

Formations Universitaires
Samedi 4 Mai 2019, Port-au-Prince, Haiti



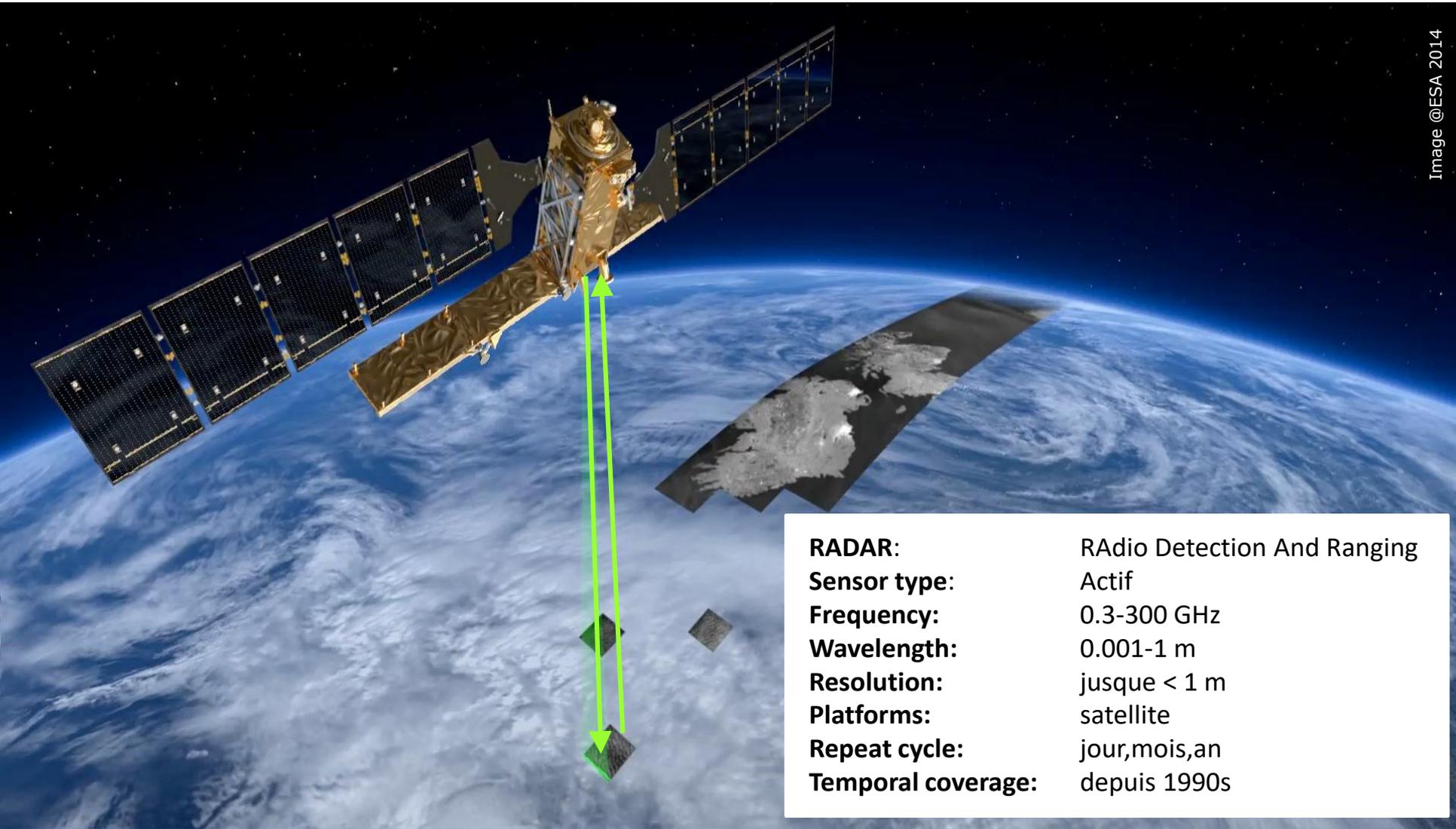
Initiation imagerie radar (SAR)

DR. FRANCESCA CIGNA, DR. DEODATO TAPETE

ITALIAN SPACE AGENCY (ASI), SCIENTIFIC RESEARCH UNIT

- **Synthetic Aperture Radar (SAR)**
- **Principes de l'imagerie SA**
- **Bandes micro-ondes & capteurs actifs**
- **Méthodes de traitement d'image SAR**
 - Détection de changement
 - Interférométrie SAR (InSAR)
 - Persistent Scatterer Interferometry (PS-InSAR)
- **Données SAR disponibles** (focus sur Sentinel-1 & COSMO-SkyMed)
- **Q&R**

Imagerie Synthetic Aperture Radar (SAR)

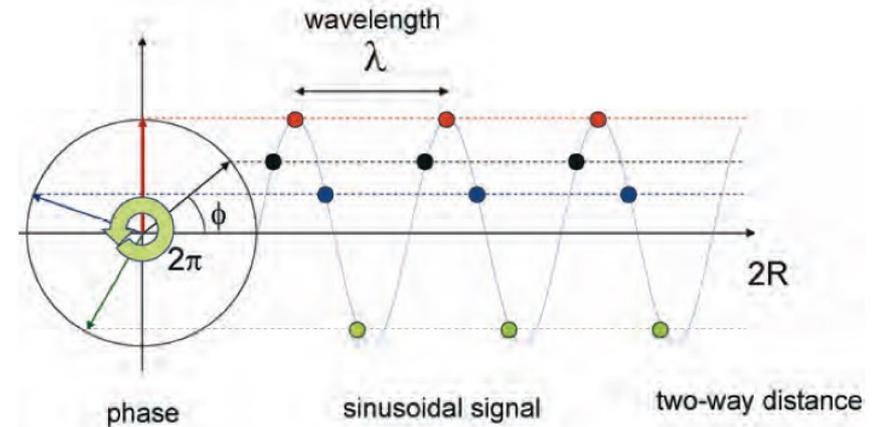


RADAR:	RADIO Detection And Ranging
Sensor type:	Actif
Frequency:	0.3-300 GHz
Wavelength:	0.001-1 m
Resolution:	jusque < 1 m
Platforms:	satellite
Repeat cycle:	jour,mois,an
Temporal coverage:	depuis 1990s

- **Amplitude**

Mesure de la force d'un signal, dans ce contexte, la hauteur de l'onde électromagnétique.

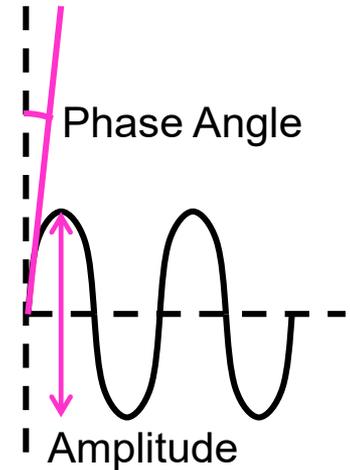
Relation avec les propriétés de rétrodiffusion des diffuseurs (scatterers) au sol



- **Phase**

Propriété d'un phénomène périodique (onde électromagnétique) désignant une origine arbitraire. Exprimé en degrés ou en radians.

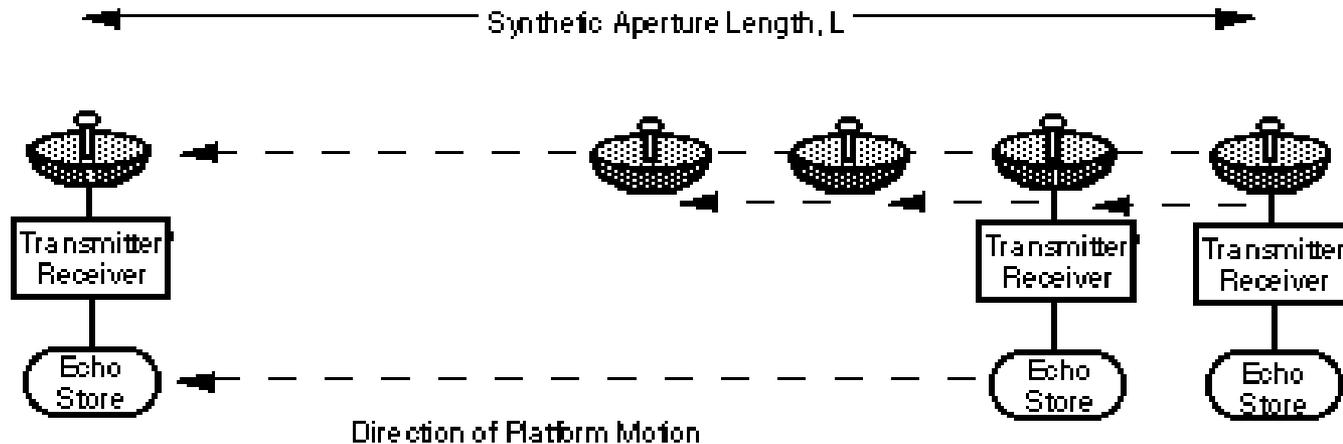
Ce sont les informations utilisées en interférométrie SAR (InSAR)



Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery

Objectif: produire une antenne plus grande que celle physiquement présente à bord de la plate-forme radar

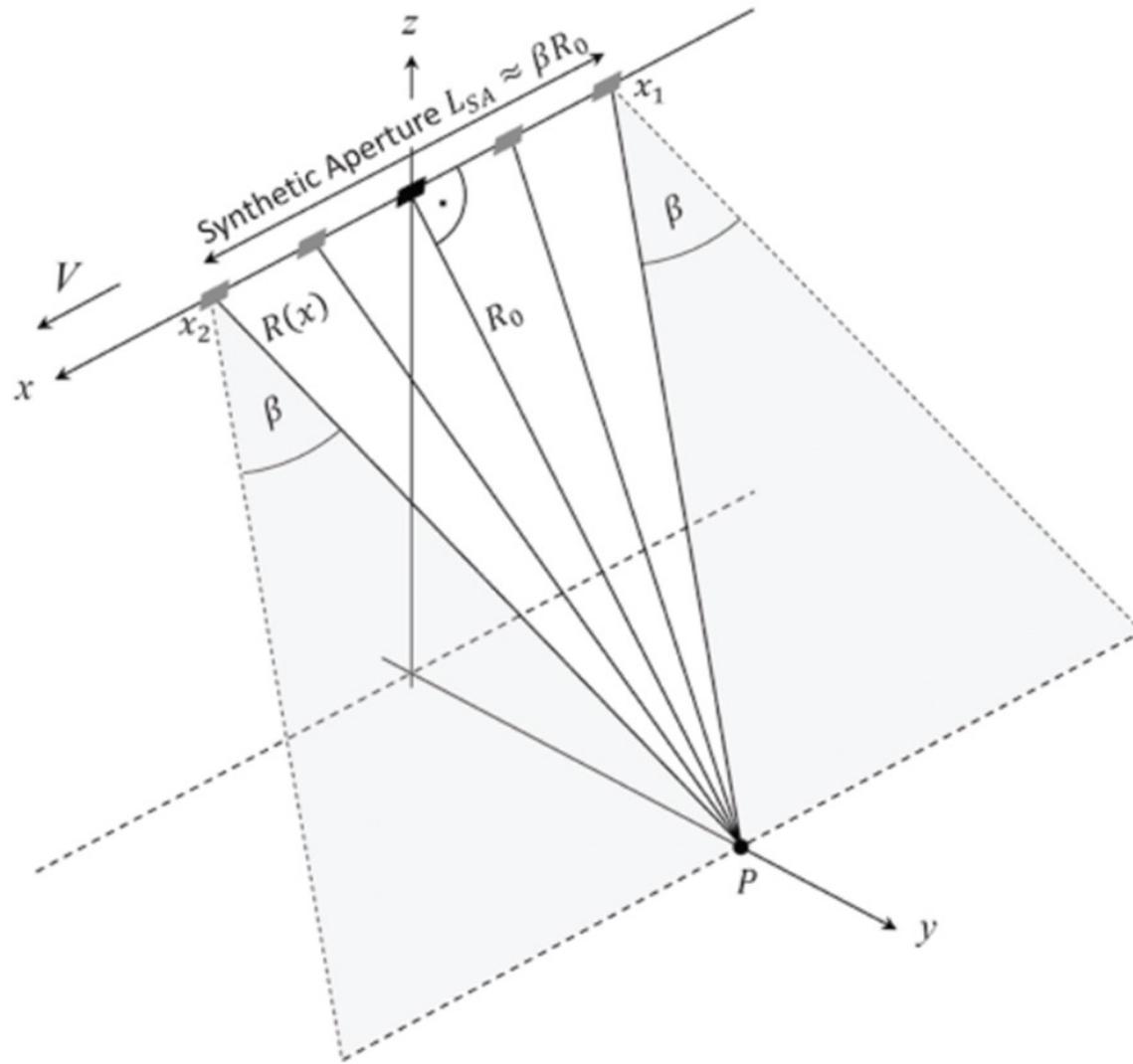
- Lorsque le capteur se déplace dans le sens du mouvement, une impulsion est transmise à chaque position et les échos de retour sont enregistrés.



ESA Earthnet Online (2013)

Même principe pour tous les types de plates-formes (SAR spatiaux, aéroporté, terrestre)

Dans le cas des capteurs SAR spatiaux

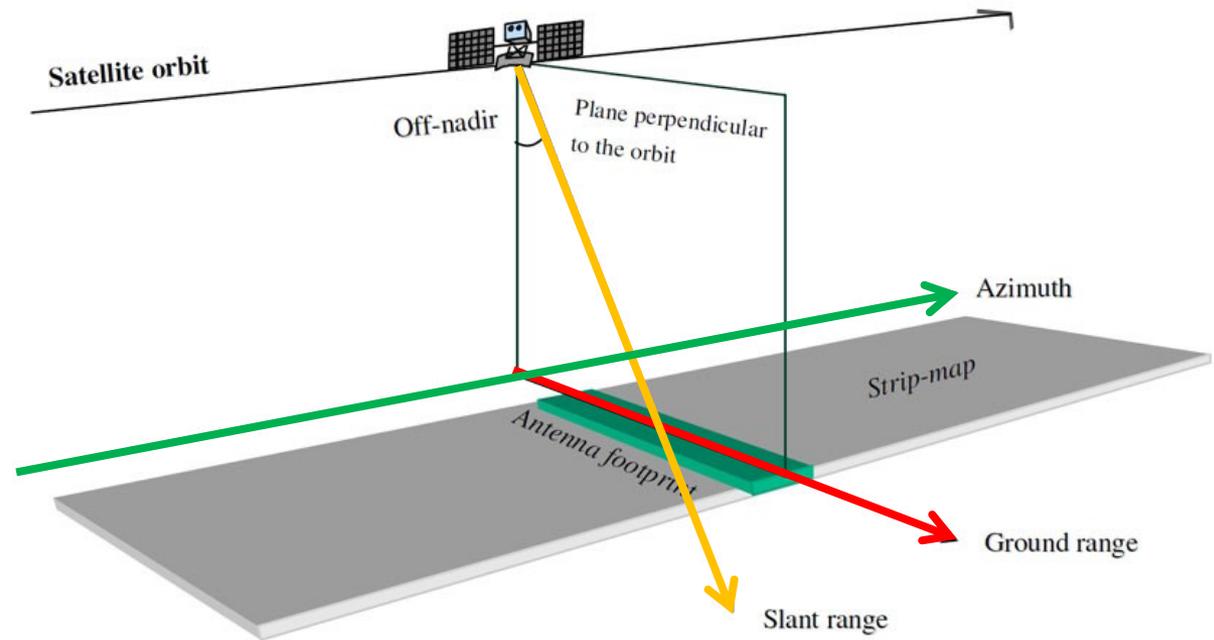


Imagerie SAR spatiale - terminologie de base

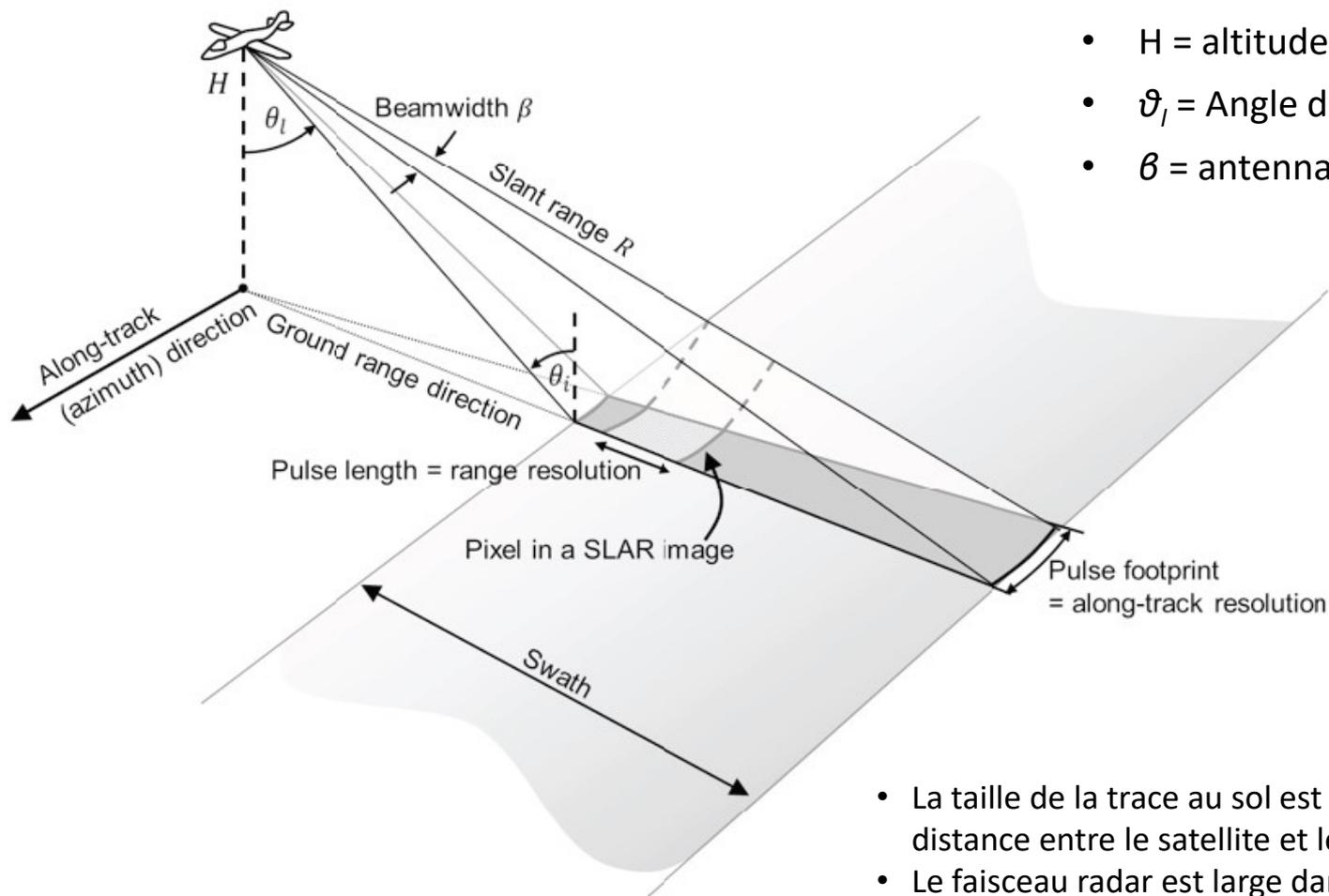
- direction (i.e. **azimuth** direction, flight track)
- direction (i.e. ground **range** direction)
- /Ligne de Vue/(i.e. **slant-range** direction)
- Off-nadir angle (or look angle, ϑ_i): inclination de l'antenne vis à vis du nadir (angles typiques 20-50°)

La figure est basée sur l'hypothèse que la surface de la Terre est plate!

Sous cette hypothèse, l'angle de vue, ϑ_i , = angle d'incidence, ϑ_i



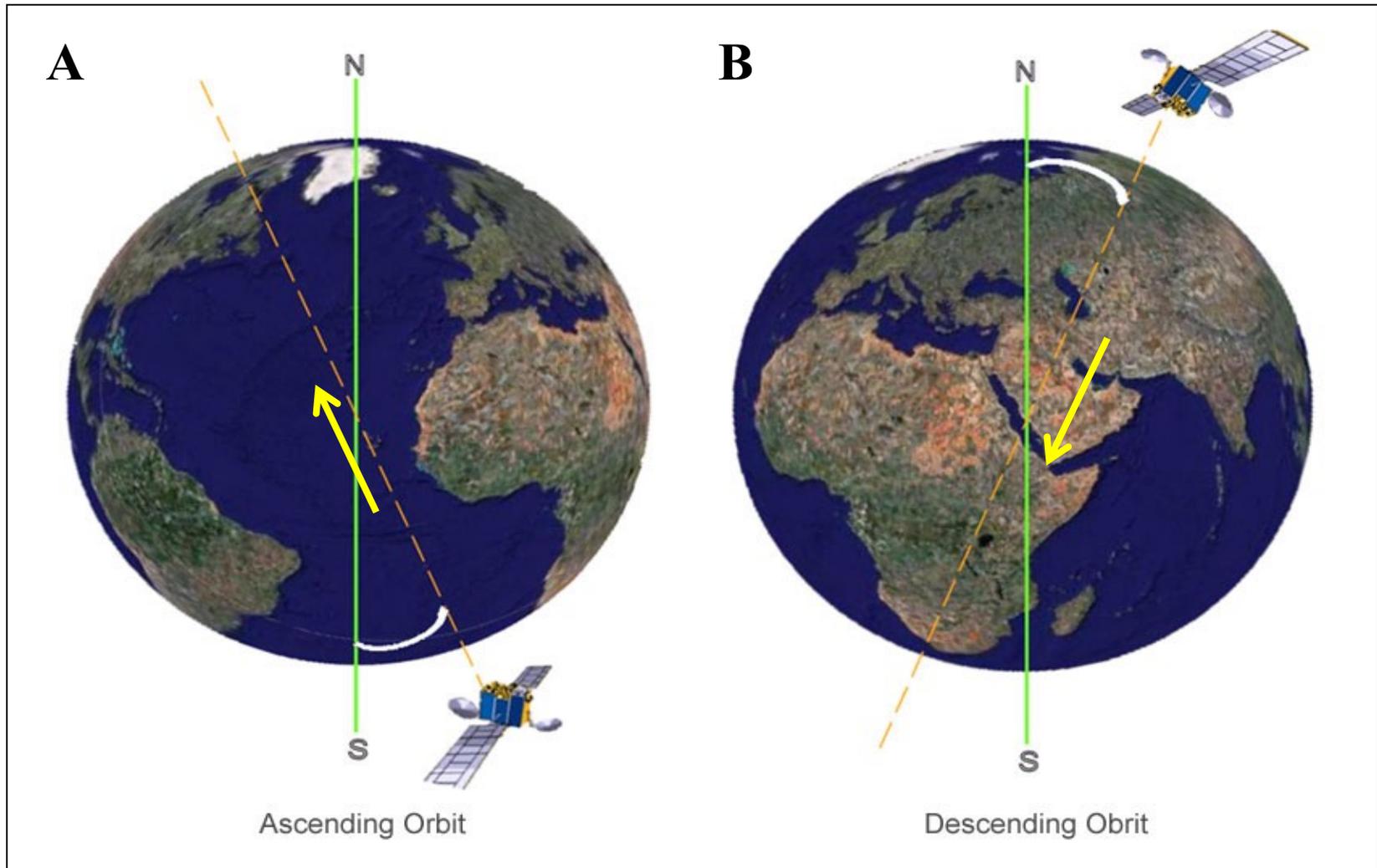
Azimuth (along-track) and Range resolution



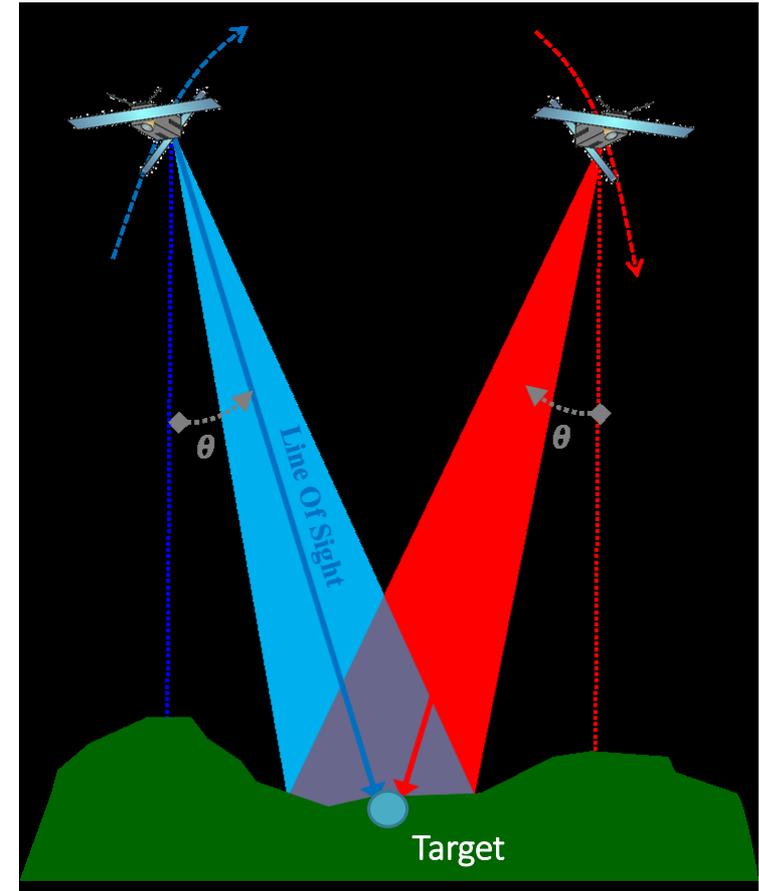
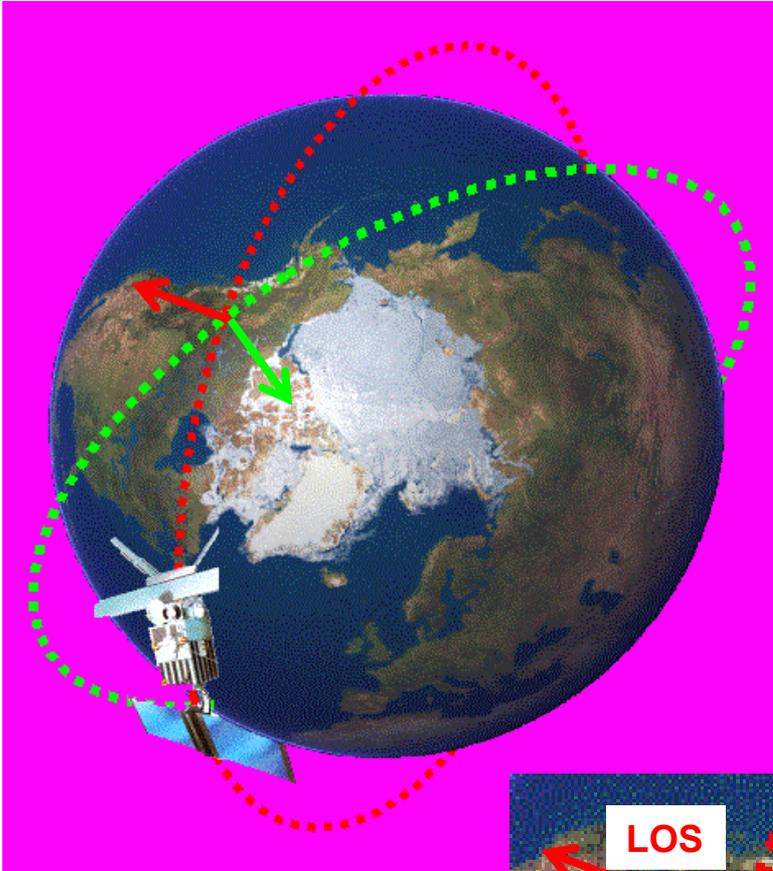
- H = altitude H
- ϑ_l = Angle de vue
- β = antenna beam-width

- La taille de la trace au sol est définie par β et la distance entre le satellite et le sol R .
- Le faisceau radar est large dans la direction de visée (range direction) mais fin vers l'azimuth (along-track)

Passes Ascendante et Descendante

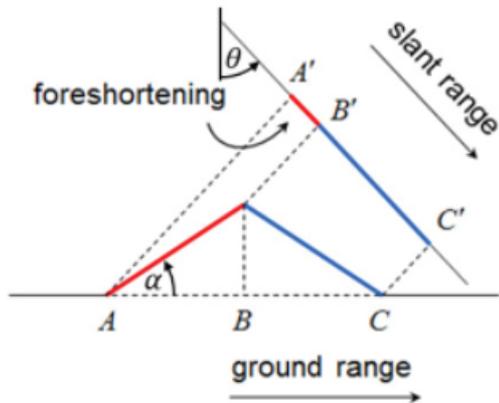


Géométrie d'observation complémentaire



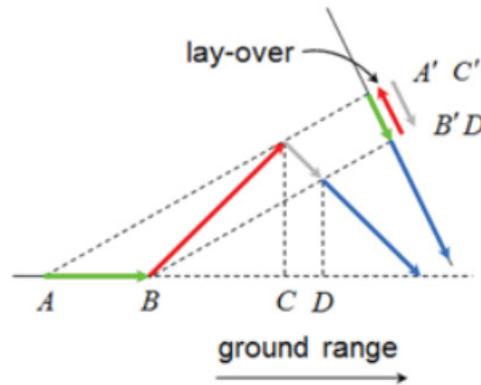
FORESHORTENING

- Sensor-facing slope foreshortened in image
- Foreshortening effects *decrease* with increasing look angle



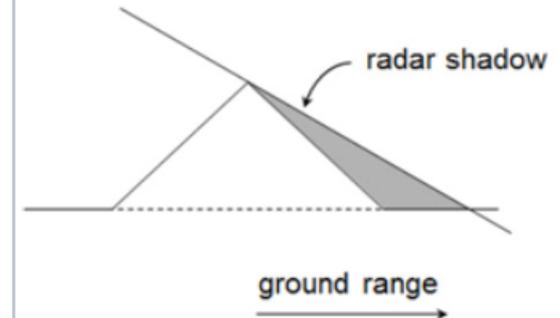
LAYOVER

- Mountain top overlain on ground ahead of mountain
- Layover effects *decrease* with increasing look angle

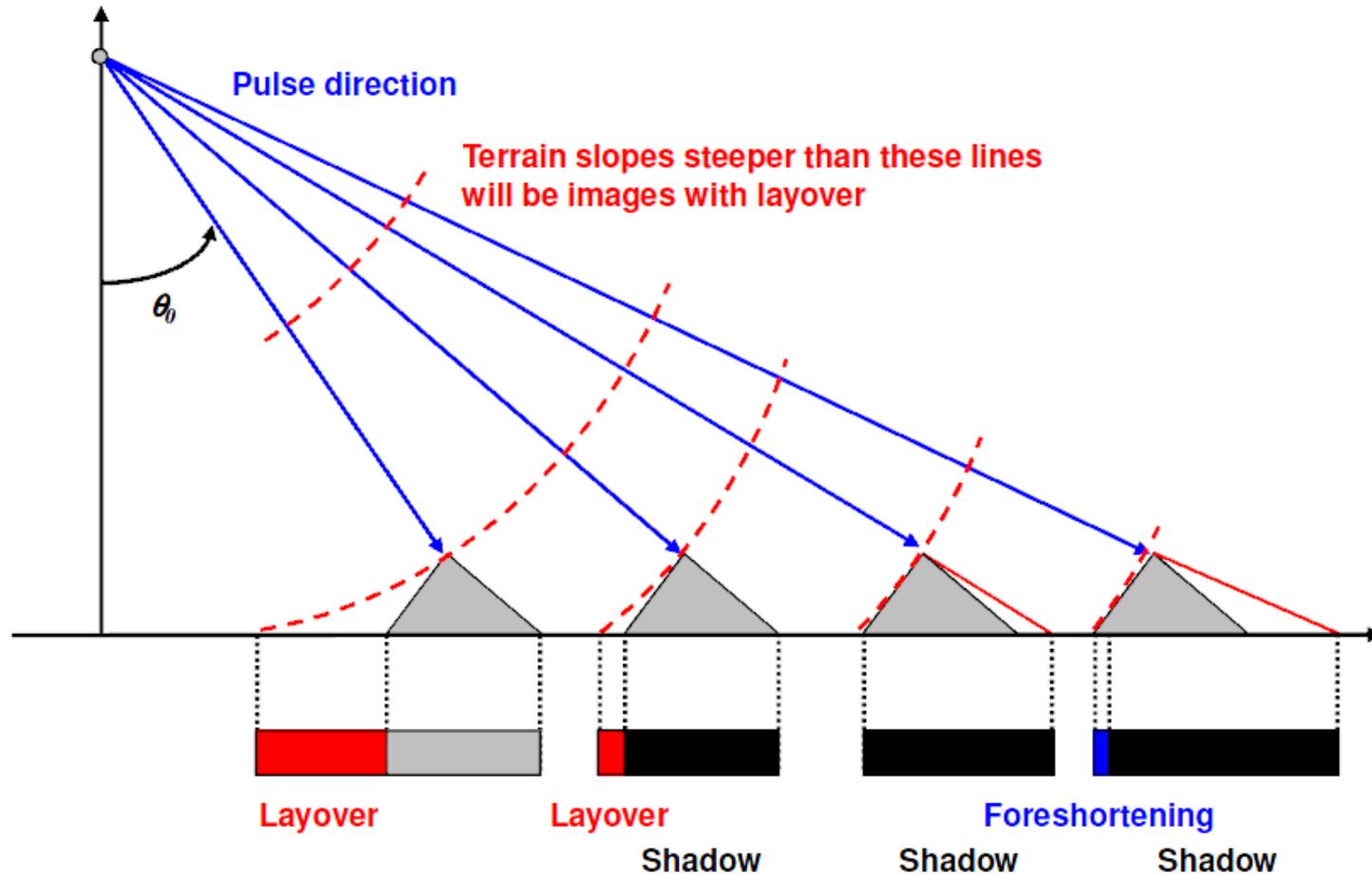


SHADOW

- Area behind mountain cannot be seen by sensor
- Shadow effects *increase* with increasing look angle



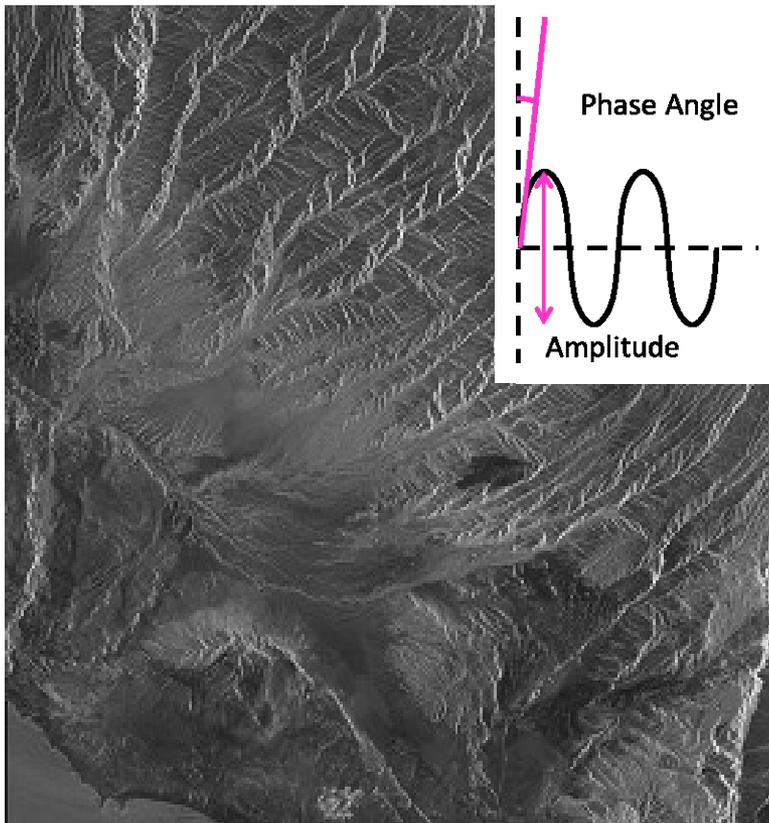
Distortion du Slant-range sur les régions montagneuses



Amplitude SAR

L'Amplitude est la force du signal radar rétrodiffusé (backscatterer) vers le capteurs. Il peut être calculé en combinant la partie réelle (Q) et imaginaire (I) du signal radar complexe

Amplitude $A = \sqrt{(I^2 + Q^2)}$



L'Amplitude peut être transformée en une unité physique $\rightarrow \sigma^0$ (sigma nought) ou radar backscatterer / rétrodiffusion radar

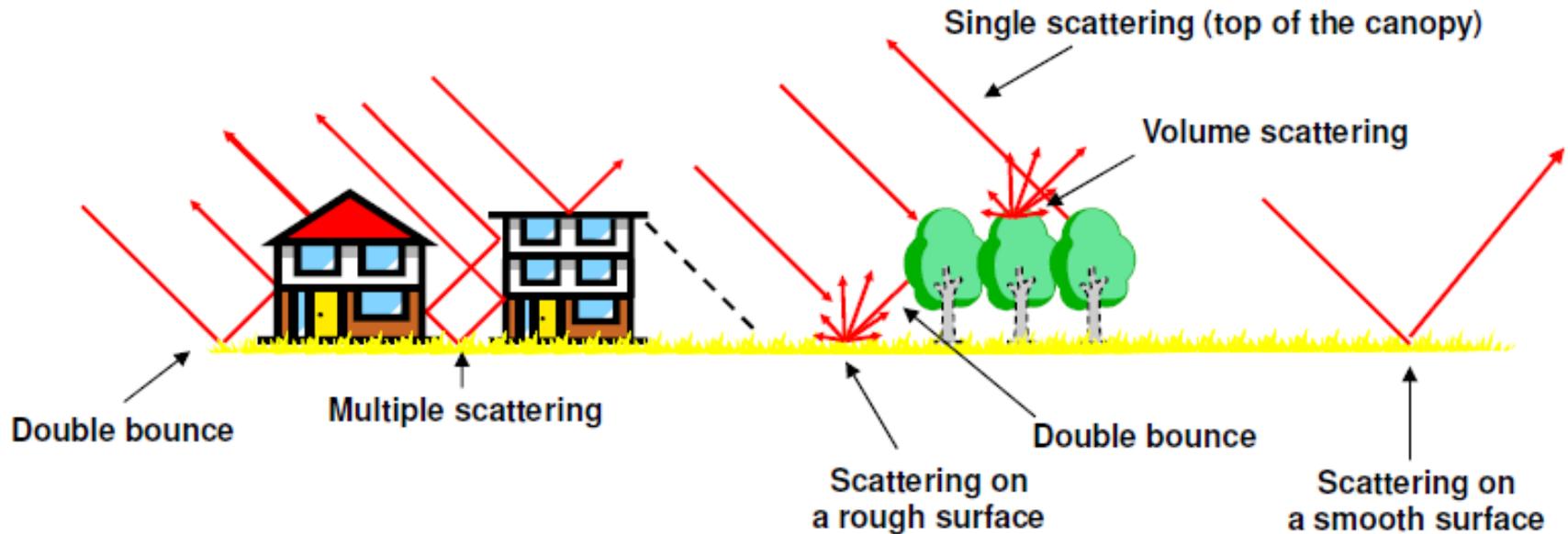
σ^0 dépend de:

- λ , longueur d'onde
- Polarisation
- ϑ , angle incidence

propriétés du signal radar

- Rugosité
- Forme
- Propriétés diélectriques

propriétés de la surface diffusante



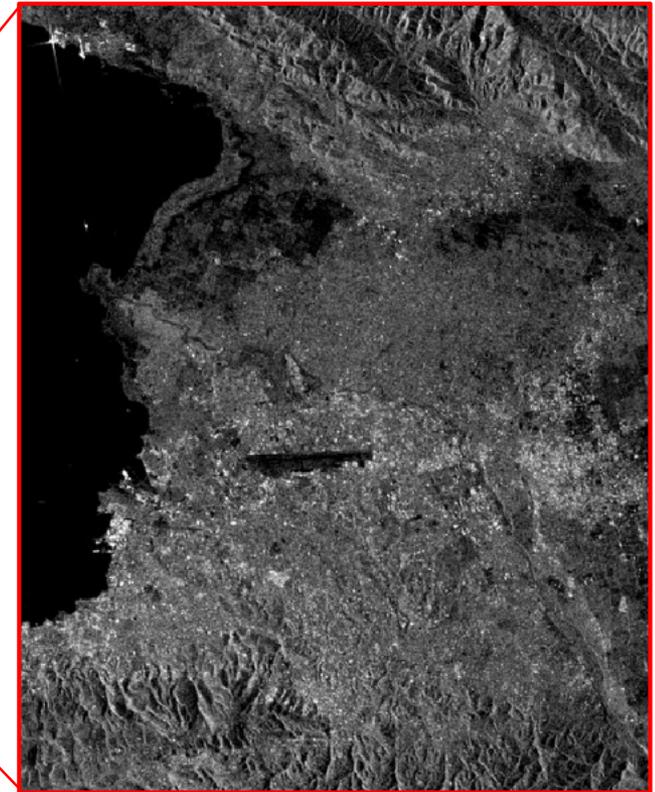
Effet des propriétés du sol:

- Sol **sec**: en fonction de la longueur d'onde du radar, une partie de l'énergie radar incidente peut pénétrer à la surface du sol (moins de signaux rétrodiffusés).
- Sol **humide**: une grande différence de propriétés diélectriques entre l'eau et l'air entraîne un signal rétrodiffusé plus élevé
- Sol **inondé**: réflexion spéculaire, signal rétrodiffusé bas, aspect sombre en image SAR

Exemples d'image SAR sur Haiti

Information d'amplitude SAR (Rétrodiffusion radar normalisée, sigma nought - σ^0)

Sentinel-1 SAR image acquired on 25 March 2019

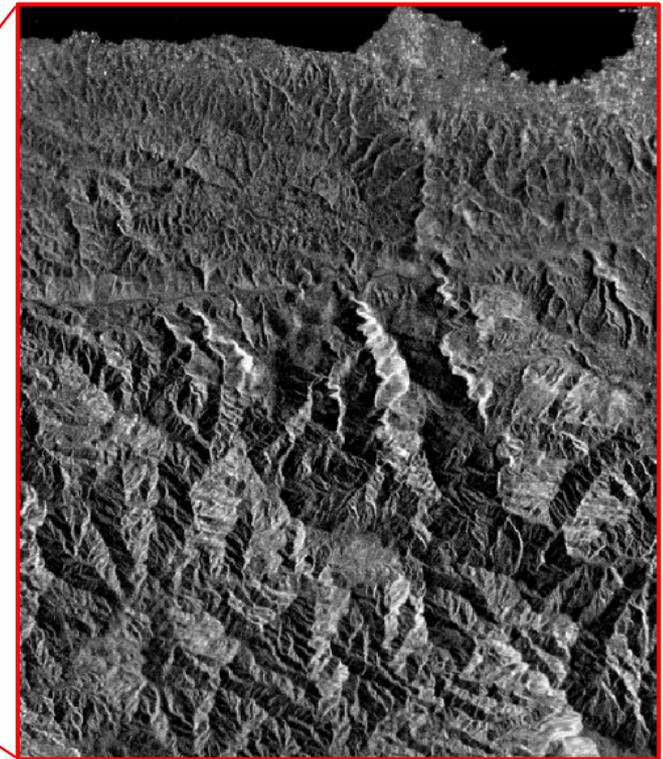
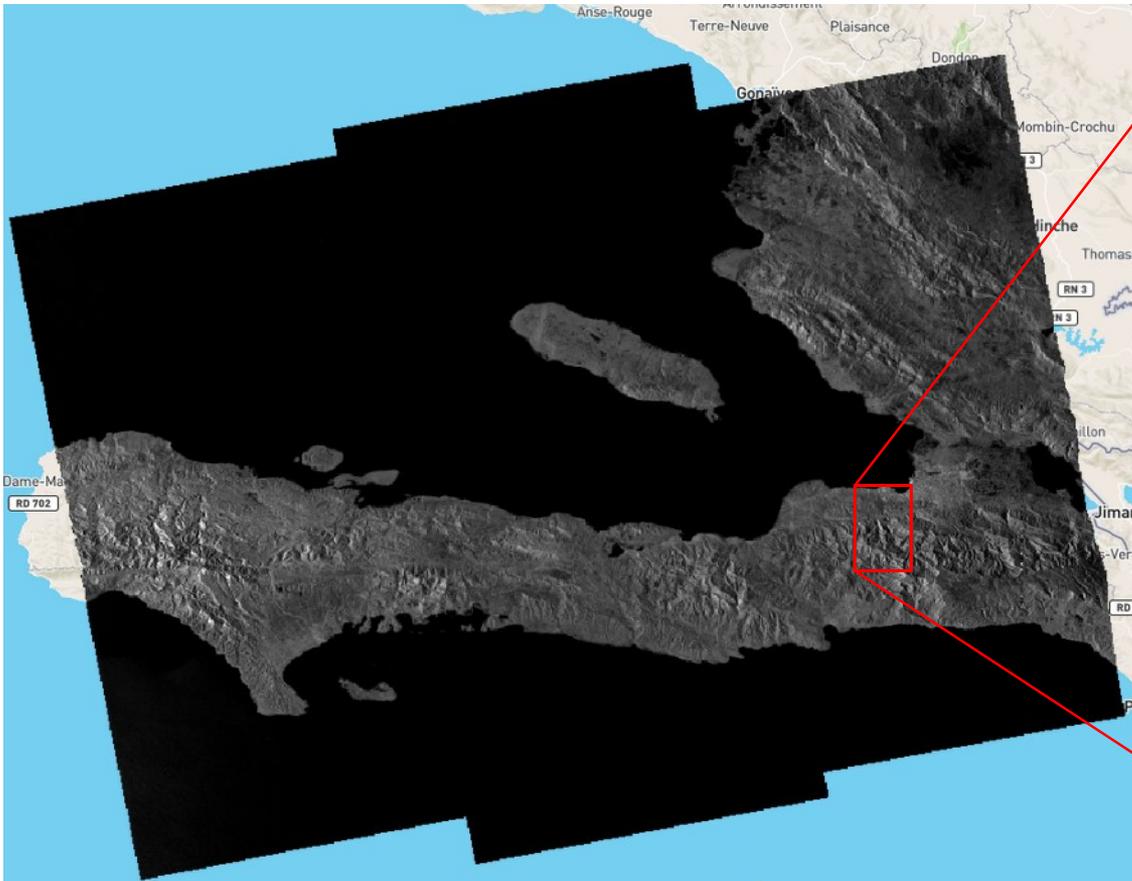


Port-au-Prince

Exemples d'image SAR sur Haiti

Information d'amplitude SAR (Rétrodiffusion radar normalisée, sigma nought - σ^0)

Sentinel-1 SAR image acquired on 25 March 2019



Topographic distortions

Les bandes Radar (longueur d'onde - λ)

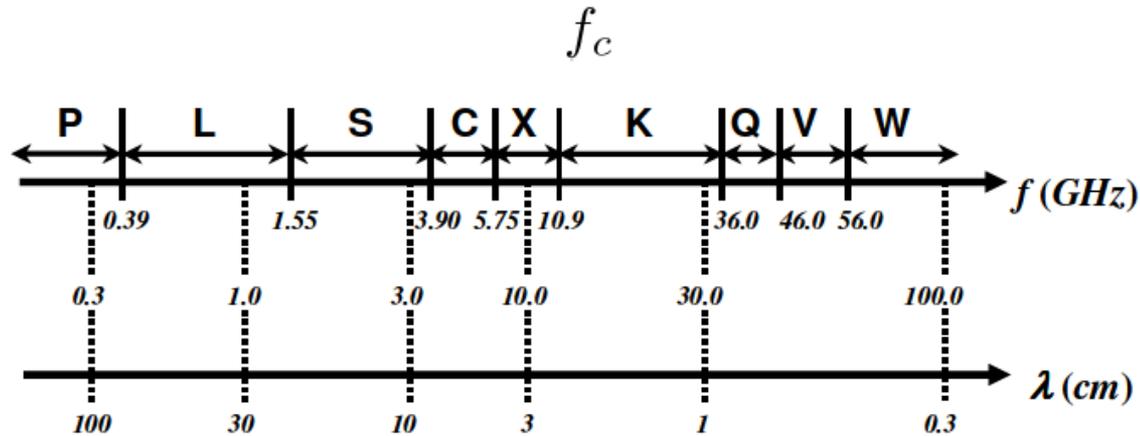
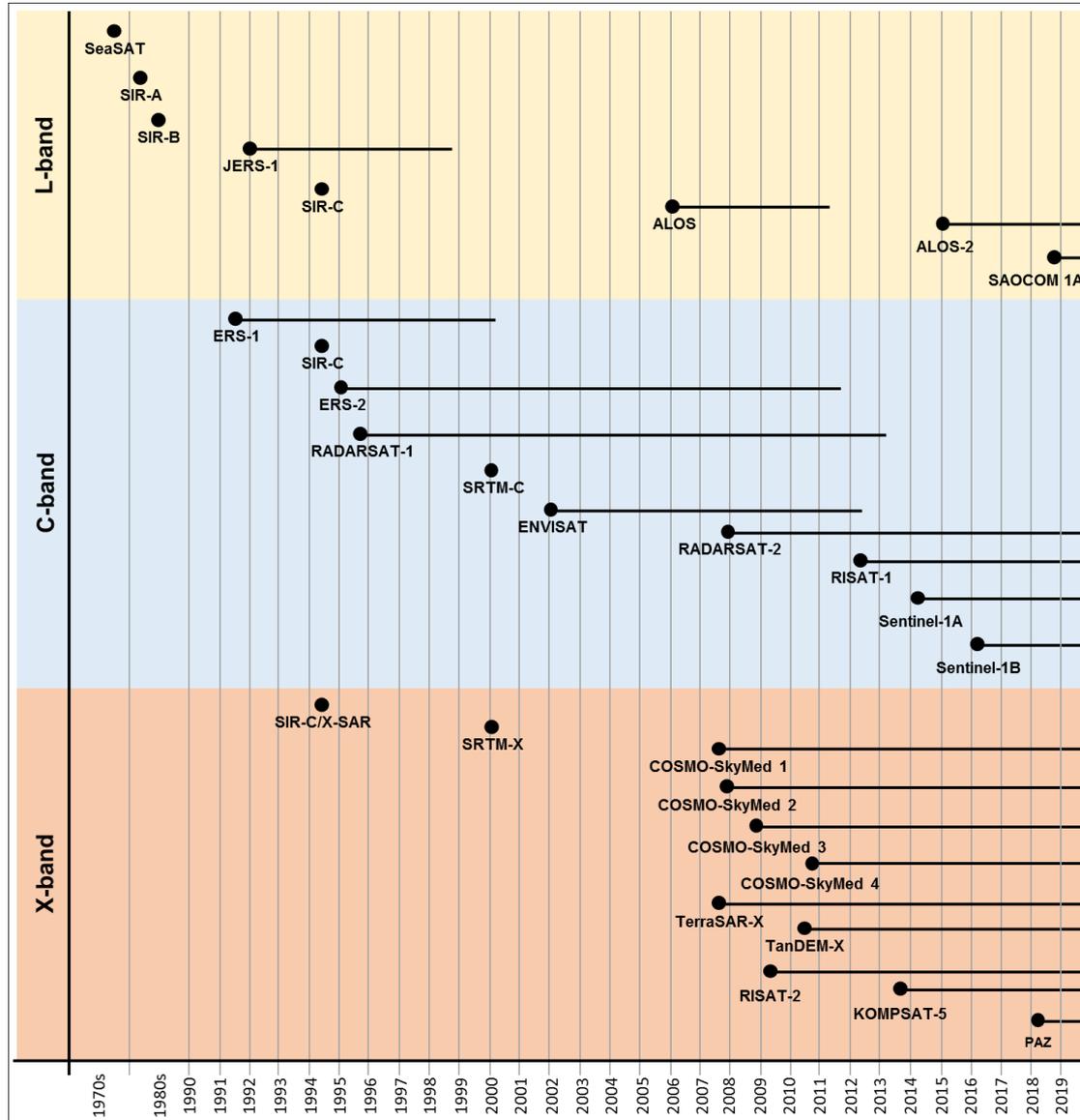


Table 1. SAR bands and frequencies.

Name	Nominal frequency range	Wavelength range	Specific bands used in SARs
VHF	30–300 MHz	10–1 m	138–144 MHz, 216–225 MHz
P (UHF)	300–1000 Mhz	100–30 cm	420–450 MHz, 890–942 MHz
L	1–2 GHz	30–15 cm	1.215–1.4 GHz
S	2–4 GHz	17–7.5 cm	2.3–2.5 GHz, 2.7–3.7 GHz
C	4–8 GHz	7.5–3.75 cm	5.25–5.925 GHz
X	8–12 GHz	3.75–2.5 cm	8.5–10–68 GHz
Ku	12–18 GHz	2.5–1.67 cm	13.4–14.0 GHz, 15.7–17.7 GHz
K	18–27 GHz	1.67–1.11 cm	24.05–24.25 GHz
Ka	27–40 GHz	1.11–0.75 cm	33.4–36.0 GHz
V	40–75 GHz	0.75–0.40 cm	59–64 GHz
W	75–110 GHz	0.40–0.27 cm	76–81 GHz 92–100 GHz
Millimetre	110–300 GHz	2.7–1.0 mm	

Les missions spatiales passées et futures

Au 1er Avril 2019



$\lambda = 15-30 \text{ cm}$

$f = 1-2 \text{ GHz}$

$\lambda = 3.75-7.5 \text{ cm}$

$f = 4-8 \text{ GHz}$

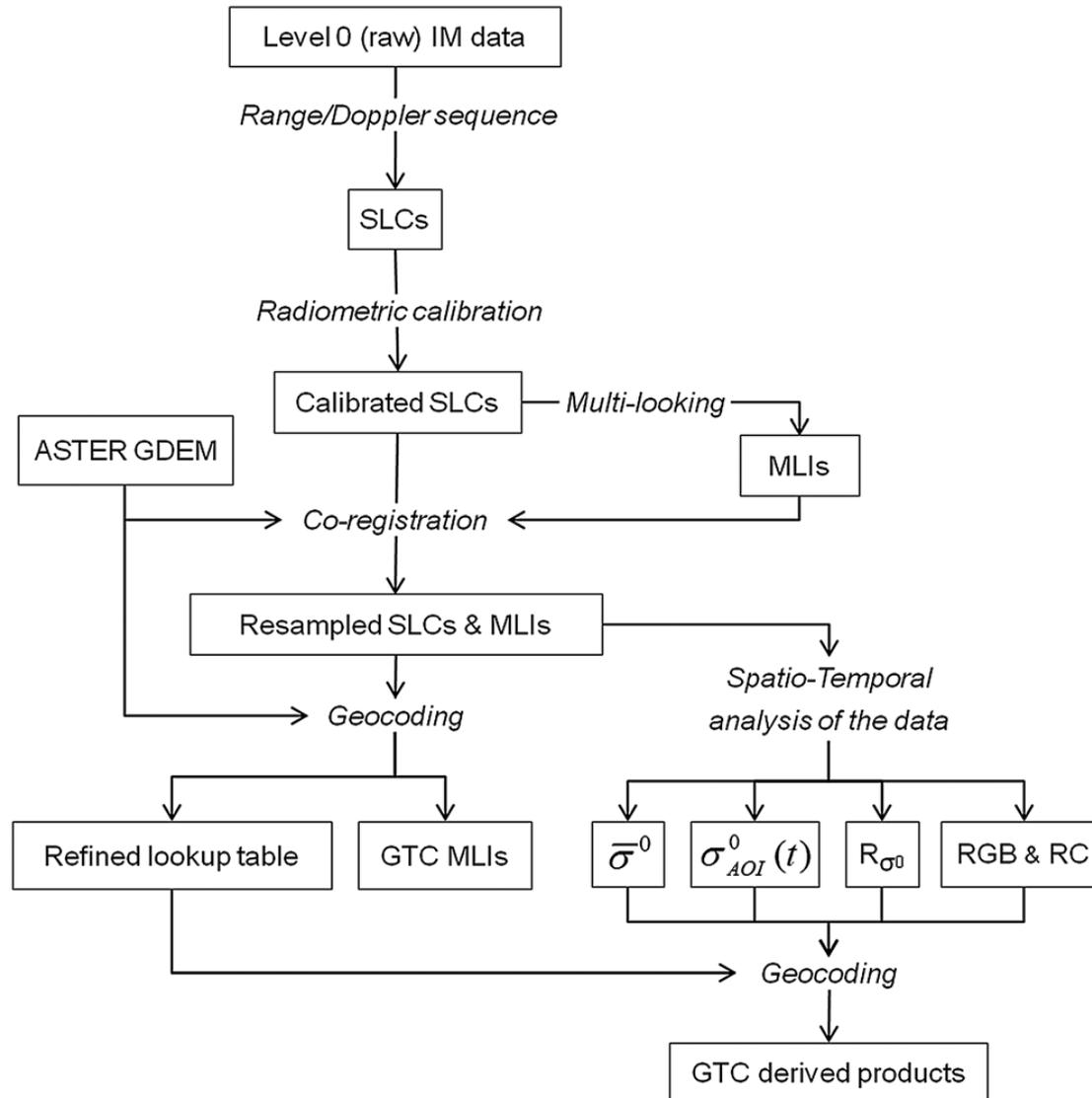
$\lambda = 2.5-3.75 \text{ cm}$

$f = 8-12.5 \text{ GHz}$

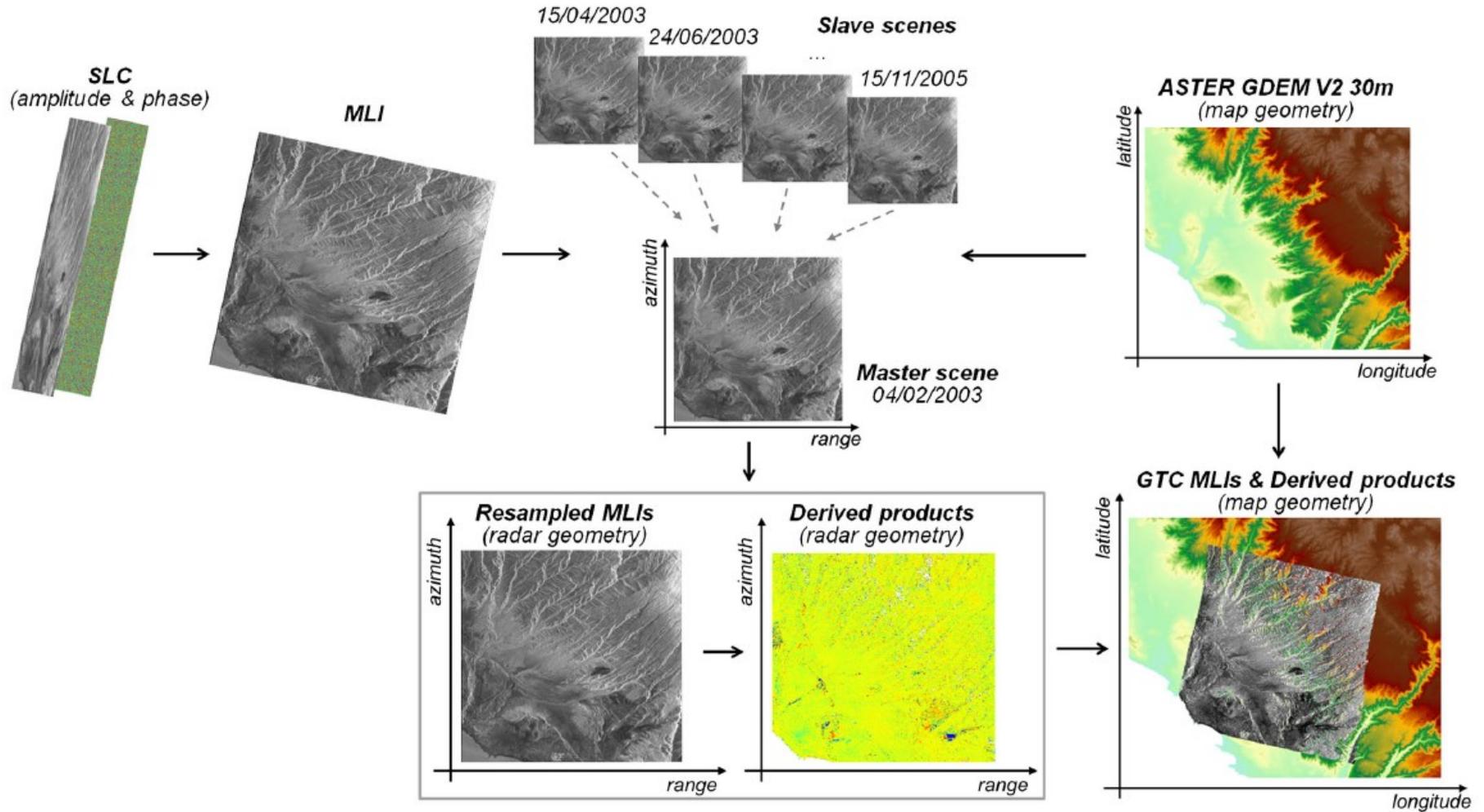
- **Détection de changement d'amplitude**
 - Surveillance de l'environnement
 - Cartographie de l'Occupation des sols (LULC)
 - Cartographie des processus de surface
 - Zones inondées
 - Glissements de terrain nouveaux ou en mouvement
- **Interférométrie SAR (InSAR)**
 - Déformation sismique
 - Déformation régionale du sol
- **Persistent Scatterer Interferometry (PS-InSAR)**
 - Déformation du sol régionale à locale
 - Effondrement des bâtiments
 - Surveillance de l'affaissement

Exemples d'applications dans le prochain ppt!

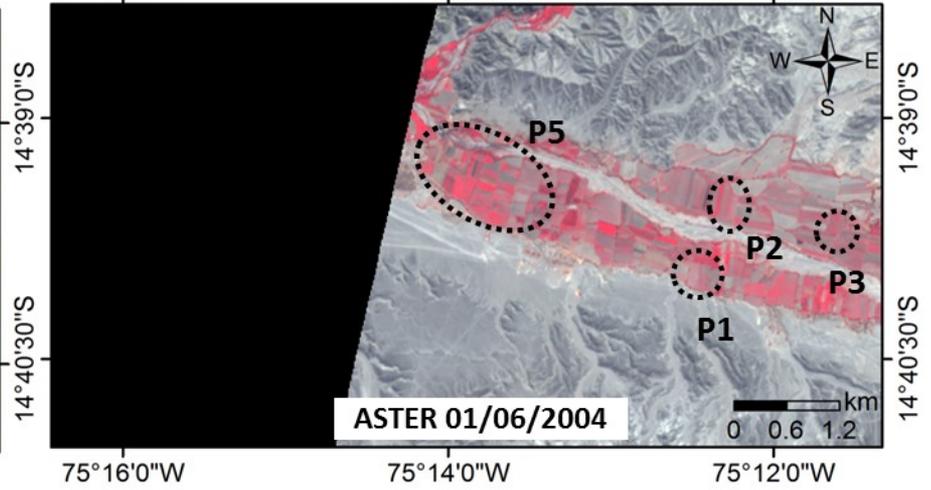
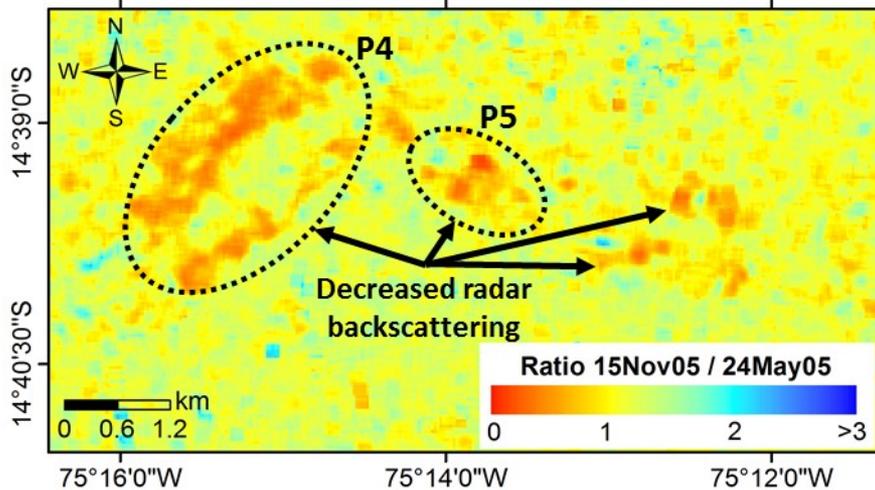
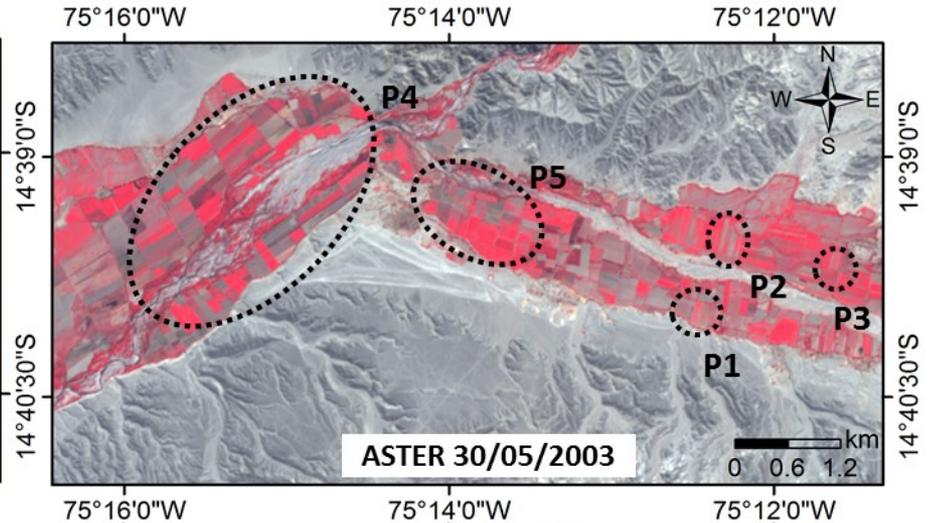
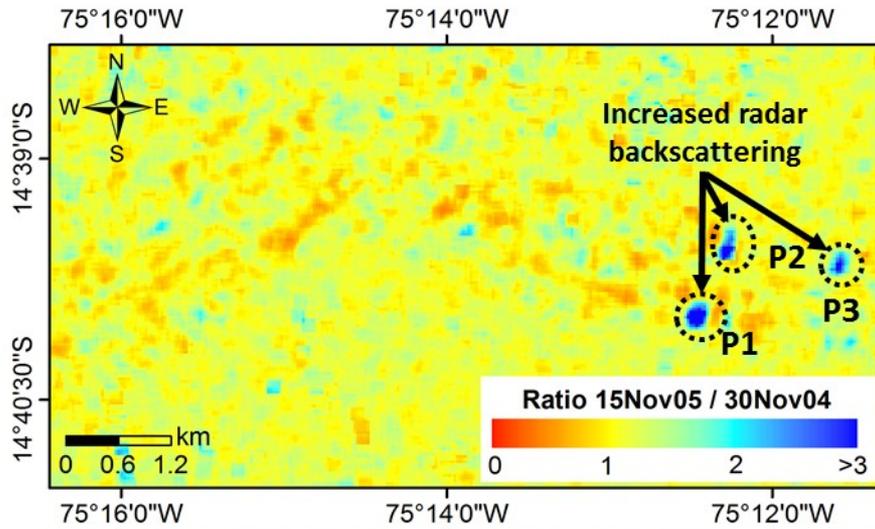
Détection de changement d'Amplitude



Détection de changement d'Amplitude



Détection de changement pour le suivi de l'environnement



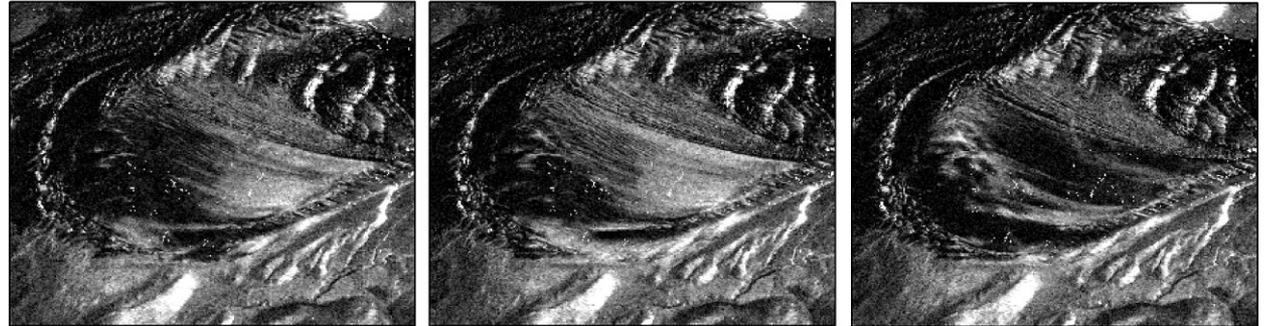
Détection de changement pour le suivi de l'environnement

Processus de Surface et
Mouvement de masse

04/02/2003

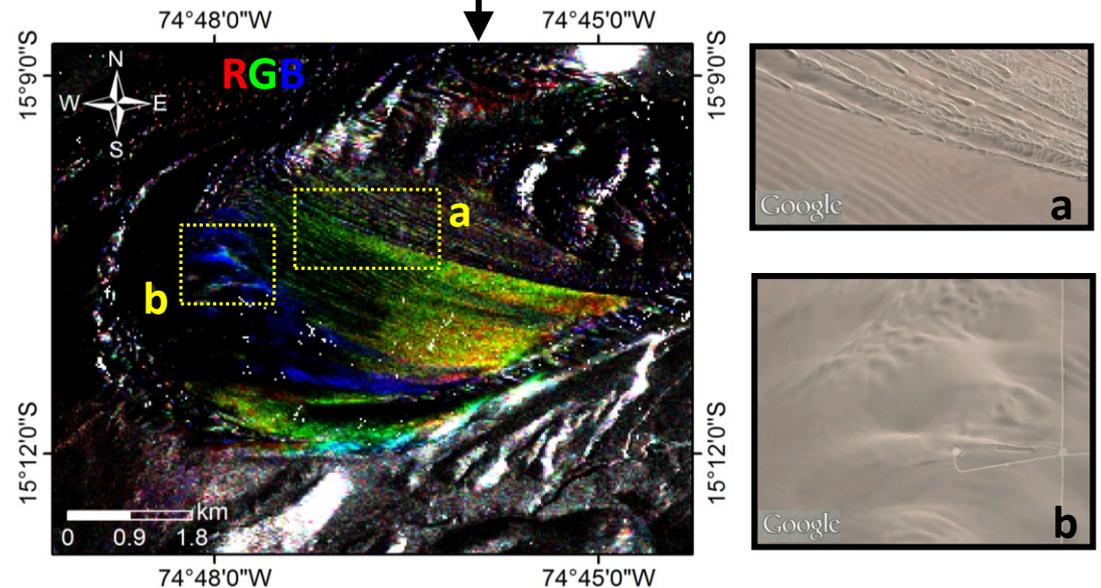
15/04/2003

24/06/2003



Composition couleurs SAR

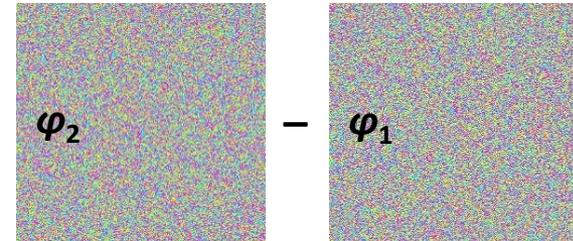
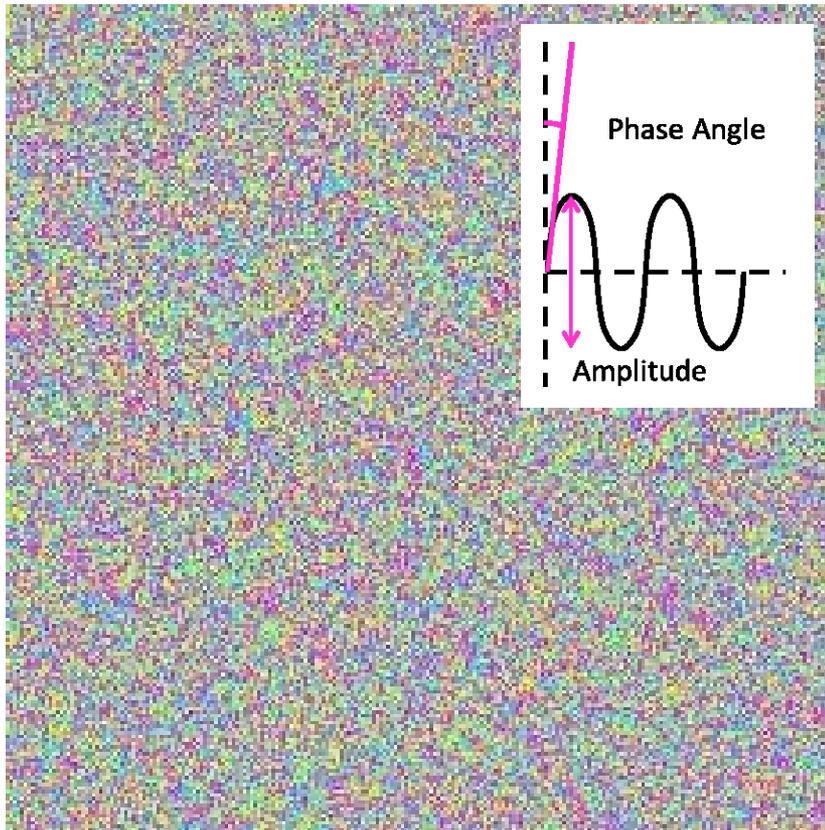
Les changements morphologique
ou mouvement de masse dus au
vent/la pluie cause des altérations
locales du coefficient de
rétrodiffusion



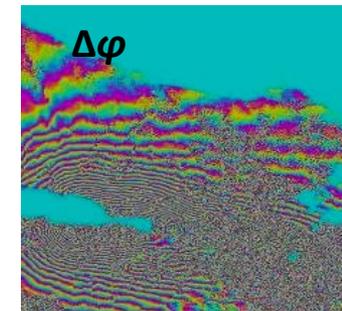
La Phase SAR

La phase d'un signal radar rétrodiffusé vers le capteur dépend de la distance capteur-cible

Phase $\varphi = \arctan[I/Q]$ $[0-2\pi]$



=



Interferogram

$$\Delta\varphi_{\text{int}} = \Delta\varphi_{\text{geom}} + \Delta\varphi_{\text{topo}} + \Delta\varphi_{\text{def}} + \Delta\varphi_{\text{atm}} + \Delta\varphi_{\text{noise}}$$



Change detection basée sur la “cohérence”

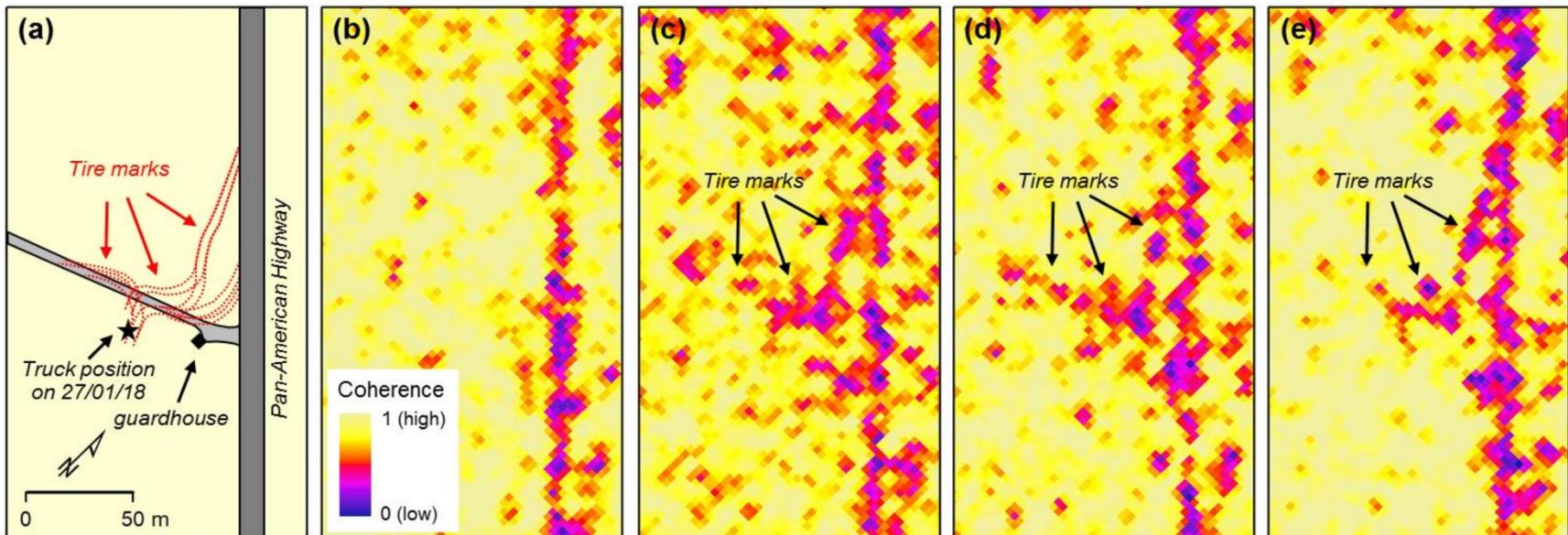
Cohérence (γ) est une mesure de corrélation de la phase interférométrique et quantifie le degré de corrélation entre la phase et l'amplitude de deux images SAR.

$\gamma = 0$ indique aucune cohérence et $\gamma = 1$ une parfaite corrélation

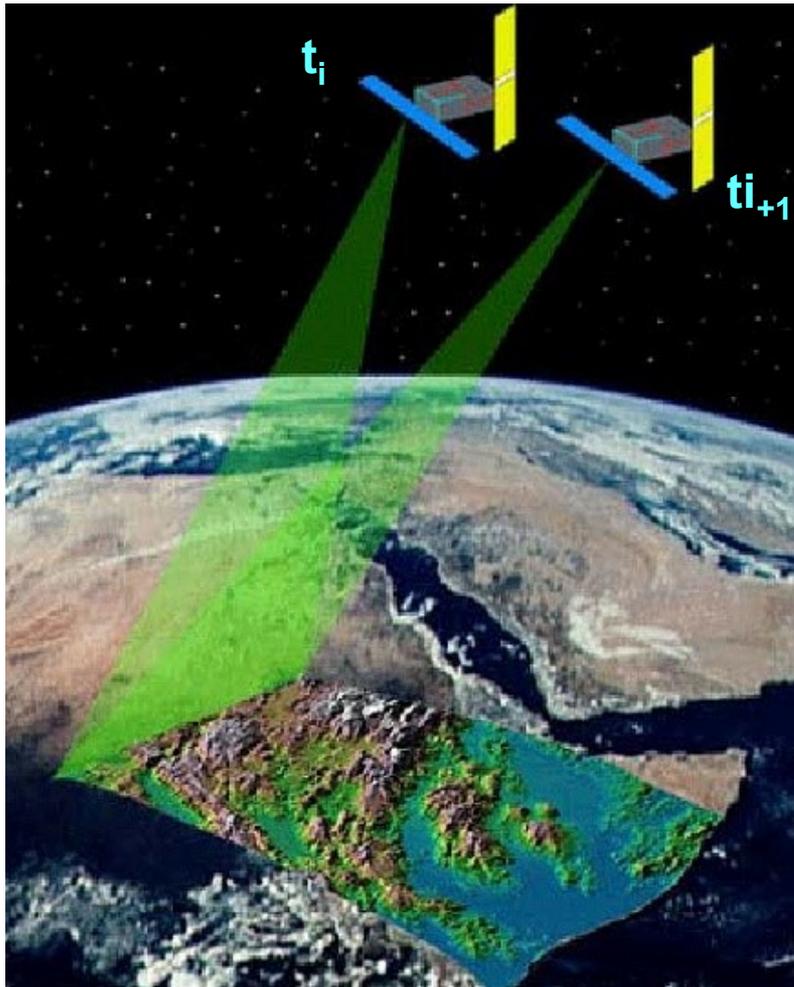
Utile pour cartographier les changements des propriétés de surface due aux perturbations naturelles ou anthropiques



Exemple au Pérou avec les données COSMO-SkyMed, résolution 3 m

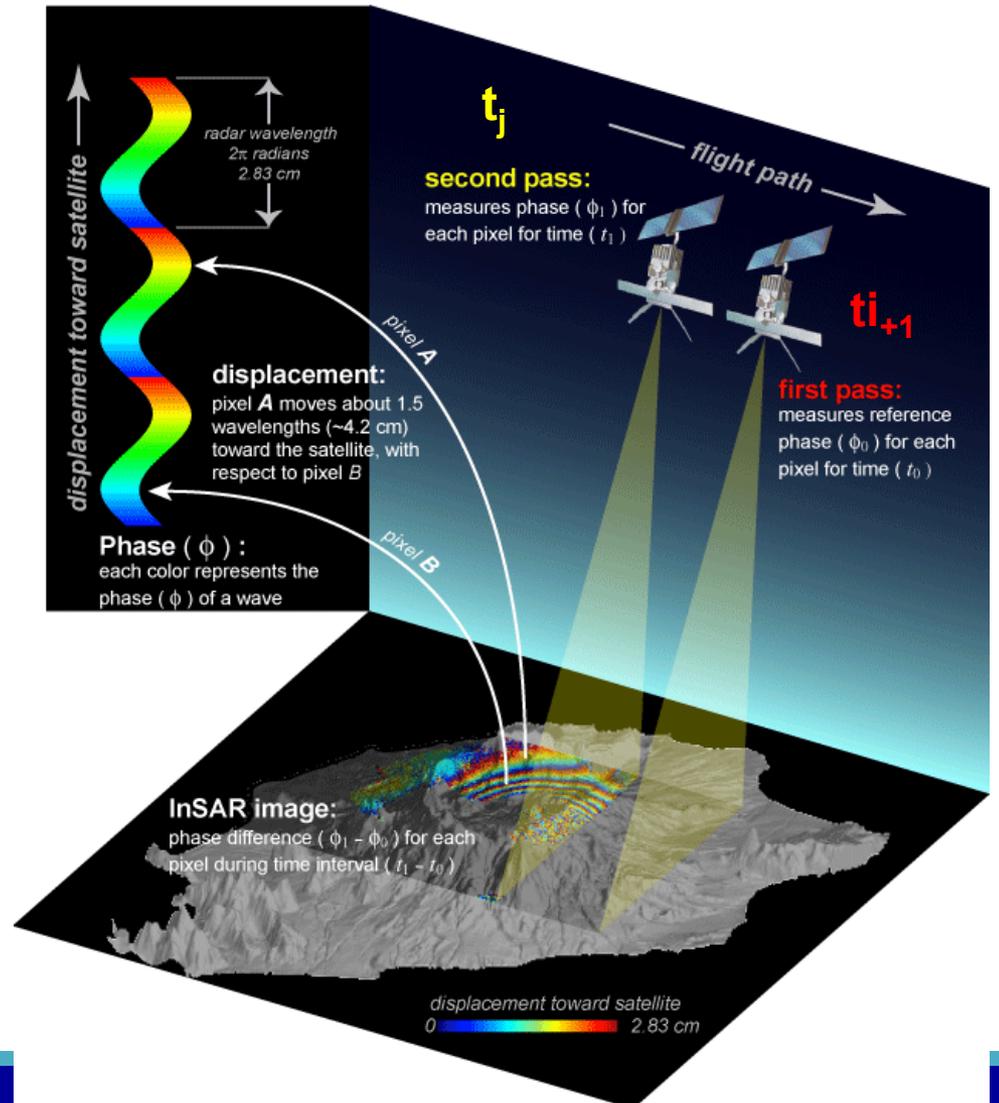


Interferometric SAR (InSAR)



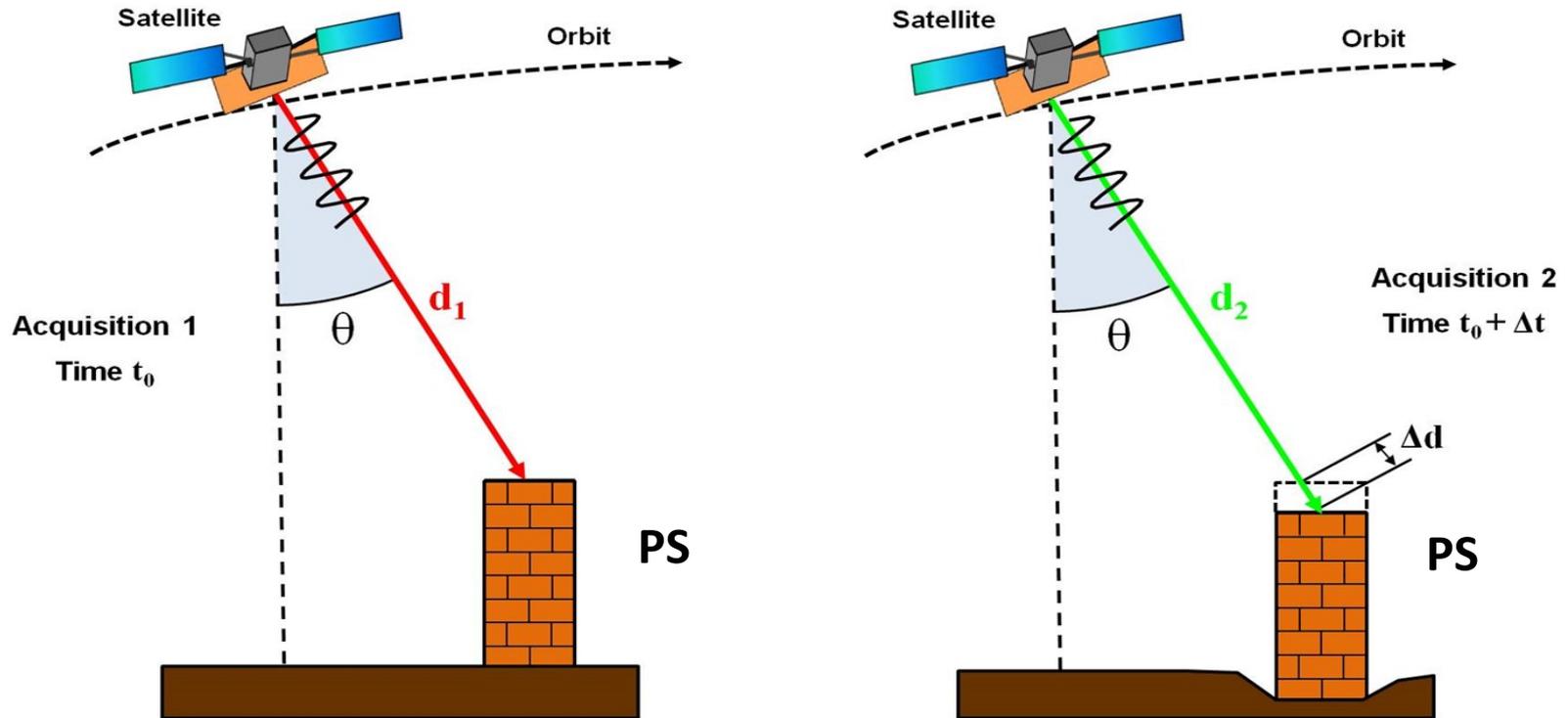
DEM generation

Suivi des Mouvements de terrain



Interferometric SAR (InSAR)

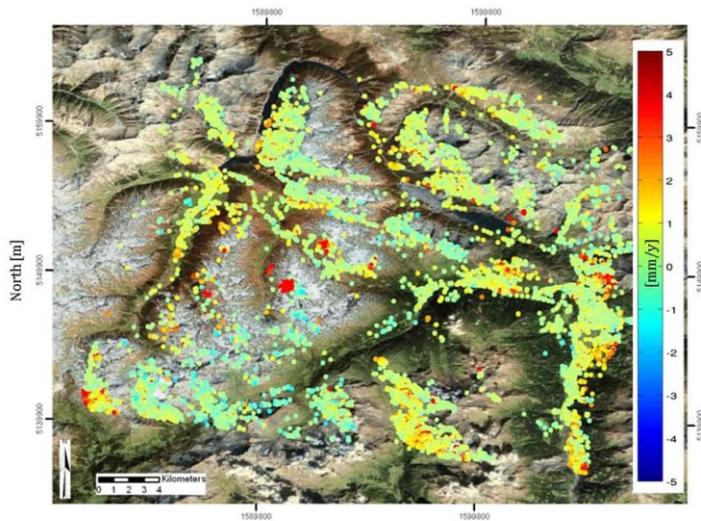
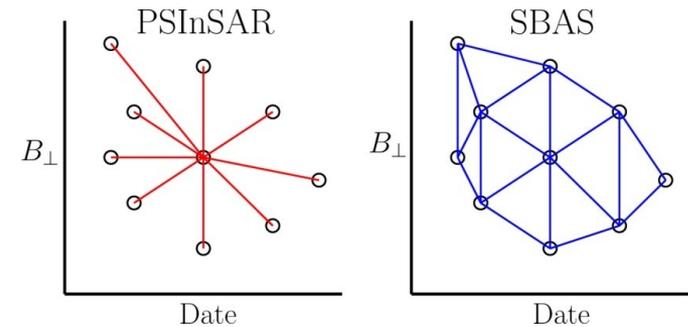
Differential InSAR



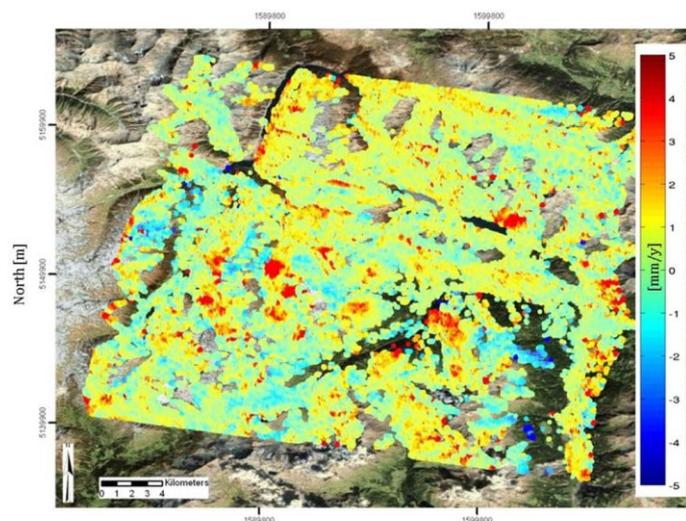
Le déplacement d'une cible sur le sol est caractérisé par la persistance de la rétrodiffusion (i.e. **Persistent Scatterer, PS**) et peut être tracé avec une précision millimétrique

InSAR processing – deformation time series

- Exploiter de longue stacks de données SAR (> 25 images)
- Estimer le déplacement/la déformation d'un objet
- Différente approche de traitement
 - Small Baseline Subset (SBAS)
 - Persistent Scatterer Interferometry (PSI)



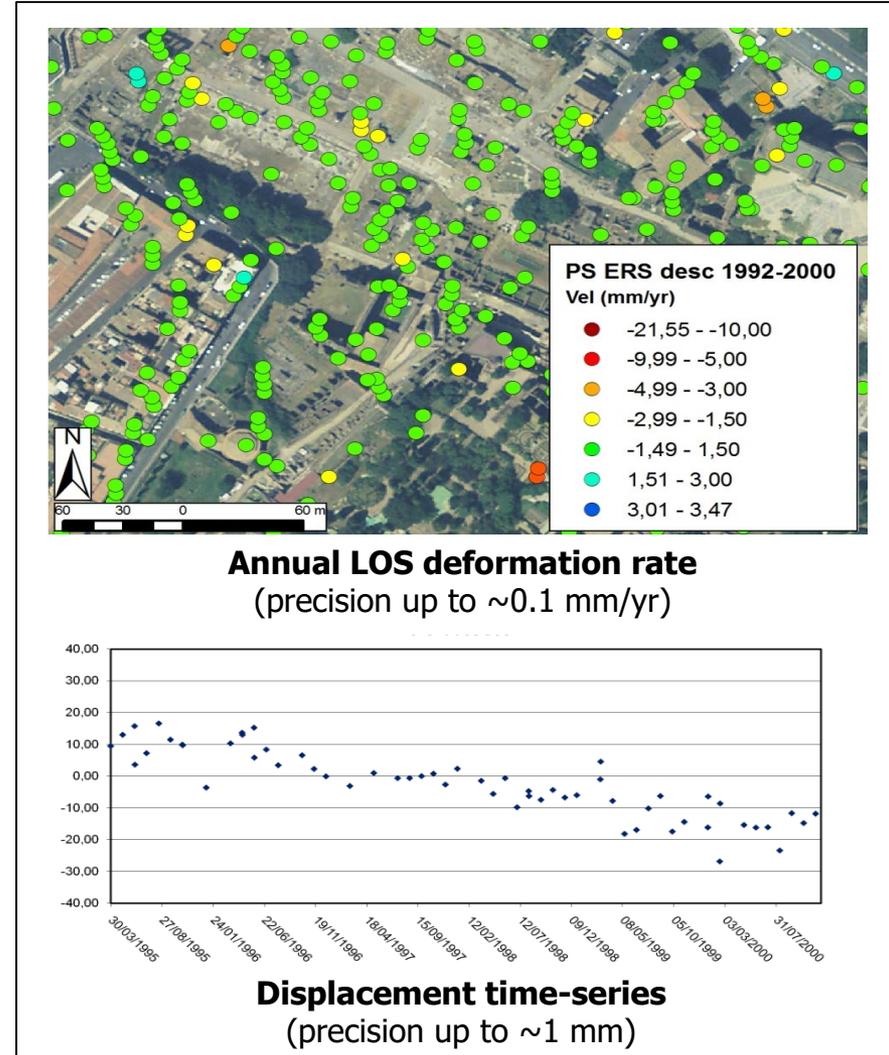
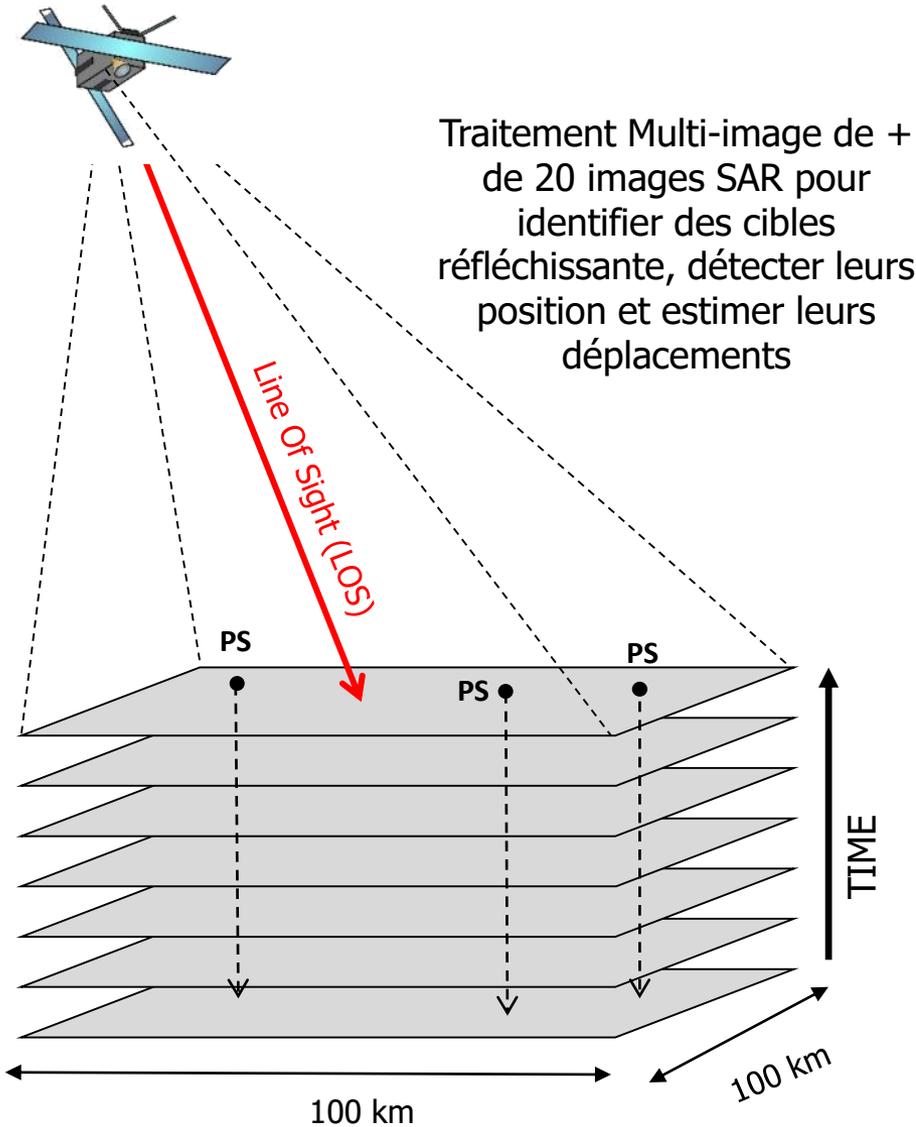
(a)



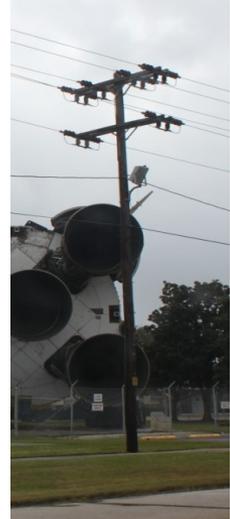
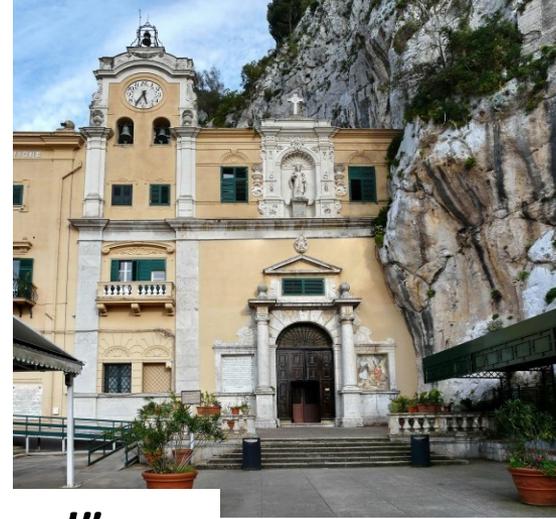
(b)

Comparison between the LOS velocity map [mm/yr] estimated by applying the (a) PSInSAR and the (b) SqueeSAR algorithms to process 65 RADARSAT data (Ferretti et al., 2011). Spatial density of measurement points increases from 85 PS/km² to 450 MP/km².

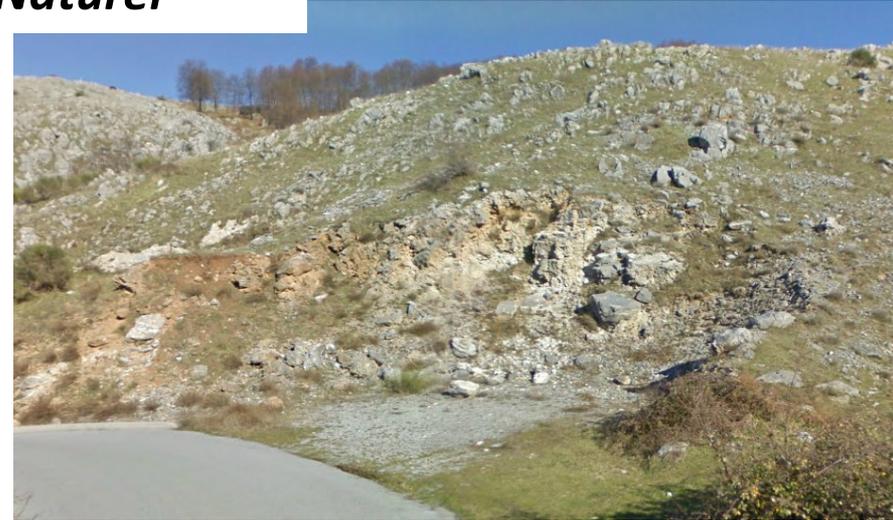
Persistent Scatterer Interferometry (PS-InSAR)



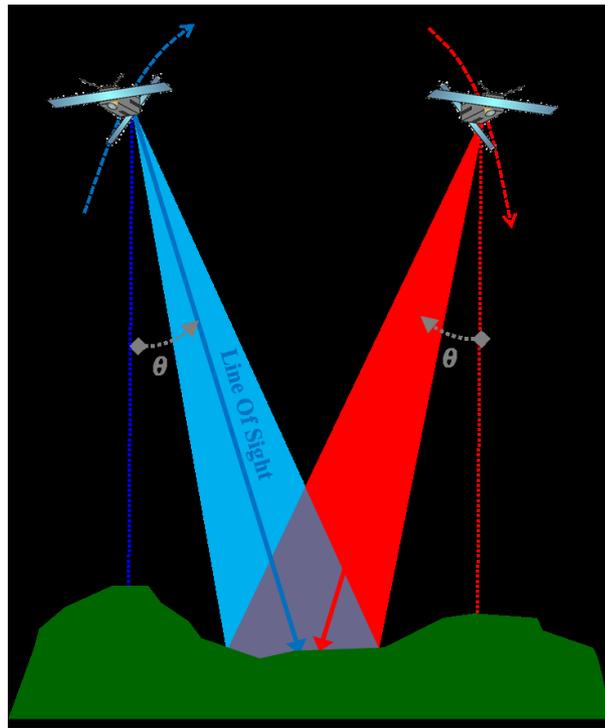
Persistent Scatterer Interferometry (PS-InSAR)



Cible radar "Naturel"

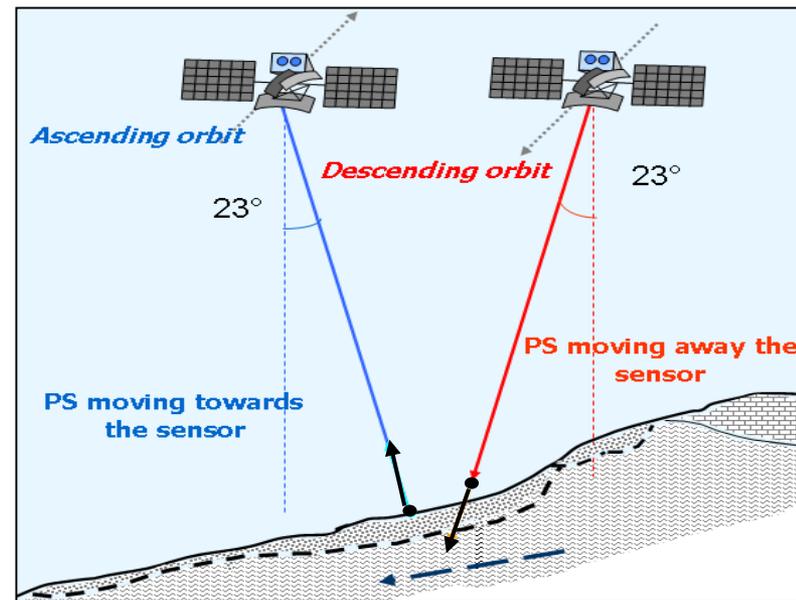


Observation geometry: ascending et descendant



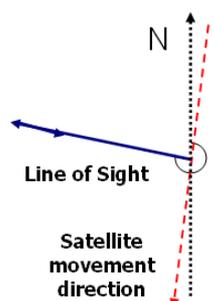
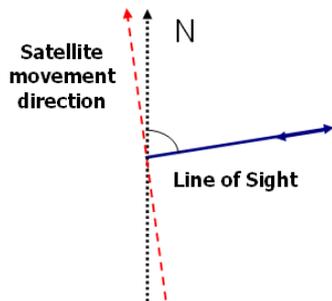
L'InSAR fournit des estimation de déplacements du sol le long de la **Ligne de vue / Line Of Sight** (LOS) du satellite

La même zone peut être suivie en utilisant deux différentes géométrie : les modes **ascendant & descendant**



Ascending orbit

Descending orbit



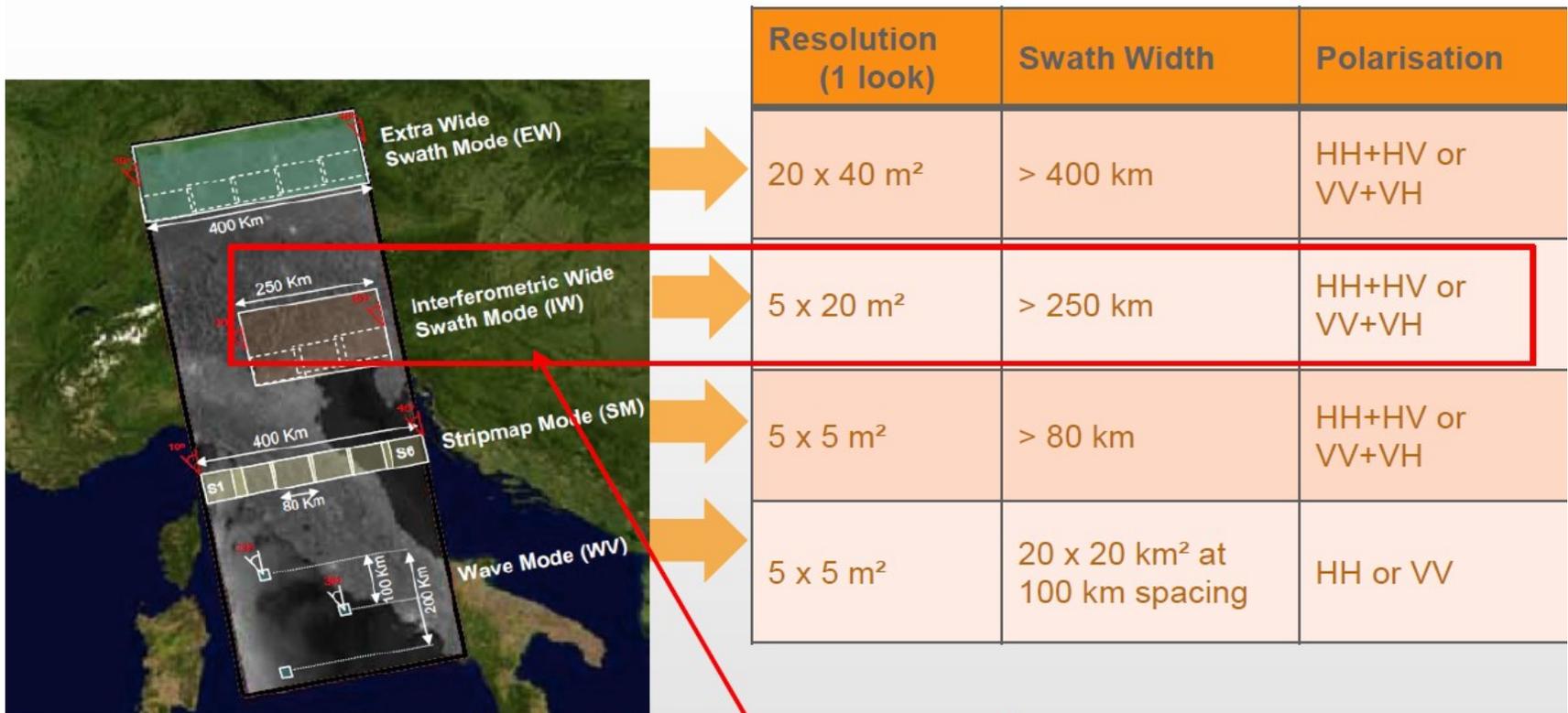
Les Mouvements de terrain apparaissent le plus souvent dans les zones les plus pentues, et peuvent être vue comme un mouvement d'éloignement ou de rapprochement vis à vis du satellites, en fonction du mode utilisé.

Copernicus Sentinel-1 mission overview

- Two satellites
- C-band Radar instrument
- Sun-synchronous orbit at 693 km altitude
- Inclination: 98.18°
- 7 years lifetime
- Consumables for 12 years
- Mean LST: 18:00h at ascending node
- 6-day repeat cycle at equator with 2 satellites
- 96h operative autonomy



Copernicus Sentinel-1 operational modes



Main mode over land

- Daily coverage of high priority areas, e.g. Europe, Canada, shipping routes

Sentinel-1 Data Access

<https://scihub.copernicus.eu/>

Welcome to the Copernicus Open Access Hub

The Copernicus Open Access Hub (previously known as Sentinels Scientific Data Hub) provides complete, free and open access to [Sentinel-1](#), [Sentinel-2](#), [Sentinel-3](#) and [Sentinel-5P](#) user products, starting from the In-Orbit Commissioning Review (IOCR).

Sentinel Data are also available via the Copernicus Data and Information Access Services (DIAS) through several [platforms](#).



Please visit our [User Guide](#) for getting started with the Data Hub Interface. Discover how to use the APIs and create scripts for automatic search and download of Sentinels' data.

Latest update: see the section on [Long Term Archive](#) for the upgrade of the interfaces for access to offline data.

For further details or requests of support please send an e-mail to eosupport@copernicus.esa.int



Open Hub



API Hub



S-3 Pre-Ops



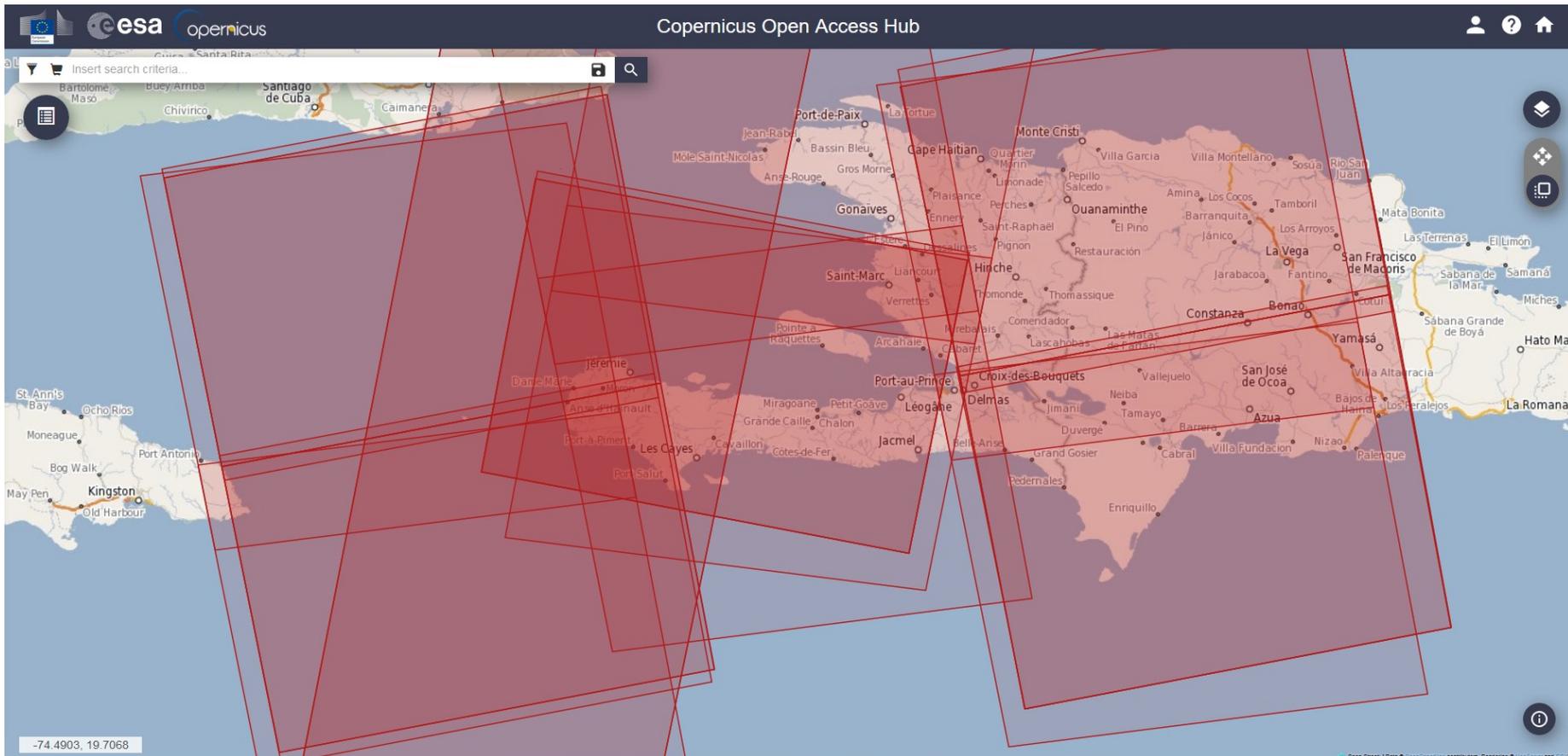
S-5P Pre-Ops



GNSS Hub

Sentinel-1 Data Access

<https://scihub.copernicus.eu/>



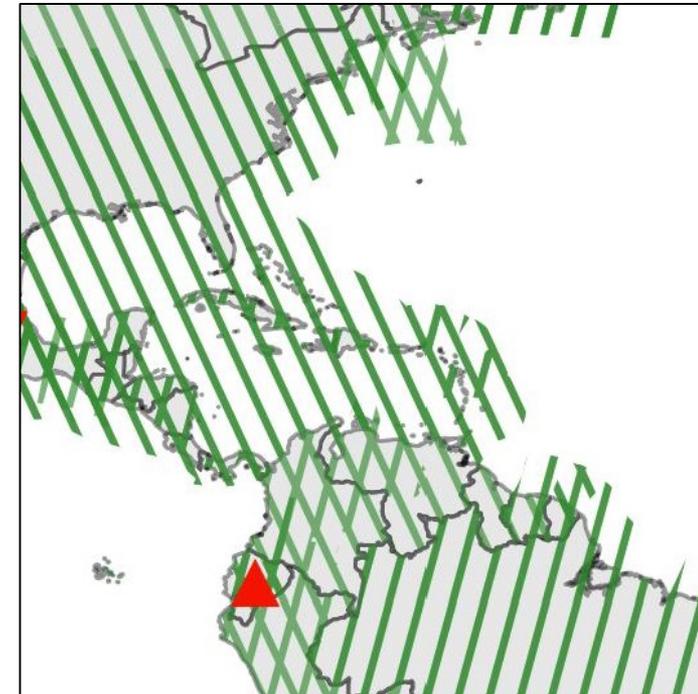
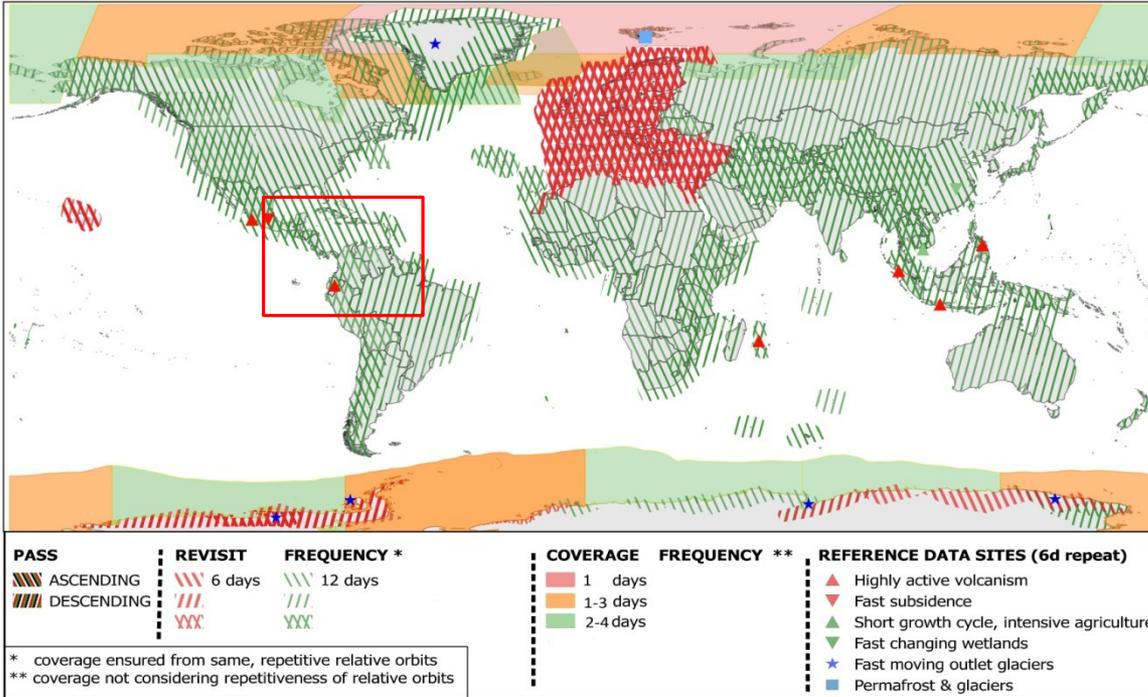
Par exemple, le catalogue Sentinel-1 sur le Sud-Ouest d’Haiti (Janvier – Avril 2019)

Sentinel-1 Observation Scenario over Haiti

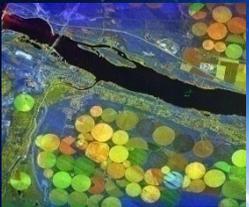
Sentinel-1 Constellation Observation Scenario: Revisit & Coverage Frequency



validity start: 02/2018



Le PROGRAMME COSMO-SkyMed



L'investissement majeur Italien dans l'Observation de la terre par satellite

Un Programme National conçu par l'Agence Spatiale Italienne (ASI) et financé par le Ministère de la recherche It. & Ministère Défense It.

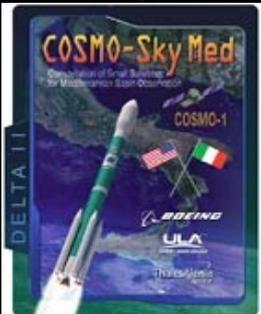
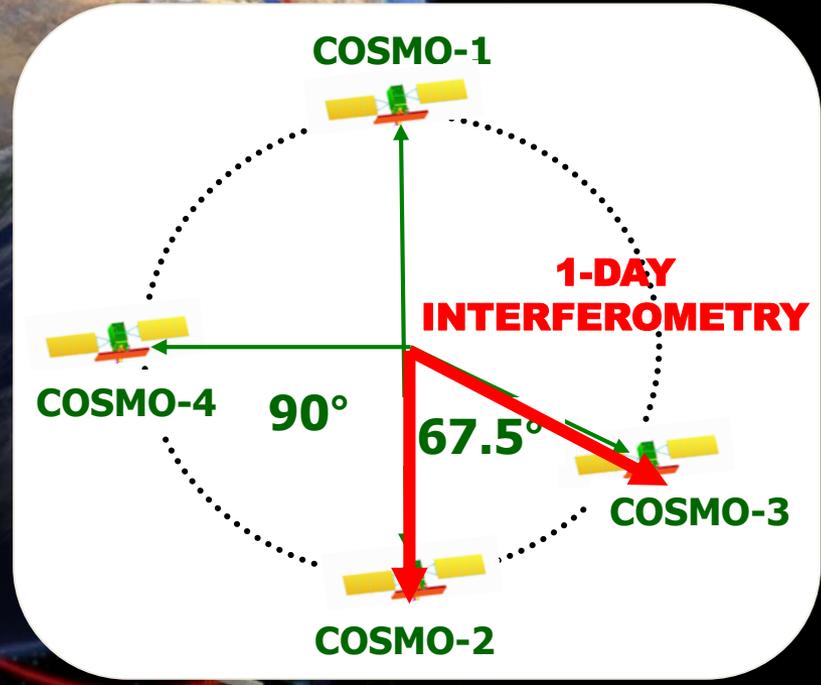
DUAL USE SYSTEM

géré par l'ASI en coopération avec le MdD It.

développé par l'Industrie Nationale Italienne

DEPUIS MAI 2011 LE COSMO-SkyMed ITALIEN EST UNE CONSTELLATION DE QUATRE SATELLITES ENTIEREMENT OPERATIONNEL

PAS D'AUTRE CONSTELLATION DE 4 SATELLITES RADAR AUJOURD'HUI SUR LA SCENE OPERATIONEL de l'Obs Terr



8 JUN. - 2007
COSMO-1



9 DEC. - 2007
COSMO-2



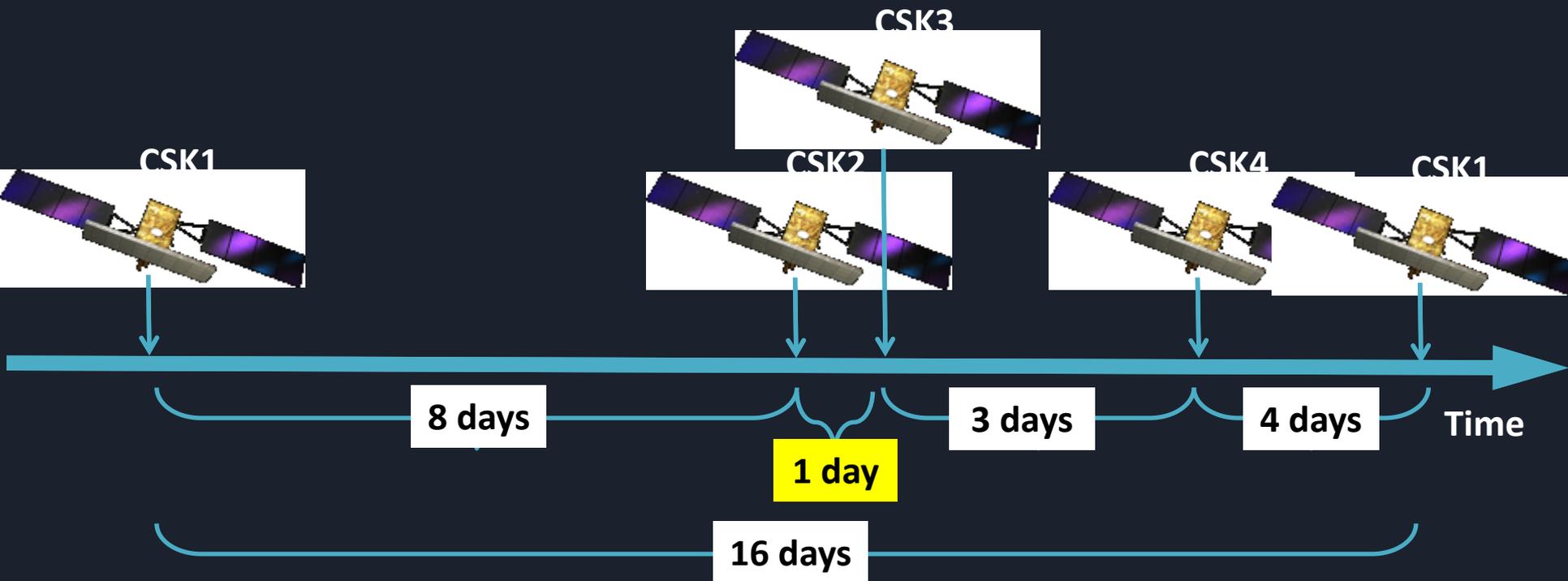
25 OCT. - 2008
COSMO-3



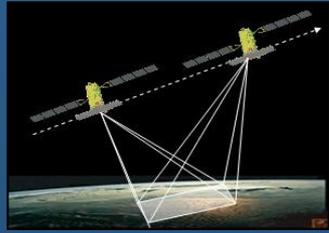
5 NOV. - 2010
COSMO-4

Temps de Revisite & déploiement de la constellation

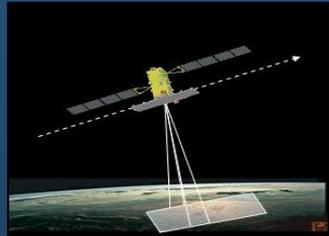
MAIN INTERFEROMETRIC COUPLES



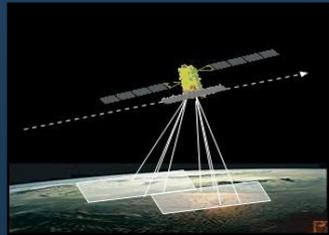
MULTI-MODE ACQUISITION CAPABILITY



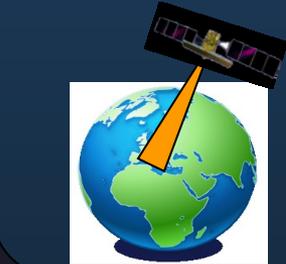
SPOTLIGHT
10 Km X 10 Km
1 m Resol.



STRIPMAP - HIMAGE
40 Km X 40 Km
3 m Resol.
Single pol. HH or
VV or VH or VV



STRIPMAP - PING PONG
30 Km X 30 Km
15 m Resol.
Alternating pol. HH/VV
or HH/HV or VV/VH



SCANSAR WIDE
100 Km X 100 Km
30 m Resol.

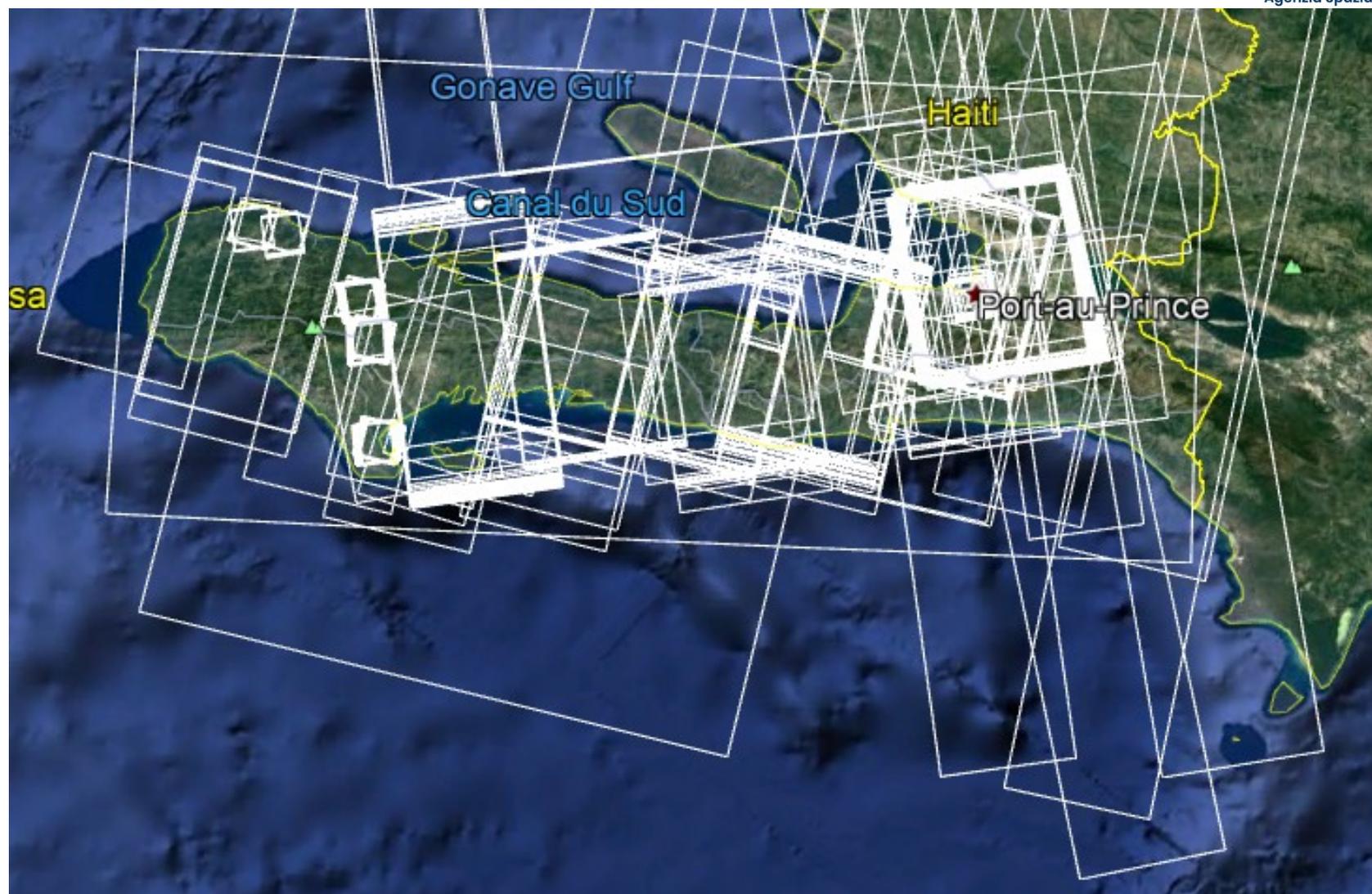
SCANSAR HUGE
200 Km X 200 Km
100 m Resol.



COSMO-SkyMed sur le Sud d'Haiti



Agenzia Spaziale Italiana



Accessibilità des données COSMO-SkyMed (général)



www.asi.it

**INSTITUTIONAL
USERS**



**ASI supports the INSTITUTIONAL
(incl. SCIENTIFIC) data exploitation**



COSMO-SkyMed Catalogue



**COMMERCIAL
USERS**



**e-GEOS supports the
COMMERCIAL data exploitation**

www.e-geos.it

CEOS À travers le Committee on Earth Observation Satellites



Agenzia Spaziale Italiana



CEOS
<http://ceos.org/>

Working Group on Disasters
<http://ceos.org/ourwork/workinggroups/disasters/>

A satellite with multiple solar panels is shown in space, with the Earth visible in the background. The satellite has a central body and several long arms extending outwards, each carrying solar panels. The Earth is a large, blue and white sphere in the center of the frame.

Merci pour votre
attention !

Dr. Francesca Cigna, Dr. Deodato Tapete

Scientific Research Unit

Italian Space Agency (ASI)

francesca.cigna@asi.it deodato.tapete@asi.it