

Introduction à l'imagerie radar – Physique de la mesure

Jean-Claude Souyris, CNES

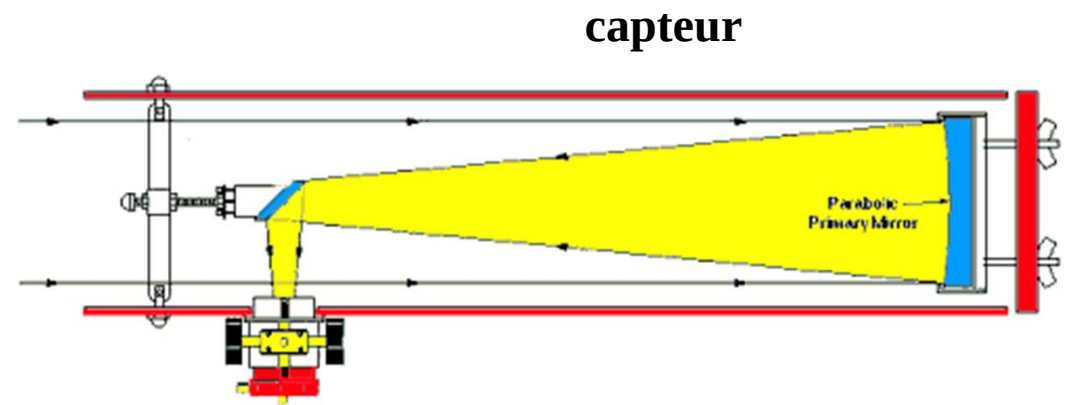
Principe de la télédétection (1/4)

- ◆ Ensemble de techniques utilisées pour déterminer les propriétés des objets à partir de leur comportement en diffusion

Objet



diffusion



capteur

Réception

Courtesy Christophe Valorge, CNES, SI/QI

Principe de la télédétection (2/4)

◆ Gamme étendue de **signaux observés** , incluant :

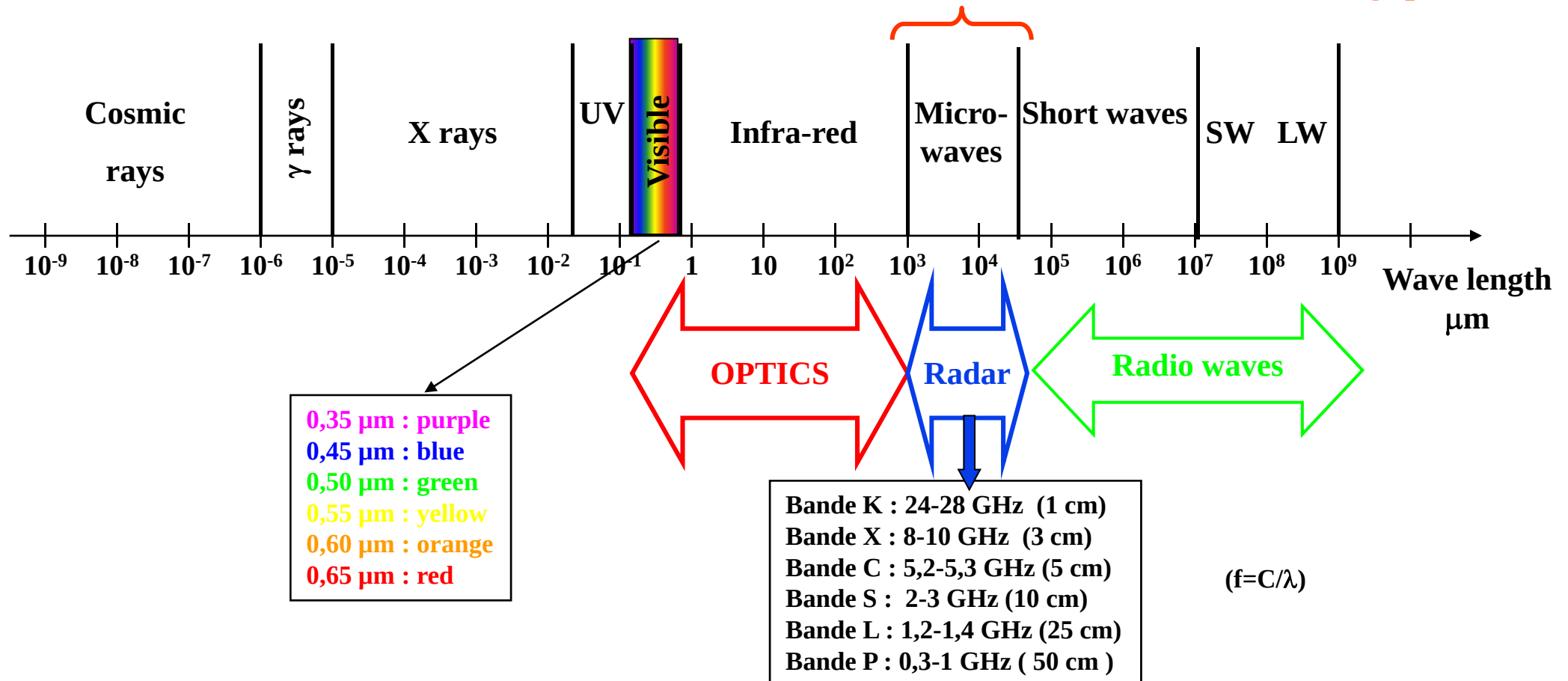
- Spectre visible : [0.4 , 0.7] μm : Le monde tel qu'on le voit
- Proche infra-rouge : [0.7, 3] μm : **vegetation, humidité de surface...**
- Infra-rouge [3, 50] μm : signatures dépendante de la **température**
- Micro-ondes [3 cm - 100 cm] : rugosité, humidité, biomasse, océanographie, objets métalliques, mouvements, ... **radar**

Rapport entre les longueurs d'onde : 100.000 ...

Principe de la télédétection (3/4)

◆ Le spectre électromagnétique :

Fenêtre de visibilité pour le couvert nuageux : images insensibles aux conditions météorologiques



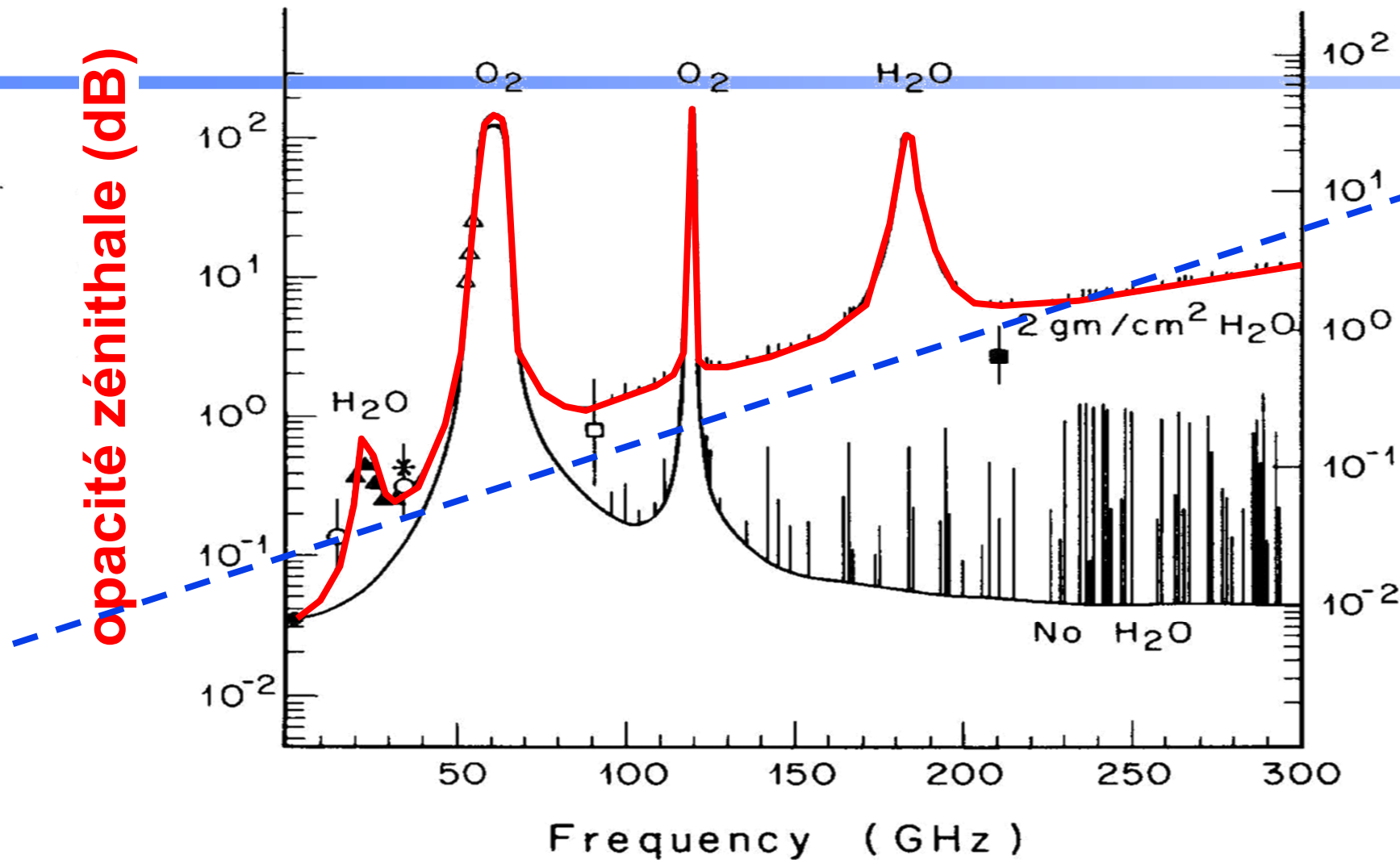
Courtesy Christophe Valorge, CNES, SI/QI

Propriétés d'absorption du spectre électromagnétique



CNES

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



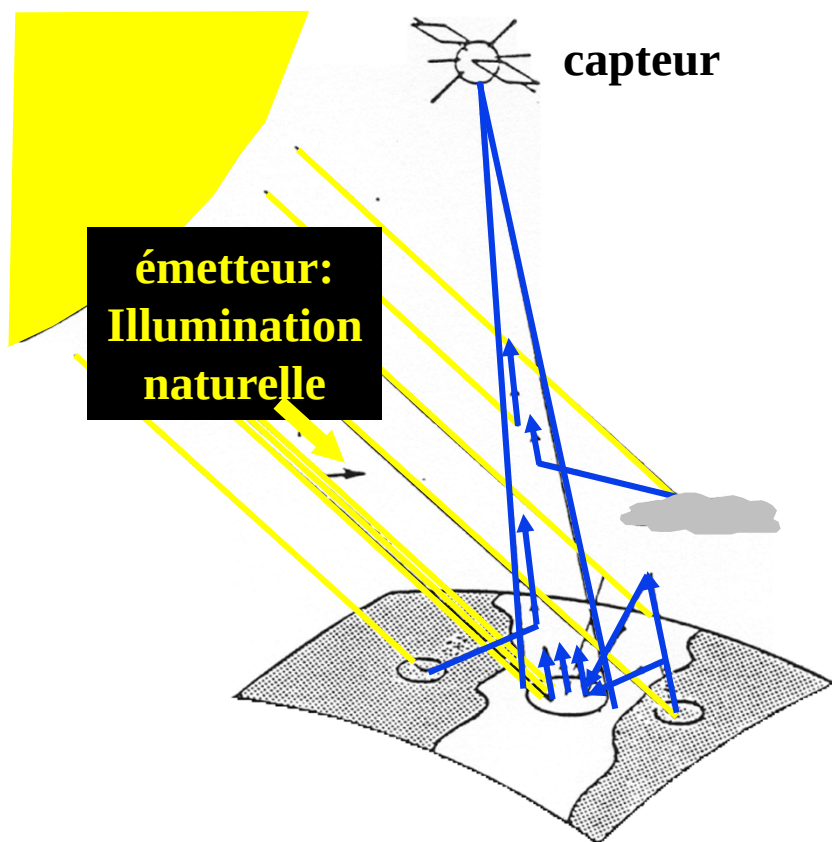
Transparence e.m.
(bandes radar)

Optique

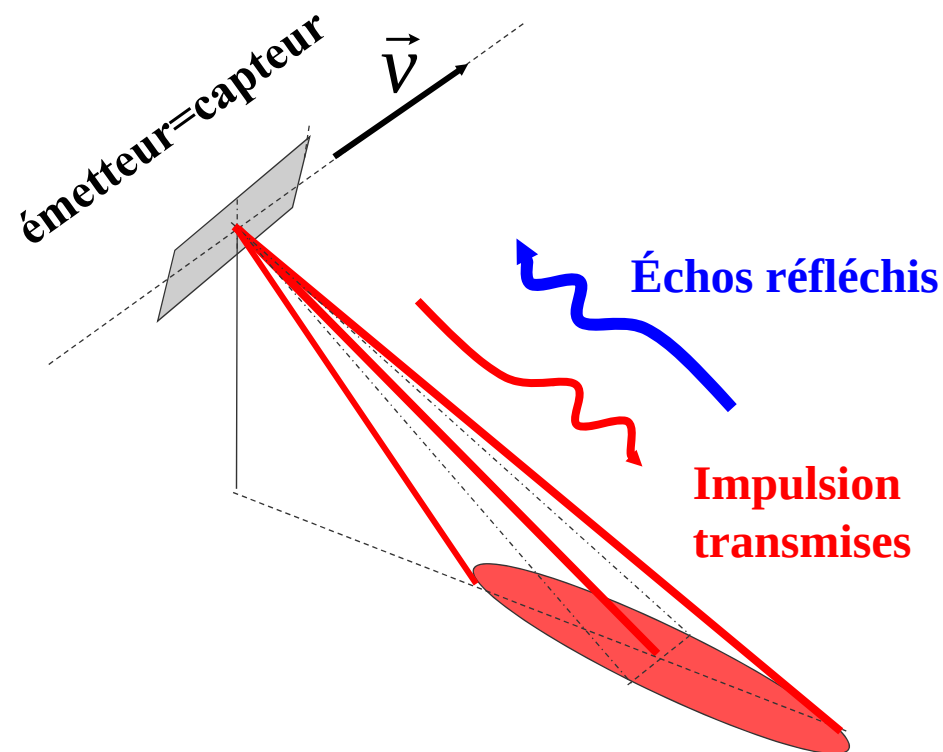
Principe de la télédétection (4/4)

→ Imagerie passive, imagerie active

OPTIQUE : *PASSIVE*

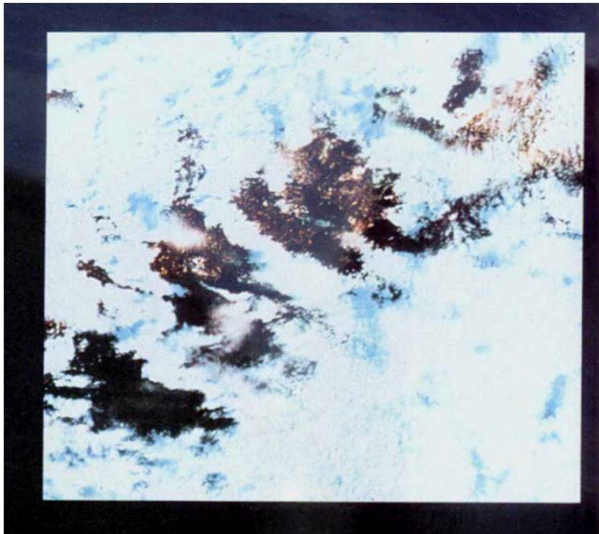
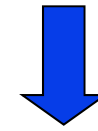


RADAR : *ACTIVE*

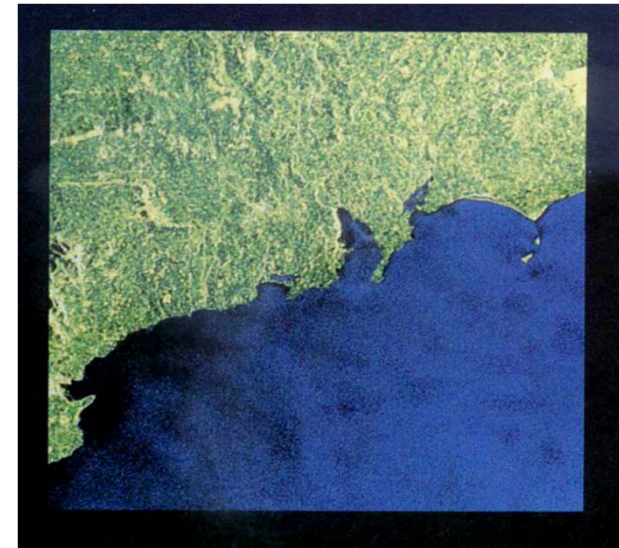


Onde radar →

≈ peu de sensibilité aux conditions meteo



Landsat TM *

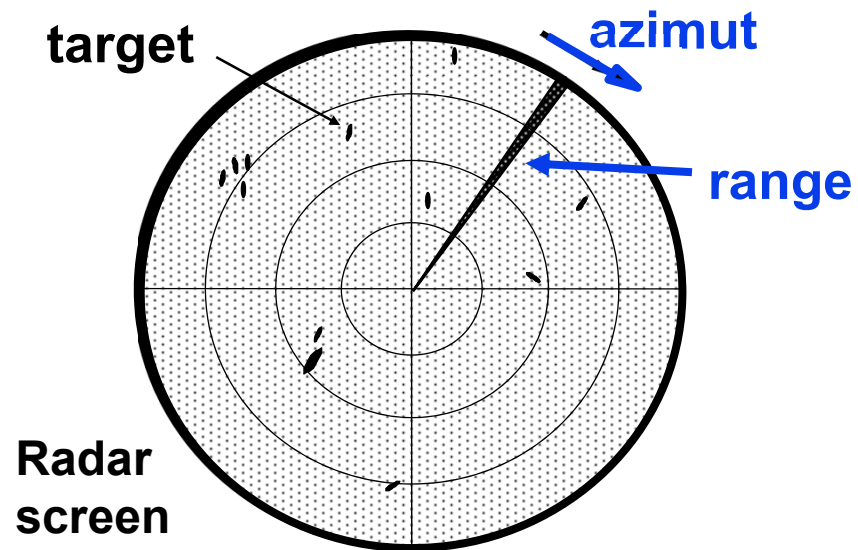
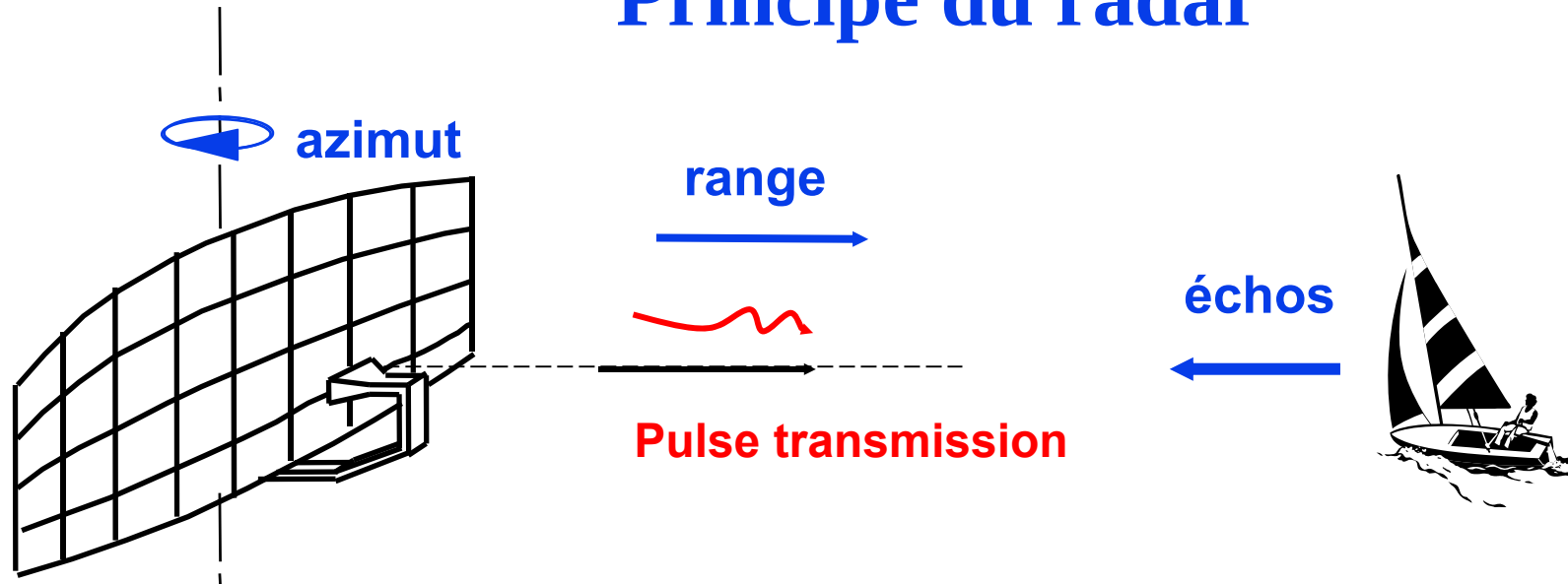


ERS (radar C band, 23° , VV)*

FONDAMENTAUX DU RADAR

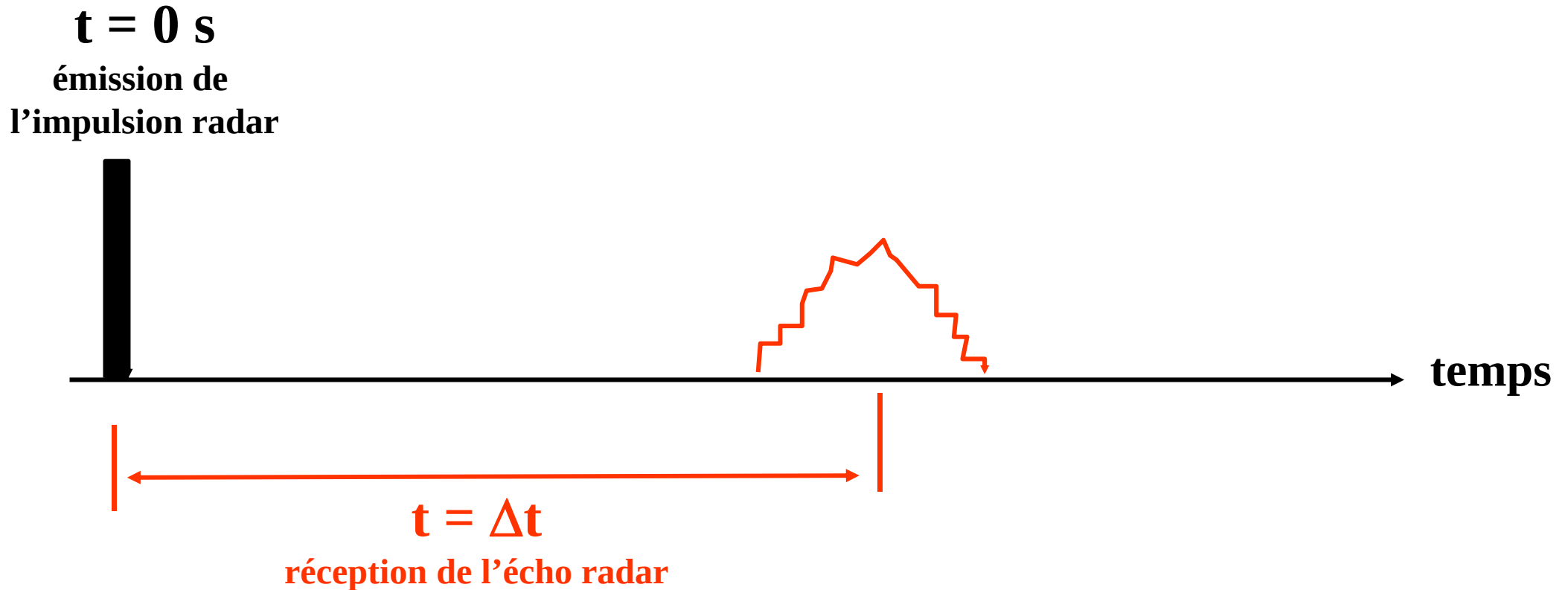
...

Principe du radar



- Les mesures de laps de temps entre émission d'une impulsion et retour de l'écho sont traduites en information de distance

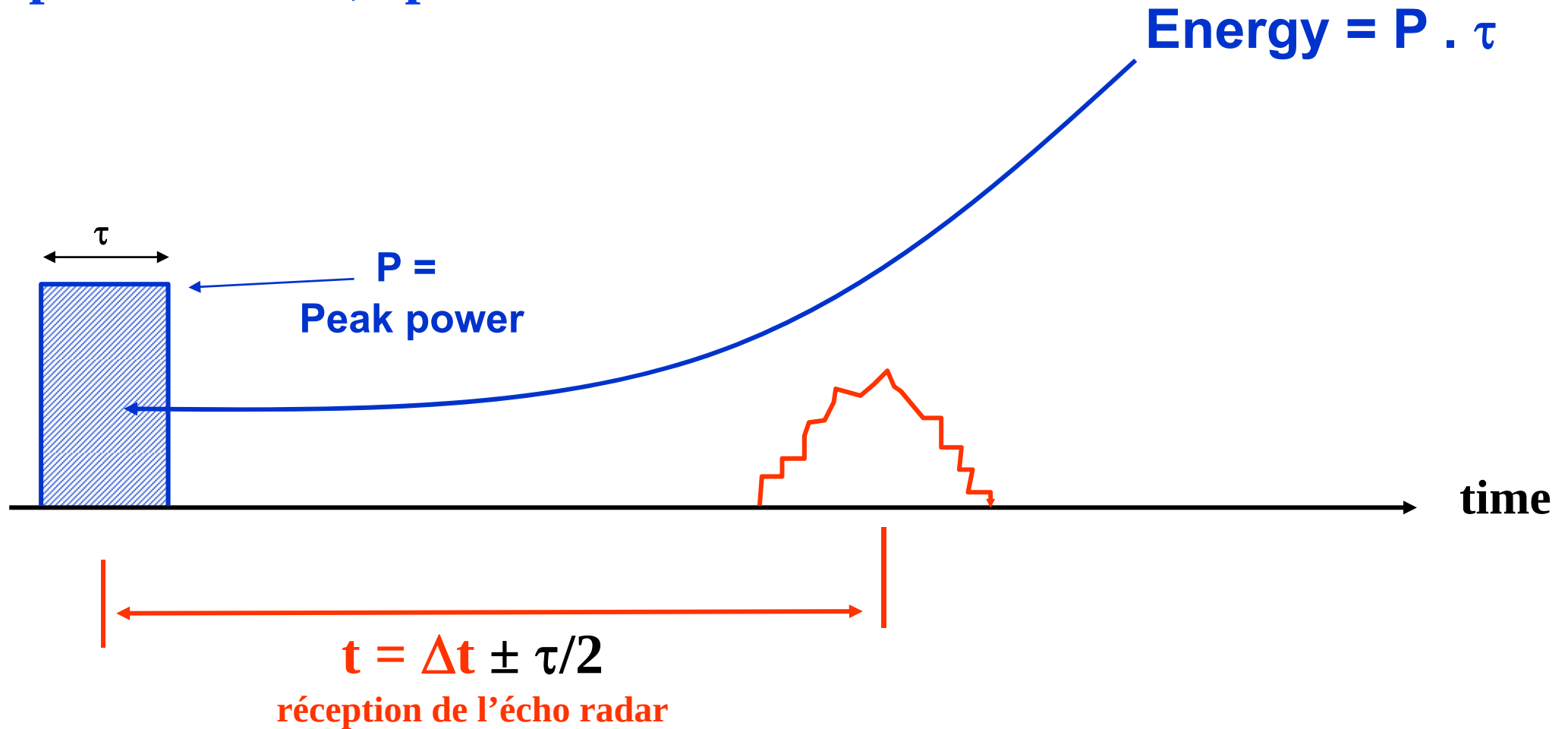
Principe du radar : chronogramme d'une impulsion (impulsion idéale, « sans épaisseur »)



→ Distance cible radar : $d = c.\Delta t/2$

→ **Mesure de temps** transformée en **information de distance**

Impulsion réelle, épaisseur τ



→ Distance Radar – Cible : $d = c.\Delta t/2 \pm c.\tau/2$

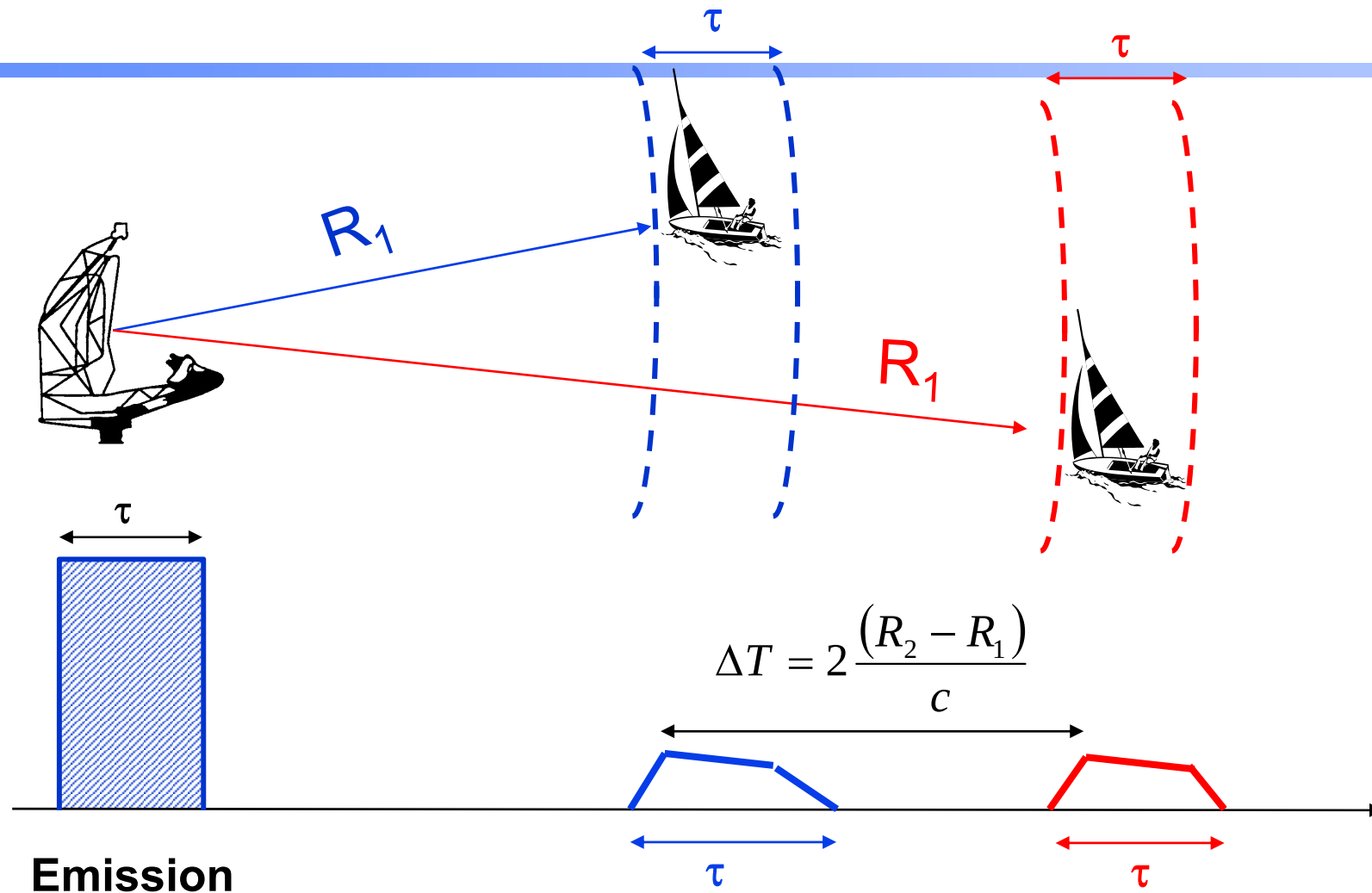
→ Mesure temps = mesure de distance measurement + incertitude



cnes

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

Résolution distance = incertitude sur discrimination en distance



Discrimination possible si : $\Delta T \geq \tau \Leftrightarrow \Delta R \geq c \cdot \tau / 2$

distance
cnes
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



**Résolution distance = incertitude sur
discrimination en distance →**

$$\pm c \cdot \tau / 2$$

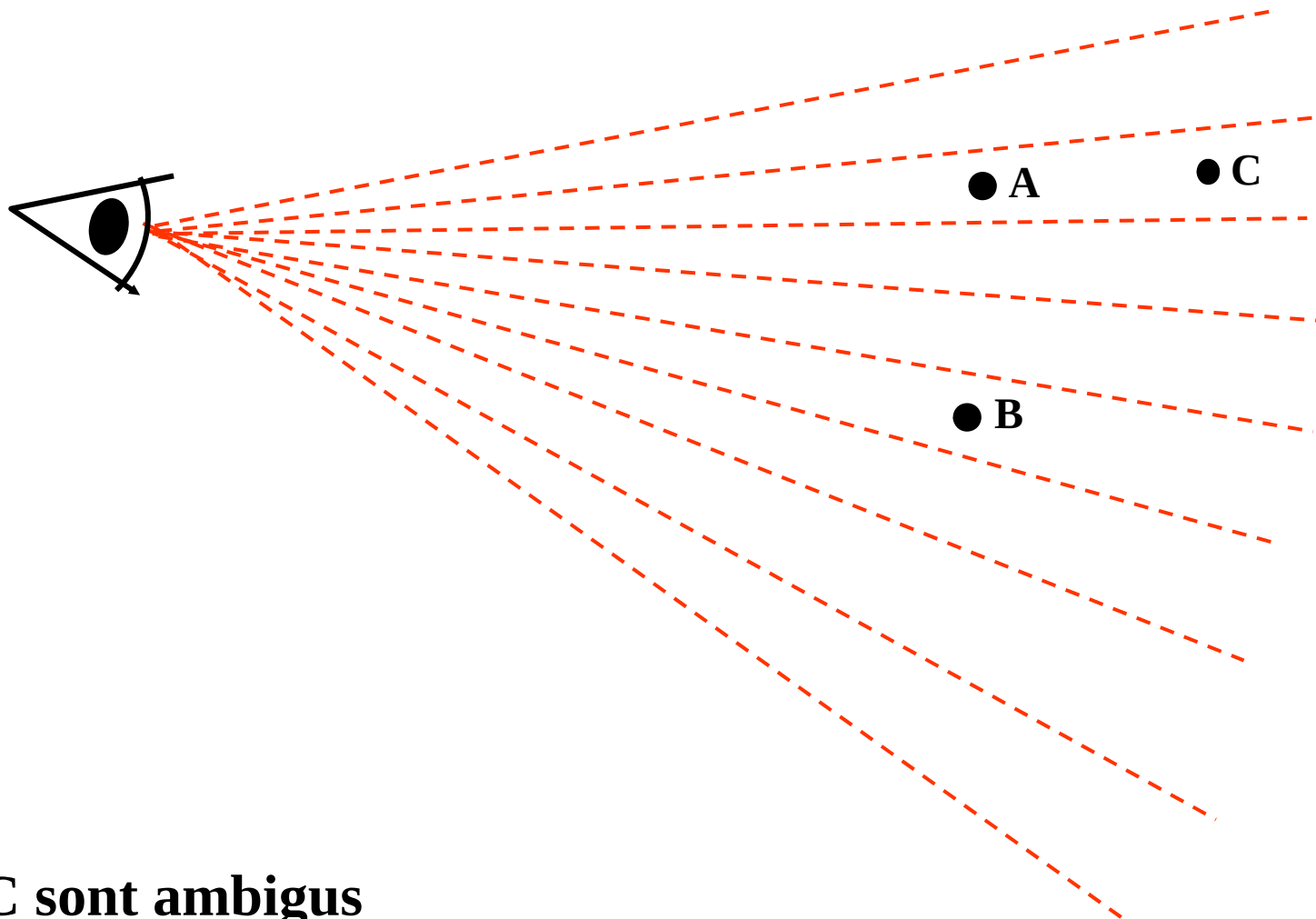
$$3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$30 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$


$$4500 \text{ m}$$

Le monde tel qu'il est perçu

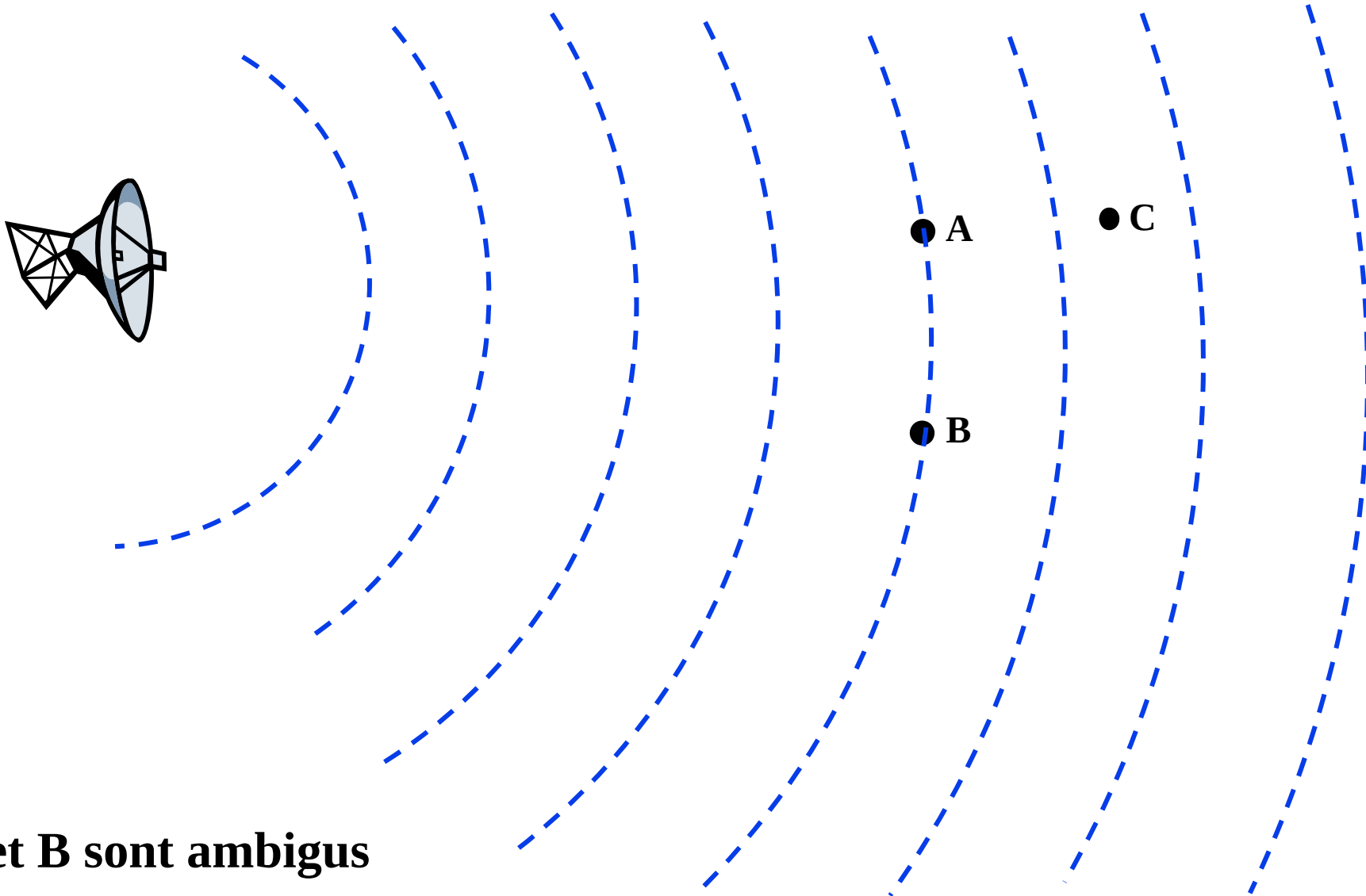
→ Par la vision optique : échantillonnage angulaire



A et C sont ambigus

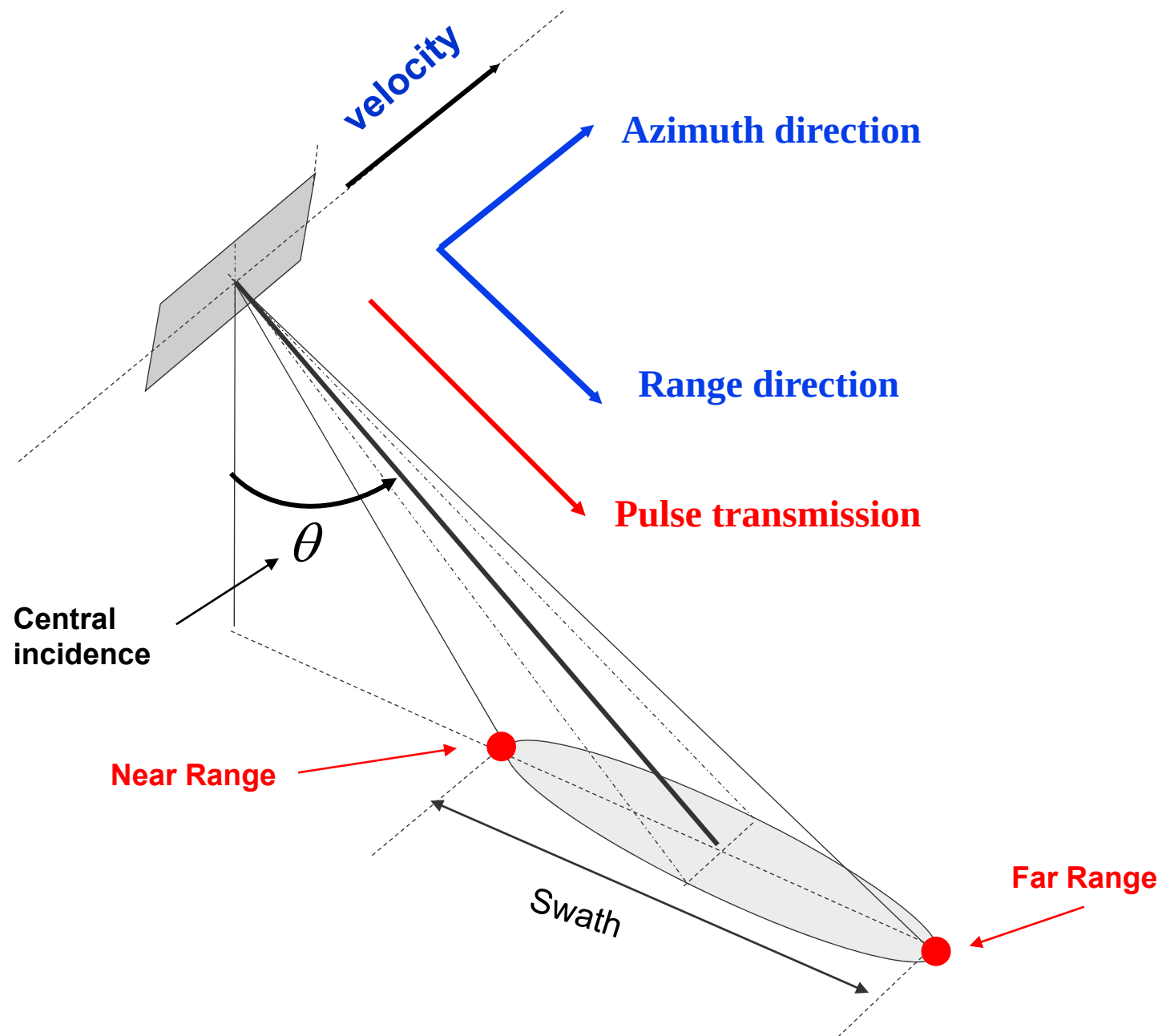
Le monde tel qu'il est perçu

→ Par la vision radar : échantillonnage en distance



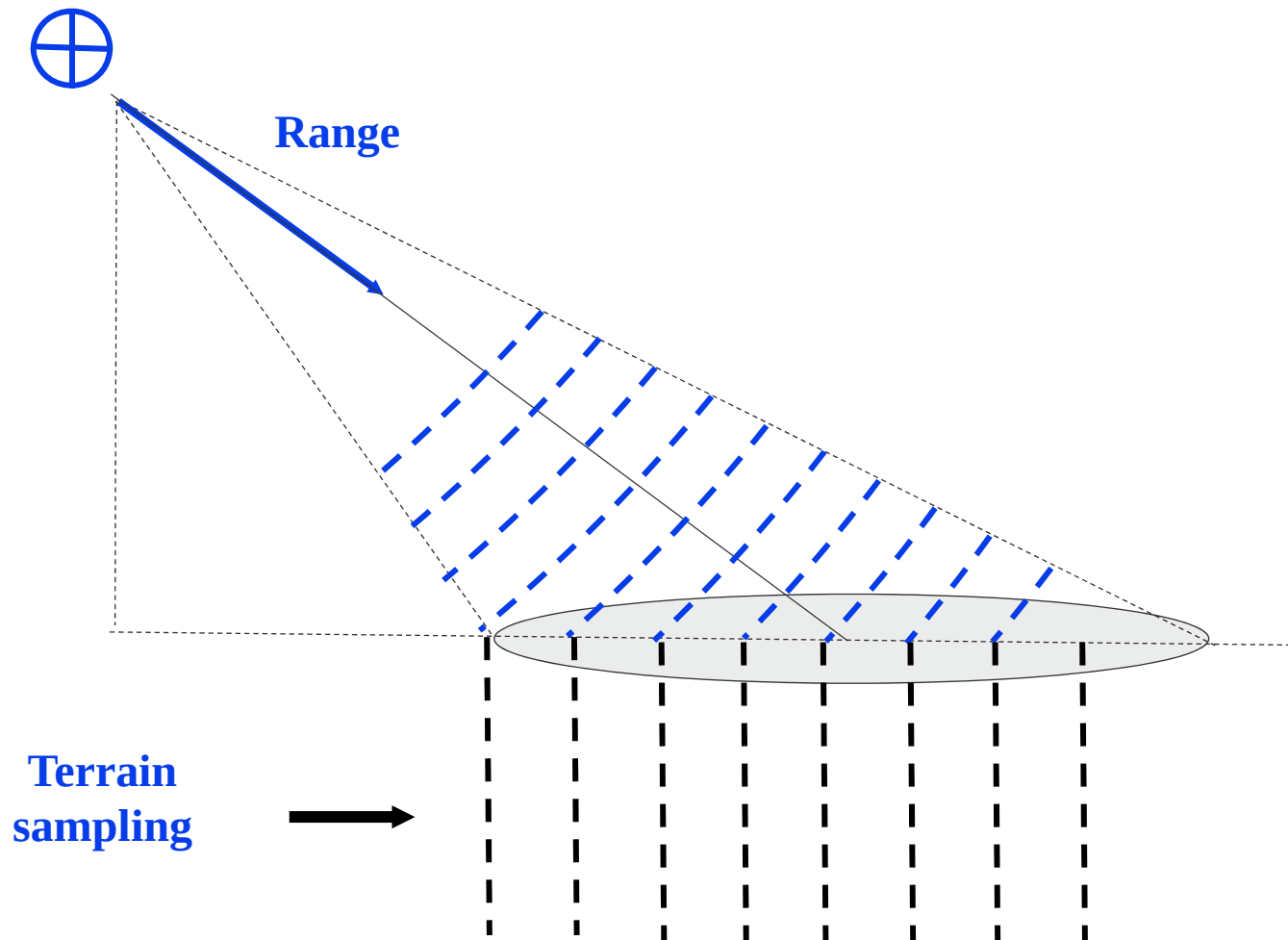
A et B sont ambigus

Géométrie du radar imageur



Géométrie du radar imageur

Azimut



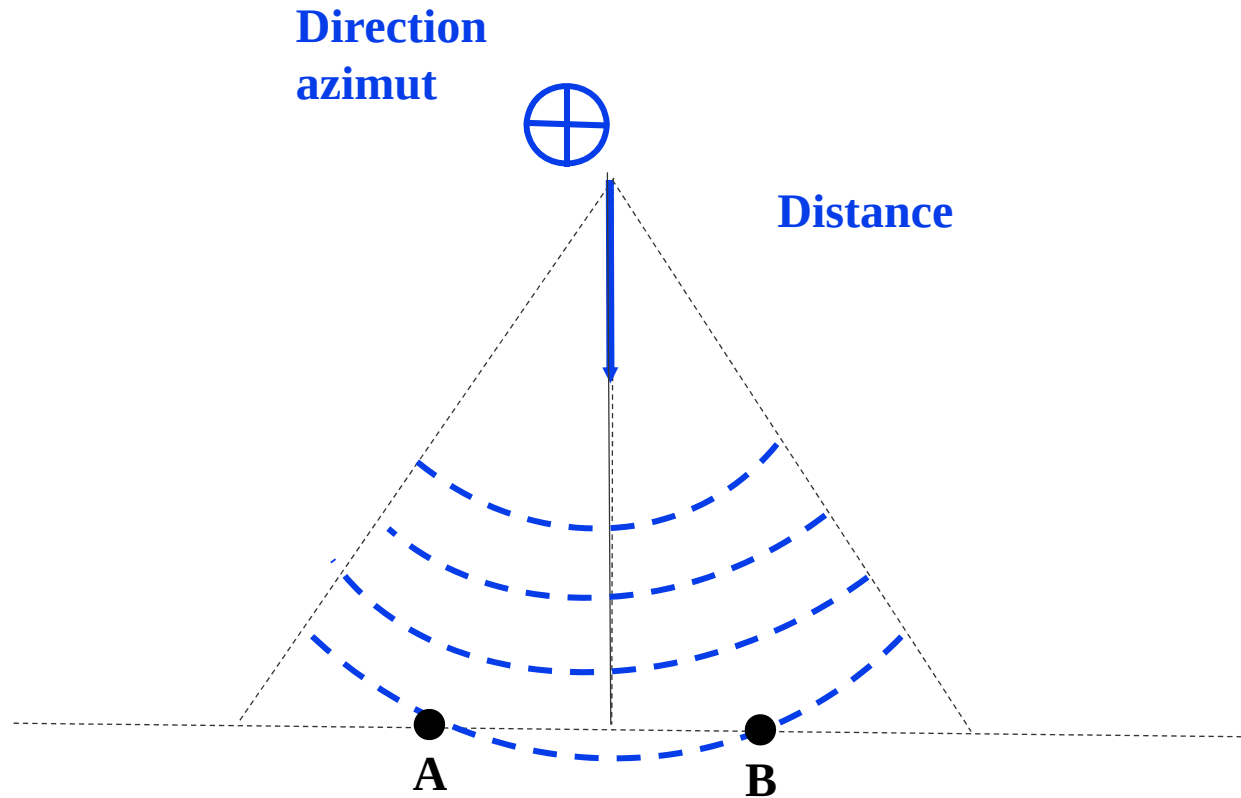
Géométrie du radar imageur

... Que se passerait-il si le radar fonctionnait en visibilité nadir ?



CNES

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

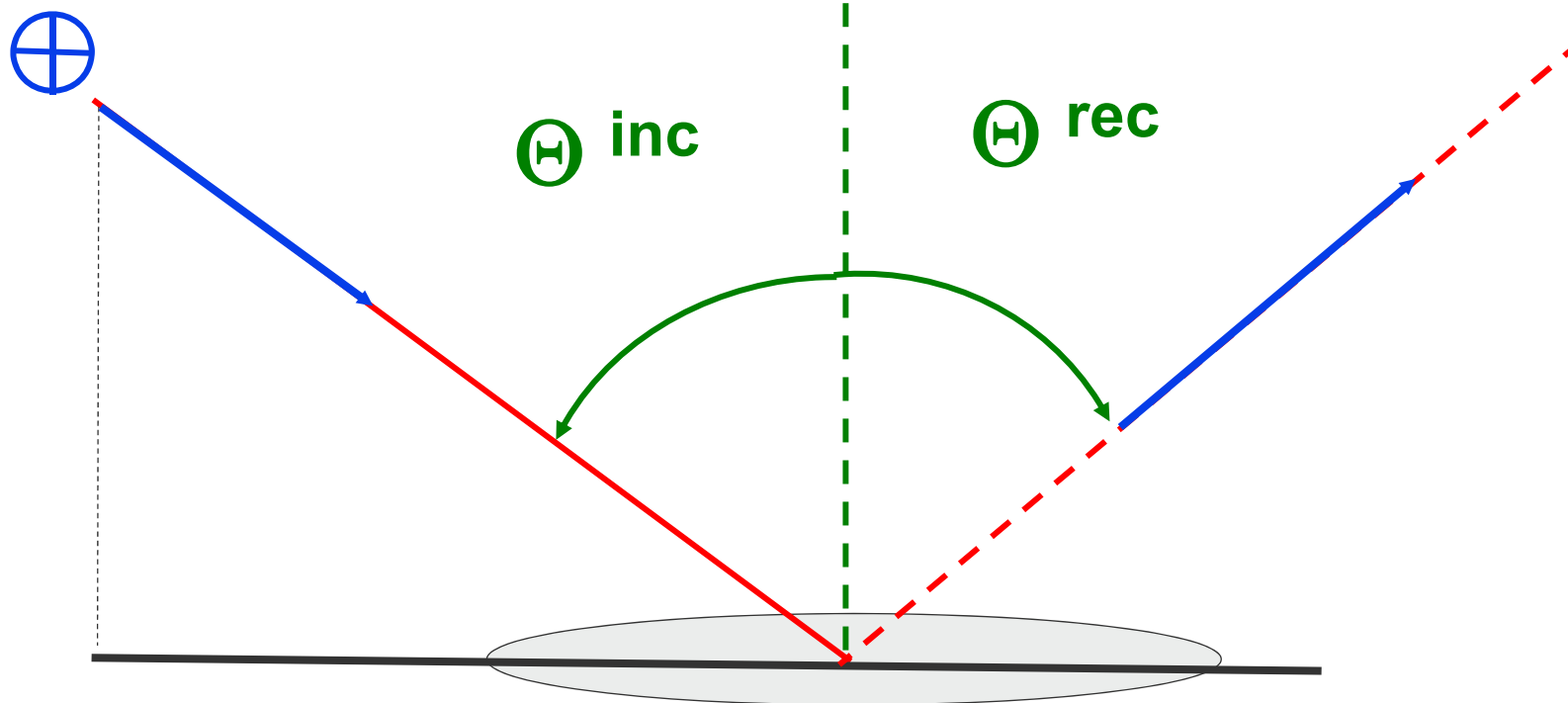


A and B sont ambigus

Géométrie du radar imageur

... Le radar imageur doit fonctionner en slant range !

Direction azimuth

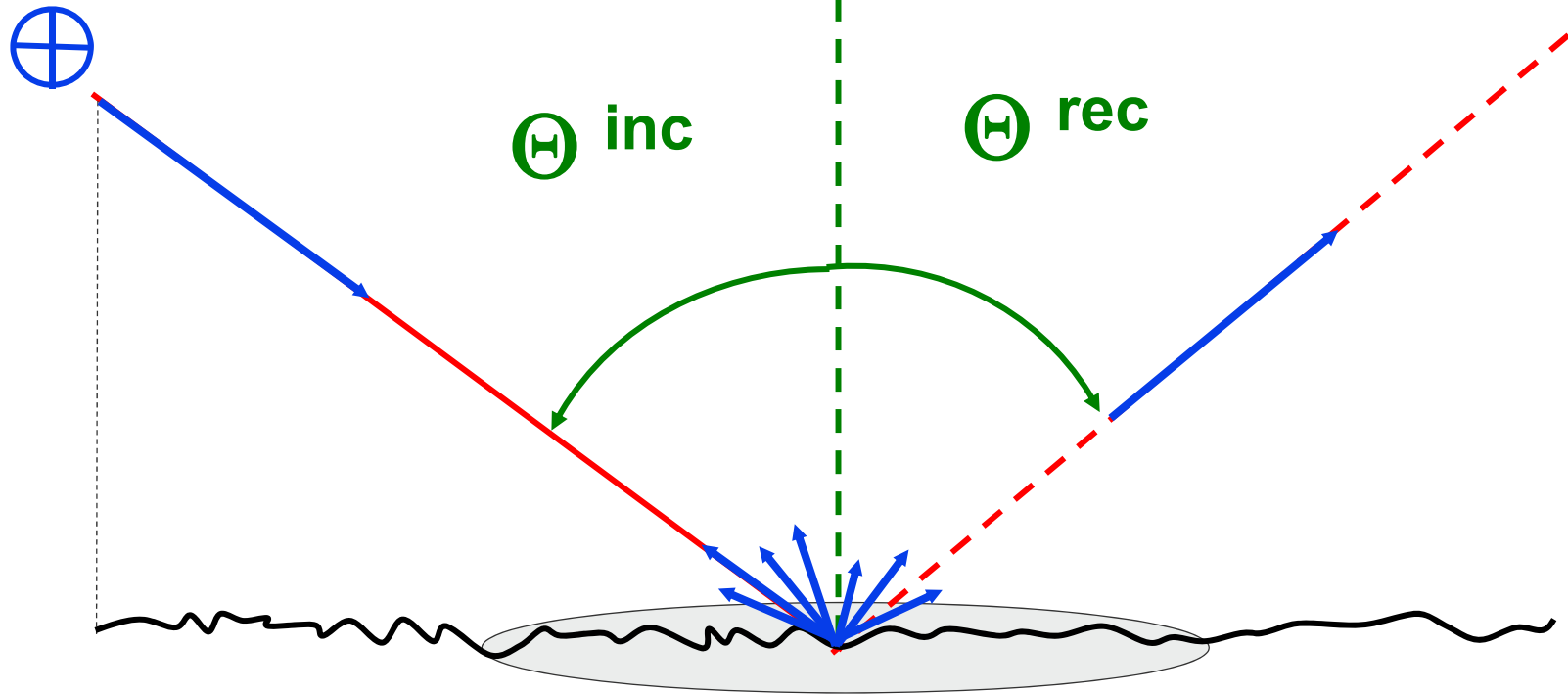


... et l'énergie réfléchie se propage principalement dans une direction différente de la direction d'observation du radar ...

Géométrie du radar imageur

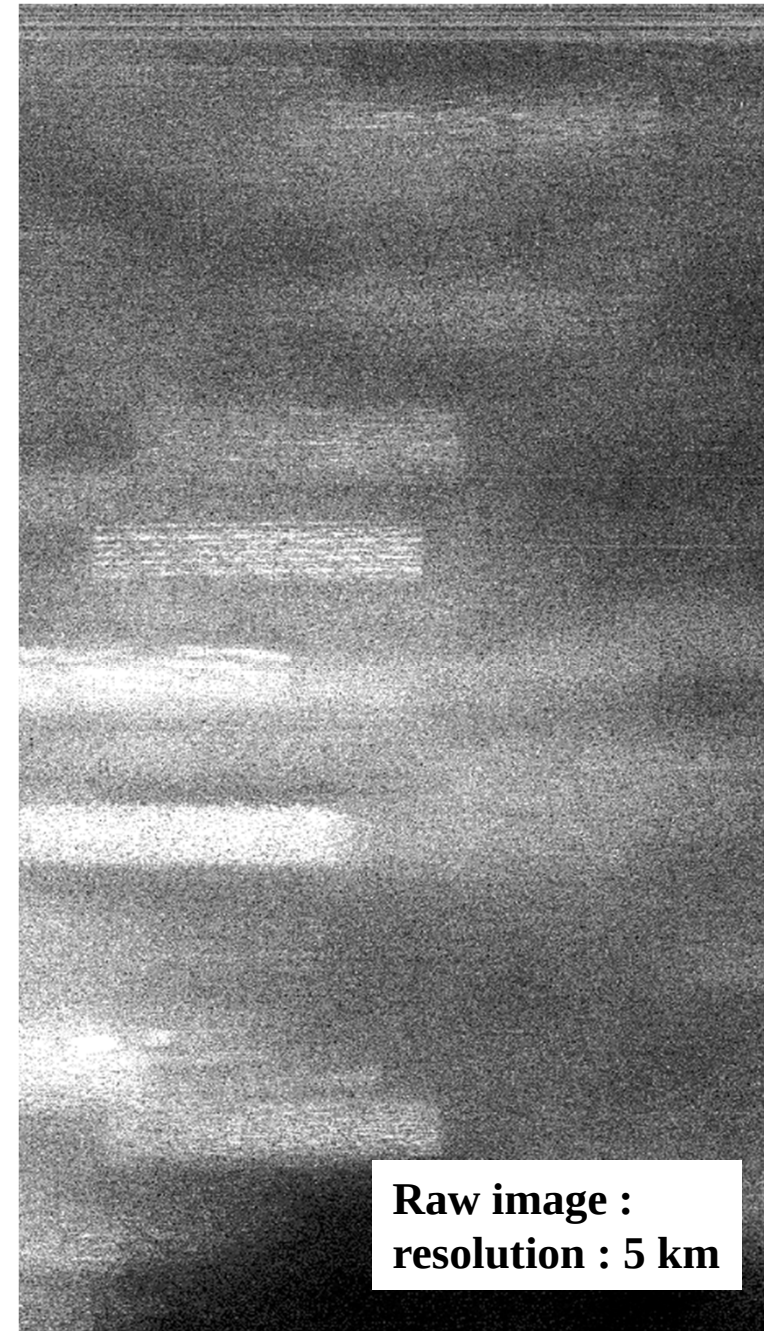
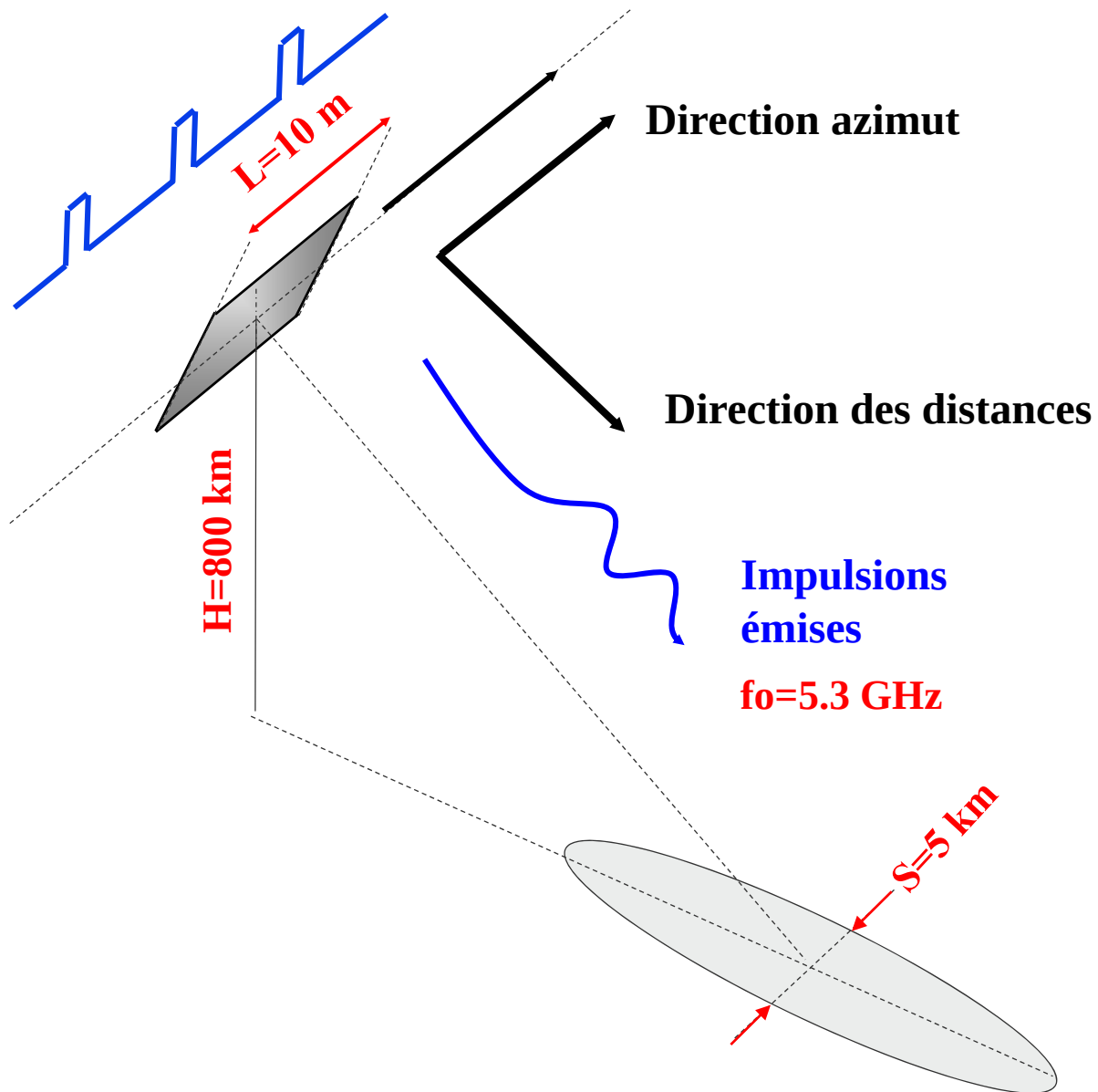
... Le radar imageur doit fonctionner en slant range !

Direction azimuth

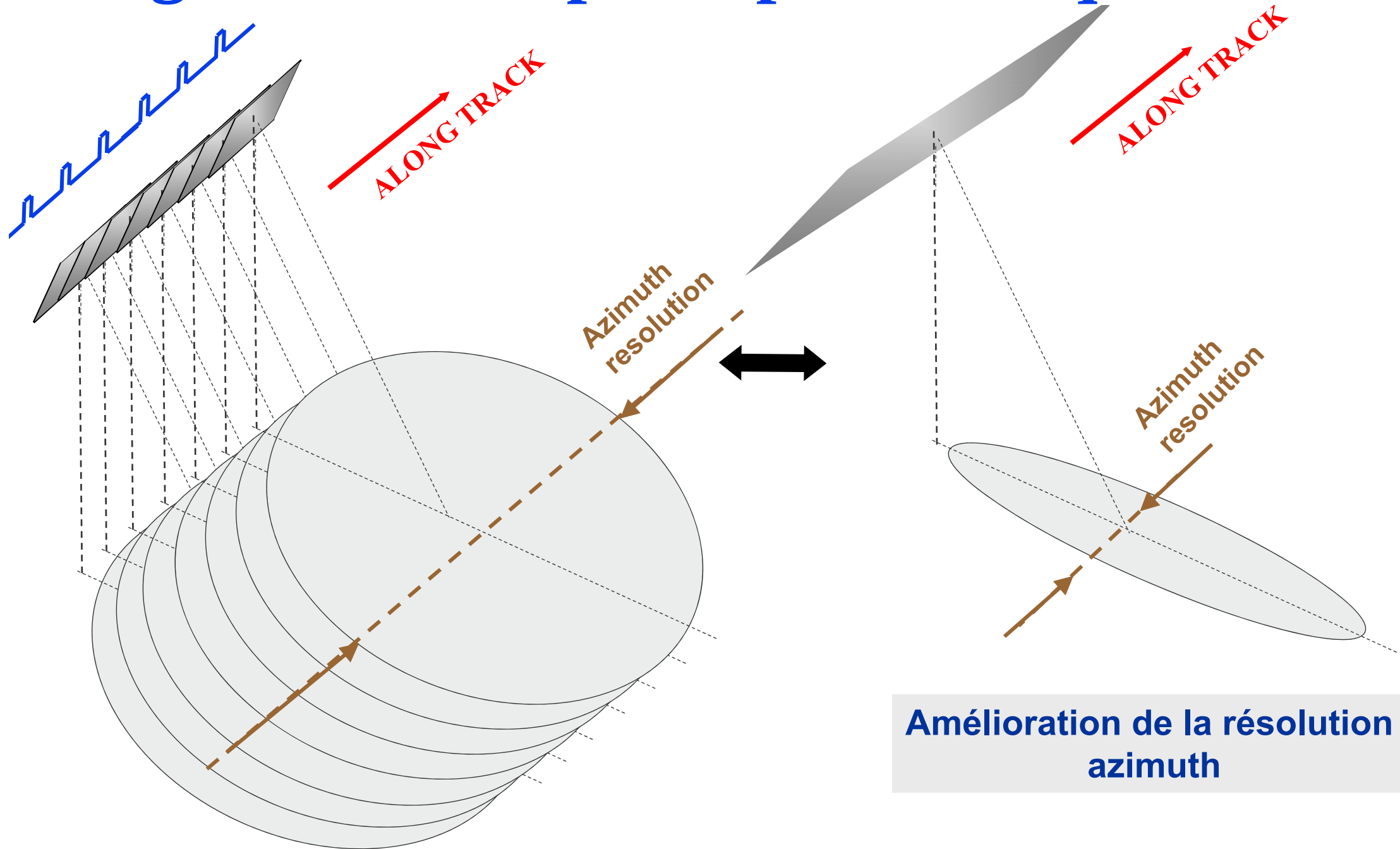


... Seulement une partie infime de l'énergie revient vers l'antenne du radar → criticité du bilan de liaison

Fabrication d'une image radar



Imagerie radar : principe de l'acquisition



Azimuth



Image brute



Compression distance

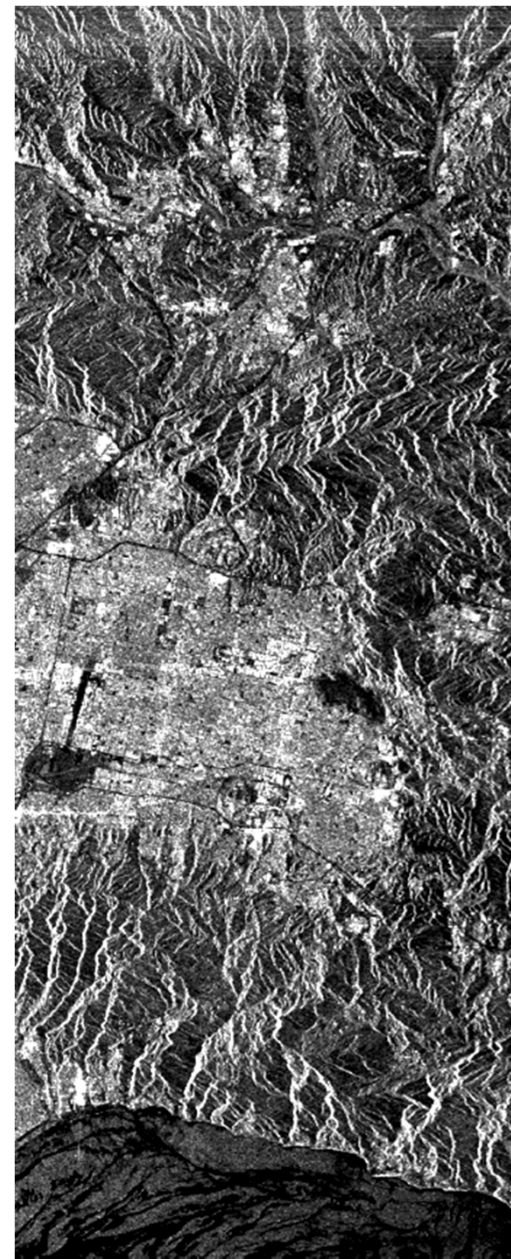
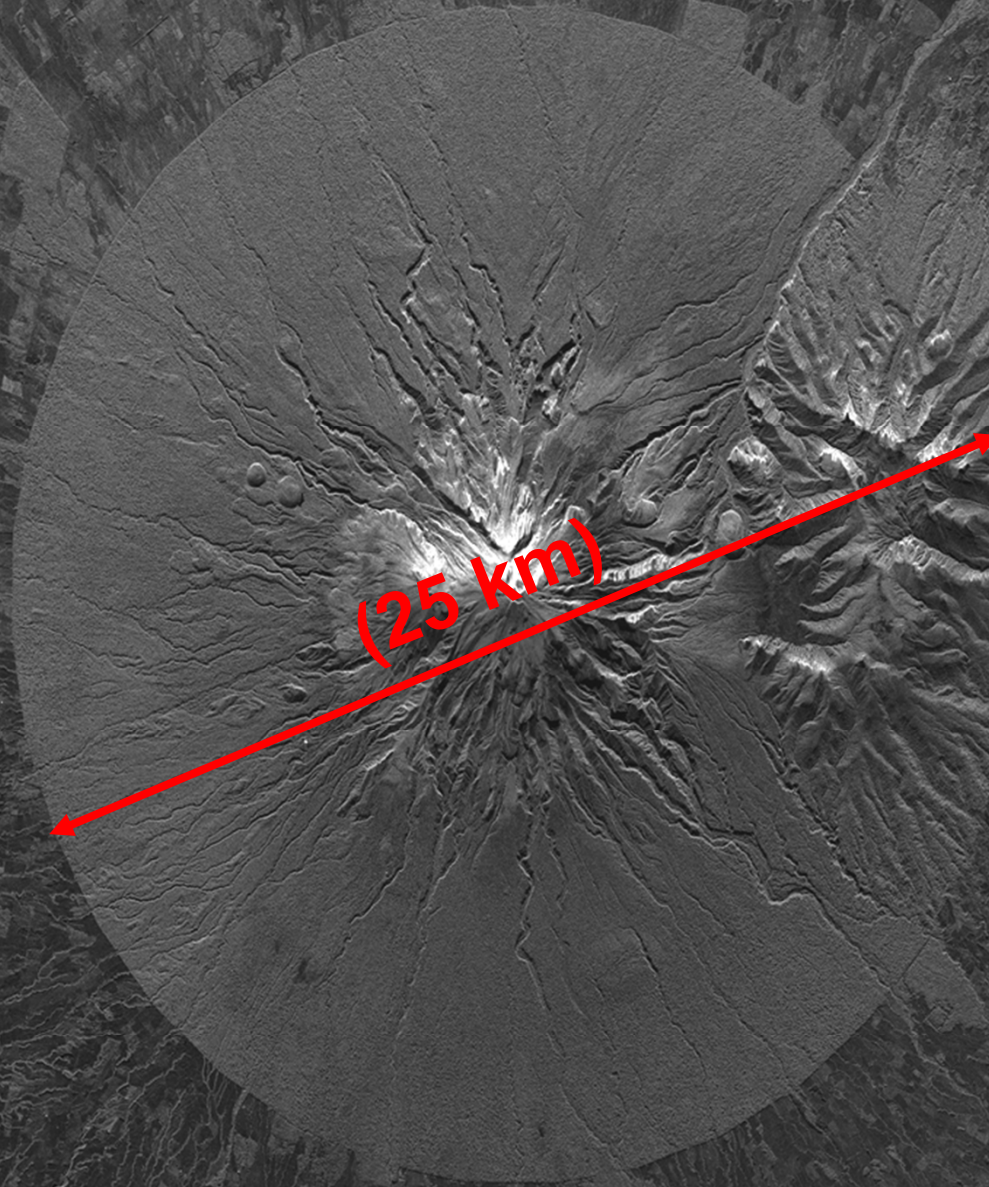


Image résolué

Antenne à Synthèse d'Ouverture →

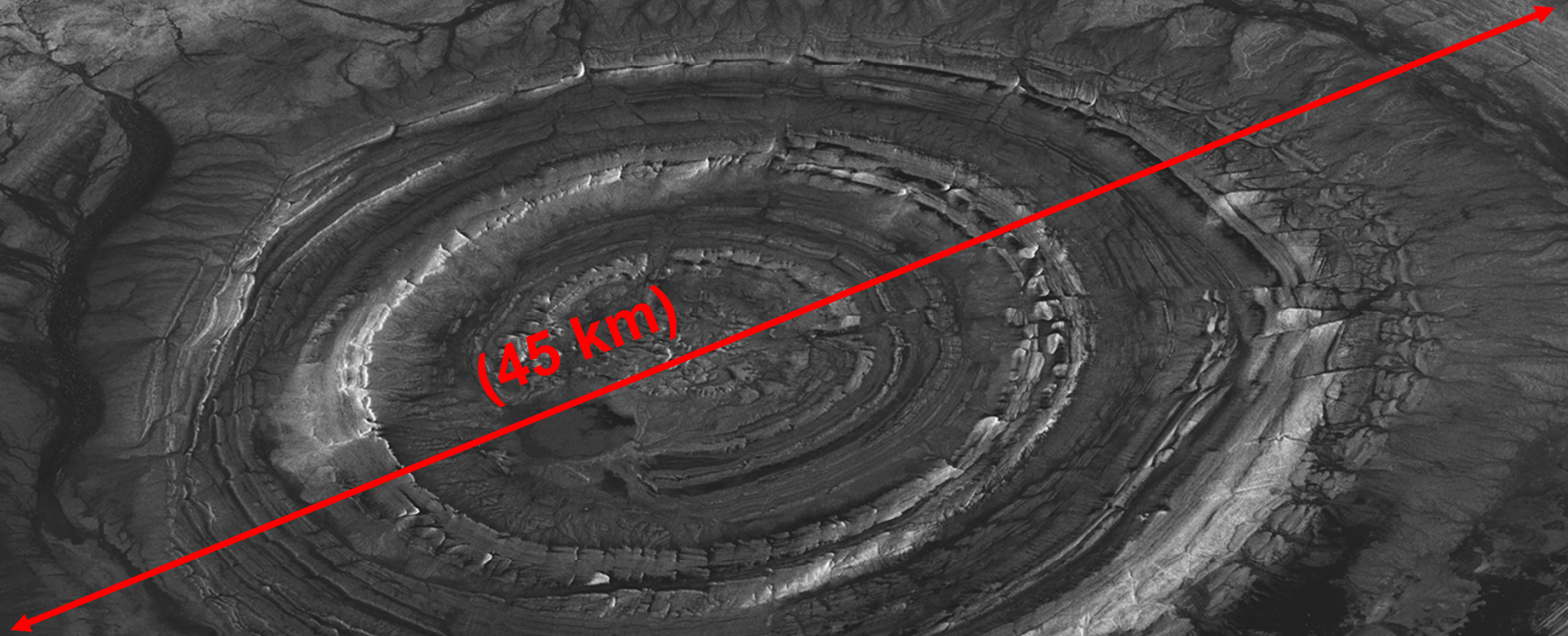
**... Images réelles à partir
d'antennes virtuelles ...**

Effet du relief sur le radar imageur SAR

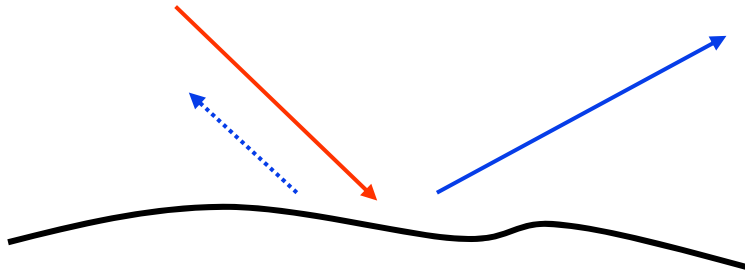


(Mont Egmont, New-Zealand, Nord) – © TERRASAR-X

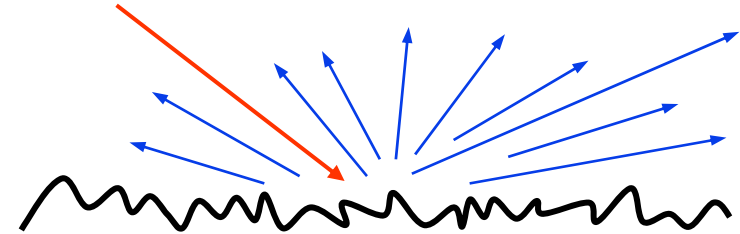
Effet du relief sur le radar imageur SAR



Effet de rugosité sur le radar imageur SAR

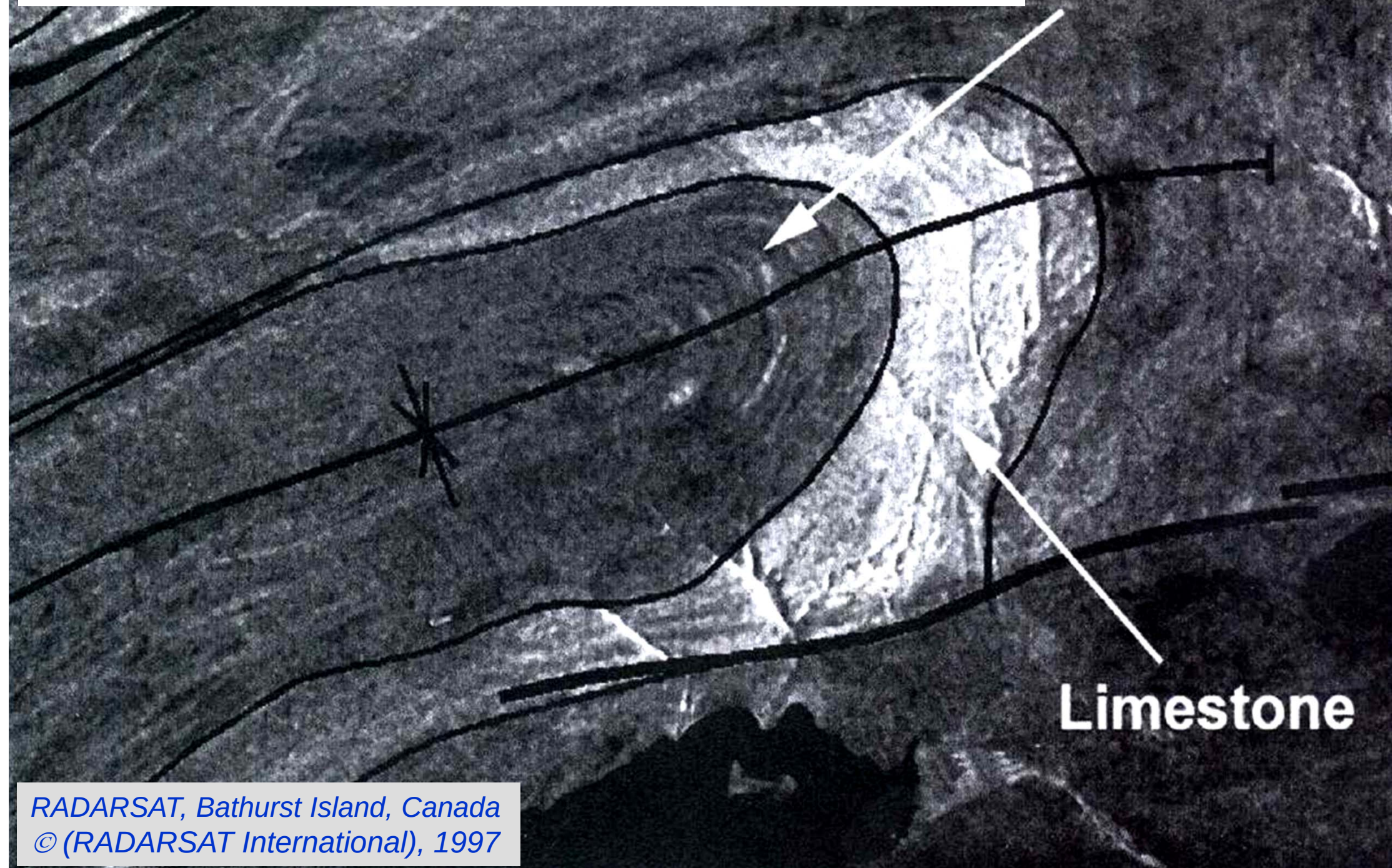


Faible rétrodiffusion
→ faible radiométrie



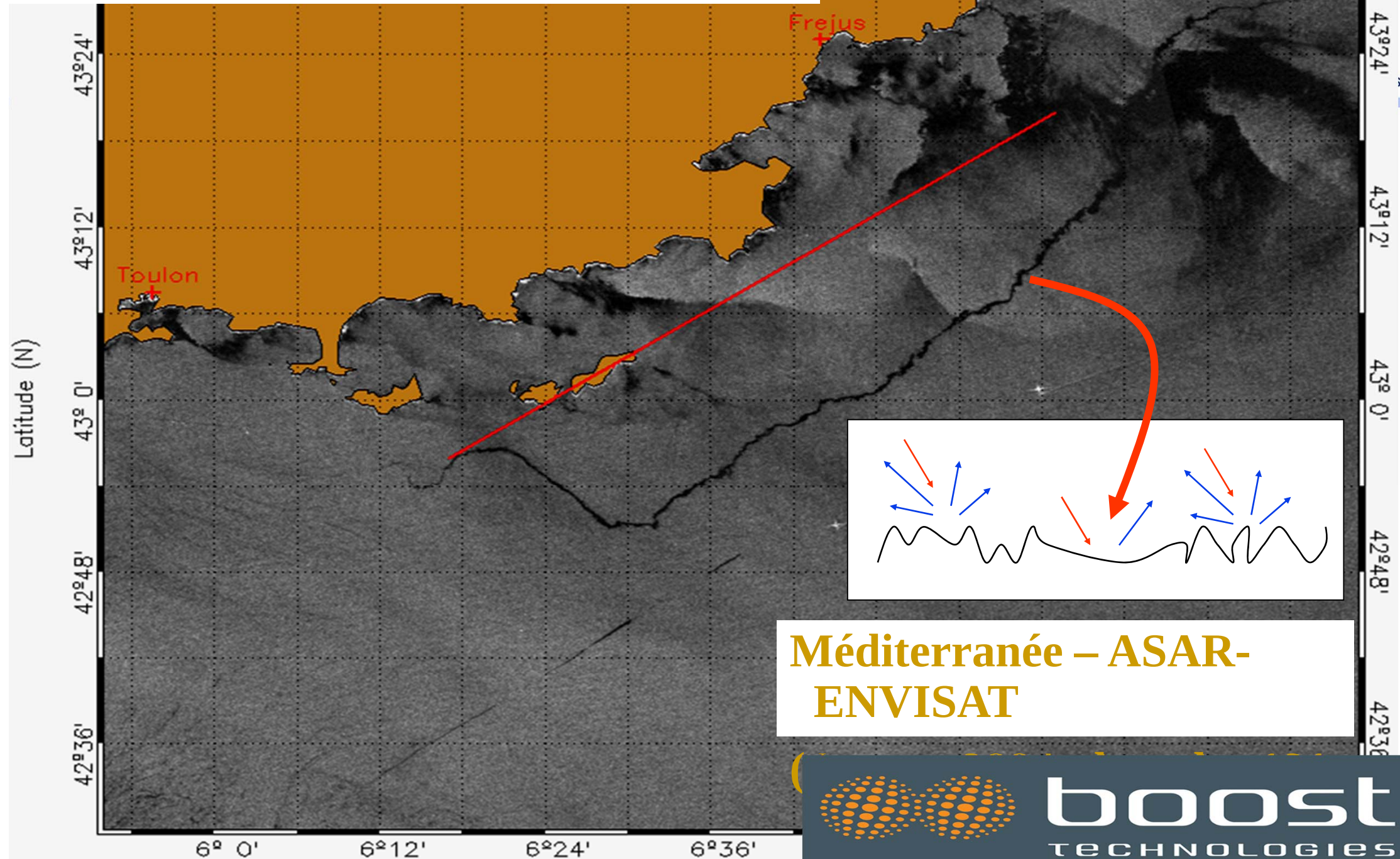
Forte rétrodiffusion
→ forte rugosité

Effet du relief sur le radar imageur SAR

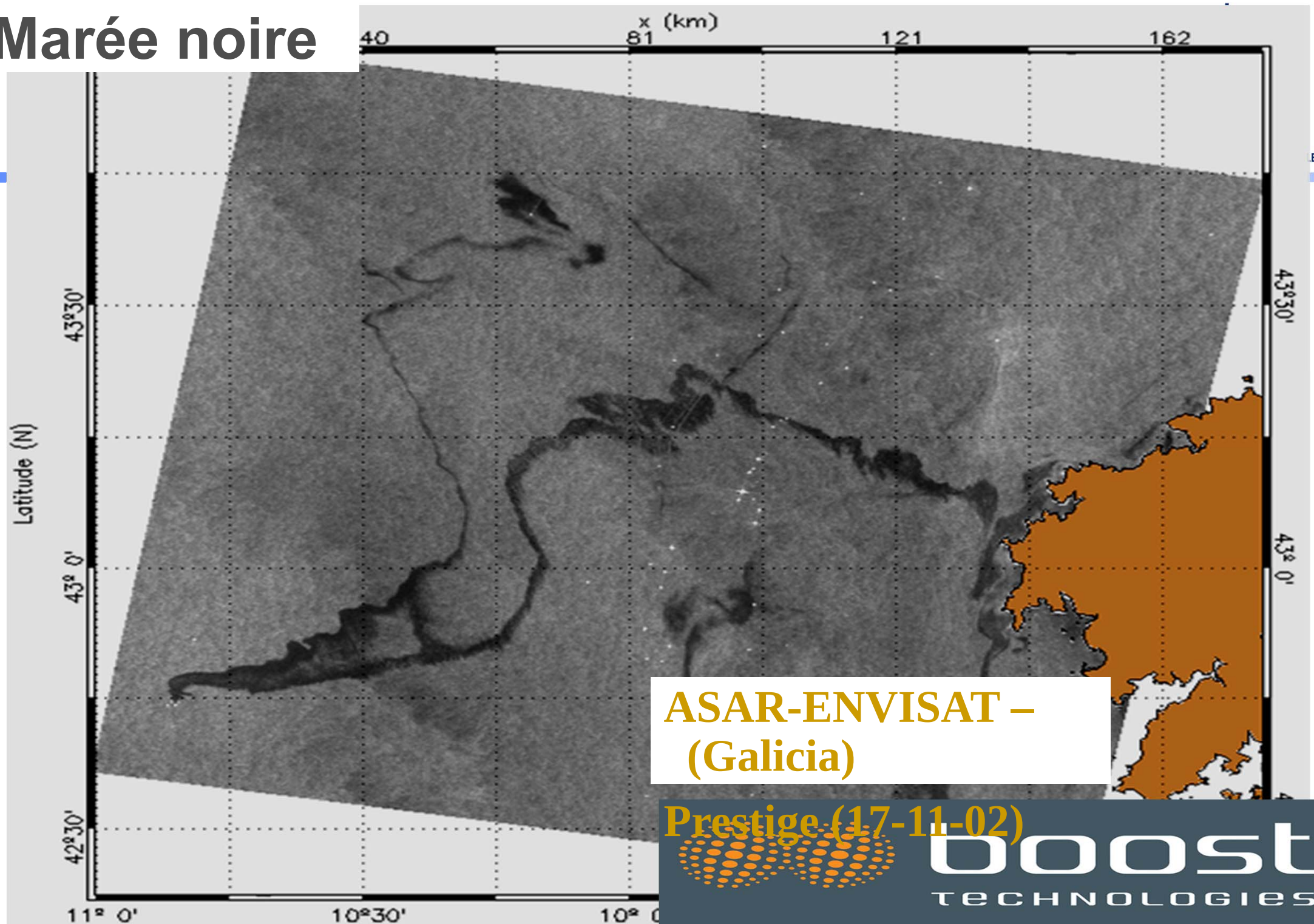


*RADARSAT, Bathurst Island, Canada
© (RADARSAT International), 1997*

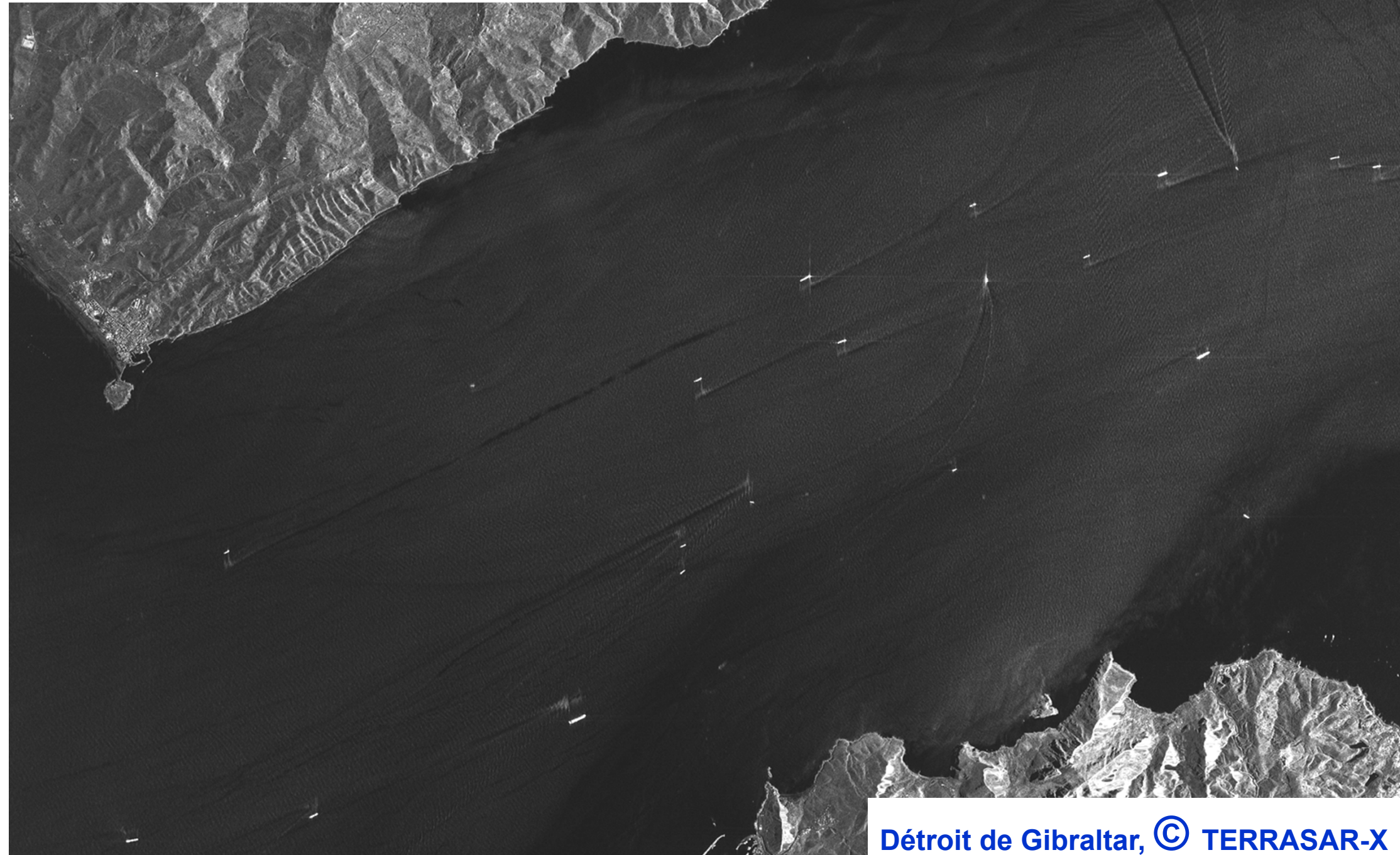
Rugosité de surface (mer)



Marée noire

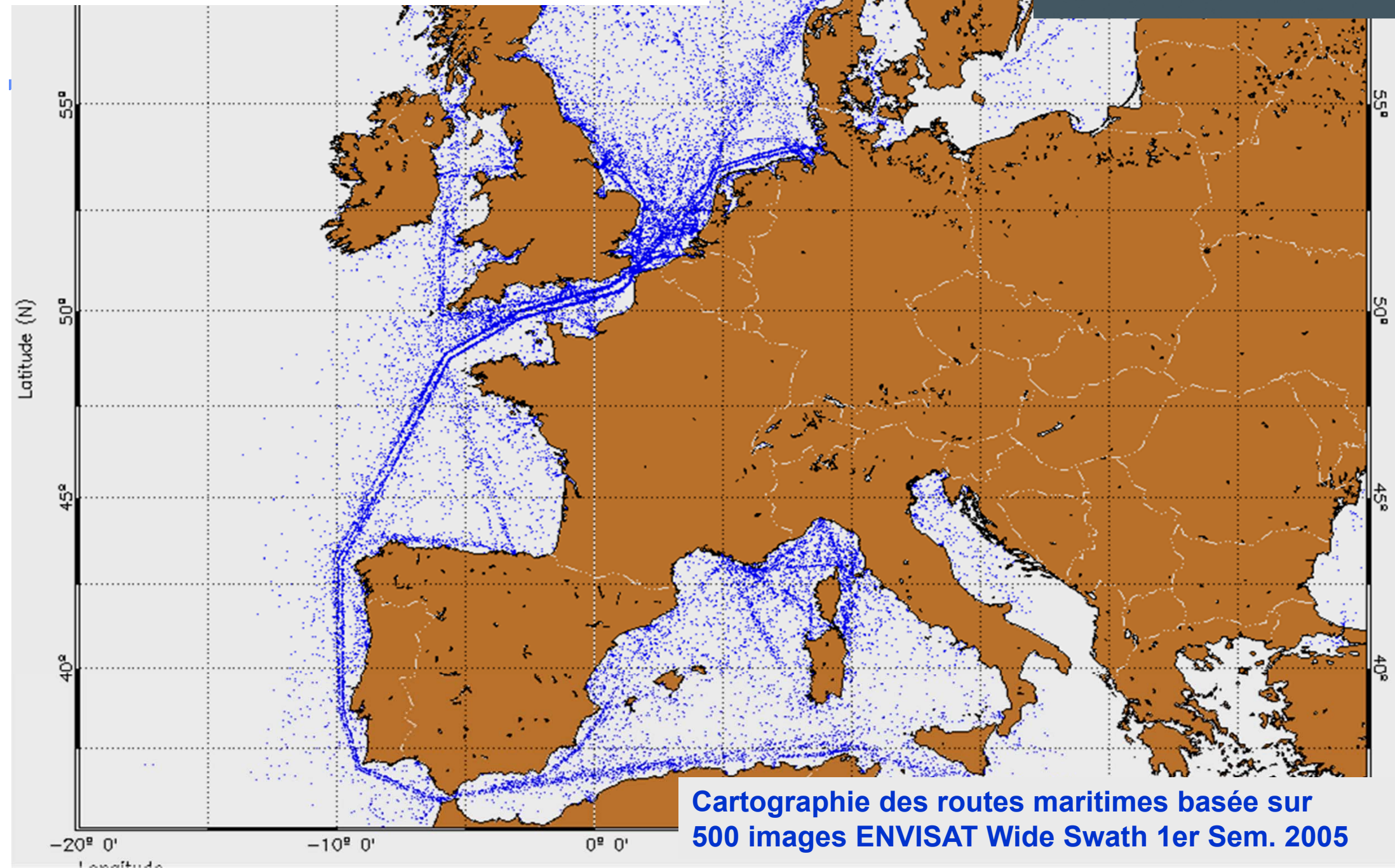


Signatures de bateaux

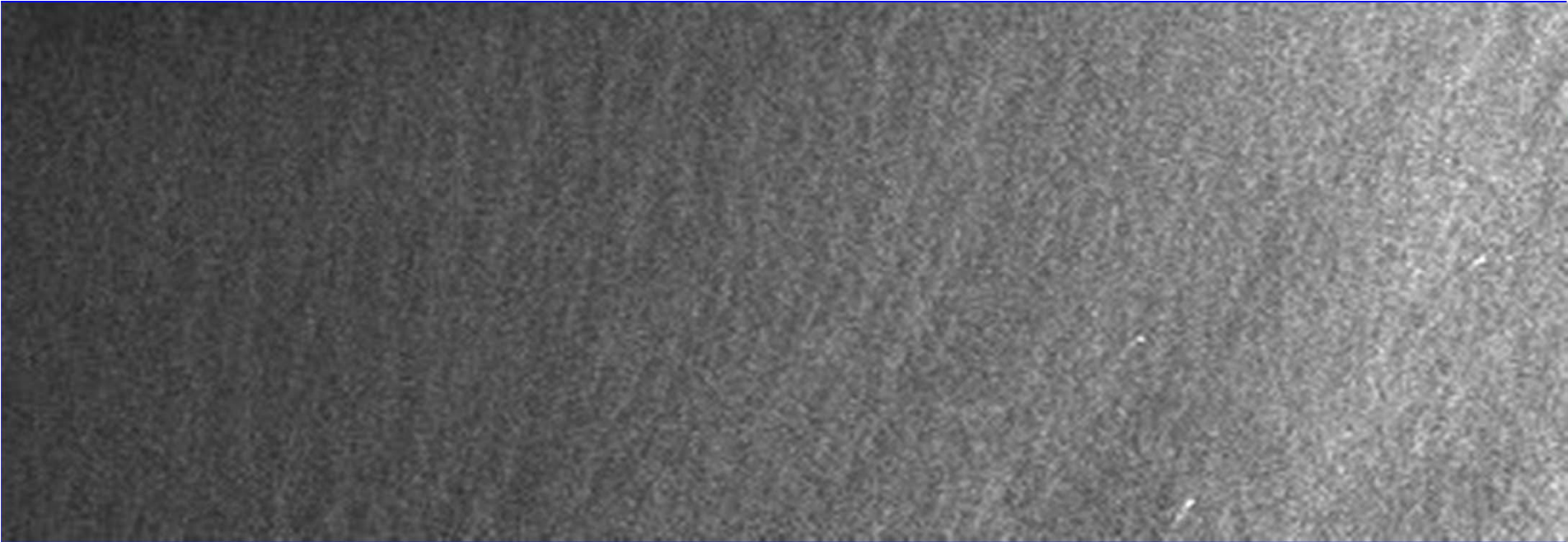


Détroit de Gibraltar, © TERRASAR-X

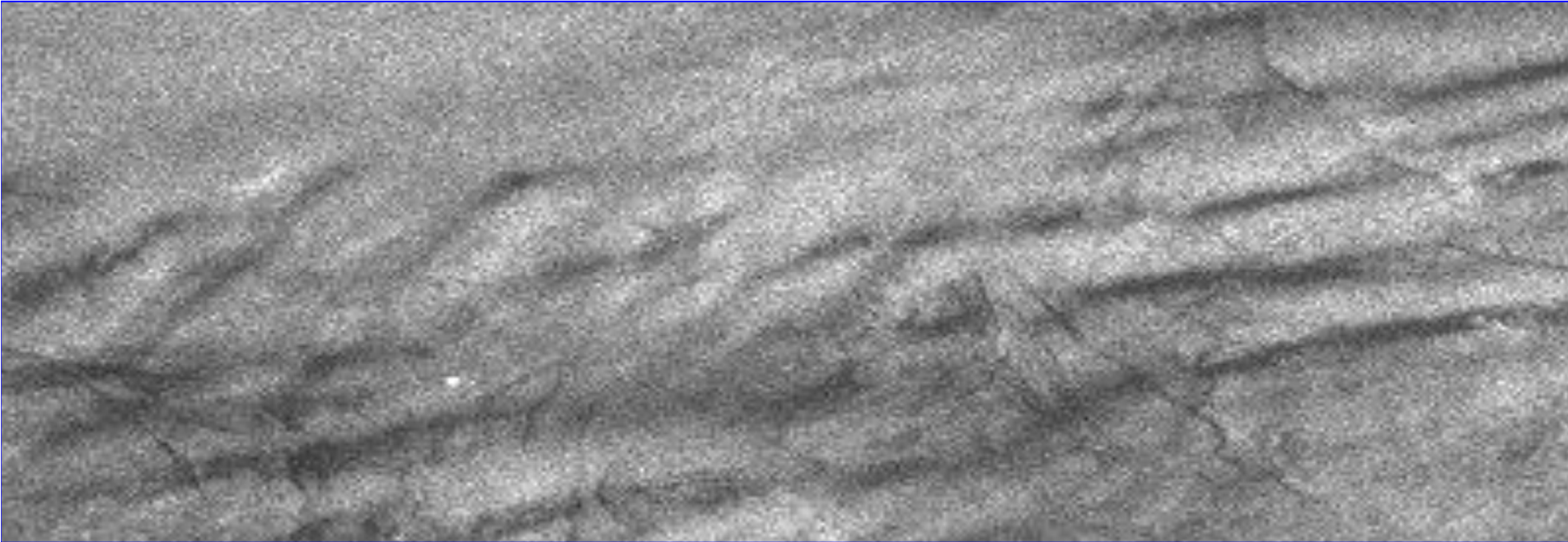
Signatures de bateaux



Bateaux et signatures de mer : Impact de l'état de mer

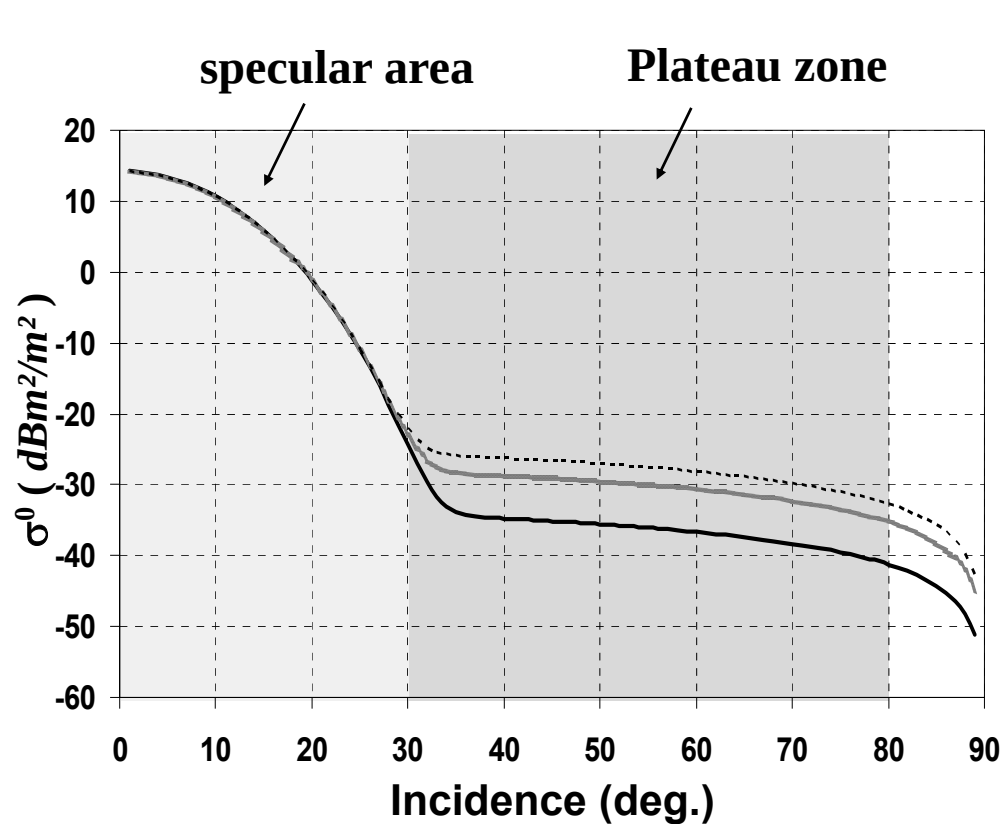


Mer lisse

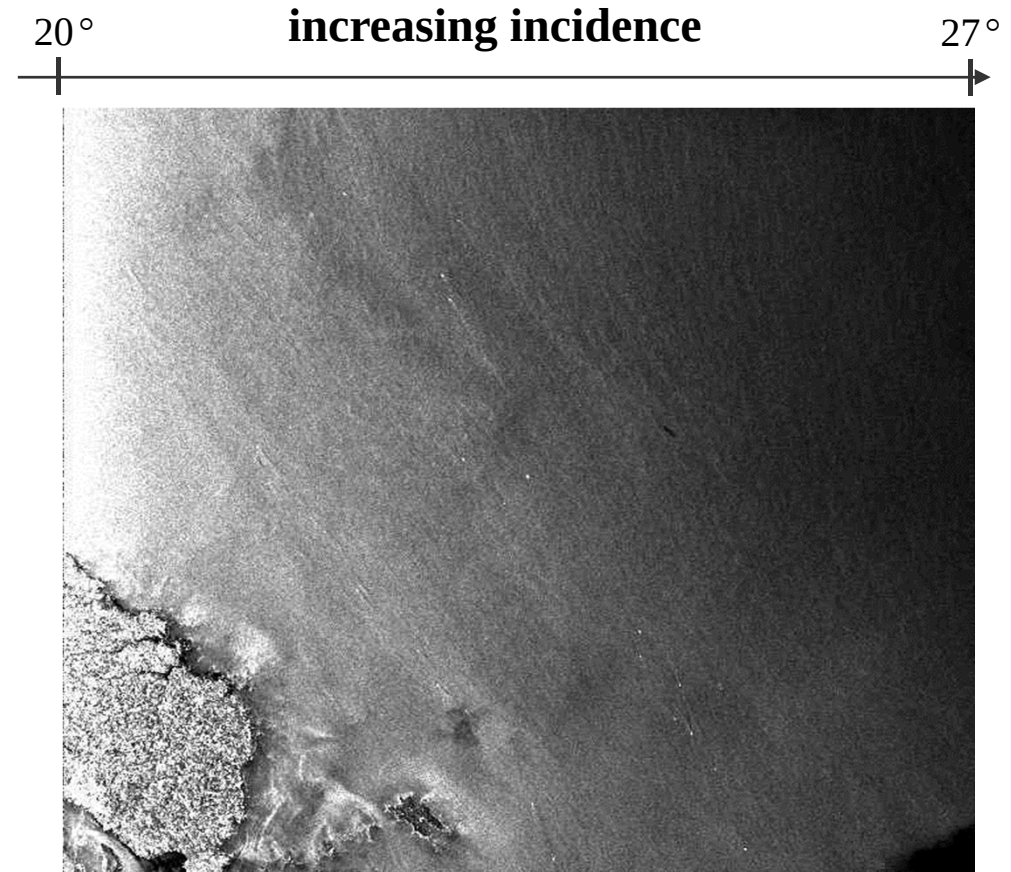


**Mer
rugueuse**

Signatures de mer : Influence de la fréquence et de l'incidence



- $f=1.3$ GHz (bande L)
- $f=5.3$ GHz (bande C)
- - - $f=9.6$ GHz (bande X)



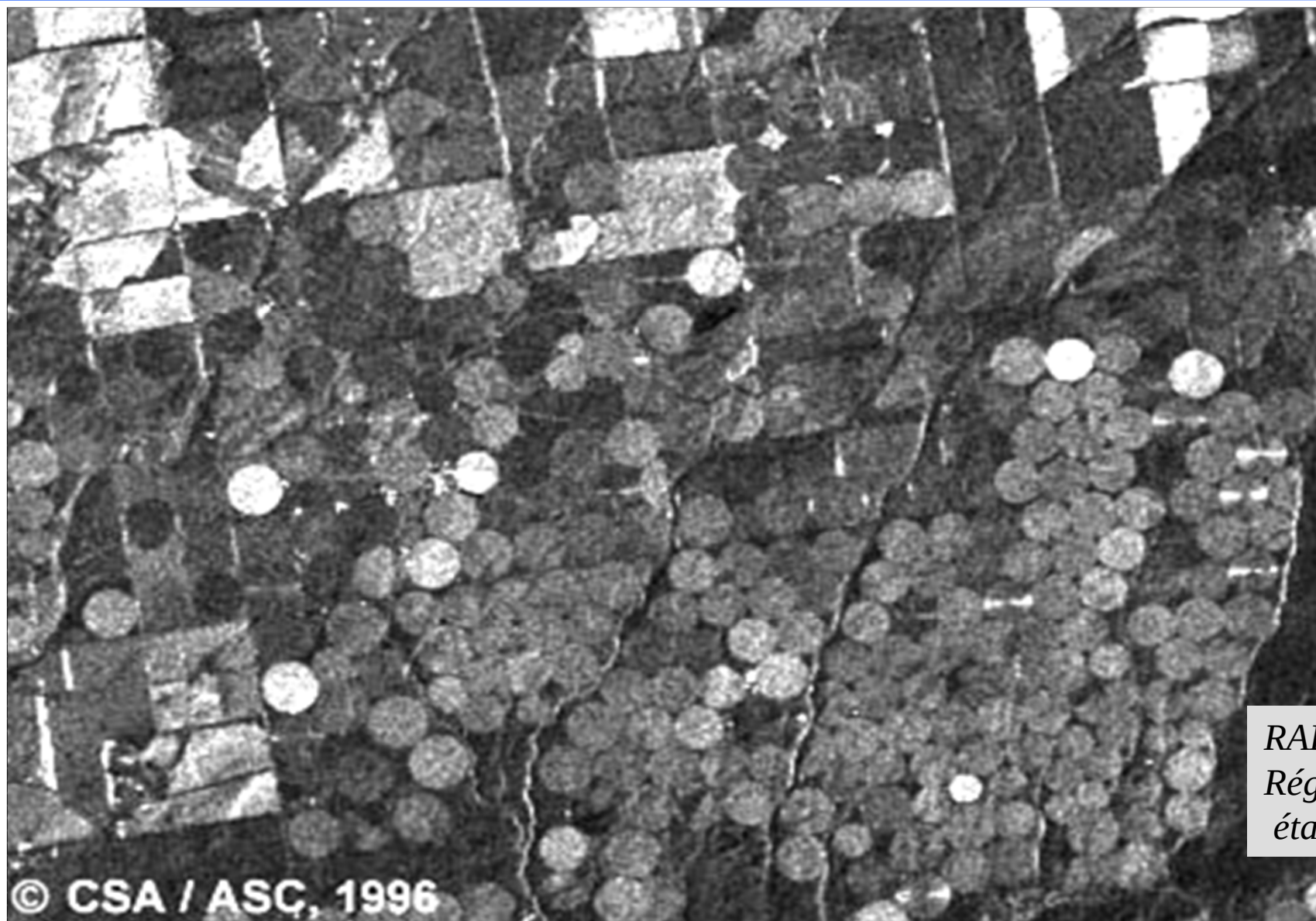
RADARSAT image, standard-1 mode (20°-27°),
Rail d 'Ouessant, France / 09/03/1999

Le radar imageur et les glaces



Larsen Ice Shelf, Côte Est Péninsule Antartique, © TERRASAR-X

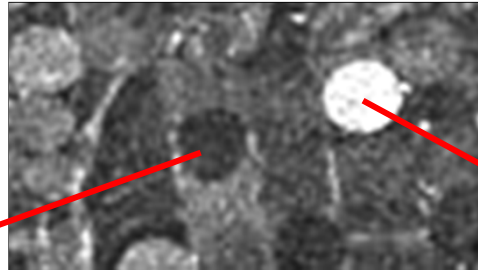
Le radar imageur, indicateur d 'humidité



*RADARSAT
Région agricole
état de Washington, USA.*

Le radar imageur, indicateur d 'humidité

Faible rétrodiffusion
→ sol sec



Forte rétrodiffusion
→ Sol humide

à rugosité
constante

MAIS :

Faible rétrodiffusion
→ sol lisse



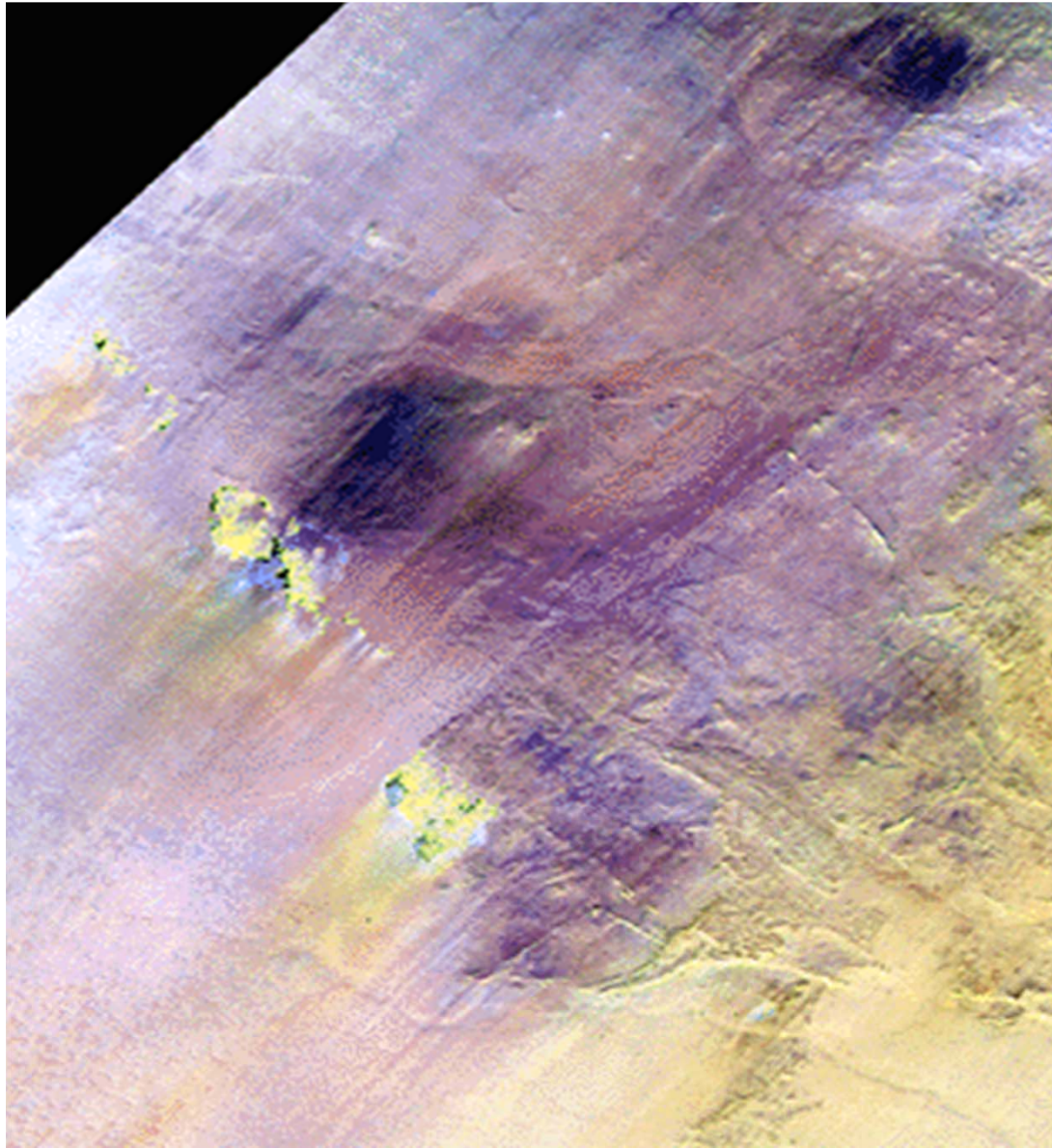
Forte rétrodiffusion
→ sol rugueux

à humidité
constante

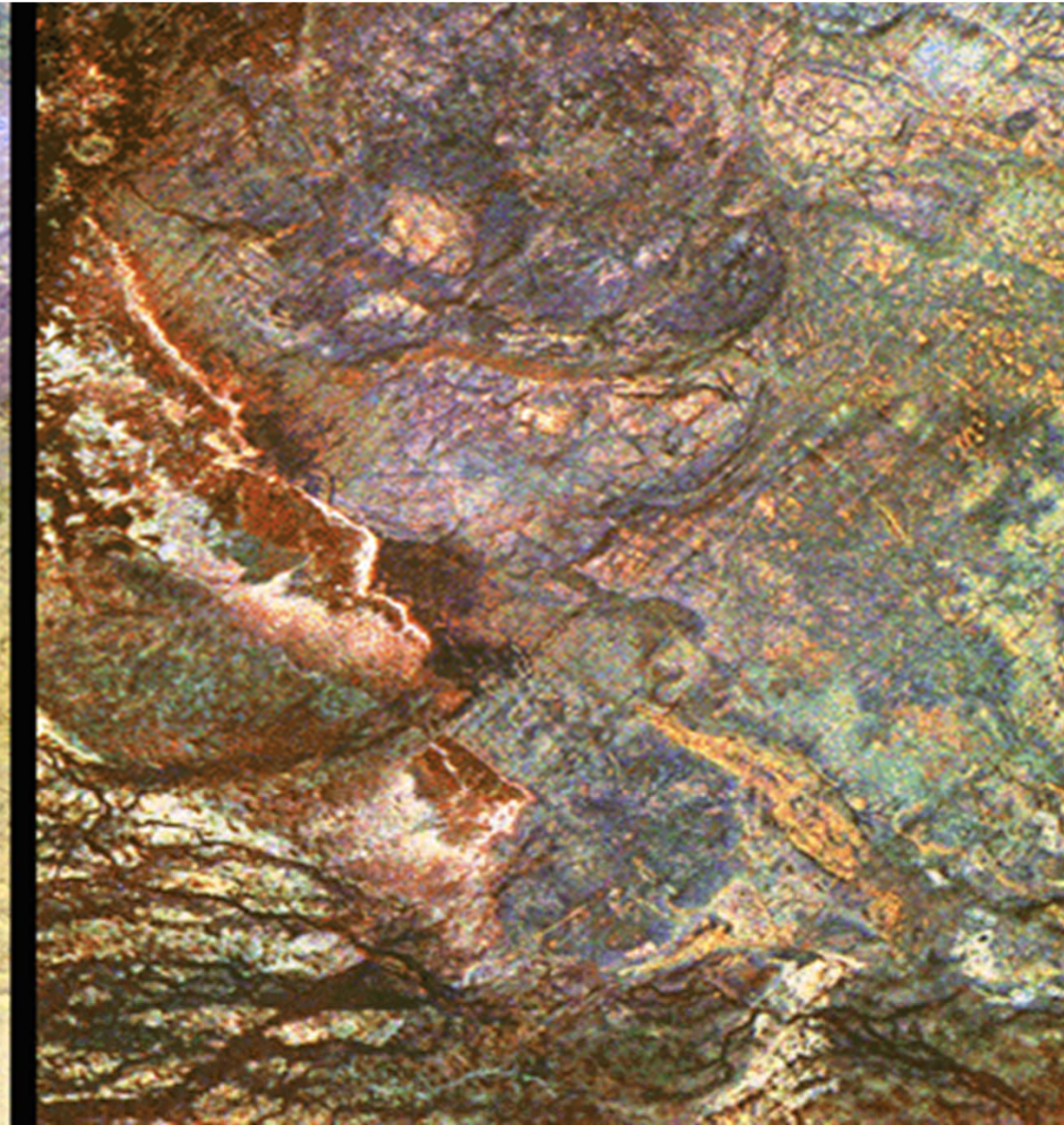
Effet conjugué de la rugosité et de l'humidité sur le signal radar

Pénétration des ondes dans les milieux observés

→ **Optique** vs. **Radar**



LANDSAT

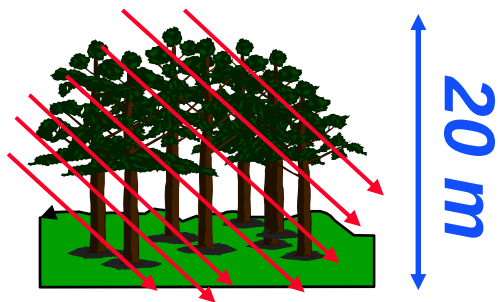


SIR-C SAR (C, L, X)

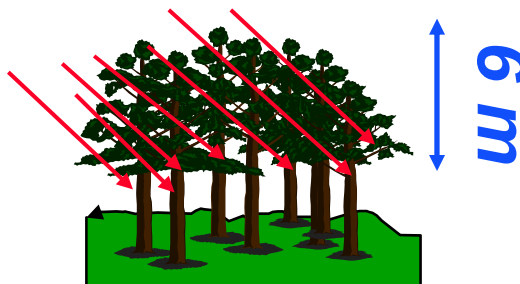
Pénétration des ondes dans les milieux observés

→ La profondeur de pénétration augmente lorsque la fréquence diminue

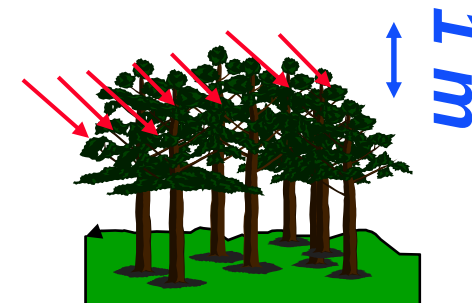
L band
 $\lambda = 23 \text{ cm}$



C band
 $\lambda = 6 \text{ cm}$



X band
 $\lambda = 3 \text{ cm}$

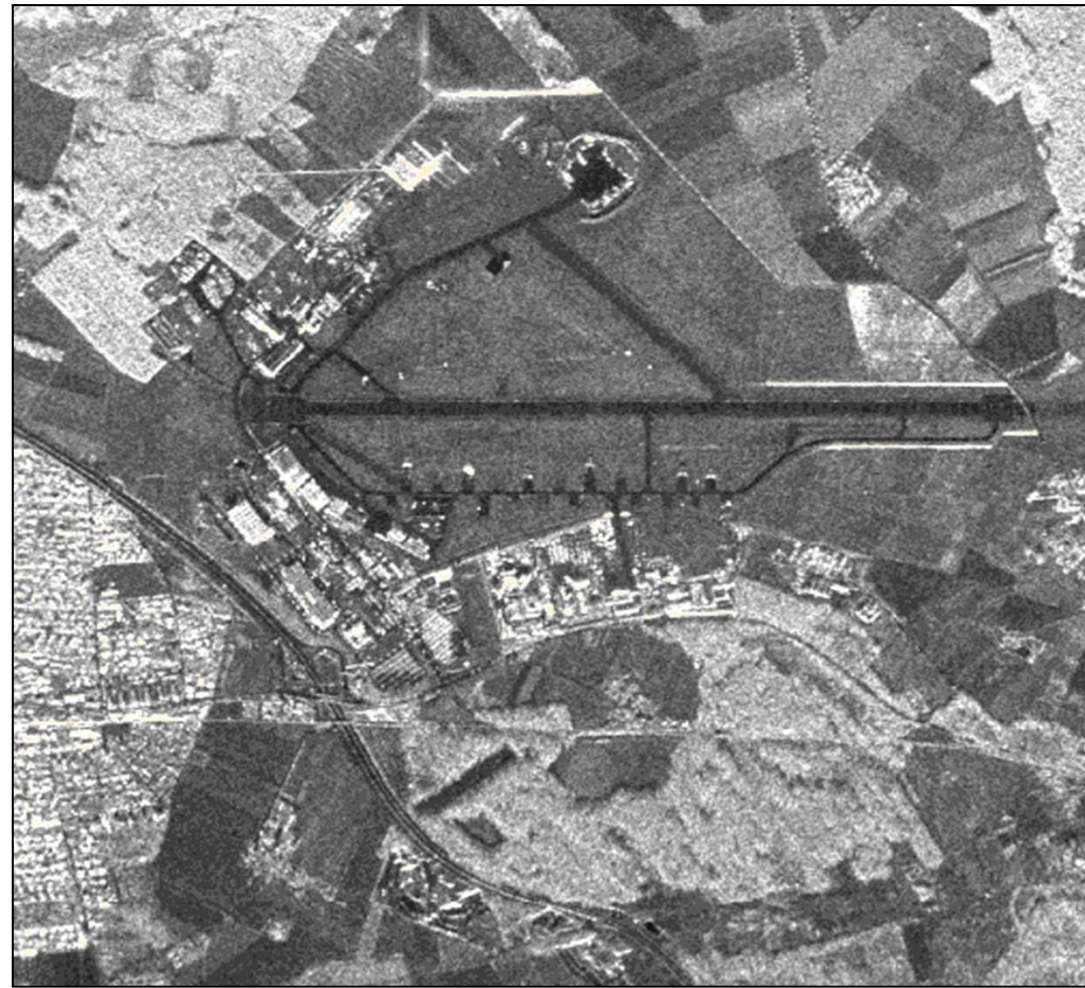


Pénétration des ondes dans les milieux observés

→ Bande X vs. Bande L



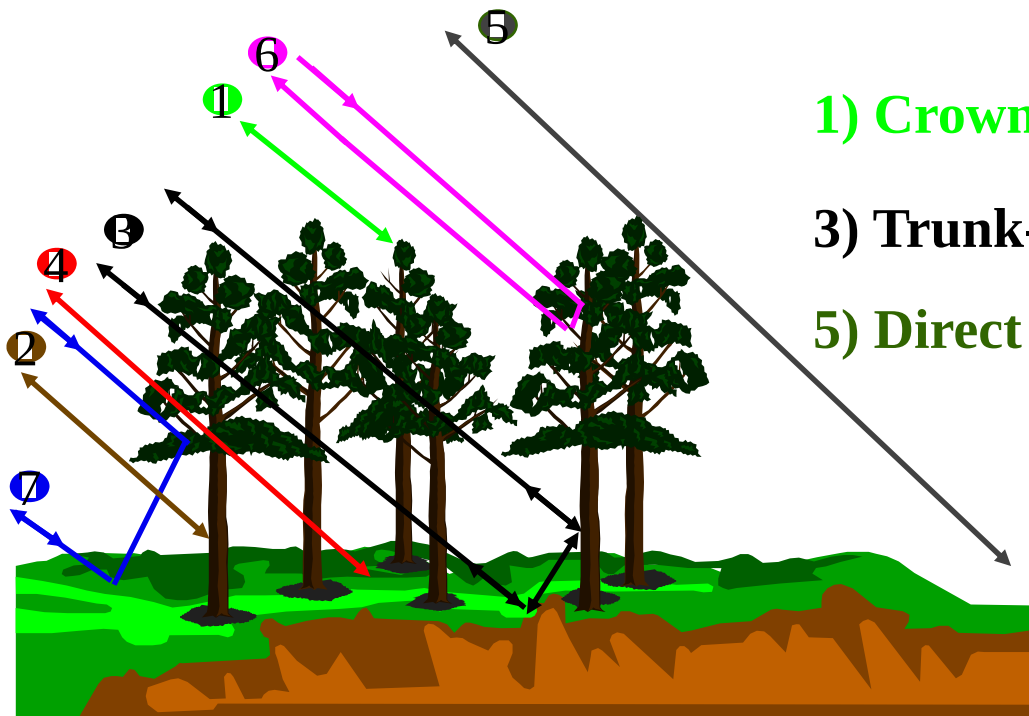
X-Band (3 cm)



L-Band (25 cm)
(+ de pénétration)

From : http://atlas.op.dlr.de/ne-hf/projects/ESAR/igars96_scheiber.html

Diffusion de volume sur une parcelle forestière



1) Crown scattering

3) Trunk-soil interaction

5) Direct soil scattering

2) Trunk scattering

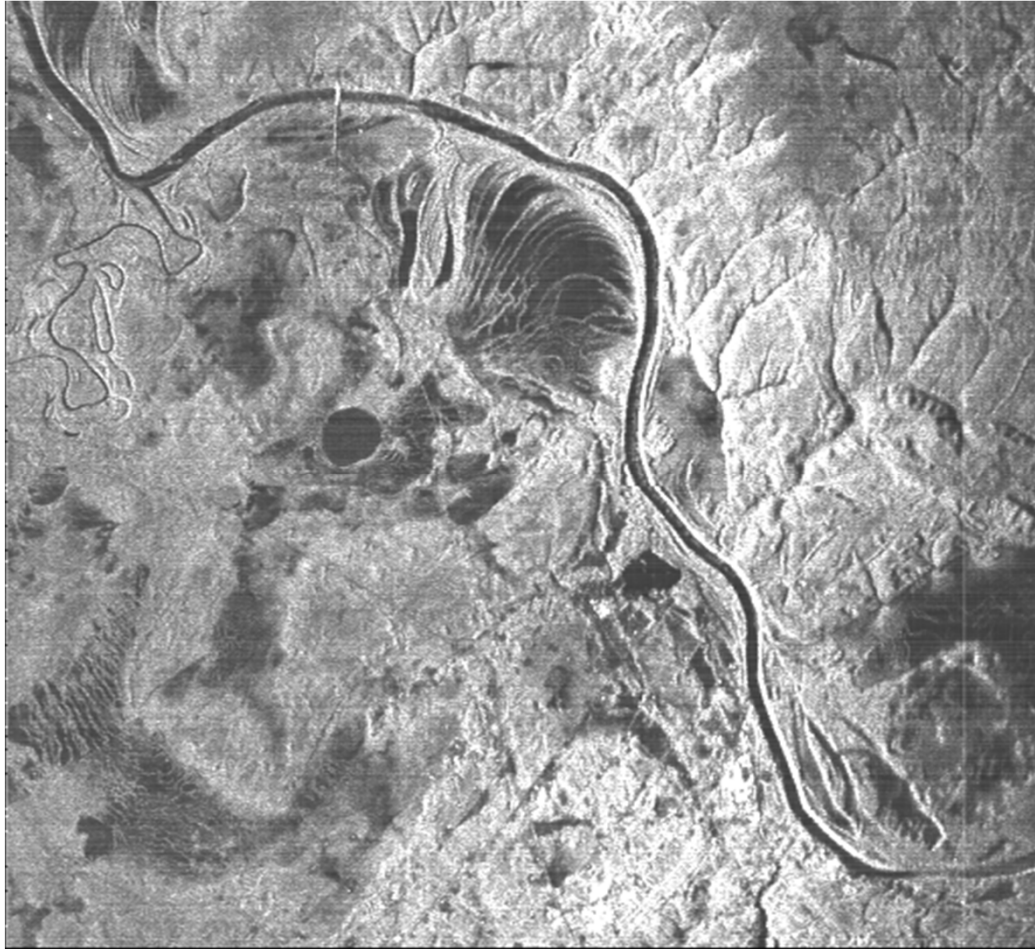
4) Attenuated soil scattering

6) Trunk-branch interaction

7) Soil-branch interaction

Pénétration des ondes dans les milieux observés

→ Vers les fréquences très basses (bande P)

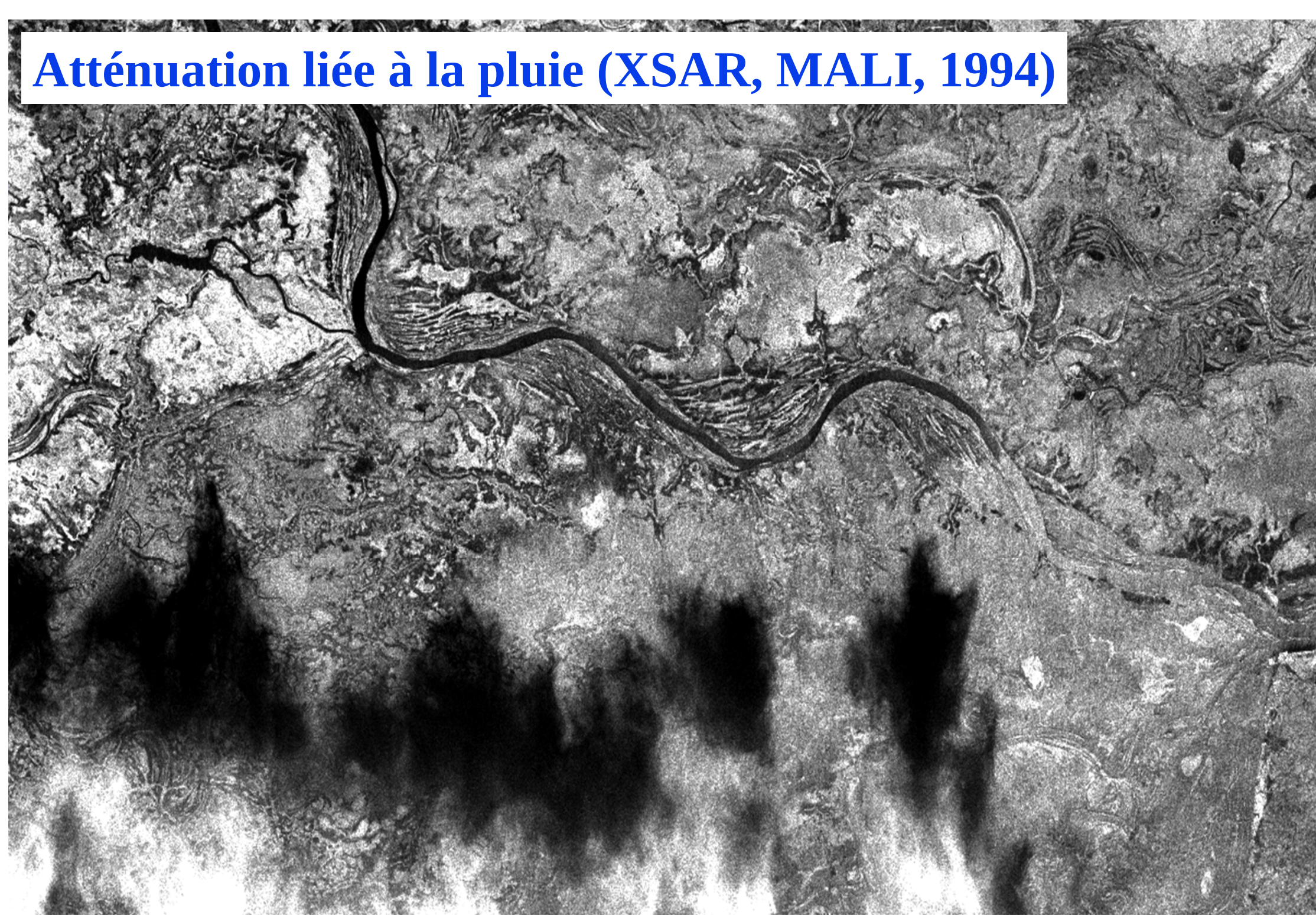


S-Band (10 cm)



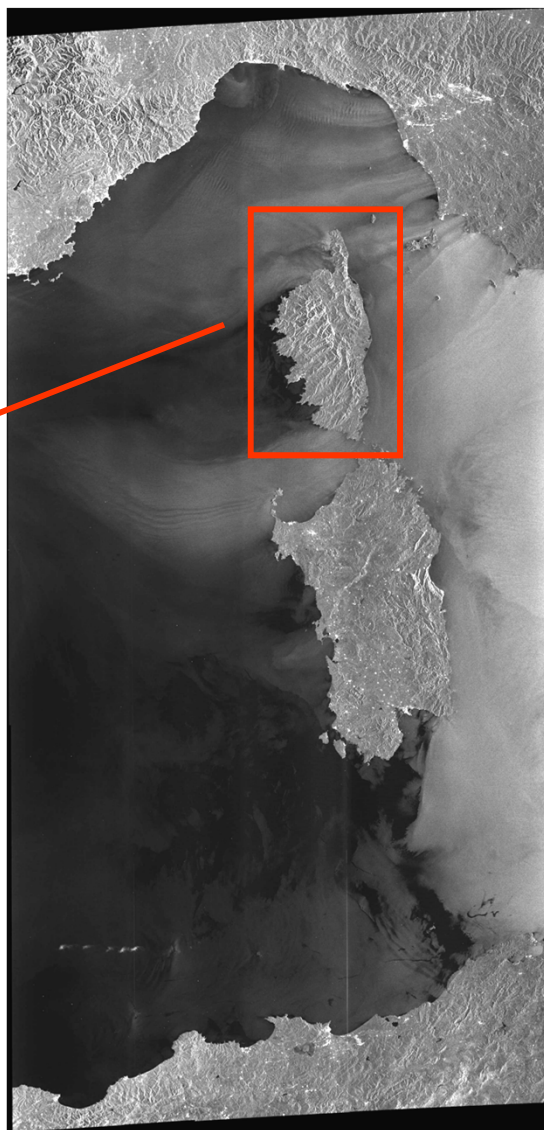
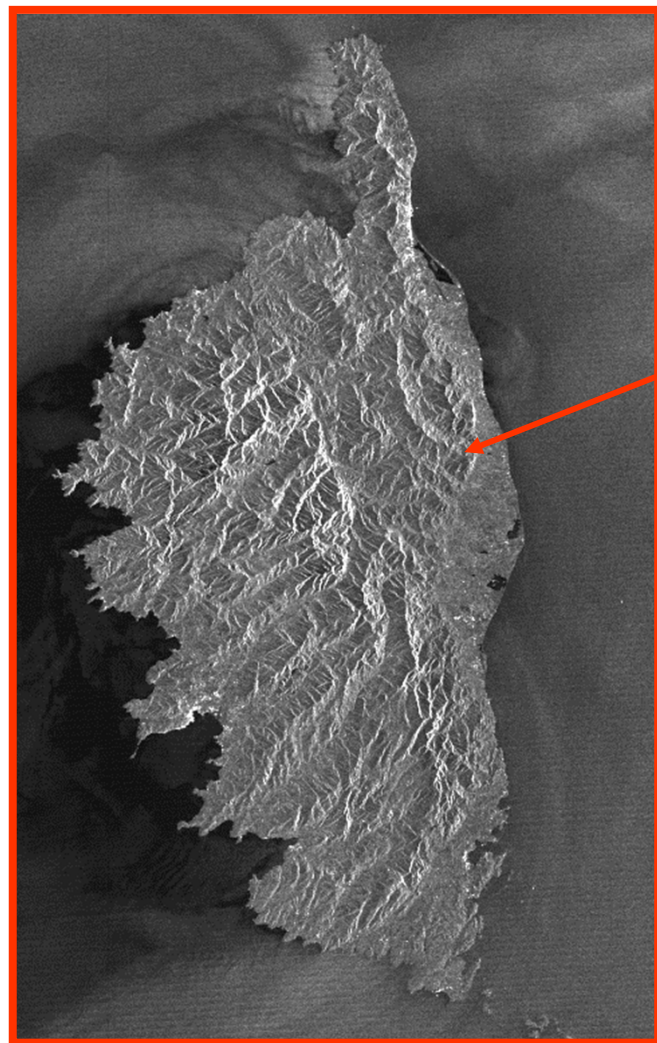
P-Band (290 cm)

Atténuation liée à la pluie (XSAR, MALI, 1994)



Les différentes échelles de résolution

→ La classe 100 m



**Image RADARSAT Juin 1997
(mode SCANSAR)
zone Corse-Méditerranée,
Fauchée : 500 km,
résolution : 100 m**

La Corse vue par RADARSAT / SCANSAR

Les différentes échelles de résolution

→ La classe 10 m

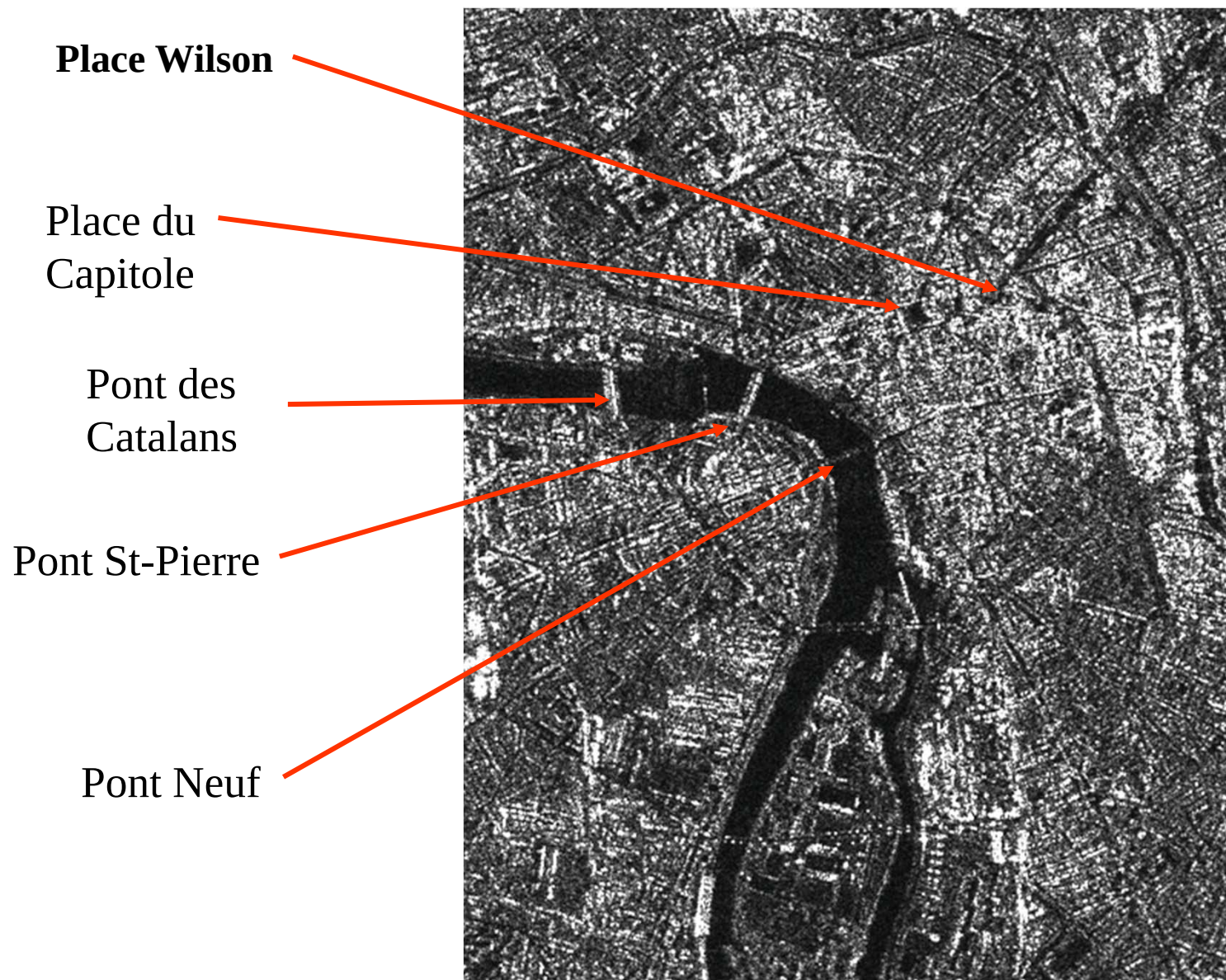


Image RADARSAT
Mode F4 - Descendant
Ville de Toulouse
Fauchée : 35 km
résolution : 10 m

Les différentes échelles de résolution

→ La classe 3 m

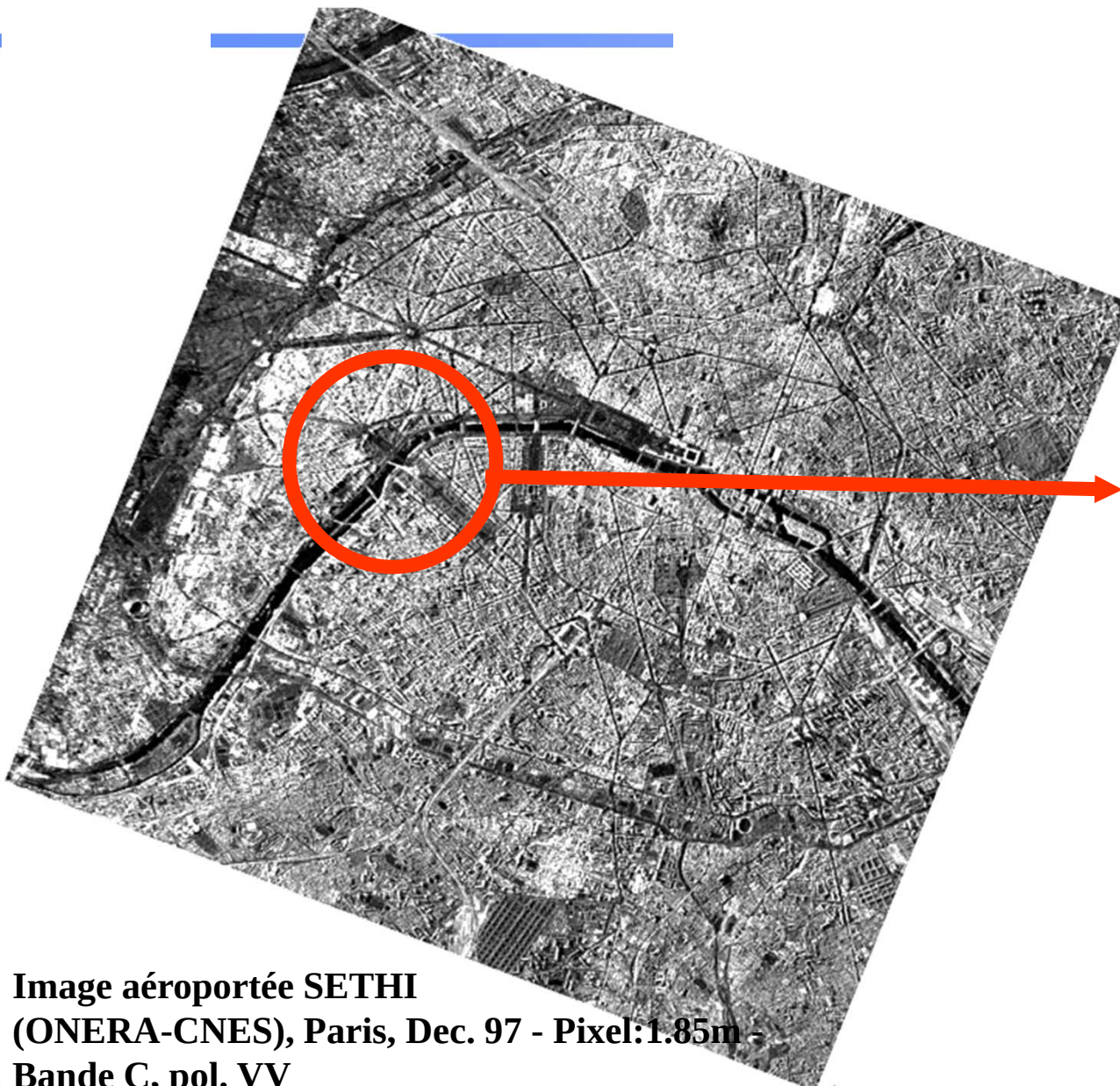
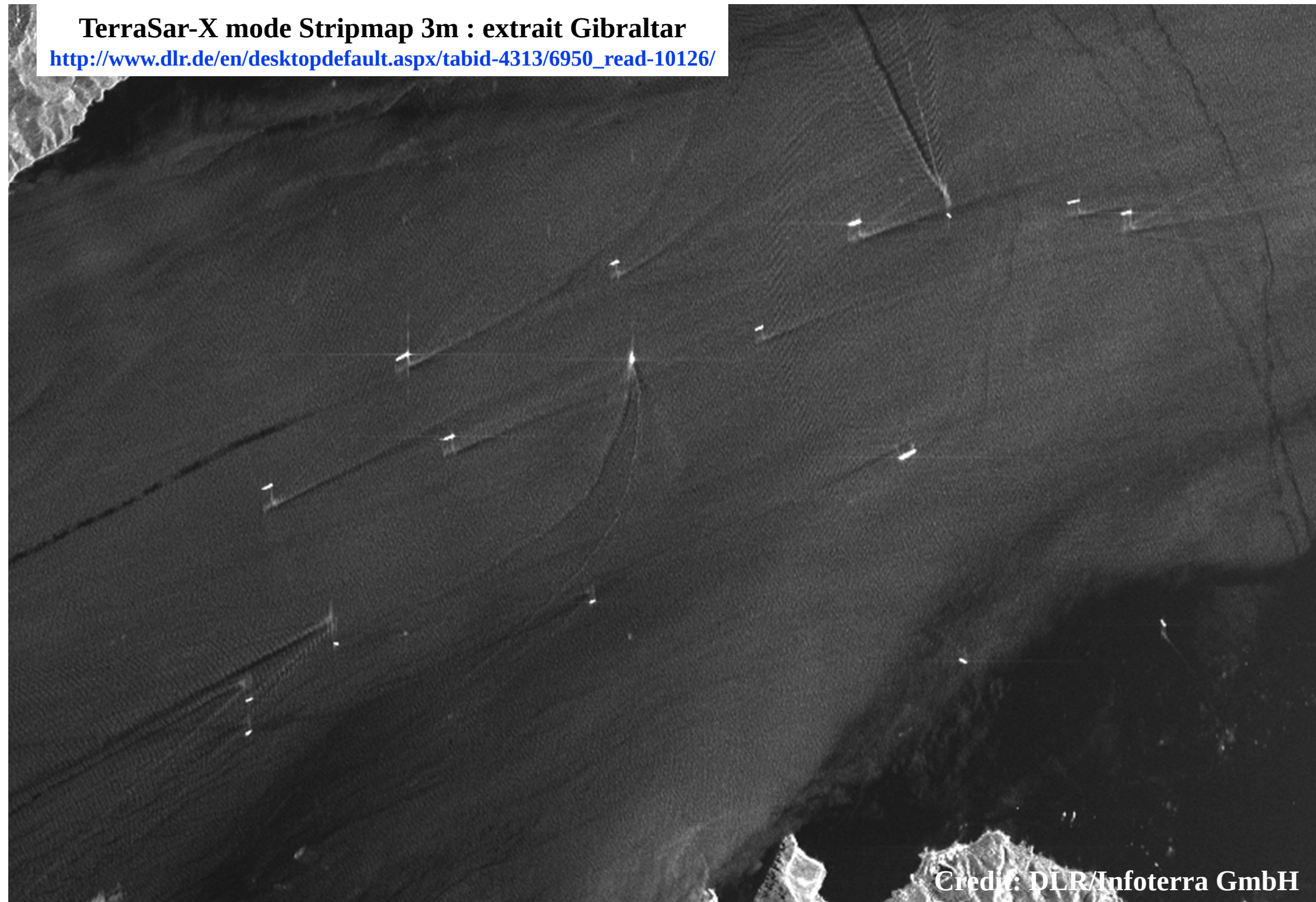


Image aéroportée SETHI
(ONERA-CNES), Paris, Dec. 97 - Pixel:1.85m -
Bande C, pol. VV

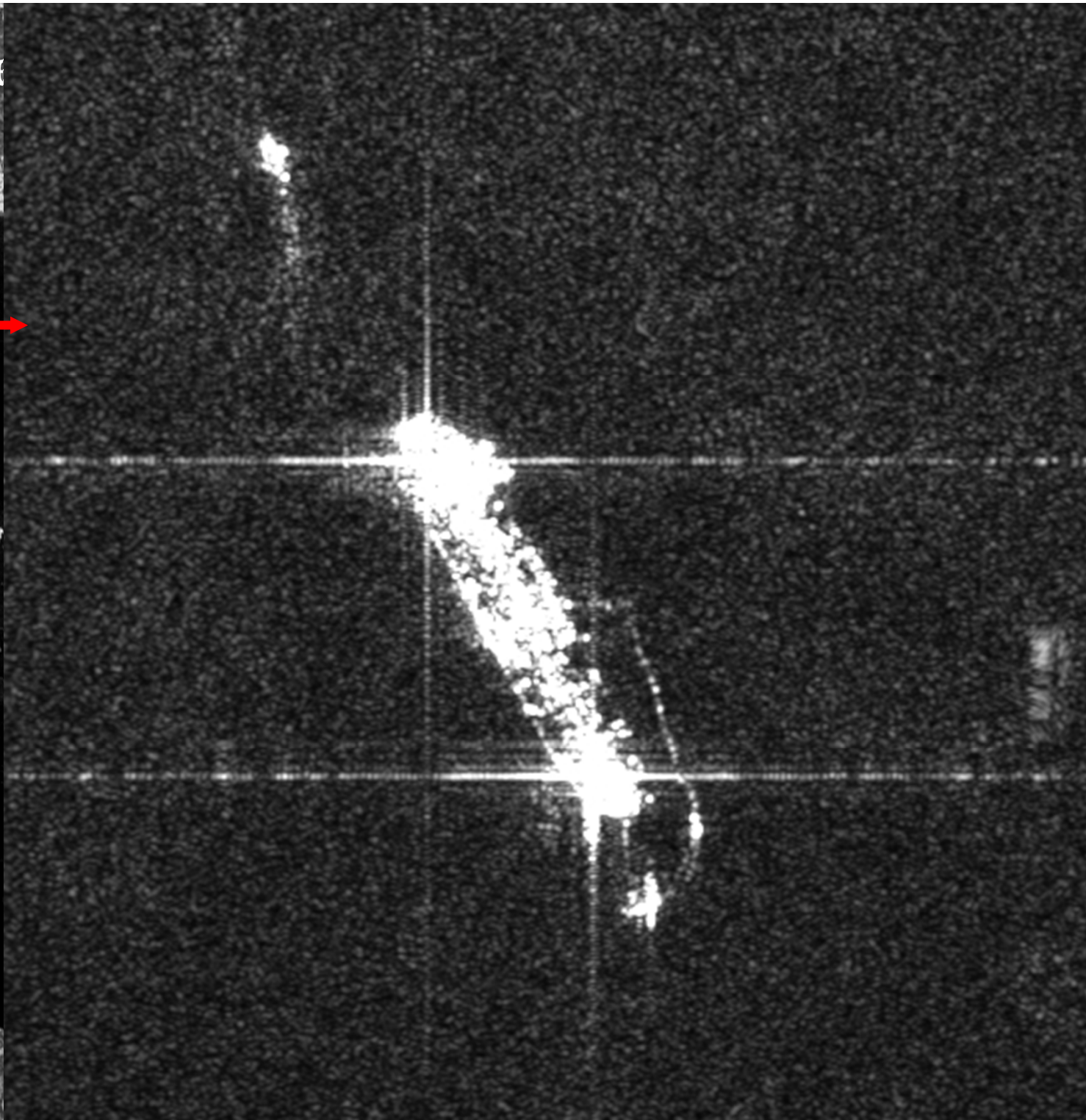
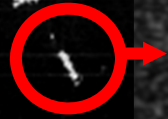
TerraSar-X mode Stripmap 3m : extrait Gibraltar

http://www.dlr.de/en/desktopdefault.aspx/tabid-4313/6950_read-10126/

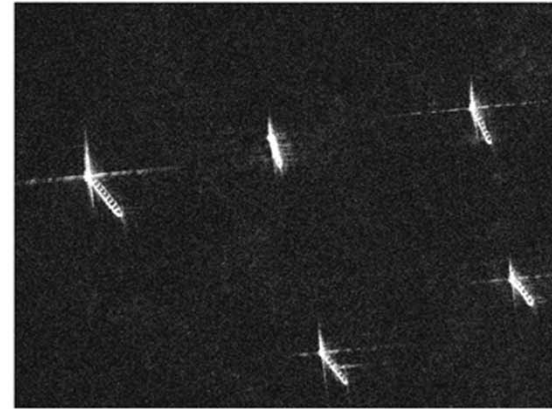


Credit: DLR/Infoterra GmbH

TERRASAR-X : pro



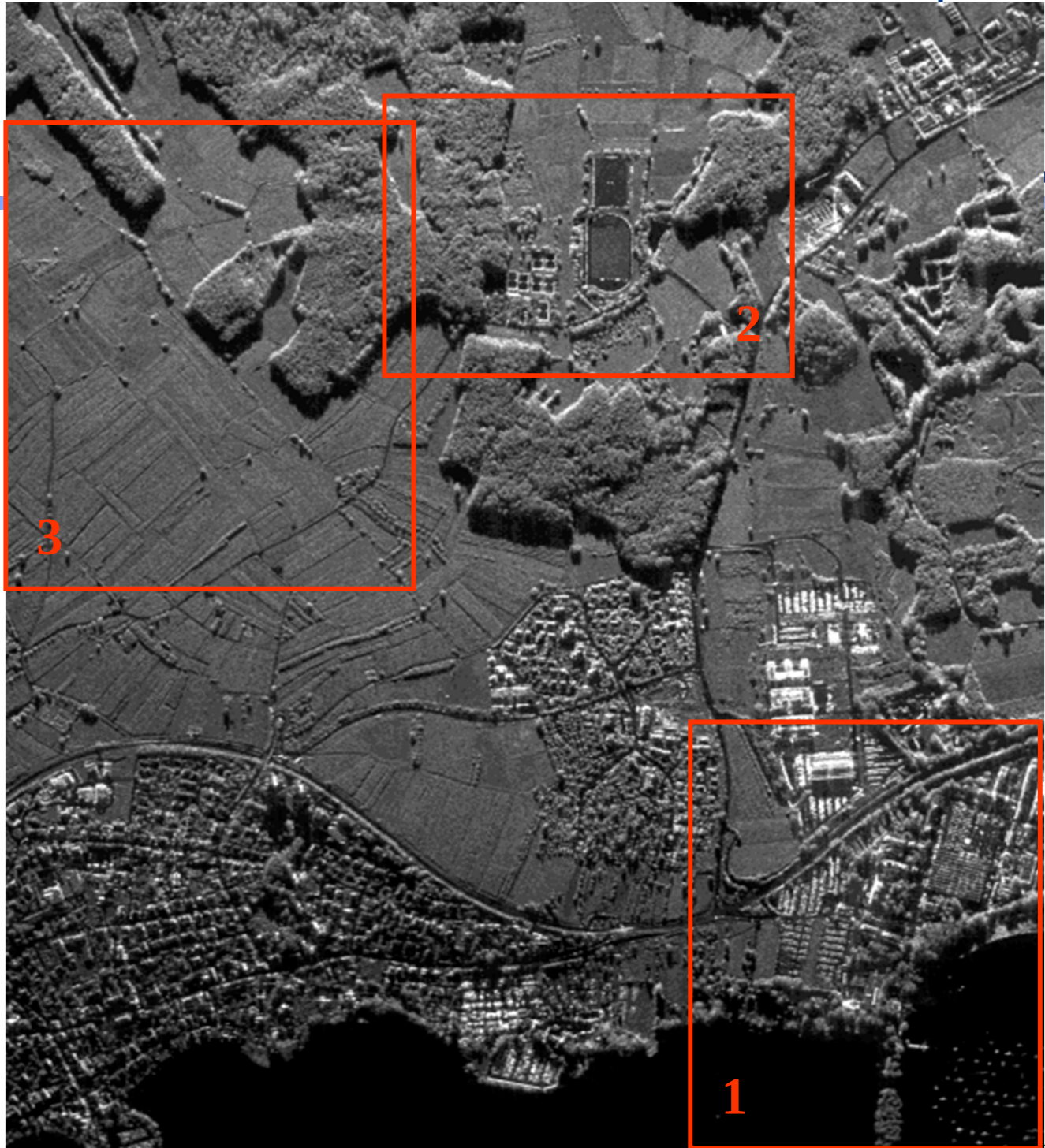
RADARSAT-2 : mode ultra-fin 3m)



Les différentes échelles de résolution

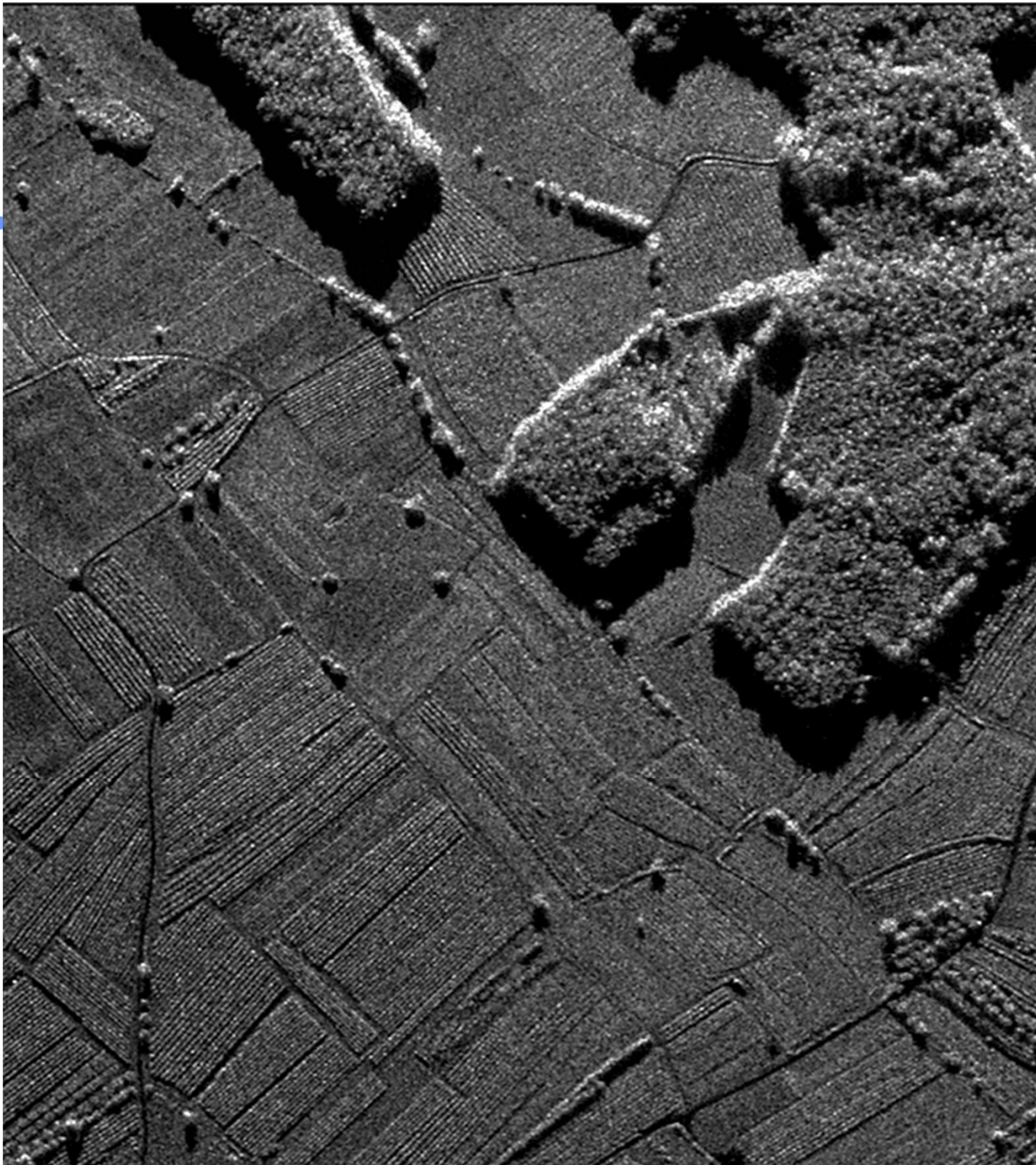
→ La classe ' 1m '
 (SAR-Lupe, Cosmo)

... Attention aux
 effets muti-look

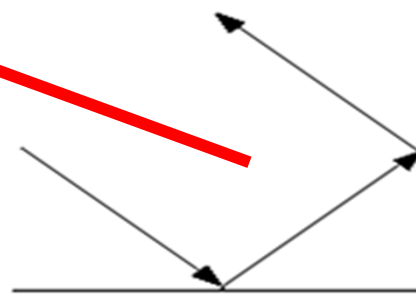




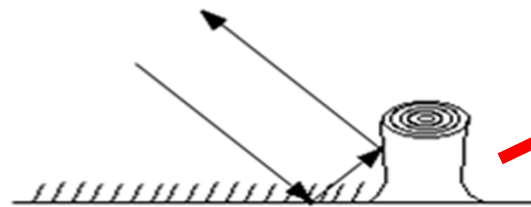




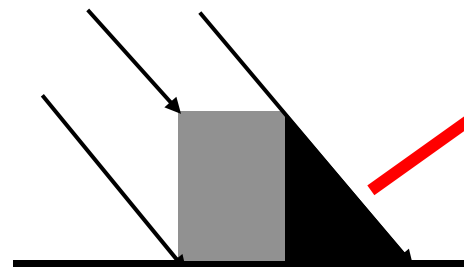
Effet double rebond (double bounce) / effet d'ombre



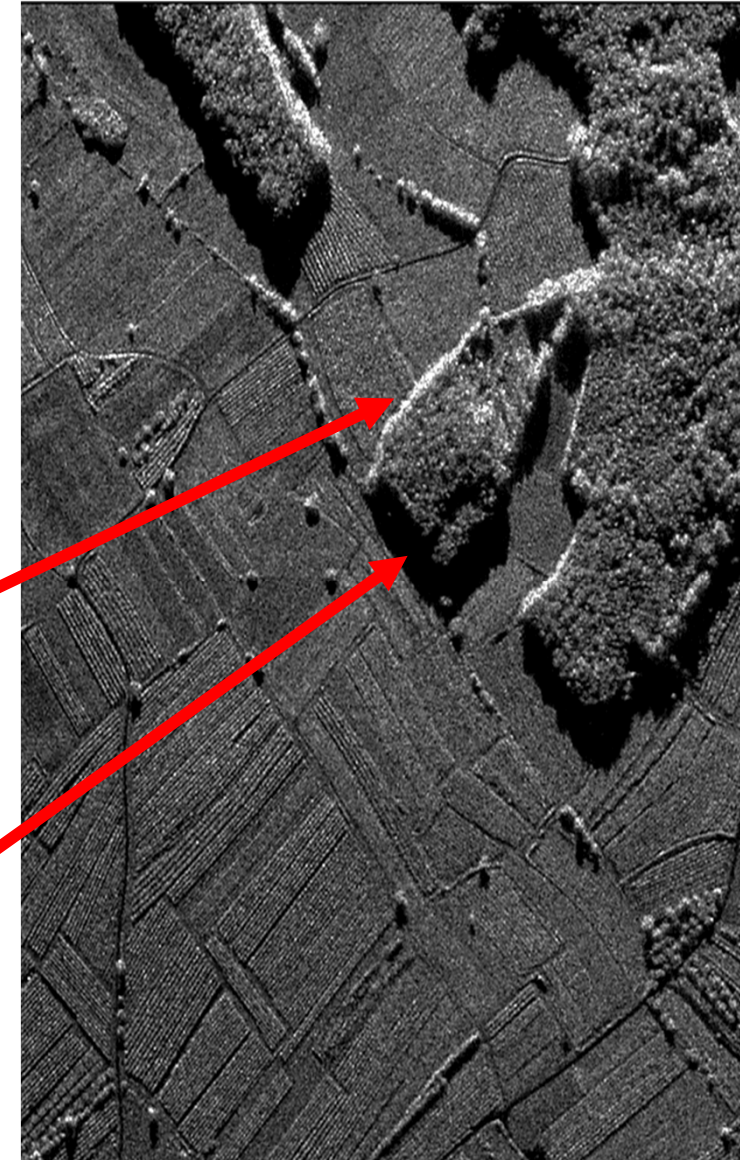
Double Bounce
(Corner Reflector)



Double Bounce



Effet d'ombre





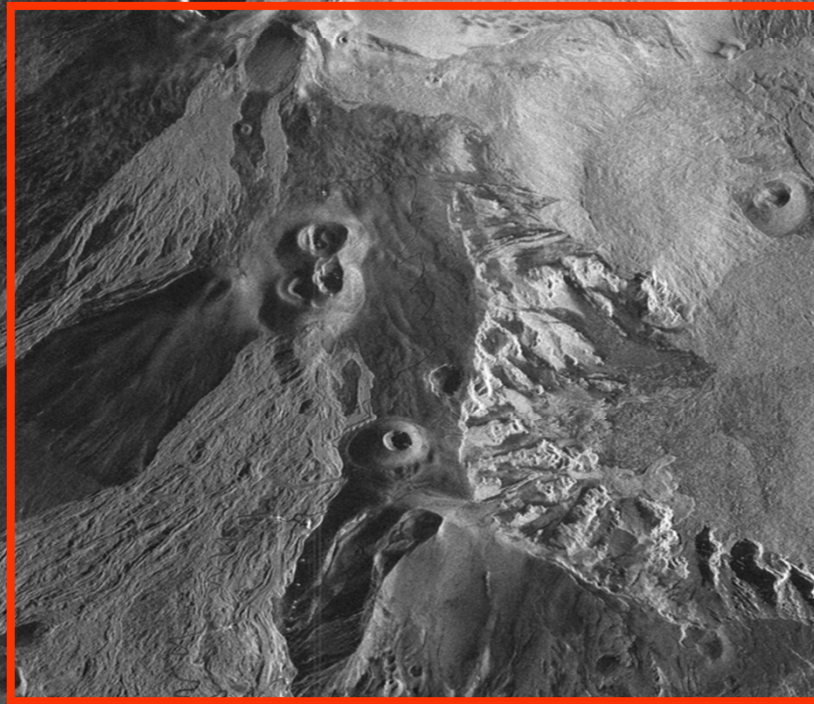
1m, Ku Band





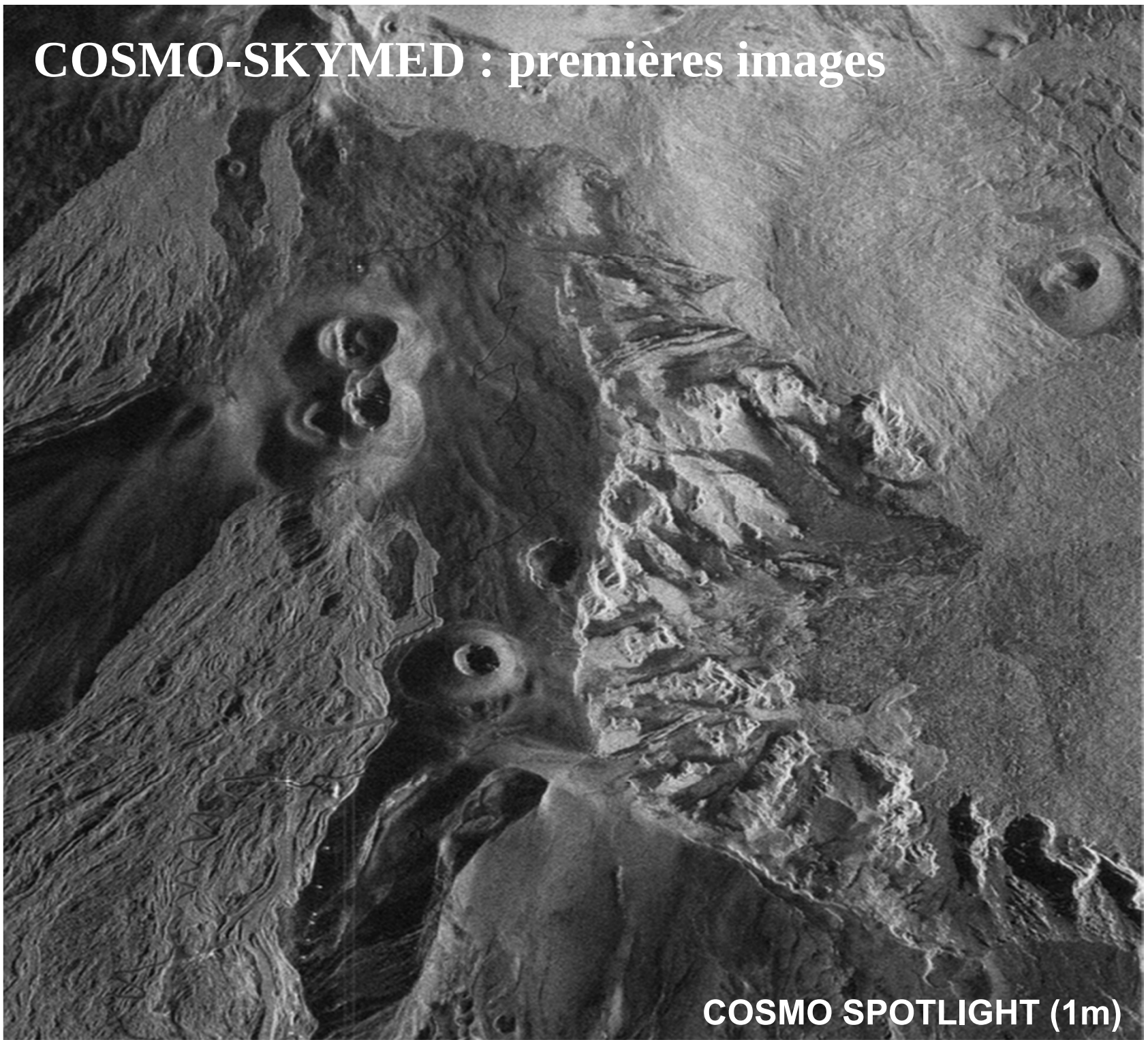


COSMO-SKYMED : premières images



COSMO SPOTLIGHT (1m)

COSMO-SKYMED : premières images



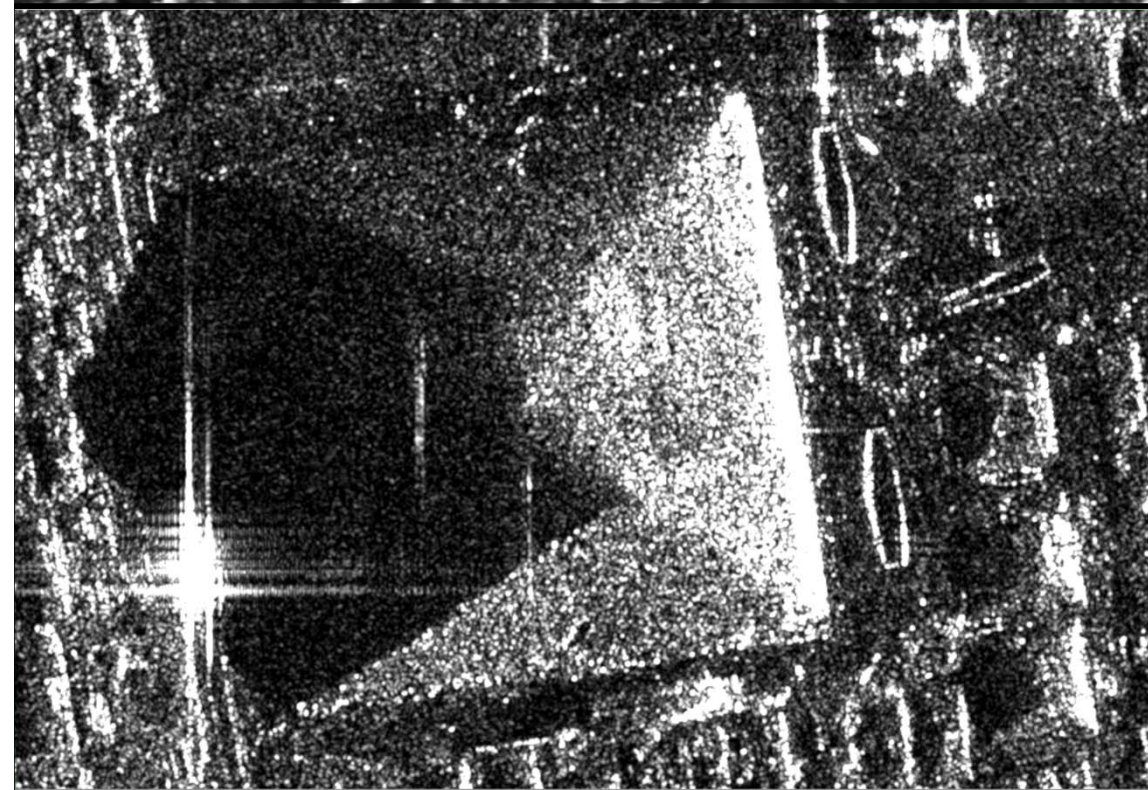
COSMO SPOTLIGHT (1m)

TERRASAR-X : premières images

TERRASAR-X SPOTLIGHT

TerraSar-X mode SpotLight 1m : extrait Gizeh

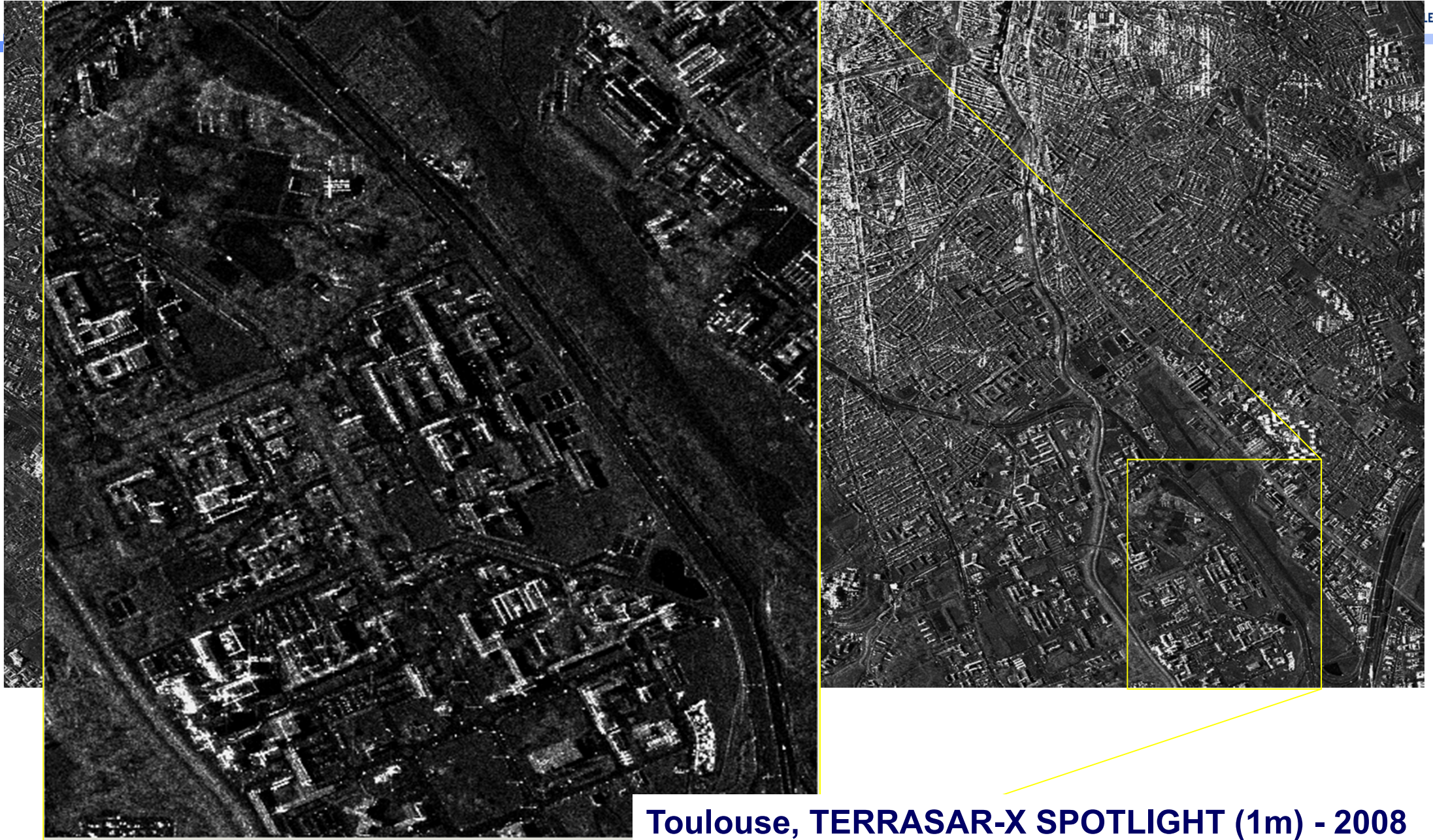
http://www.dlr.de/en/desktopdefault.aspx/tabid-4313/6950_read-10126/



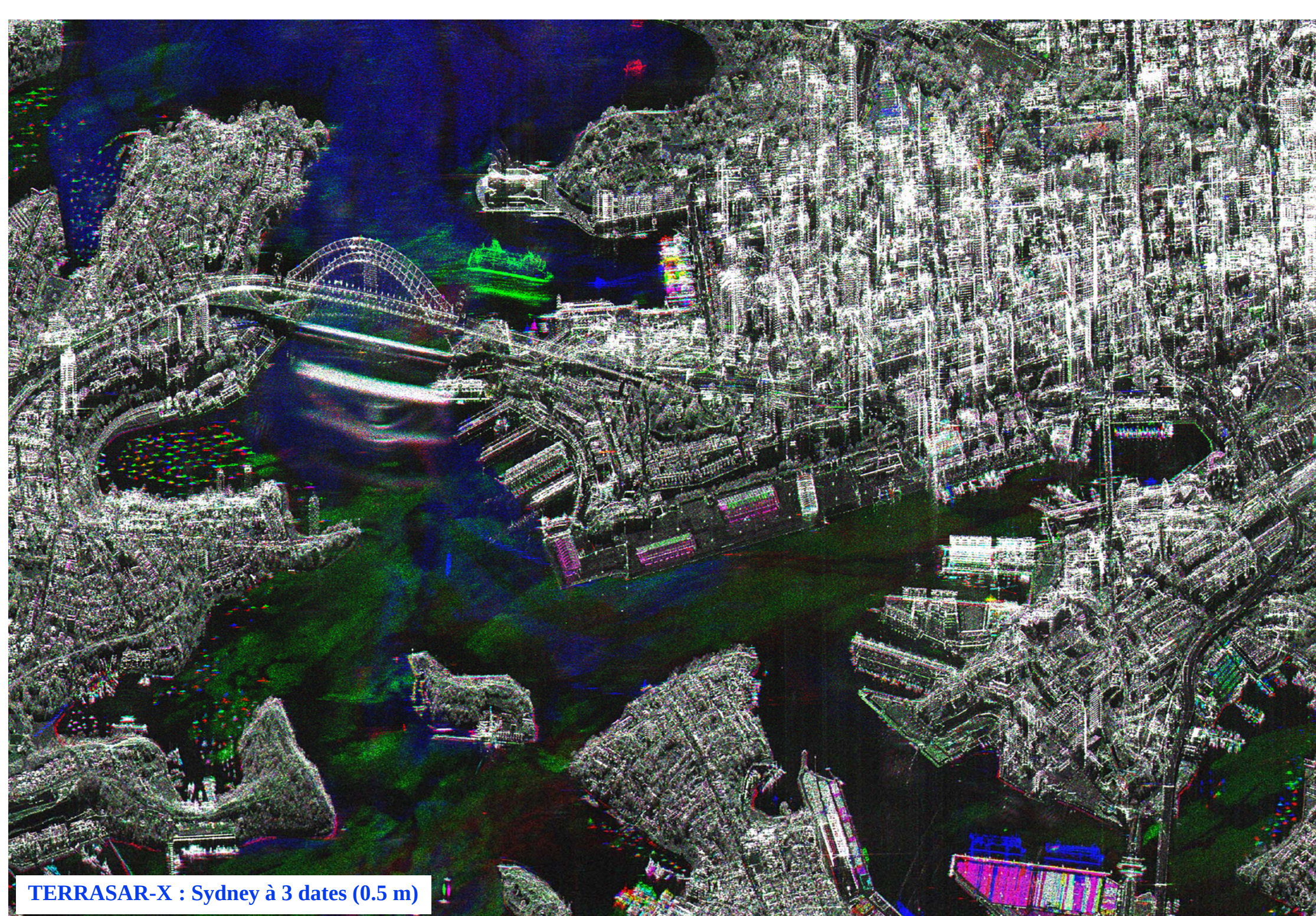
Credit: DLR/Infoterra GmbH

TERRASAR-X SPOTLIGHT

→ Résolution géométrique classe **1 m**



Toulouse, TERRASAR-X SPOTLIGHT (1m) - 2008



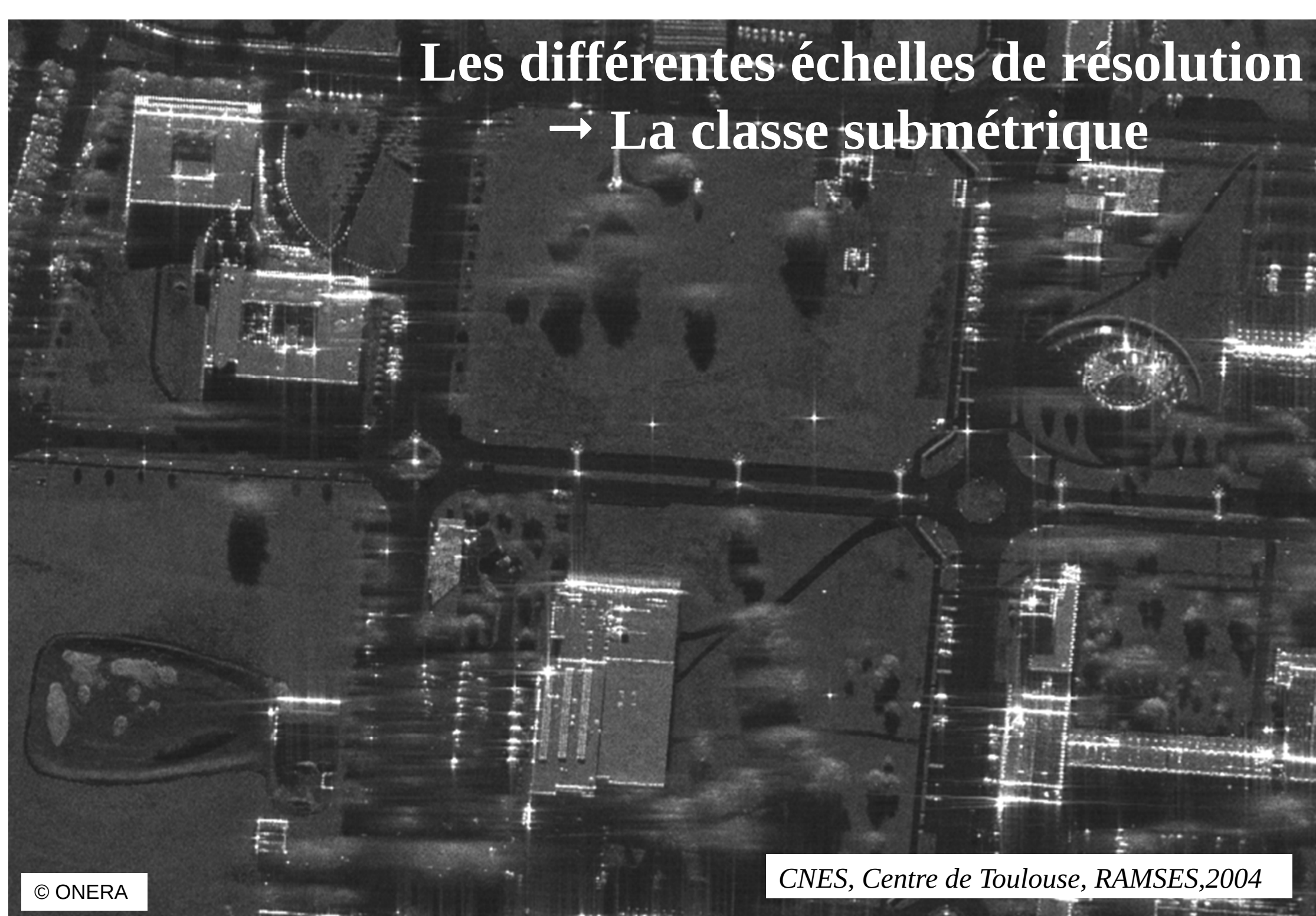
TERRASAR-X : Sydney à 3 dates (0.5 m)

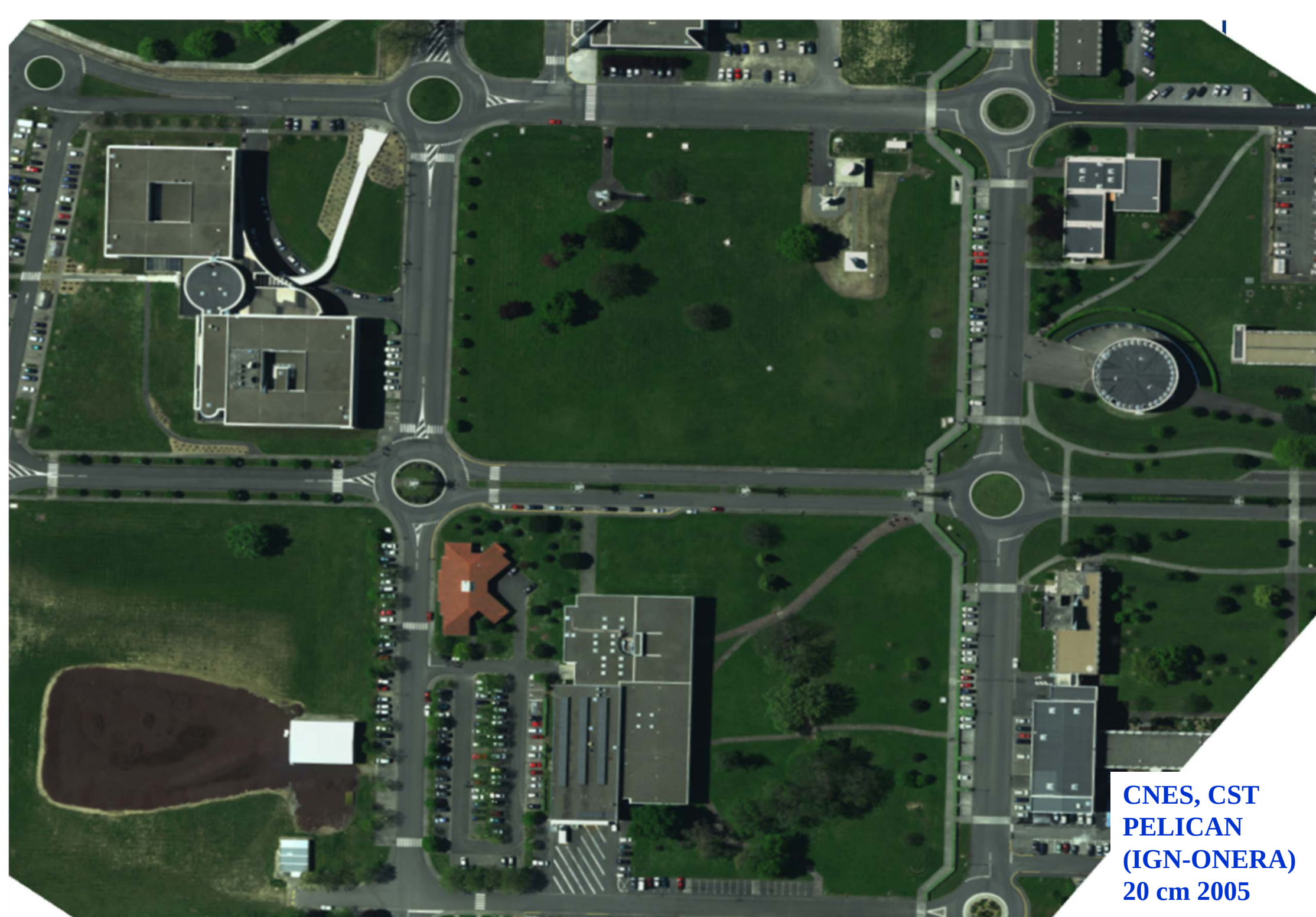
ScanSAR : 18 m



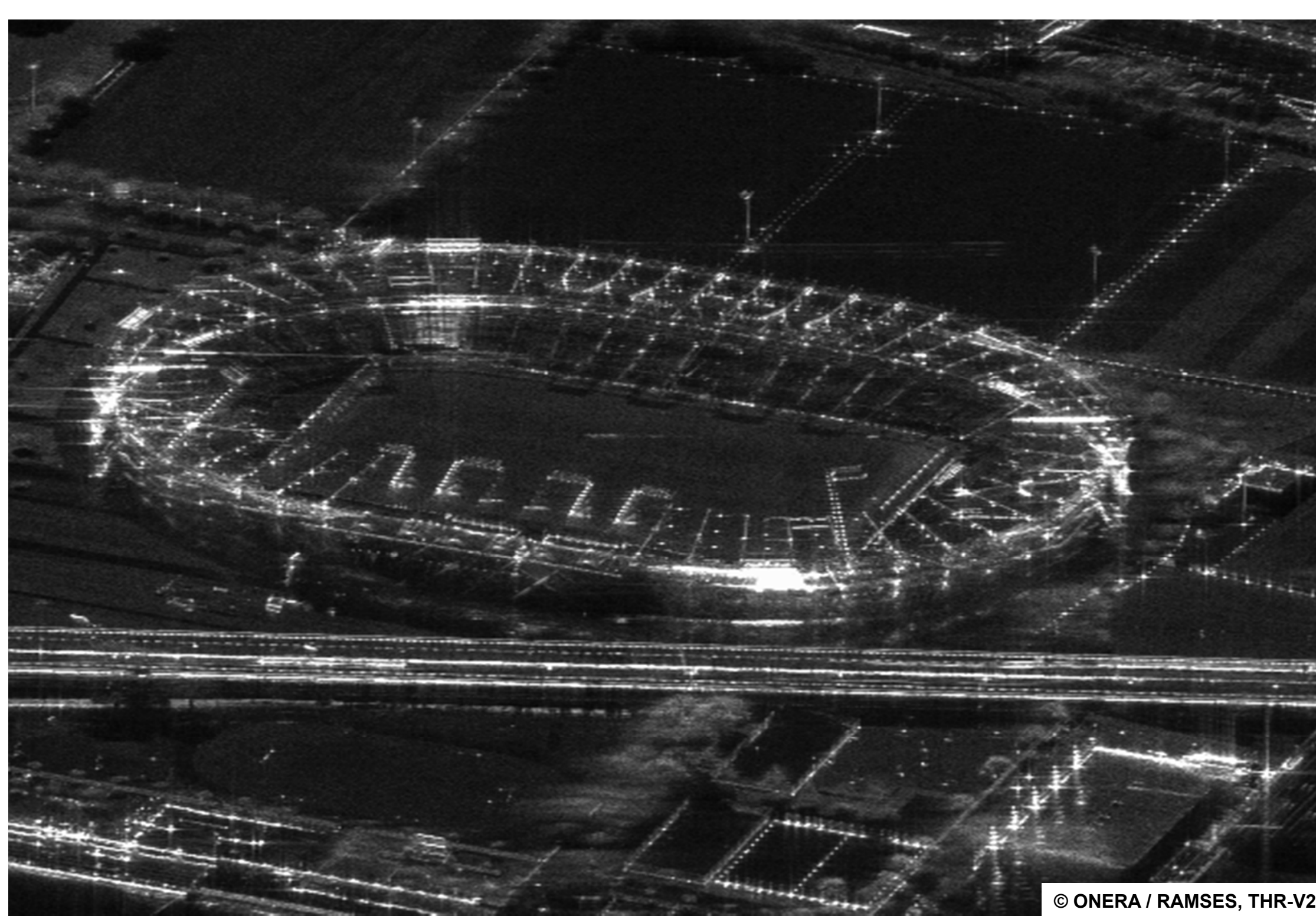
Les différentes échelles de résolution

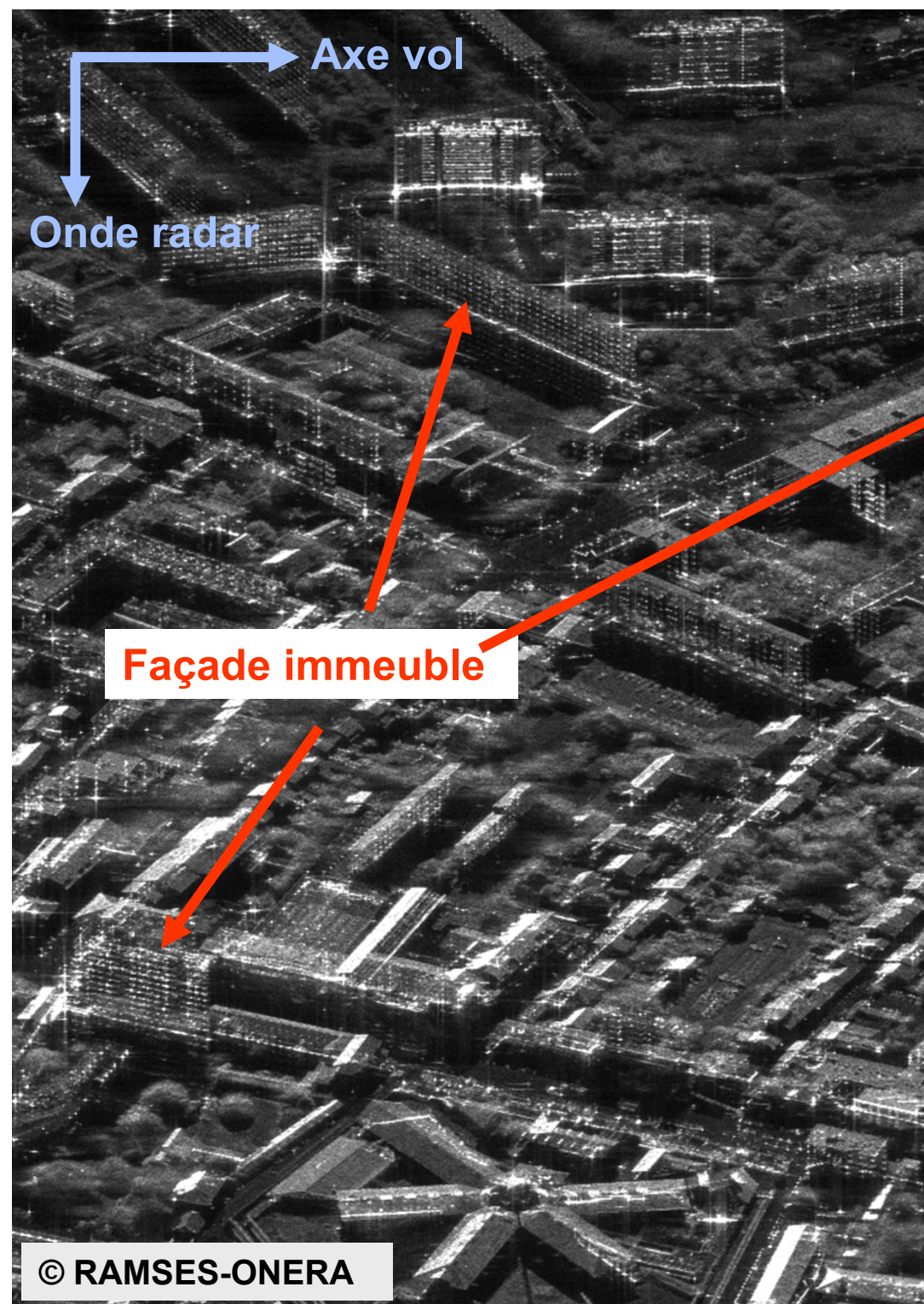
→ La classe submétrique





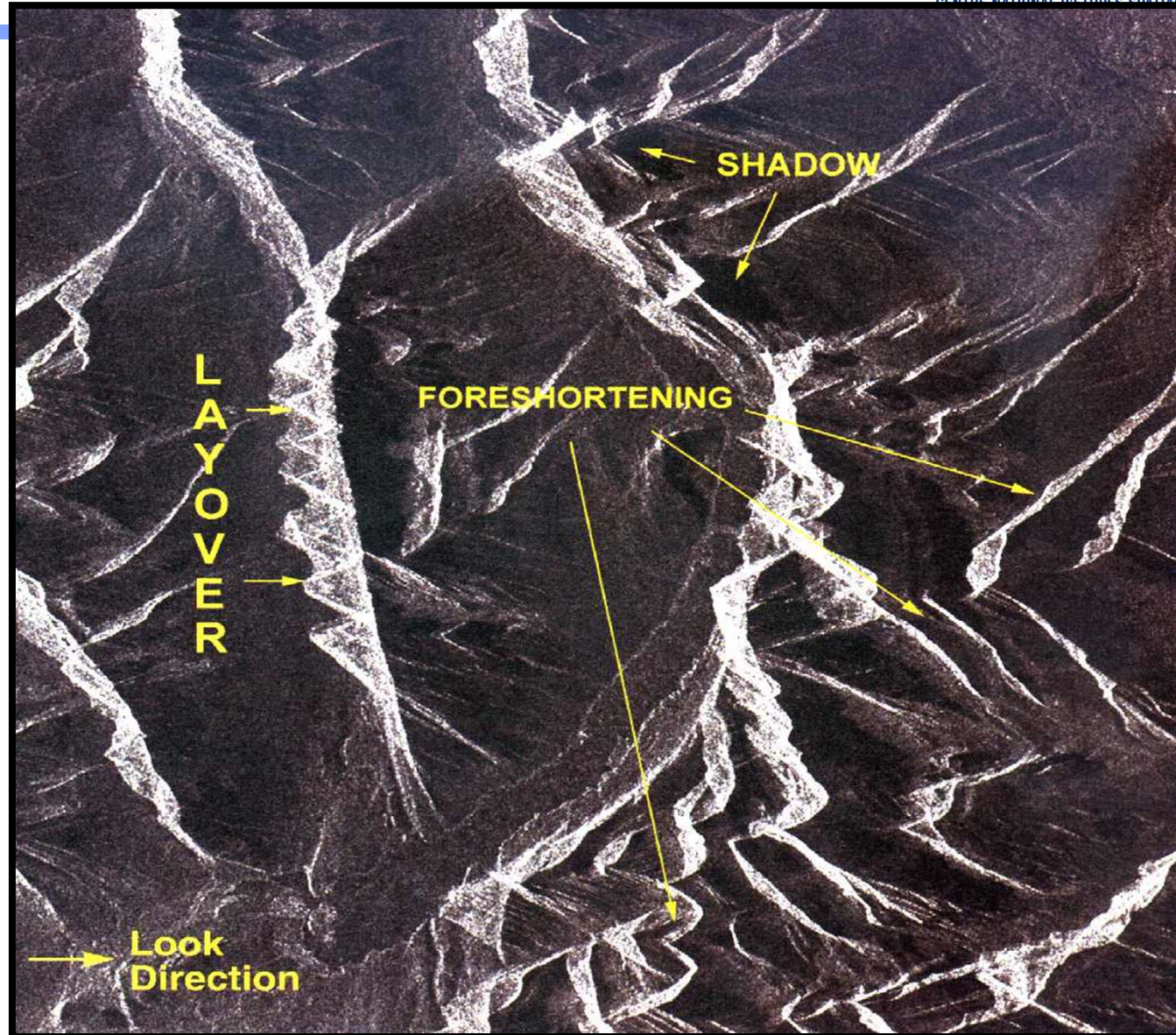
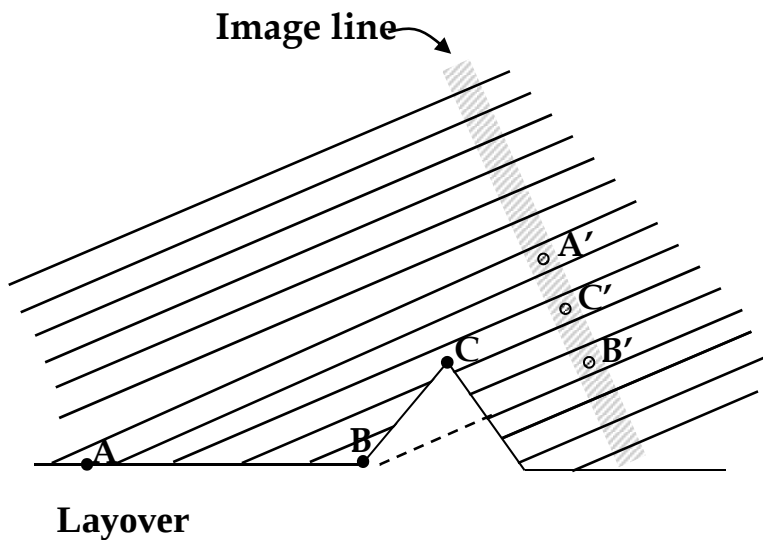
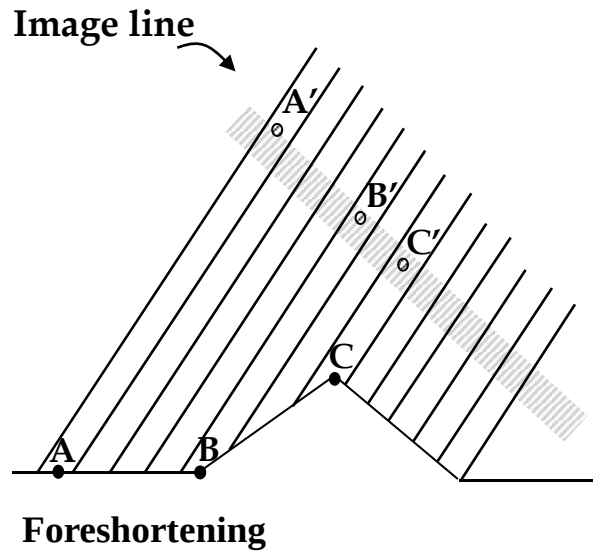
**CNES, CST
PELICAN
(IGN-ONERA)
20 cm 2005**





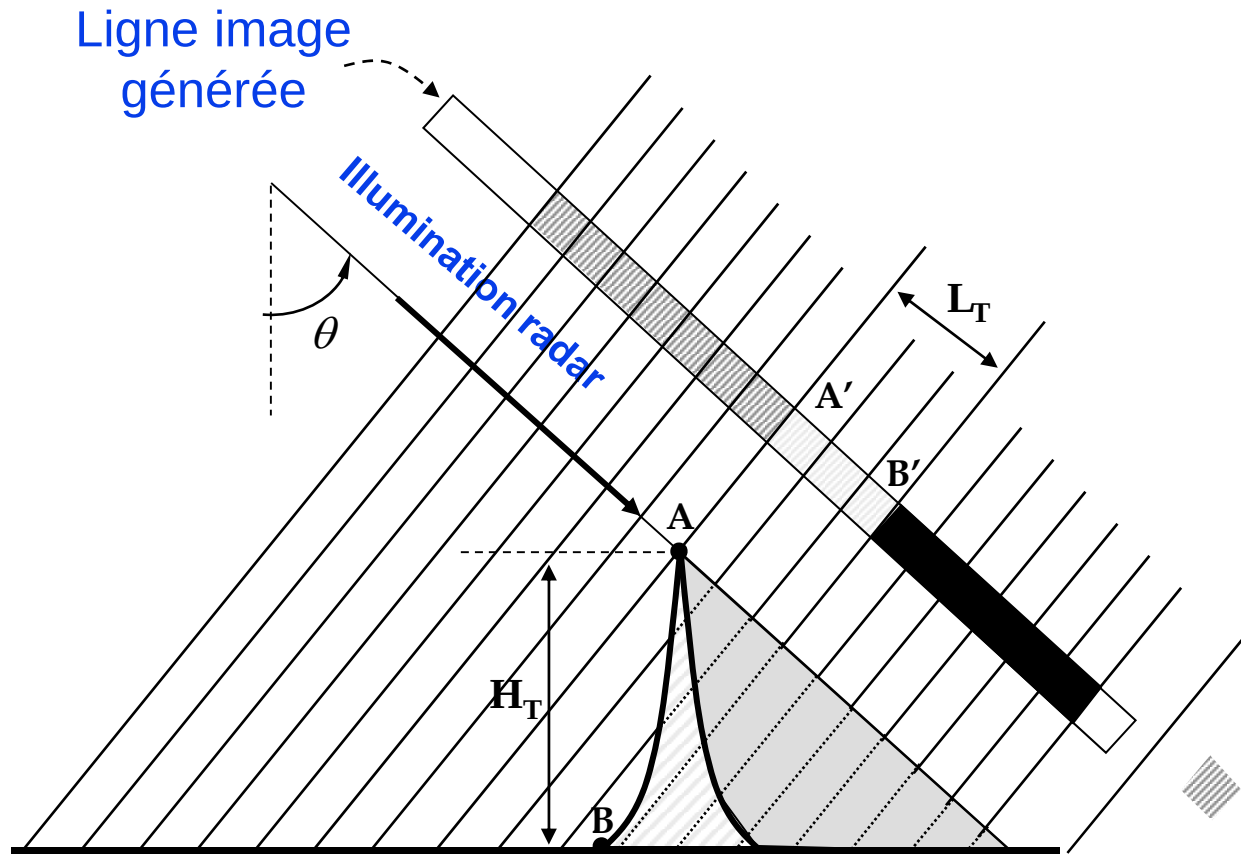
Une géométrie difficile ...

➔ Artifacts géométriques liés à la vision en distance



Une géométrie difficile ...

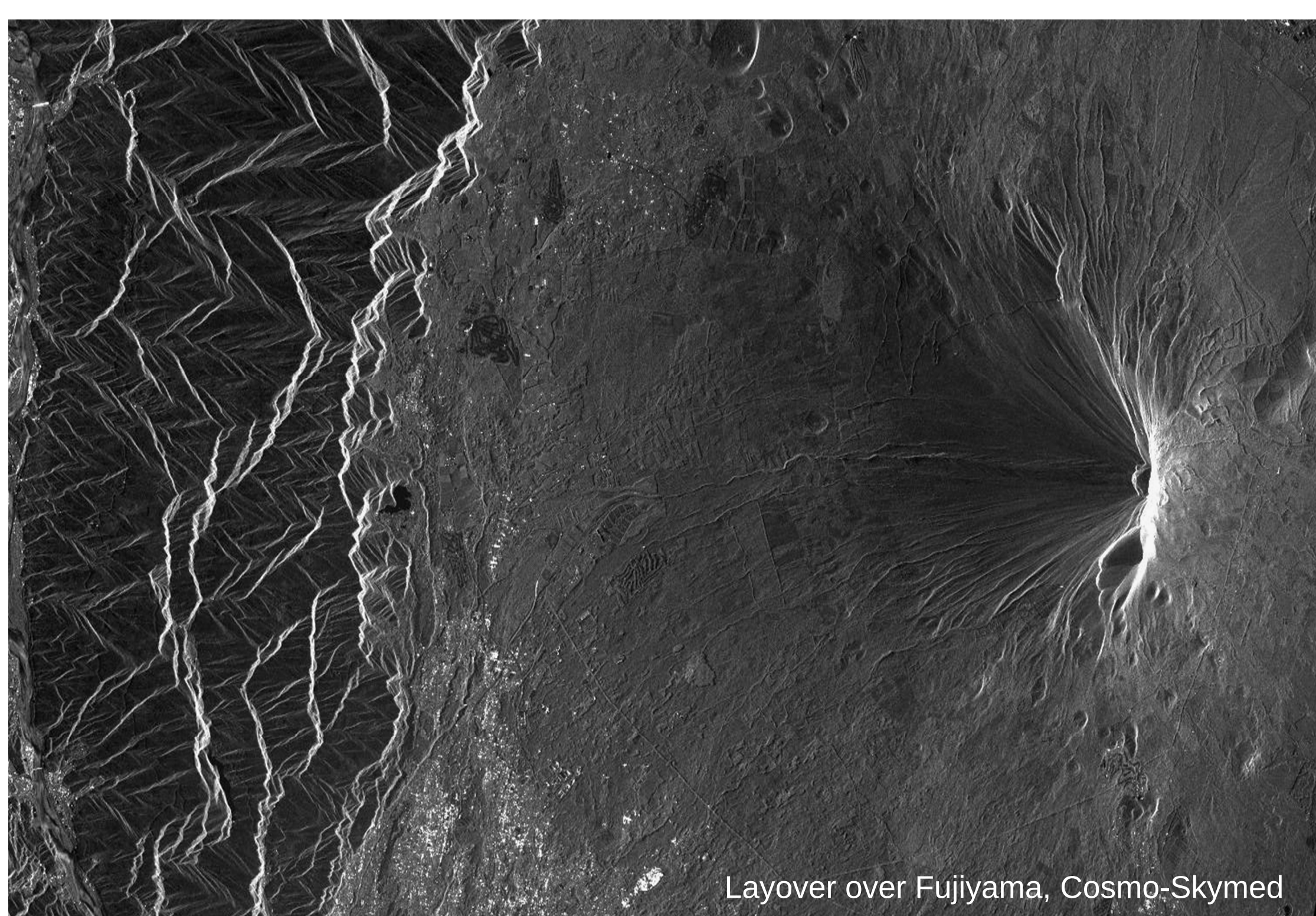
→ L'effet de layover : renversant !



Trajectoire radar

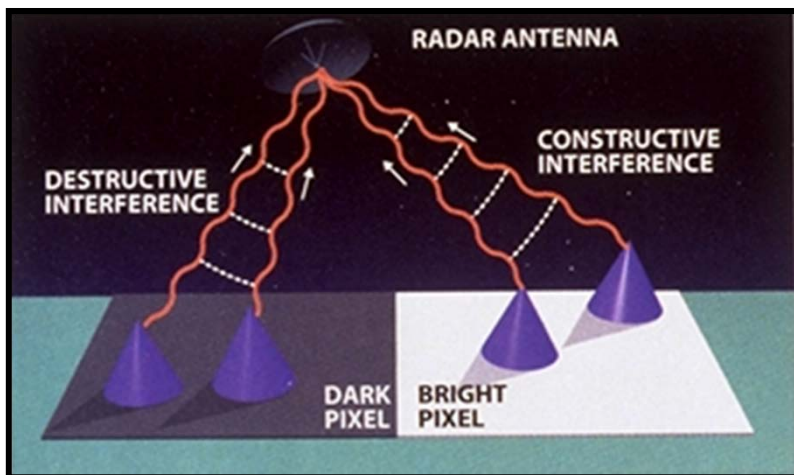
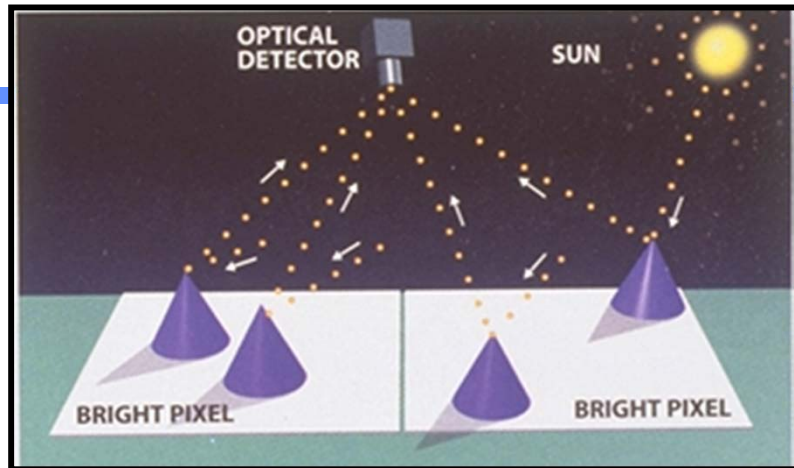
radar illumination



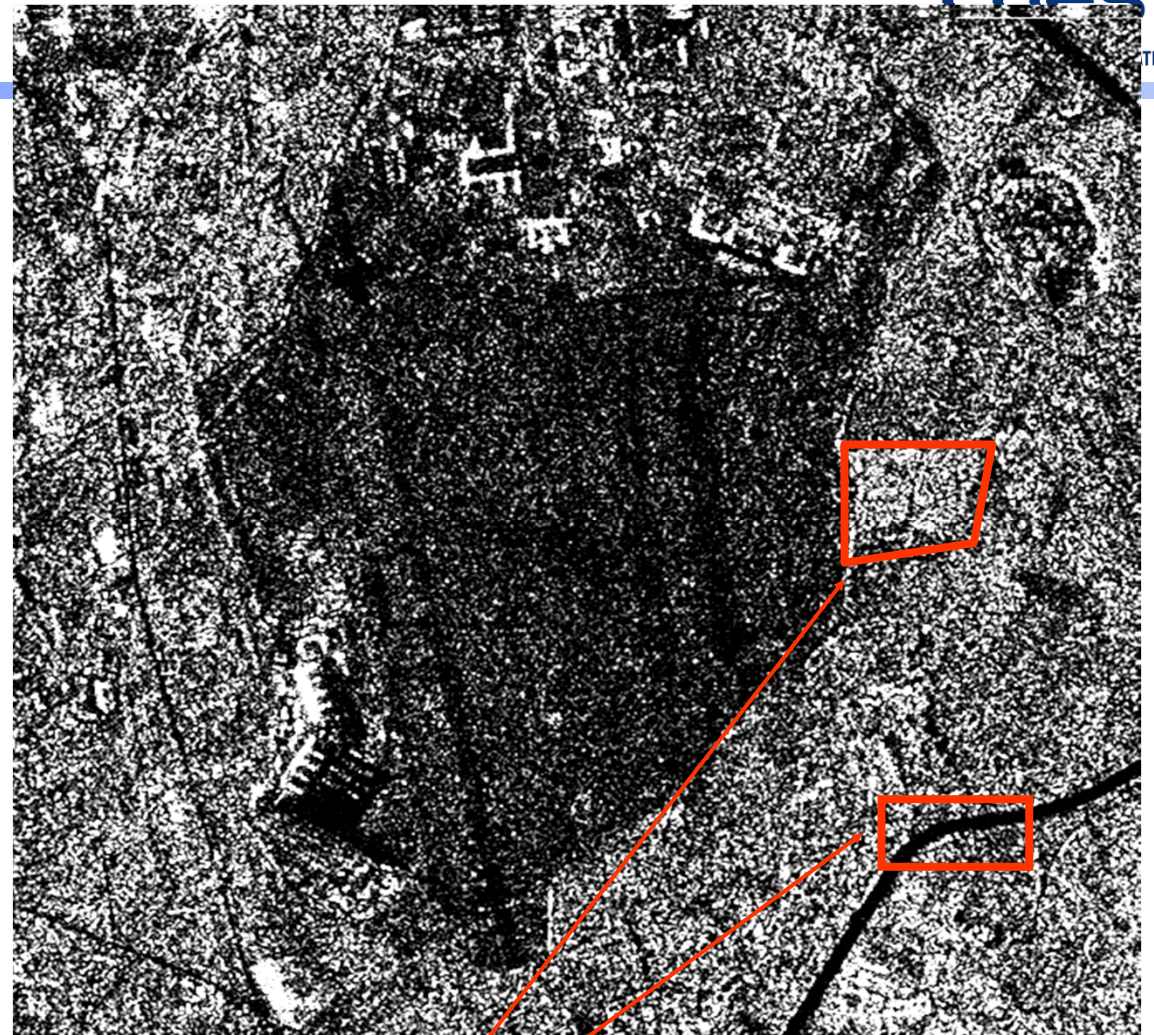


Layover over Fujiyama, Cosmo-Skymed

... et une radiométrie délicate : le bruit de speckle



© Scientific American

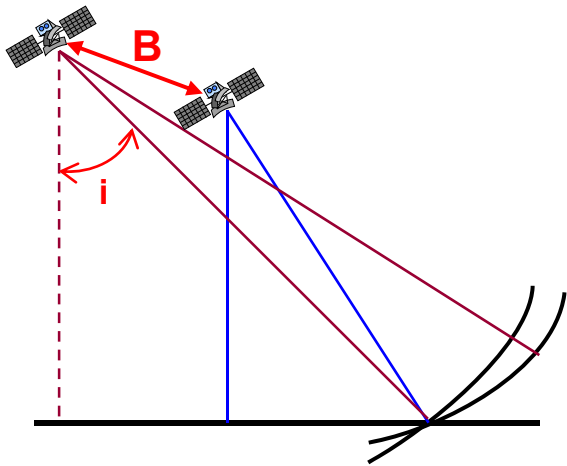


RSAT standard image

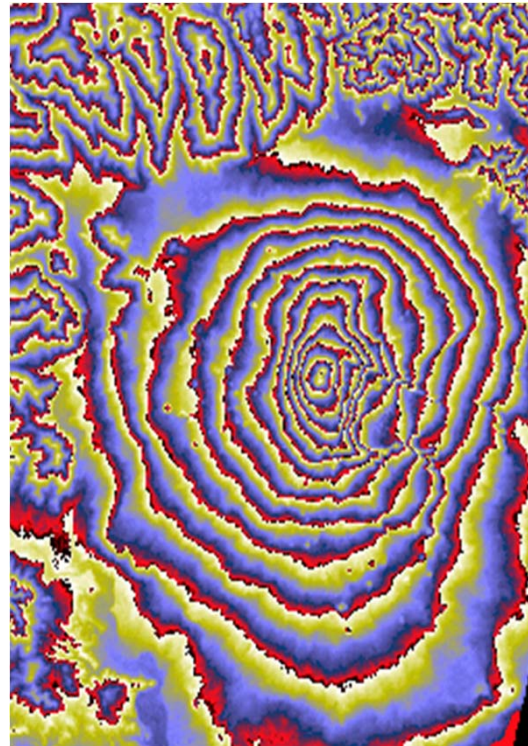
- lumière aléatoire : résultat certain ...
- lumière ordonnée : résultat aléatoire !

**Le speckle est un
bruit multiplicatif**

Les techniques vectorielles : Interférométrie radar



Relief



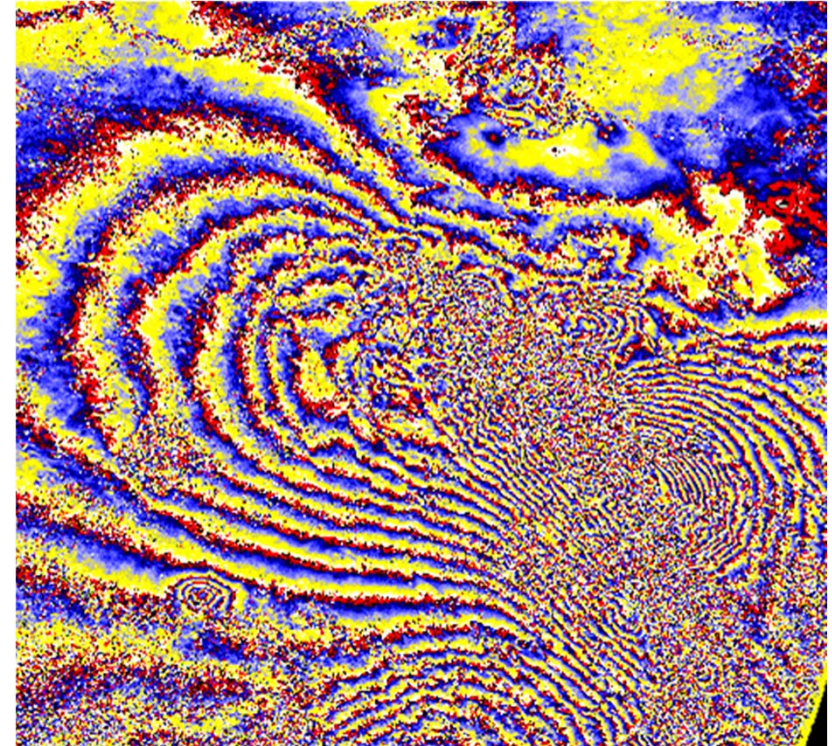
Etna

Courbes d'iso-altitude

Modèles numériques
de terrain



Mouvements de terrain



Landers

Courbes d'iso-déplacement

Cartographie des
déplacements de terrain





La France vue par SRTM en Février 2000

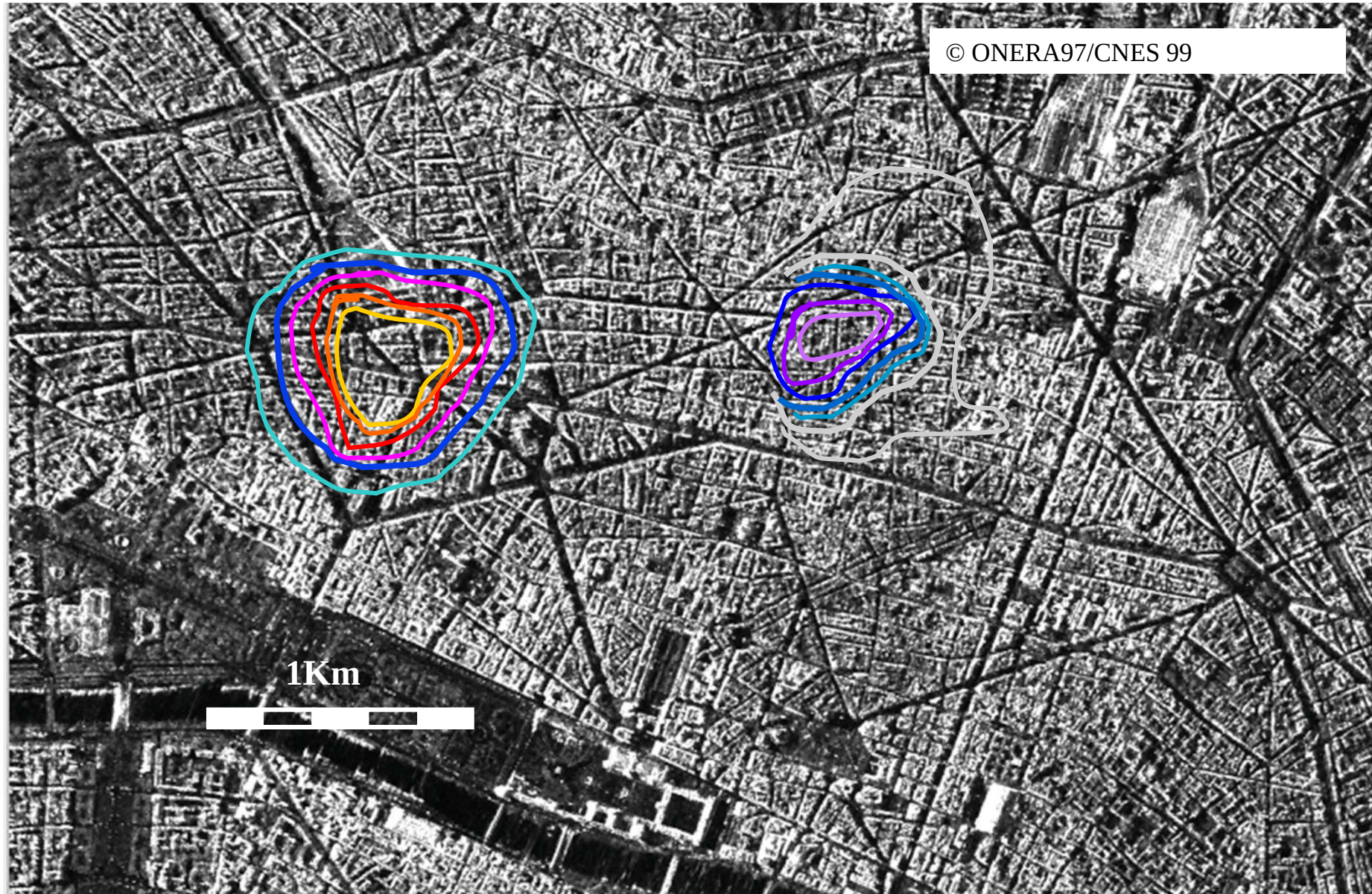
Les techniques vectorielles : Interférométrie radar

→ Mouvements de terrain : Subsides sur Paris

Paris

1,6 cm

ERS



Polarimétrie radar

Polarimétrie SIR-C / Site de Ulan-Ude (Russie)



Image mono-polarisation
(pol. Horizontale, bande L)

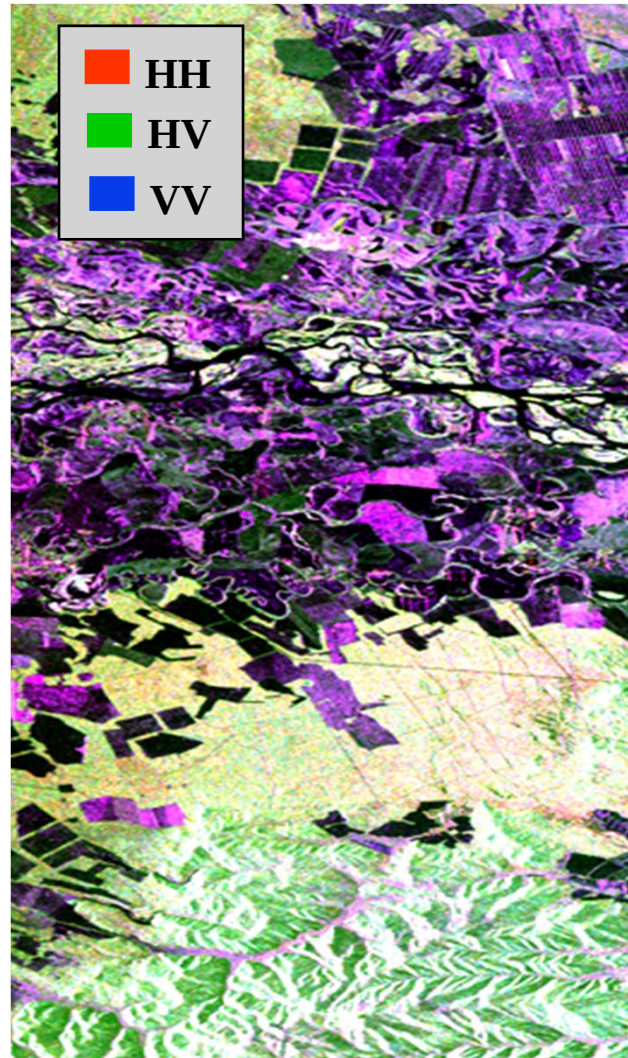
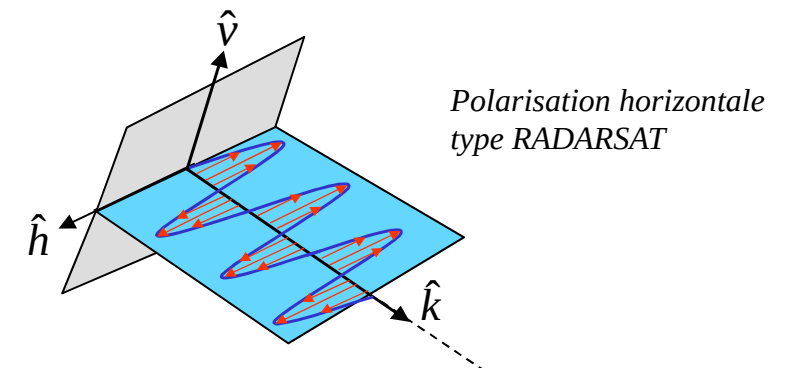
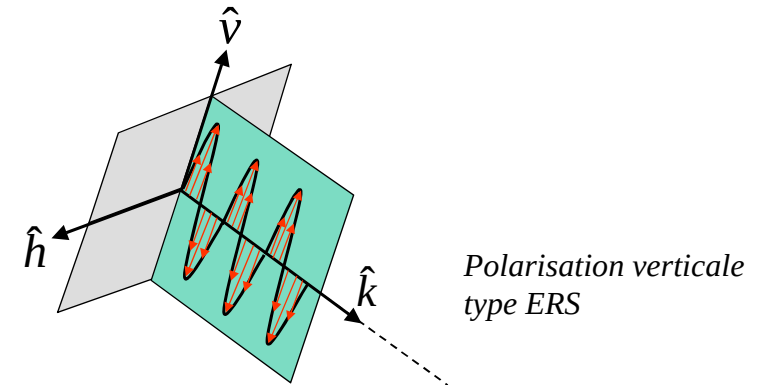
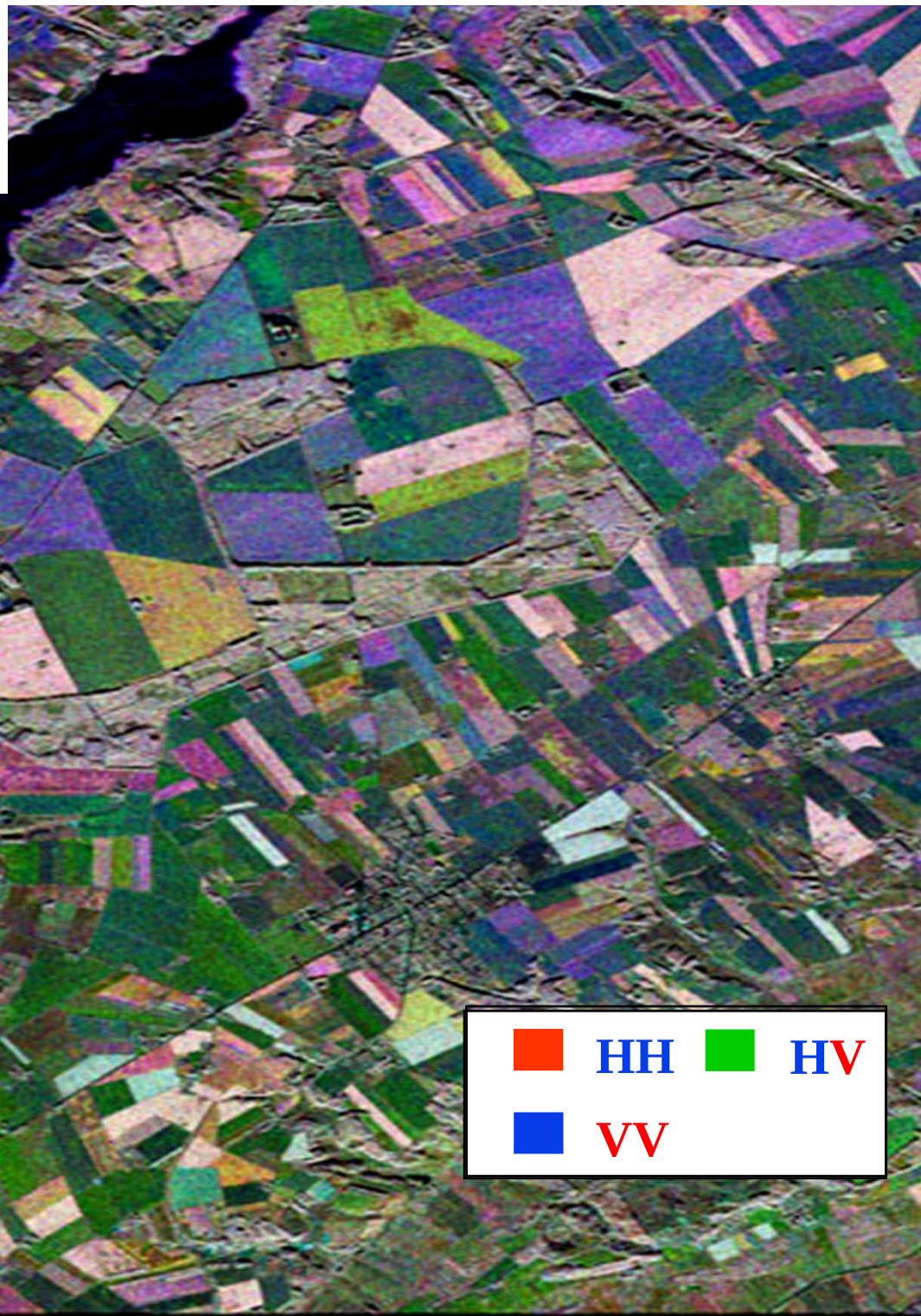


Image polarimétrique
(bande L, 24°)

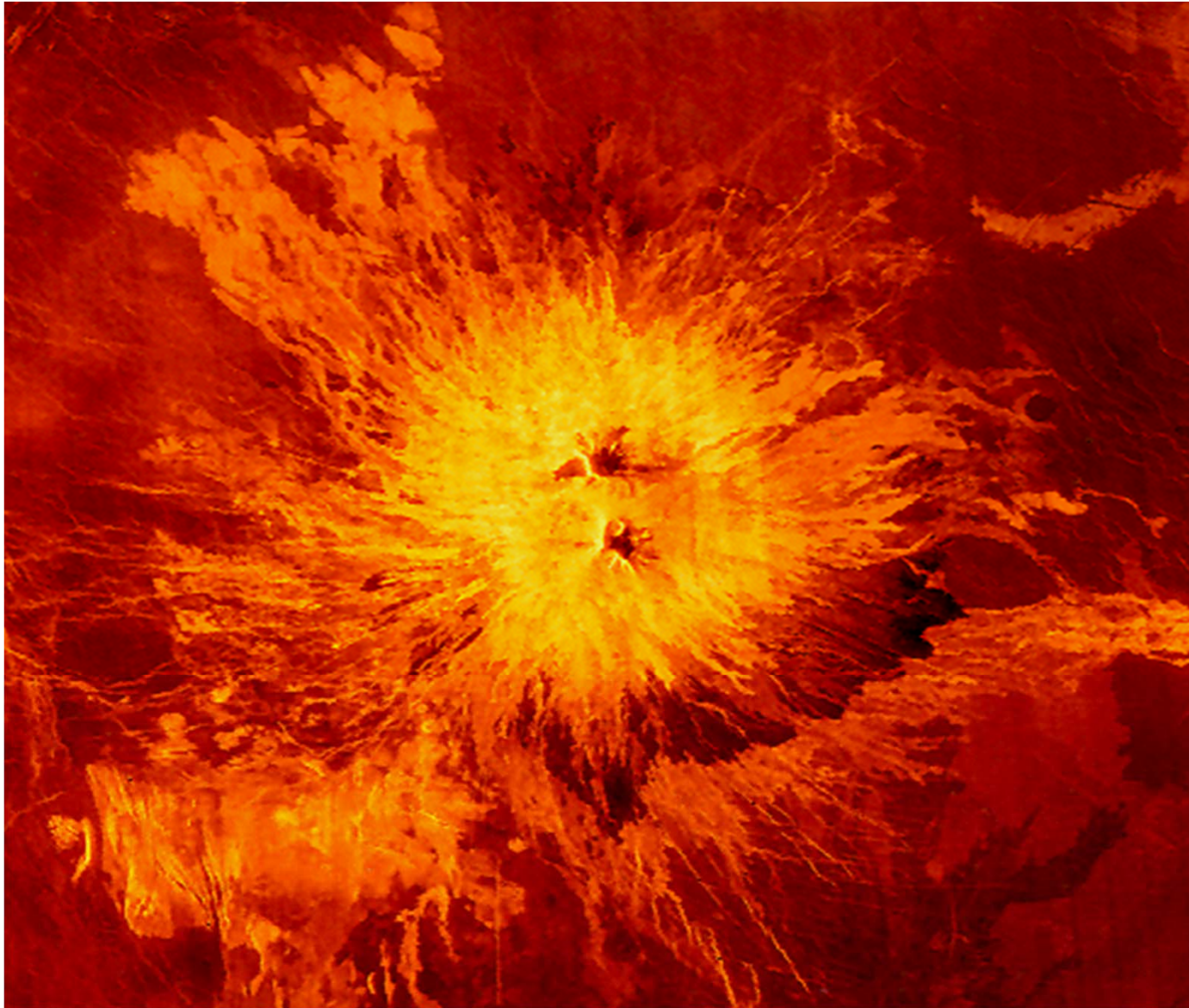
Un radar **polarimétrique** émet et reçoit
simultanément des polarisations
horizontales et **verticales**



POLARIMETRIC RADAR → AGRICULTURE



Le SAR imageur pour les études planétologiques



Mission Magellan sur Venus

Le Mont Sapas

Surface : 650 km x 650 km

Voyage : Mai 89 → Aug. 90

Température de surface : 730 K

Atmosphère : CO₂ (96%)
nitrogène (3%)

Caractéristiques du SAR :
bande S (2.385 GHz)

Puissance crête : 325 W

Longueur de l'impulsion : 26.5 μ s

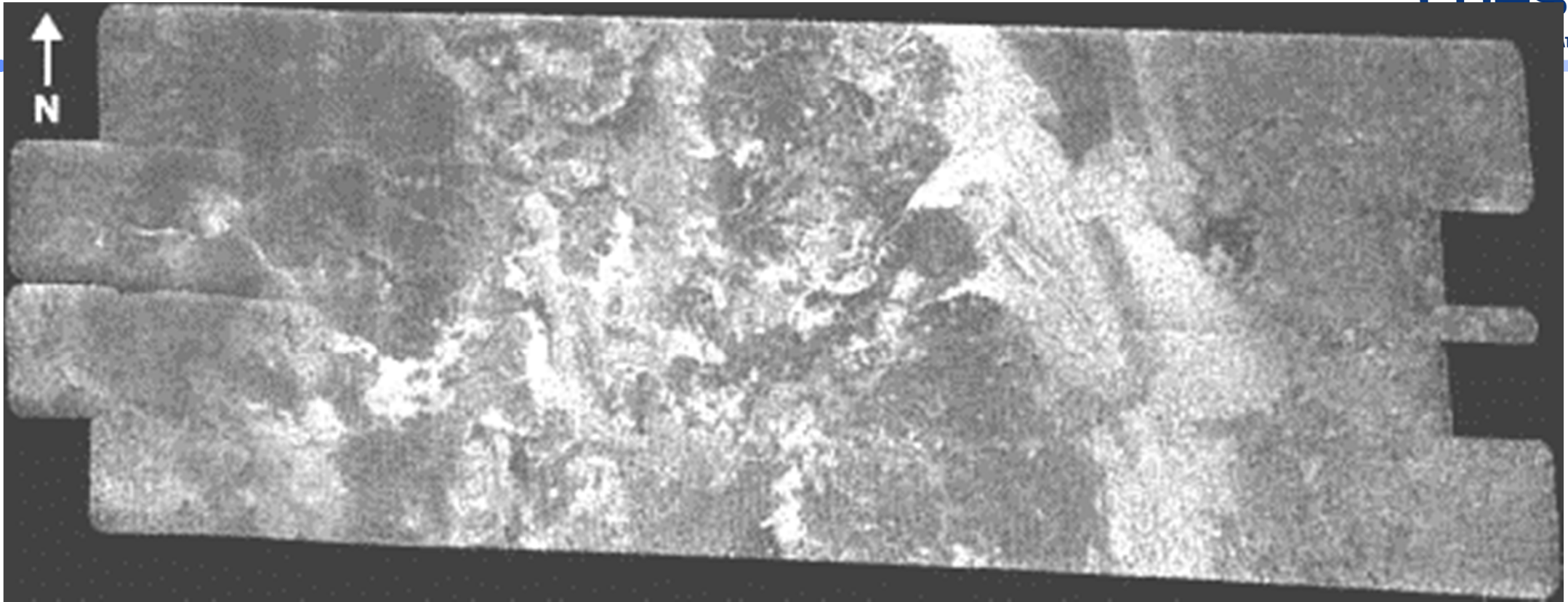
PRF : 4400-5800 Hz

Fauchée : 25 km

Résolution : 150 m

Quantification sur 2 bits

Le SAR imageur pour les études planétologiques



First RADAR image of Titan from Cassini - 2005 : 120 kilometers (75 miles) wide by 2,000 kilometers (1,250 miles) long (segment of the full strip). Image: NASA/JPL

RADAR Sensing Instruments:

- * SAR (13.78 GHz, Ku-band (2,2cm); 0.35 to 1.7 km resolution)
- * Altimeter (Ku-band; 24 to 27 km horizontal, 90 to 150 m vertical resolution)
- * Radiometer (passive Ku-band; 7 to 310 km resolution)