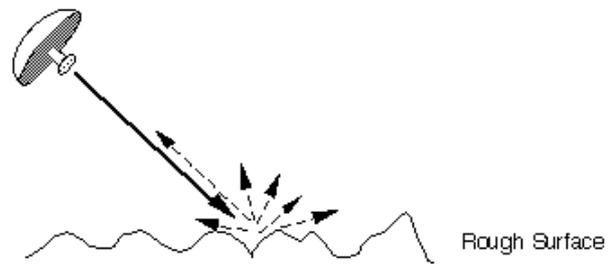
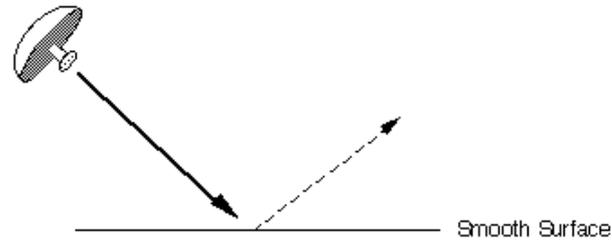
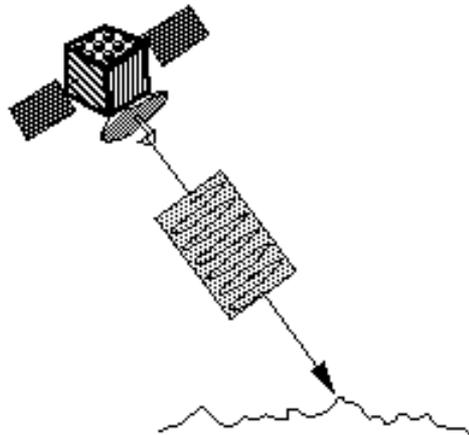


# Rétrodiffusion : la nature des objets

- **Un objet est défini par sa RCS (Radar Cross Section) :**
  - Dépend du matériau
  - Dépend de la forme
- **Plusieurs objets sont dans le même pixel :**
  - Interférences (constructives ou destructives)
  - Notion de « speckle » (chatoiement) pour des zones « optiquement » homogènes
- **Réflectivité :**
  - Proportionnelle à la RCS
  - Mesurée par le capteur radar en intensité = paramètre physique des cibles



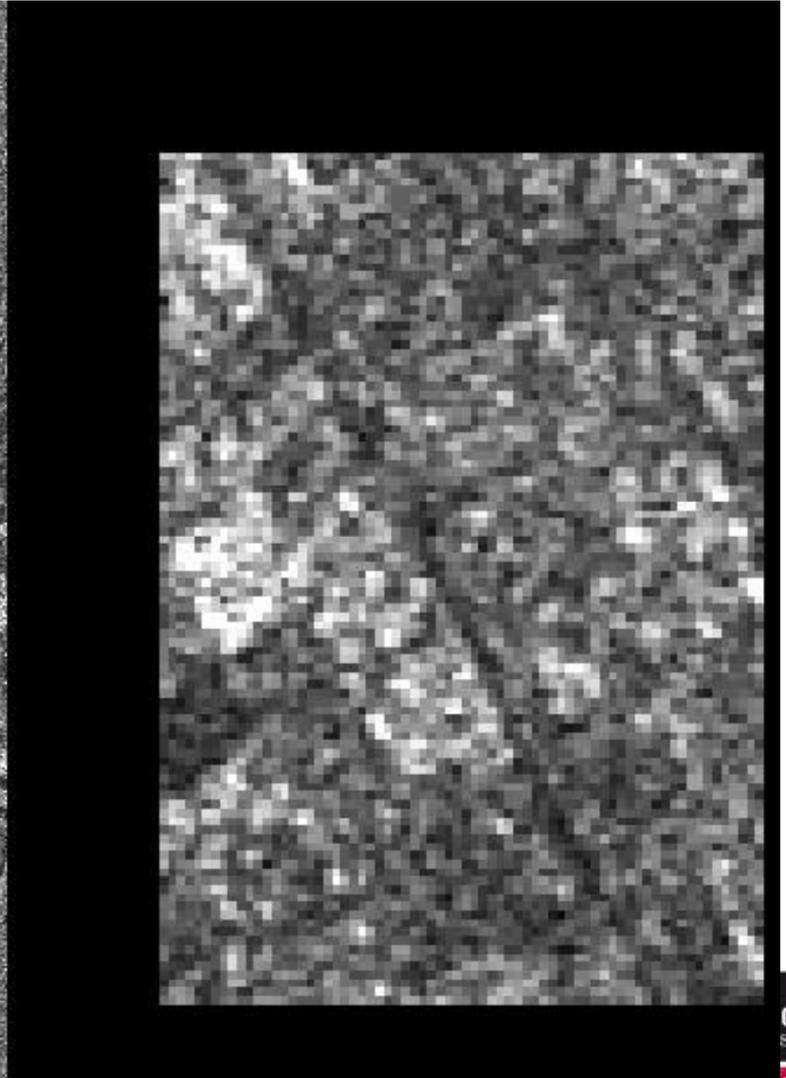
# Mécanismes de rétrodiffusion



- **Cible unique petite isotrope :**
  - Omnidirectionnelle
- **Cible quelconque :**
  - Effets de directivité
- **Beaucoup de cibles dans une cellule de résolution :**
  - Speckle



# SAR et speckle





## Les bases du speckle (chatoiement)

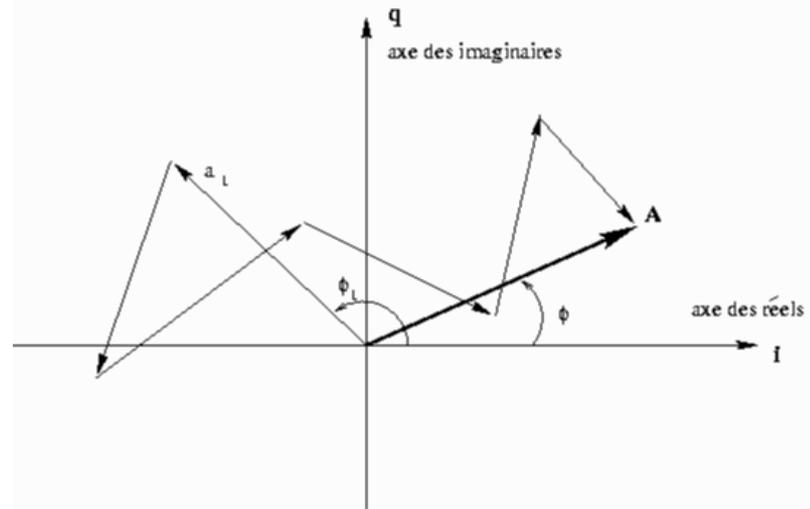
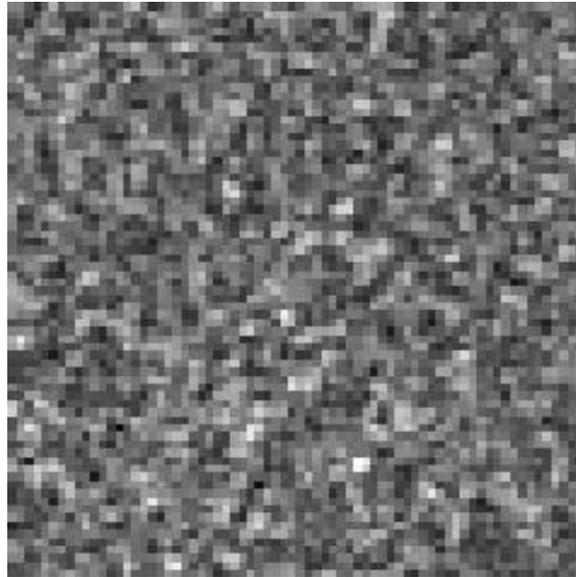
- Caractéristique d'un système imageur à base d'ondes cohérentes
- Echographie médicale, images Sonar, laser, Radar
- Suppose qu'il existe un grand nombre de cibles dans la cellule de résolution

$$\sum_{i=1}^N a_i e^{j\varphi_i}$$

Les  $a_i$  sont des valeurs indépendantes  
Les  $\varphi_i$  sont des valeurs indépendantes



# Speckle et statistiques



Nombreux réflecteurs élémentaires dans une cellule de résolution  
Addition cohérente des ondes : phénomène d'interférences

- **Considéré comme une variable aléatoire**
- **Sous certaines conditions : modèle de Goodman**
  - *Calcul de ddp en intensité, en amplitude et en phase*
- **Intérêt : prédictions des performances des outils (pfa, pd, etc.)**
- **Limites : ne modélise bien que certains types de surfaces (rugueuses par rapport à  $\lambda$ )**



## Résultat en un pixel

Près de Lelystad  
Zone de mer



Réflectivité constante



$$\sum_{i=1}^N a_i e^{j\varphi_i}$$

- L'amplitude d'une zone « homogène » physiquement n'a aucune raison d'être constante
- La phase d'un pixel est décorrélée avec les phases de ses voisins
- Aspect « statistique » du speckle



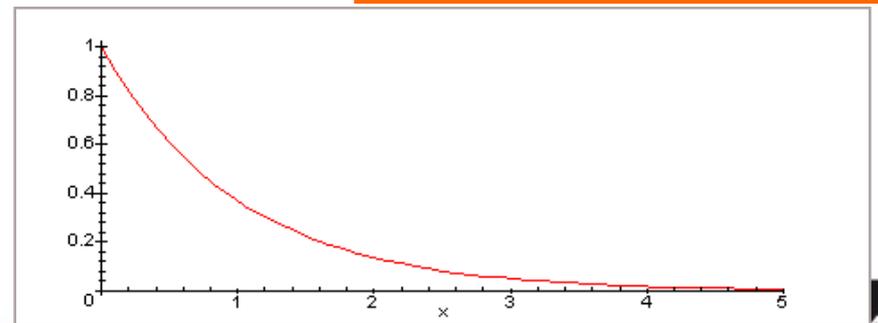
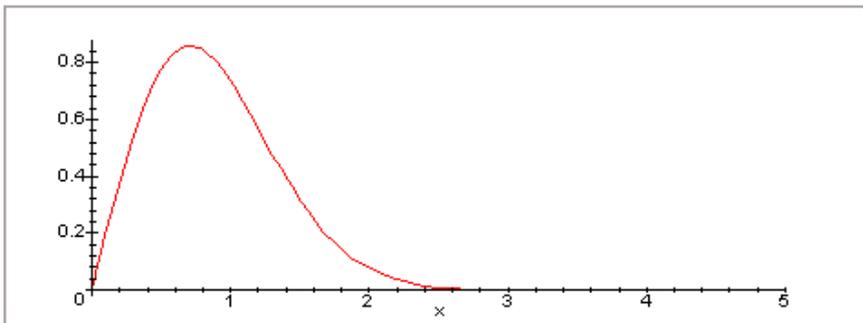
# Le chatoiement de Goodman - résultats

- La partie réelle suit une loi normale  $N(0, \sigma)$
- La partie imaginaire suit une loi normale  $N(0, \sigma)$



- La phase est uniforme
- L'amplitude suit une loi de Rayleigh  
     $\Leftrightarrow$  L'intensité suit une loi Gamma

$$R[\mu](x) = \frac{2}{\mu} \left( \frac{x}{\mu} \right) e^{-\left( \frac{x}{\mu} \right)^2}$$
$$G[\mu](x) = \frac{1}{\mu} e^{-\frac{x}{\mu}}$$





# VI : APPLICATIONS



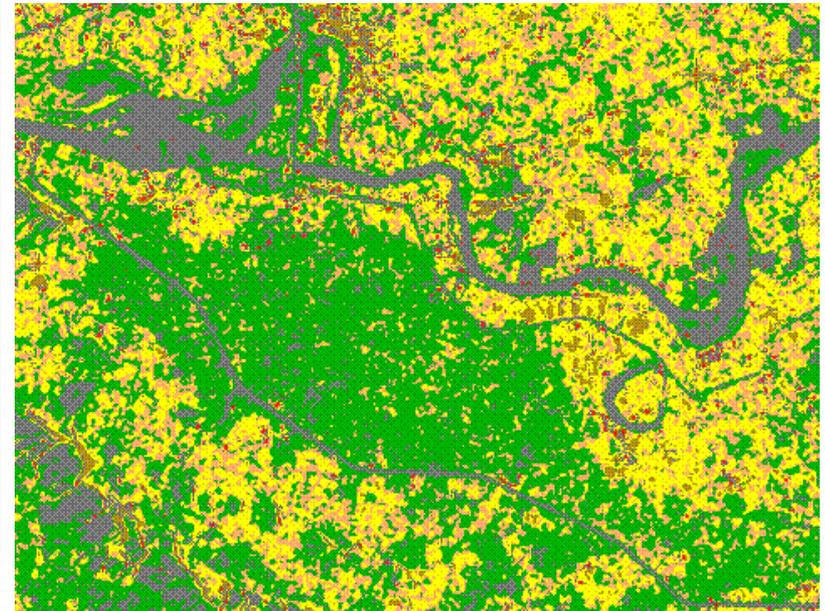
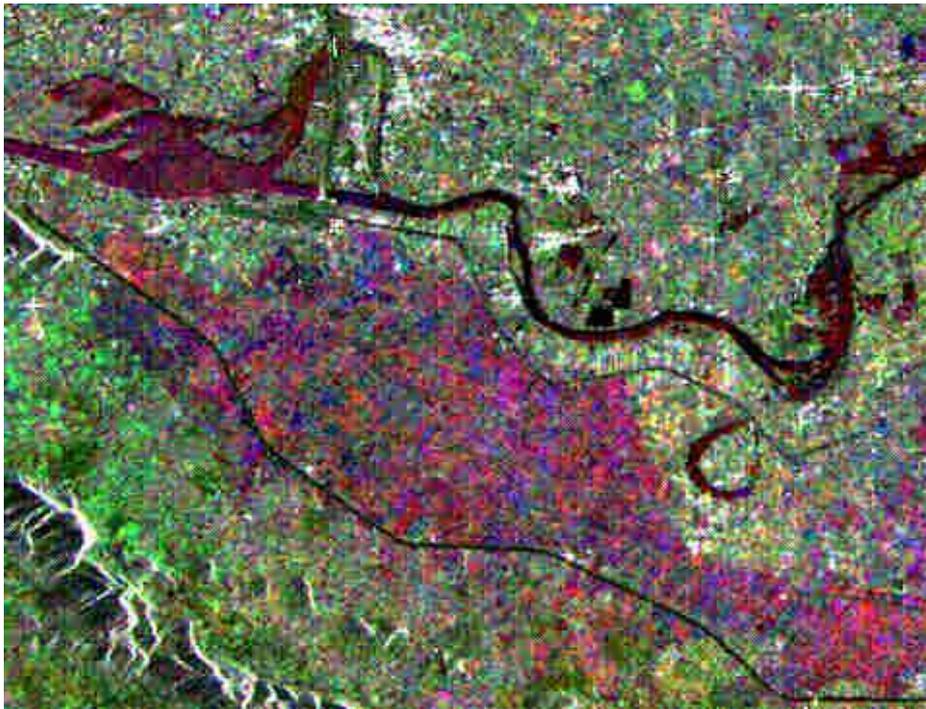
# Applications

- Applications terrestres
- Applications maritimes
- Interférométrie
  - MNT
  - Mouvements



# Applications terrestres (1)

- **Surveillance agricole (souvent utilisation conjointe radar / optique)**
  - Suivi de la croissance des cultures et prévision des récoltes (polarimétrie : signal différent suivant l'âge des plans)
  - Contrôle de la proportion terres cultivées / jachère

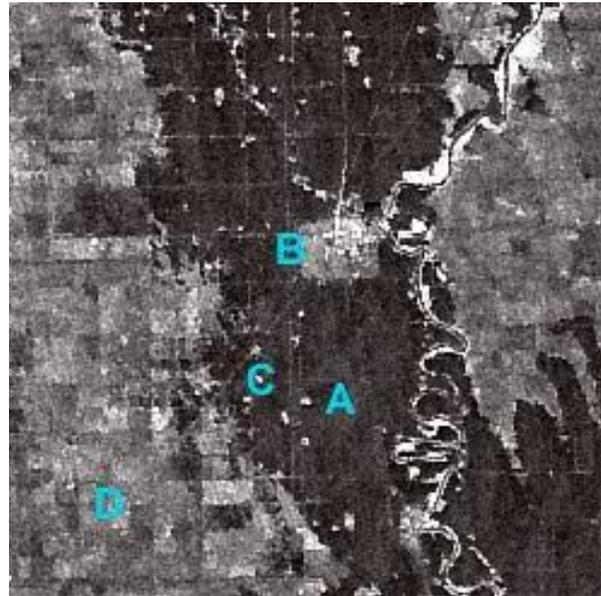




## Applications terrestres (2)

### ■ Surveillance et prévention des inondations

- Bonne visibilité des zones inondées sur les images radar

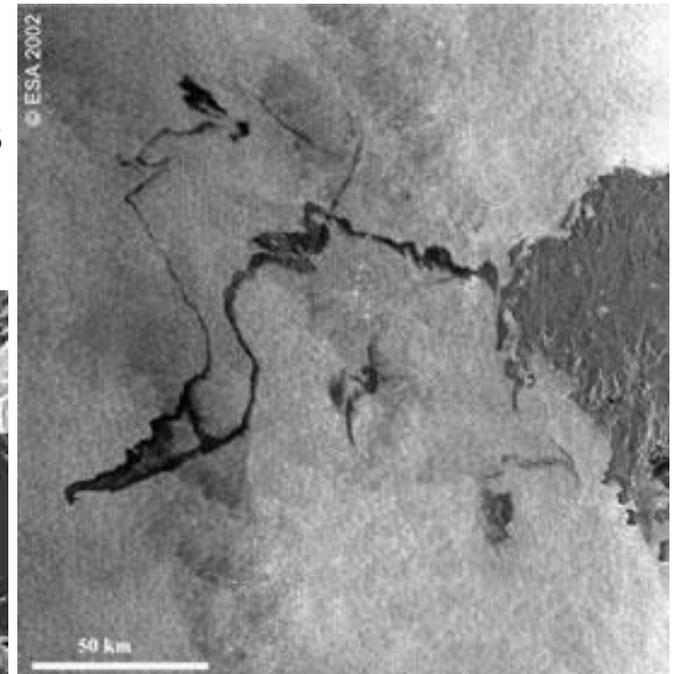
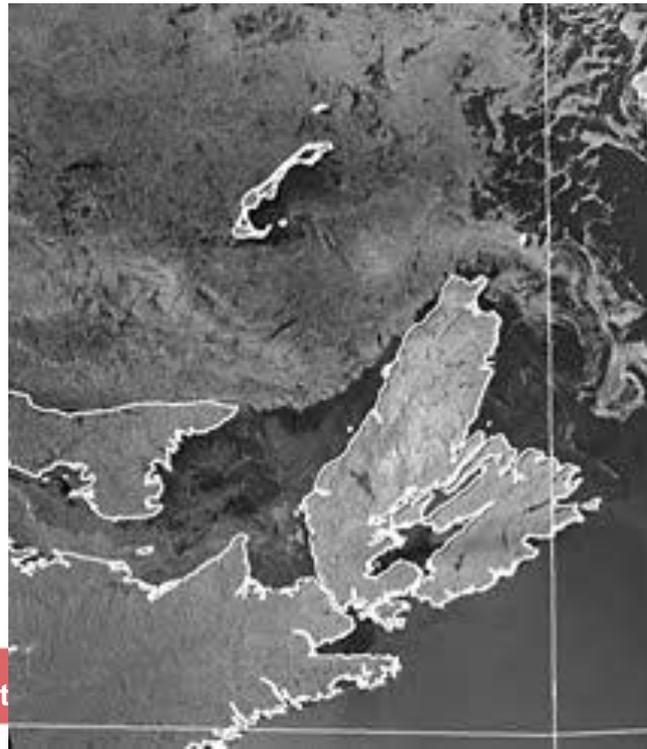


### ■ Surveillance de la déforestation des forêts tropicales



# Applications maritimes

- Détection et surveillance des marées noires et des dégazages sauvages
- Surveillance des mouvements des glaces





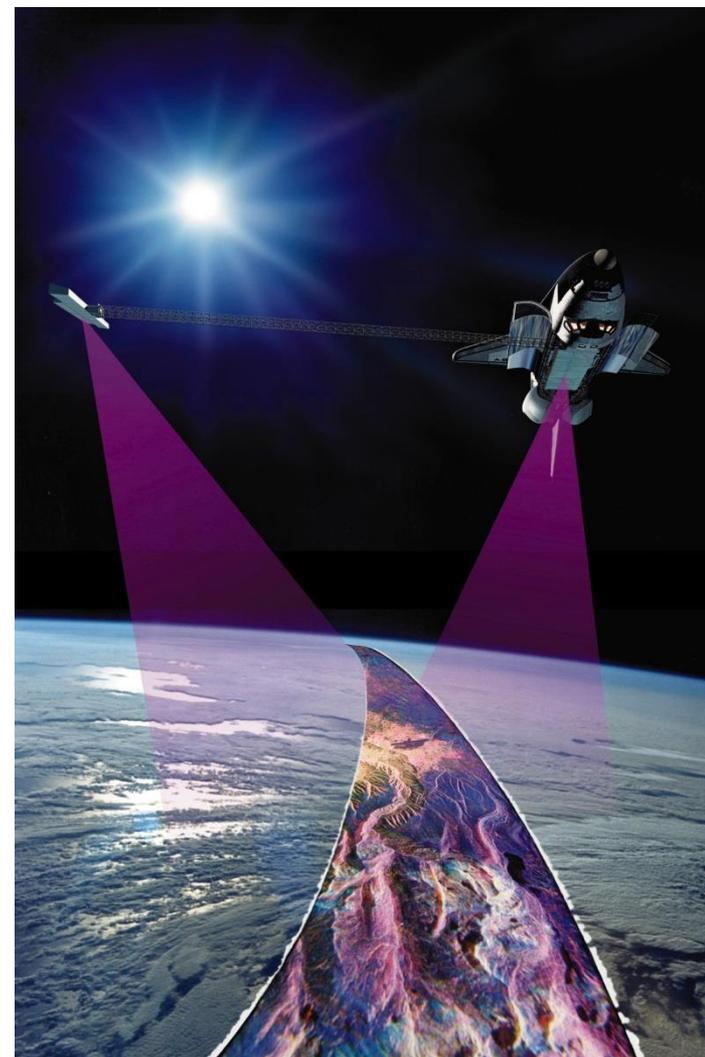
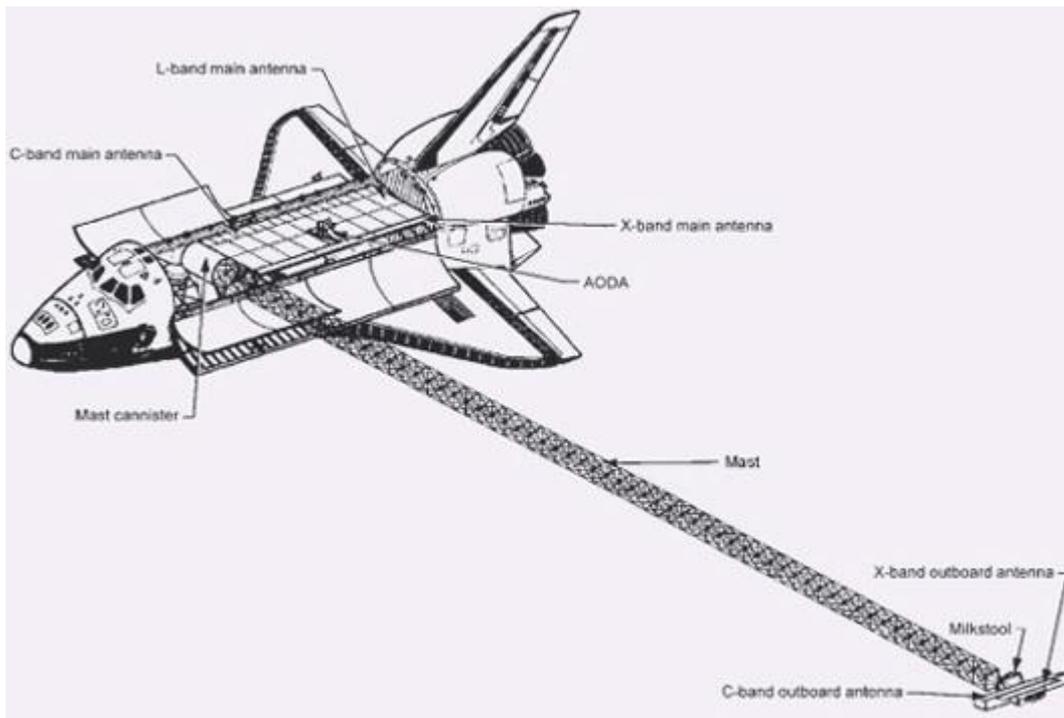
# Applications : interférométrie

- **Principe de l'interférométrie**
- **Interférométrie et MNT**
- **Interférométrie différentielle**
  - Suivi des mouvements de terrain (volcans, failles)
  - Réseau de points (permanent scatterers)



# Un capteur « 2 antennes » : SRTM

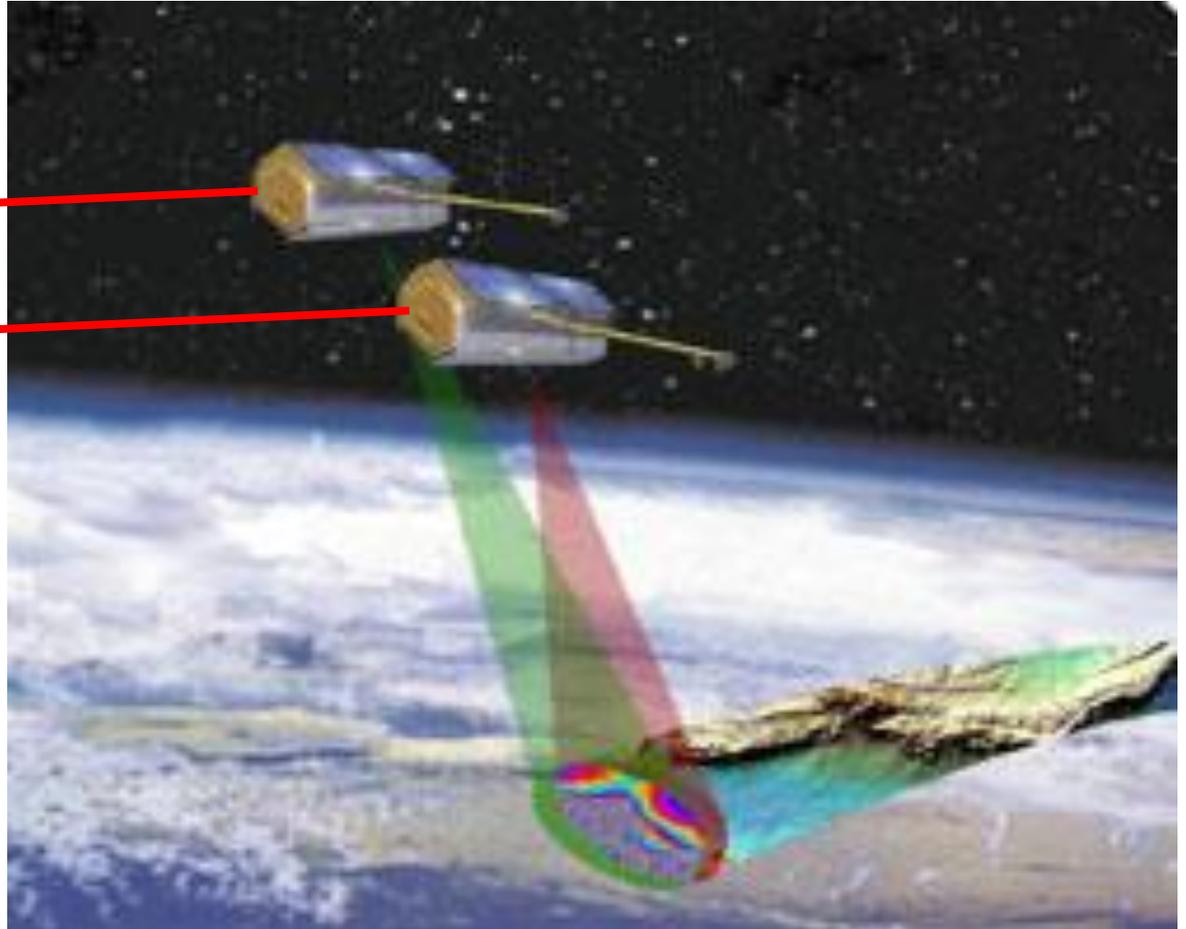
## ■ Deux antennes



# Un capteur, une antenne, plusieurs passes temporelles

Jour J

Jour J + 11

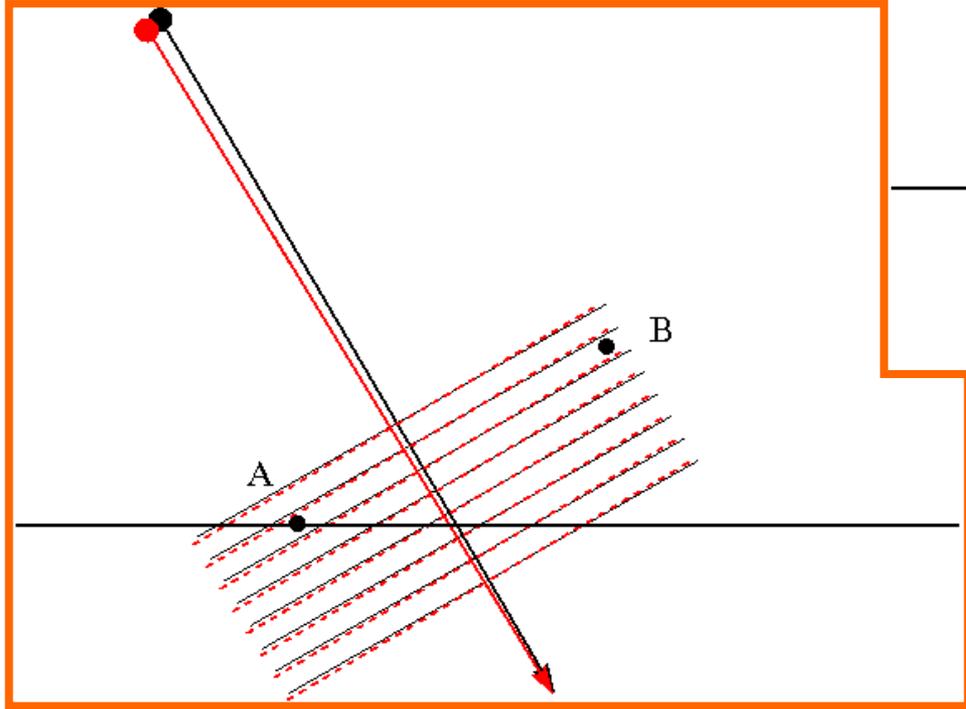


Terrasar-X : © DLR

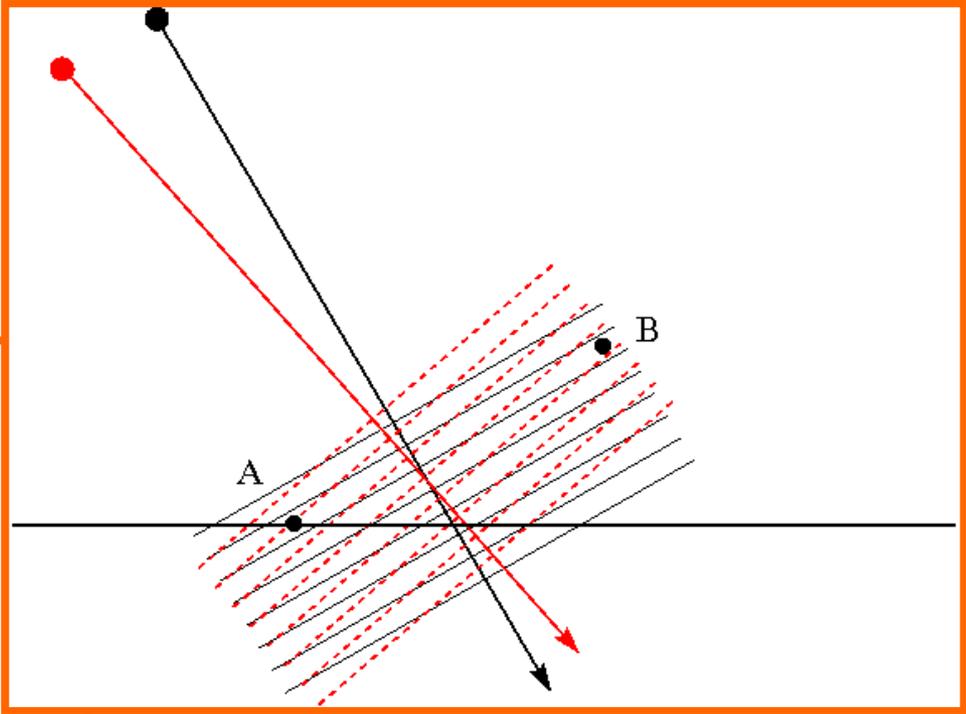


# Deux antennes placées en deux endroits différents

- **Sol plat : recalage d'images nécessaire**
- **En présence de relief : effets stéréoscopiques. Le RSO est bien adapté aux mesures de relief**
  - Petite base : imagerie cohérente.
  - Grande base : Radargrammétrie (stéréovision « classique »)
- **Spécificité du RSO « multitemporel » : effets liés aux modifications du sol entre deux acquisitions**
  - Petits déplacements (échelle de  $\lambda$ ) : phase (analyse d'image complexe)
  - Trois acquisitions et plus : interférométrie différentielle



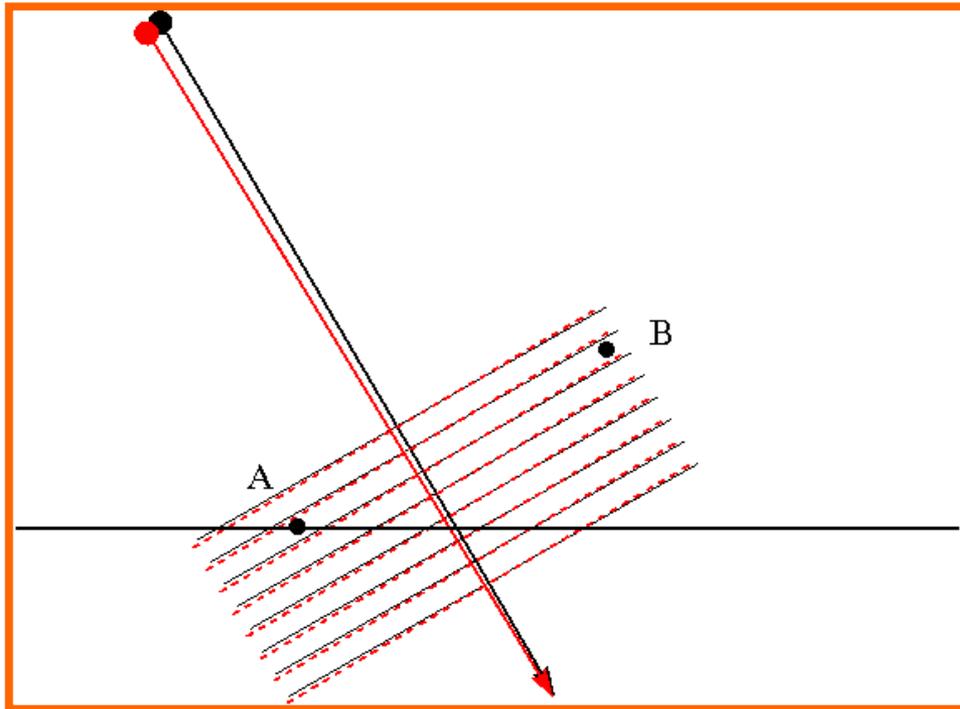
Petite base



Grande base



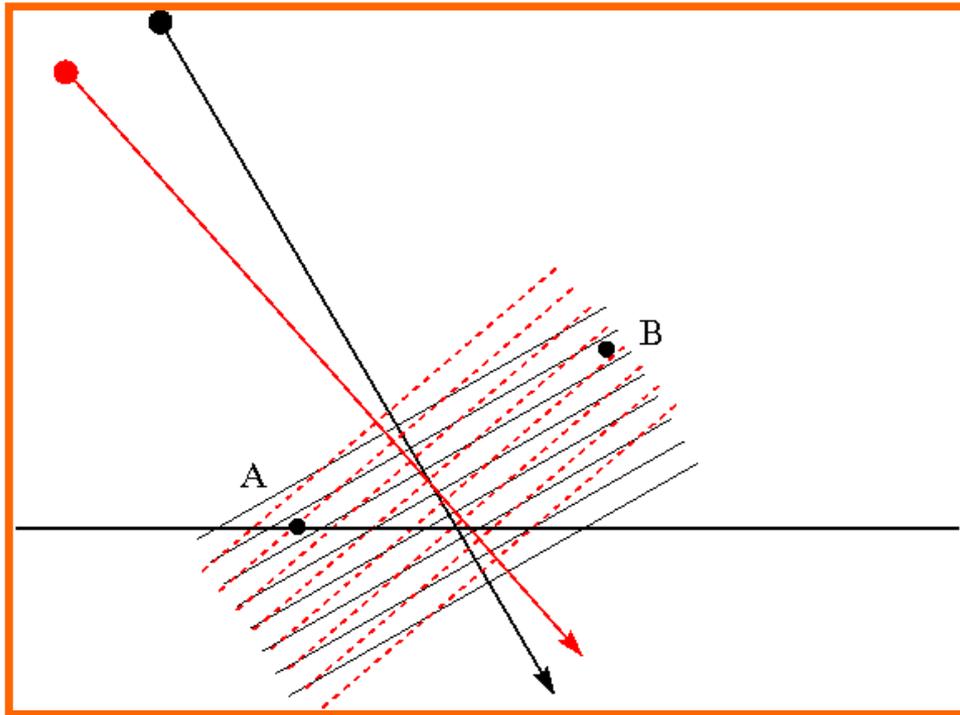
## Petite base : deux antennes avec presque la même incidence



- Deux objets A et B
- Dans la même case distance pour l'antenne noire
- Dans la même case distance de l'antenne rouge
- → interférométrie

## Grande base

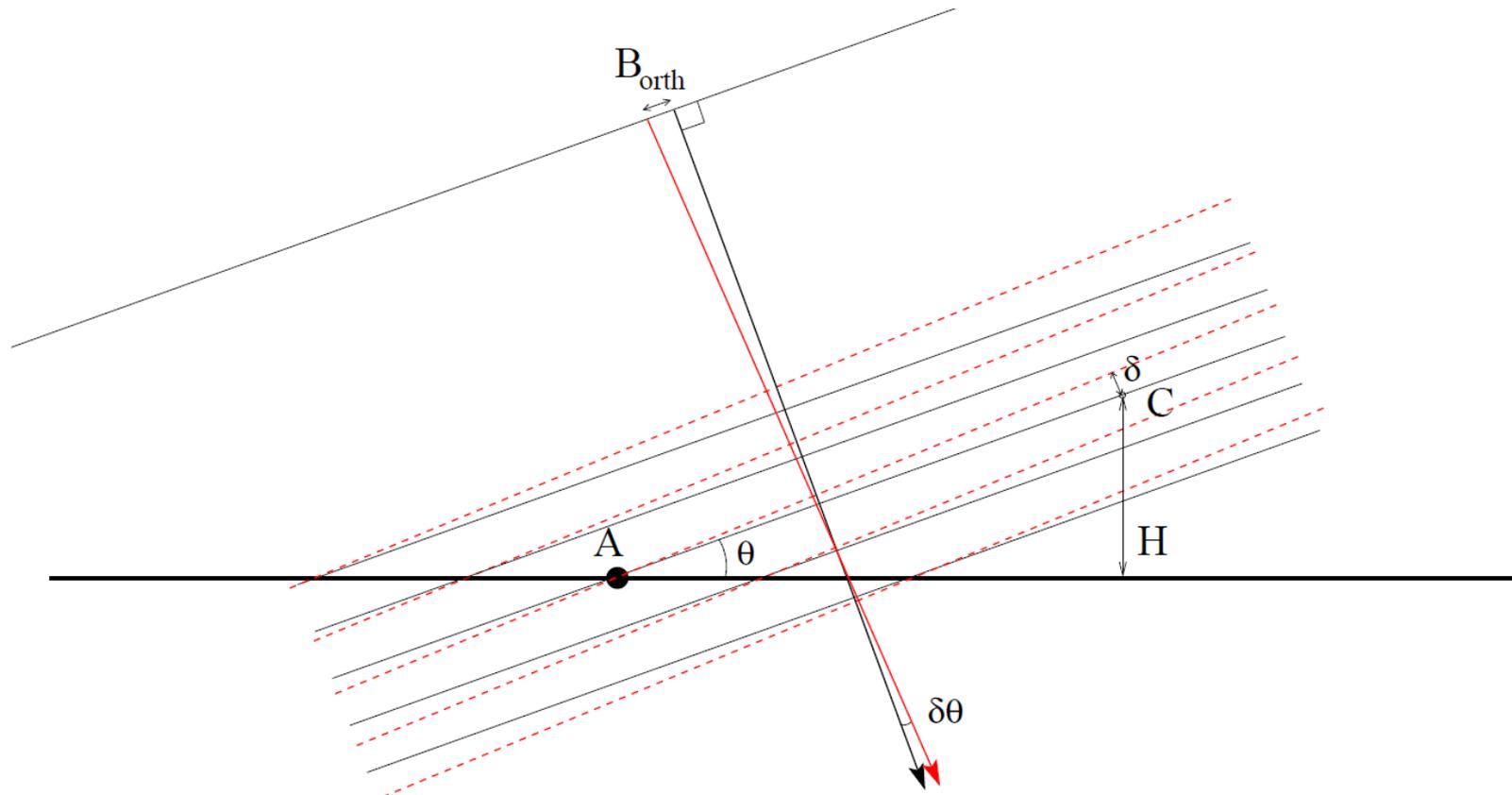
### Deux antennes avec des incidences différentes



- Deux objets A et B
- Dans la même case distance pour l'antenne noire
- Dans deux cases distance de l'antenne rouge !!
- →stéréoscopie



# Principe de l'interférométrie



$$\frac{B_{orth}}{R} = \frac{\delta}{AC} = \frac{\delta \sin \theta}{H}$$

$$\delta = \frac{B_{orth} H}{R \sin \theta}$$

$$\Delta\phi = 4\pi \frac{B_{orth} H}{\lambda R \sin \theta}$$



# Limites de l'interférométrie

## ■ Altitude d'ambiguïté:

- Valeur de H pour laquelle la phase s'enroule

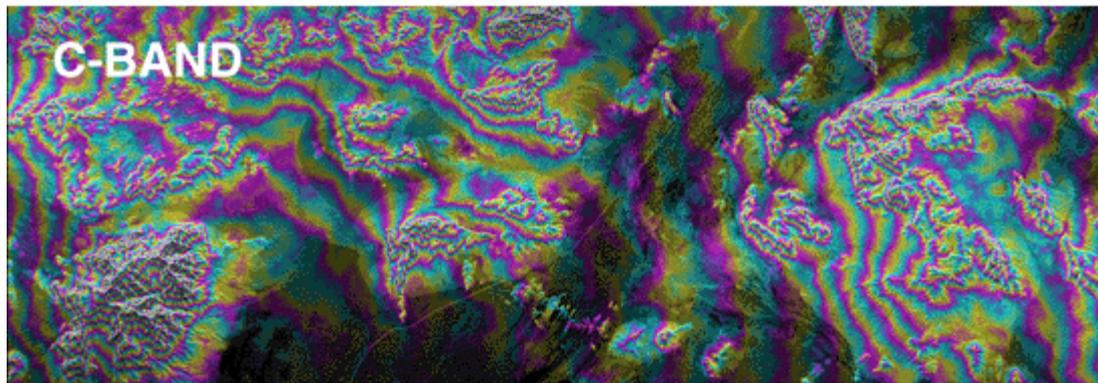
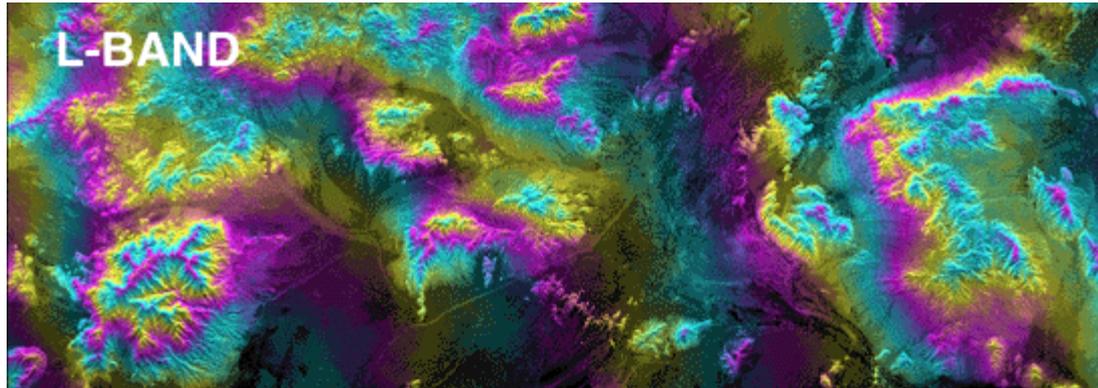
$$h_{amb} = \frac{\lambda R \sin \theta}{2B_{orth}}$$

## ■ Base critique

- Valeur de la base à partir de laquelle la différence d'angle empêche la suppression de la « phase propre »

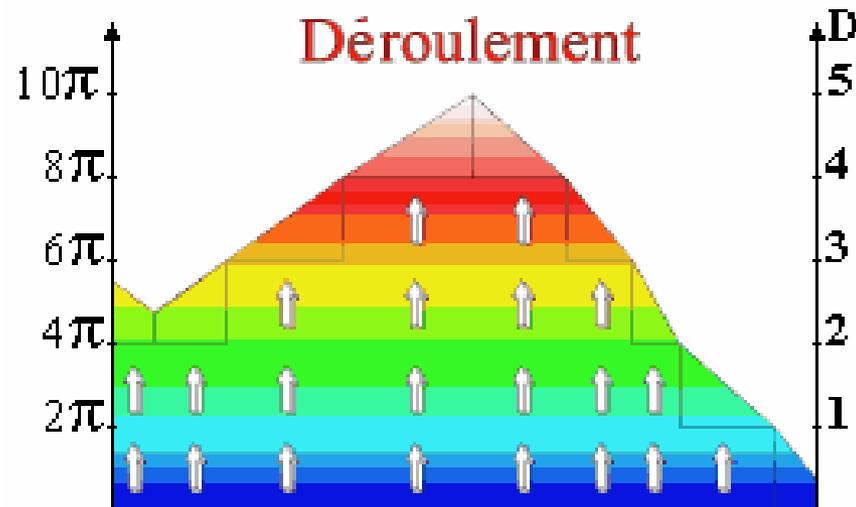
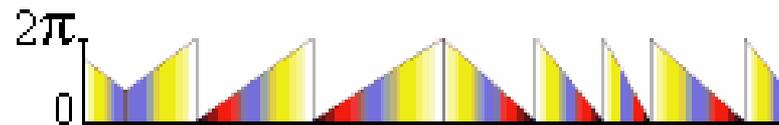
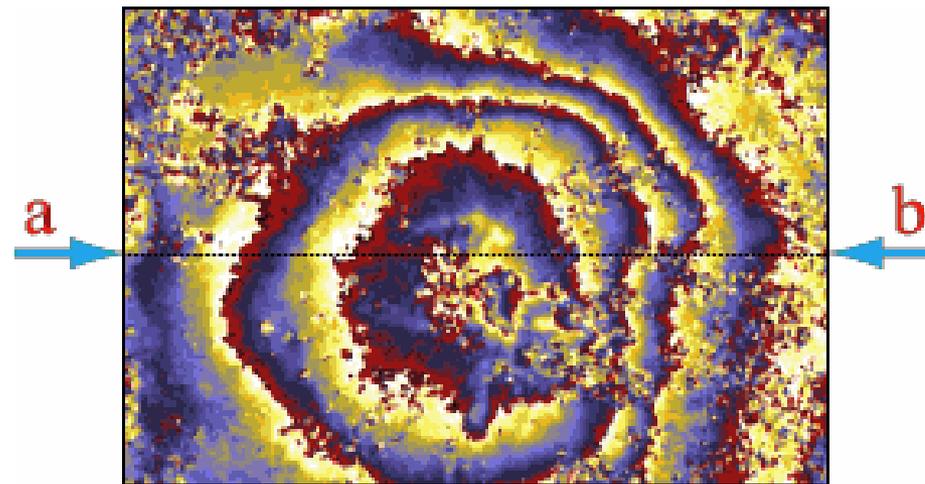


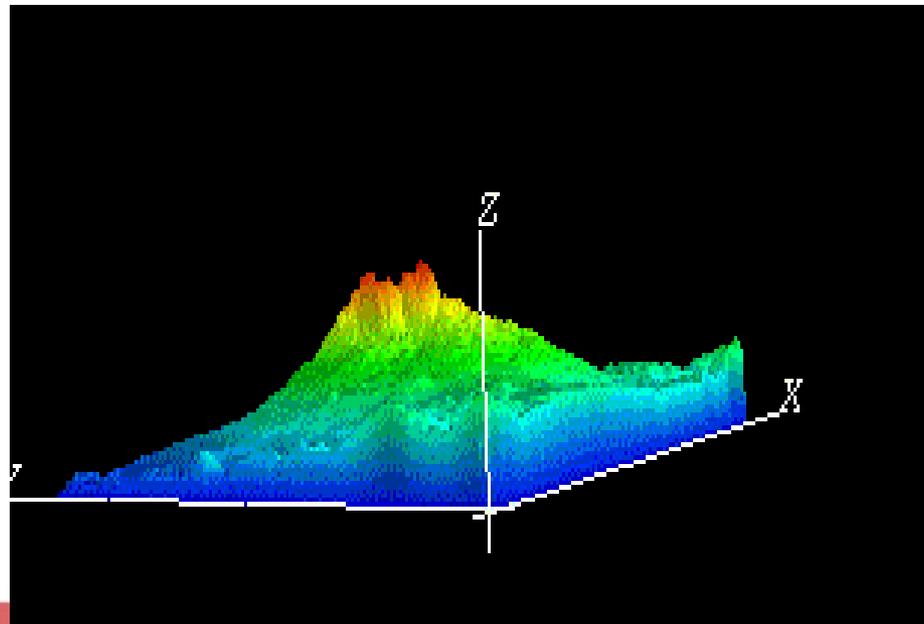
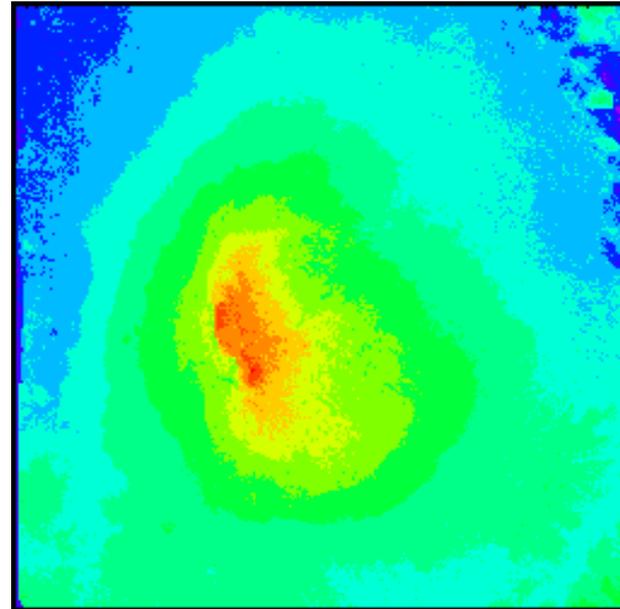
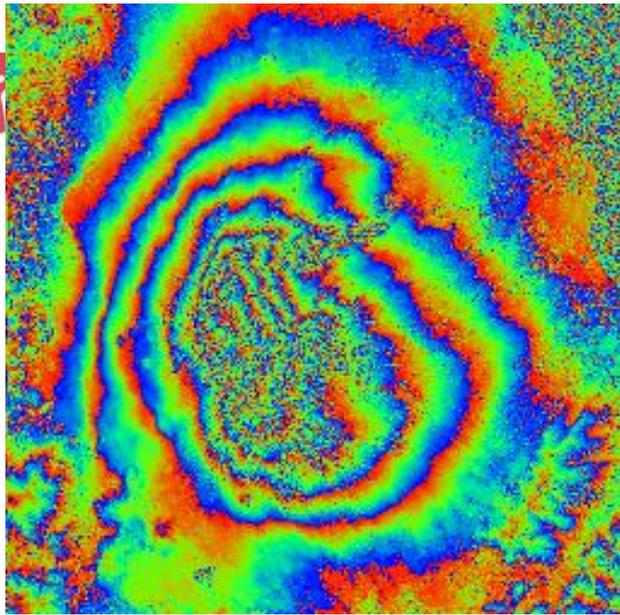
# Effets de la longueur d'onde



**SIR-C L, C BAND INTERFEROGRAMS  
FT. IRWIN, CALIFORNIA**

$$\varphi = 2\pi \frac{\delta R}{\lambda}$$







## Interférométrie : MNTs

- **Précision** : dépend de l'altitude d'ambiguïté (de 10m à 100m en fonction de la base) et de la précision de la mesure de phase
- **Limites**
  - En multi-passes : décorrélation temporelle, perturbations atmosphériques
  - Limites géométriques : repliements et ombres
  - Base critique de décorrélation des images (ERS-1 : 1000m)



# Interférométrie différentielle

$$\phi = \phi_{orb} + \phi_{topo} + \phi_{def} + \phi_{atm} + \phi_{res} + \phi_n$$

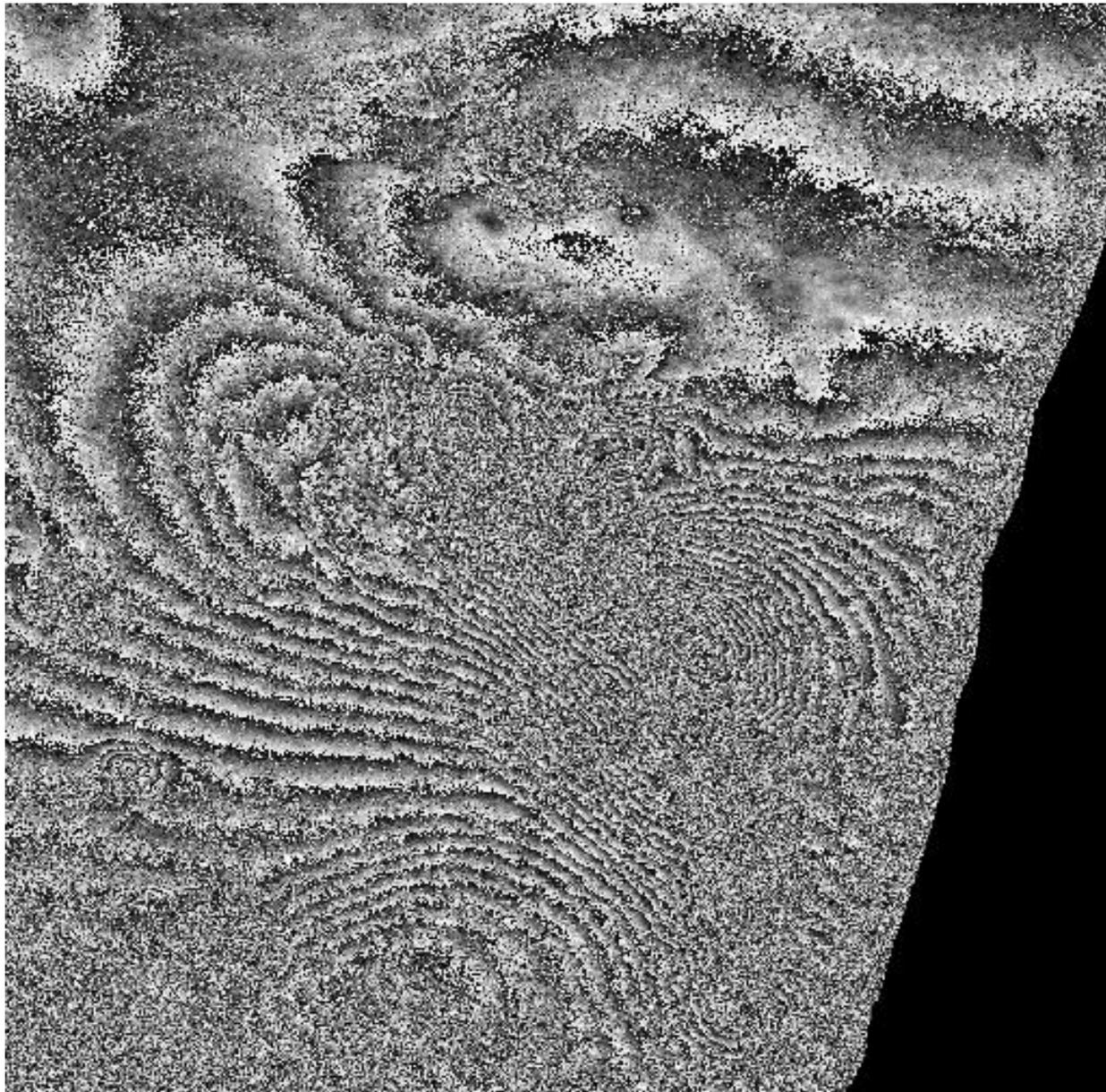
## ■ Principe :

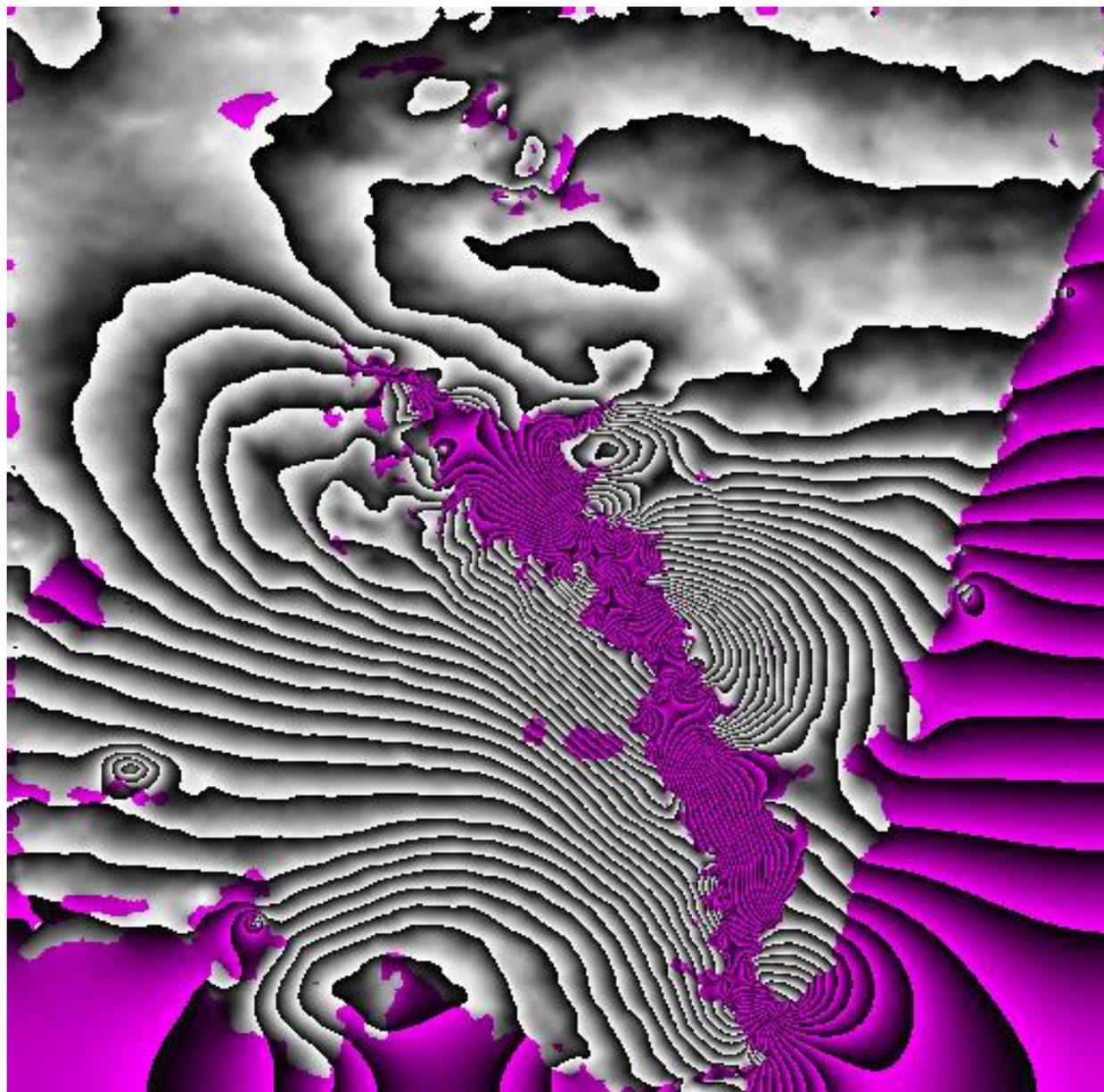
- Suppression des franges topographiques

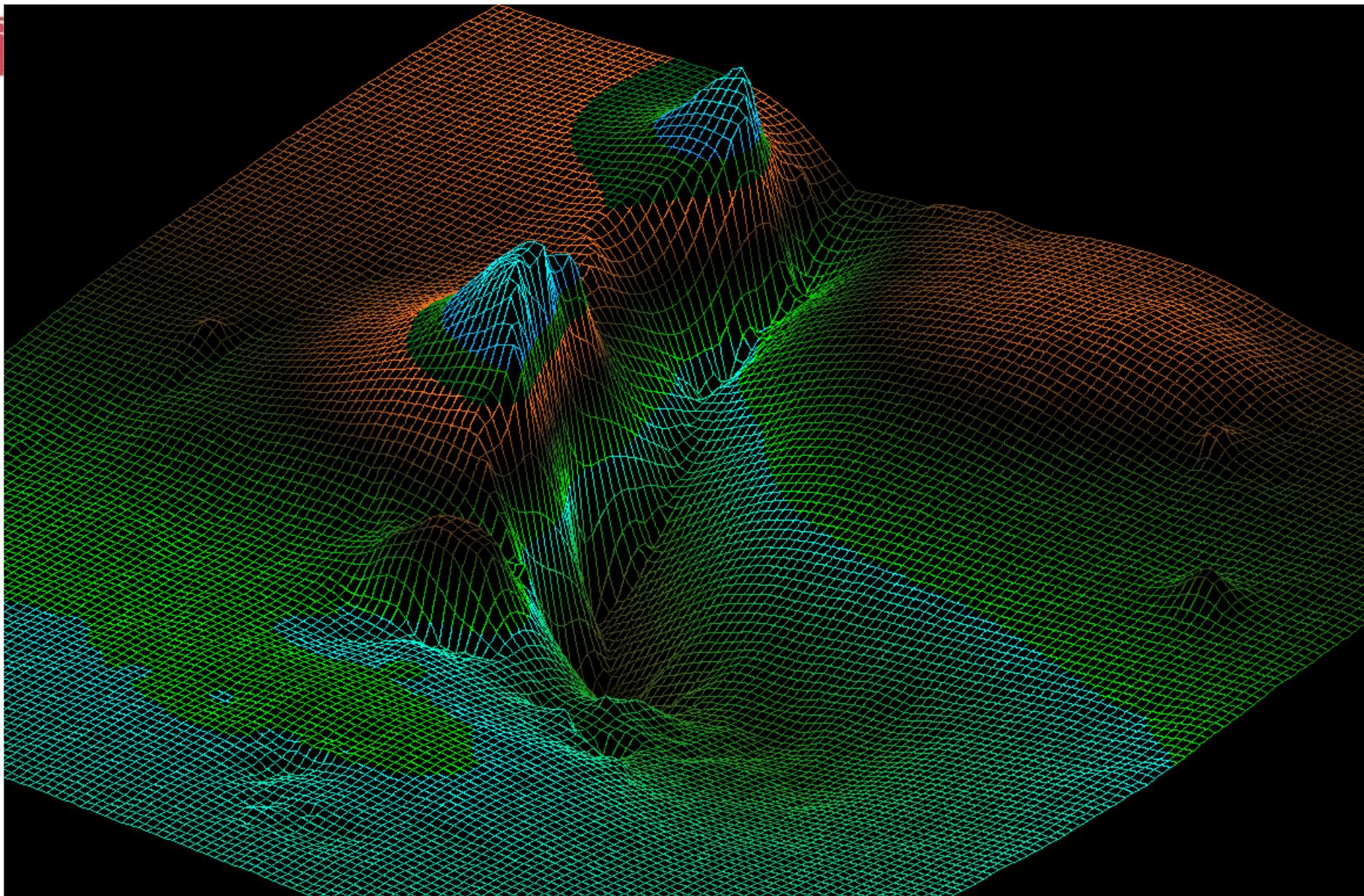
Utilisation d'un MNT ou d'une 3eme image SAR

- Franges résiduelles : mouvement

## ■ Précision : inférieure au centimètre (en théorie 3mm pour une frange/10)







## ■ Principe :

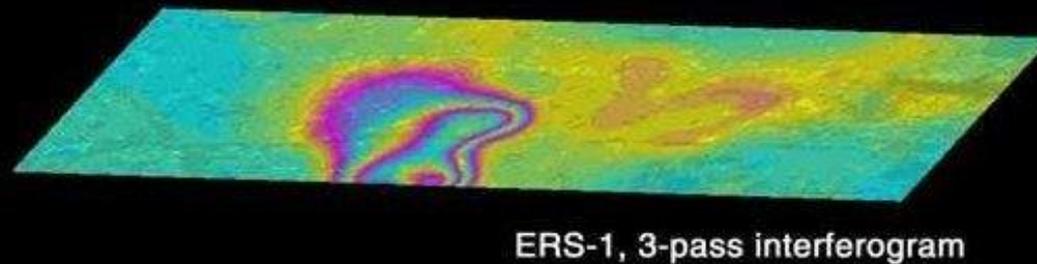
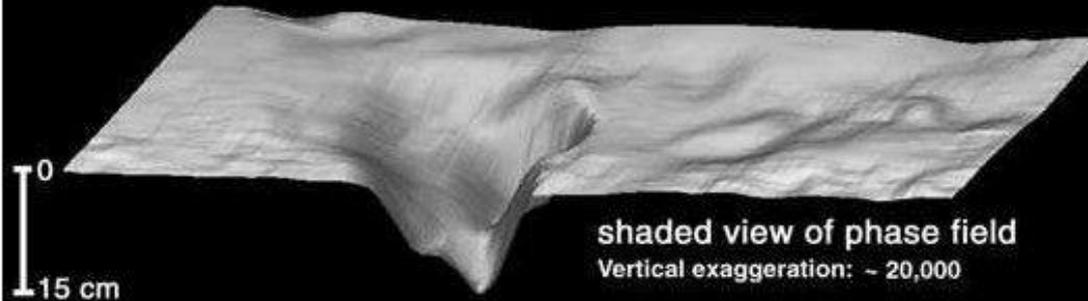
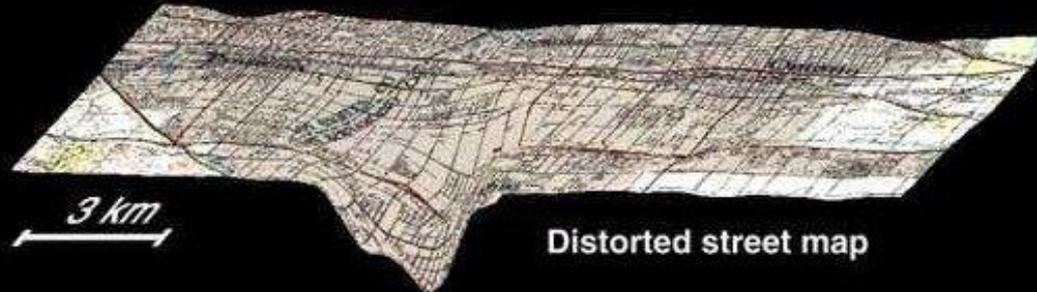
- Réseau de points stables (pas de décorrélation temporelle) - structures urbaines, critère intensité-
- Bonnes connaissances de tous les paramètres de prise de vue
- Inversion du système tenant compte de la topographie, du mouvement, des perturbations atm.

(possibilité d'utiliser de très grandes bases)



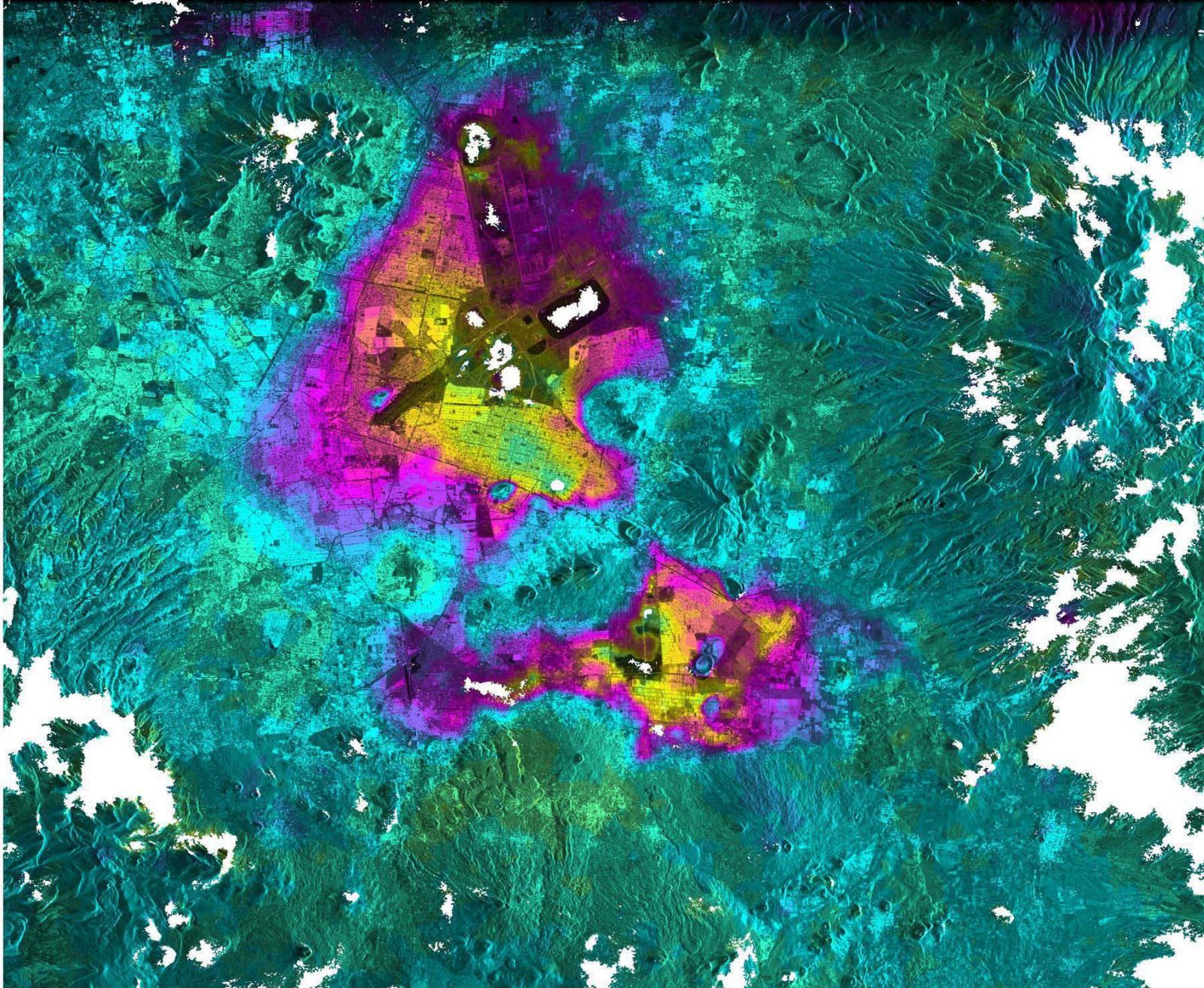
# Ground subsidence near Pomona, California

Time interval: 20 Oct 93 - 22 Dec 95



Radar data: (c) European Space Agency

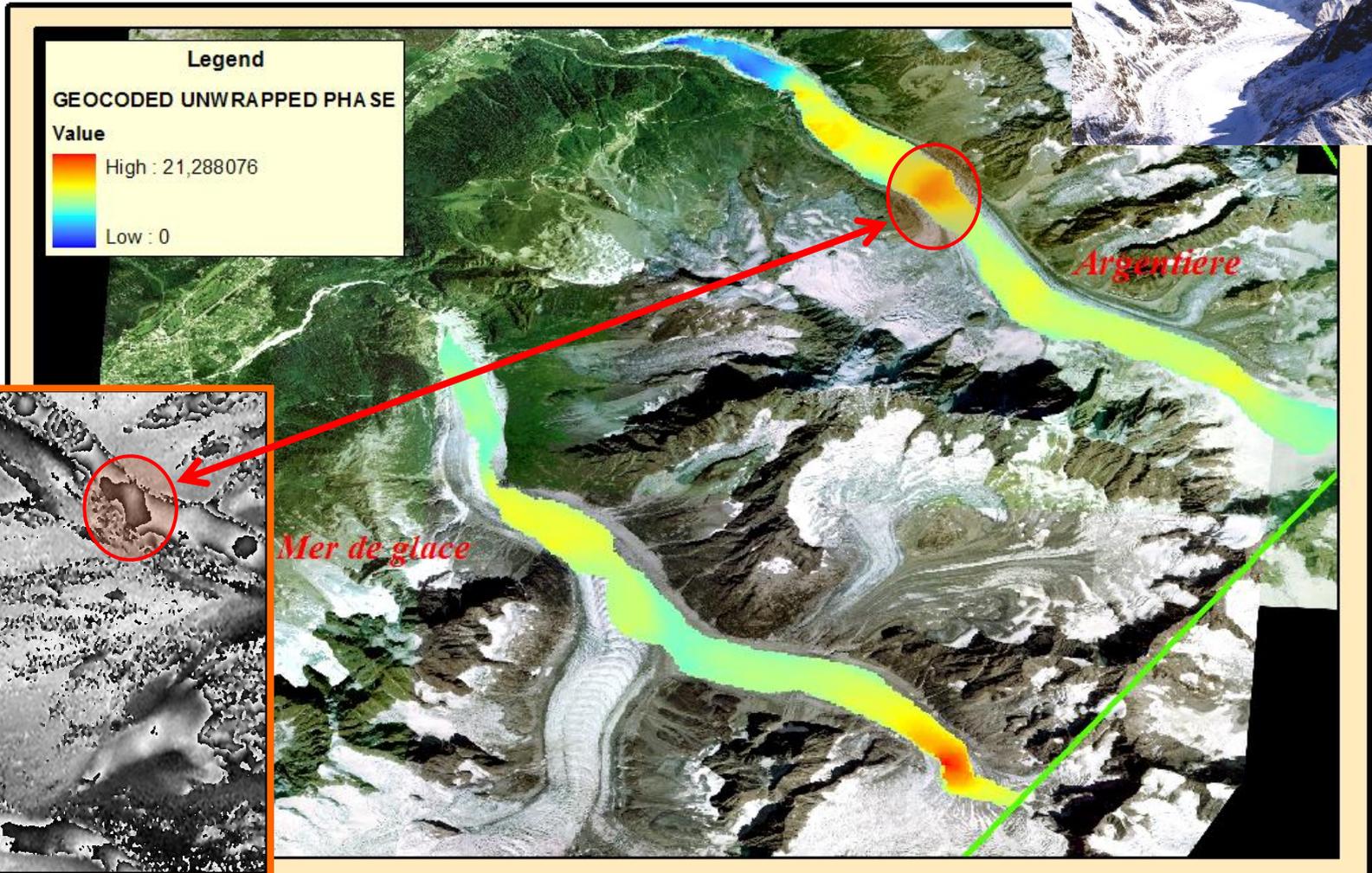
G. Peltzer, 1997 - JPL



-33 cm/yr

0 cm/yr

# Vitesses des glaciers (à partir des images ERS)



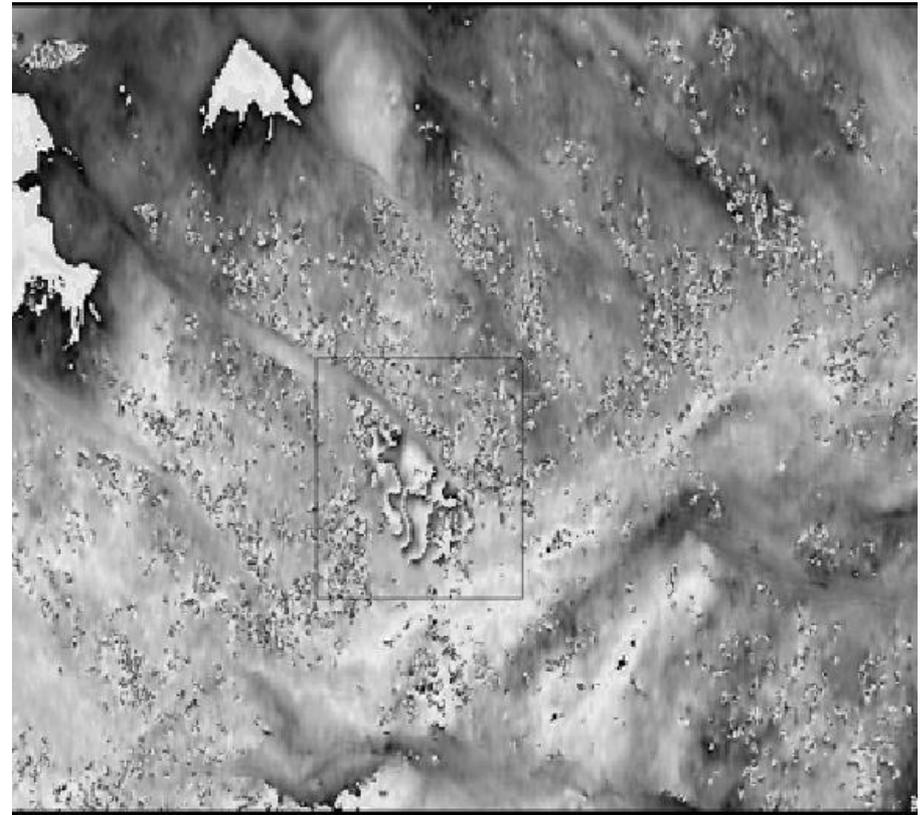
Chamonix - Mont Blanc



Lat/Long Projection  
WGS 1984



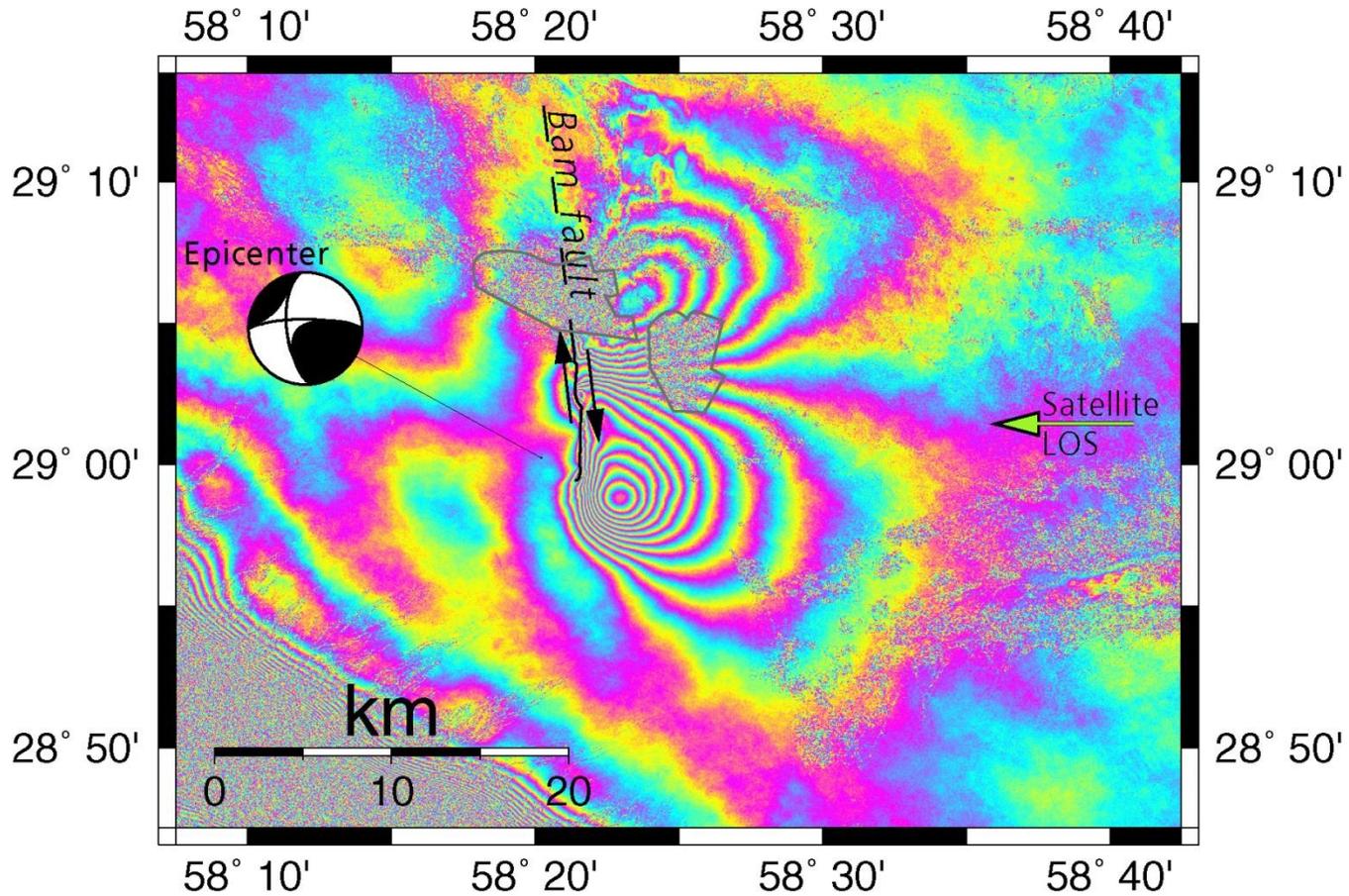
## Etude des glissements de terrain : la Clapière



Franges révélant le glissement de terrain



# Tremblement de terre de BAM Images ENVISAT, B=50cm !!



©DLR



©<http://www.comet.nerc.ac.uk>

