

Téledétections radar: points clef, vue d'ensemble, complémentarité avec l'optique

Jean-paul.rudant@univ-mlv.fr



Plan

Les ondes

- Longueur d'onde
- Polarisation
- Cohérence

Éléments sur les images

- Résolution spatiale et dimensions des Pixels
- Géométrie, orbite montante et descendante,, effets du relief, perspective associée

Quelle Mesure ?

Puissance ? Amplitude ?

Puissance moyennée (ou intensité) , amplitude, => le chatoiement & suivant

- Exemples divers

Cohérence et mesure de la phase

- Cohérence et Mesure de phase
- Chatoiement (*speckle*)
- Polarisation
- Interférométrie

Synergie avec l'optique?

les ondes électromagnétiques en télédétection

D'après
Doc.
CNES

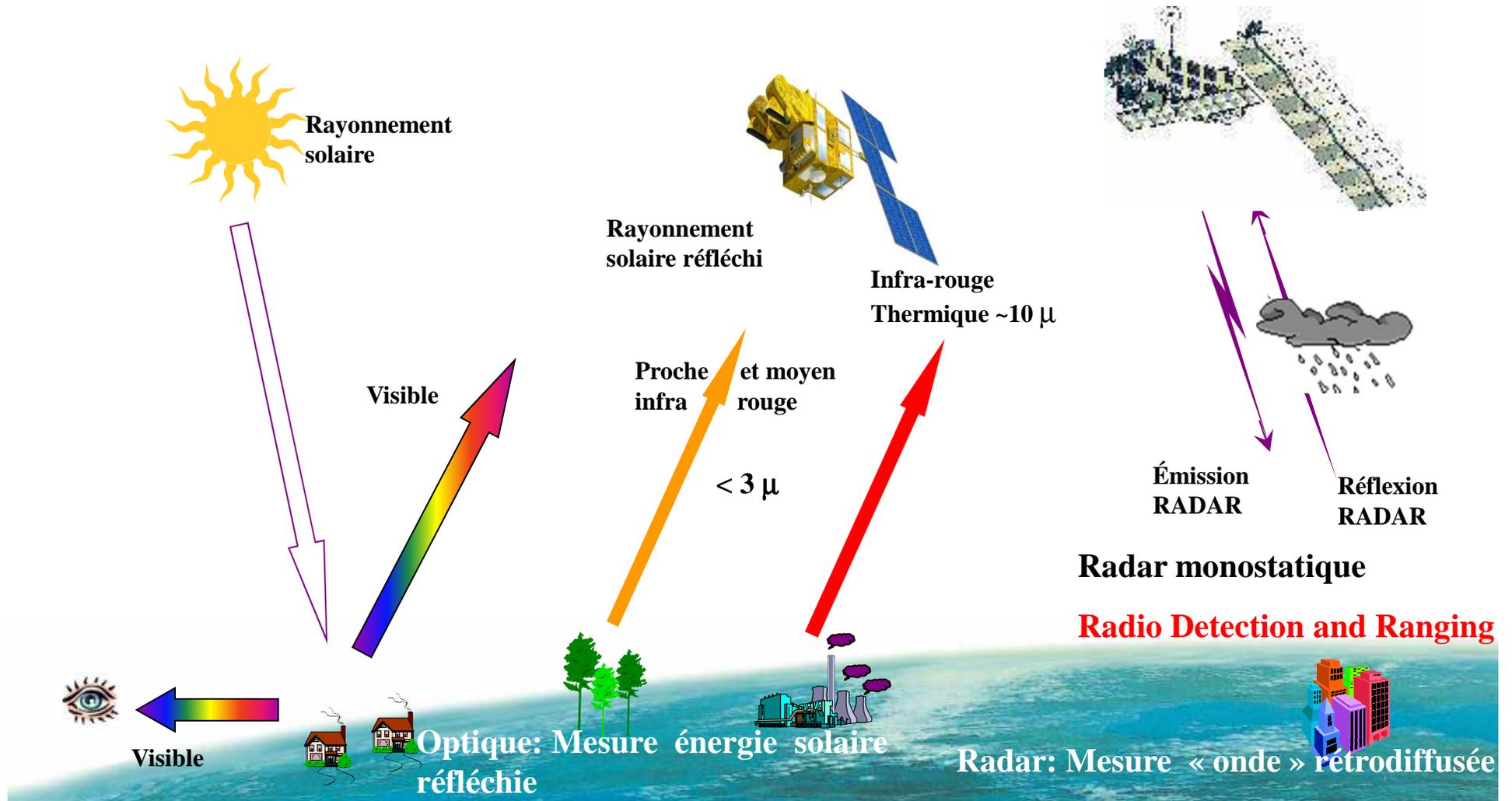
$\lambda_{\text{optique}} = 0,5 \text{ à } 3 \mu$

$\lambda_{\text{radar}} = 2 \text{ à } 80 \text{ cm}$

LIDAR

Optique < 3 μ : Passif (Jour seult.)

Radar: Actif (Jour et nuit)



Les Ondes

- Longueur d'onde
- Polarisation et cohérence

Wavelength are gathered
in several bands

$$\lambda = c / f$$

avec $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

	Code	λ en cm	fréquence f en GHz
L Band JERS	P <i>80cm</i>	30 - 100	0,3 - 1
	L <i>25</i>	15 - 30	1 - 2
C Band ERS	S <i>70cm</i>	7,5 - 15	2 - 4
	C-6 <i>→</i>	3,75 - 7,5	4 - 8
Radarsat	X <i>3</i>	2,4 - 3,75	8 - 12

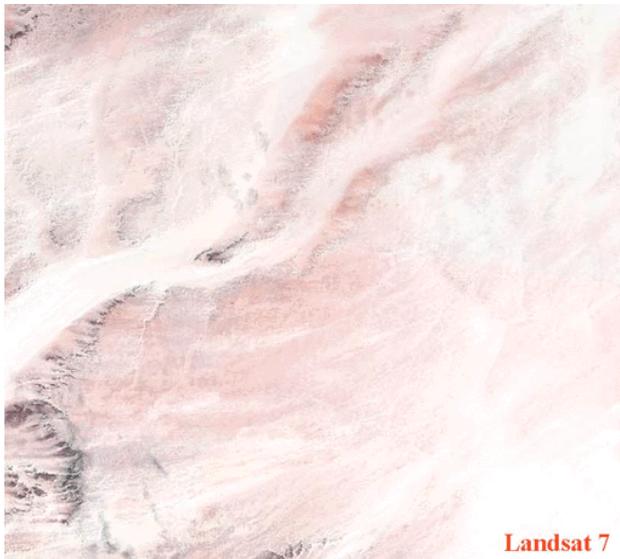
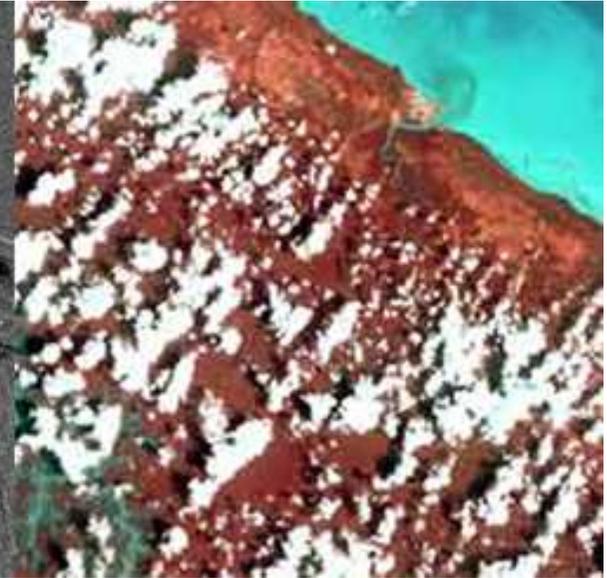
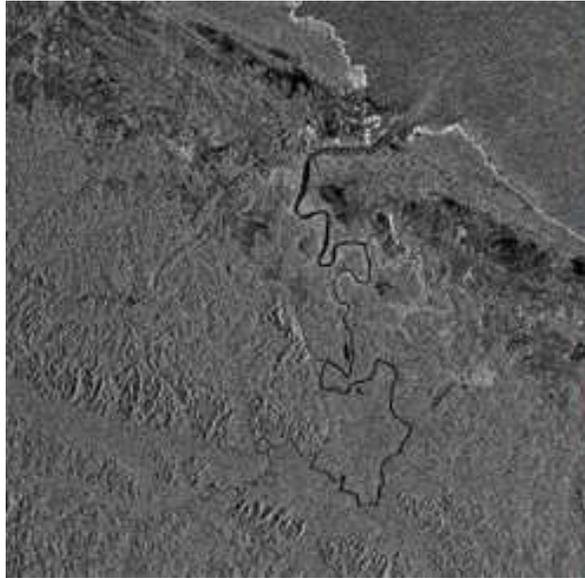
Optique (visible, PIR)

λ de 0,4 à 2 microns

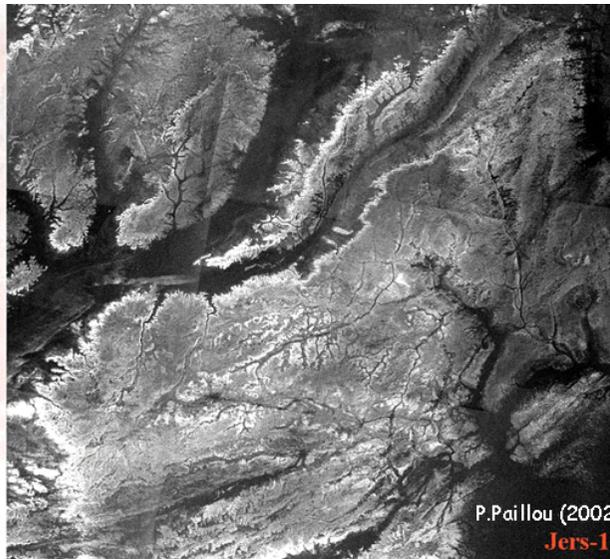
Thermique

λ autour de 10 microns

Une propriété importante: la Pénétration des ondes dans certains milieux



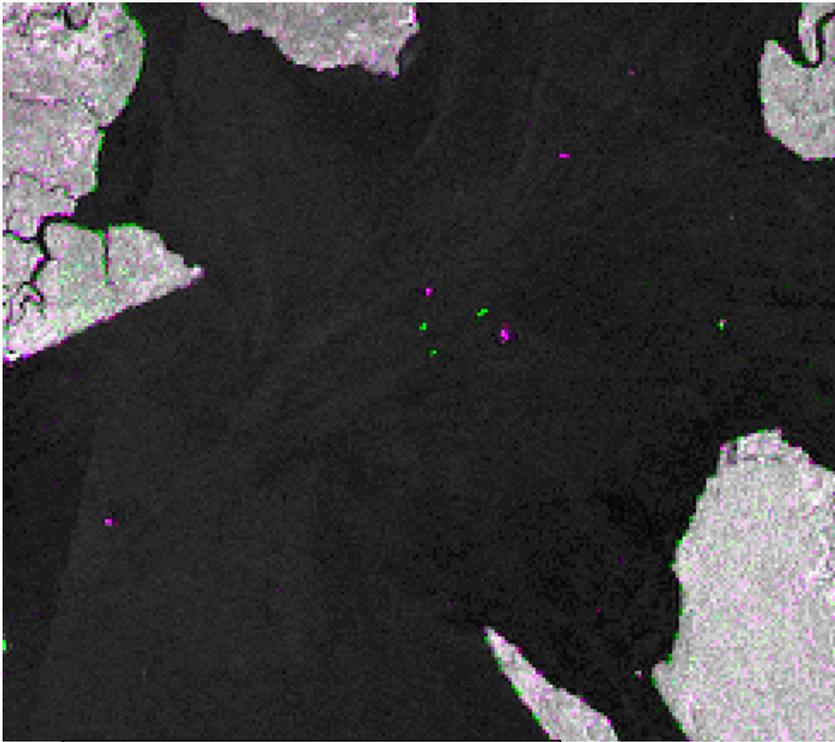
Landsat 7



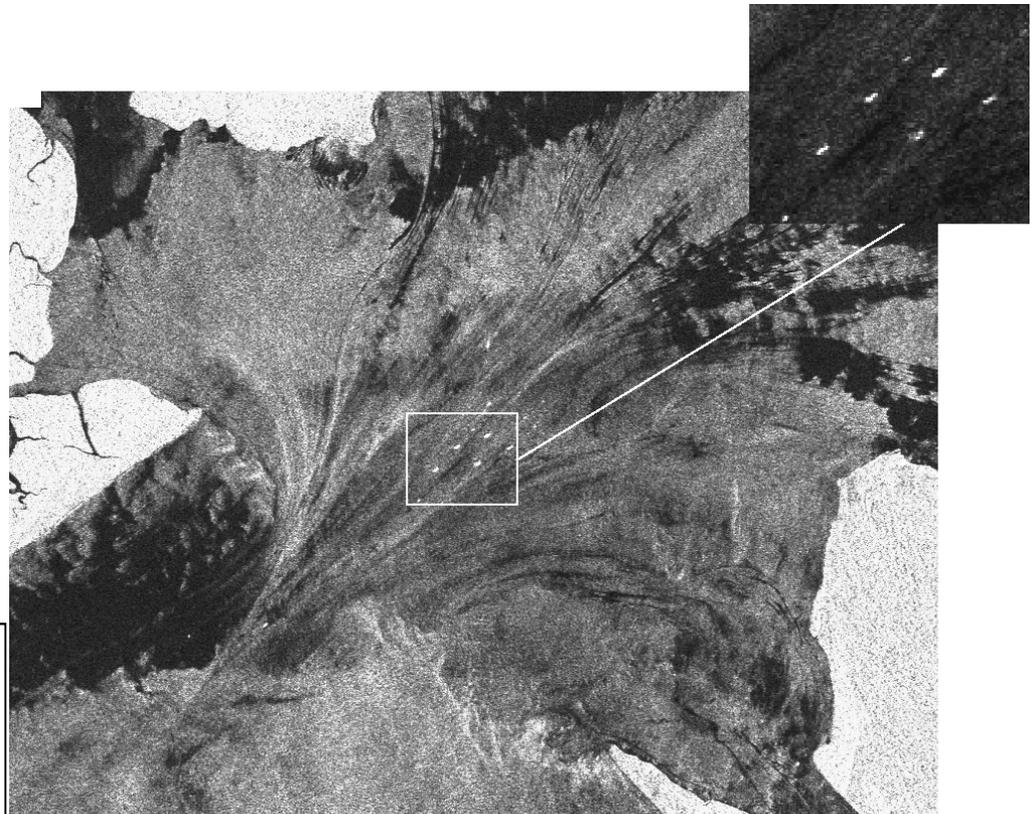
P.Paillou (2002)
Jers-1



Nuages, nuit

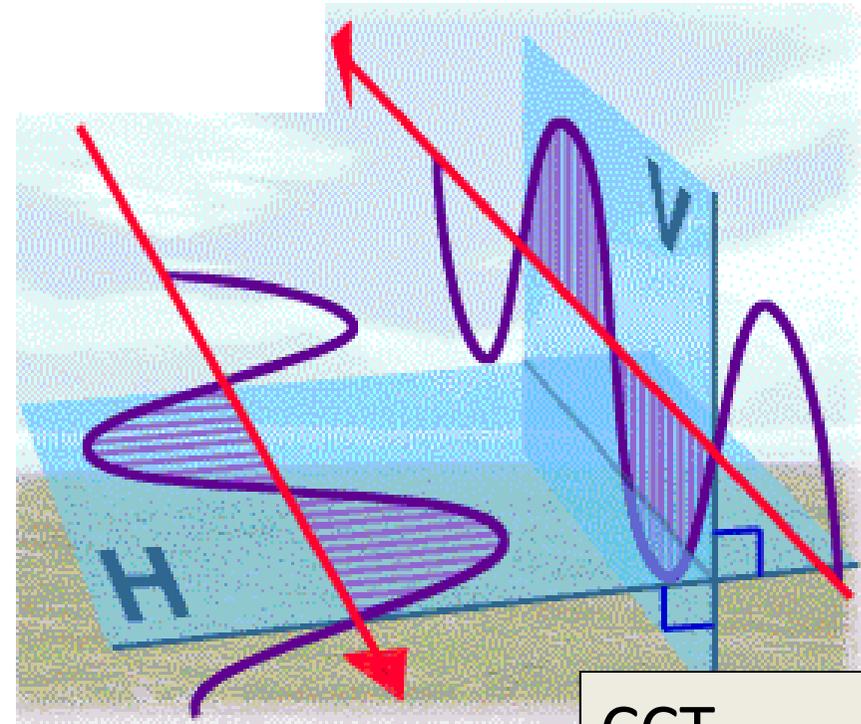


JERS Bande L
 $\lambda = 25 \text{ cm}$



ERS Bande C
 $\lambda = 6 \text{ cm}$

polarisation



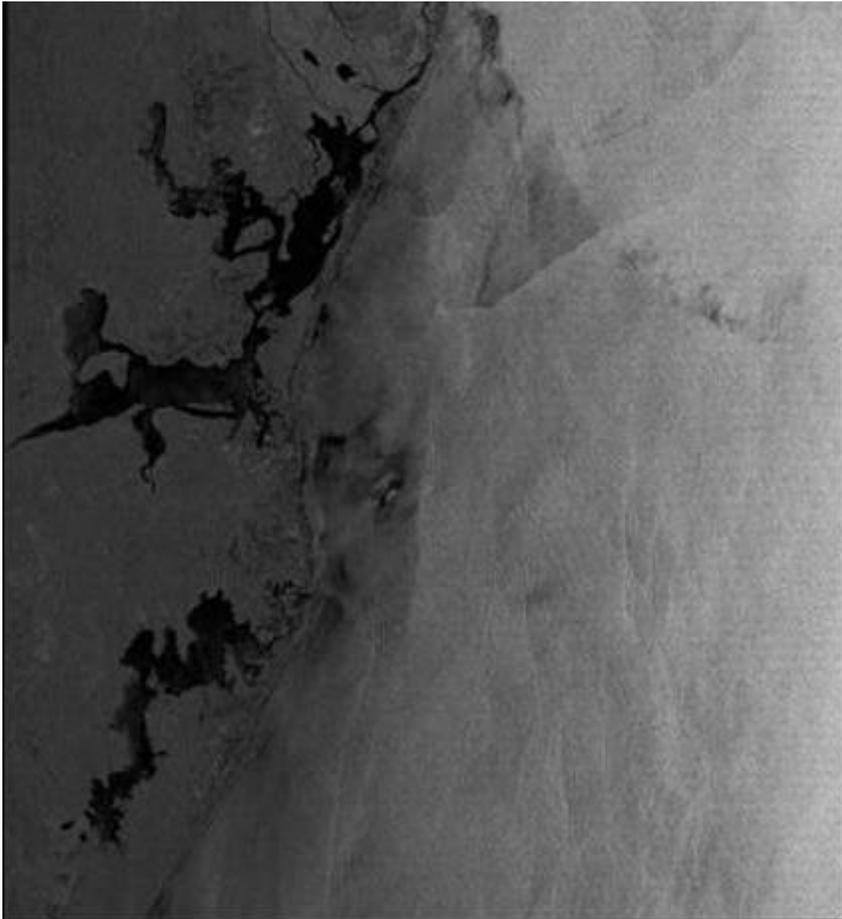
CCT

Polarisation H ou V, à l'émission et à la réception
ECHO mesuré sera VV, HH, VH, ou HV

Effet polarisation ?

$$\langle P \rangle = K * S_{\text{pixel}}(ui) * \text{Cos}(il) * R_{\text{he}}(ui) * G(ui)$$

ASAR polar VV



polar HV



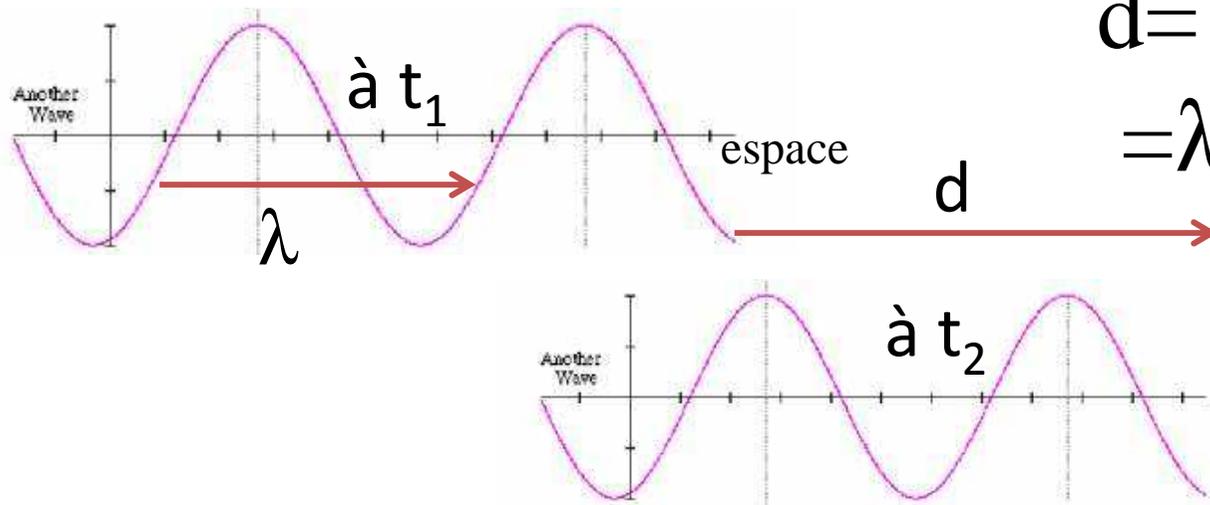
Ondes cohérentes:

interférences avec deux sources cohérentes, à un instant donné



physics.tutorvista.com

**propagation une onde:
décalage spatial équivaut
à un écart de temps**



$$d = V(t_2 - t_1)$$
$$= \lambda (t_2 - t_1) / T$$
$$\lambda = V T$$

espace

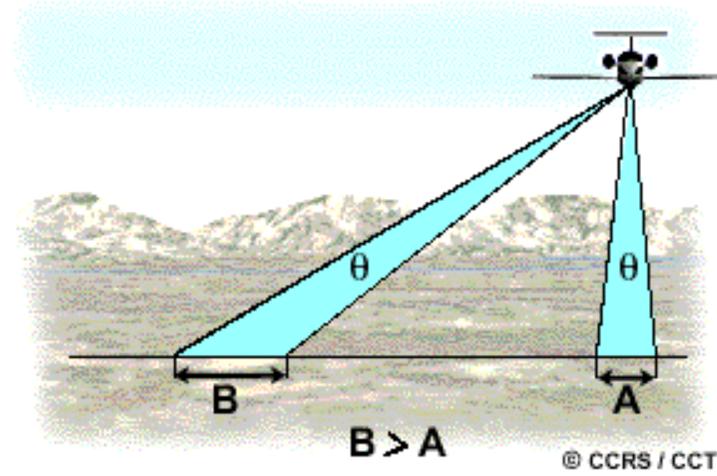
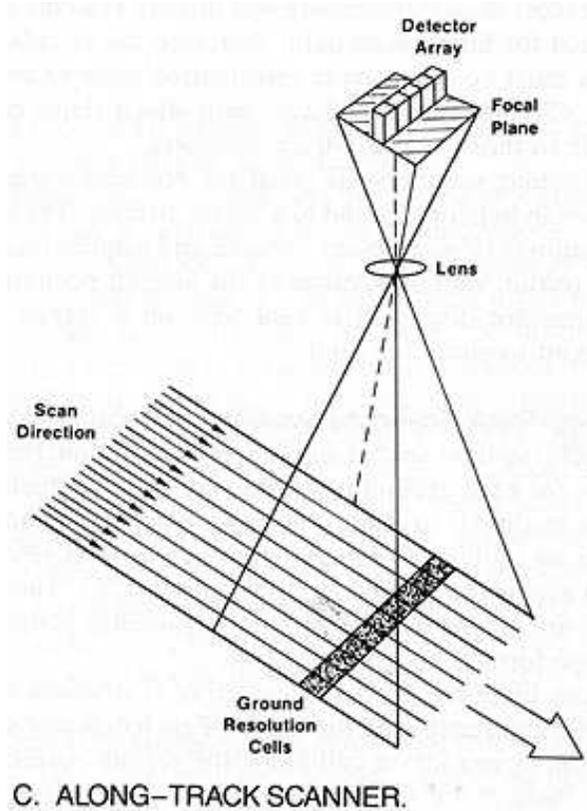
Onde non
cohérente



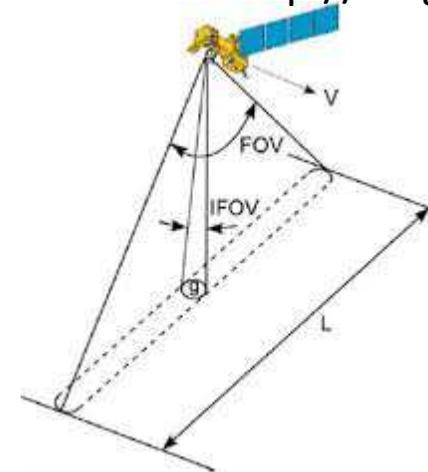
Élément sur les images

- Résolution spatiale, Pixel
 - Perspective capteur à barrette optique
 - Classement en distance radar
- Géométrie, perspective, effets du relief

images optiques: pixel \sim carré



<http://blog.naver.com>



pixelSol = taille detecteur * $(H/f) = \text{cste}$
 H distance verticale au sol
 F focale

$$\text{pixelSol} = \theta * H / (\cos(i) * \cos(i))$$

Classement en distance
Lateral beam
for non ambiguous
echoes

Coherency
between pulse
and echoe

Information coded
as a complex value:
Amplitude A
and phase φ

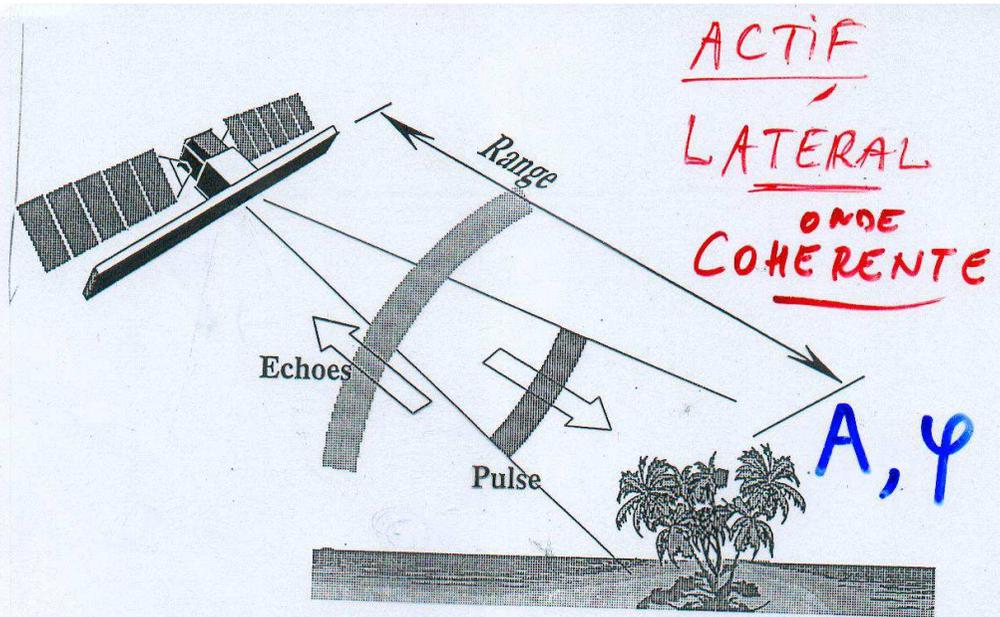


Fig.6: Principle of an imaging Radar (from Raney, CCRS)

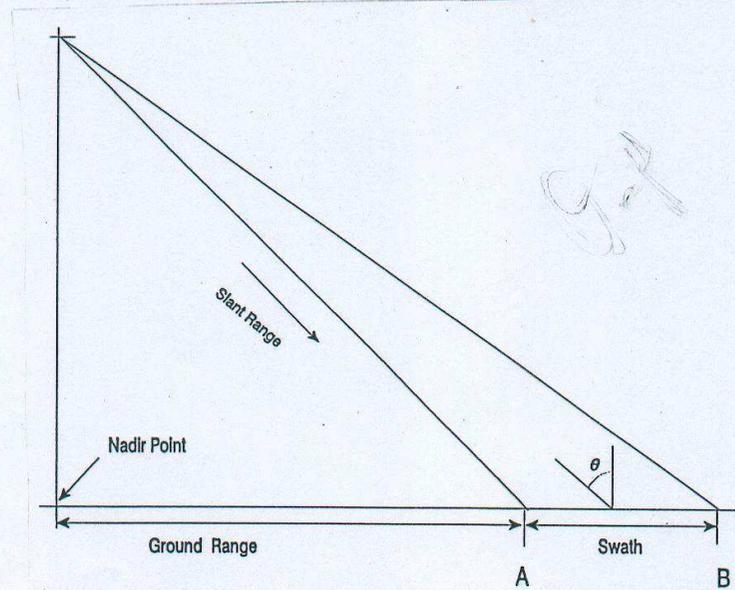
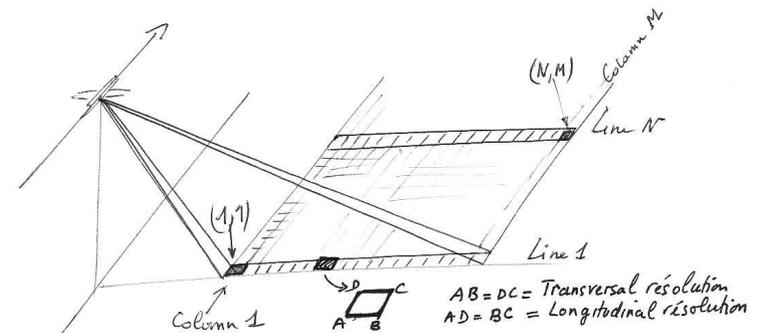


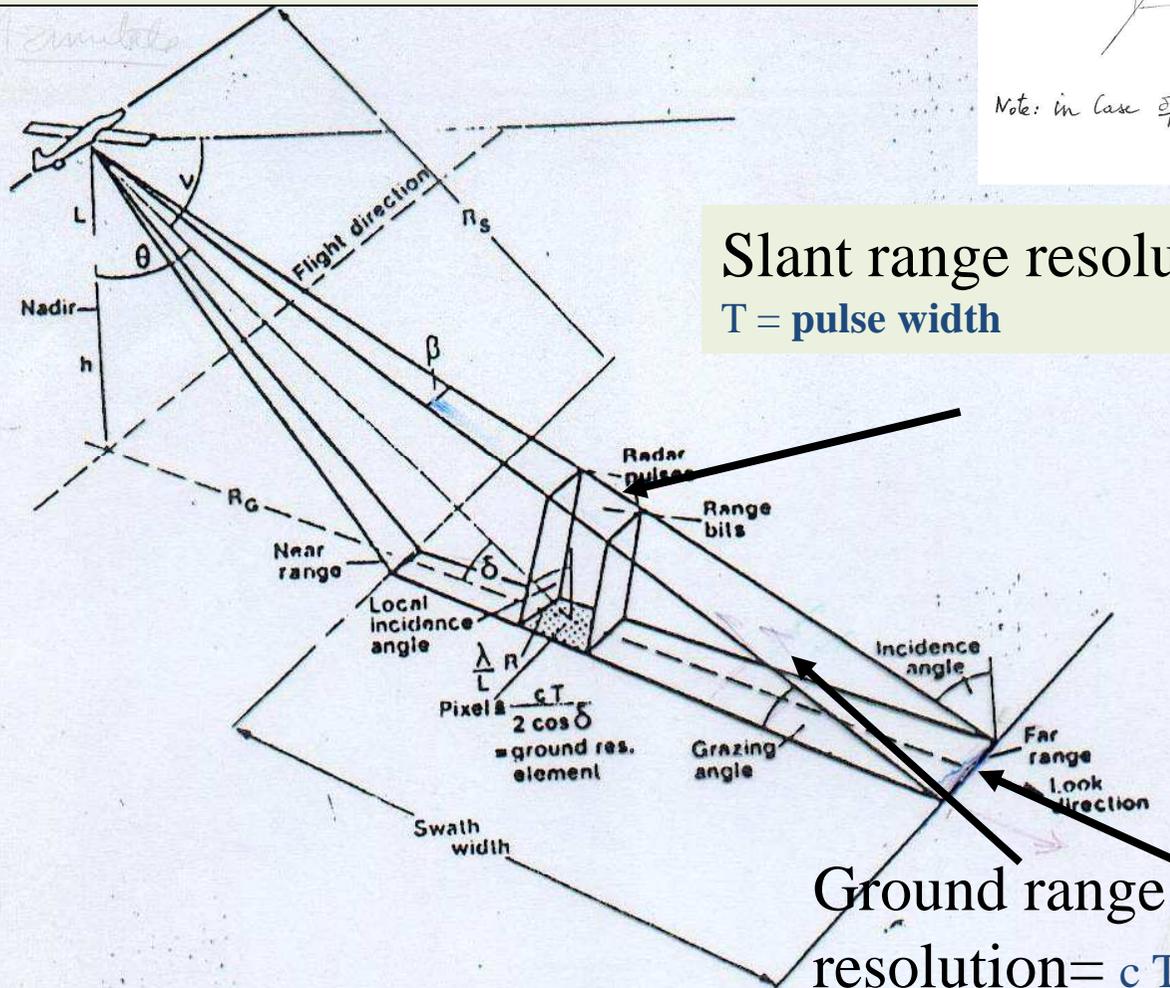
Fig.7: Pulse ranging
Point A = Near range
Point B = Far range
 θ = incidence angle at mid-swath

SLAR actif et latéral

Side Look angle aperture radar
= real aperture radar



Note: in case of trajectory S → N
pixel (1,1) is South-West



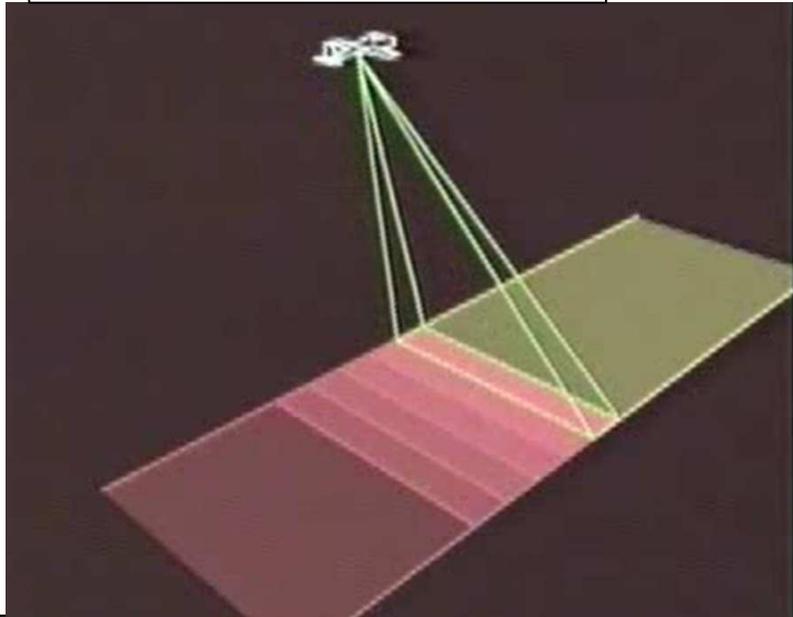
Slant range resolution = $c T/2$
 $T =$ pulse width

Azimuthal resolution = $R\beta$

Ground range resolution = $R\lambda/L_{\text{antenna}}$
 resolution = $c T/2 \sin(\theta)$

1.10 The main elements of SLAR geometry.

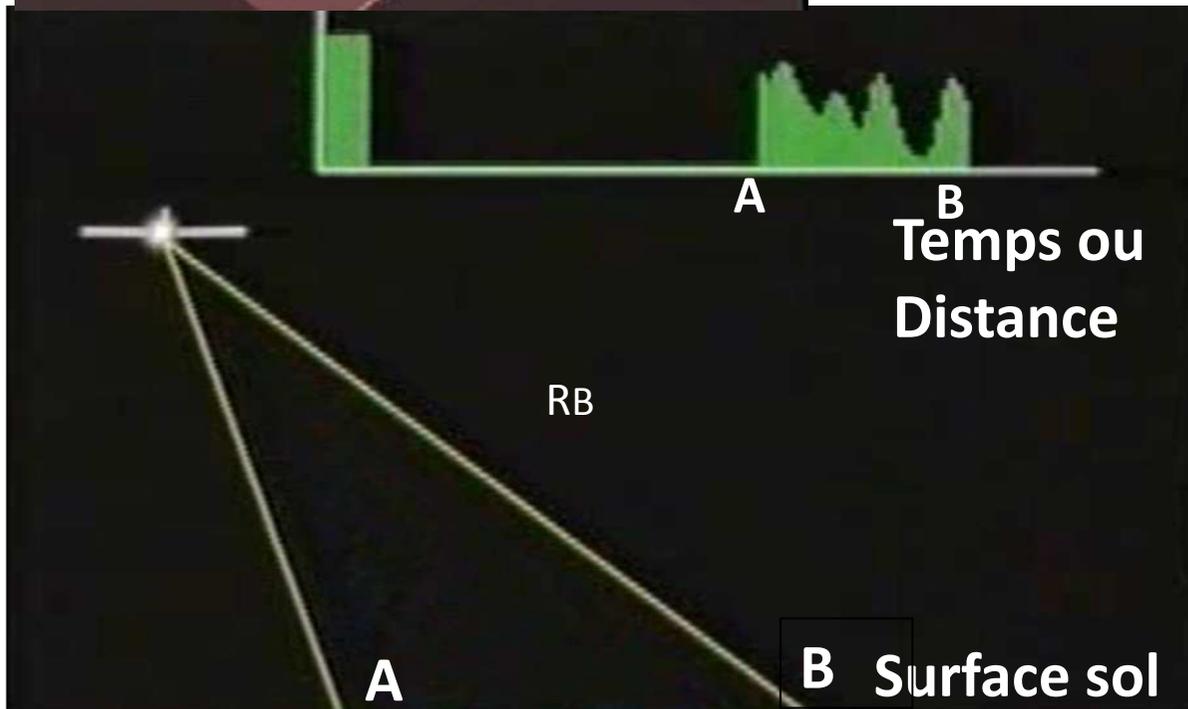
IMAGE RADAR



« Vision » latérale ligne après ligne, où, pour une ligne donnée, un point du sol est classé selon sa distance R à l'antenne (c.a.d selon le temps de parcours $t_{\text{AllerRetour}}$ de l'onde entre l'antenne et ce point)

$$R = c \cdot t_{\text{AllerRetour}} / 2$$

$$t_B - t_A = 2(R_B - R_A) / c > \tau$$



Pixel anisotrope

($L \sin \theta / 2$) en azimut

$c / (2B \cdot \sin(\text{incLocale}))$ au sol dans la dn de visée

Structures perp dn visée

FILM CNES,

Satellite acquisition

Resolution Transversale/radar = $C * T / 2$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad T = 10^{-4} \text{ s} \Rightarrow 15 \text{ km}$$

\Rightarrow Compression impulsion $\Rightarrow C / 2B$

au sol $C / (2B \sin(i))$ avec $B \sim 10^7$

resolution Longitudinale = $(\lambda/L) * R$

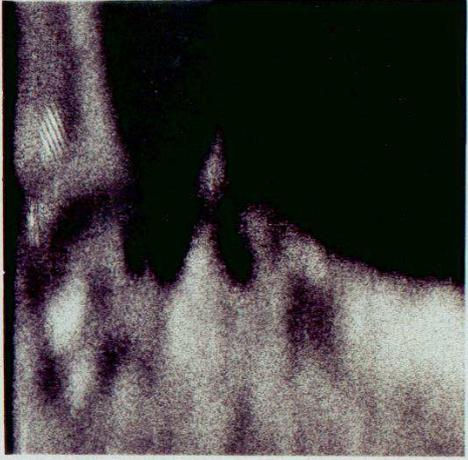
$$\lambda = 6 \text{ cm} \quad L = 10 \text{ m} \quad R = 850 \text{ Km}$$

$$L_r = 5,1 \text{ Km} ???$$

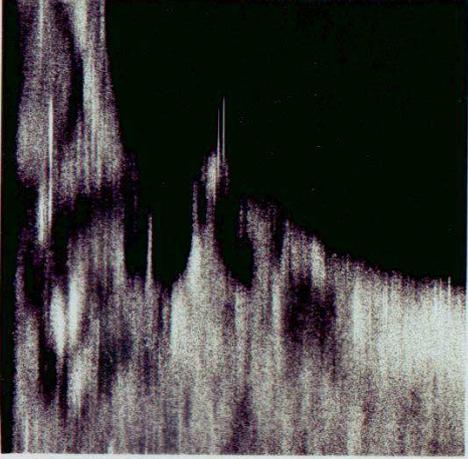
\Rightarrow traitement SAR $\Rightarrow L_r = L_{\text{ant}}/2$

anisotropie, 2 resolutions differentes

taille de pixel correspond a l'échantillonnage ($\sim 1/2$ resolution)

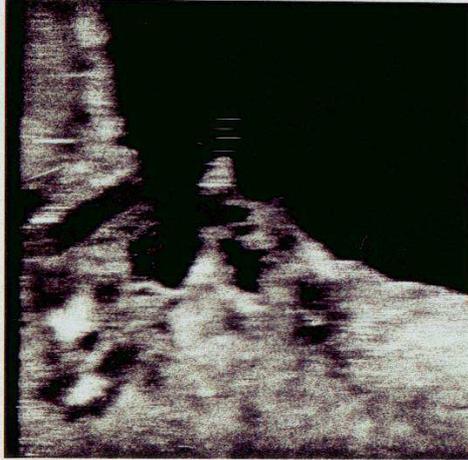


NON COMPRIME DISTANCE
NON COMPRIME AZIMUT

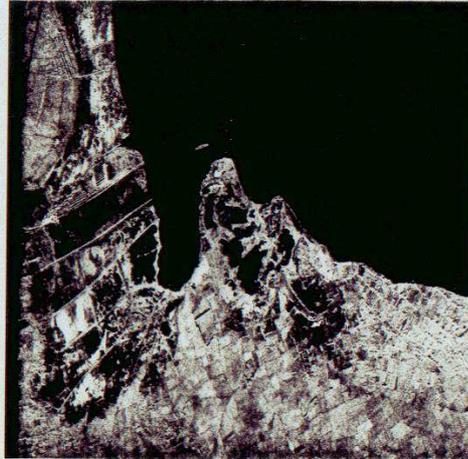


NON COMPRIME DISTANCE
COMPRIME AZIMUT

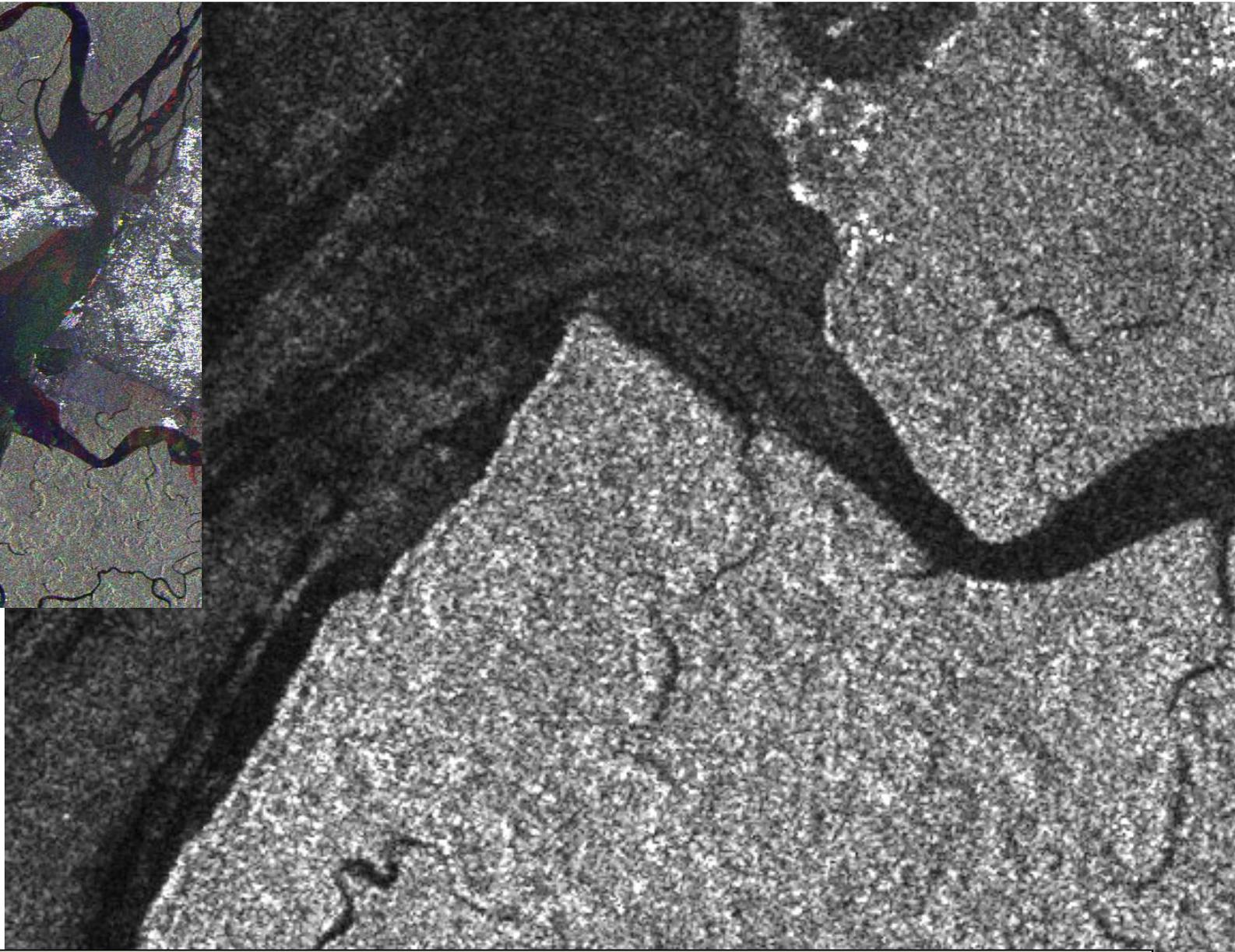
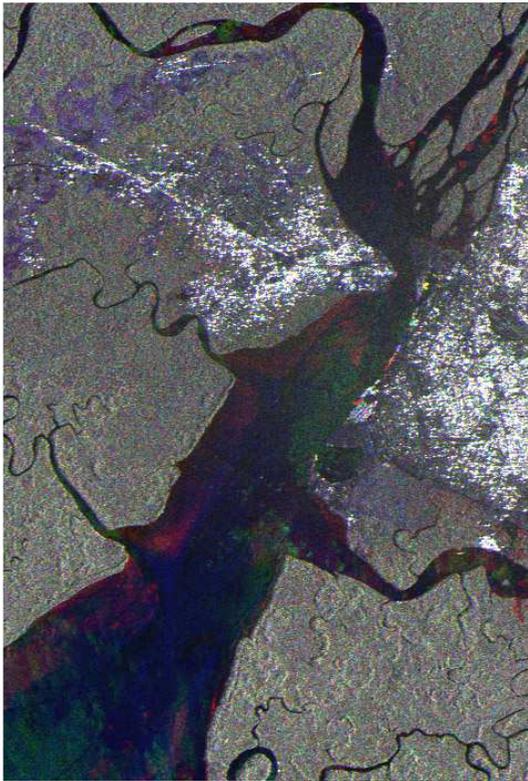
Document CNE5



COMPRIME DISTANCE
NON COMPRIME AZIMUT

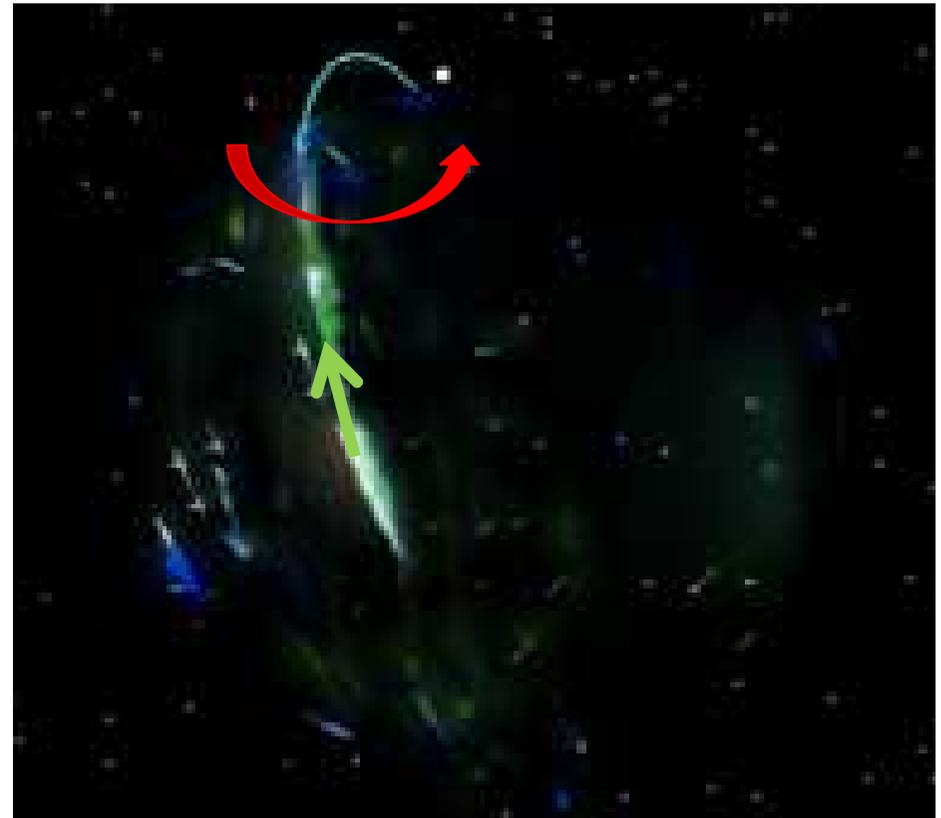
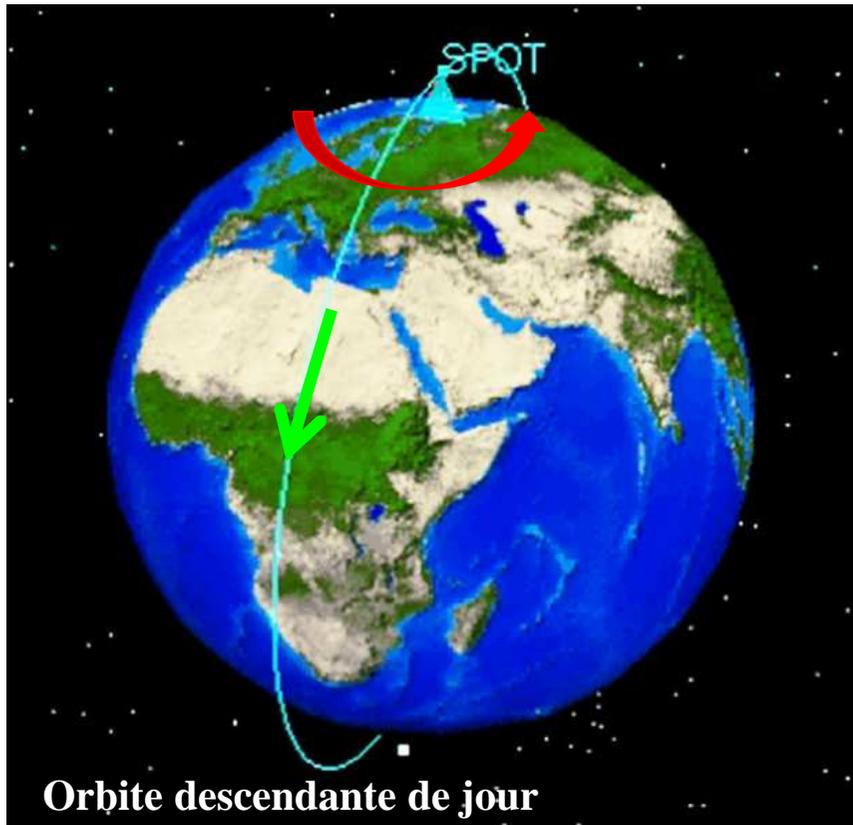


COMPRIME DISTANCE
COMPRIME AZIMUT



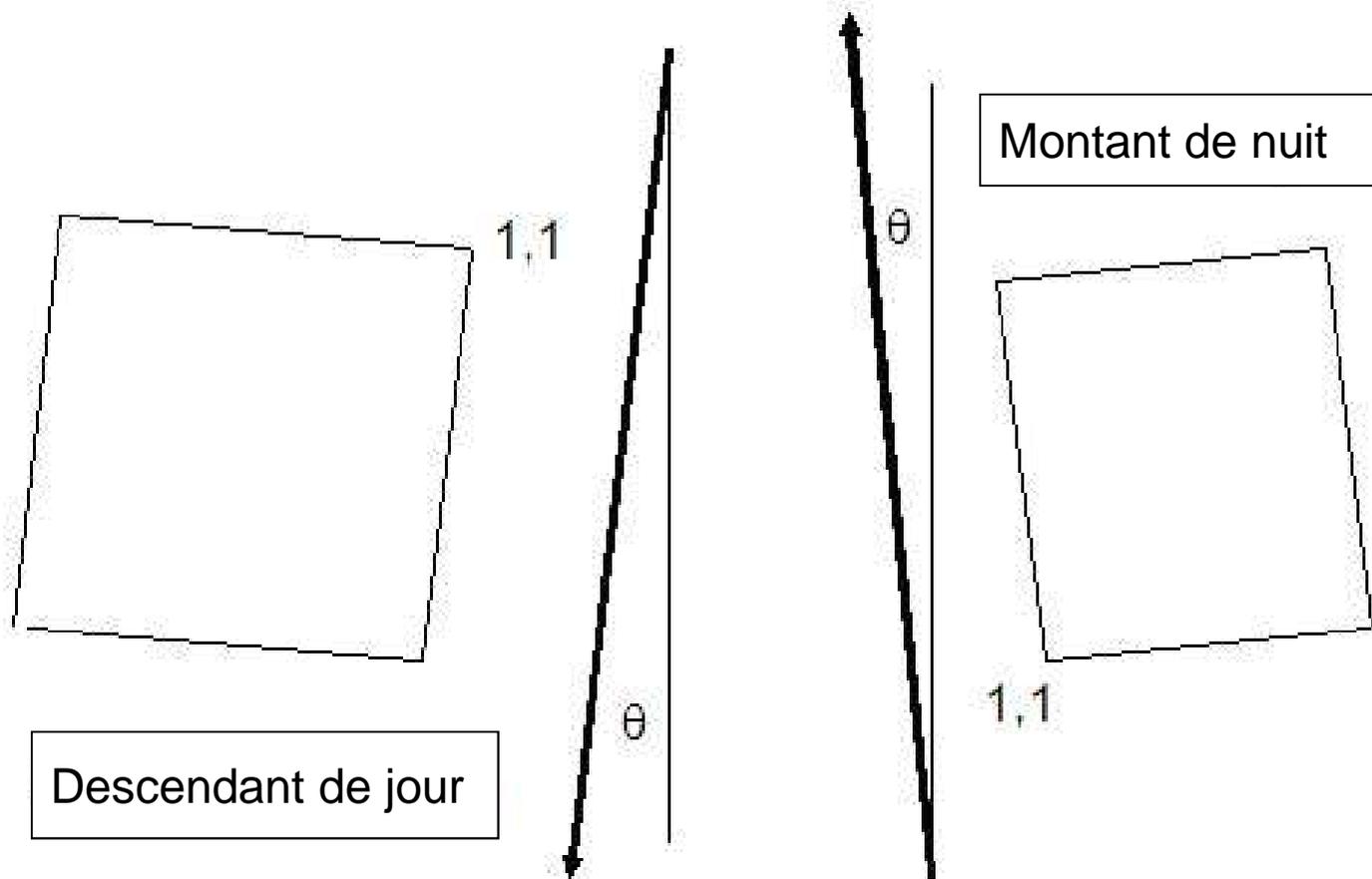
ERS Resolution spatiale ~ 25 m, PIXEL 12,5m

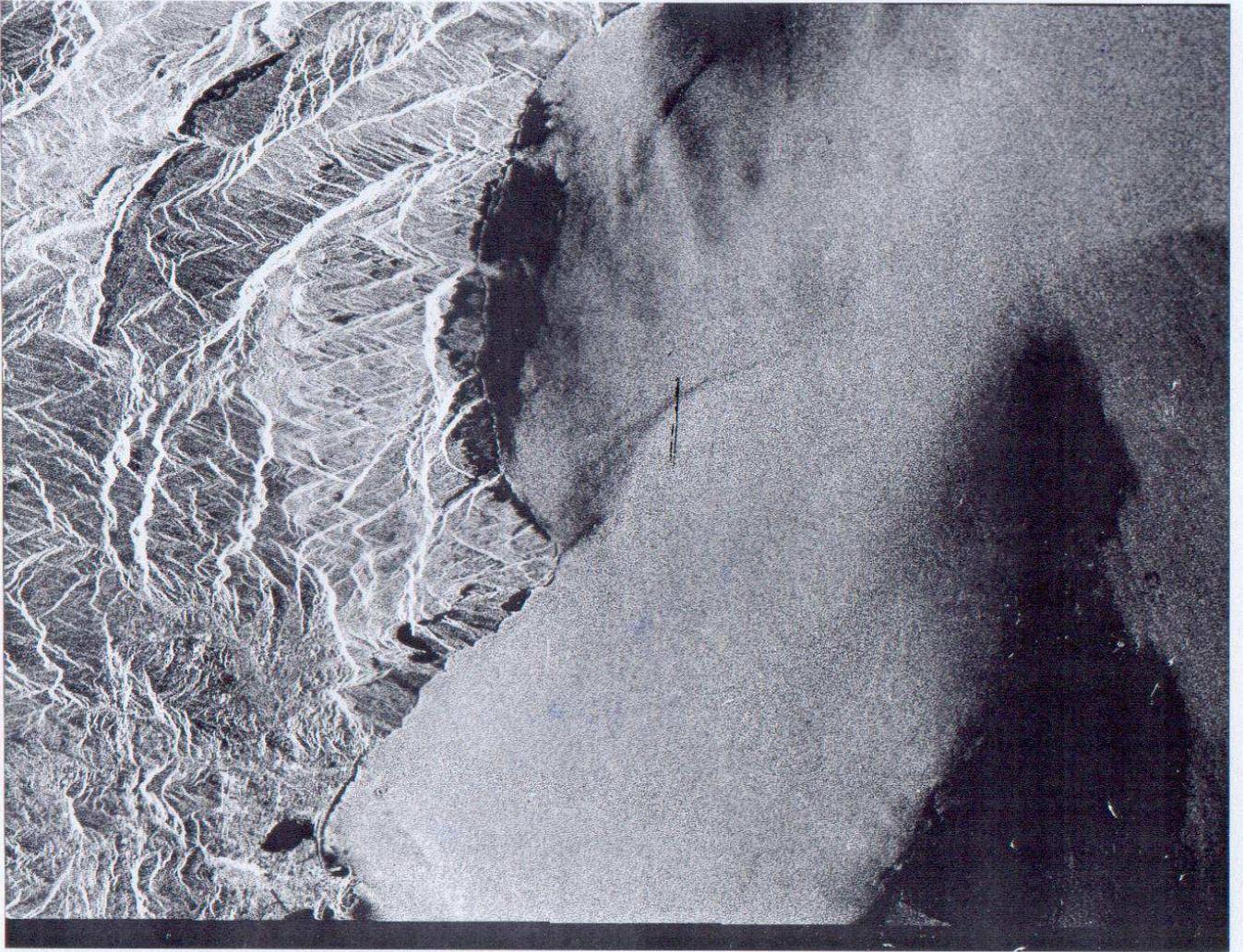
Géométrie, perspective, effets du relief



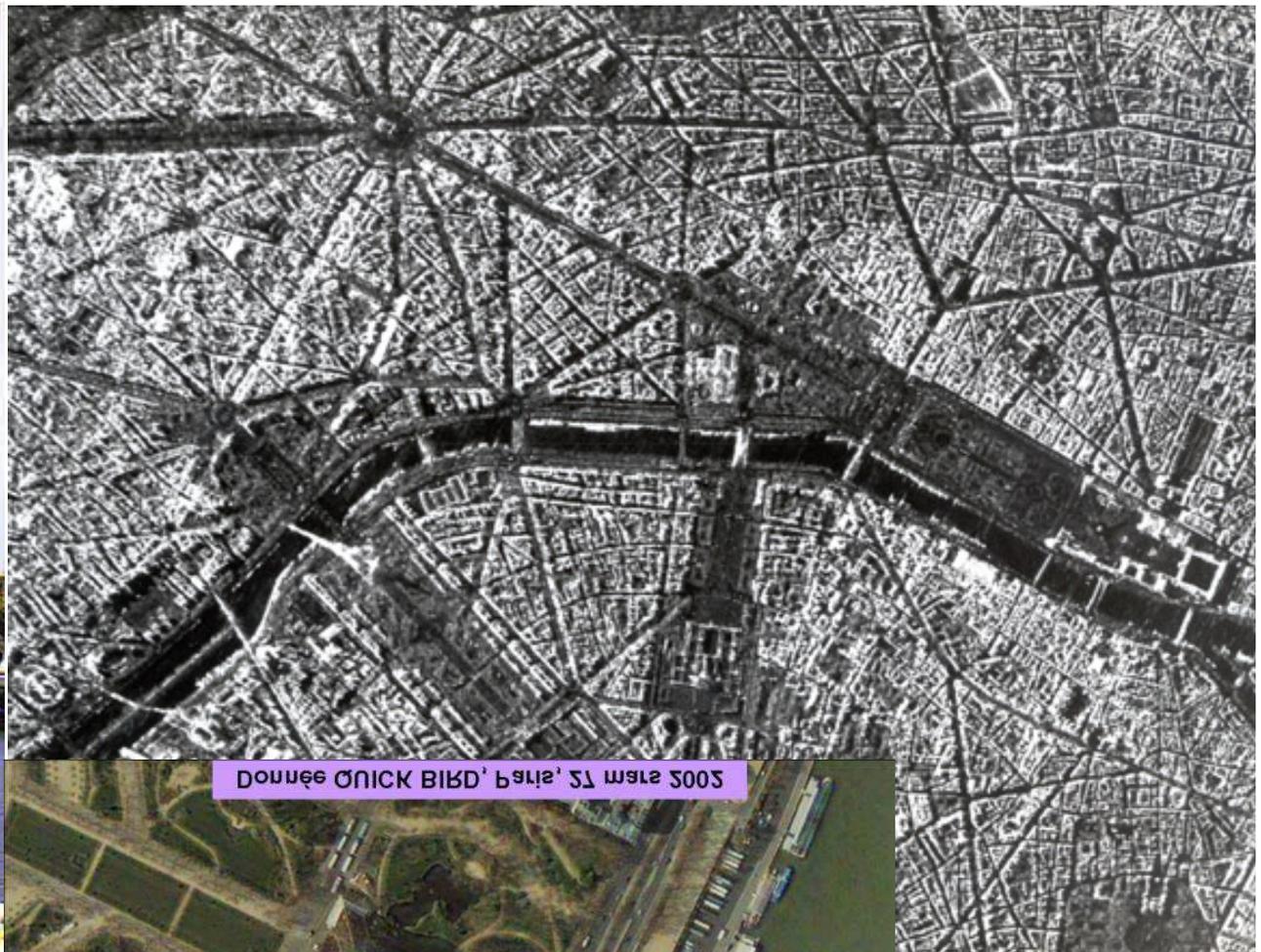
Effets géométriques combinés

Inclinaison orbite et rotation de la terre





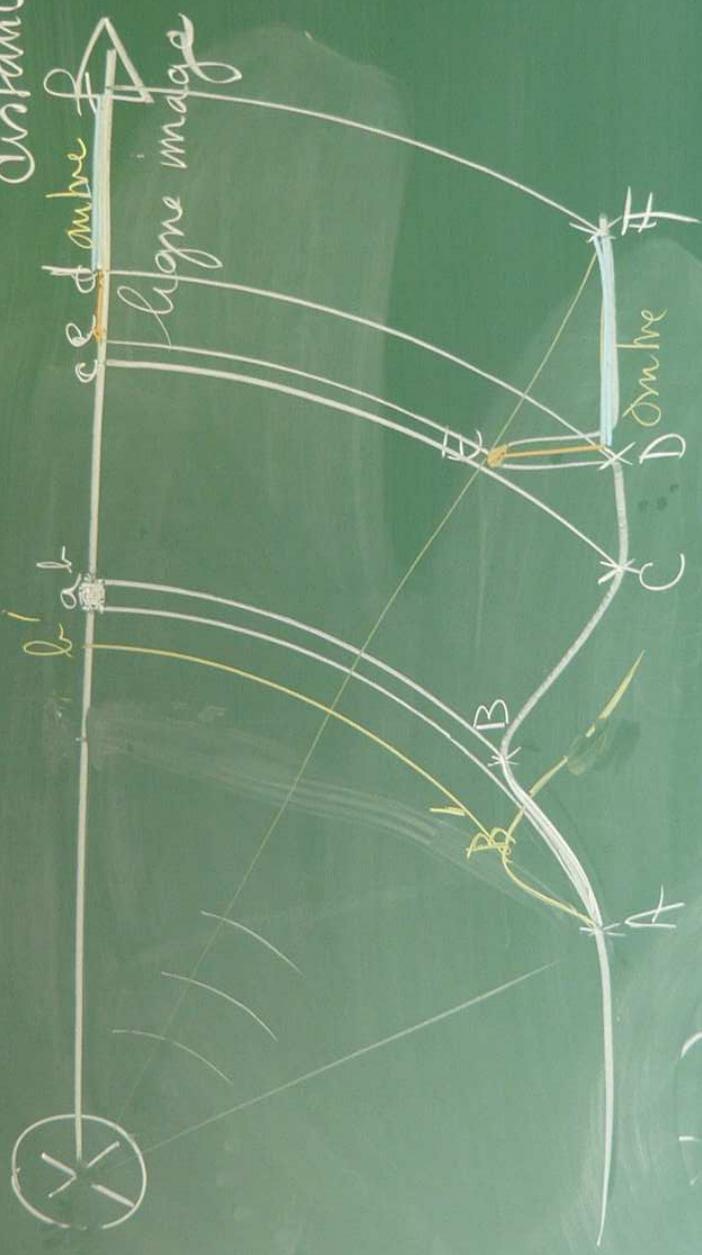
H=300m



Exercice:
Trouver i ,
incidence au
niveau de la tour
Eiffel

500 m

distance



$b'ab$

c.s. d'ombre
l'igne image

H

D'ombre

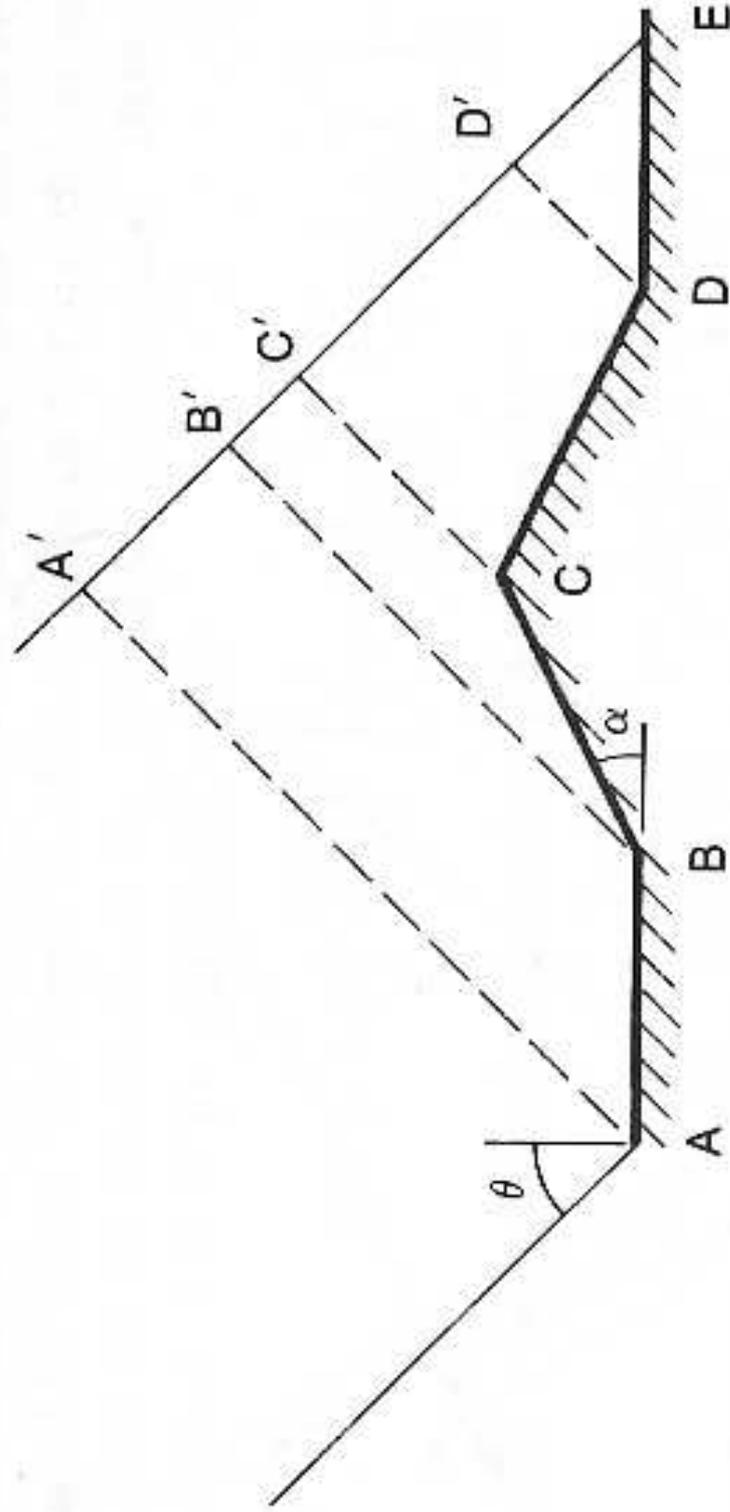
D

C

B*

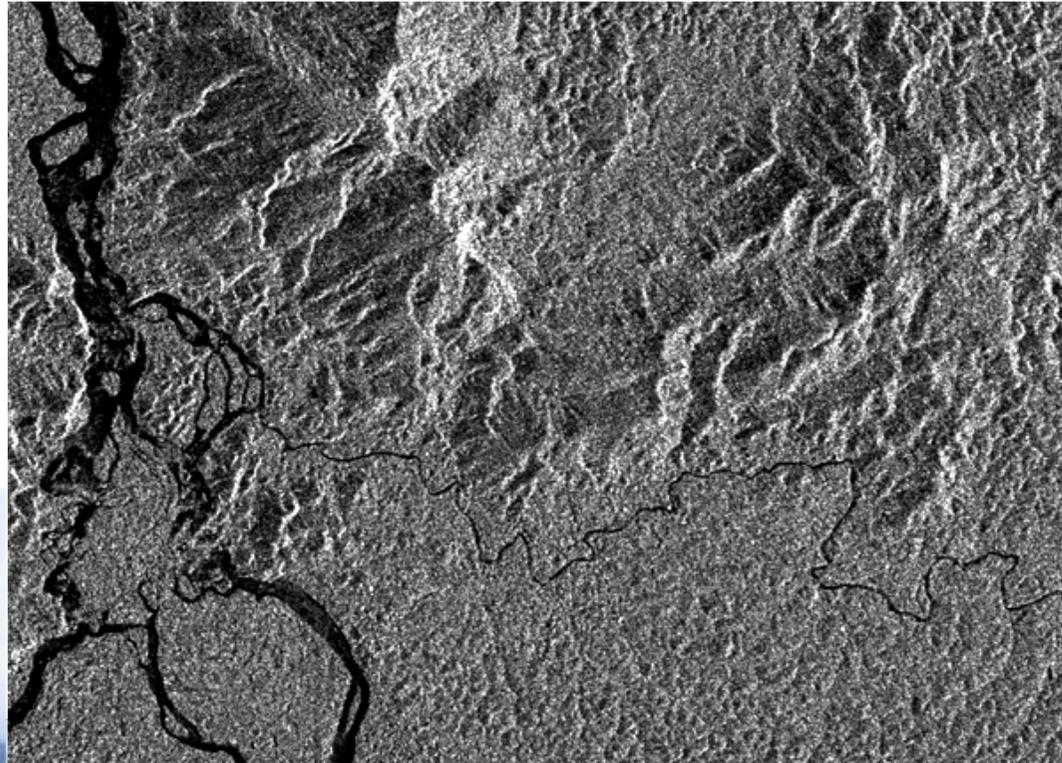
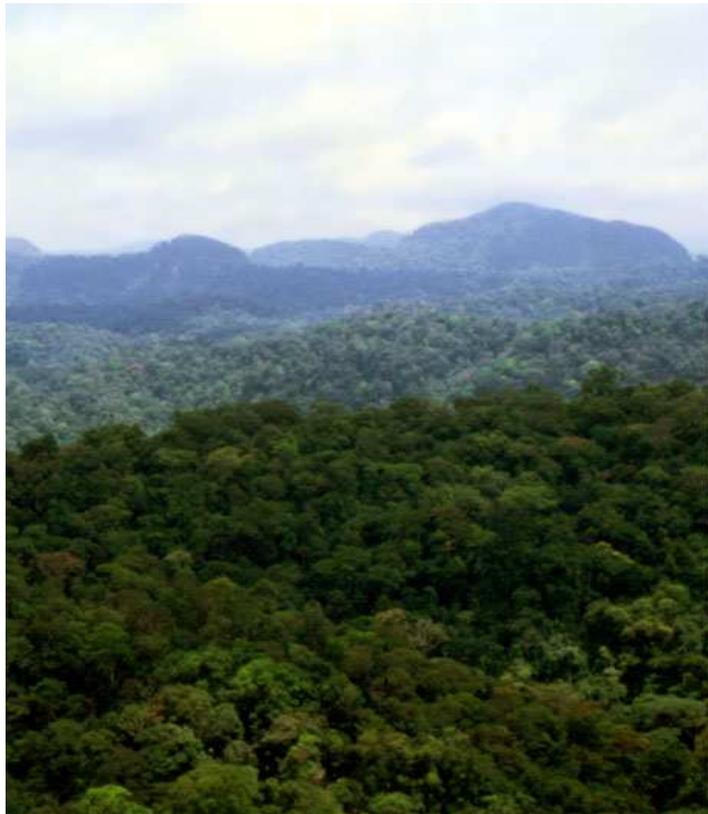
B

A

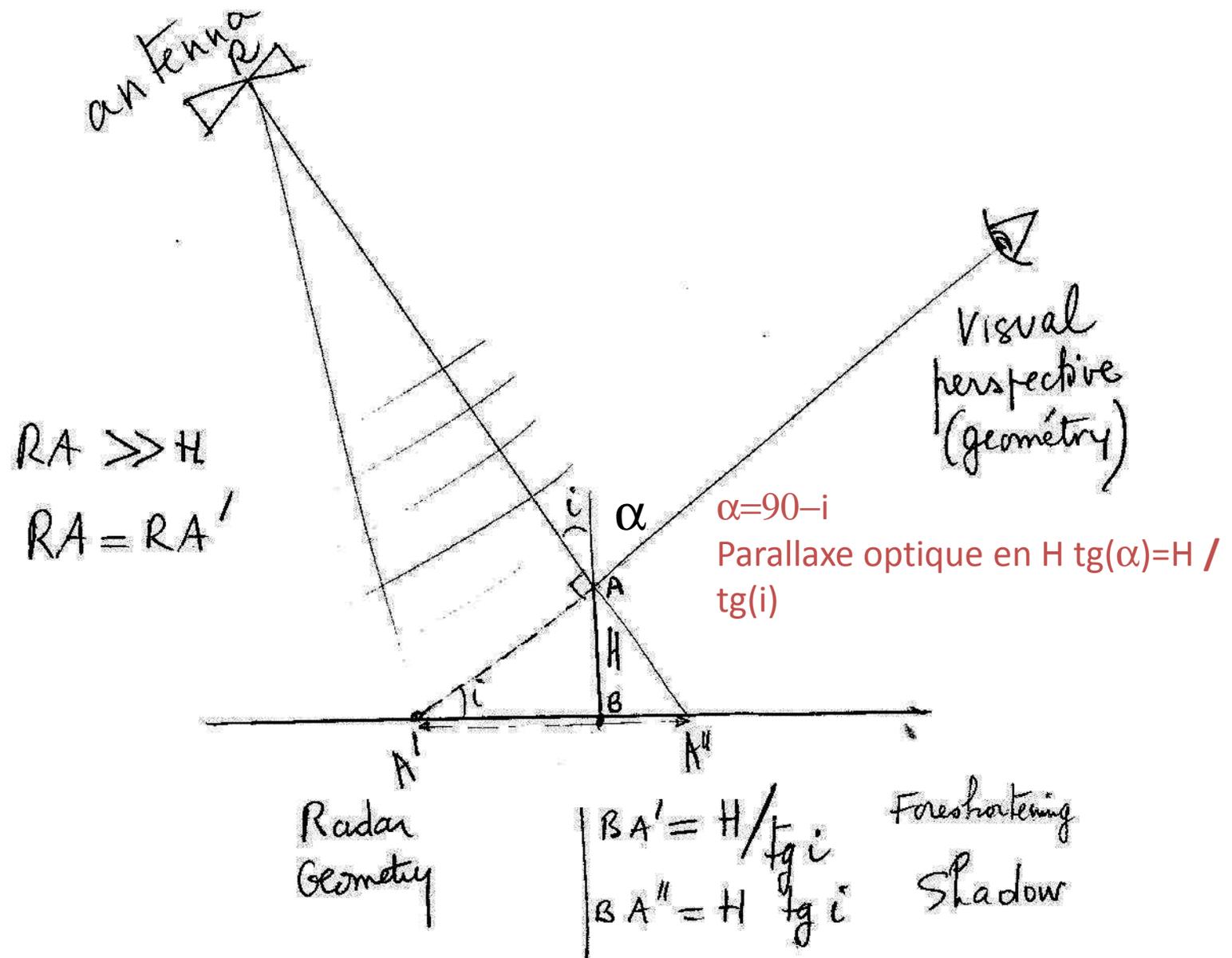


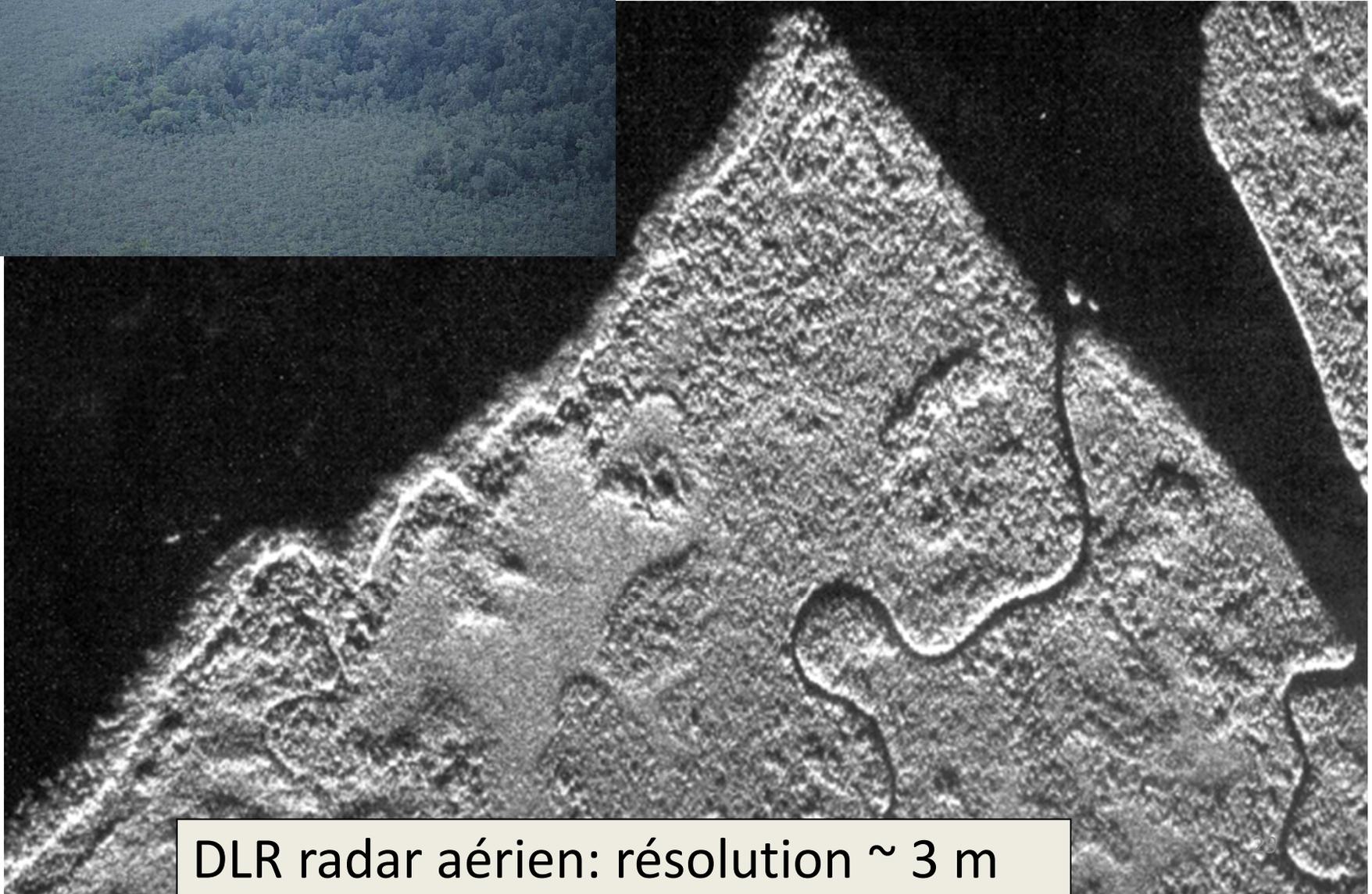
$$A'B' = AB \sin \theta, \quad B'C' = BC \sin (\theta - \alpha), \quad C'D' = CD \sin (\theta + \alpha)$$

Guyane
Image ERS-ESA
Carte IGN



Foreshortening and shadow for a vertical structure H

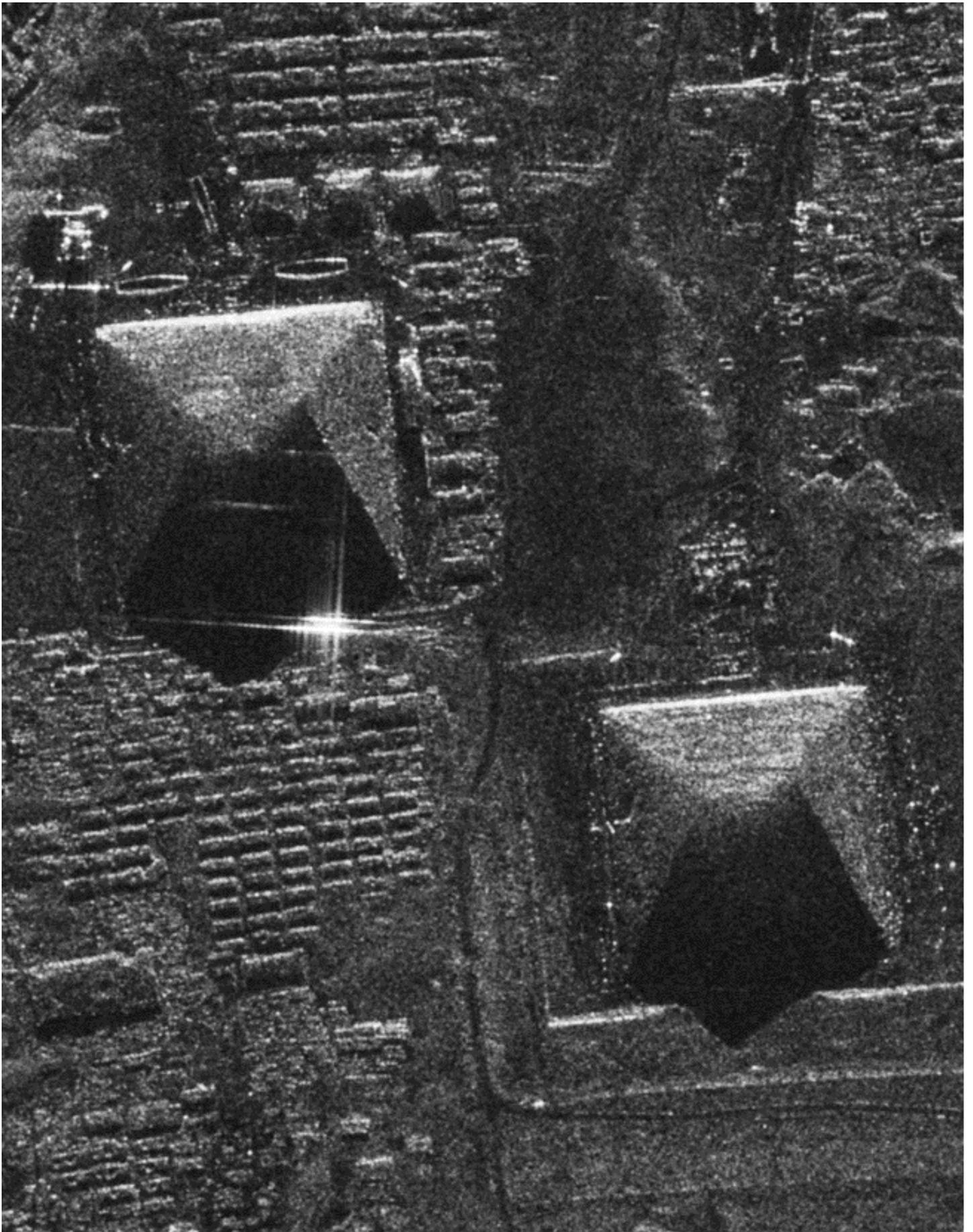




DLR radar aérien: résolution ~ 3 m

A retenir pour plus tard

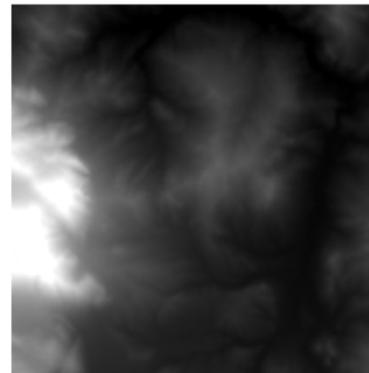




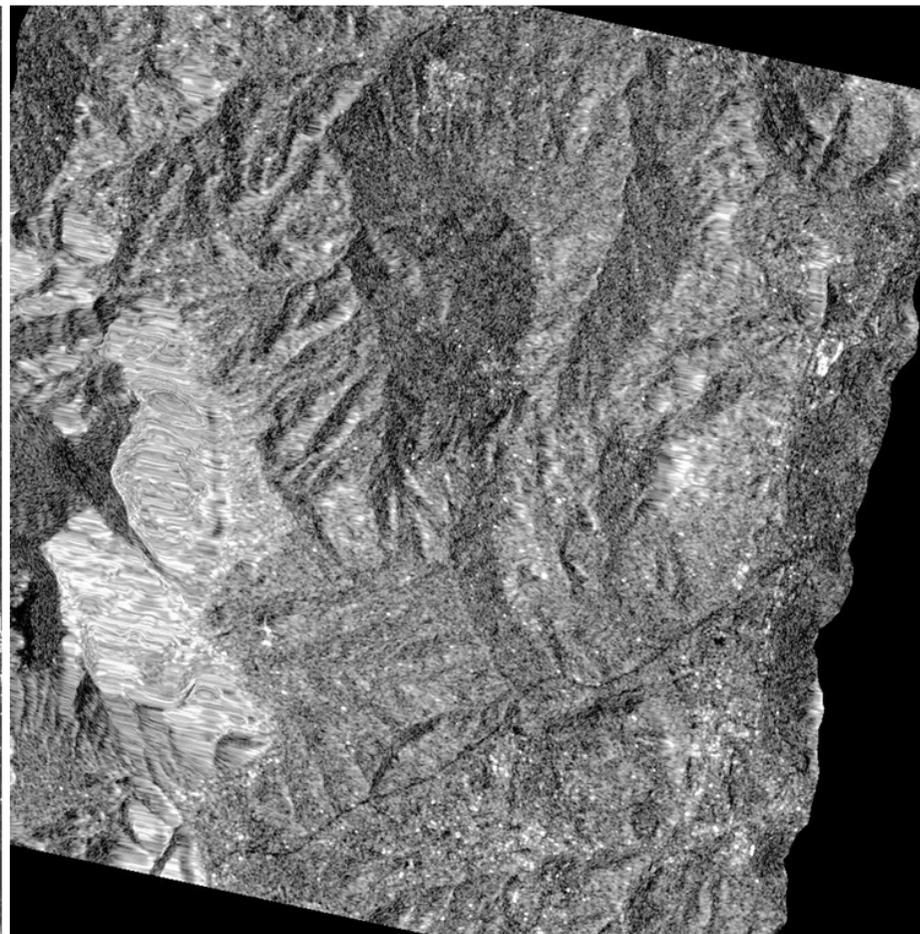
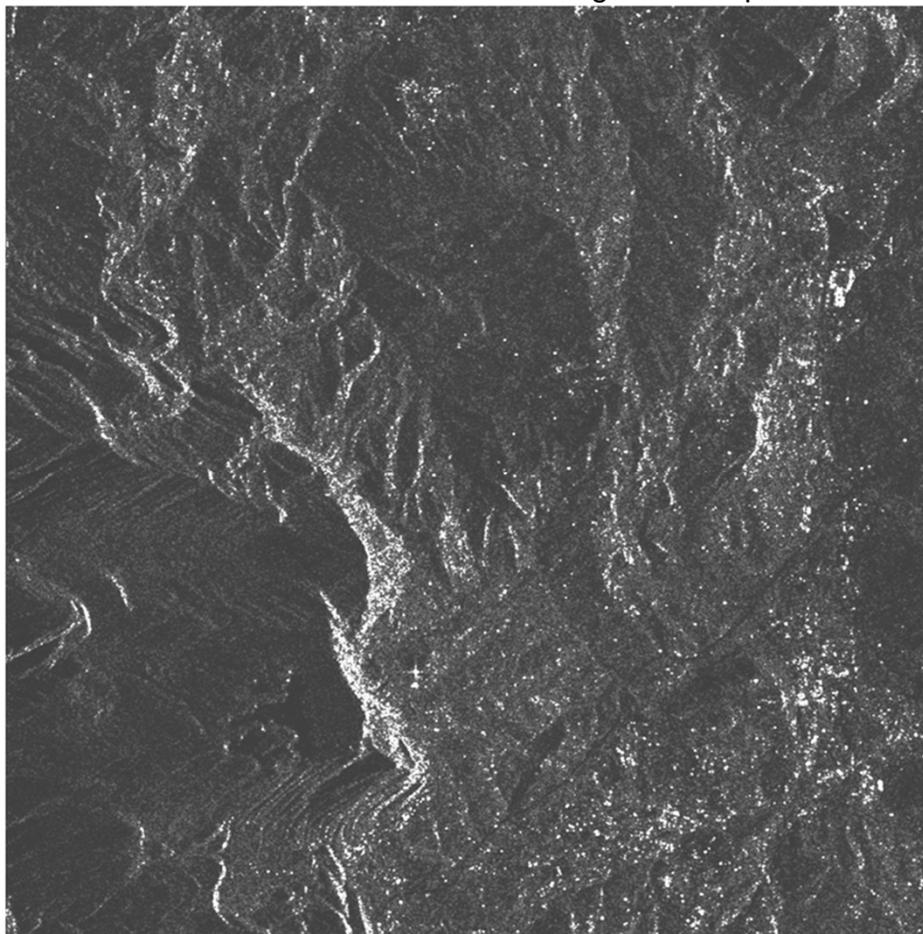


Orthorectification VISIOTERRA

-



Extrait d'une scène PRI de la région de Naples



Quelle mesure

- › Amplitude (Puissance ou Intensité = Amplitude au carré)
- › Phase => cf Cohérence
- › Exemples divers

$$\text{FluxPerp} * S_{\text{pixel}} * \text{Cos}(i\text{-local}) * \text{Rhe} * G(\text{ui}, \text{ur}) * \Delta\Omega_{\text{pixel} \Rightarrow \text{capteur}}$$

Radar

<puissance> moyenne sur zone homogène proportionnelle à

$$F_0 \text{radar} * S_{\text{pixel}} * \text{Cos}(i\text{Loc}) * \text{Rhe}(\text{ui}) * G(\text{ui}, \text{ui})$$

ou S_{pixel} varie en $1/\sin(\text{incLocale}) \Rightarrow \text{image}$

$$\sigma^0 = 4\pi * \text{Cos}(i\text{Loc}) * \text{Rhe}(\text{ui}) * G(\text{ui}, \text{ui}) \Rightarrow \text{publications}$$

Optique

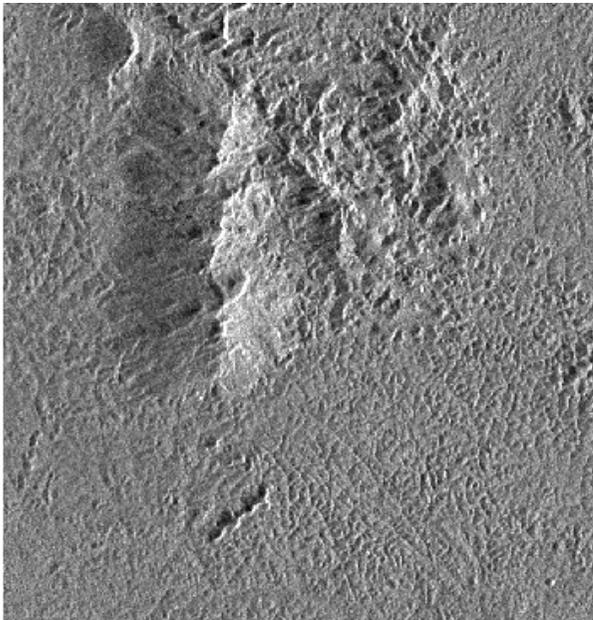
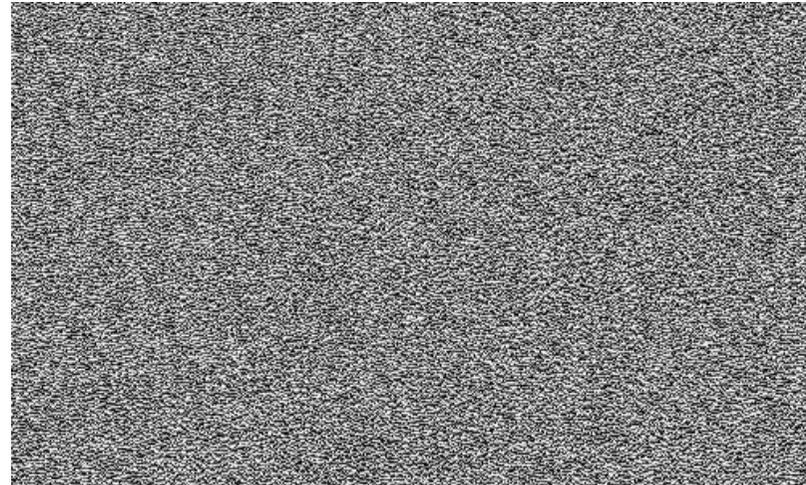
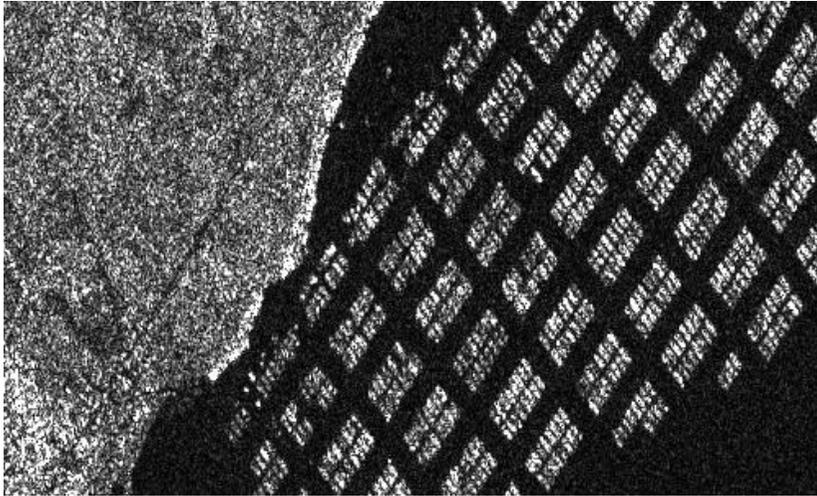
puissance proportionnelle à

$$F_0 \text{soleil} * \text{Cos}(i\text{-Loc}) * \text{IFOV} * \text{Rhe}(\text{ui})$$

Si surface lambertienne

Quelle Mesure

PHASE: voir & suivant



sable lambertien ? , r(il) et r diffus

soleil: $k ((r(il)*\Phi_{0s}*\cos(il))+r*E_{diffus})$

ombre: $k*r *E_{diffus}$



Variabilité de E_{direct} avec l'élévation solaire; $\Phi_{0s} * \cos (il)$, H_0 et $H_0 + 3heures$

Optique: $E = \Phi_{0s}^* \cos(i_l) + E_{diffus}$, surface lambertienne, $r \sim \text{élevé}$,
on perçoit ici les variations du $\cos(i_l)$ et les ombres



$$k^* r^*(\Phi_{0s}^* \cos(i_l) + E_{diffus})$$

Copyright: Arnaud Chochon

Réponse radar: Quels facteurs?

- Surface:
- Pente
- Rugosite, Biomasse, Humidité
- Cibles anthropiques

- Systeme imageur
- Onde: λ , polar,
- d_n visée, résolution spatiale

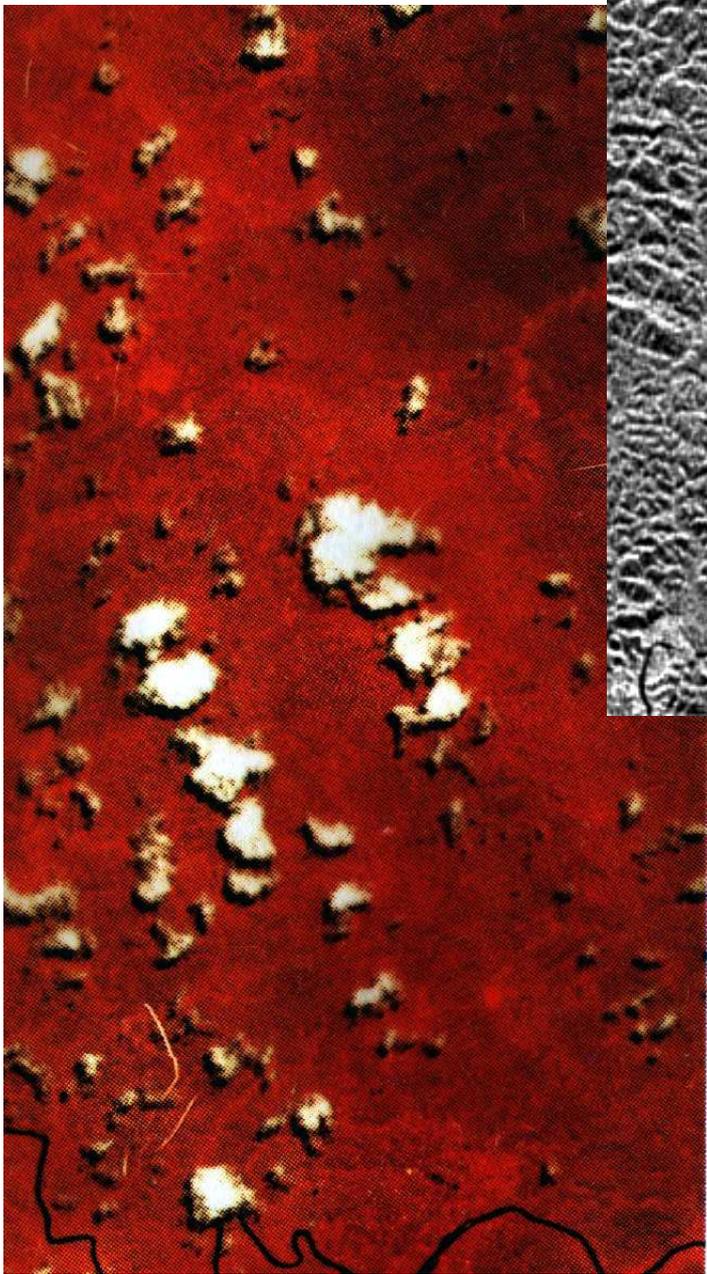
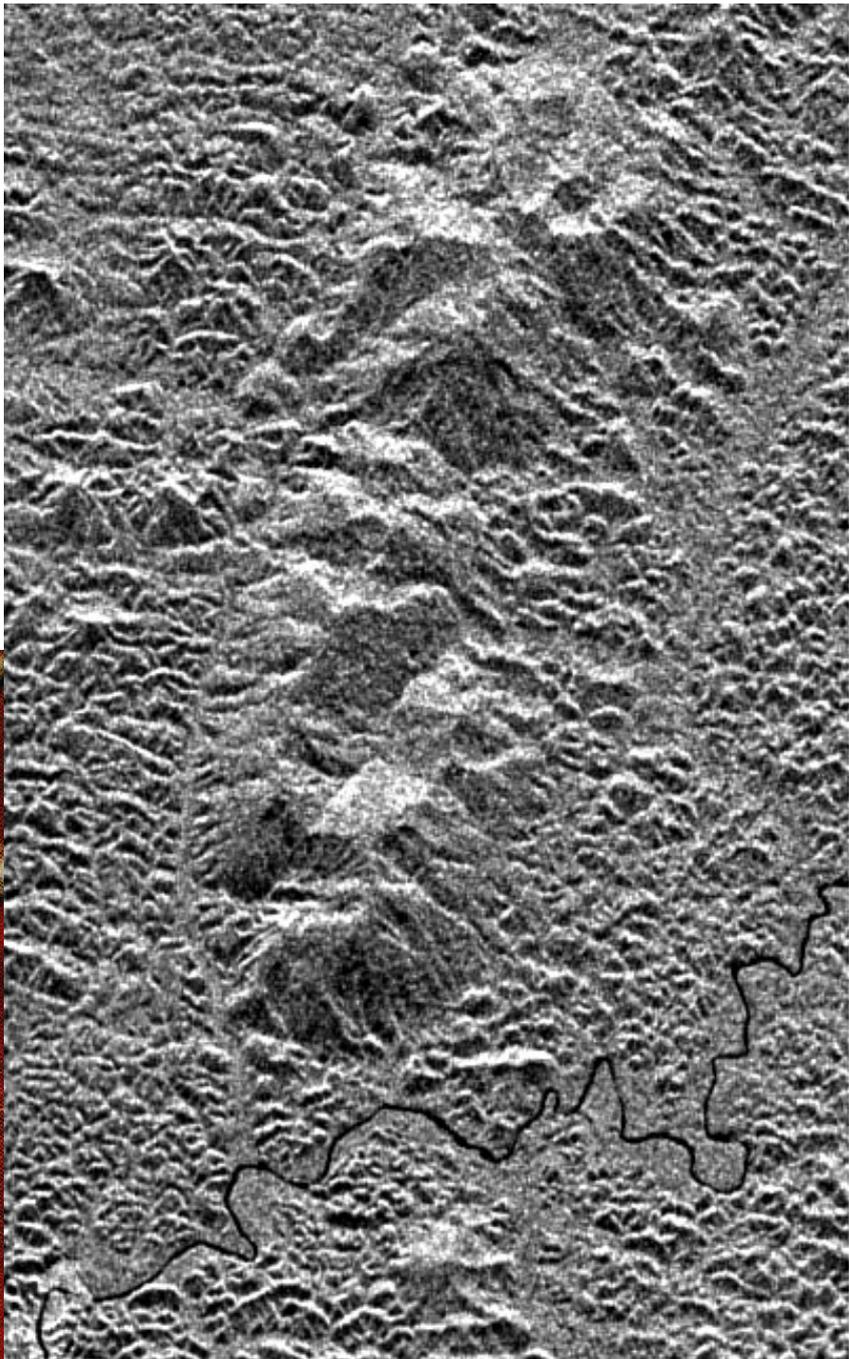
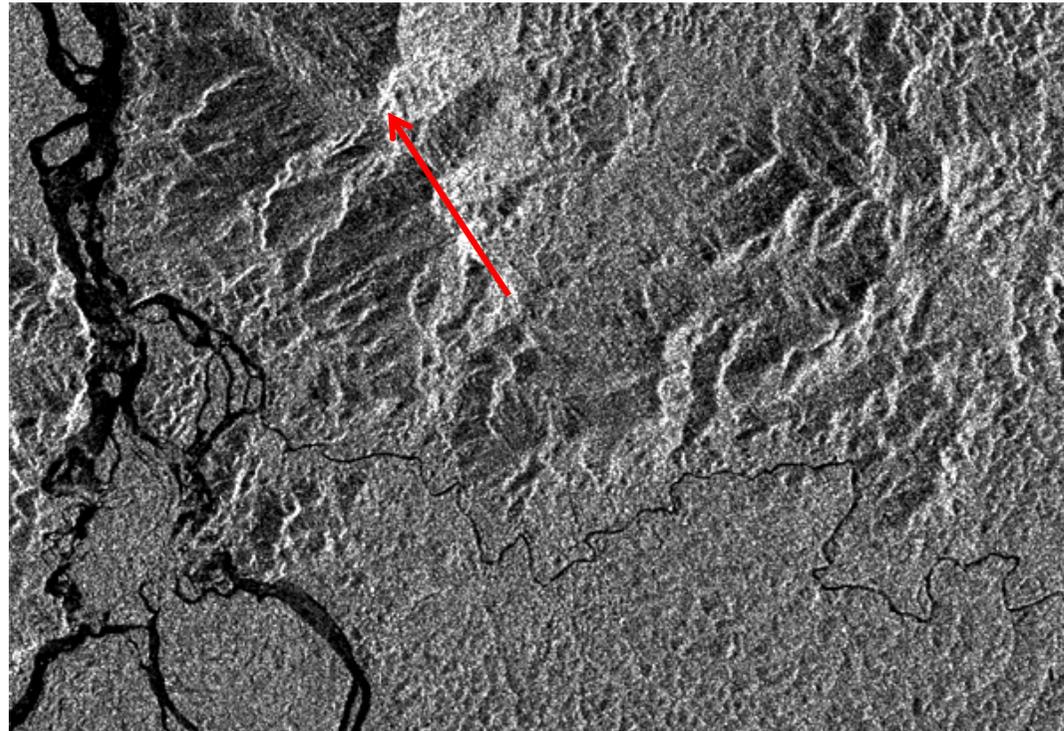


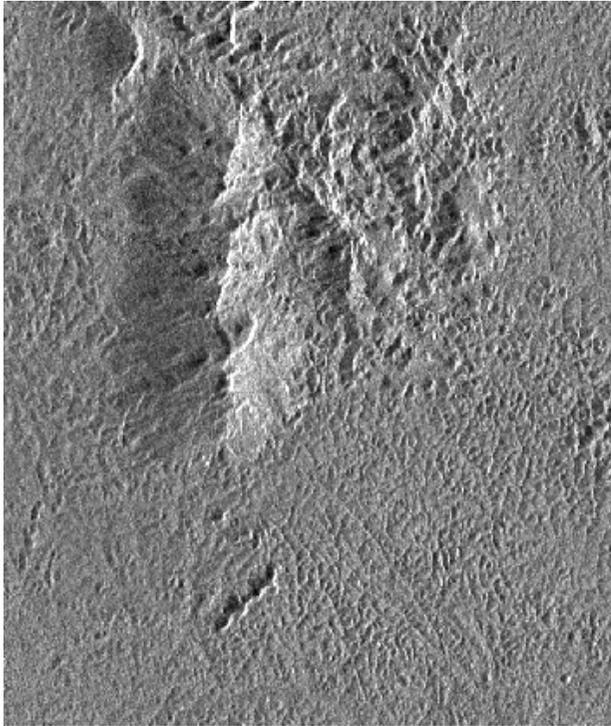
Image ERS-ESA

Géoréférencement
type « zone plate »
malgré le relief

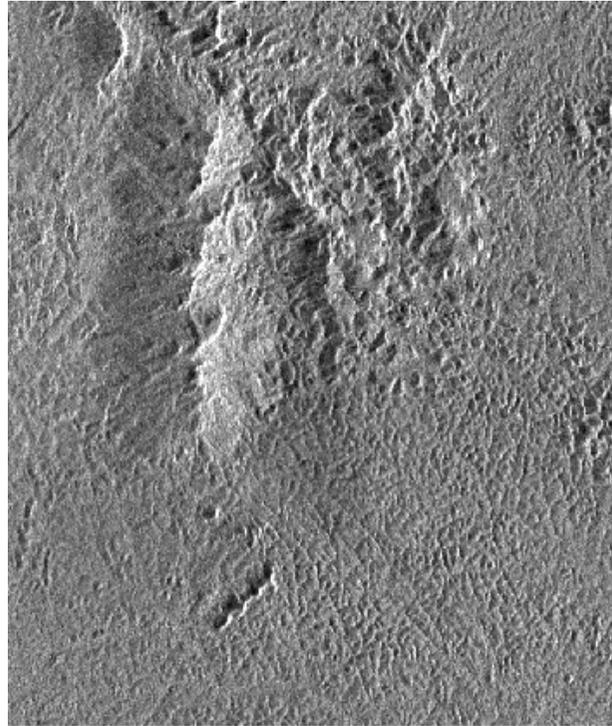


carte IGN
Fleuve Maroni,
Ouest Guyane

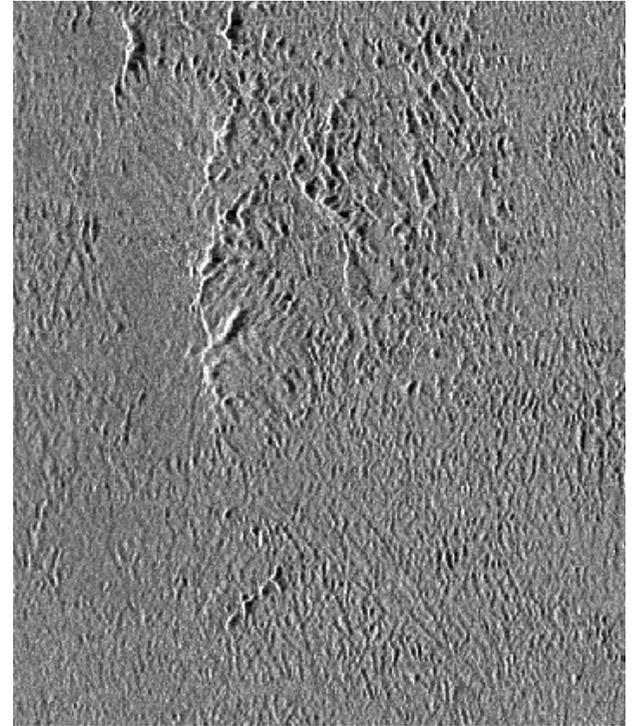
ERS mosaic and DEM



No DEM



With IGN DEM

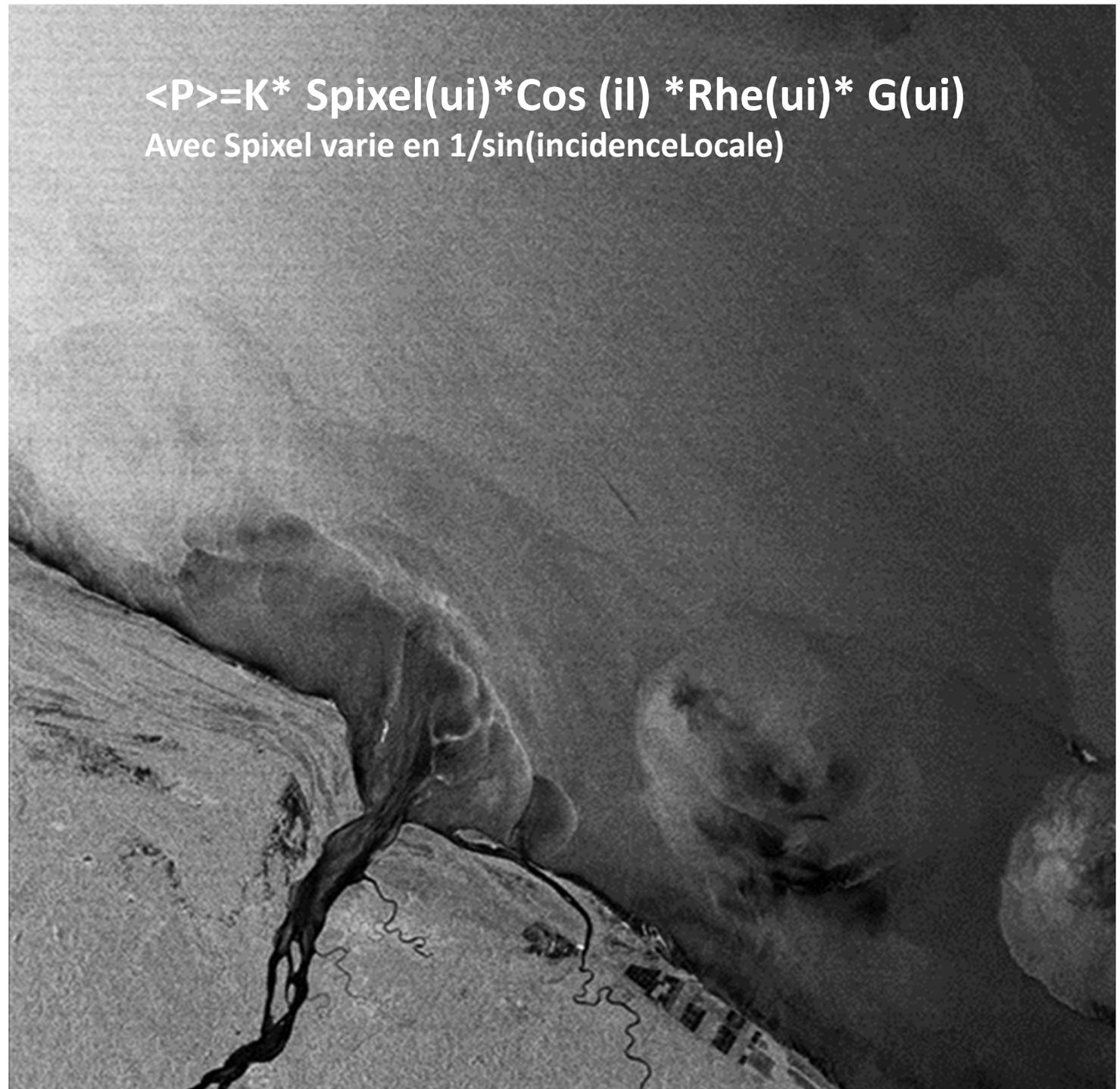


With shuttle DEM

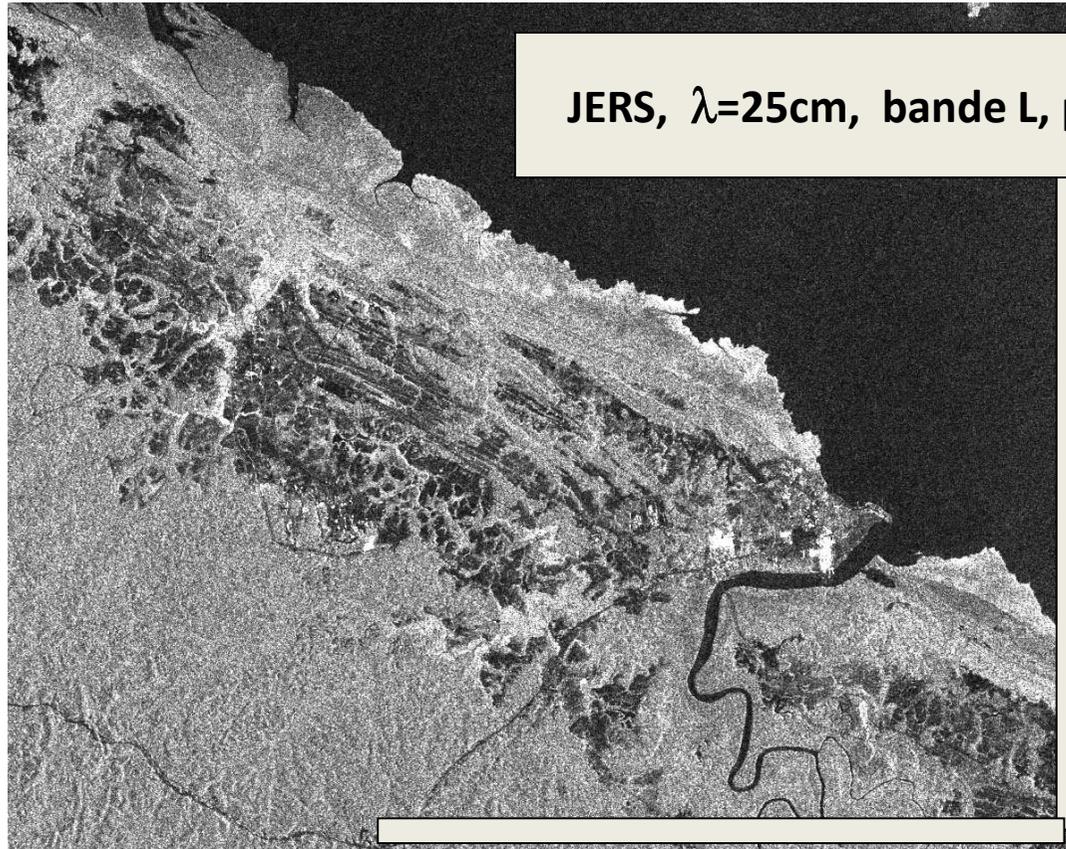
Image ERS

L'Incidence varie
d'Ouest en Est (de
gauche à droite)
de 19° a 26°

L'Effet de la Rugosité
est moins marqué
quand l'incidence
croit (voir remarque
en fin de séquence)

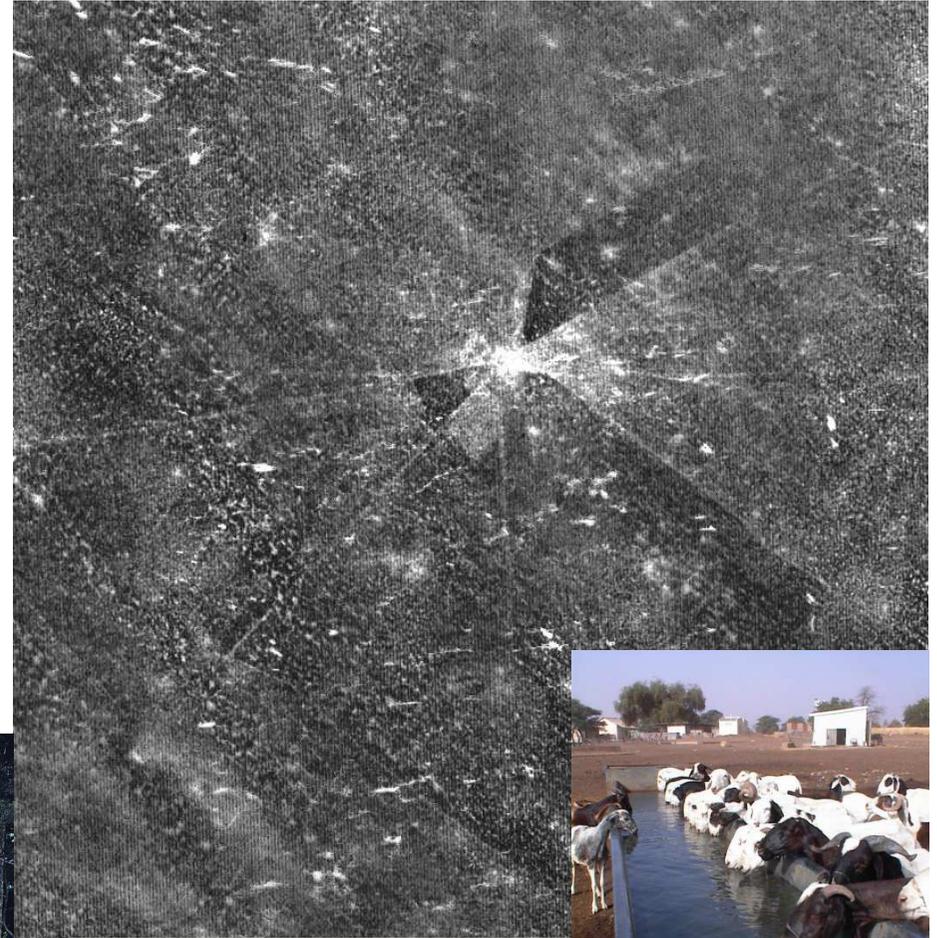


JERS, $\lambda=25\text{cm}$, bande L, polar HH

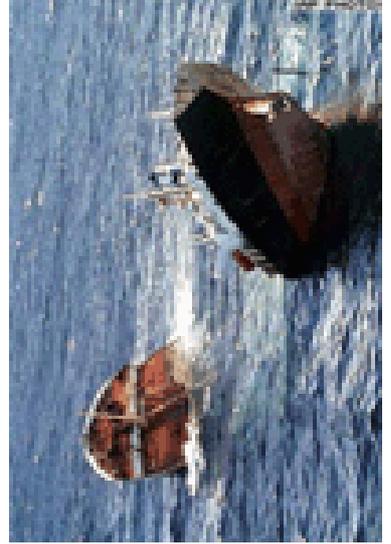
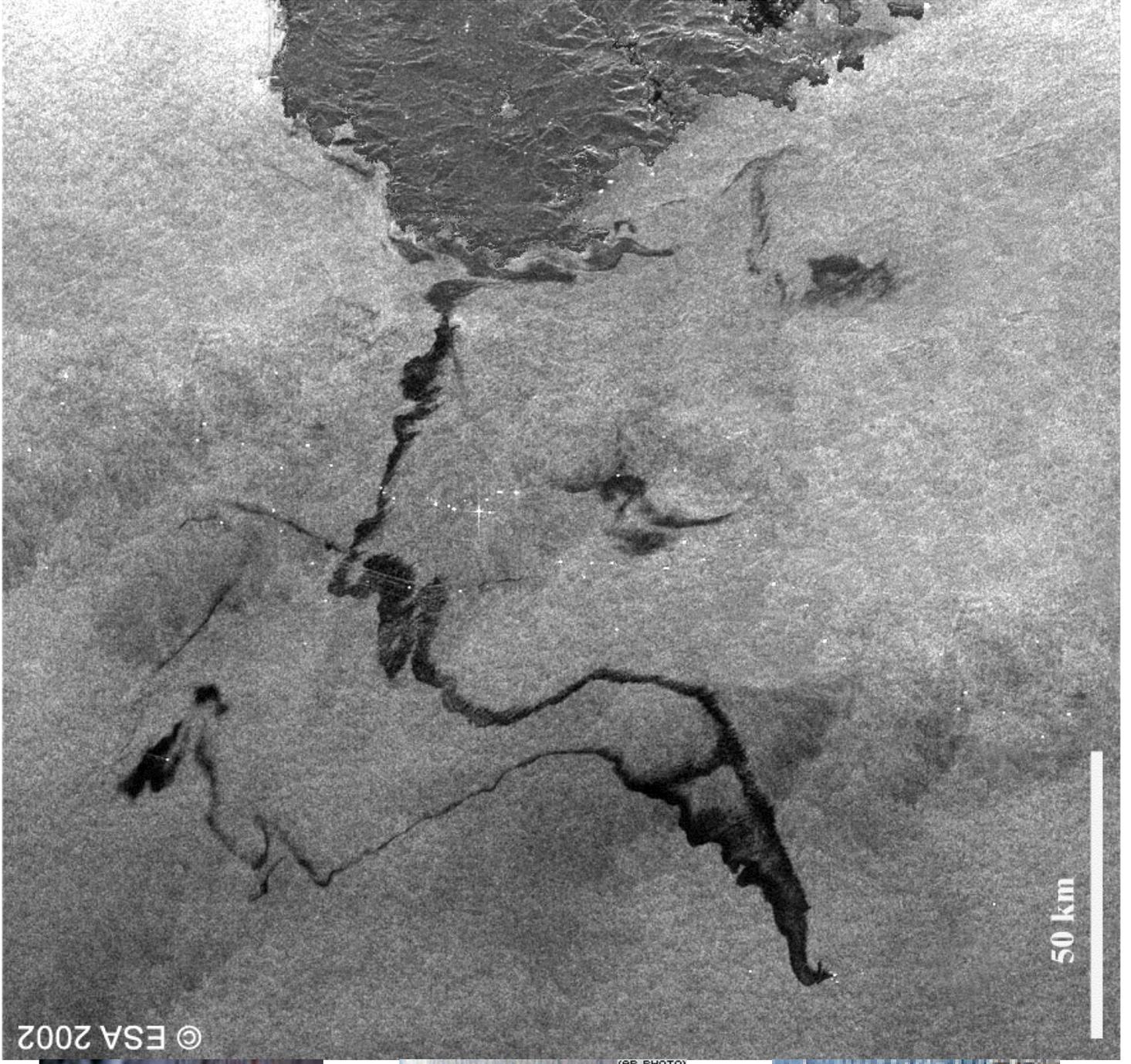


ERS, $\lambda=6\text{cm}$, bande C, polar VV

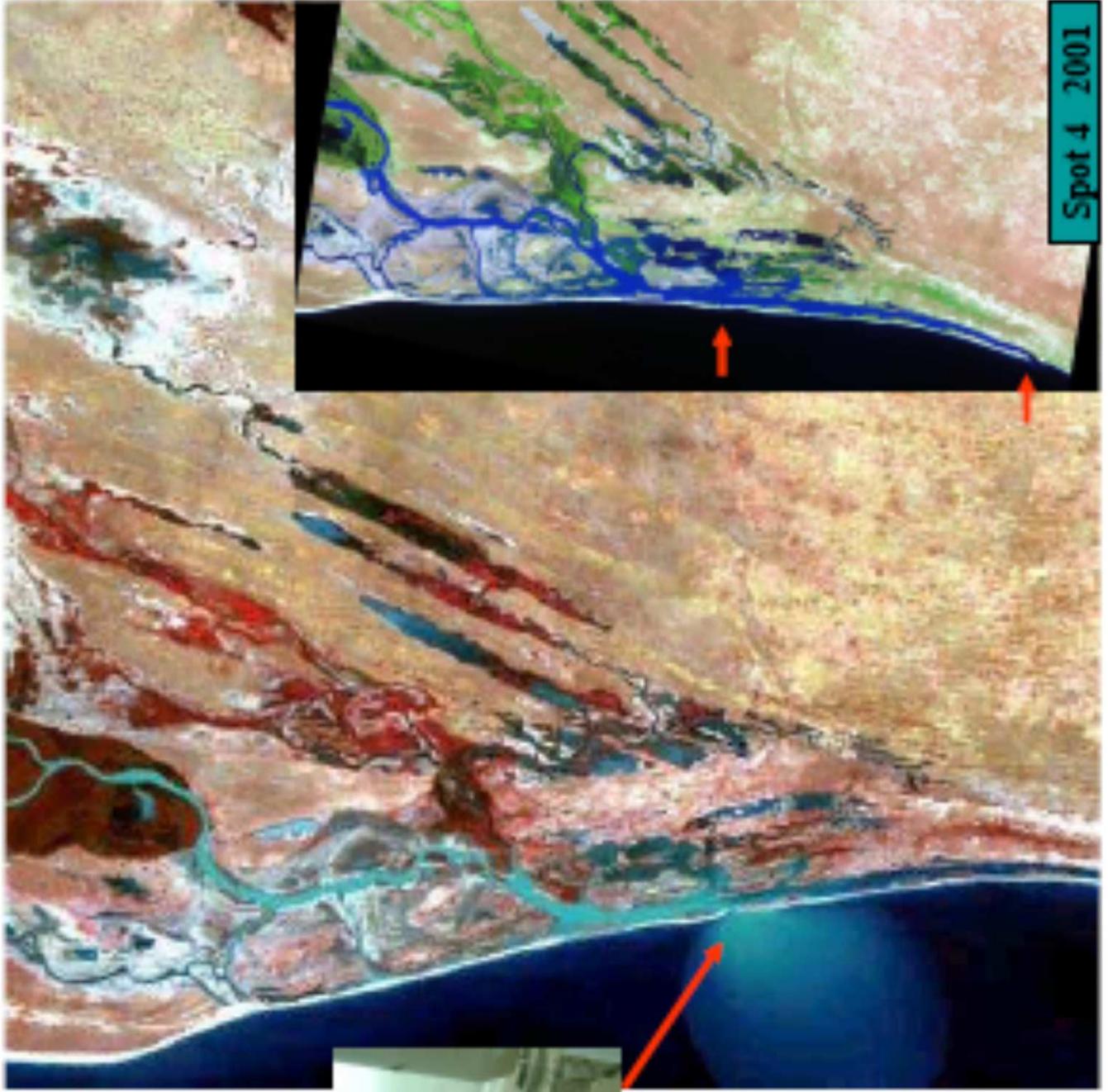




$\langle P \rangle = K^*$
 $\text{Spixel}(ui) * \text{Cos}(il)$
 $\text{Rhe}(ui) * G(ui)$



(AP PHOTO)

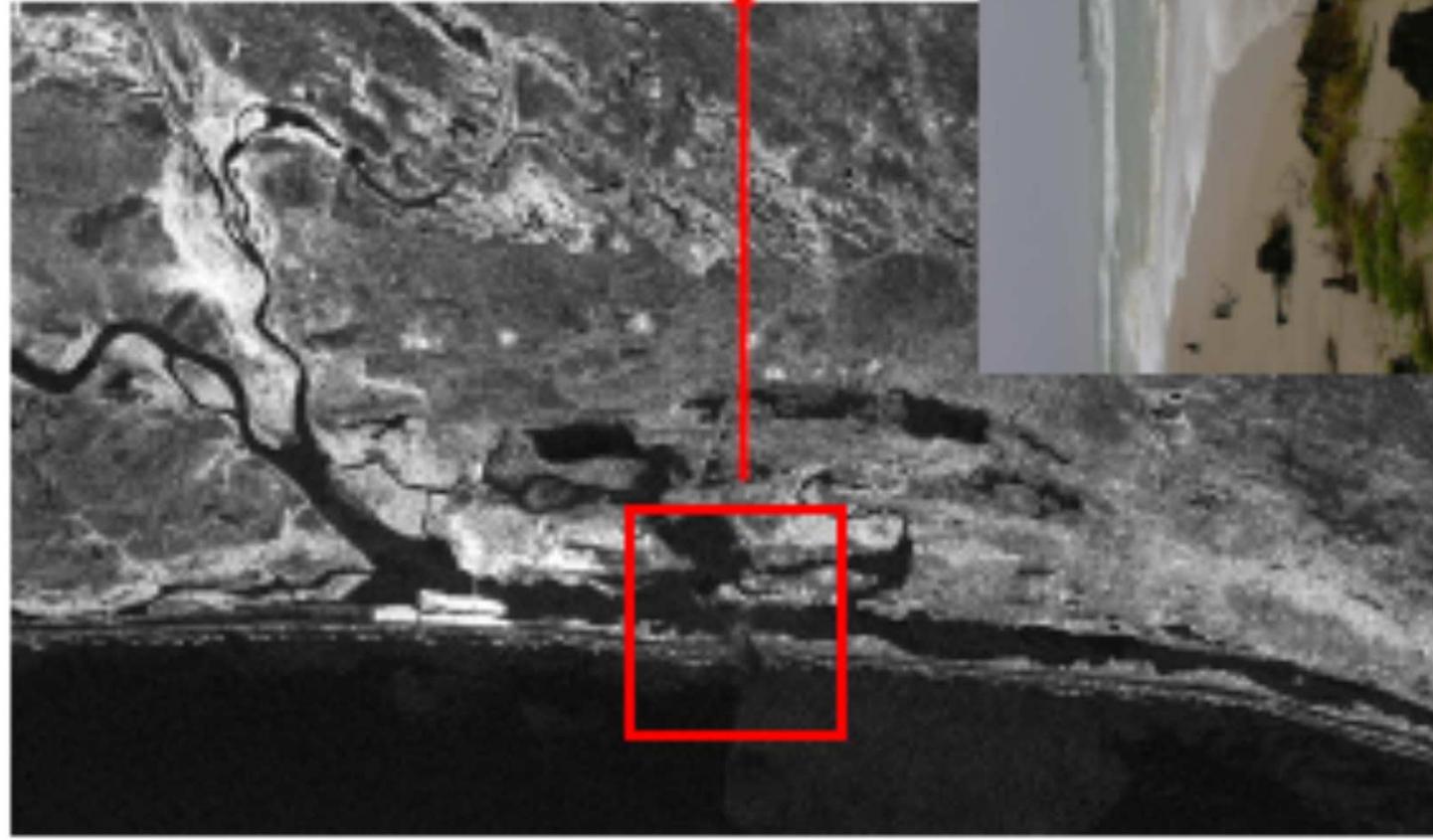
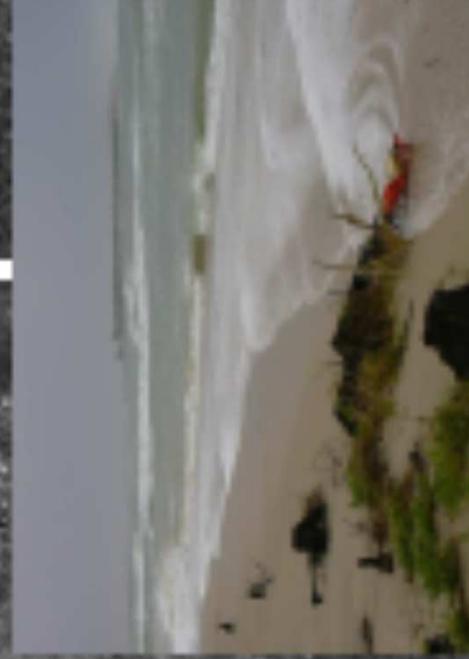
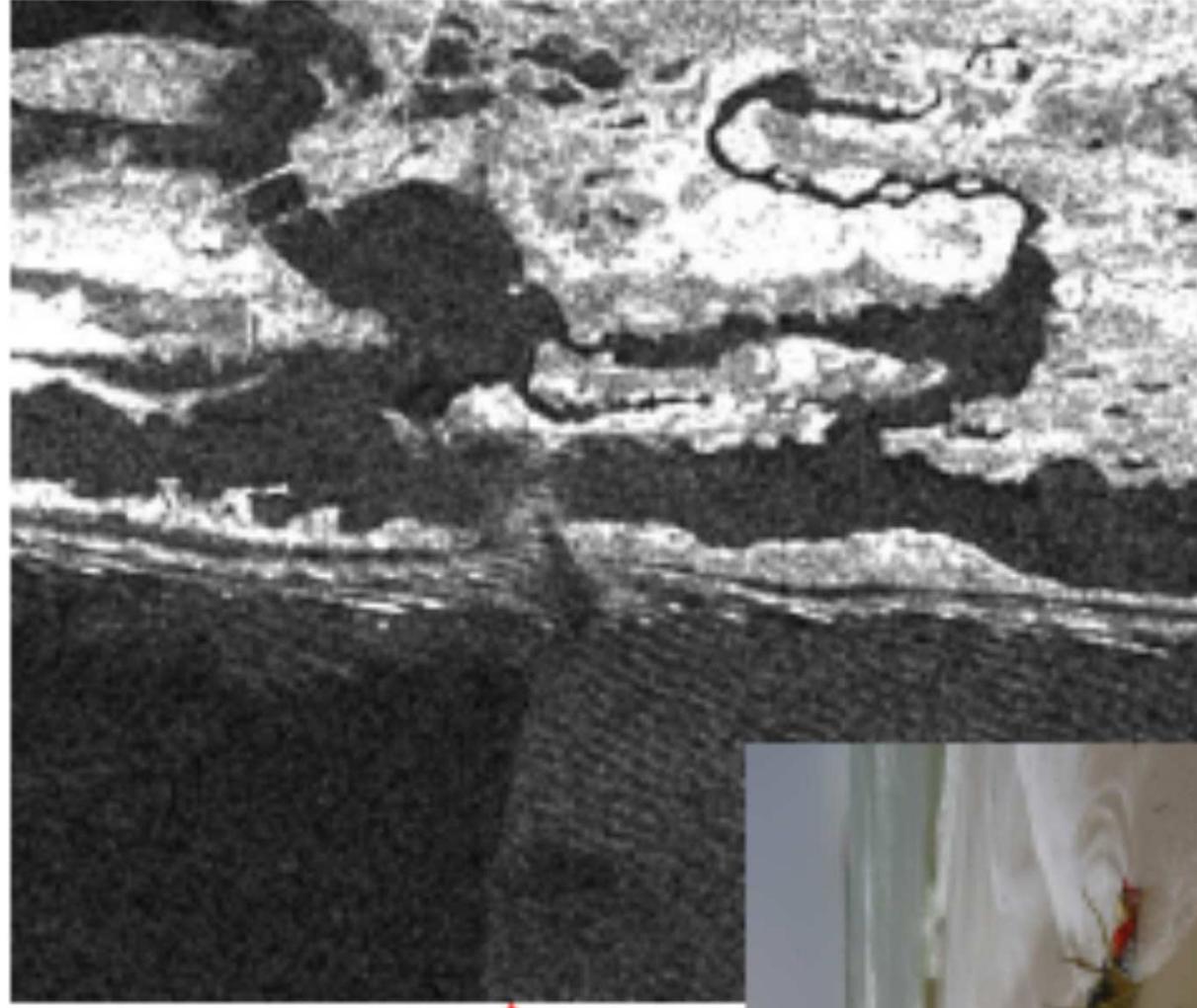


Spot 4 2001



Spot 5
18 Nov 03

Envisat 14/01/2004



ÉTATS-UNIS

Accord budgétaire au Congrès

WASHINGTON. Les États-Unis semblaient avoir trouvé, mardi 10 décembre, une solution pour éviter un renouvellement, en janvier 2014, de la paralysie des administrations fédérales (« shutdown »), grâce à un accord budgétaire salué par Barack Obama comme une première étape vers un retour à la normale. Le projet de budget, déposé au Congrès après des semaines de négociations entre la sénatrice démocrate Patty Murray et le représentant républicain Paul Ryan, fixe le niveau des dépenses et recettes de l'état fédéral pour 2014 et 2015, tout en atténuant l'impact de coupes budgétaires dites « automatiques », décidées en mars. Il devrait être soumis au vote jeudi. Le compromis prévoit de réduire les coupes sur les dépenses antérieures, notamment militaires pendant deux ans, de poursuivre la réduction des dépenses sociales (Medicare) et d'augmenter les taxes sur les billets d'avion pour financer la sécurité dans les aéroports. — (AFP) ■

SYRIE

L'avocate Razan Zaitouneh kidnappée

BEYROUTH. L'avocate Razan Zaitouneh, l'une des militantes les plus en vue du soulèvement syrien, a été enlevée par des hommes masqués, mardi 10 décembre, à Douma, une ville sous contrôle du rebelle proche de Damas. Âgée de 36 ans, elle se cachait depuis le début de la révolte contre le régime syrien en mars 2011 en raison de son travail sur les atrocités commises par les forces loyalistes, qui a reçu un large écho en Occident. Elle se montrait également critique vis-à-vis des groupes armés djihadistes, qui, ces derniers mois, avaient formulé des menaces à son encontre. La jeune femme a été enlevée avec son mari, Wael Hamada, et deux collègues, Samira Al-Khali et Nazem Al-Hamad. — (Reuters) ■

URUGUAY

Le commerce de cannabis légalisé

BUENOS AIRES. L'Uruguay est devenu, mardi 10 décembre, le premier pays au monde où l'Etat contrôlera la production et la vente de marijuana. À l'initiative du président de gauche, José Mujica, le Sénat, a approuvé, après la Chambre des députés, un projet de loi prévoyant la production et la distribution de cannabis « sous contrôle exclusif de l'Etat », qui se chargera de la commercialisation. La détentation et la consommation de marijuana étaient déjà dépenalisées en Uruguay mais pas son commerce. Les consommateurs uruguayens, majeurs et inscrits dans un registre des usagers, pourront acheter jusqu'à 40 grammes de cannabis par mois dans des pharmacies autorisées. L'objectif est de lutter contre le trafic. Dans ce petit pays de 3,2 millions d'habitants, quelque 130 000 personnes consomment de la marijuana, selon une enquête officielle. ■ CHRISTINE LEGRAND

Près de Saint-Louis du Sénégal, la mer engloutit les villages

Le creusement d'une brèche sur la langue de Barbarie en 2003 a conduit à une catastrophe écologique



Face à la rapide montée des eaux, le village de Pilote Barre est en sursis. S'IL VA EN COMPTANT POUR LE MONDE

Reportage

Saint-Louis du Sénégal al

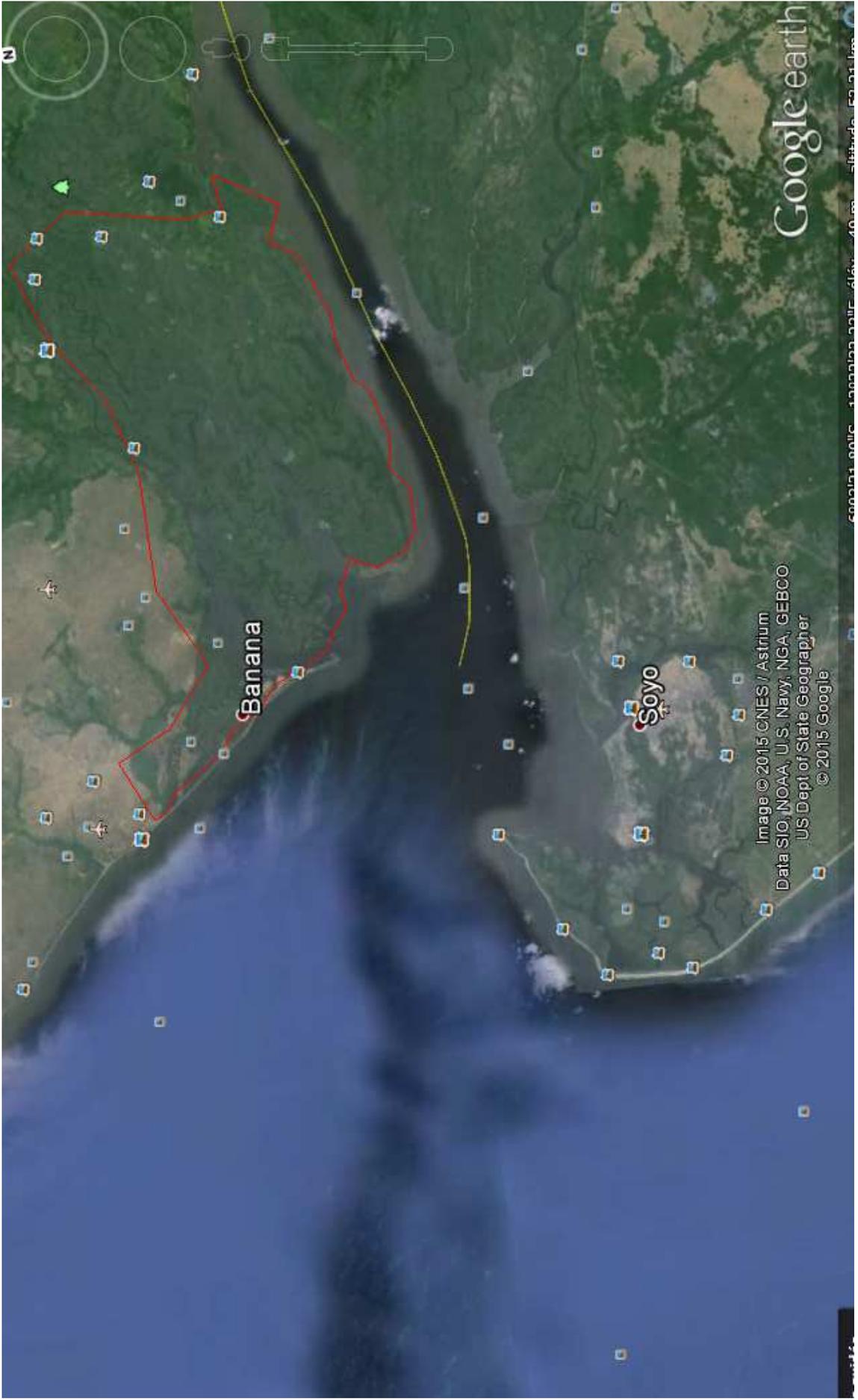
Envoyée spéciale
Derrière les maisons de Pilote Barre, des pneus s'ensablent inexorablement sur une plage qui disparaît peu à peu. La marée, ennemi invincible, avale ces remparts dérisoires. Les grosses pierres semblent, elles, pouvoir encore

gagner maintenant les villages sur la côte, qui ne sont plus protégés par la langue de Barbarie. Si les habitants ne reculent pas à l'intérieur des terres, ils sont condamnés», alerte Amadou Abou Sy, docteur en géographie à l'université Gaston-Berger de Saint-Louis. Le scientifique s'inclina de l'amateurisme qui a guidé le gouvernement. « On a creusé en une nuit, à la hâte, sans aucune étude

devenue entièrement salée. « On a vu apparaître des coques, des huîtres des nouvelles espèces de sardines, explique Lamine Diop, ingénieur en pêche et aquaculture. C'est bon pour l'économie, encore faut-il que les gens sachent les utiliser », ajoute-t-il.

Enfant du village, le jeune homme a monté une association, l'Inidex sénégalais d'initiative au développement (Inidex), qui enseigne





$$\text{Mesure} = K * \Phi_{\text{OR}} * \text{Cos}(\text{il}) * r(u) * G(u) * \Delta S_{\text{pixel}}$$

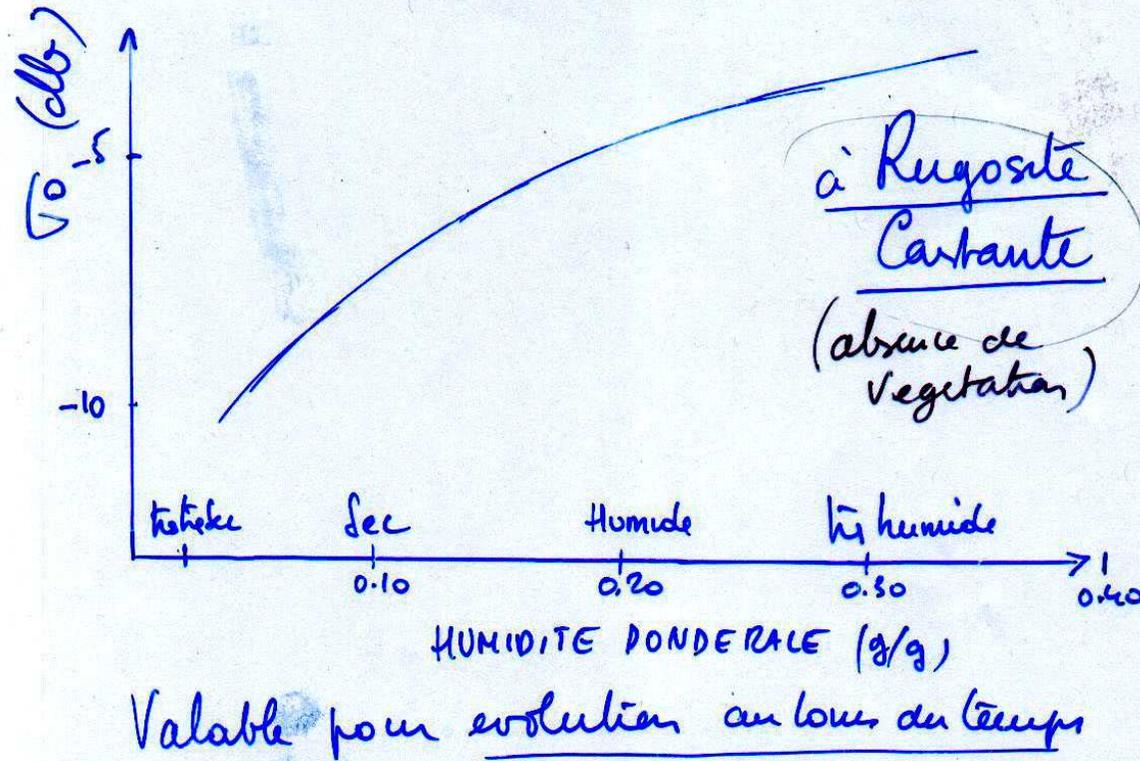
Image ERS; estuaire du fleuve Congo;

sur l'eau, $r \sim 1$, $\text{cos}(\text{il}) = \text{cste}$, $\Delta S_{\text{pixel}} = \text{cste}$, la variabilité de la réponse est due à celle de **G(u)** liée à la rugosité de la surface.

A terre la variabilité entre mangrove, forêt, savane, est celle du facteur **r * G(u)** lié la biomasse et la structure des végétaux

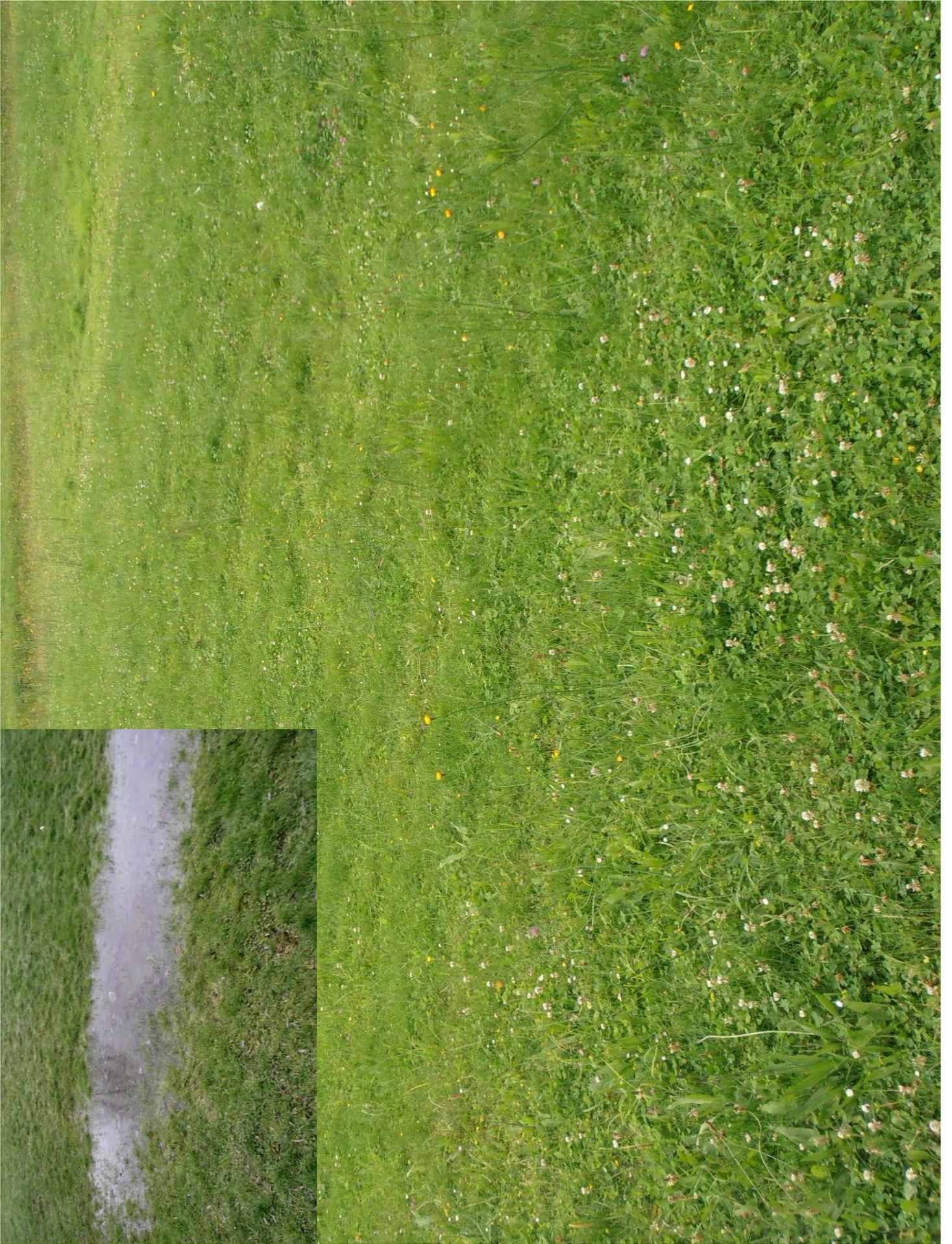


Backscattering in relation with soil moisture

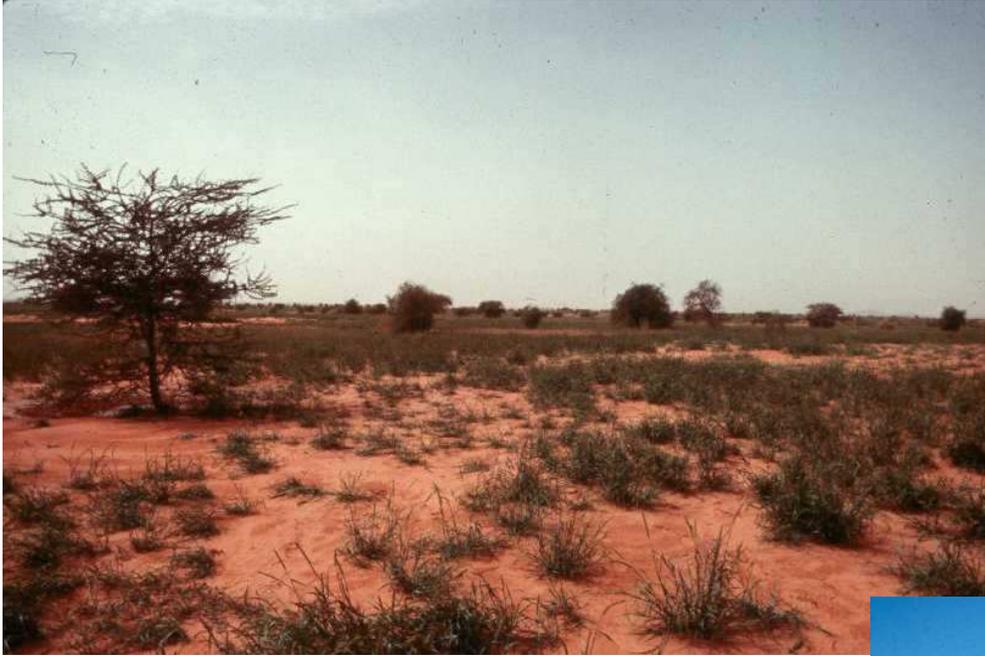


6 dB \Rightarrow
 $A * 2$

**Rugosité et couvert
végétal constants**



Saison sèche

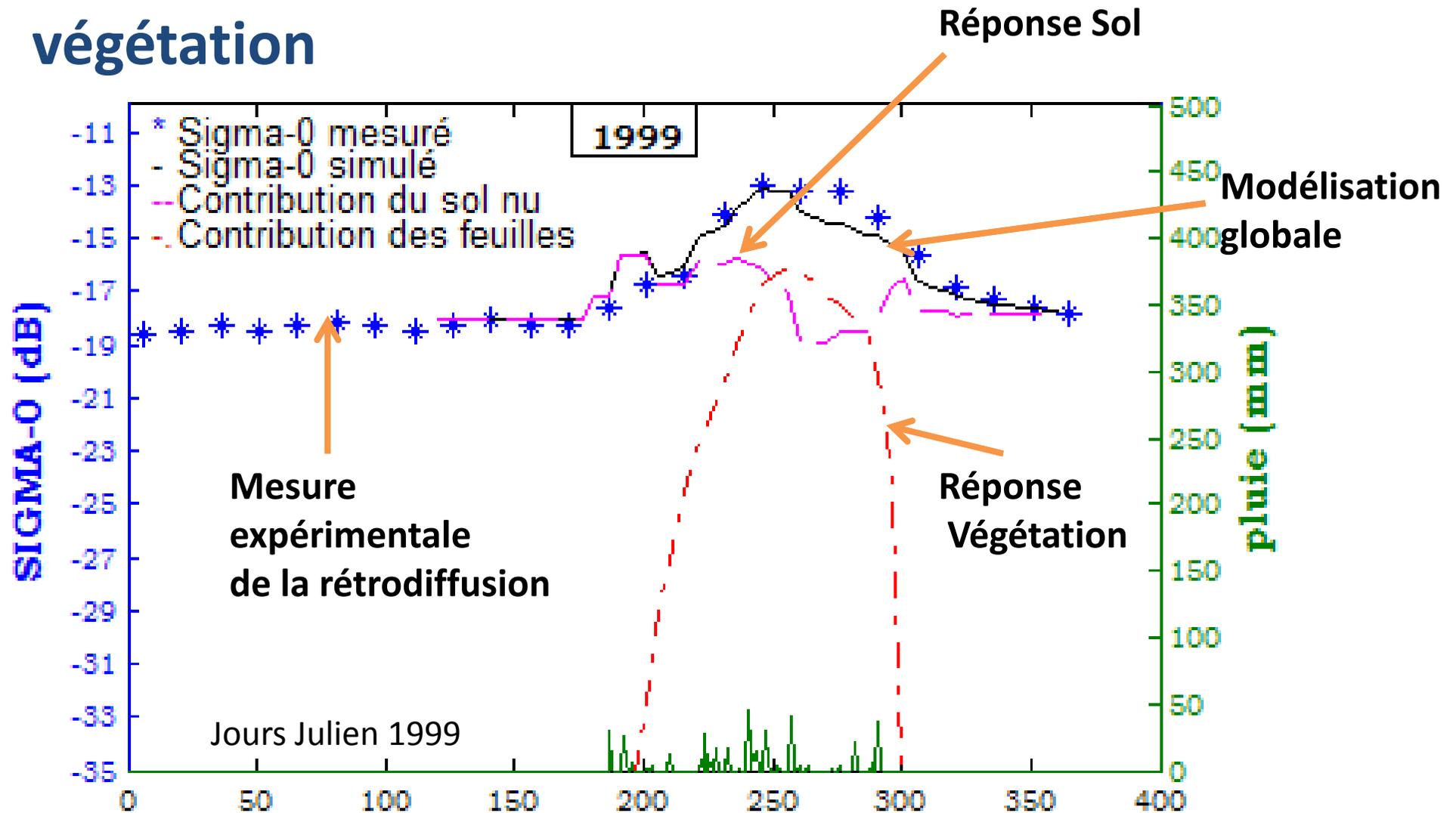


Saison humide

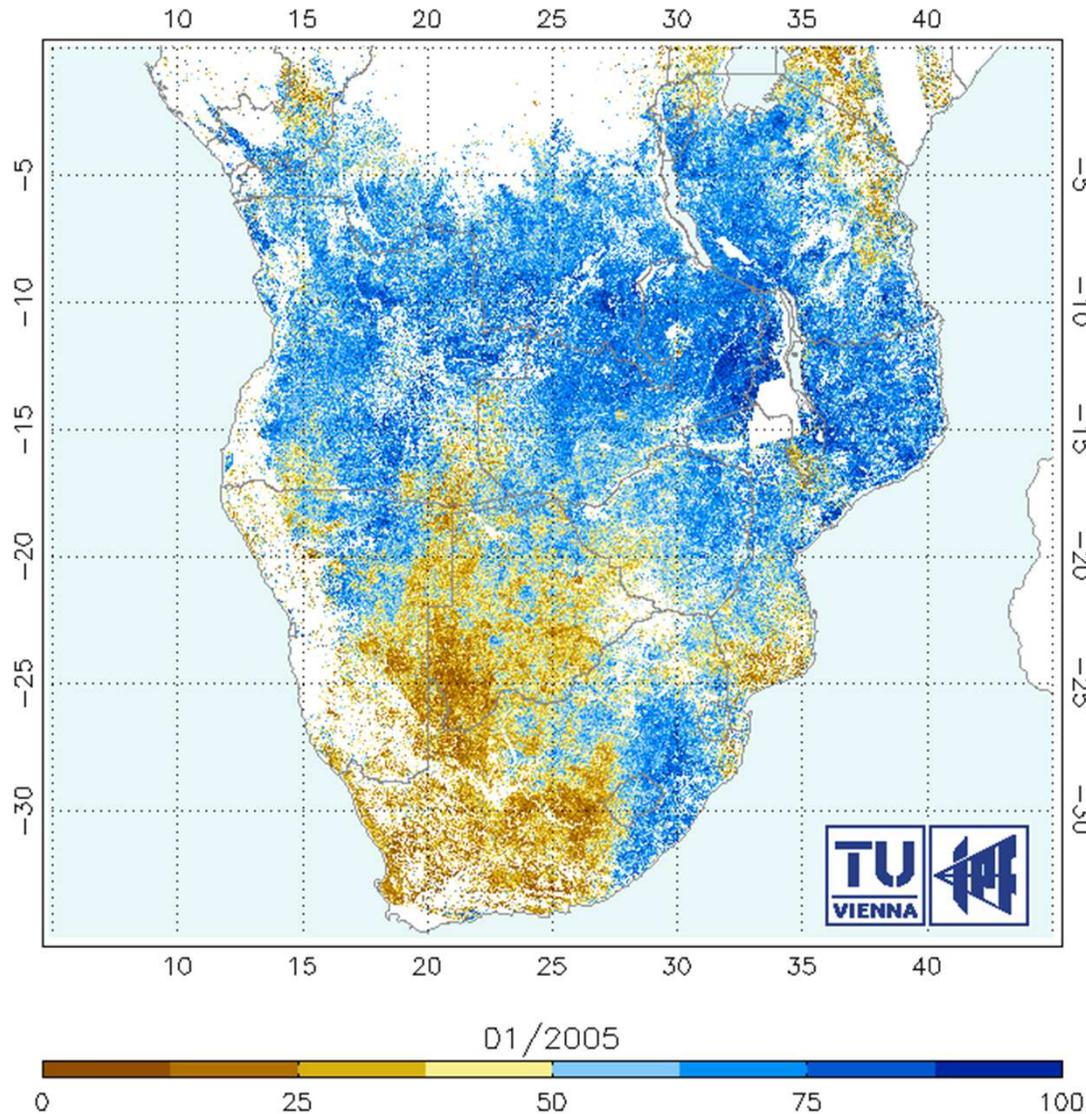


Ferlo Sénégal, Scattéromètre ERS

Solution retenue: Modélisation des rétrodiffusions du sol et de la végétation



SHARE: Soil Moisture Regional Monitoring



Objective:

Provide a soil moisture information service for all the SADC area based on ASAR GM data.

The image shows the monthly average soil moisture % values relative to the local maximum and minimum observed during 2006.

Autres applications

Urbain

Geomorphologie

Littoral

Remarques

Interet de la fusion multi bandes

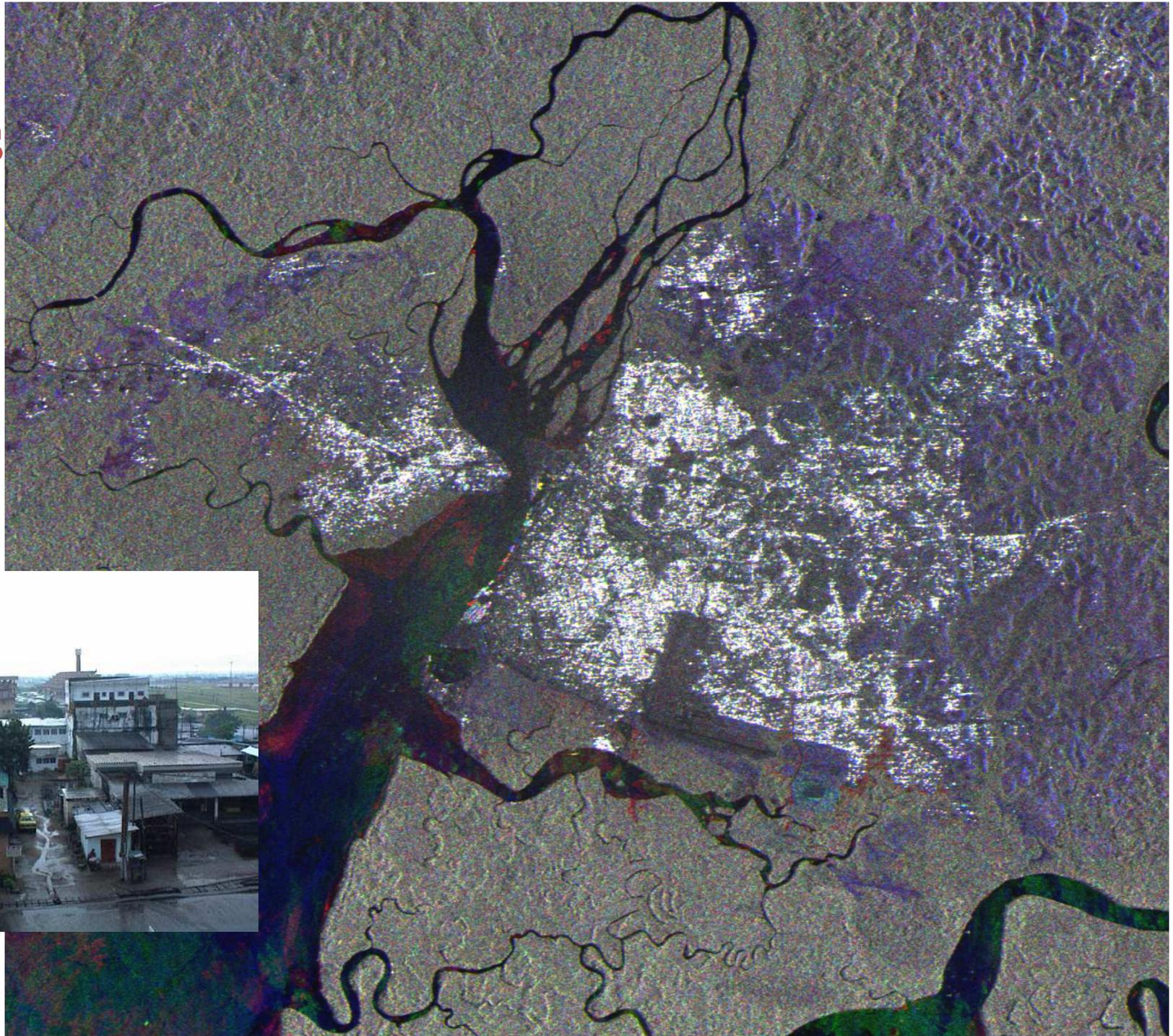
La très haute résolution

Urban area

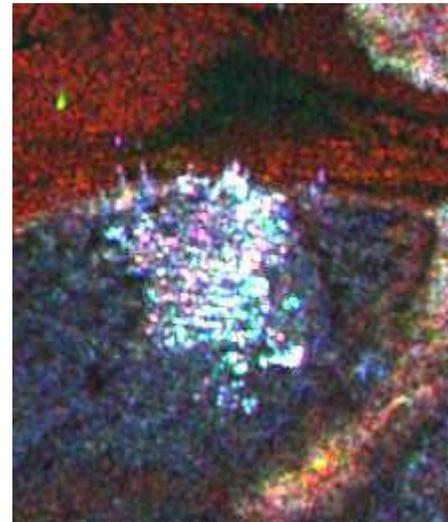
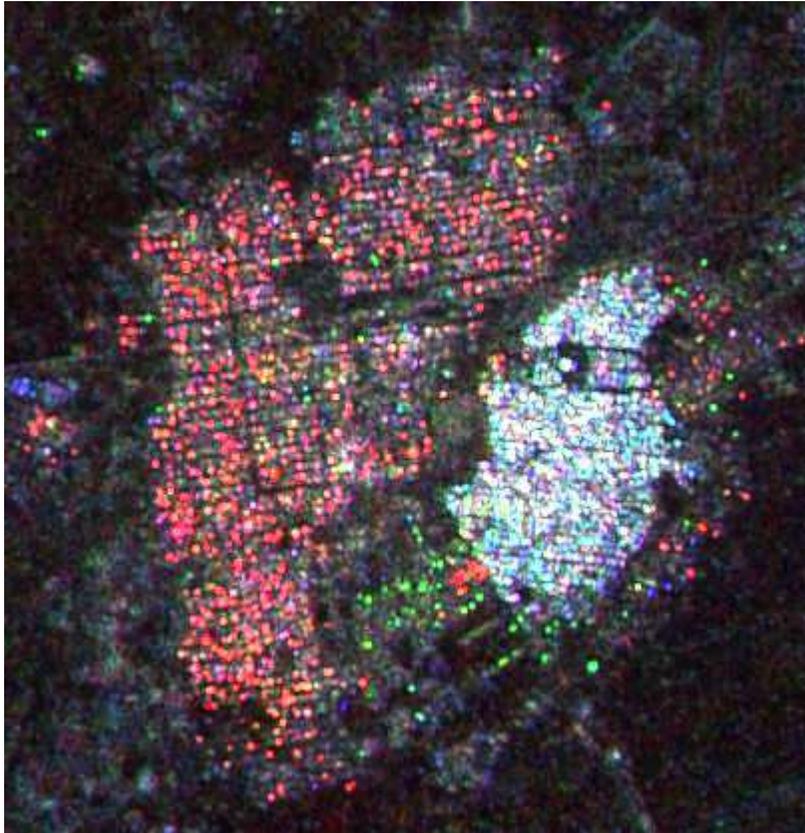


Douala

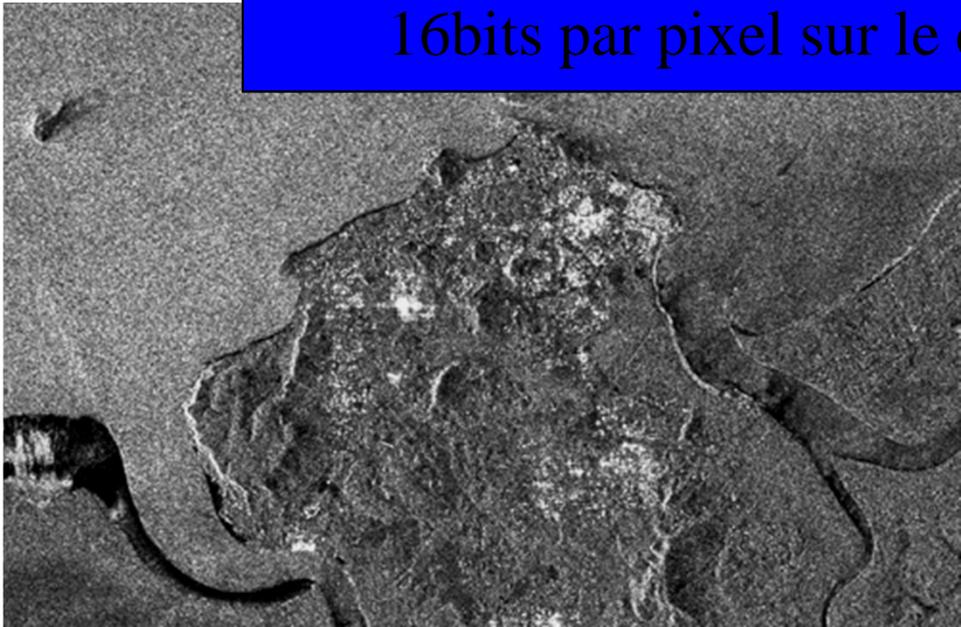
Radar ERS



Effect of Incidence
Radarsat S1, S2, S3

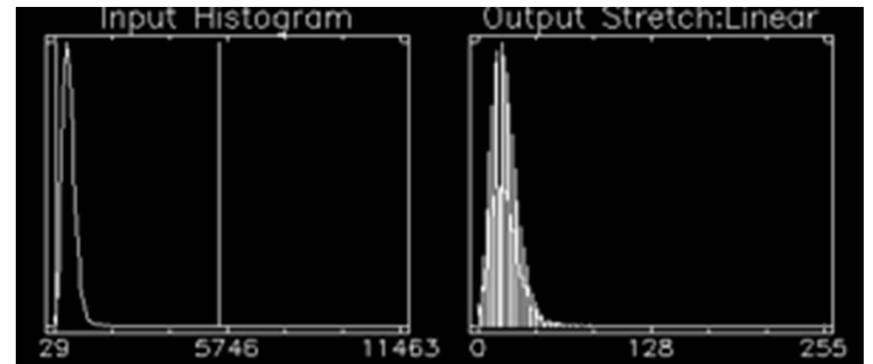
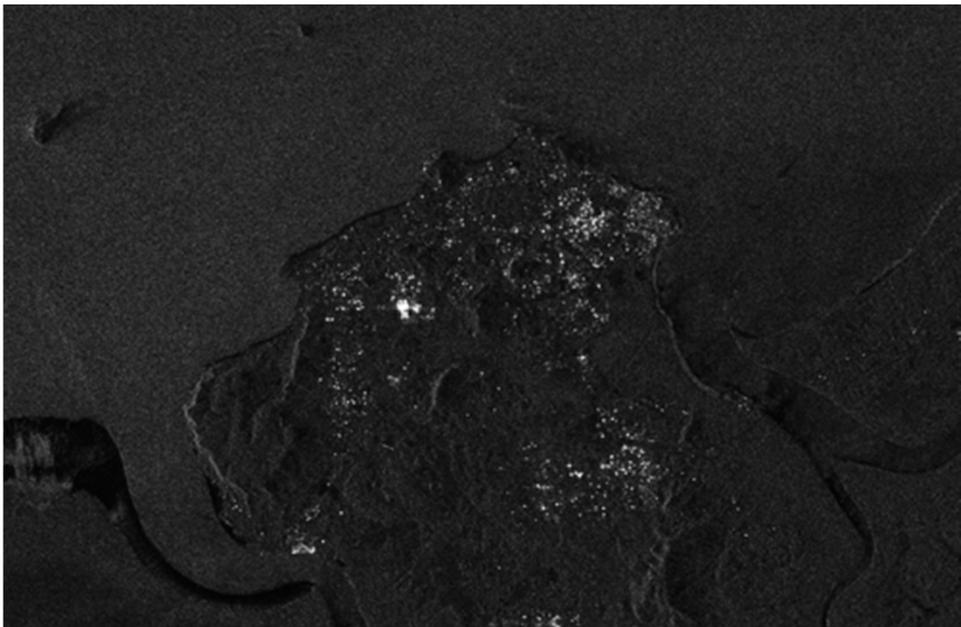
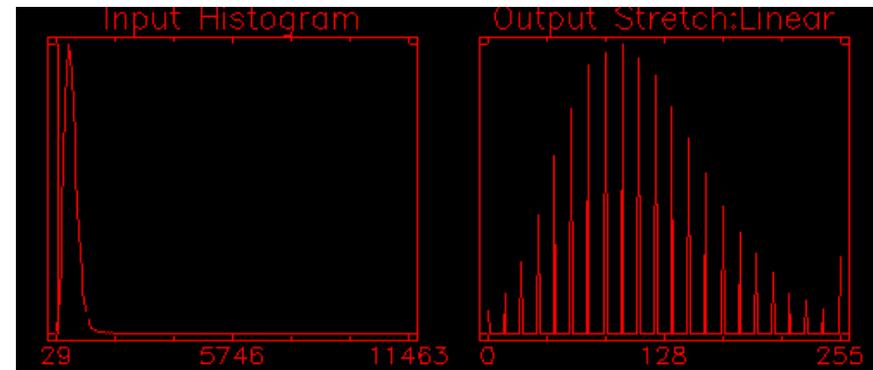


16bits par pixel sur le disque dur-> 8 bits visualisation



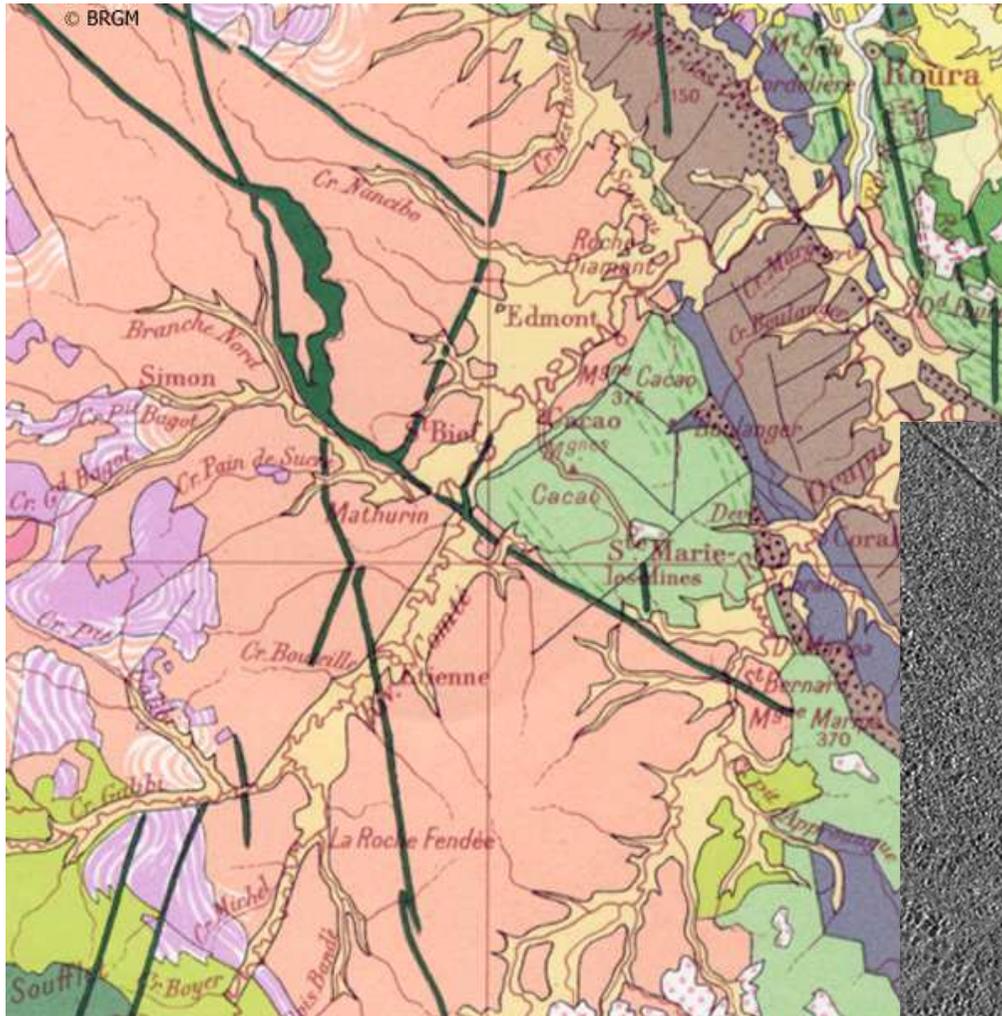
> 65000 data values

255 for visualisation

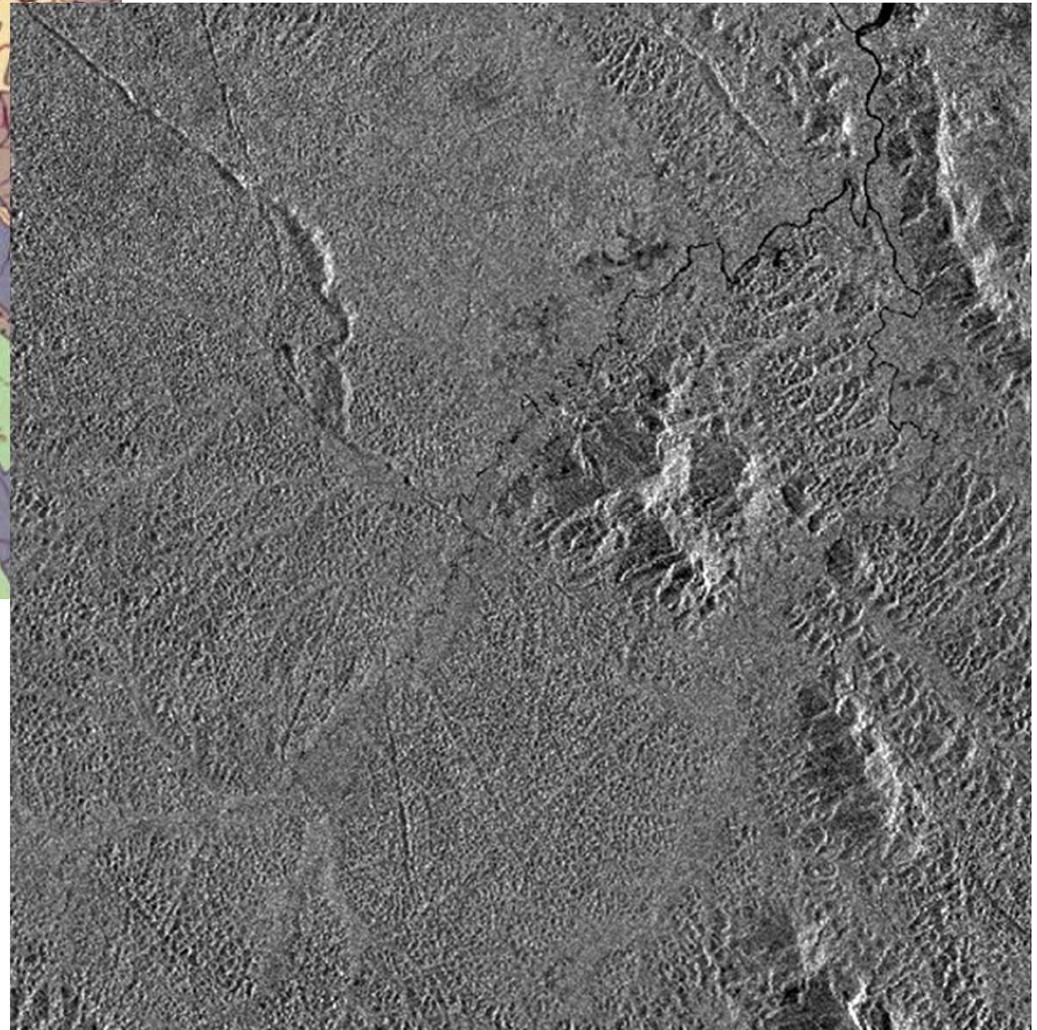


Géomorphologie, géologie, relief,
dia hình , dia chât





Comparaison Carte géologique et image radar ERS

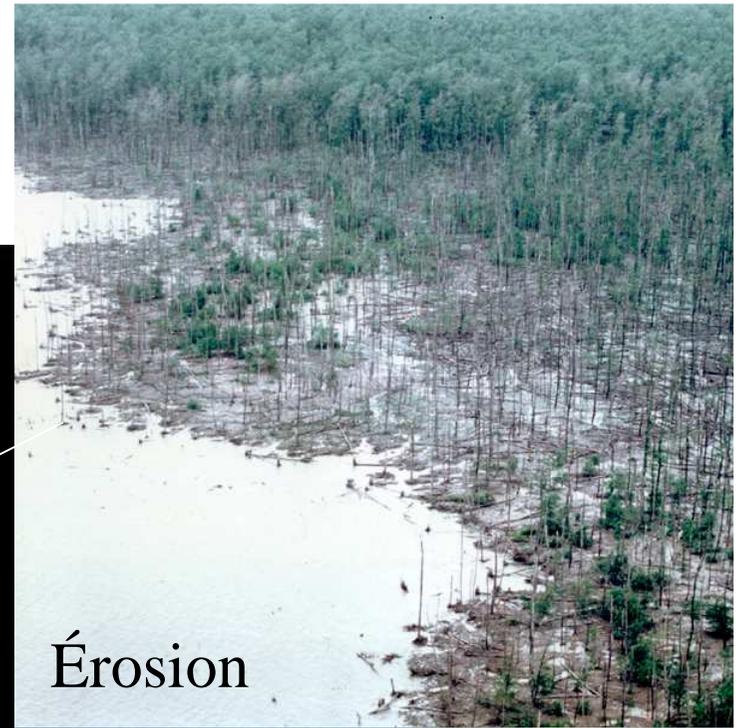
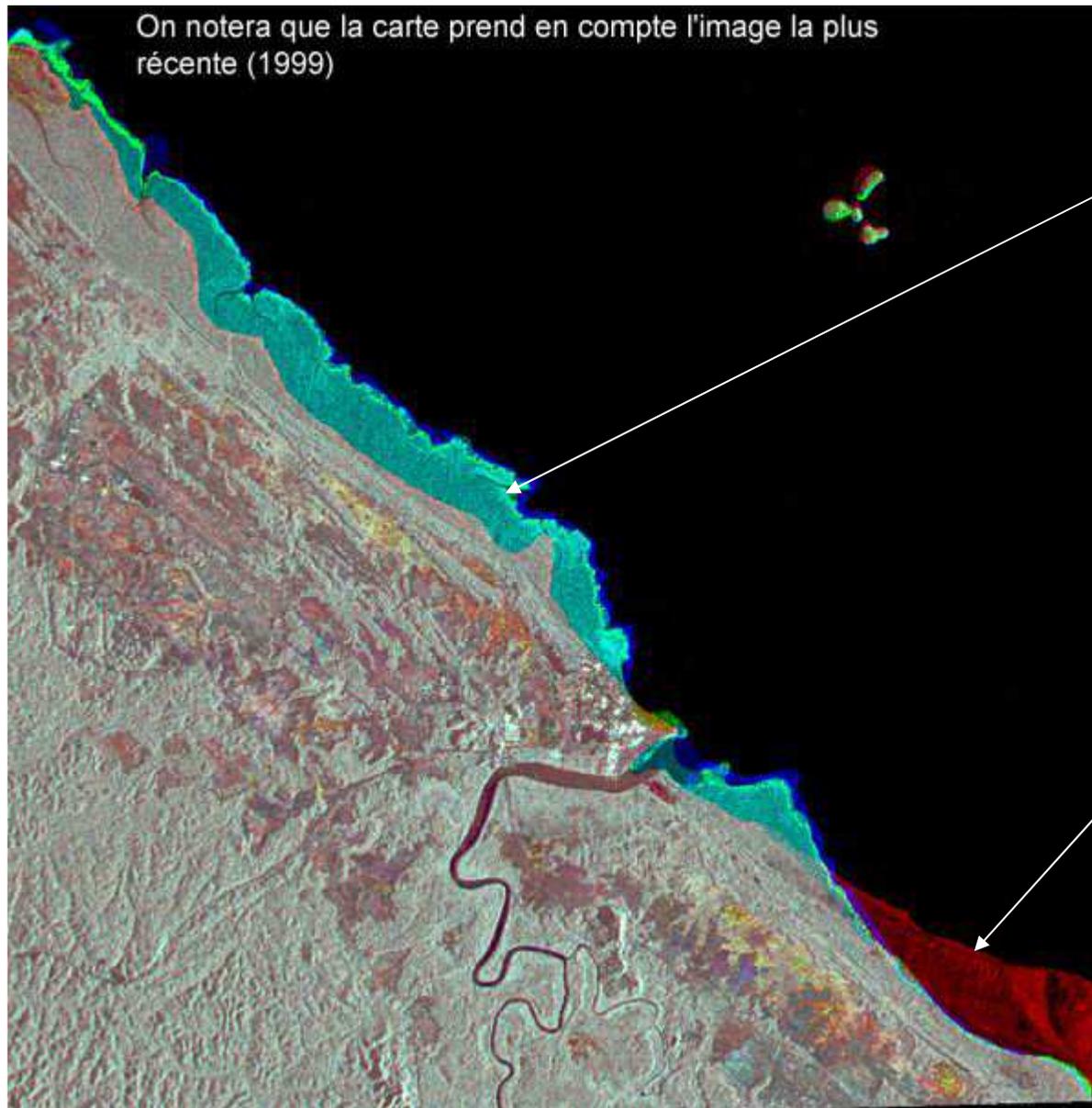


LÉGENDE

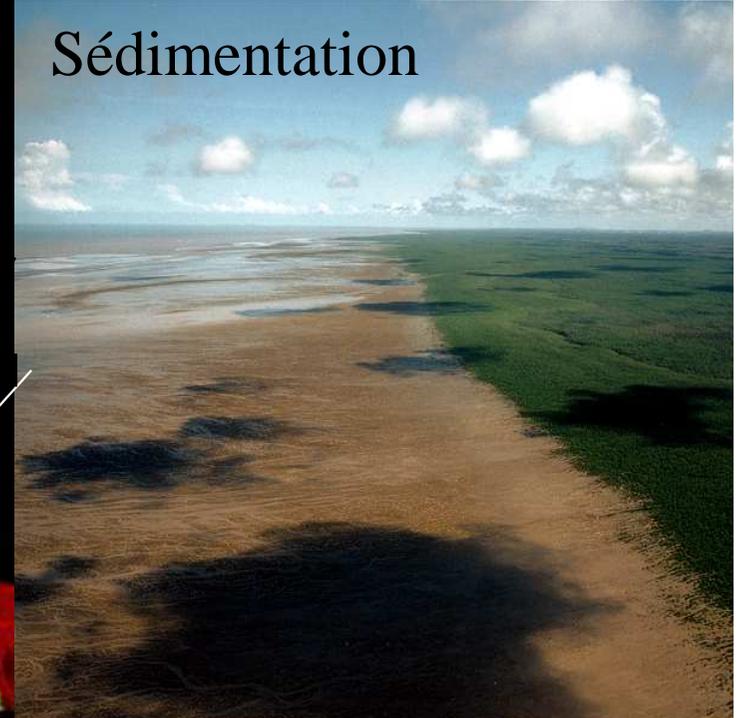
TERRAINS SÉDIMENTAIRES ET VOLCANIQUES		ROCHES ÉRUPTIVES ET CRISTALLINES		
QUATÉRTAIRE MARIEN ET SÉPÉROTERIALE	Alluvions	<i>Dolérites</i>	<i>Granites Galdit (monzoniques, alcalins)</i> <i>Granites Carabos (aborigènes, alcalins)</i> <i>Migmatites et zones feldspathiques</i> <i>Granites parcs et granites vasculaires</i>	
	Euxines			
	Lutites			
	Série de Dimarosa (argiles, sables)			
QUATÉRTAIRE MARIEN ET SÉPÉROTERIALE	Série de Cocaine (sables, argiles)			<i>Granites syzygians (aborigènes, granodiorites)</i> <i>Migmatites</i>
	Série de Cocaine (sables, argiles)			
	Série de lause (sables, grès)			
	Série de lause (sables, grès)			
ANTÉCAMBRIEN	<i>Origny (schistes)</i> <i>Conglomats et quartzites</i> <i>Bancalons (schistes et quartzites)</i> <i>Conglomats</i>			<i>Granites Hyères (granodiorites, diorites quartziques)</i> <i>Gabbros, pyroxénites, pyroxénolites</i> <i>Amphibolites ortho et parva</i> <i>Amphibolites granitiques</i> <i>Fautes et contours</i>
	<i>Rhyolites imp.</i>			
	<i>Paromites (sables basiques, tufs)</i> <i>(S. loto)</i>			
	<i>Feuillets quartzites, etc.</i>			
	<i>Ile de Ceylan (quartzites, amphibolites, migmatites)</i>			
	<i>Rhyolites imp.</i>			
	<i>Paromites (sables basiques, tufs)</i> <i>(S. loto)</i>			

Suivi des évolutions temporelles

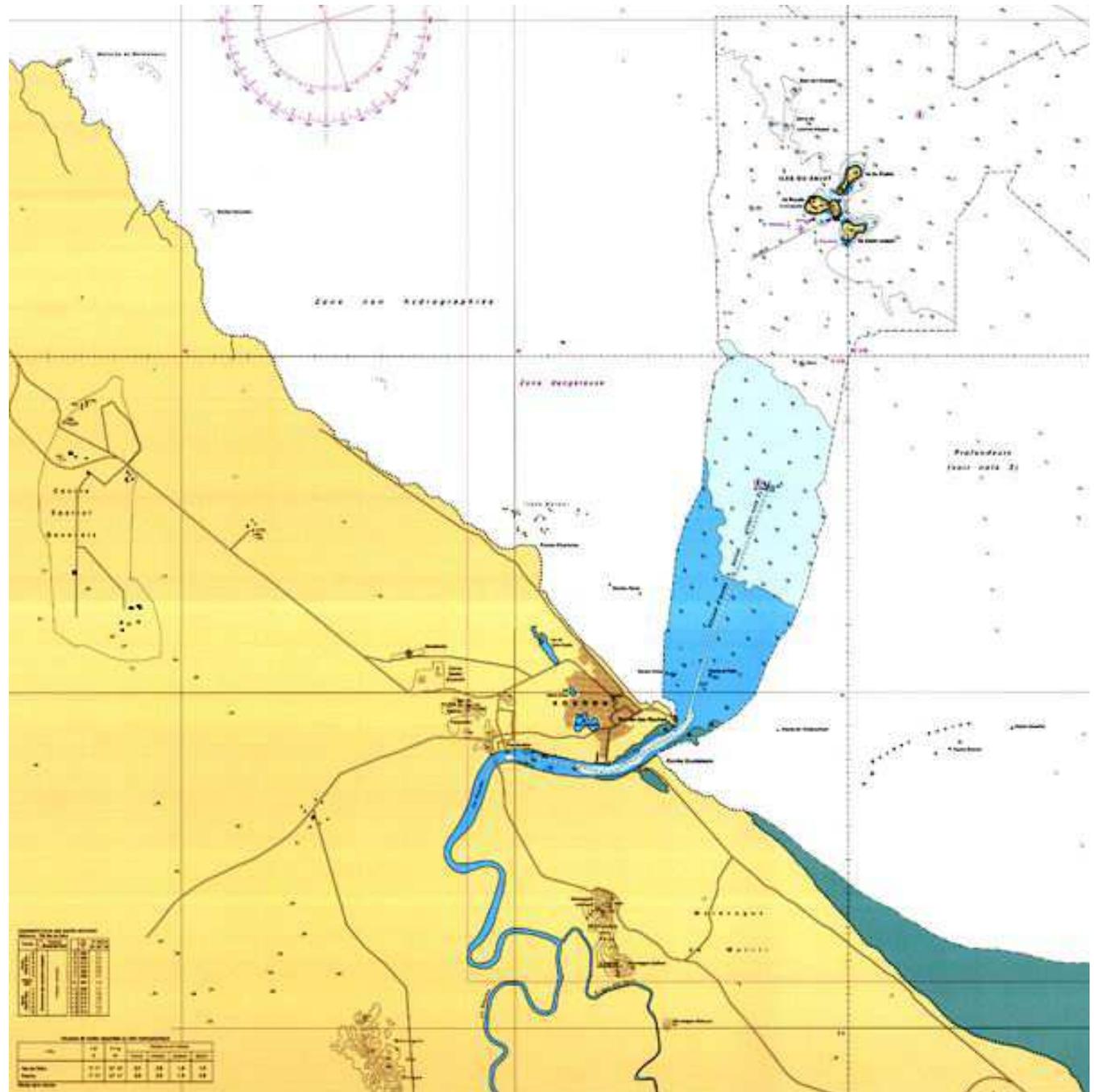
Tout temps: Pas de contrainte saisonnière



Sédimentation

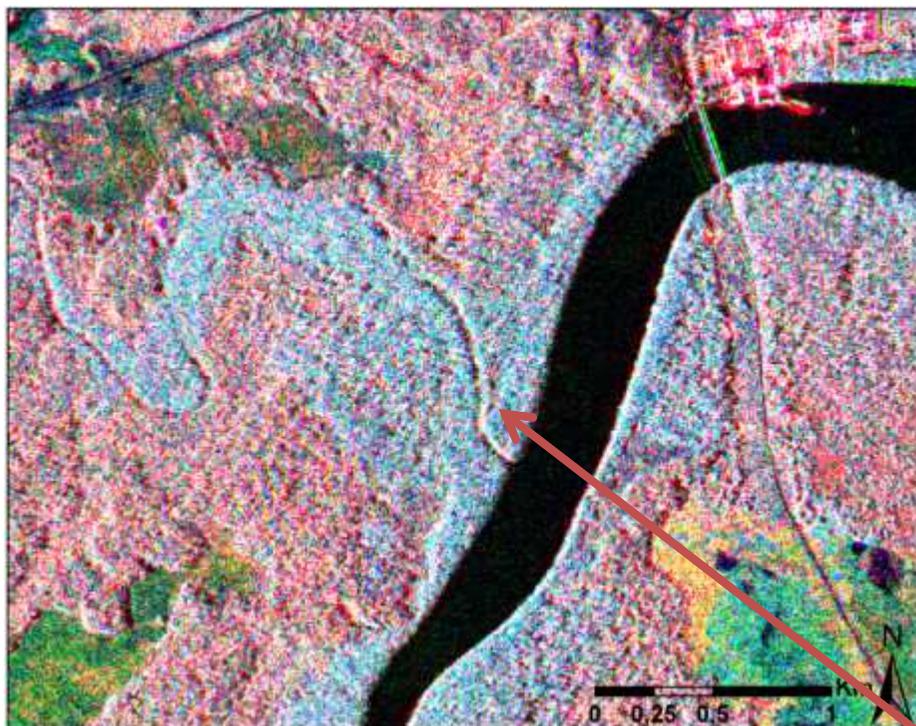


2000: mise à jour de la carte marine du SHOM



SHOM/ Univ-MLV

Echelle 1/50000



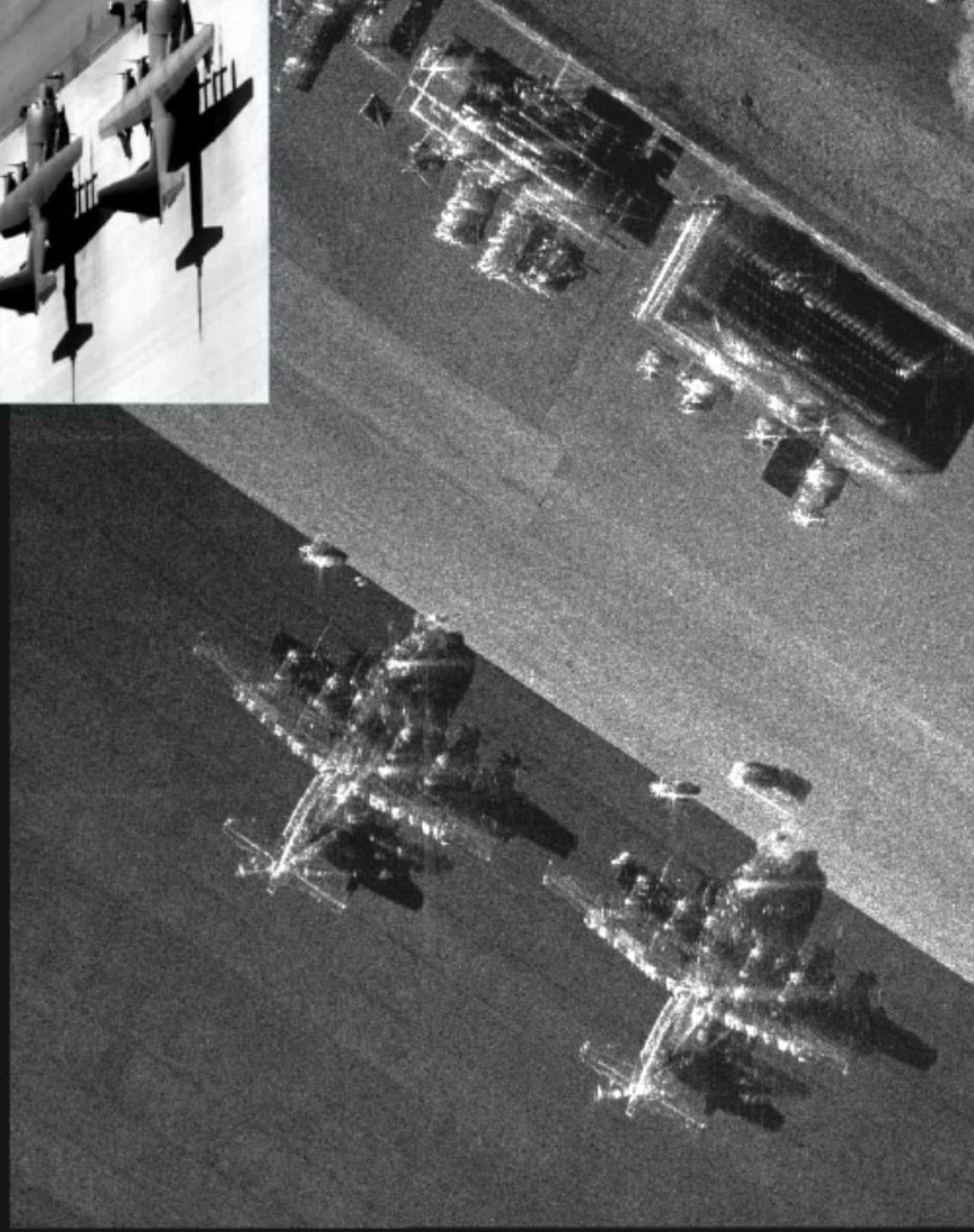
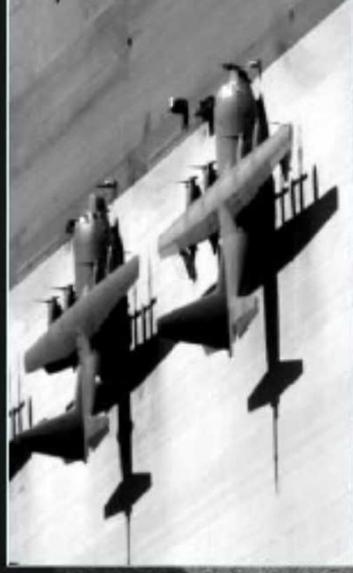
Combinaison de capteur
Canal rouge: PALSAR_HH
Canal vert : RadarSAT-2_HH
Canal bleu: CSK_HH

Comparaison Fusion Bandes X, C, L (spatial) Avec Photo aérienne

Thèse David Niamien 2013



**KA-BAND C-130s ON FLIGHT LINE
4-INCH RESOLUTION**



Cohérence et mesure de la phase

Cohérence et Mesure de phase

Chatoiement (*speckle*)

Polarisation

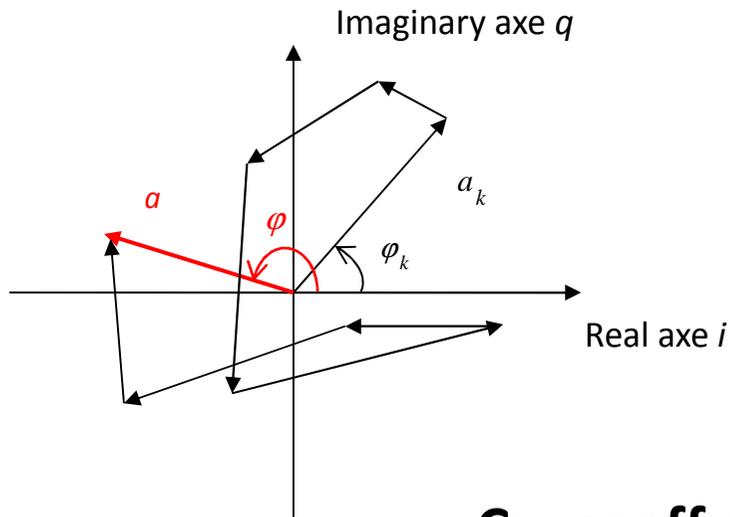
Interférométrie

Cohérence: Conséquences multiples

- **Mesure de distance** (DeltaTemps entre écho et Impulsion émise) => génération de l'image en géométrie radar
- **Chatoiement (Speckle) + cibles singulières**
variabilité de mesure sur une zone homogène
- **Mesure de différences de phase**
entre polarisations pour une même scène => **polarimétrie**
entre deux images => **interférométrie**
entre polarisations et images => POLINSAR

Chatoiement ou *speckle*
Cibles puissantes ~ponctuelles

Chatoiement ou *speckle*



$$p_A(A/\sigma) = \frac{A}{\sigma^2} \exp\left(\frac{-A^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$E(A) = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}}, \quad E(A^2) = 2\sigma^2$$

$$V(A) = E(A^2) - E(A)^2 = \sigma^2 \left(\frac{4-\pi}{2}\right)$$

Cv=coeff de variation= ecartType/moyenne=
Sqrt(V(A))/E(A)= sqrt((4- pi)/pi)= 0,52

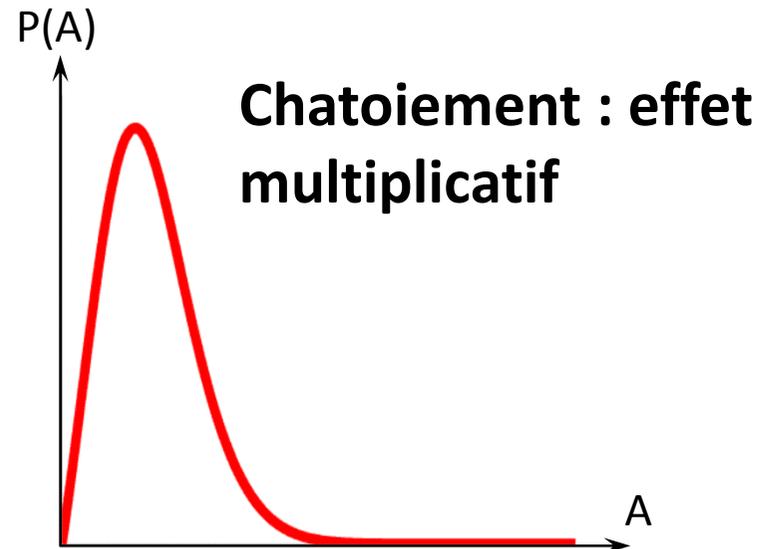
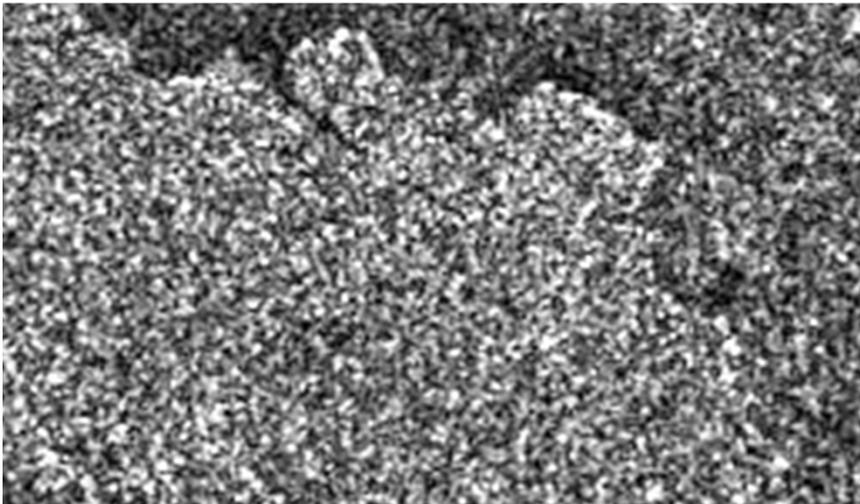
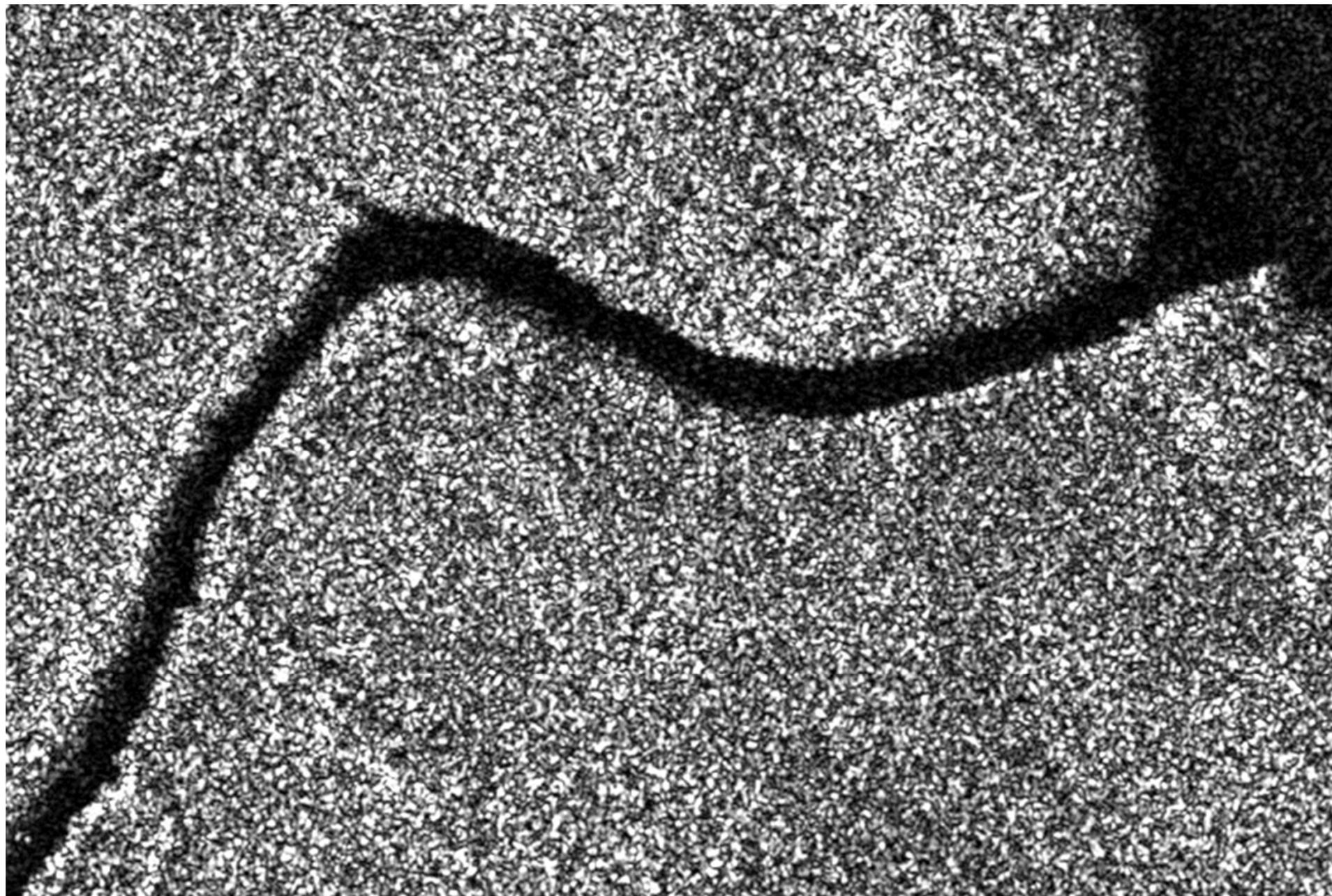
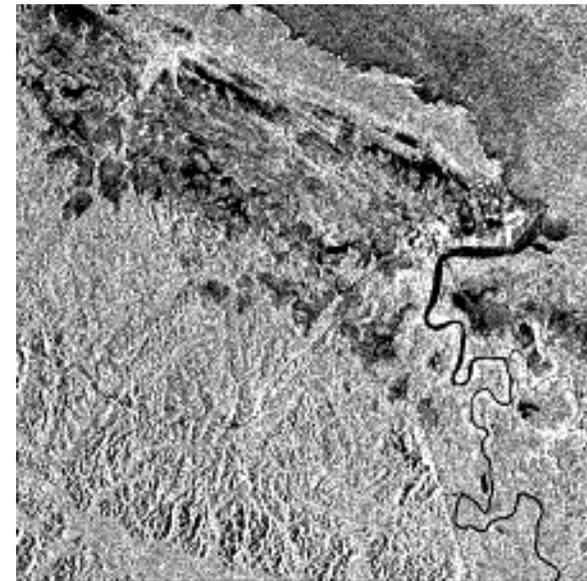
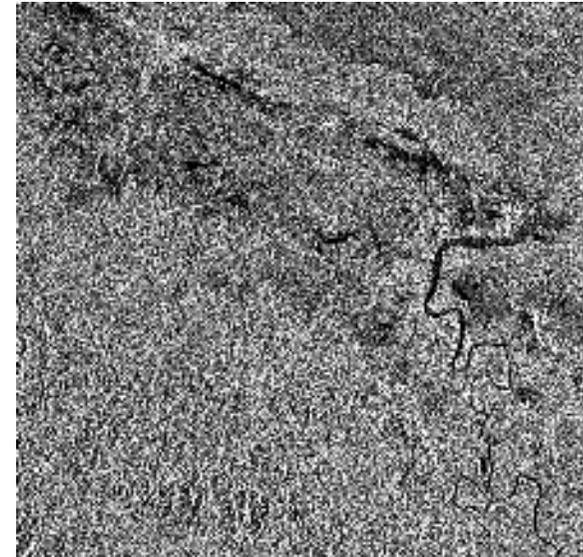
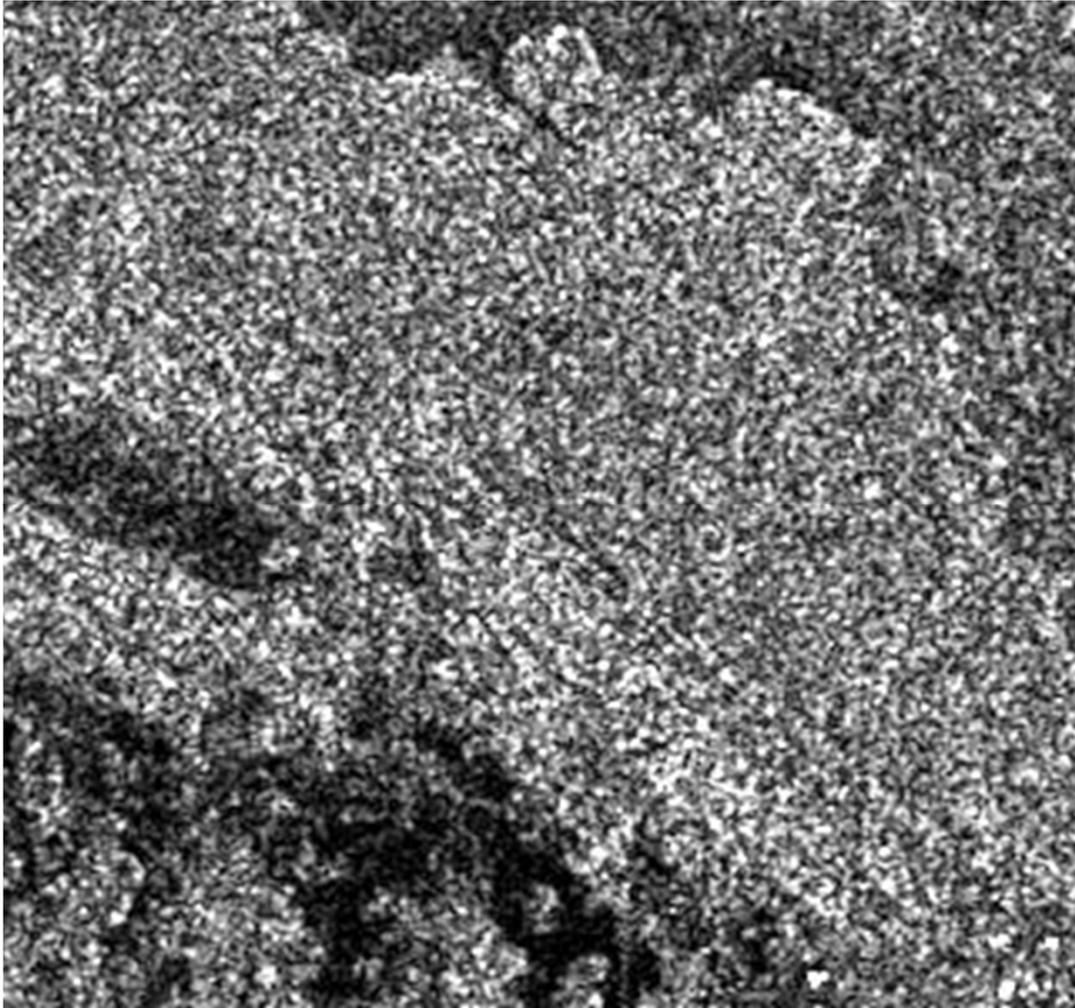


Image TerrasarX, résolution métrique, Nord-Est de Libreville



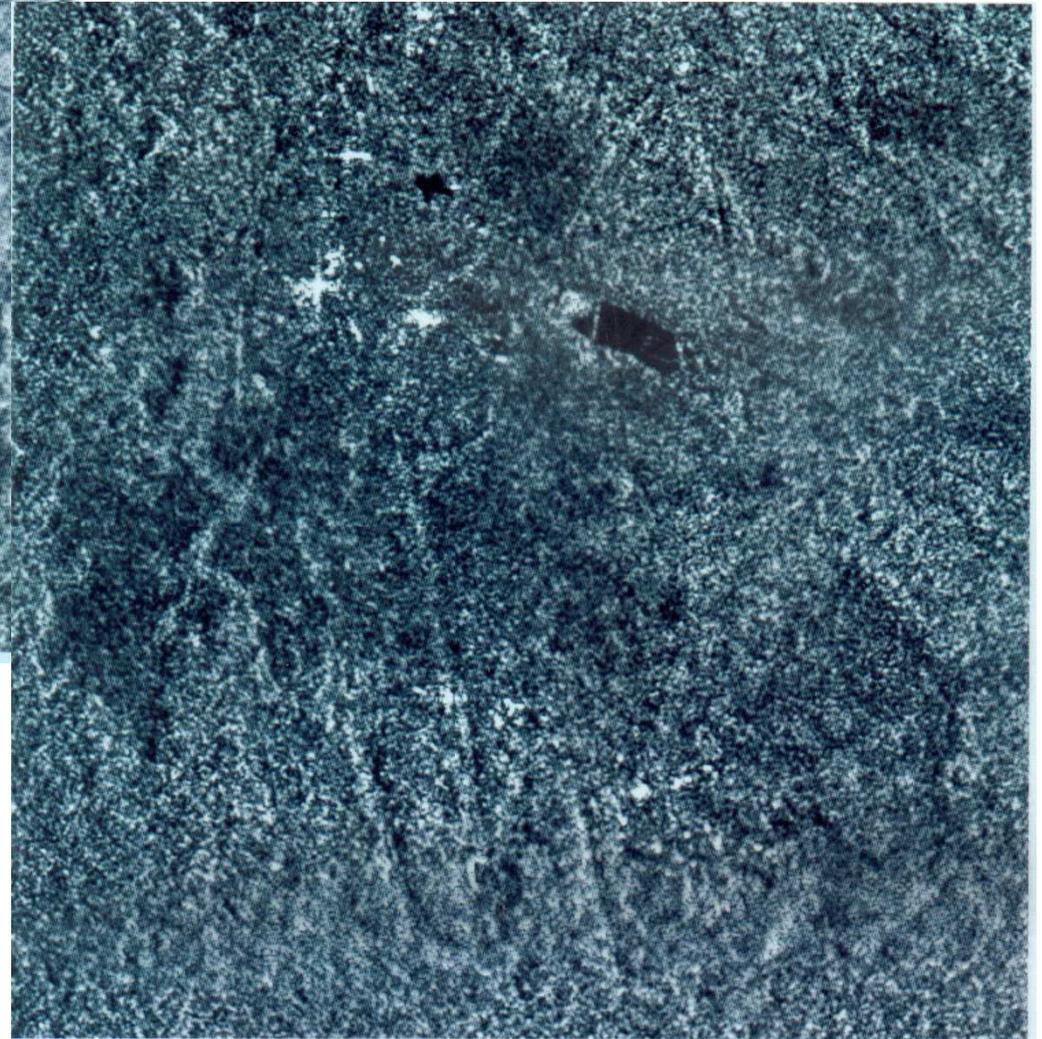
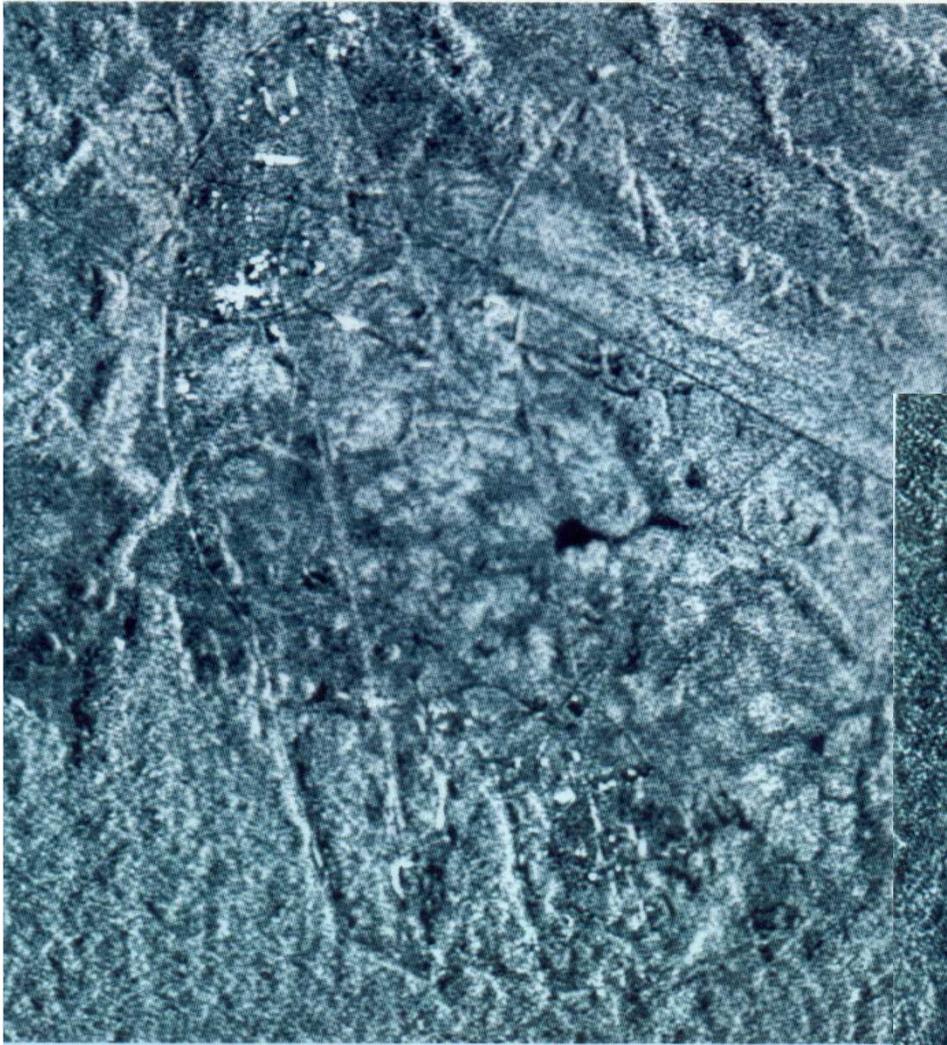
Moyennage « cohérent »
~ sous échantillonnage=>



Radar:
Extrait pleine résolution

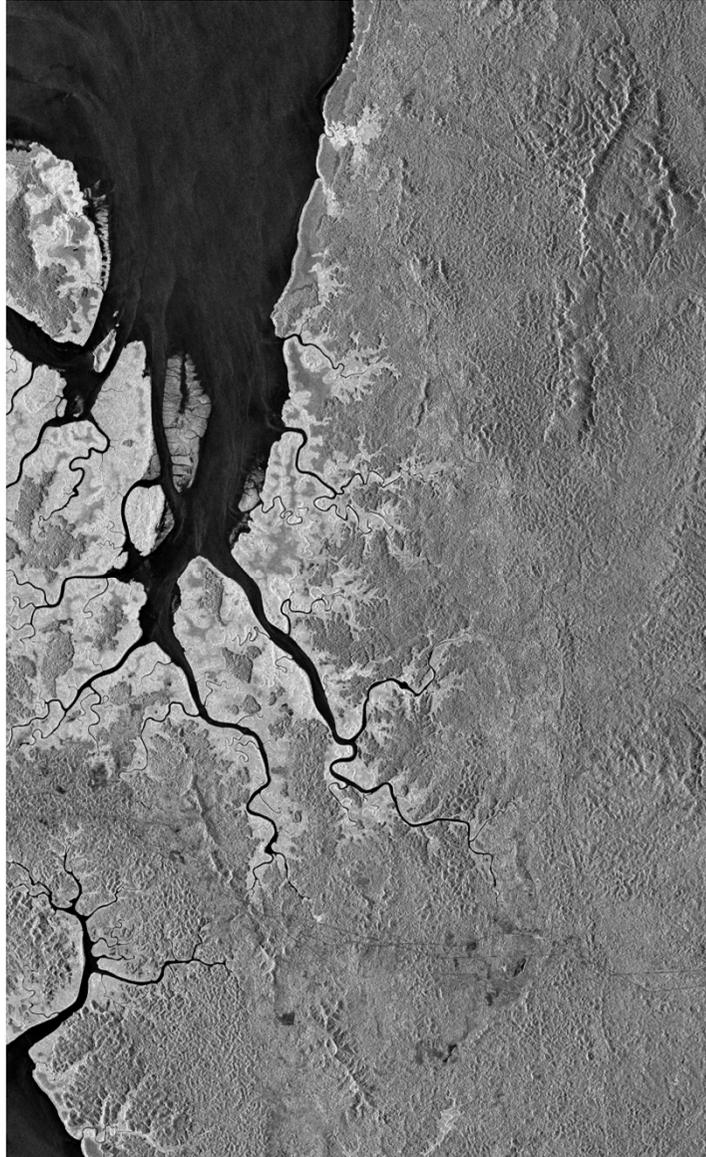
Moyennage incohérent
Moyenne des amplitudes =>

Combinaison d'une série
temporelle en vue de réduire
le chatoiement

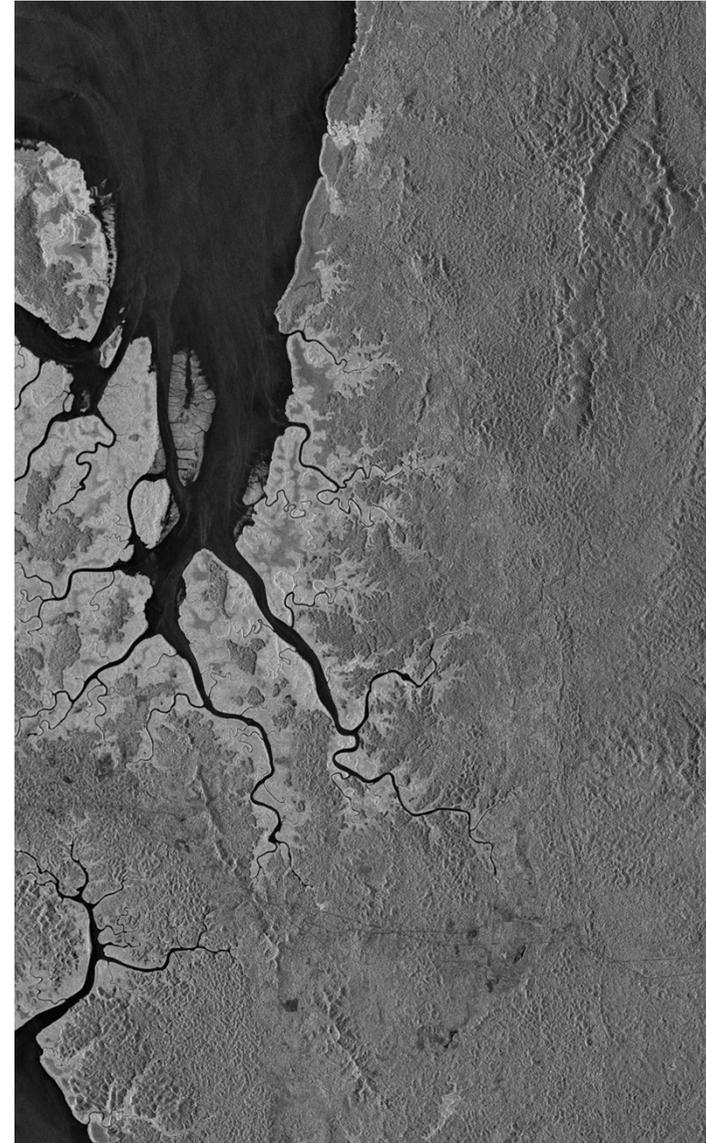


Filtrage multitemporel
À droite 1 date
Au dessus, 10 dates

Difficultés de traitement des données TerraSAR-X

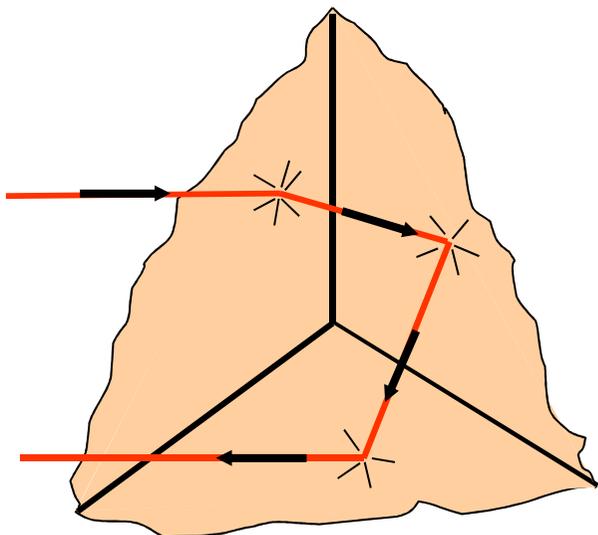


Moyennage 8 lignes



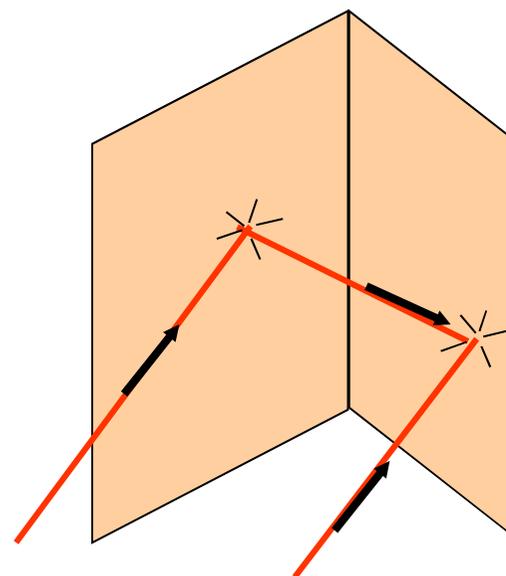
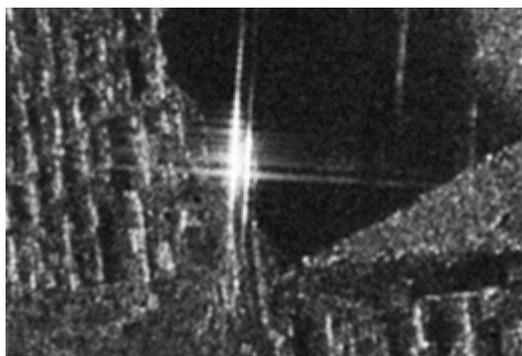
Moyennage 4 lignes

Comportement des phases différentielles polarimétriques



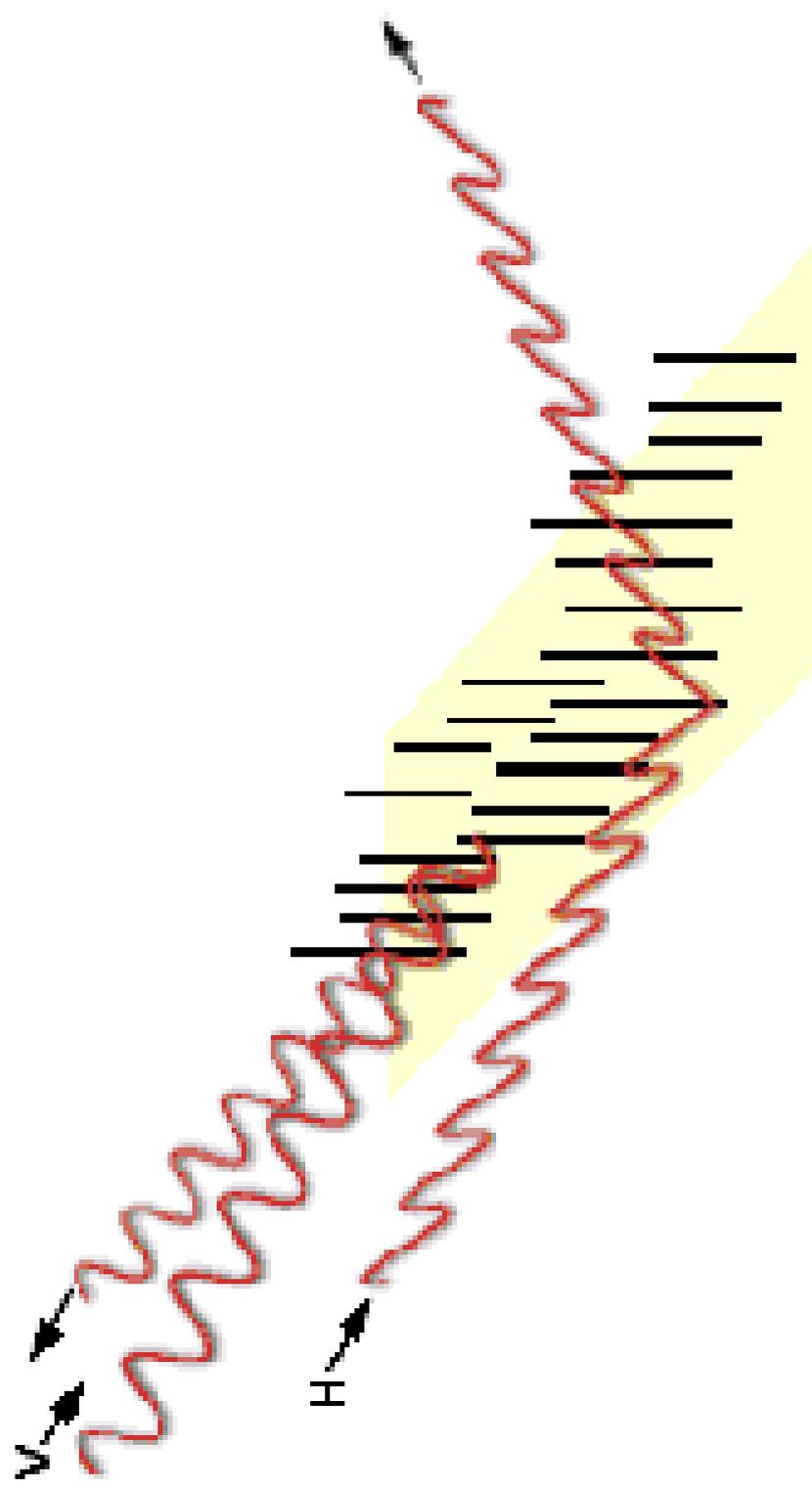
Nombre de réflexions impair :
Ex : Cible de type trièdre

$$\phi_{\text{HH}} - \phi_{\text{VV}} \approx 0^\circ$$



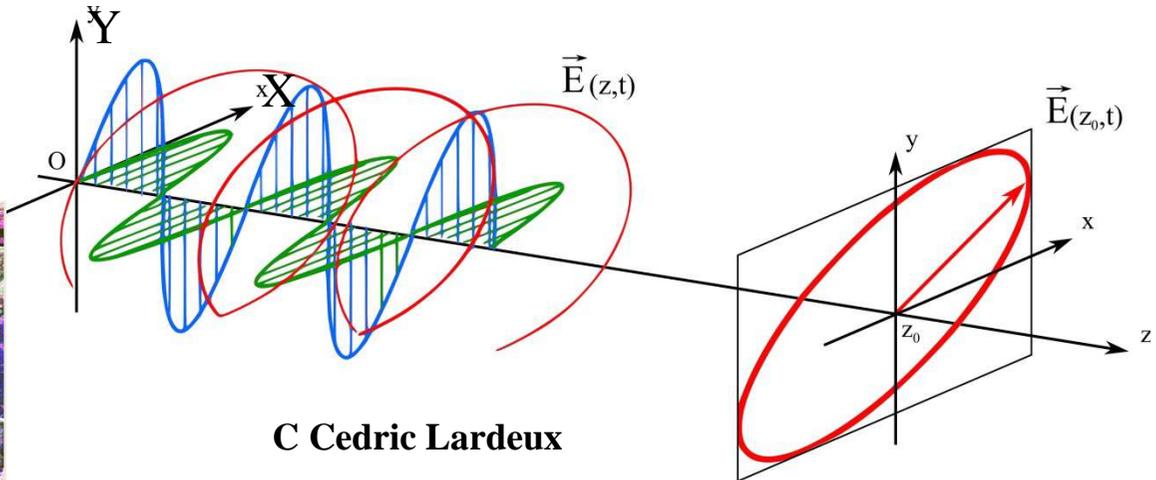
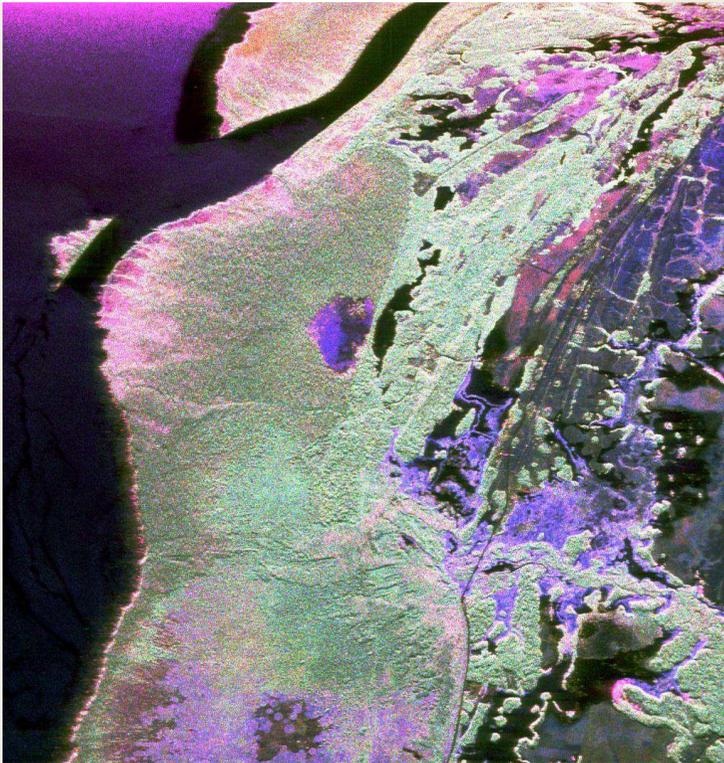
Nombre de réflexions pair :
Ex : Cible de type dièdre
 $\phi_{\text{HH}} - \phi_{\text{VV}} \approx 180^\circ$

POLARIMETRIE



Une caractéristique moins usuelle: la polarisation des ondes

En radar, Image
multipolarisation



C Cedric Lardeux

en **optique** spatiale, très rare (Polder)
en photo. Usage de Filtres polarimétriques

2 polarisations rectilignes possibles
X, Y en émission et réception
=> 4 canaux possibles XX, XY, YX, YY





Barrage de
Petit-saut en
Guyane

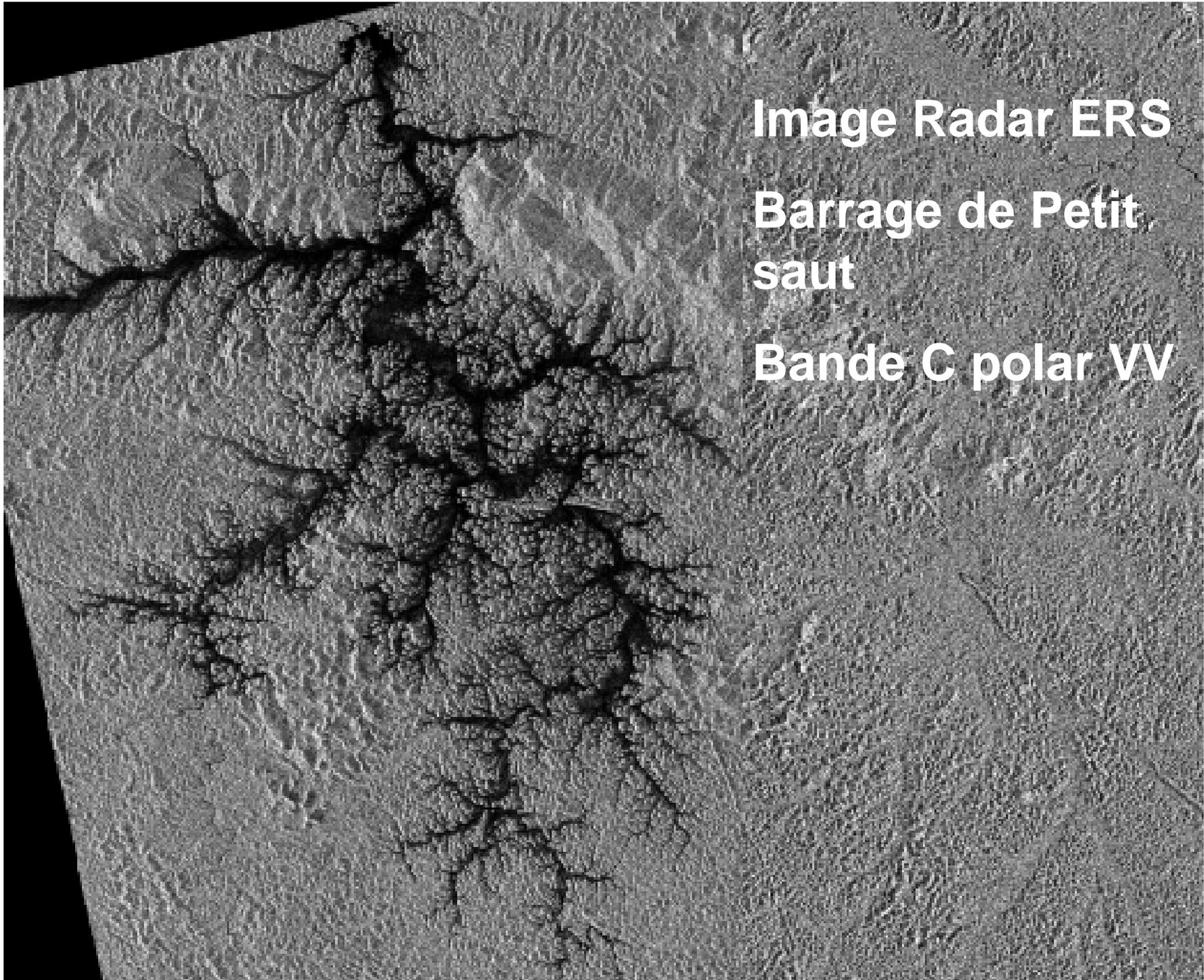
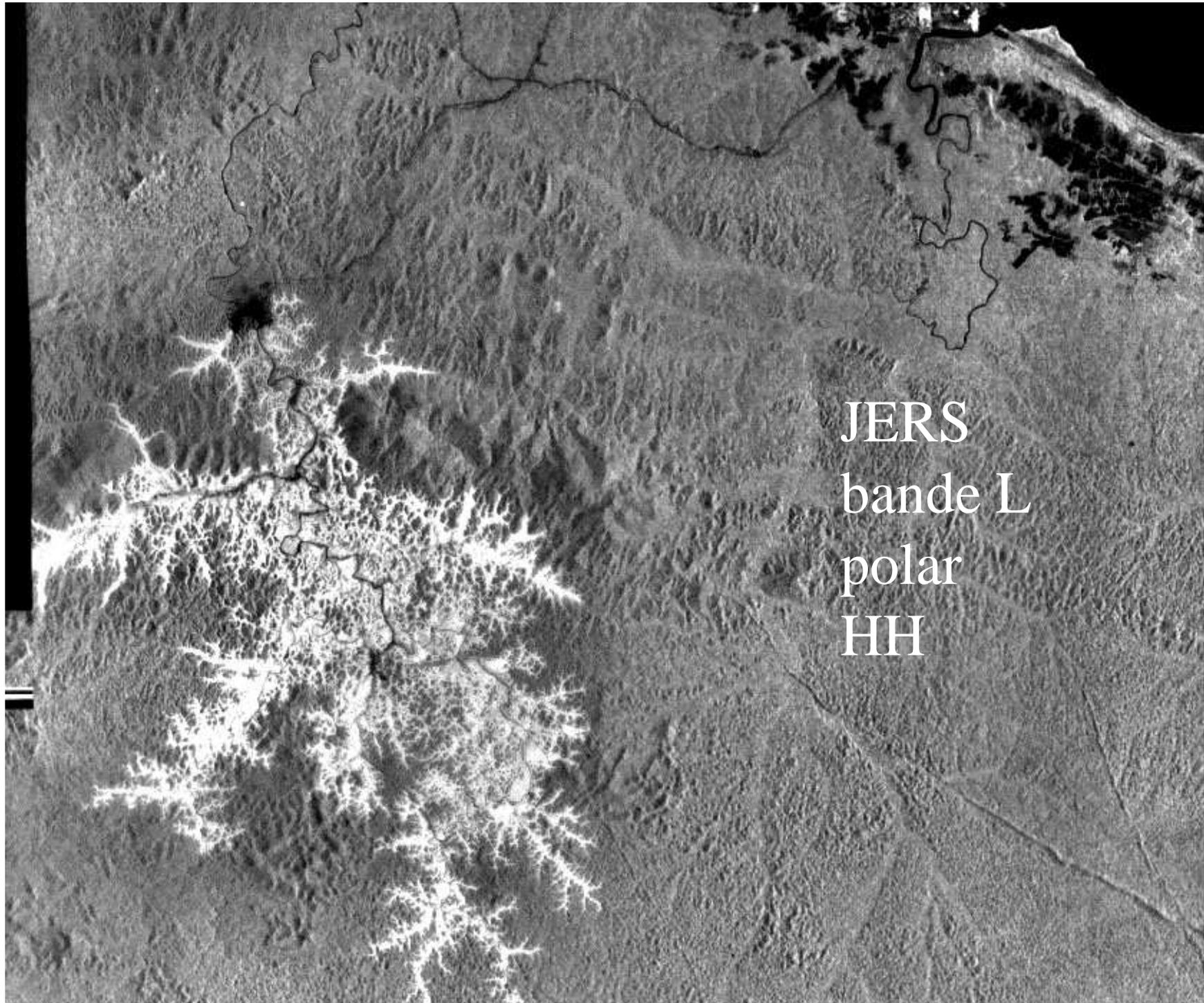


Image Radar ERS

**Barrage de Petit
saut**

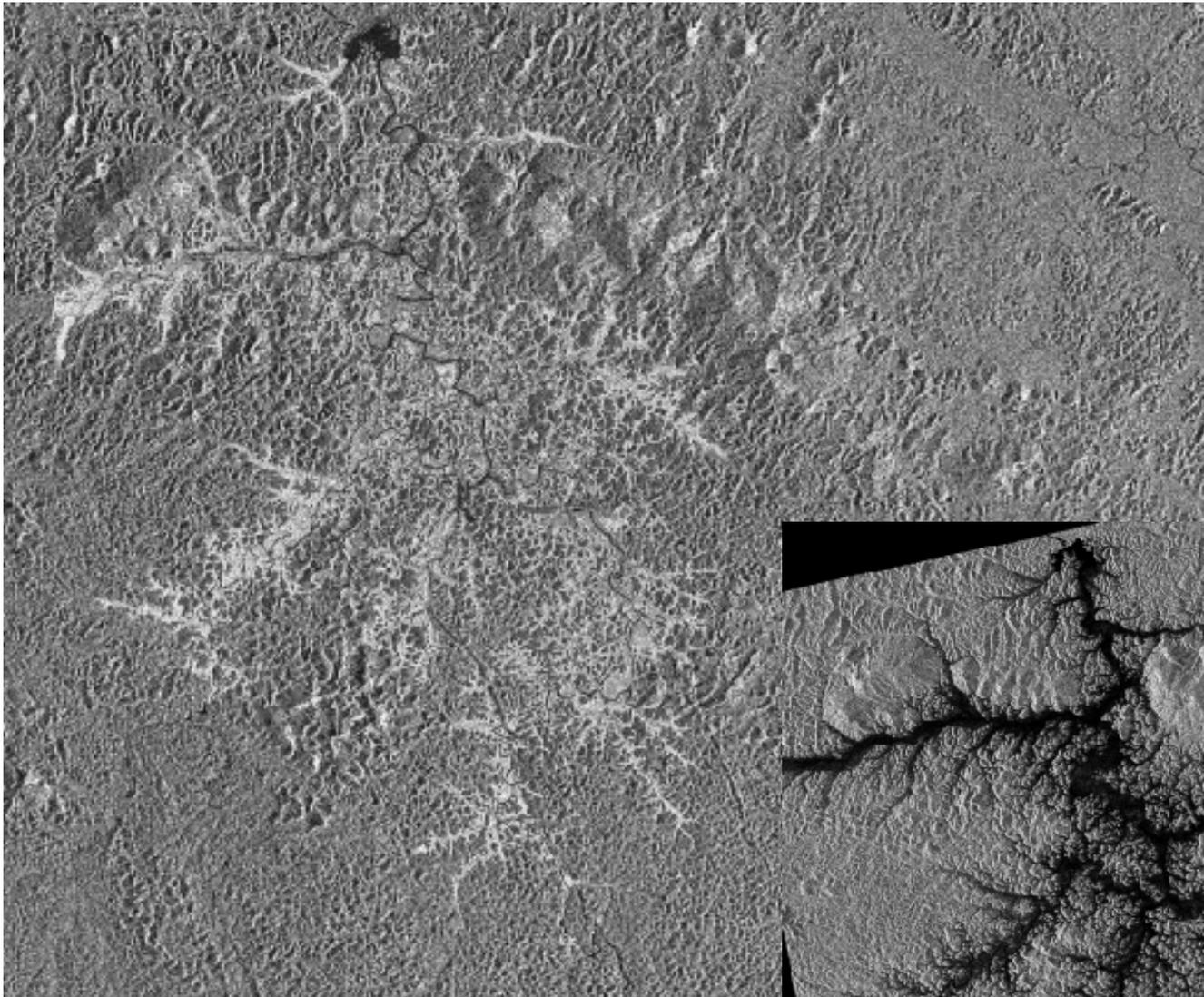
Bande C polar VV



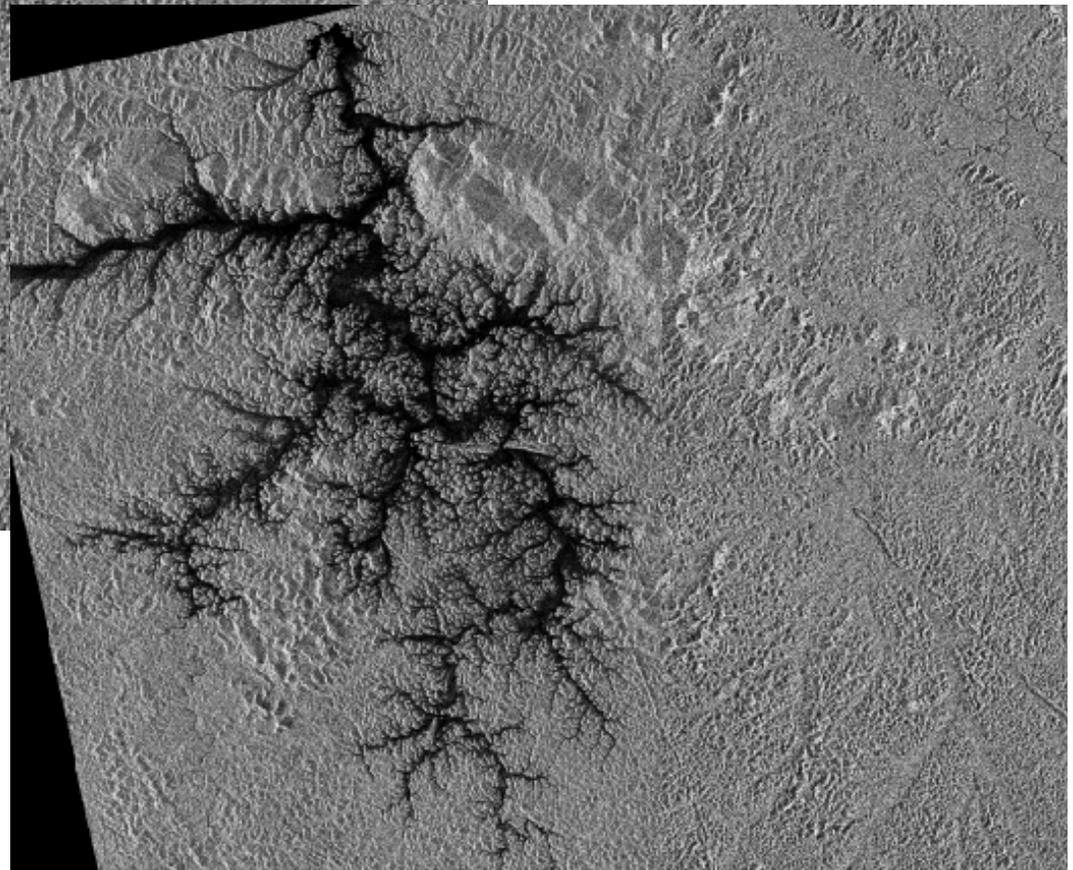
JERS
bande L
polar
HH

images ASAR / ESA

Bande C polar VV

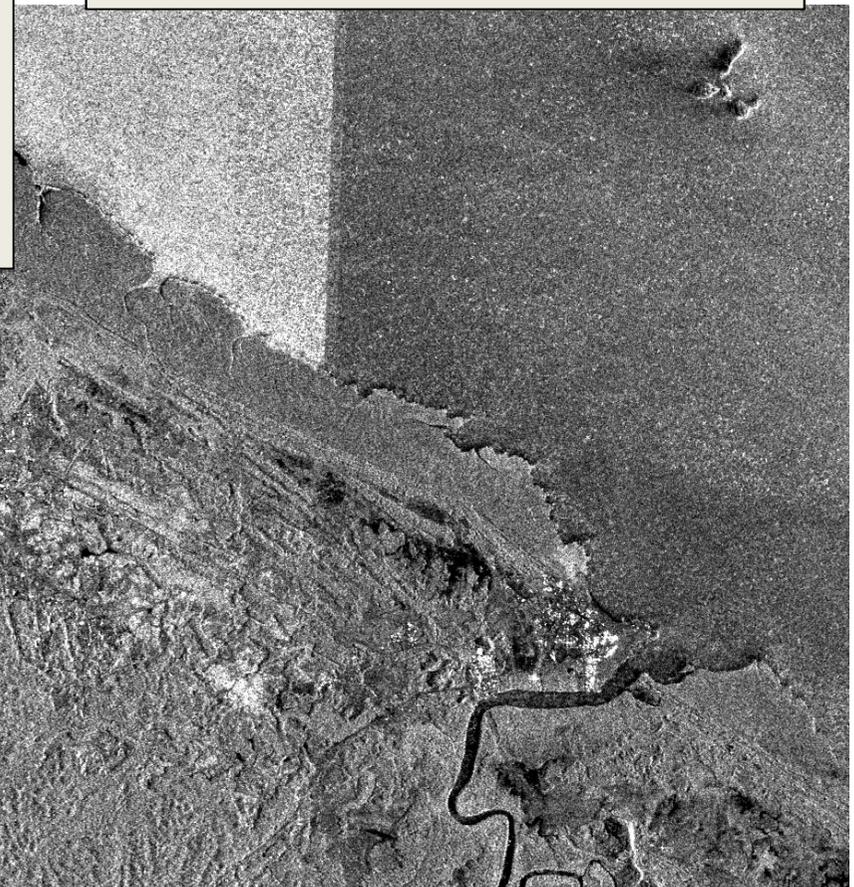
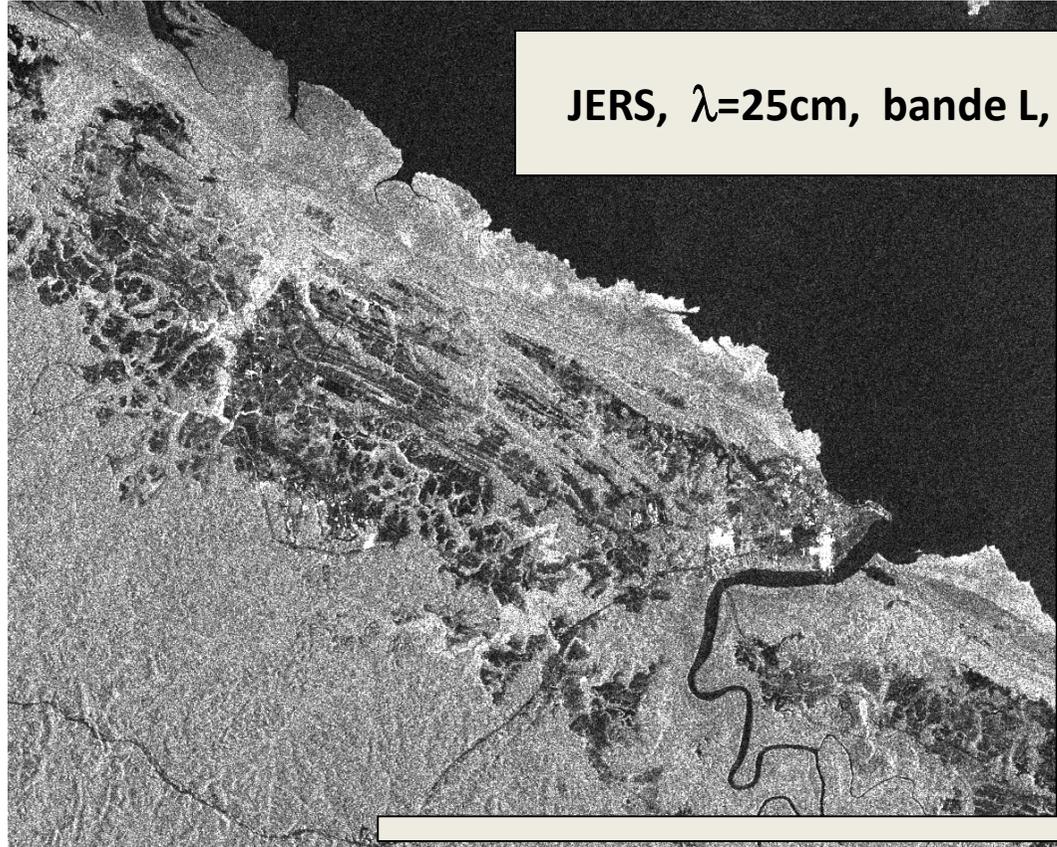


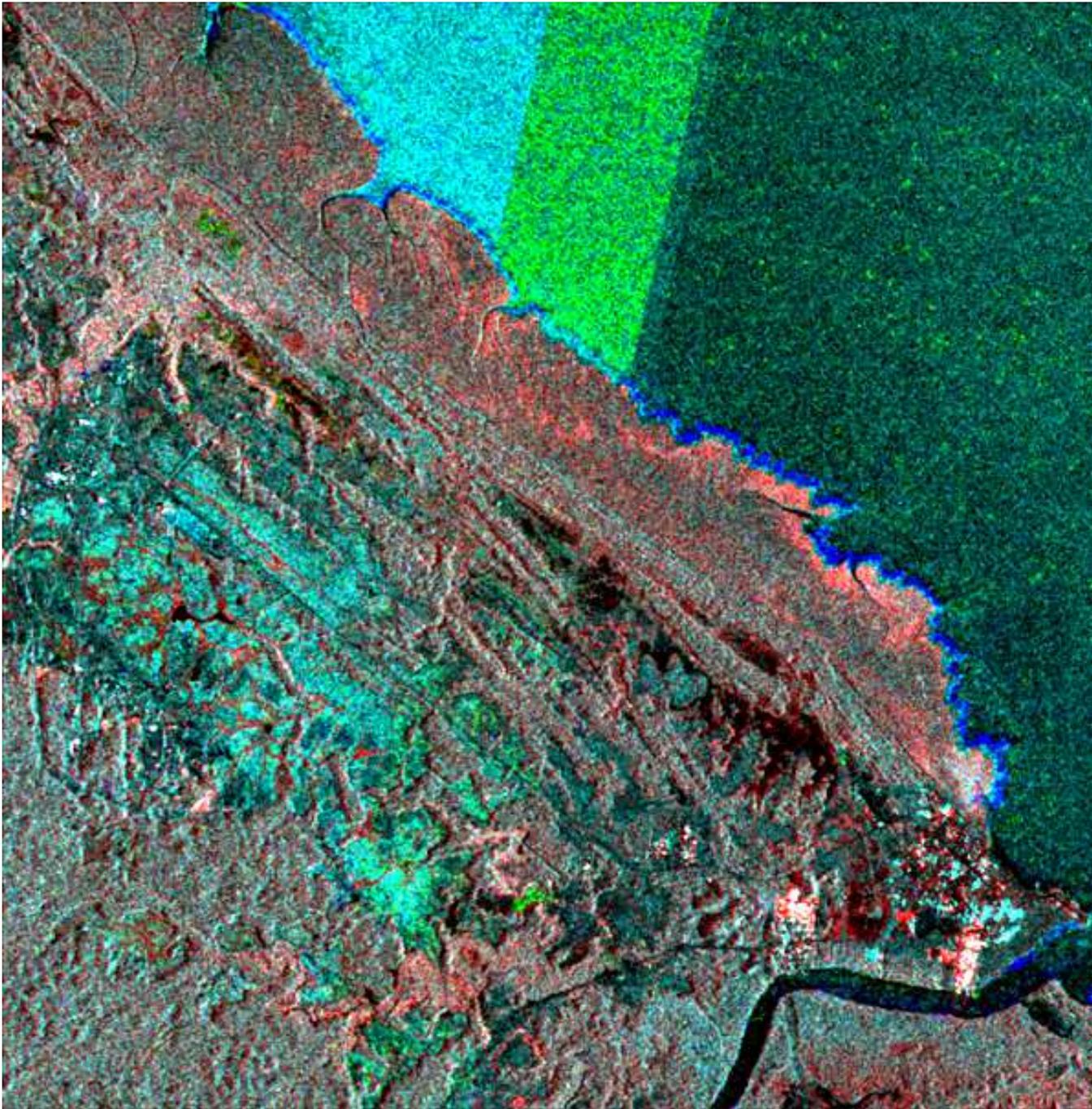
Bande C polar HH



JERS, $\lambda=25\text{cm}$, bande L, polar HH

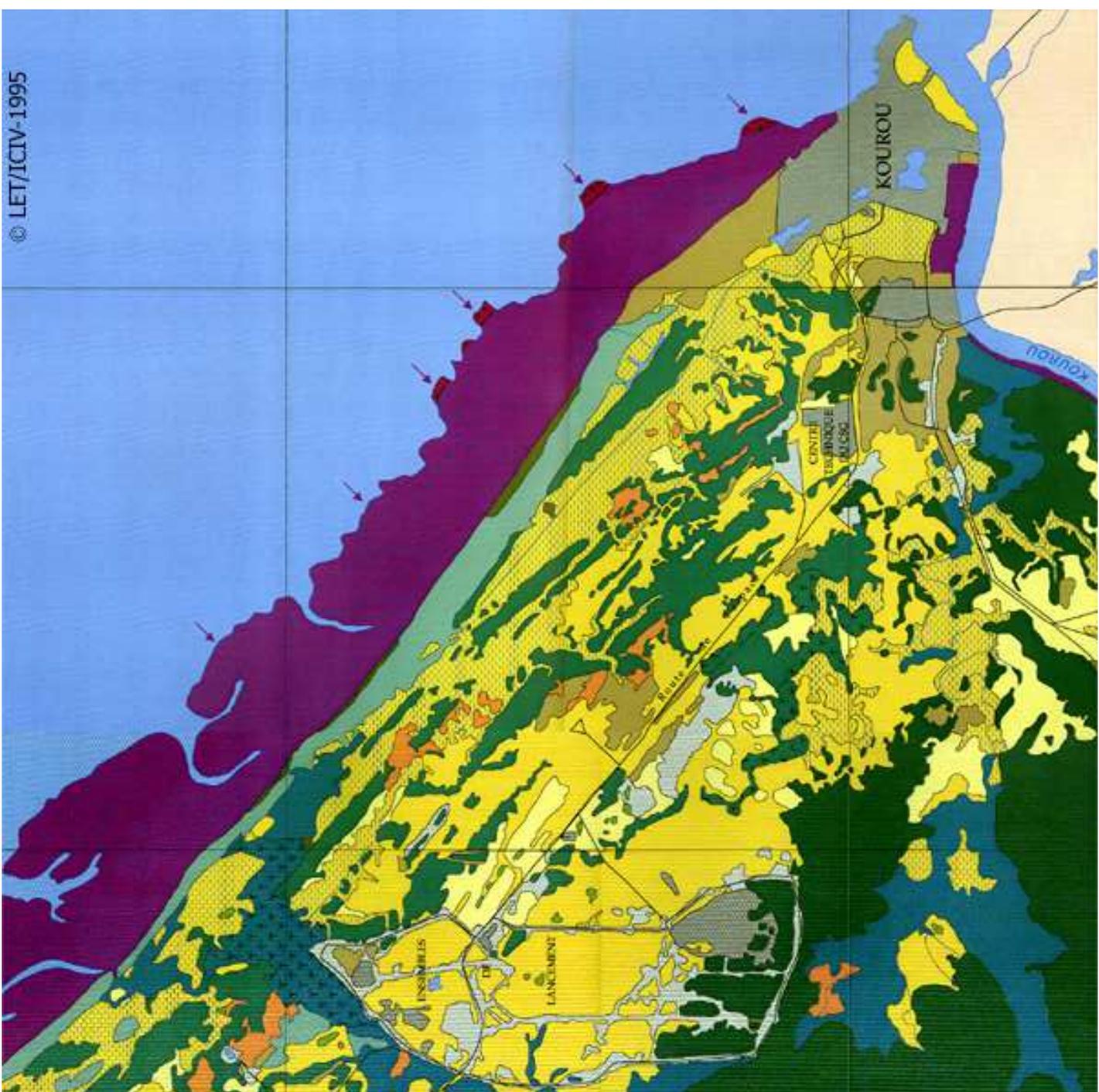
ERS, $\lambda=6\text{cm}$, bande C, polar VV





Color Composite

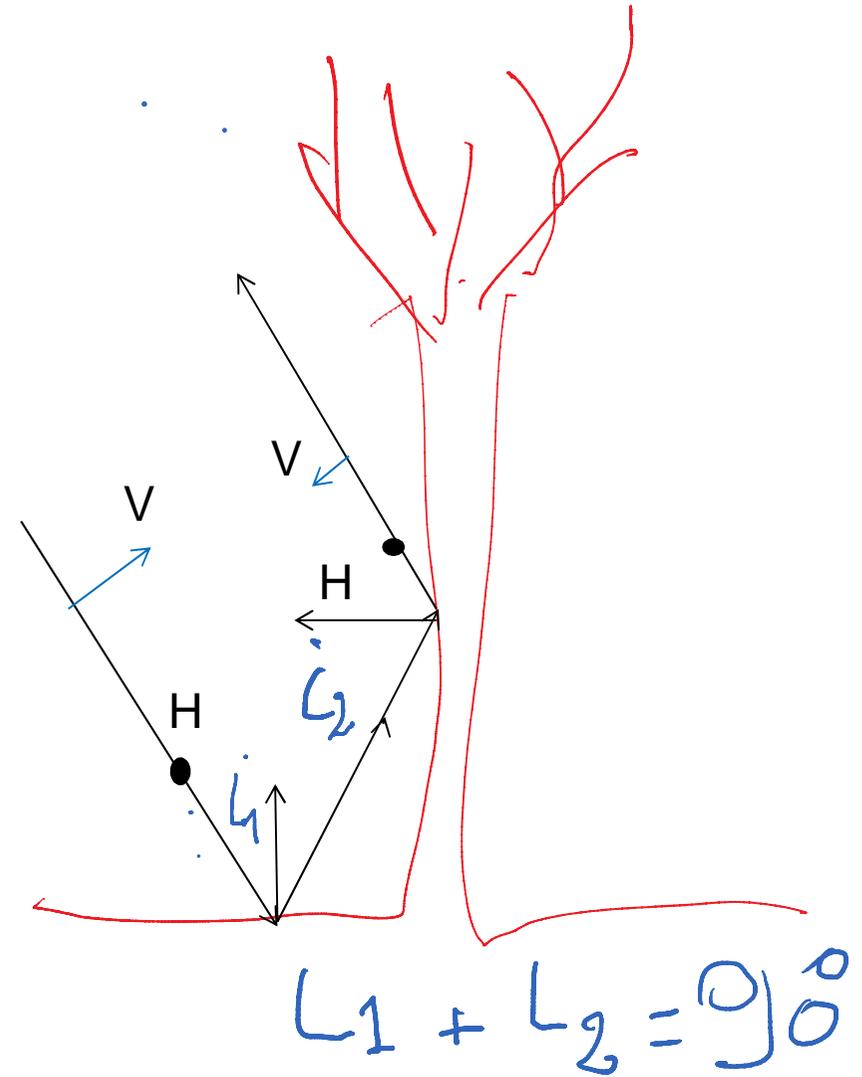
ERS 1993 and JERS 1995



les deux angles de réflexion pour un dièdre;



arbres inondés

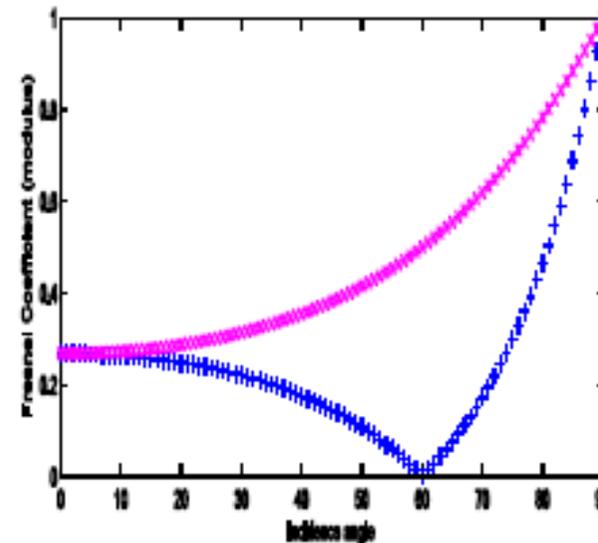
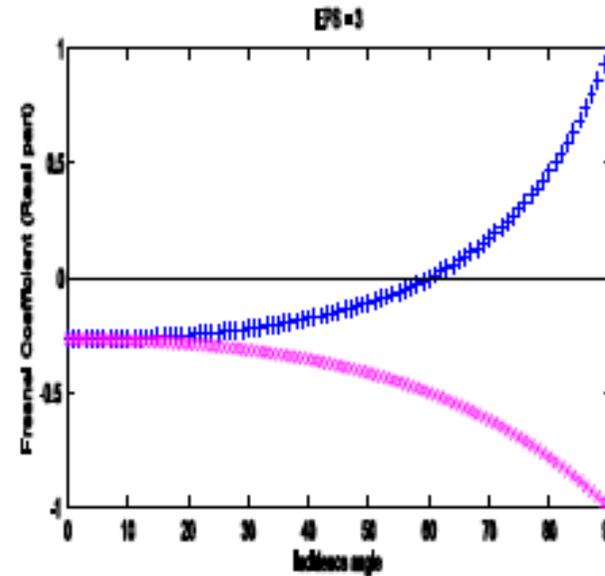


- Pour mémoire:
- Angle de Brewster

Coefficient de reflexion
(pour une interface plane
entre air et un milieu de
permittivité

$\epsilon = 3$) d'une onde
électromagnétique en
fonction de l'incidence

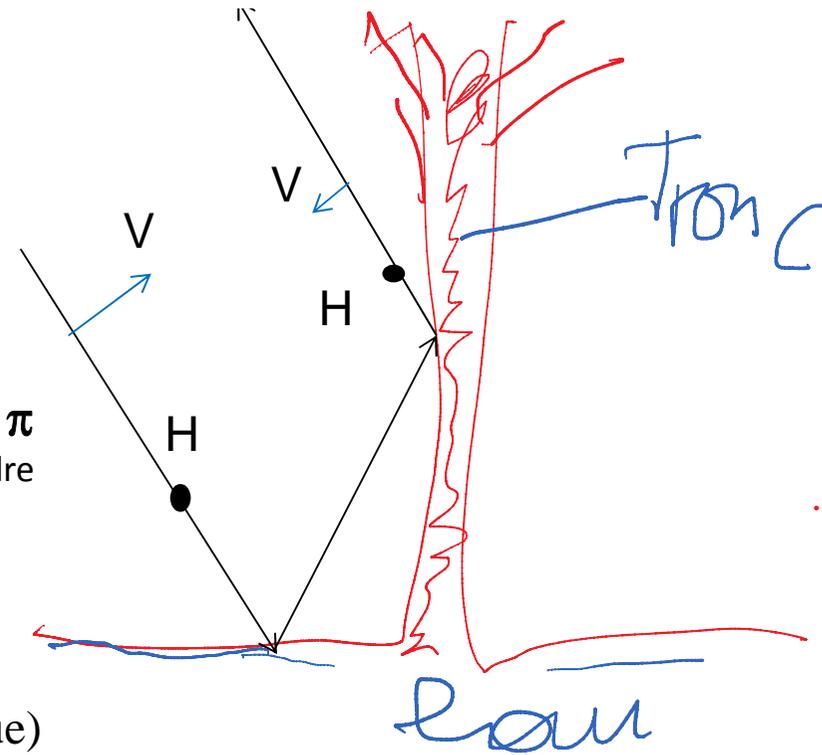
Polarisation H majenta
Polarisation V bleu



graphique: Pierre Louis Frison
ESYCOM /UPEM



Dièdre
 d'arête perp. au faisceau
Double réflexion
 ici forêt inondée
 $\Delta\text{Phi HH} = 0 \text{ rd}$
 $\Delta\text{Phi VV} = \pi \text{ rd}$
 $\Delta (\text{Phi HH} - \text{Phi VV}) = \pi$
 Selon convention : Meme trièdre
 + pour onde inc et réfléchie

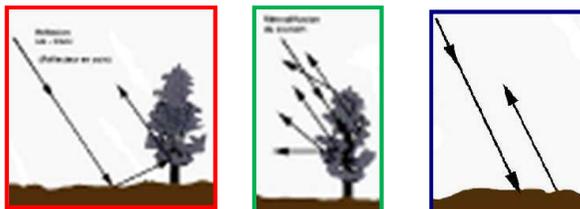
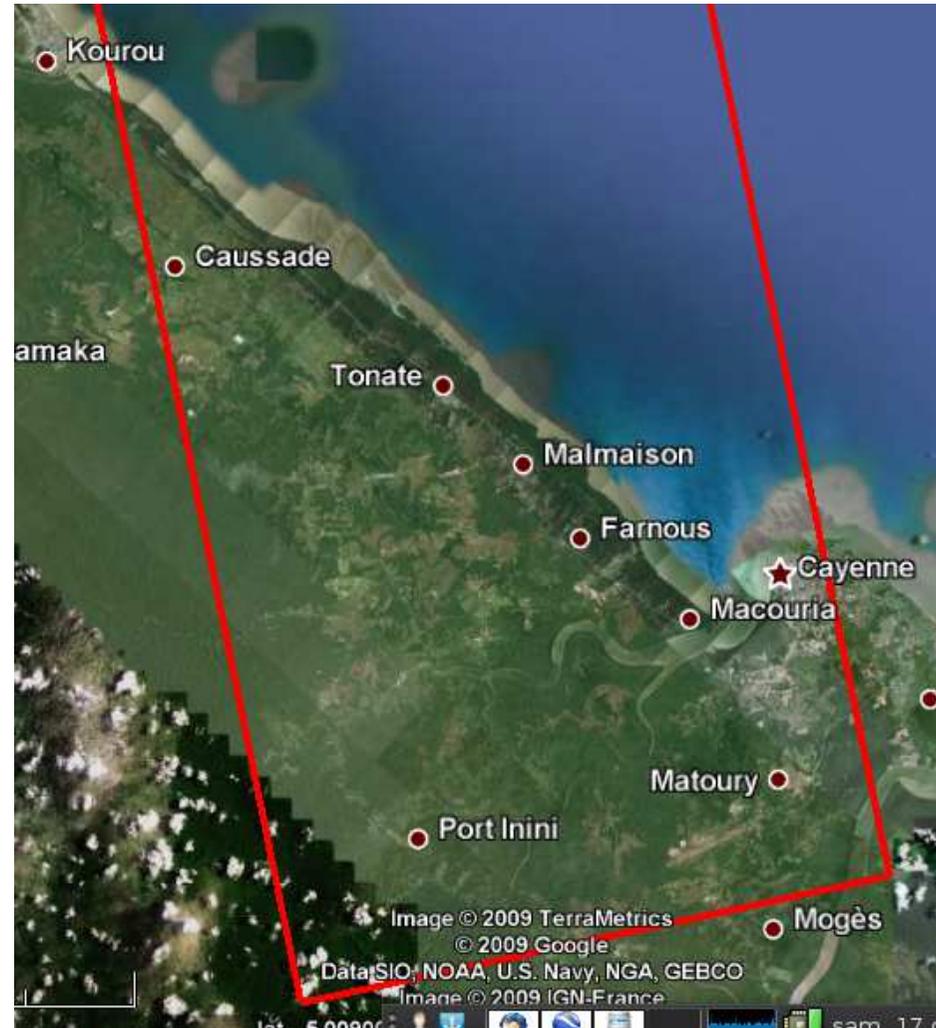
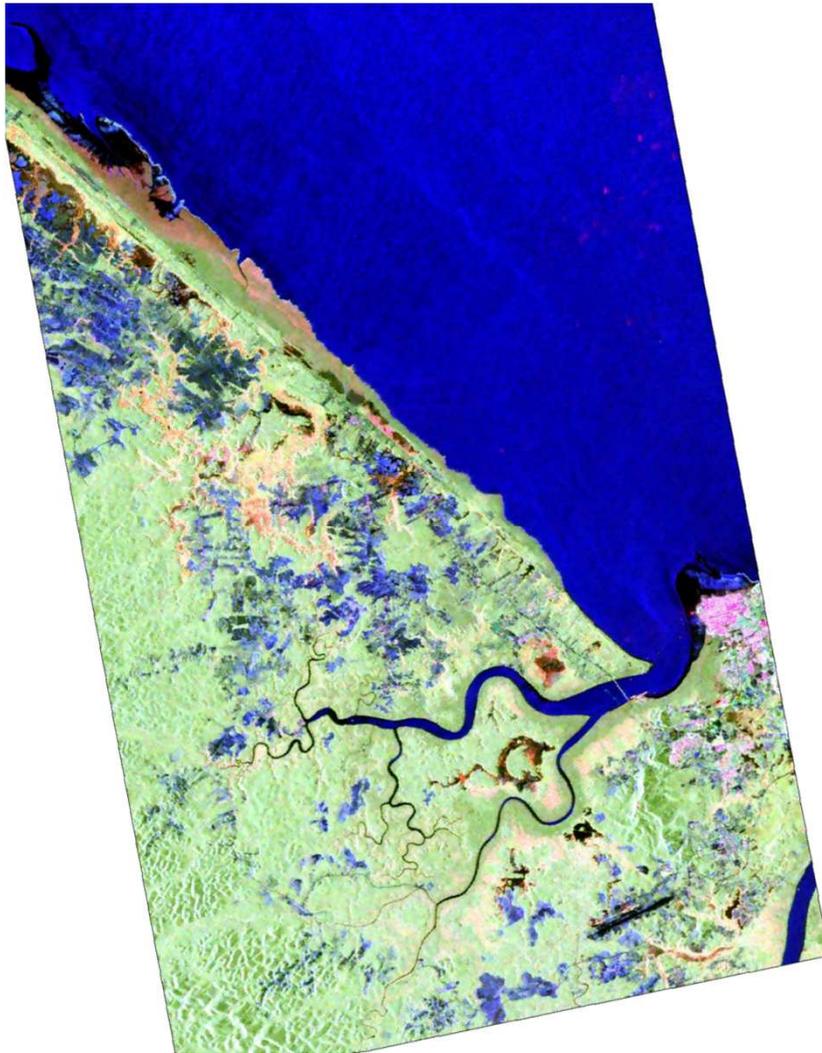


Surface
 Ici sol nu (presque)
Simple réflexion
 $\Delta\text{Phi HH}$ faible et
 Voisin de $\Delta\text{Phi VV}$
 $\Delta (\text{Phi HH} - \text{Phi VV}) = 0$



Reflexion de volume, Ici Forêt
Multiples réflexions
 Phi HH , Phi VV , Phi VV , Variables entre $-p$ et p
 De même que les $D\text{Phi}$

Cayenne : Pulsar Polarimétrique



Bande C



doc. 2011
Cedric Lardeux

AIRSAR
bande C, L, P

INTERFEROMETRIE

Interférométrie

- Nécessite 2 images de la même zone acquises sur des orbites voisines
- Format SLC ou RAW

PRODUITS INTERFEROMETRIQUES

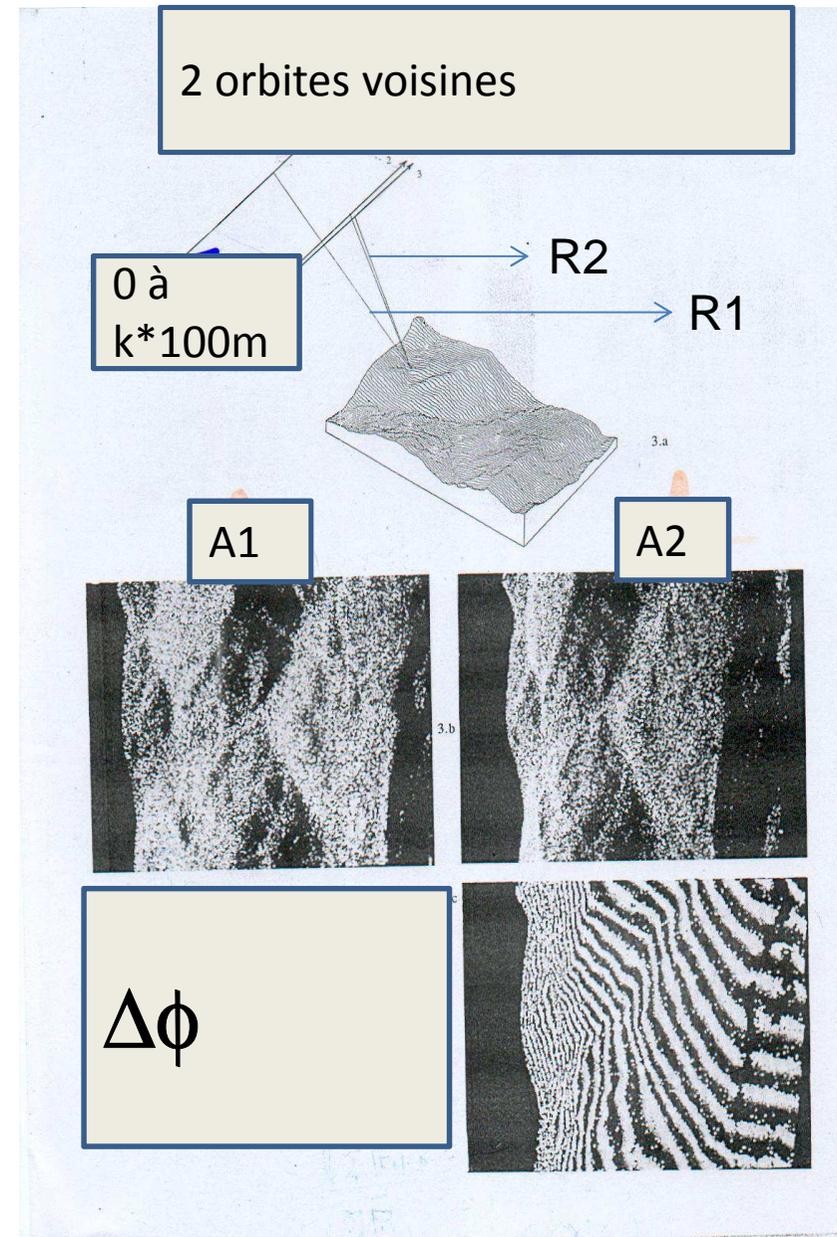
Amplitude-1 et Amplitude-2

Différence de phase

$$\Delta\phi = f(R2, R1, ? \text{ autres var.}) \pmod{2\pi}$$

Facteur de Cohérence (encore!)

Informe sur la stabilité des états de surface à l'échelle de la longueur d'onde

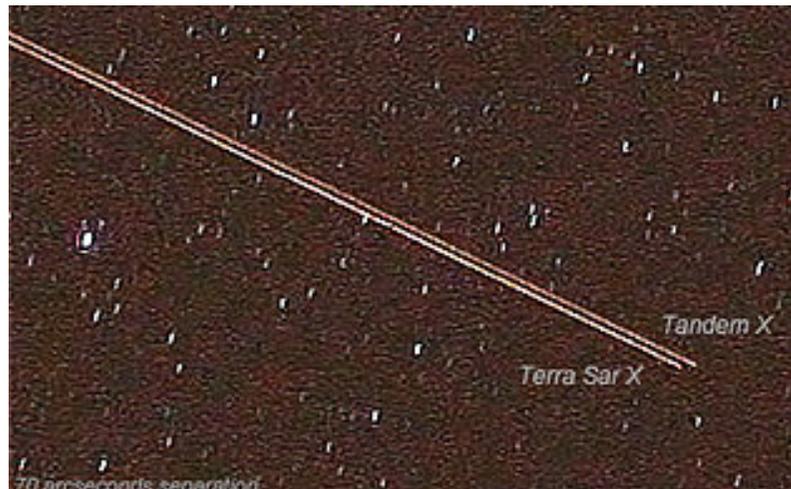


2 principaux cas

ACQUISITIONS

- Simultanées ou quasi simultanées (navette SRTM, Tandem TerrasarX, avions ..)
- Non simultanées
(cas usuel par ex ERS (1 jour , 35 jours, k 35j ..), ASAR, PALSAR ...)

SRTM mat de 60m (doc Nasa)



TERRASARX
TandemX
photo by
Marco
Langbroek,
Leiden, the
Netherlands).

Après correction des effets de l'éloignement latéral calculés pour un terrain plat

$$\Phi_{C_P} = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{h.B_{\perp}}{R.\sin i} + \frac{4\pi}{\lambda} \vec{d} \cdot \vec{u} + \Delta\varphi_{atmP} + \Delta\varphi_{intP}$$

$\Delta\phi$ Modulo 2 pi

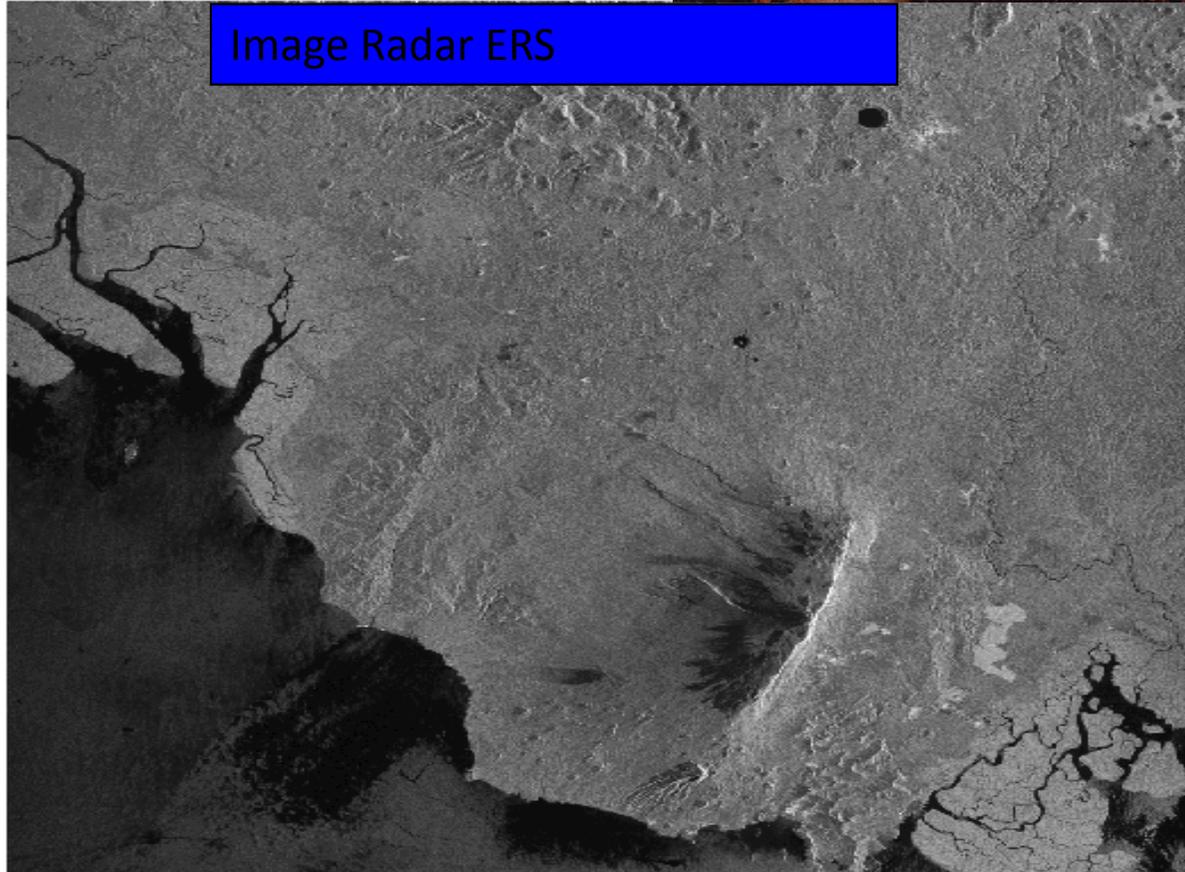
Voir exercice

RELIEF

Mont Cameroun

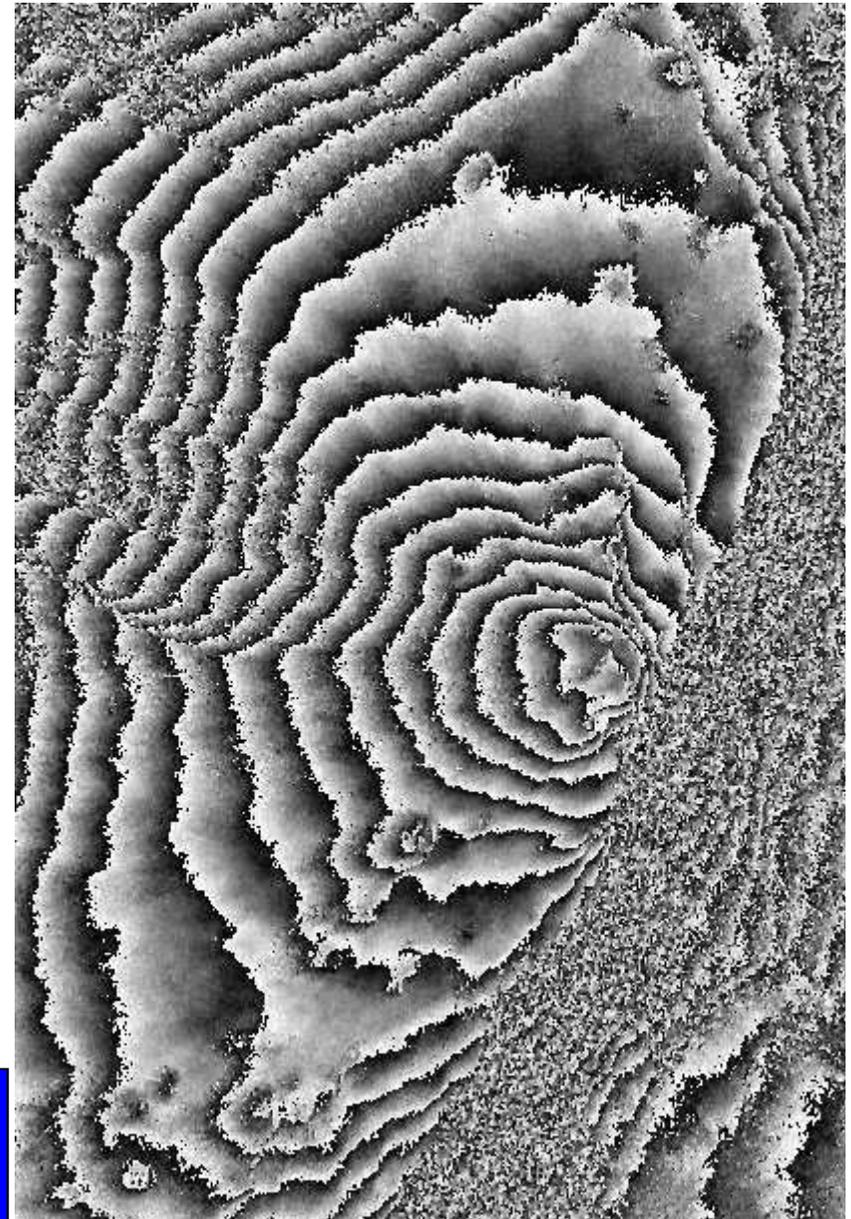
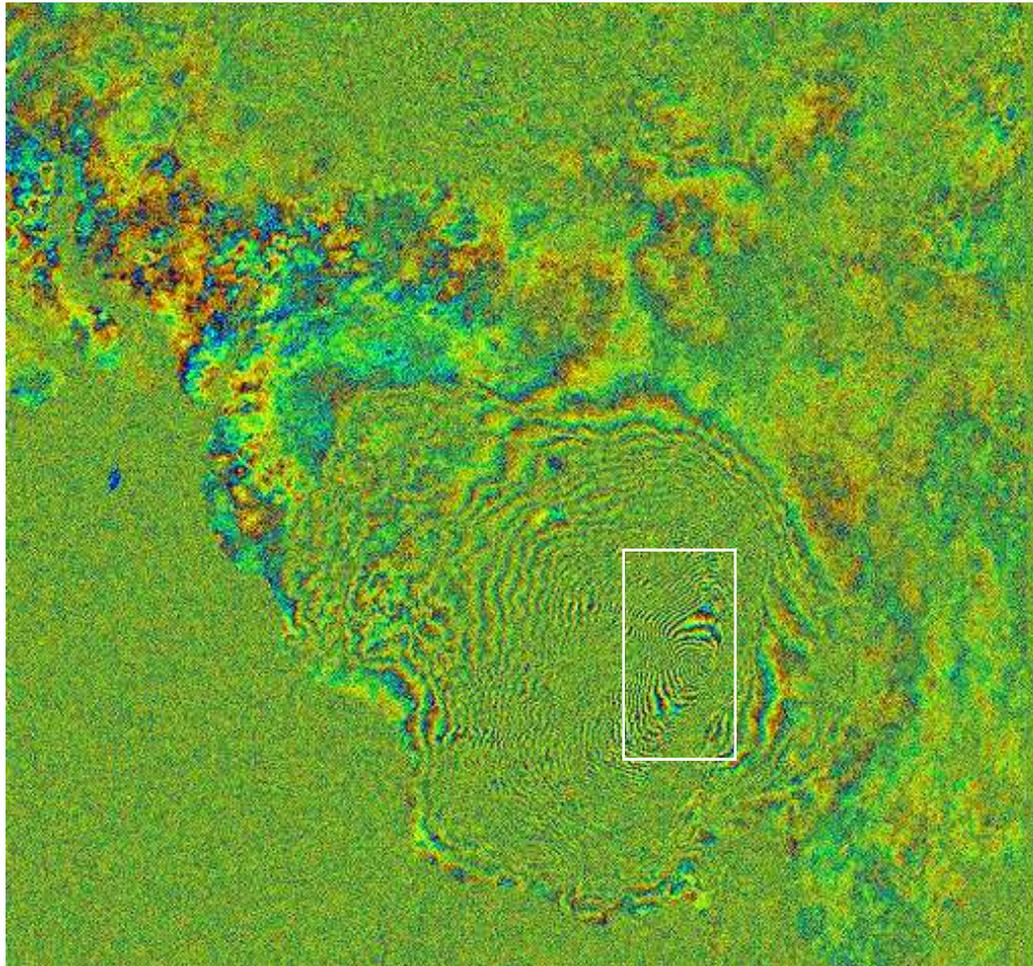


Image Radar ERS



Dim Est-Ouest 10

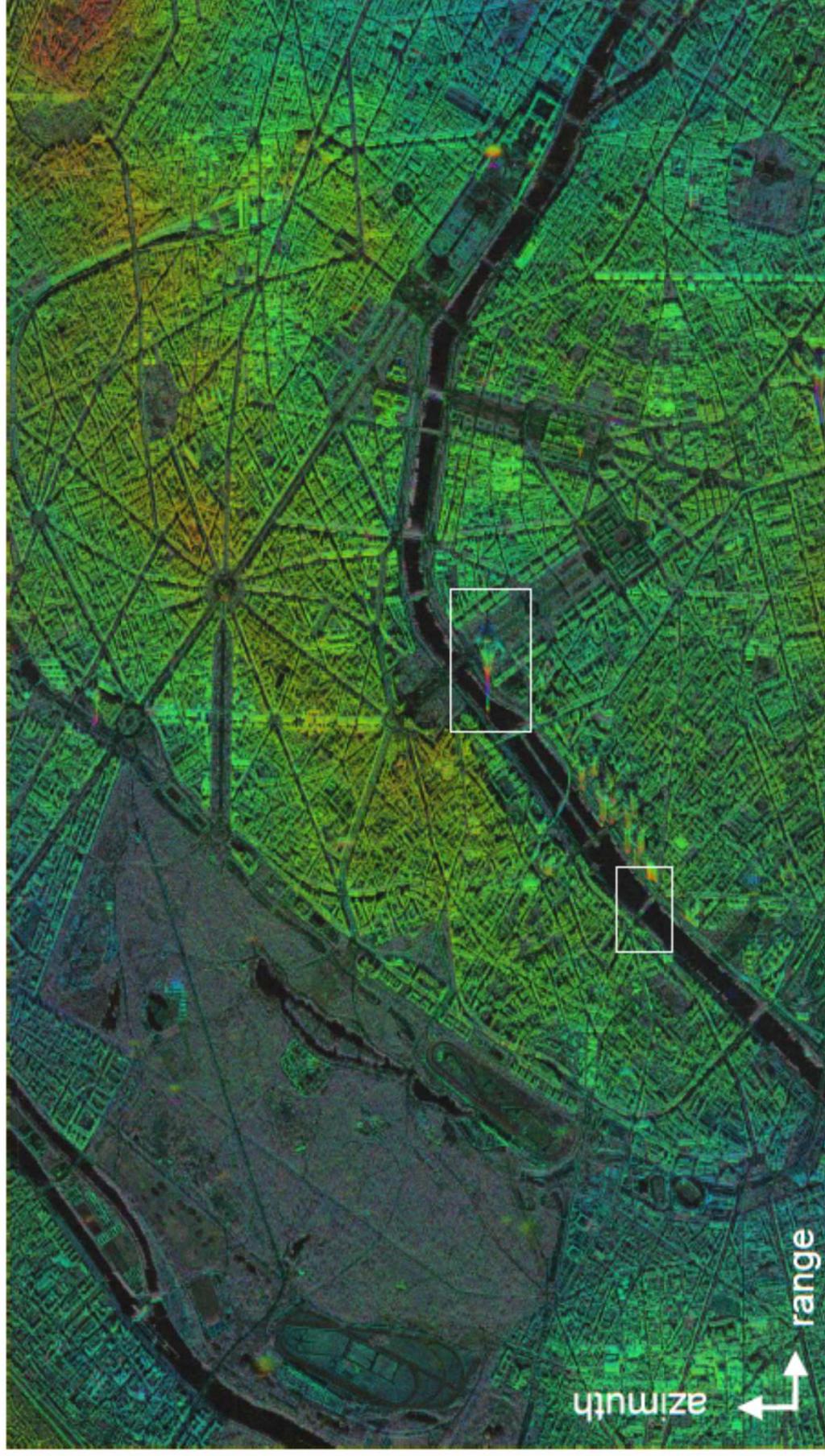
Interférogramme



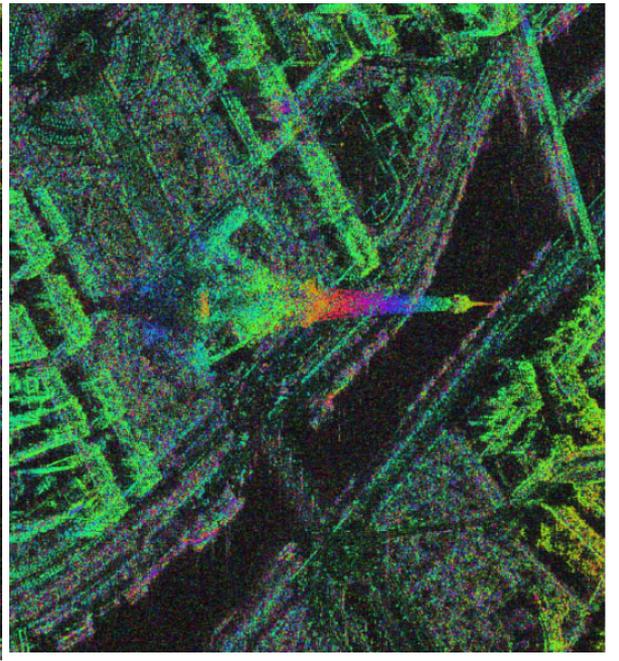
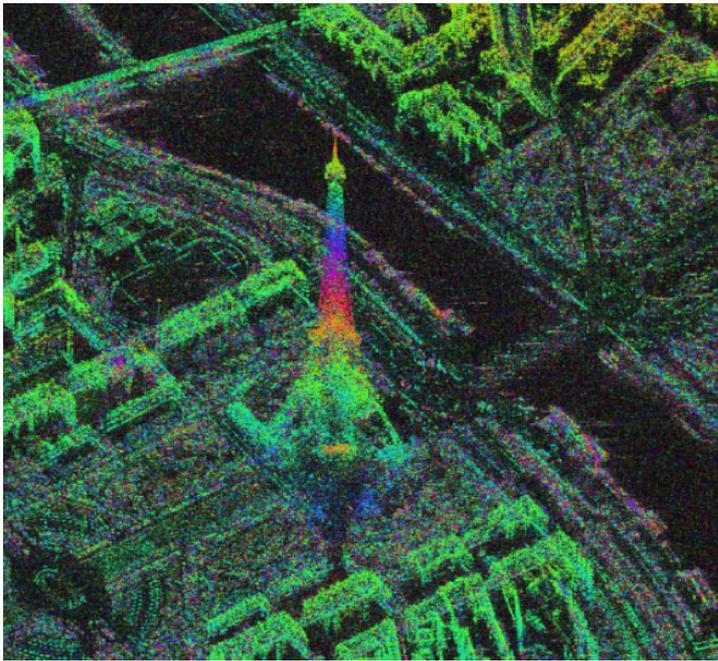
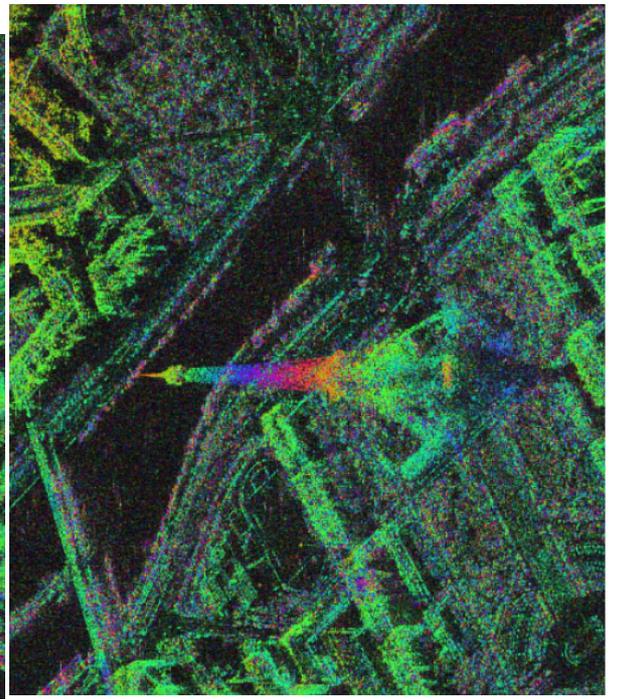
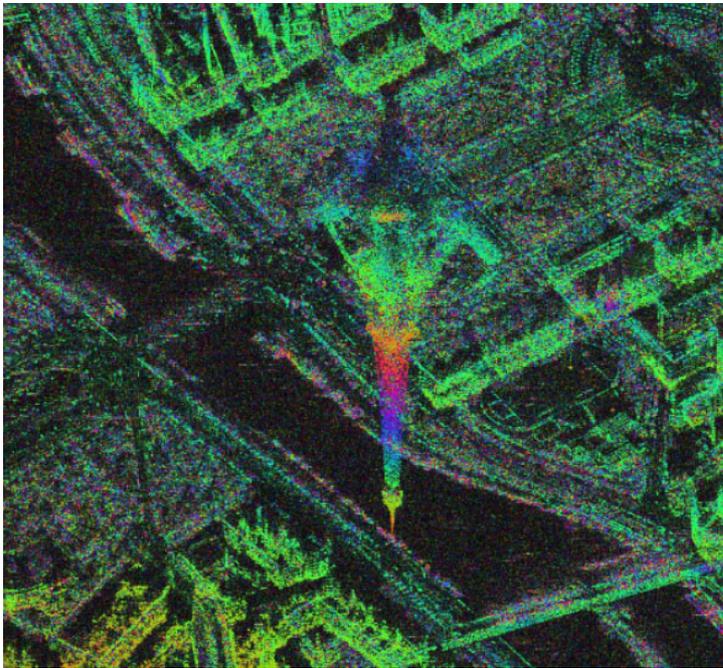
Mont Cameroun: Interférogramme

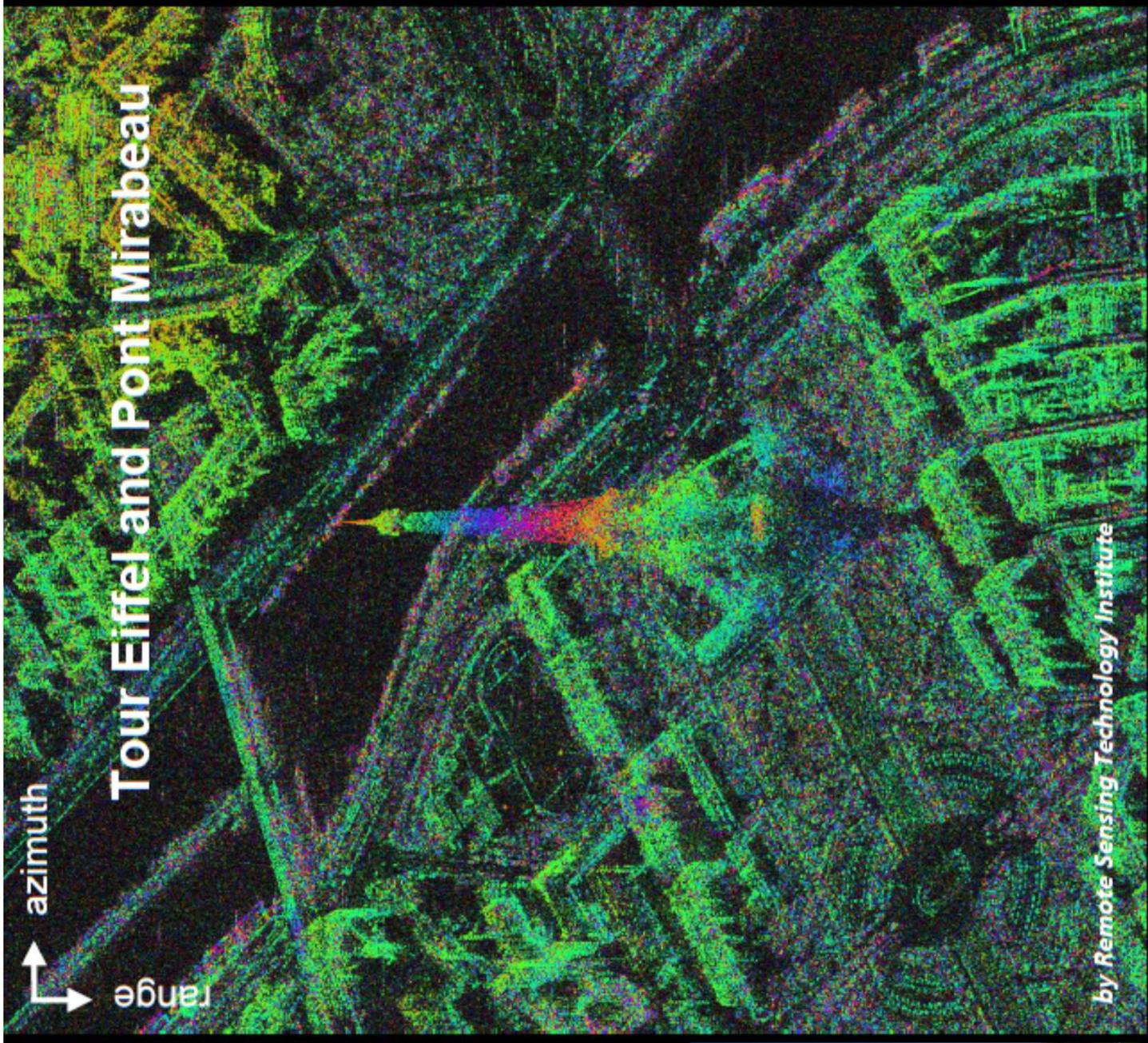
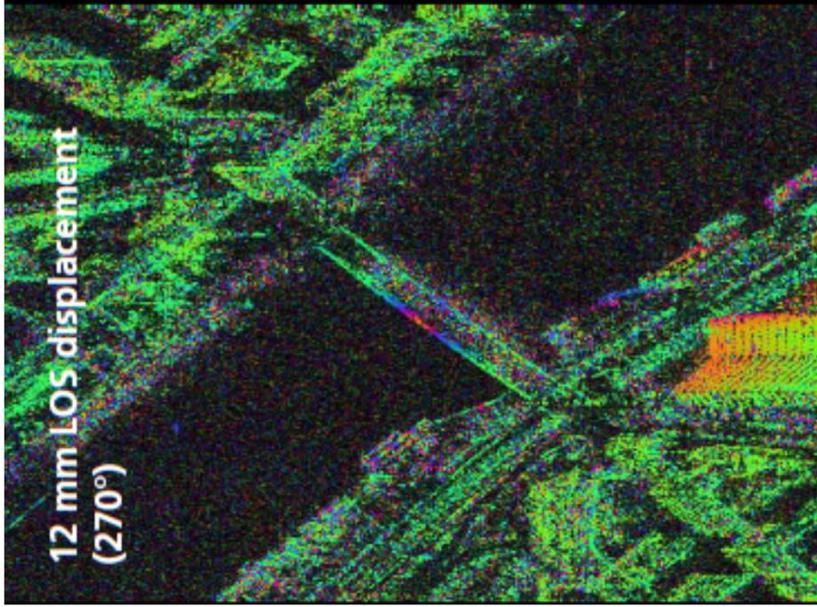
TerraSAR-X Repeat Pass Interferogram of Paris

(HS 300 MHz 16.1.-27.1.2008)



by Remote Sensing Technology Institute



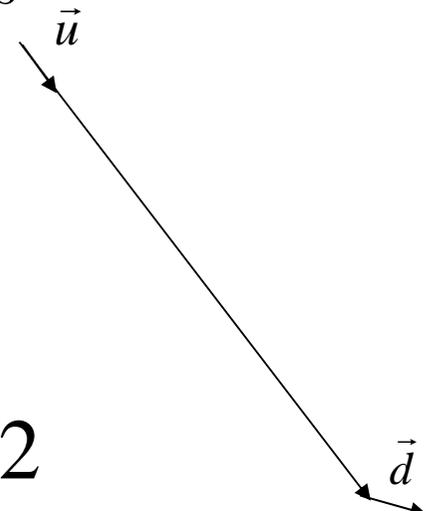


Les déplacements superficiels

Précision de l'ordre du centimètre

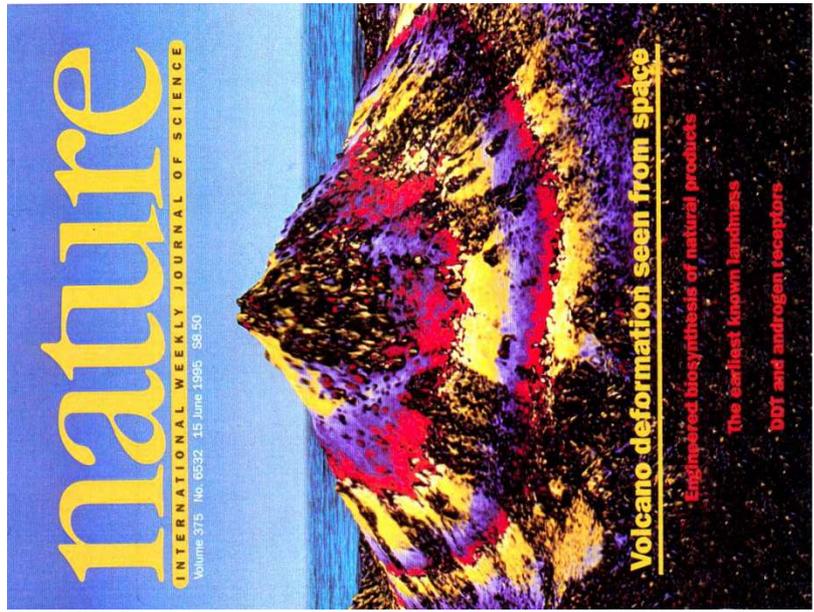
$$\Phi_{C_P} = \frac{4\pi}{\lambda} \vec{d} \cdot \vec{u}$$

Après élimination des effets
dus au relief
Modulo 2 pi



$$\vec{d} \cdot \vec{u} = d_{proj}$$

Entre deux franges d_{proj} varie de $\lambda/2$



Sciences

Eole passe, le sol s'affaisse

Une étude dévoile les effets de la construction de la ligne de RER E à Paris.

L'Élysée a eu chaud. Le ministère de l'Intérieur a été effleuré. La zone ouest d'influence des travaux de la ligne Eole du RER sur le sous-sol parisien passe place Beauvau et s'arrête à une centaine de mètres du palais présidentiel. Ailleurs, les habitants ont eu moins de chance. Près de Saint-Lazare, c'est le lycée Condorcet qui est touché en 1995. A l'est, on ne compte plus les murs lézardés et les immeubles renforcés à coups de poutres. Rue Papillon, un immeuble a même dû être évacué après l'effondrement d'une cave (lire ci-dessous). Alors que la SNCF n'a jamais transmis de données précises, Bénédicte Fruneau, de l'université de Marne-la-Vallée, et Francesco Sarti, du Cnes, publient cette semaine la première image de cot affaissement imprévu du sol (1).

Inauguré en juillet 1999, Eole relie la gare Saint-Lazare à la gare de l'Est. Sa construction a démarré en 1991, et les premiers problèmes seraient apparus en surface quelques mois plus tard. L'image est édifiante. Près de Saint-Lazare, une large cuvette s'étend d'est en ouest, de la rue de Miro-

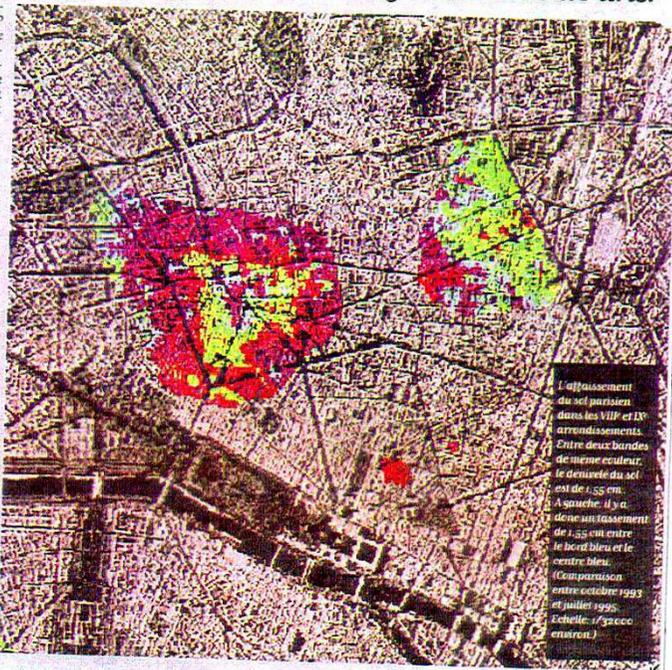
plus de 1000 mètres. Guy Laplace souligne que la RATP creusait sa ligne Métro près de là. Il insiste aussi sur « l'importance des pentes plus que des déplacements ». Quand la pente de la déformation du sol est faible, les immeubles bougent globalement et ne sont pas atteints. « En revanche, quand la pente est élevée à la limite de la zone déplacée, des problèmes peuvent apparaître. » C'est probablement ce qui s'est passé à l'est, le long de la rue du Faubourg-Saint-Denis, qui apparaît clairement en limite de la zone qui a bougé.

Radar imageur. La technique développée par Bénédicte Fruneau et son homologue du Cnes s'inspire de travaux menés au début des années 90. En étudiant les données d'un radar imageur embarqué à bord d'un satellite, on peut générer des interférences entre deux images successives et faire apparaître des déplacements dans l'axe de visée. Par exemple pour suivre le gonflement des cônes volcaniques. Les deux chercheurs ont imaginé une méthode qui élimine les effets de l'atmosphère sur la propagation des signaux. Elle porte la précision sur les déplacements verticaux à environ 1 millimètre.

La construction d'Eole a démarré en 1991, et les premiers problèmes seraient apparus en surface quelques mois plus tard. L'image est édifiante.

Les chercheurs ont travaillé à partir d'images des satellites ERS-1 et ERS-2 prises entre octobre 1993 et août 1996. Deux dates qui encadrent les travaux d'Eole. Entre 1993 et juillet 1995, un déplacement du sol apparaît dans les deux grandes zones où des immeubles ont bougé. De même, deux petites taches apparaissent, au sud de la place des Victoires et près de la rue Montorgueil. « Je n'ai pas eu le temps de regarder ce qu'il y a pu avoir comme travaux », concède la physicienne. En revanche, la comparaison des données de juillet 1995 et d'août 1996 n'indique pas de déplacement. Pourtant, la rue Papillon a connu un effondrement fin 1995. Trop localisé, l'événement aurait échappé au radar, dont chaque point de mesure est un carré de 25 mètres de côté.

L'interférométrie radar présente un gros avantage: elle fonctionne a posteriori, à partir d'informations déjà enregistrées. Mais elle se heurte à un obstacle financier. « Nous devons acheter les images », regrette Bénédicte Fruneau. Malgré la ristourne accordée aux chercheurs, chaque image est facturée plusieurs milliers de francs.



Rue Papillon, les travaux ne décollent pas

Le litige subsiste entre la SNCF et les habitants depuis 1995.

L'affaire est ancienne. Mais, depuis cinq ans, le litige entre la SNCF et les propriétaires de logements rue Papillon (Paris IX^e) n'est toujours pas bouclé. Six familles ont quitté leur appartement et attendent toujours que les réparations soient effectuées pour pouvoir réintégrer leur immeuble. Le dossier est aujourd'hui englué dans des querelles d'experts sur la nature des travaux à réaliser pour consolider le bâti. Le 22 décembre 1995 vers 5 heures du matin, les habitants de deux bâtiments au 4 et au 6 de la rue sont réveillés en sursaut par un ébranlement gigantesque et un bruit sourd. Des vitres volent en éclats. L'immeuble du 4 s'est affaissé. Ce mouvement génère des déséquilibres graves sur le bâtiment contigu, déstabilisé dans ses fondations.

Travaux de la mutuelle. Depuis, au numéro 4, les choses sont réglées. L'immeuble appartient à une mutuelle. Tous les habitants étaient locataires. Ils ont été relogés ailleurs dans les jours qui ont suivi l'affaissement. La mutuelle a engagé des travaux et un accord est intervenu avec la SNCF pour le paiement des réparations qui ont été réalisées. Et là, on en est toujours au stade des expertises, sans que rien n'avance. L'expert nommé par le tribunal administratif a rendu un rapport qui, selon les copropriétaires, minimise les réparations. « Il estime les travaux nécessaires en sous-sol à des niveaux très inférieurs à ceux que notre architecte juge utiles », affirme la propriétaire d'un des logements. Depuis près de cinq ans, six appartements sont inhabitables, et les familles qui les possèdent n'y vont plus. « Le lover que nous payons est pris en charge par la SNCF. Mais nous, on veut simplement rentrer à la maison », dit l'une des personnes.

Préjudice commercial. Pour tenter de débloquer le dossier, les copropriétaires ont sollicité le médiateur de la République, mais sans résultat. En revanche, les commerçants de la rue, qui ont subi un préjudice commercial (rue barrée pendant plusieurs jours, travaux de consolidation...), ont reçu des dédommagements dans les mois qui ont suivi. De même, chaque année, la SNCF finance une partie de la fête de Papillon, organisée par une association pour faire renaitre le commerce local. Seul un rapport de la Cour des comptes, l'éboulement de la rue Papillon a provoqué un retard de six mois du chantier Eole et coûté à la SNCF 96 millions de francs. Auxquels s'ajoutent entre 60 et 150 millions de francs, compte tenu des résultats des contentieux en cours.

Une application de l'interférométrie radar: Le suivi de subsidence urbaine

Fruneau B., Deffontaines B., Rudant Jean-Paul, Anne-Marie Le Parmentier, 2005. Monitoring vertical deformation due to water pumping in the city of Paris (France) with differential interferometry, **Comptes Rendus Géosciences**, 337, 1173-1183.

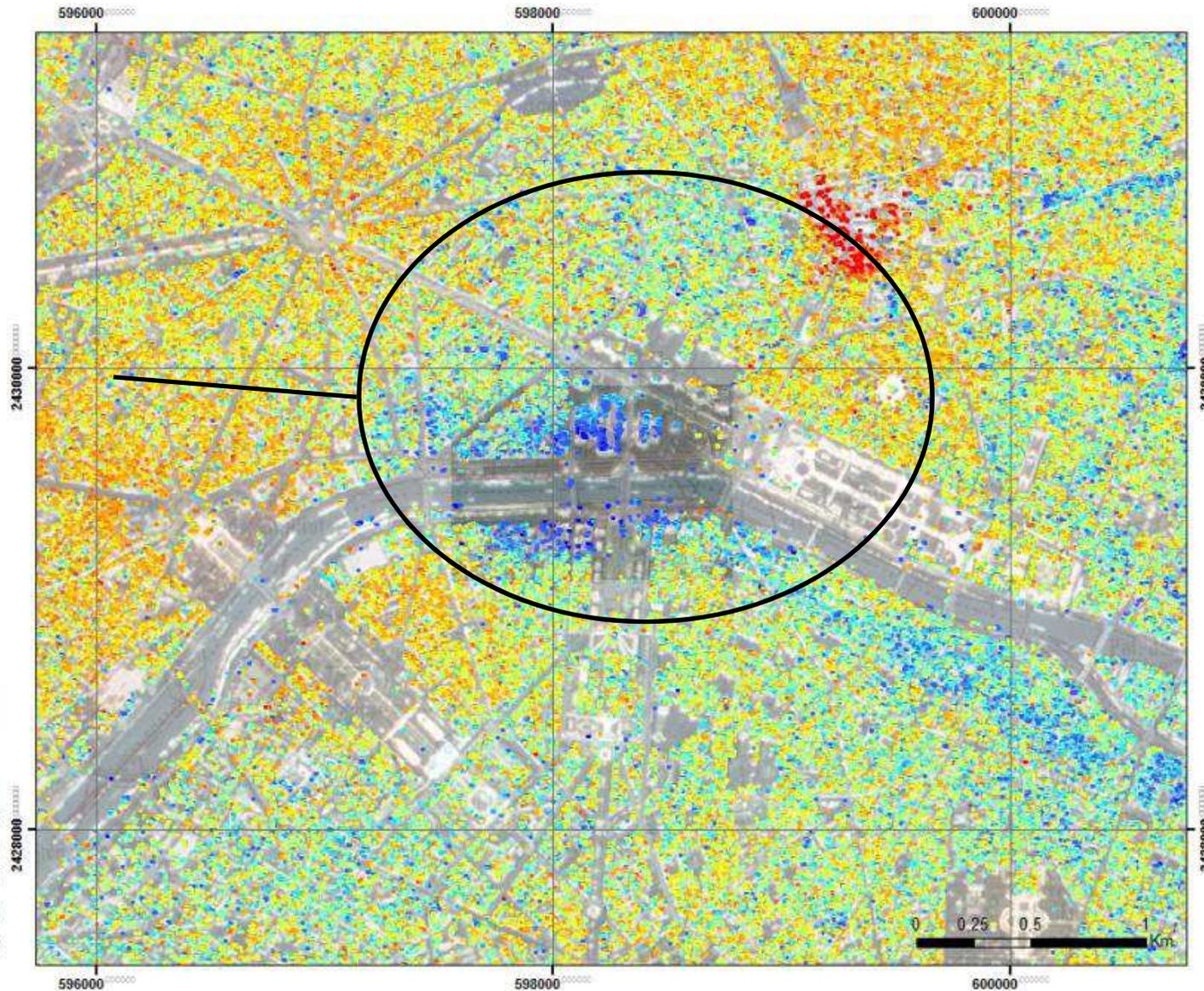
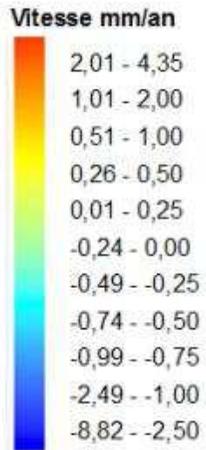
DENIS DELBECCO
(1) Geophysical Research Letters du 15 décembre.

LES PS



PARIS

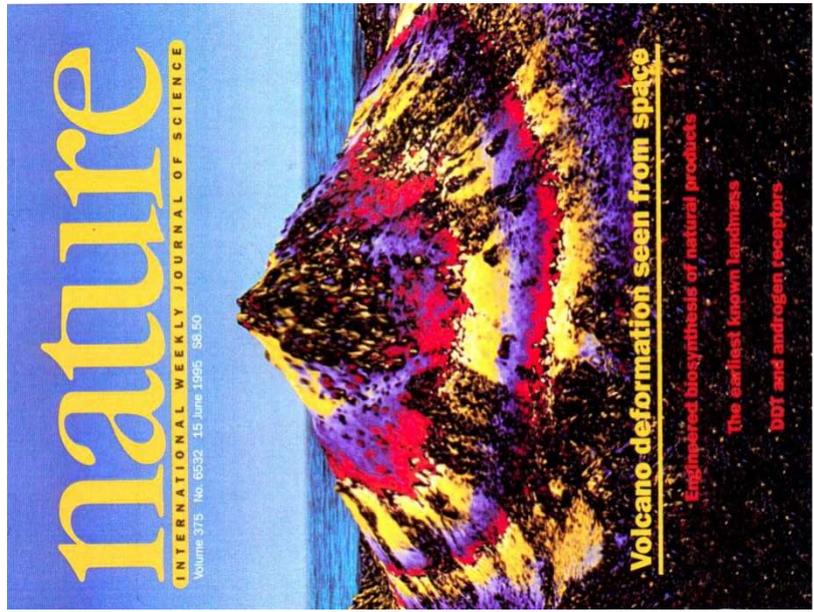
Invalides
Grand
Palais



SAR
ERS

ESA

Période 1995-2000



Definition

$$\Gamma = \frac{\langle z_1 z_2^* \rangle}{\sqrt{\langle z_1 z_1^* \rangle \langle z_2 z_2^* \rangle}}$$

$$\rho = \frac{|\langle z_1 z_2^* \rangle|}{\sqrt{\langle z_1 z_1^* \rangle \langle z_2 z_2^* \rangle}}$$

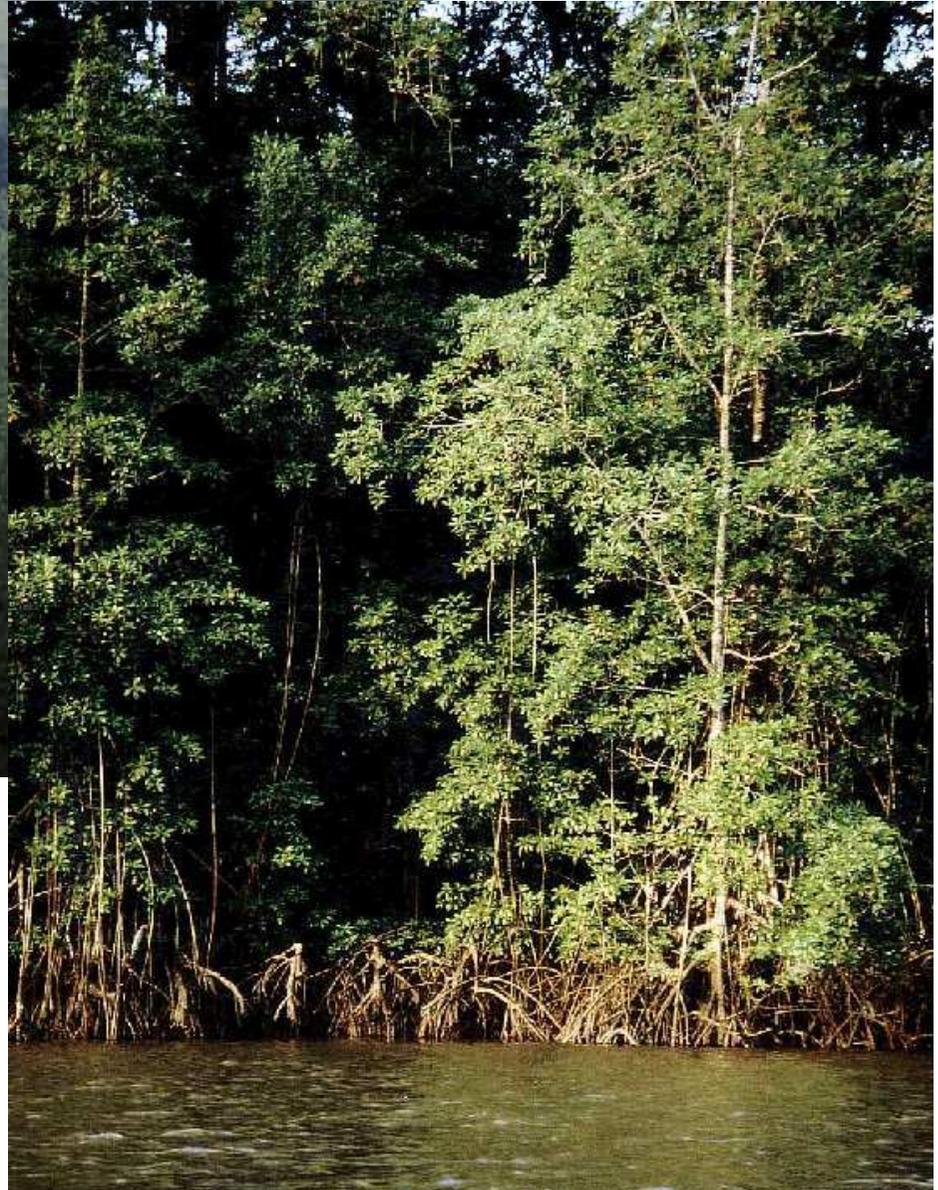
$$\rho \leq 1$$

$$Z_1 Z_2^* = A_1 e^{j\phi_1} A_2 e^{-j\phi_2}$$

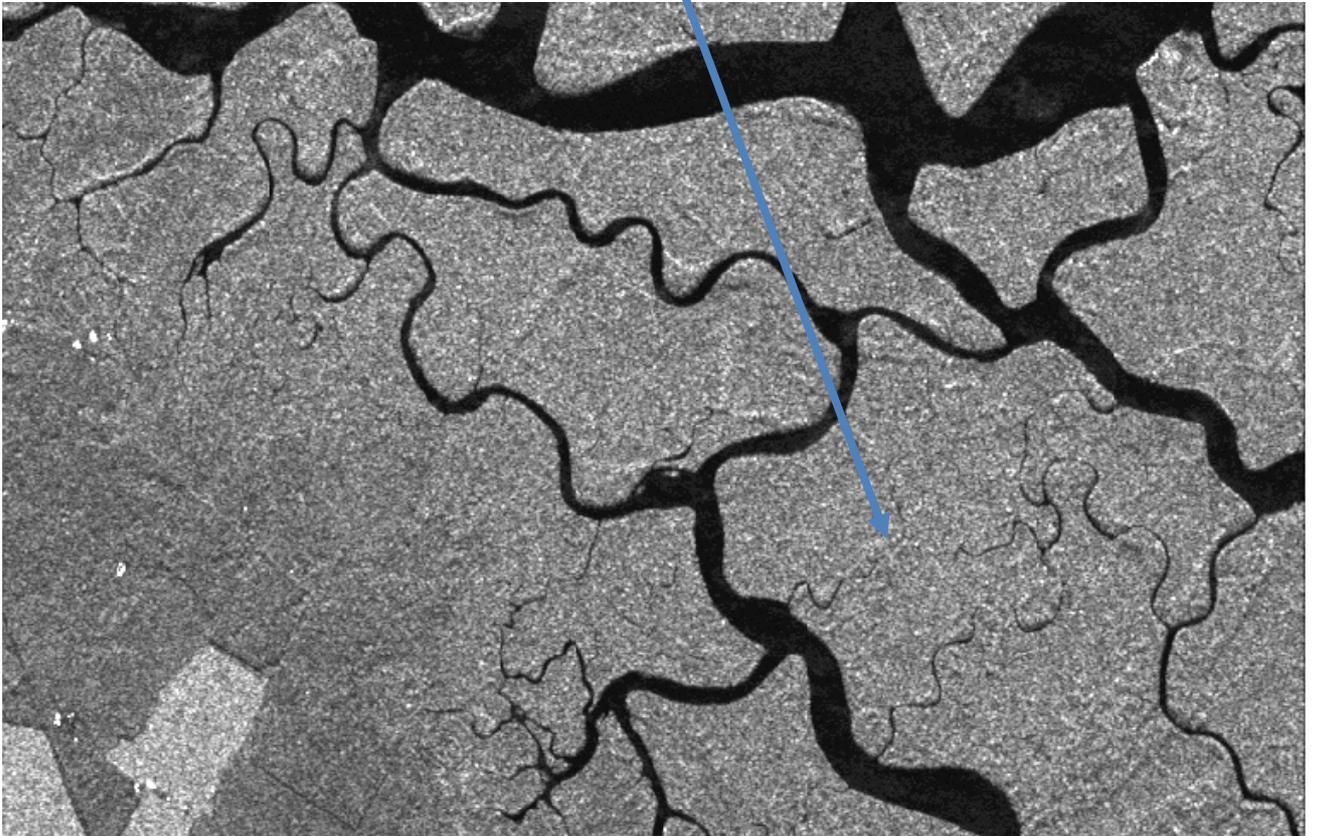
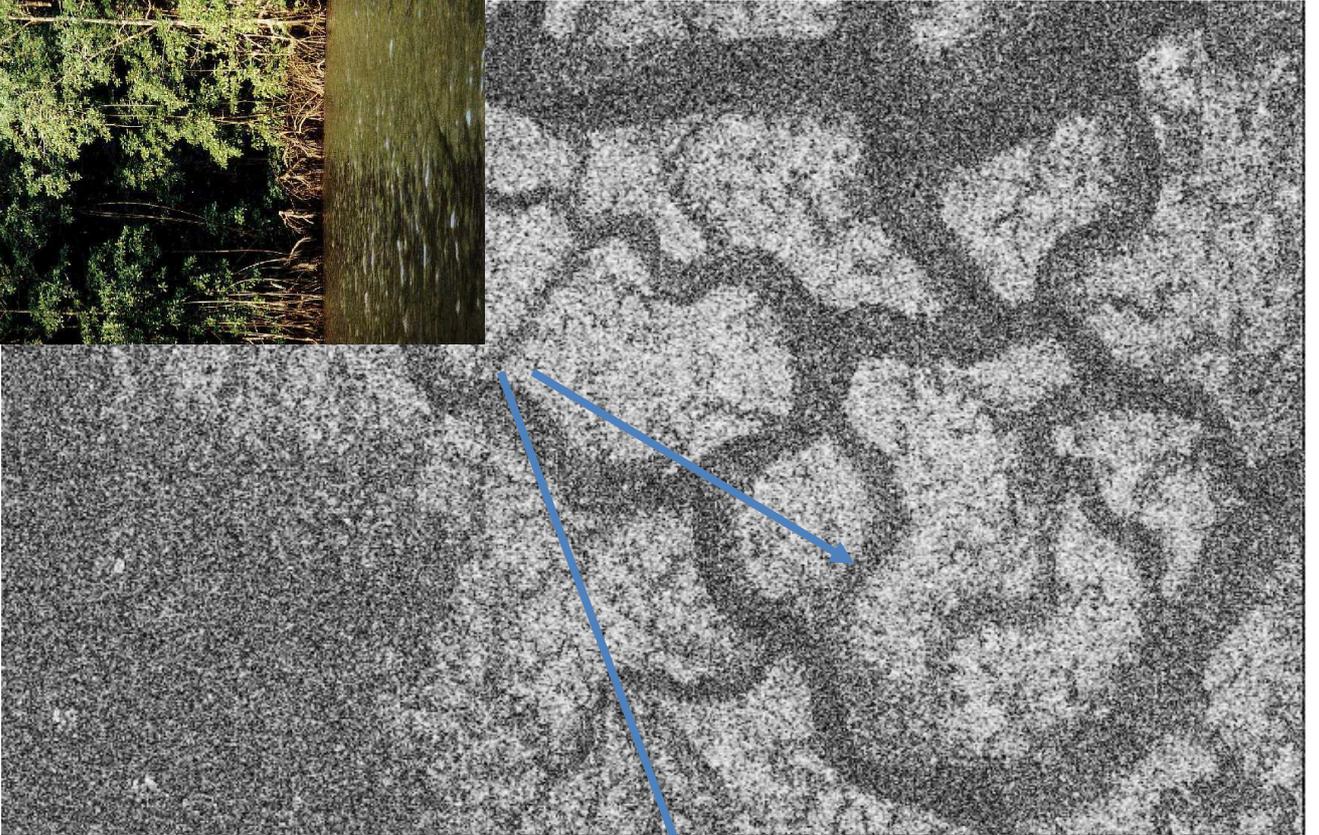
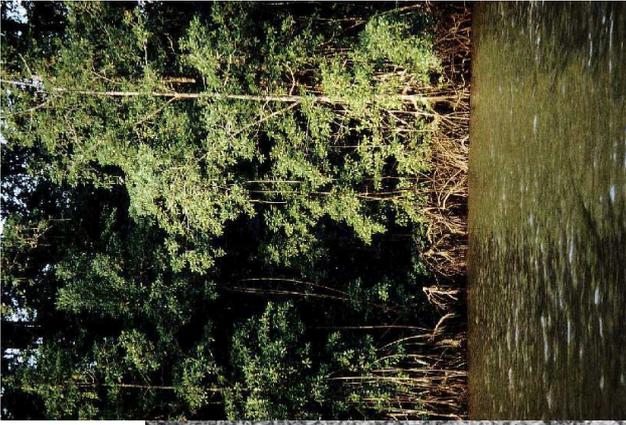
$$\phi_2 - \phi_1 \sim \text{cste} \Rightarrow \rho \sim 1$$

indicate stability of the surface

at centimetric scale

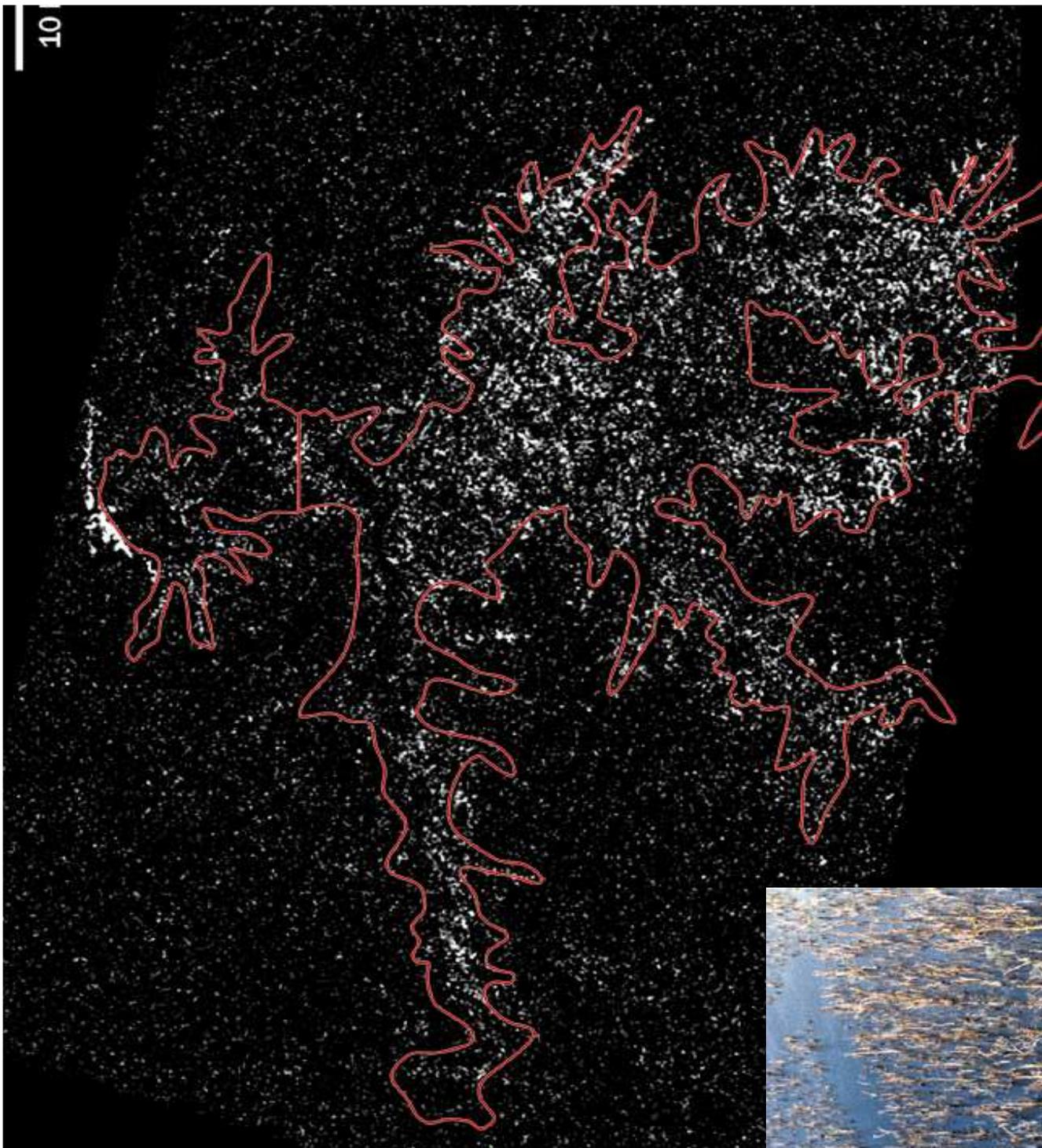


Coherence ERS 1 jour



Barrage de Petit-saut en Guyane





Synergie ?

Résolution spatiale

Expression du relief

Nature des Réponses optique et radar

+

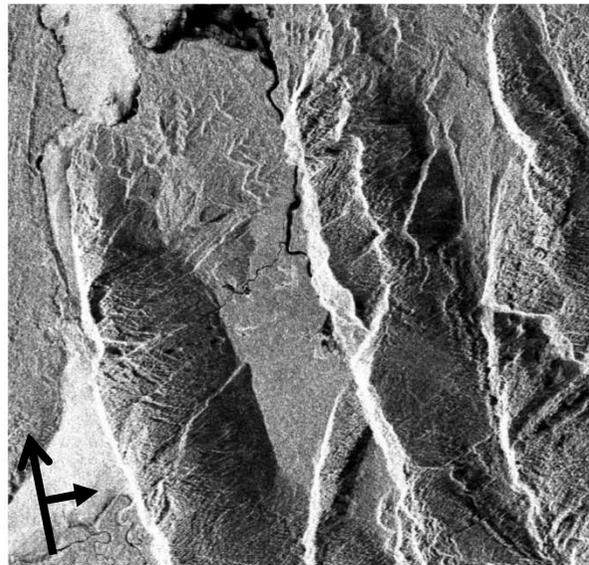
Extraction numérique de l'information géographique
(nettement) plus facile avec l'optique

Exercice: Geometrical deformations of remote sensing radar scenes

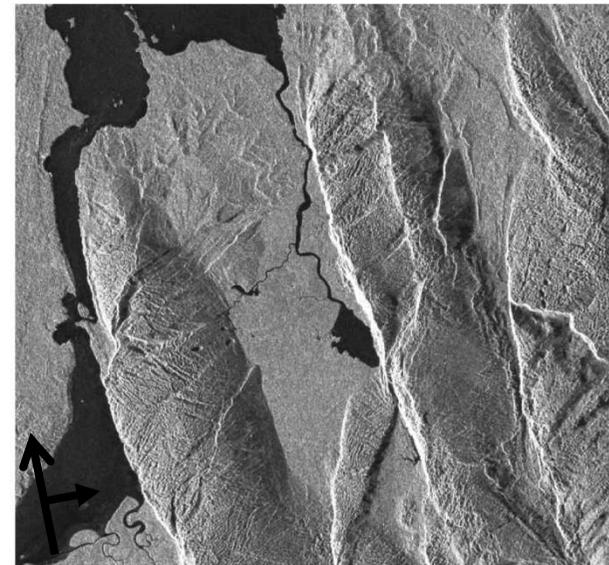
The distortions of radar satellite scenes are the consequence of geometric relationships between the radar pulse and the topography



Landsat 7 ETM+
ortho



ENVISAT-ASAR IS3
Low view angle
of 28°



ENVISAT-ASAR IS7
High view angle
of 43°



Use geometric distortions of radar scenes to calculate the slope

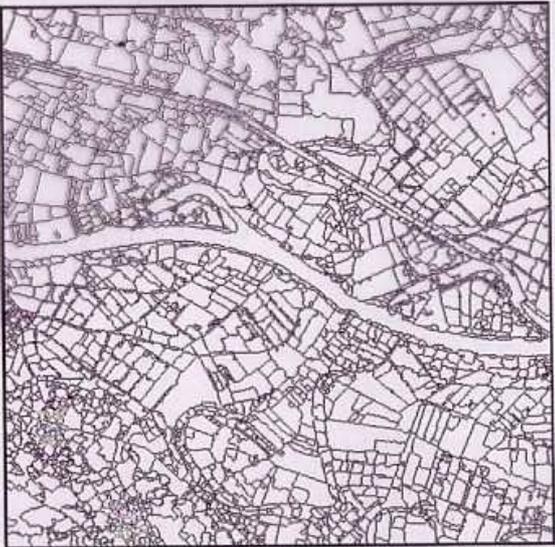
Copyright Orbital Eye / DLR - TerraSAR-X
Dutch company Orbital Eye

Usage conjoint optique radar





(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 4.4. Field-based classification procedure by combining optical with ERS-1 imagery.

(a) SPOT image of July 1992

(b) Segmentation of SPOT image based on ARKEMIE software

(c) ERS-1 multitemporal composite (red: May; green: July; blue: August)

(d) Segmentation based per field classification of multitemporal ERS-1 imagery: classification results: yellow = rice, white = other crops, brown = misclassified.

(Courtesy of J. Harms, Scot Consell).

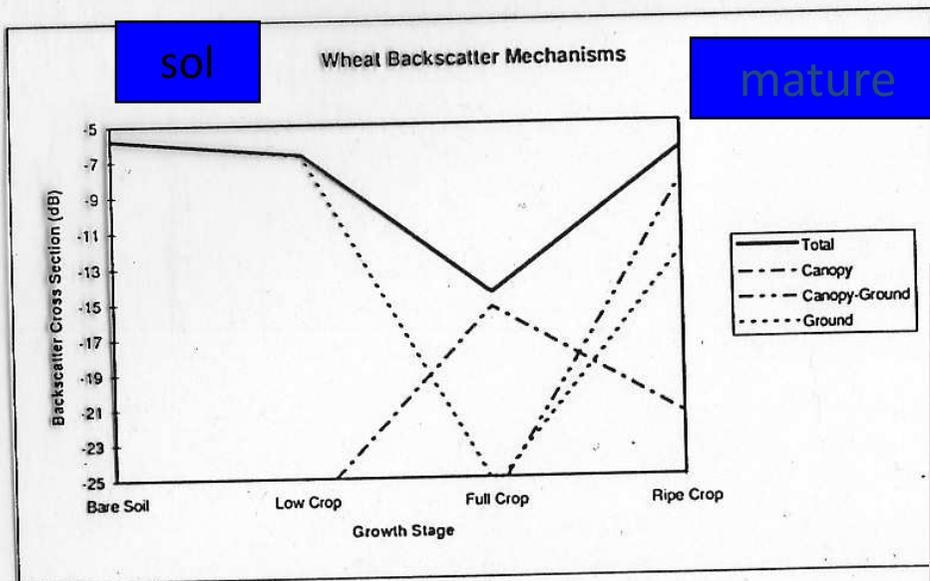


Figure 3.2. The changing contributions to the backscattered radar intensity as a crop develops.

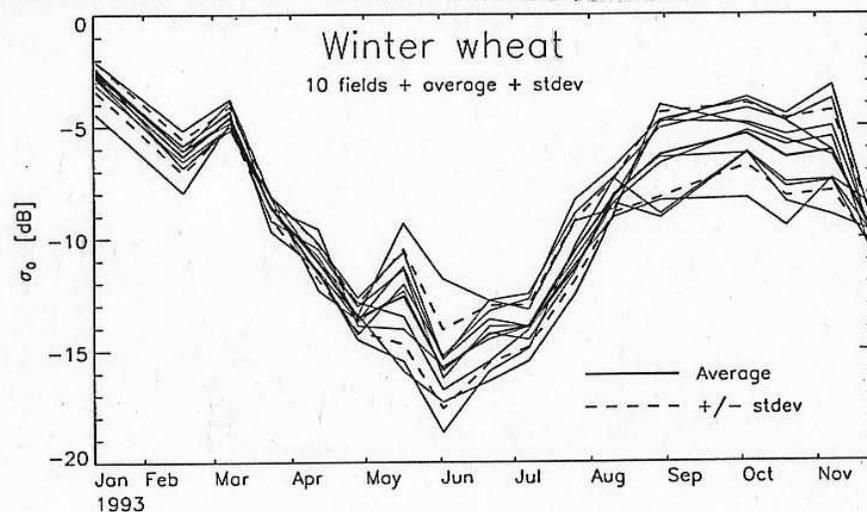


Figure 3.9. Between-field variability in winter wheat backscatter, The Netherlands 1993. (Courtesy of M. Borgeaud, ESA/ESTEC).

Signature temporelle

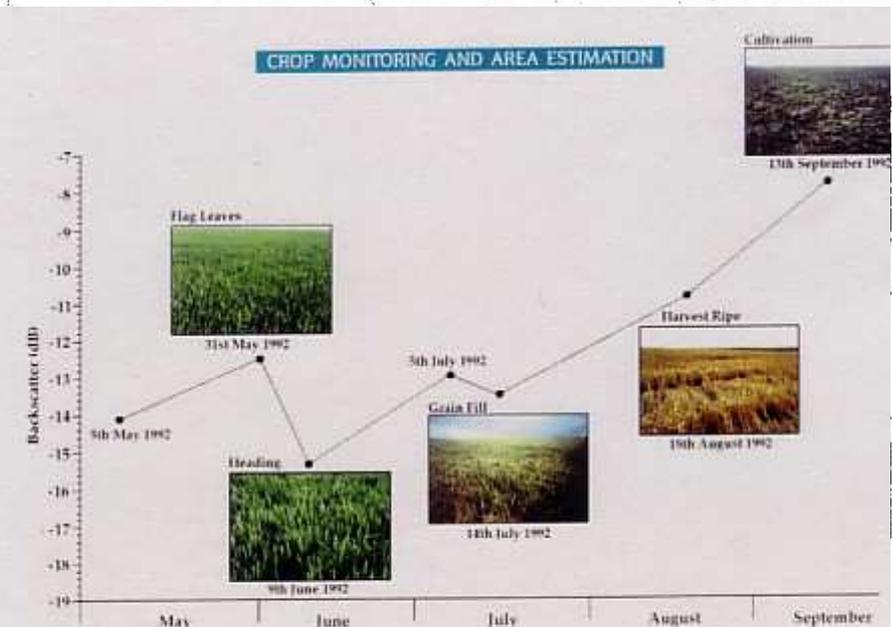


Figure 6.2. The temporal behaviour of agricultural crops over two crop growing seasons has been analysed in eastern The Netherlands. This has demonstrated the potential of multi-date ERS-1 SAR data for crop discrimination and mapping. The key to crop discrimination is the careful selection of a temporal series of SAR images to exploit the fact that crops have different temporal profiles. In the early part of the growing season, when crop canopies are well established, while bare soil conditions exist in fields where other crops are in the process of being sown. Later in the growing season, differences in the timing of harvest for particular crops may also result in large contrast in backscatter between differently cropped fields. Analysis of the temporal changes in crop backscatter has shown that they are characterised by unique temporal profiles, and this can be exploited for classification purposes. This Figure shows the appearance of a wheat crop through the crop season and the associated changes in ERS-1 SAR backscatter. (Courtesy of M. Wooding, Remote Sensing Applications Consultants, Alton, UK).

Devinettes



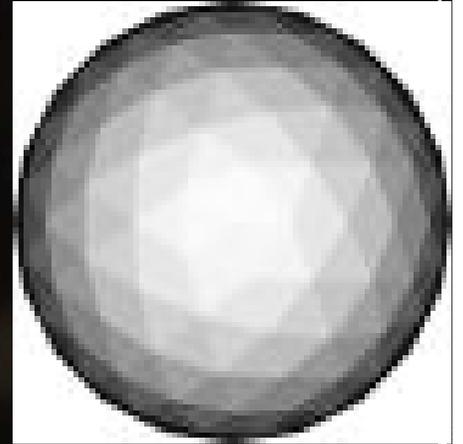


?





?



MERCI de VOTRE ATTENTION