

# Module Image

**Imagerie radar : Technique, exemples d'applications, et zoom sur la cartographie de l'humidité des sols par imagerie radar**

**Nicolas Baghdadi**

UMR TETIS - Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale

1. Rappel sur la technique radar
2. Exemples d'applications en surfaces continentales
3. Etat de la recherche sur la cartographie de l'humidité des sols en milieux agricoles

# Rappel sur la technique radar

## Définition du terme « Télédétection » ~ « Remote Sensing »

« La télédétection désigne la mesure ou l'acquisition d'informations sur un objet ou un phénomène, par l'intermédiaire d'un instrument de mesure n'ayant pas de contact avec l'objet étudié. C'est l'utilisation à distance de n'importe quel type d'instrument (avion, engin spatial, satellite...) permettant l'acquisition d'informations sur l'environnement. On fait souvent appel à des instruments tels qu'appareils photographiques, lasers, radars ... » *d'après Wikipédia*

## A: Illumination

Source (naturelle « Soleil » ou artificiel « capteur »)

→ émission d'un rayonnement électromagnétique qui est caractérisé par sa longueur d'onde

B: Interaction entre le rayonnement et l'atmosphère

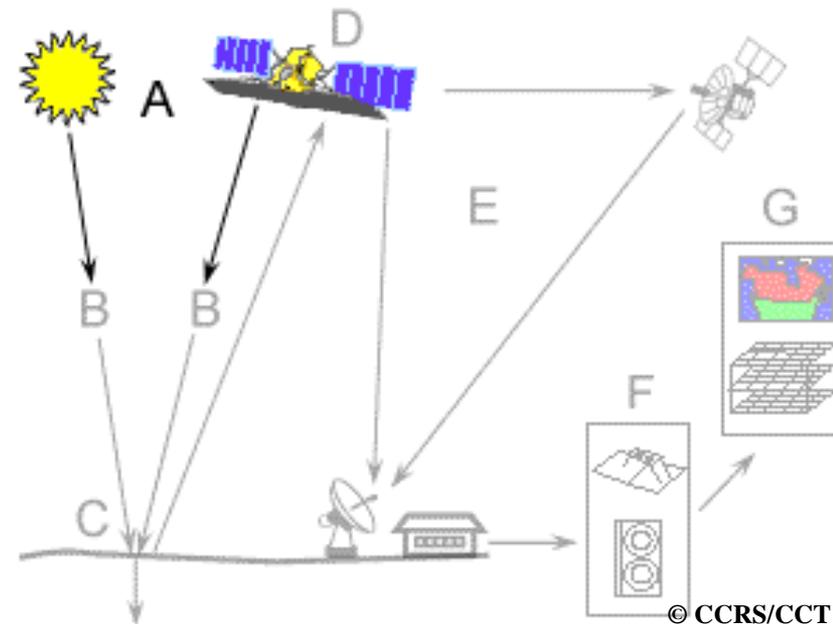
C: Interaction avec la cible

D: Enregistrement de l'énergie par le capteur

E: Transmission, réception et traitement

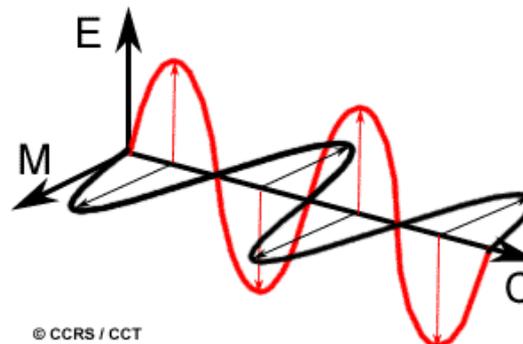
F: Interprétation et analyse

G: Applications



**Pour illuminer la cible, besoin d'une source d'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique.**

**Le rayonnement électromagnétique est composé d'un champ électrique (E) et d'un champ magnétique (M). Le champ électrique est orienté de façon perpendiculaire à la direction de propagation du rayonnement. Le champ magnétique est orienté de façon perpendiculaire au champ électrique. Les deux champs se déplacent à la vitesse de la lumière ( $c=300\ 000\ 000\ \text{m/s}$ ).**



**Rayonnement électromagnétique est définie par la longueur d'onde  $\lambda$  ou la fréquence (f)**

**Longueur d'onde = longueur d'un cycle d'une onde = distance entre deux crêtes successives d'une onde.**

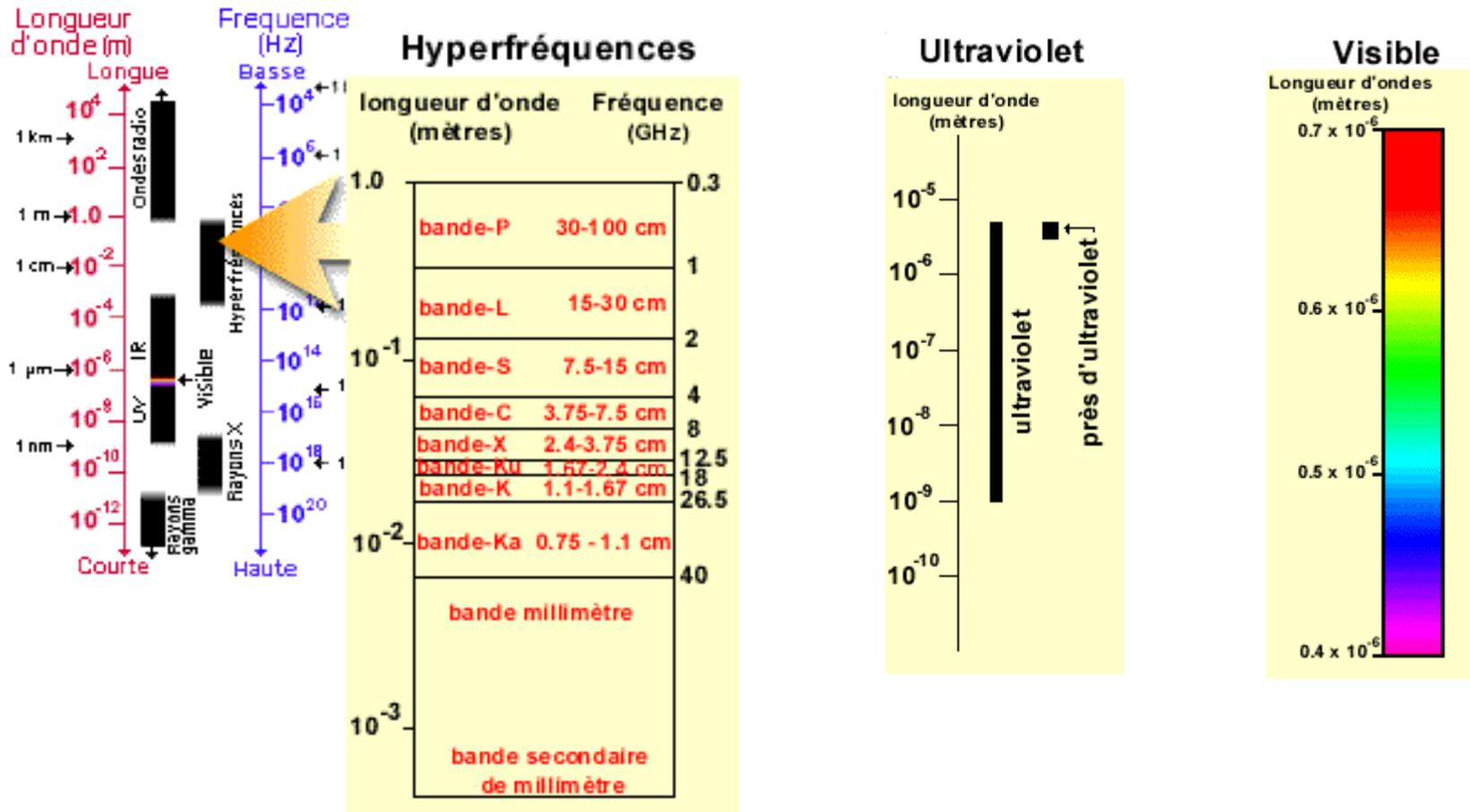
**Fréquence = nombre d'oscillations par unité de temps (en Hertz: Hz) (c.-à-d. en oscillations par seconde):**

$$c = \lambda \cdot f$$

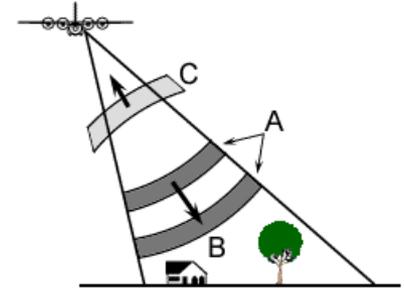


**Unités: m, cm, mm, nanomètres ( $nm=10^{-9}m$ ), micromètres ( $\mu m, 10^{-6}m$ ).**  
**MHZ= $10^6$  Hz, GHz= $10^9$  Hz**

- Courtes longueurs d'onde: rayons gamma et rayons X
- Grandes longueurs d'onde: micro-ondes et ondes radio
- Longueurs d'onde en télédétection: UV ⇒ Hyperfréquences



- RADAR = «Radio Detection And Ranging»
- Système actif = fournit sa propre source d'énergie électromagnétique
- Images jour et nuit
- Transparence de l'atmosphère → pas ou peu d'interaction entre le rayonnement émis et l'atmosphère (interactions ↑ quand  $\lambda \downarrow$ )
- Le radar illumine latéralement à angle droit par rapport au déplacement de la plate-forme. L'émetteur génère de courtes **impulsions** d'hyperfréquences (A) à intervalle régulier
- Les images radar sont produites par l'enregistrement des impulsions qui sont émises vers une cible et réfléchies par celle-ci, et ce, pendant une période donnée
- L'antenne reçoit une partie de l'énergie réfléchi (rétrodiffusée) (C)
- Le délai entre la transmission et la réception de l'impulsion rétrodiffusée détermine la distance au radar, donc la position



*À mesure que le capteur se déplace, le signal rétrodiffusé construit une **image** en deux dimensions de la surface illuminée par les hyperfréquences.*

- La **résolution** d'un système est sa capacité à discriminer deux objets rapprochés.
- La longueur des impulsions émises détermine la **résolution** dans la direction de propagation de l'énergie.
- La **résolution en distance** (range,  $\perp$  à la trajectoire):  $\delta_r = c\tau/2$   
c est la vitesse de la lumière =  $3 \cdot 10^8$  m/s ; le facteur 2 correspond au trajet aller-retour de l'onde.

Une haute résolution ( $\delta_r$  faible) exige une durée  $\tau$  la plus brève possible et donc une très grande puissance d'émission si l'on souhaite recevoir suffisamment d'énergie pour que le signal soit détectable.

Techniquement: on fait une **compression d'impulsion** avec un facteur  $\alpha = \tau \cdot \Delta f$  pour arriver à une résolution de l'ordre de la dizaine de mètres.

Pour ERS,  $\tau = 37.1 \mu\text{s}$  et  $\Delta f$  (largeur de bande) = 15.55 MHz,  $\alpha \approx 600$ : résolution 600 fois plus fine. Sinon une impulsion 600 fois plus courte!

- La résolution dépend dans la direction azimutale (direction de vol), de la longueur de l'antenne des systèmes radar: une longue antenne fournit une image détaillée, c'est-à-dire à grande résolution (haute résolution), d'une petite région, tandis qu'une courte antenne donne une image moins détaillée d'une région plus grande.

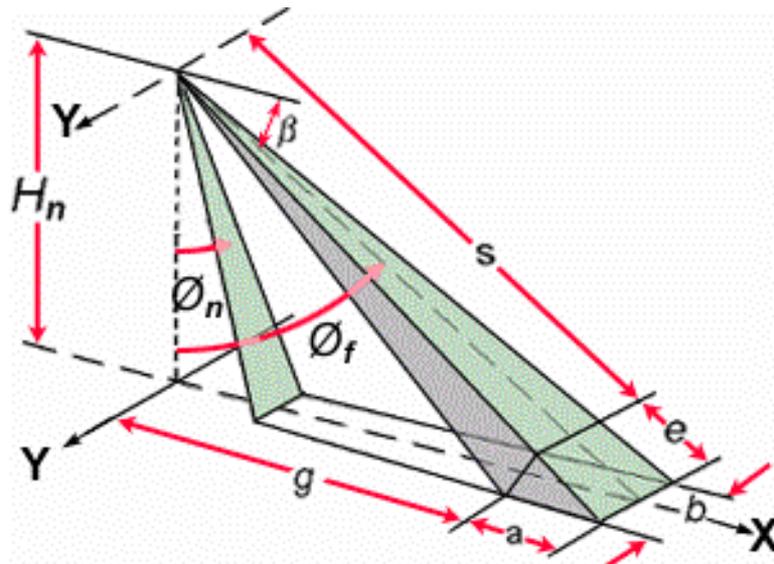
- Pour un radar classique, la **résolution en azimut** (le long de la trajectoire) :

$$\delta_{azi} = \lambda s / L$$

$\lambda$ : longueur d'onde ;  $s$ : est la distance ;  $L$  est la longueur de l'antenne

$\lambda/L$ : **ouverture angulaire du lobe d'antenne ou largeur du faisceau**

Les caractéristiques de ERS, ENVISAT et RADARSAT (bande C,  $\lambda=5,66\text{cm}$ ) conduiraient à une résolution azimutale d'environ 5km si on ne fait pas de traitements particuliers.



$H_n$  = Altitude du capteur

$\beta$  = Angle de dépression

$\theta_n$  = Angle d'incidence proximal

$\theta_f$  = Angle d'incidence distal

$s$  = Distance-temps

$g$  = Distance au sol

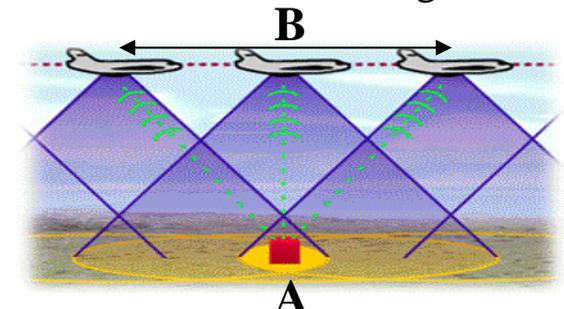
$a$  = Résolution en portée (en " X ")

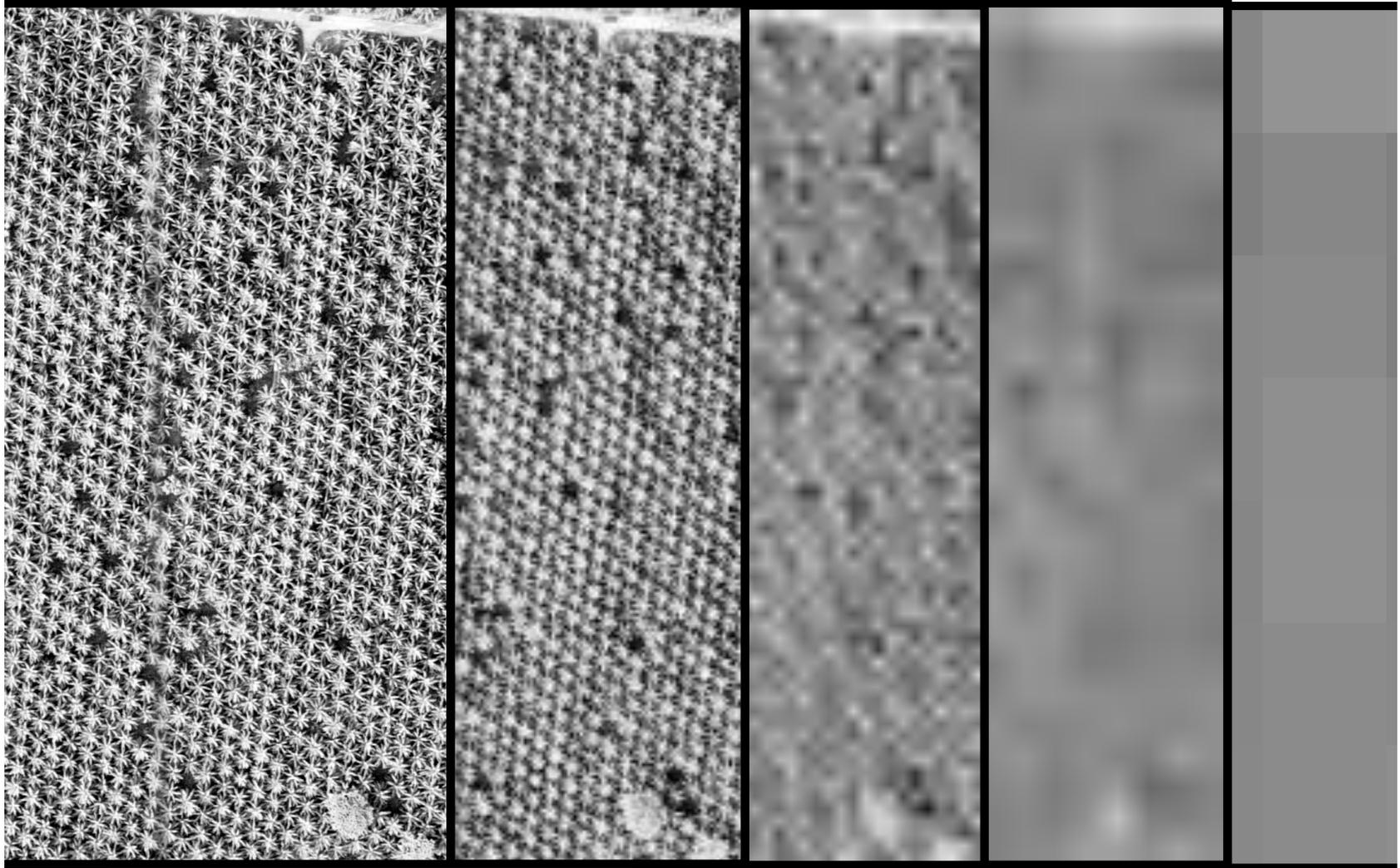
$b$  = Résolution azimutale (en " Y ")

$e$  = Résolution en distance-temps

- Un **radar à synthèse d'ouverture (RSO)** est un radar imageur qui effectue un traitement des données reçues afin d'améliorer la résolution en azimut.
- On peut diviser les radars de télédétection en deux grandes catégories - les antennes à ouverture réelle et les antennes à **synthèse d'ouverture**.
- Les radars à ouverture réelle émettent et reçoivent des signaux dans les hyperfréquences au moyen d'une antenne de longueur fixe. Ces radars ne peuvent fournir une résolution suffisamment fine, tout simplement parce qu'il est difficile de transporter une très longue antenne. Pour résoudre ce problème, on a mis au point les radars à synthèse d'ouverture (RSO). Les RSO ont une antenne physiquement plus courte, qui simule ou **synthétise** des antennes très longues. On y parvient en utilisant des techniques spéciales d'enregistrement des données et de traitement du signal.

- Deux grandes familles de RSO :
  - ✓ mono statique: une seule antenne est utilisée en émission et réception
  - ✓ bi ou multi statiques: des antennes différentes sont utilisées en émission et réception
  
- L'antenne du radar est fixée sur une face latérale du porteur. Elle a une ouverture azimutale assez grande (plusieurs degrés). Le temps de retour des échos s'effectuant à différents instants selon leur distance au radar.
  
- Comme le radar se déplace, le même point (A) est illuminé plusieurs fois, on obtient une série de données pour chaque point sous le radar. En combinant la variation d'amplitude et de phase de ces retours, le traitement de synthèse d'ouverture permet d'obtenir des images des zones observées comme si on utilisait une large antenne à très grande résolution.
  
- À mesure que la cible (A) se trouve devant le faisceau du radar, des échos rétrodiffusés provenant de chaque impulsion transmise commencent à s'enregistrer. À mesure que la plate-forme avance, tous les échos provenant de la cible pour chaque impulsion sont enregistrés. Le moment où la cible quitte le champ du faisceau détermine la longueur de l'antenne **synthétique** simulée (B).





**Résolution 0.1 m**

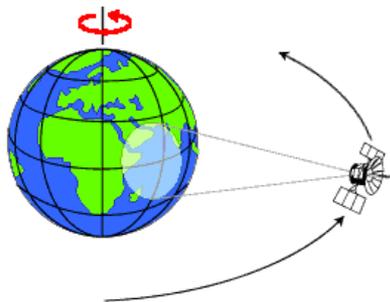
**0.5m**

**2m**

**5m**

**20m**

- **Orbite**= trajectoire effectuée par un satellite autour de la Terre.
- Choix d'une orbite est déterminé par l'altitude (la hauteur du satellite au-dessus de la surface de la Terre), l'orientation et la rotation du satellite par rapport à la Terre.
- **Orbite géostationnaire**=altitude très élevée et regardent toujours la même région de la surface de la Terre (36 000 kilomètres). Ils se déplacent à une vitesse qui correspond à celle de la Terre, donnant ainsi l'impression qu'ils sont stationnaires (satellites de communication et d'observation des conditions météorologiques).
- **Orbite quasi polaire**=orbite allant pratiquement du nord au sud ou vice versa. Cette configuration, combinée à la rotation de la Terre (ouest-est), fait qu'au cours d'une certaine période, les satellites ont observé la presque totalité de la surface de la Terre.
- La plupart des satellites sur orbite quasi-polaires ont aussi une orbite **héliosynchrone**; de cette façon, ils observent toujours chaque région du globe à la même **heure locale solaire**.



**Orbite géostationnaire**



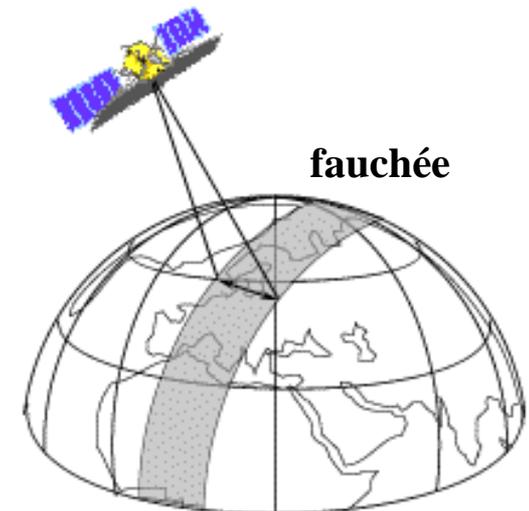
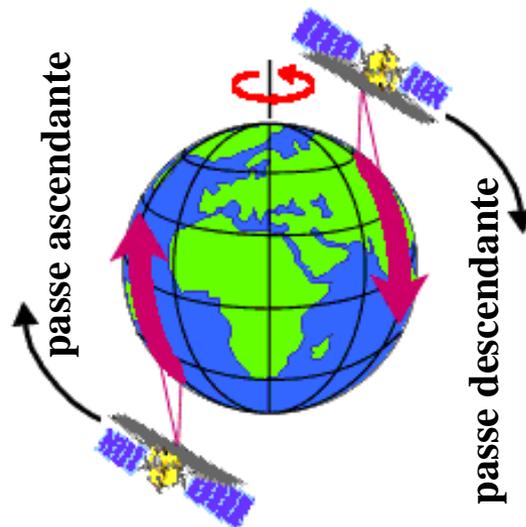
**Orbite quasi polaire**

- La plupart des plates-formes satellitaires sont placées sur orbite quasi-polaire.

→ Déplacement vers le nord d'un côté de la Terre, et vers le sud dans l'autre moitié de leur orbite. Ces deux types de passage du satellite se nomment respectivement **orbite ascendante (nuit)** et **orbite descendante (jour)**.

- Lorsqu'un satellite est en orbite autour de la Terre, le capteur "observe" une certaine partie de la surface. Cette surface porte le nom de **fauchée** (couloir-couvert):

Les capteurs sur plate-forme spatiale ont une fauchée dont la largeur varie généralement entre une dizaine et une centaine de kilomètres.



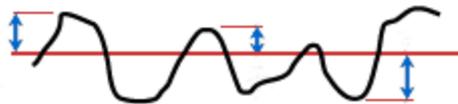
## Longueur d'onde " $\lambda$ "

- La **profondeur de pénétration** de l'onde radar est proportionnelle pour une surface donnée à la longueur d'onde radar. Avec des grandes longueurs d'ondes: mise en évidence des réseaux hydrographique en région désertique couverts par une couche de sable et qui sont invisibles sur des images optiques.

La profondeur de pénétration diminue lorsque l'humidité du milieu augmente (pas de pénétration dans l'eau).

- La sensibilité du radar à la **rugosité** dépend de la longueur d'onde ( $\lambda$ ) et de l'angle d'incidence ( $\theta$ ).

Rugosité: variation moyenne des aspérités de la surface par rapport à une surface plane.

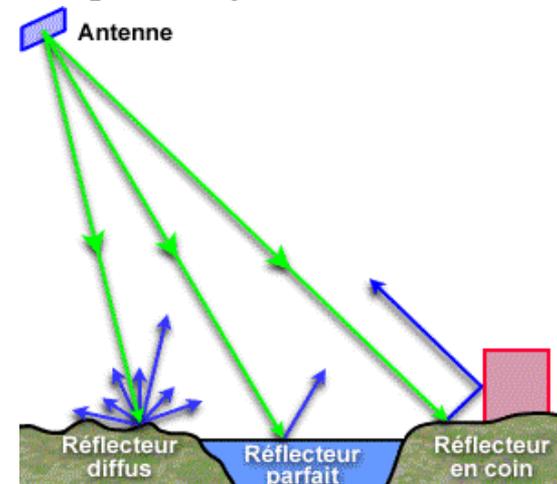


Rugosité de surface=rms

Une surface est considérée "**lisse**" si la variation verticale (rms) est beaucoup plus petite  $\lambda$ . Lorsque rms est de l'ordre de  $\lambda$ , la surface apparaît rugueuse ( $\text{rms} > \lambda/2$ ). Donc, une surface donnée apparaît plus **rugueuse** lorsque  $\lambda$  diminue, et plus douce lorsque  $\lambda$  augmente.

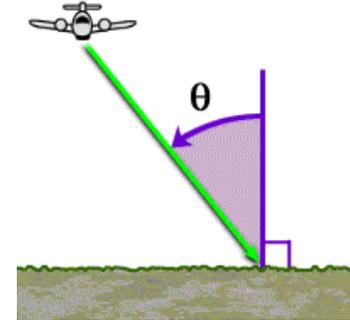
## Longueur d'onde " $\lambda$ "

- Les surfaces lisses, qui réfléchissent presque toute l'énergie incidente en direction opposée au radar sont appelées **réflecteurs spéculaires**. Ils apparaissent foncées sur les images radar (eau calme, ...).
- Les surfaces rugueuses diffusent l'énergie des hyperfréquences incidentes dans de nombreuses directions (**réflexion diffuse**). Les surfaces recouvertes de végétation provoquent la réflexion diffuse des hyperfréquences, et apparaissent donc comme des zones claires sur les images radar.
- Pour  $\lambda$  donnée, une surface paraît plus lisse au fur et à mesure que  $\theta$  augmente.



## Angle d'incidence ( $\theta$ )

- $\theta$  est l'angle entre le faisceau du radar et l'objet ciblé
- $\theta$  peut être déterminé pour chaque pixel d'une image

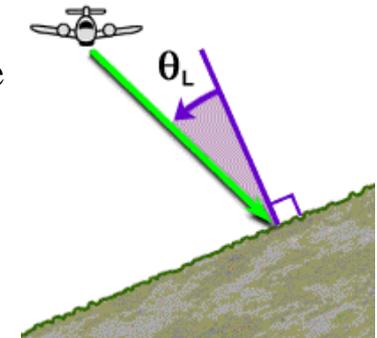


- Les  $\theta$  des satellites varient moins que les  $\theta$  des plates-formes aéroportées, car leur altitude est beaucoup plus élevée. Ceci donne une illumination plus uniforme sur les images spatiales que sur les images aéroportées.

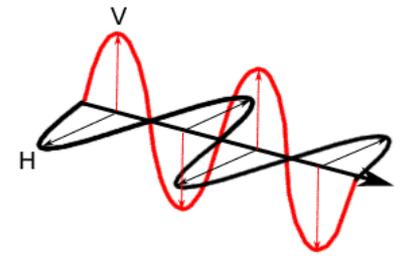
- Pour comprendre la relation entre la surface (géométrie, rugosité et humidité) et la tonalité de l'image, l'utilisation de l'**angle d'incidence** local est plus appropriée ( $\theta_L$ ).

$\theta_L$  se définit comme étant l'angle mesuré entre le faisceau radar et la normale à la pente au point d'incidence: tient compte de la pente locale du terrain par rapport au faisceau radar.

En général, les pentes faisant face au radar auront un petit  $\theta_L$  causant un fort signal rétrodiffusé vers le capteur.



## Polarisation



L'onde électromagnétique émise par une antenne est composée d'une variation du champ électrique et du champ magnétique ayant des axes orthogonaux. Le champ électrique détermine le plan de polarisation de l'onde.

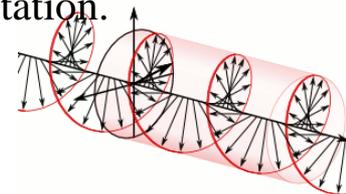
Les radars utilisent une polarisation verticale, horizontale et circulaire pour détecter différents types de réflexions.

Des antennes orientées verticalement ou horizontalement sont conçues pour recevoir des ondes polarisées respectivement dans ces deux directions:

- Dans les ondes polarisées verticalement, le champ électrique varie dans l'axe vertical ;
- Dans les ondes polarisées horizontalement, le champ électrique varie horizontalement

Plusieurs images simultanées sont générées en utilisant des faisceaux polarisés différents. Comme les cibles rencontrées (sol, feuillage, édifices...) ont des propriétés polarisantes différentes, l'intensité venant des différentes ondes va varier avec le type de cibles rencontrées (matériaux, formes, mécanismes de « rebonds »).

La polarisation circulaire d'un rayonnement est une polarisation où la norme du vecteur du champ  $E$  ne change pas alors que son orientation change selon un mouvement de rotation.

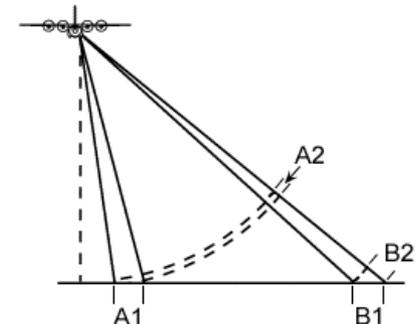


## Speckle (chatoiement)

- Les images radars contiennent du bruit appelé **speckle (chatoiement)**. Cet effet se manifeste comme une texture poivre et sel sur les images. Le chatoiement est produit par l'interférence aléatoire, provenant de la diffusion multiple qui se produit dans chaque cellule de résolution.
- Par exemple, sans l'effet de chatoiement une cible homogène comme par exemple une prairie apparaîtrait en tons homogène (plus clairs). Mais la réflexion provenant de chaque brin d'herbe à l'intérieur de chaque cellule de résolution produit des pixels plus clairs et d'autres plus sombres que la moyenne, de sorte que le champ apparaît tacheté.

## Distorsion

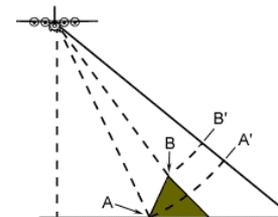
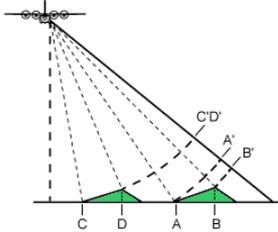
- La distorsion due à l'échelle oblique se produit parce que le radar mesure la distance des objets obliquement au lieu de mesurer la vraie distance horizontale au sol. Bien que les cibles A1 et B1 soient physiquement de la même grandeur, leurs dimensions paraissent différentes dans la portée proximale (A2 et B2).



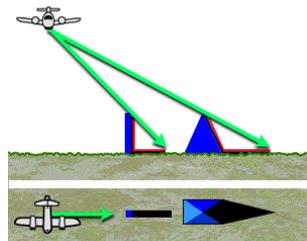
## Distorsion

Les images radars montrent des distorsions géométriques dues au **déplacement du relief (ou repliement)**. Ce déplacement est perpendiculaire à la direction du vol. Ce déplacement s'effectue vers le capteur. Ce déplacement existe sous deux formes:

1. Quand le faisceau radar atteint la base d'une grande structure inclinée vers le radar (par exemple une montagne) avant d'atteindre son sommet, il peut se produire du **repliement**. Un maximum de repliement se produit quand le faisceau radar est perpendiculaire à la pente, de manière à ce que la pente, la base et le sommet soient vus simultanément (C à D → C' à D').
2. Quand le faisceau radar atteint le sommet d'une cible élevée (B) avant d'atteindre sa base (A). Le signal de retour du sommet de la cible sera reçu avant le signal de la base.



Les deux effets de repliement provoquent des ombres radars. Ces **ombres** se produisent lorsque le faisceau n'est pas capable d'illuminer la surface du sol.



## PRODUITS IMAGES

### Sentinelle 1

<b>Mode d'imagerie</b>	Radar
<b>Bandes spectrales</b>	Bande C (~ 6 cm de longueur d'onde)
<b>Incidence</b>	18° - 47°
<b>Polarisation</b>	HH, VV, HH+HV, VV+VH
<b>Résolution spatiale</b>	10 m
<b>Capacité d'observation</b>	Fauchée : 250 km Répétitivité : 12 jours (1 satellite) / 6 jours (2 satellites)
<b>Couverture systématique</b>	Zone : monde Période : 2015 - présent
<b>Produits</b>	Brut
<b>Accès</b>	Tous utilisateurs sur <a href="http://scihub.esa.int">scihub.esa.int</a> Tous utilisateurs sur <a href="http://peps.cnes.fr">peps.cnes.fr</a>
<b>Exemple</b>	



Image radar Sentinelle 1A de l'agglomération de Lisbonne (Portugal) © Copernicus data/ESA (2014)

## PRODUITS IMAGES



### Cosmo-SkyMed

<b>Mode d'imagerie</b>	Radar
<b>Bandes spectrales</b>	Bande X (~ 3 cm longueur d'onde)
<b>Incidence</b>	20° - 60°
<b>Polarisation</b>	HH, VV, HH+HV, VV+VH, HH+VV
<b>Résolution spatiale</b>	A partir de 1 m
<b>Capacité d'observation</b>	Fauchée : à partir de 10 km Répétitivité : quotidienne (programmable)
<b>Couverture</b>	Zone : France, Amérique du Sud, Asie Période : 2013 - 2014
<b>Produits</b>	Brut
<b>Accès</b>	Acteurs publics nationaux sur <a href="http://ids.equipex-geosud.fr">ids.equipex-geosud.fr</a> (archive et programmation)
<b>Exemple</b>	



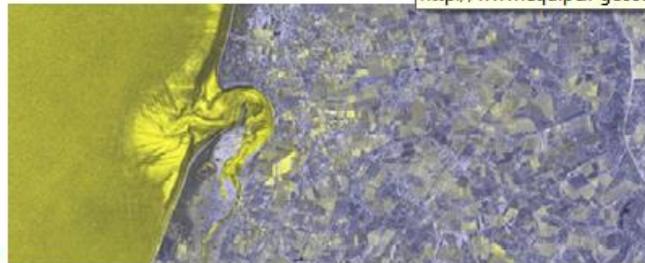
Image Cosmo-SkyMed acquise le 6 juin 2013 en couleurs RGB - Etang de Berre (Bouches du Rhône) ©ASI

## PRODUITS IMAGES



### TerraSAR-X

<b>Mode d'imagerie</b>	Radar
<b>Bandes spectrales</b>	Bande X (~ 3 cm longueur d'onde)
<b>Incidence</b>	20° - 60°
<b>Polarisation</b>	HH, VV, HH+HV, VV+VH, HH+VV
<b>Résolution spatiale</b>	A partir de 1 m
<b>Capacité d'observation</b>	Fauchée : à partir de 10 km Répétitivité : quotidienne (programmable)
<b>Couverture</b>	Zone : France, Amérique du Sud, Asie Période : 2003 - 2009 - 2017
<b>Produits</b>	Brut
<b>Accès</b>	Acteurs publics nationaux sur <a href="http://ids.equipex-geosud.fr">ids.equipex-geosud.fr</a> (archive et programmation)
<b>Exemple</b>	<a href="http://www.equipex-geosud.fr/">http://www.equipex-geosud.fr/</a>

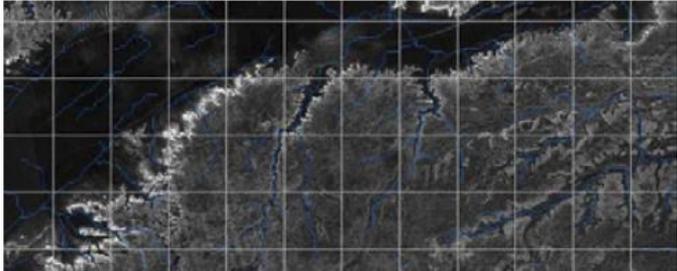


Images radar TerraSAR-X stripmap en dual-pol (HH-HV) sur le havre de Briqueville ©  
Franck Garestier, UMR 6143 M2C

## PRODUITS IMAGES



### Palsar

<b>Mode d'imagerie</b>	Radar
<b>Bandes spectrales</b>	Bande L (1270 MHz)
<b>Incidence</b>	34°
<b>Polarisation</b>	HH
<b>Résolution spatiale</b>	100 m
<b>Capacité d'observation</b>	Observation unique, carré de 1° x 1° (superposable SRTM)
<b>Couverture</b>	Zone : Sahara, Arabie Période : 2007-2008
<b>Produits</b>	Image au format JPEG (mentionner la JAXA comme source de données)
<b>Accès</b>	Tous utilisateurs (usage non-commercial) sur <a href="http://sahasar.obs.u-bordeaux1.fr">http://sahasar.obs.u-bordeaux1.fr</a>
<b>Exemple</b>	

Extrait du pavé 1° x 1° de la couverture PALSAR avec la couche vectorielle HydroSHEDS

Quatre étapes:

1. Pré-traitement
2. Rehaussement de l'image
3. Transformation de l'image
4. Classification et analyse de l'image

- **Pré-traitement:** opérations requises avant l'analyse et l'extraction de l'information: **corrections radiométriques (calibration)** et **corrections géométriques**.

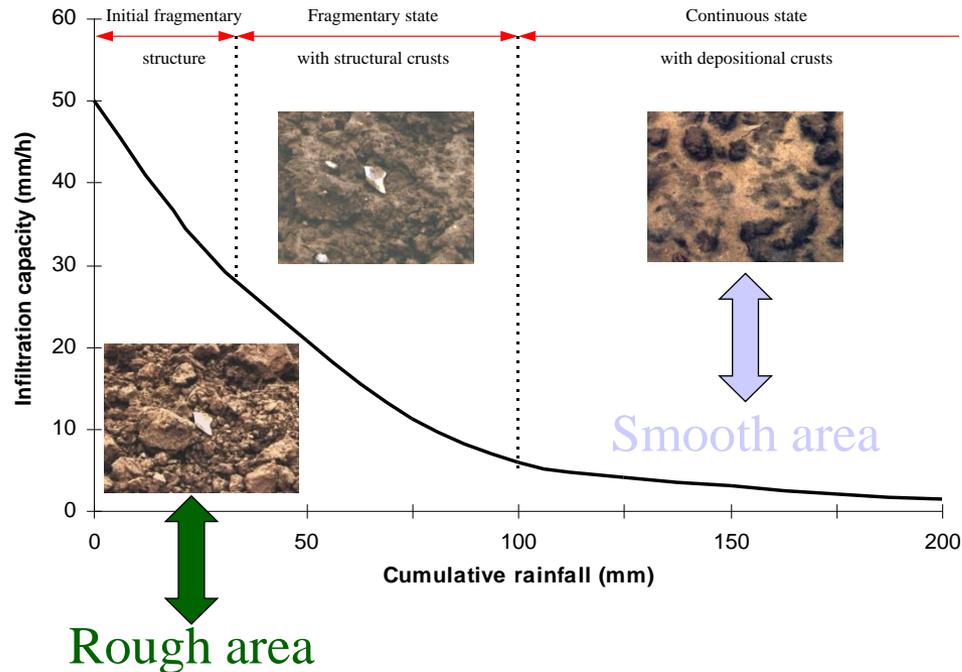
Les corrections radiométriques peuvent être nécessaires à cause des variations dans l'illumination et dans la géométrie de visée d'une scène, des conditions atmosphériques, du bruit et de la réponse du capteur. Chacun de ces facteurs variera selon le capteur et la plateforme utilisés, et selon les conditions d'acquisition des données. Aussi, il peut être souhaitable de convertir et de calibrer les données avec une unité de rétrodiffusion connue (absolue) pour faciliter la comparaison entre les données: coefficient de rétrodiffusion.

- Pour référencer correctement des images radars avec des informations cartographiques et avec des images d'autres provenances, ces distorsions géométriques doivent être corrigées par une opération de **géocodage** utilisant un modèle numérique de terrain.

# Exemples d'applications en surfaces continentales

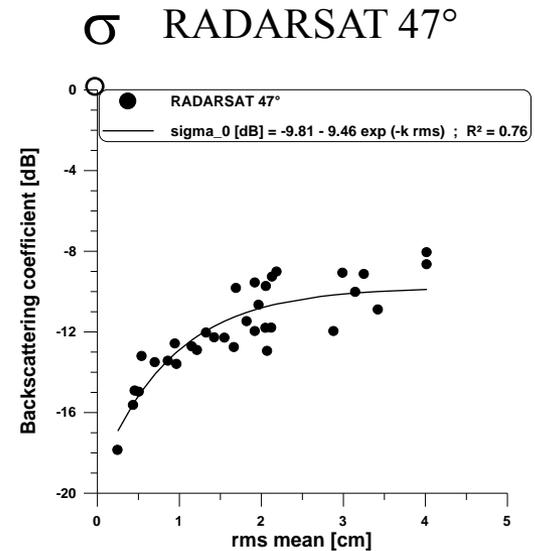
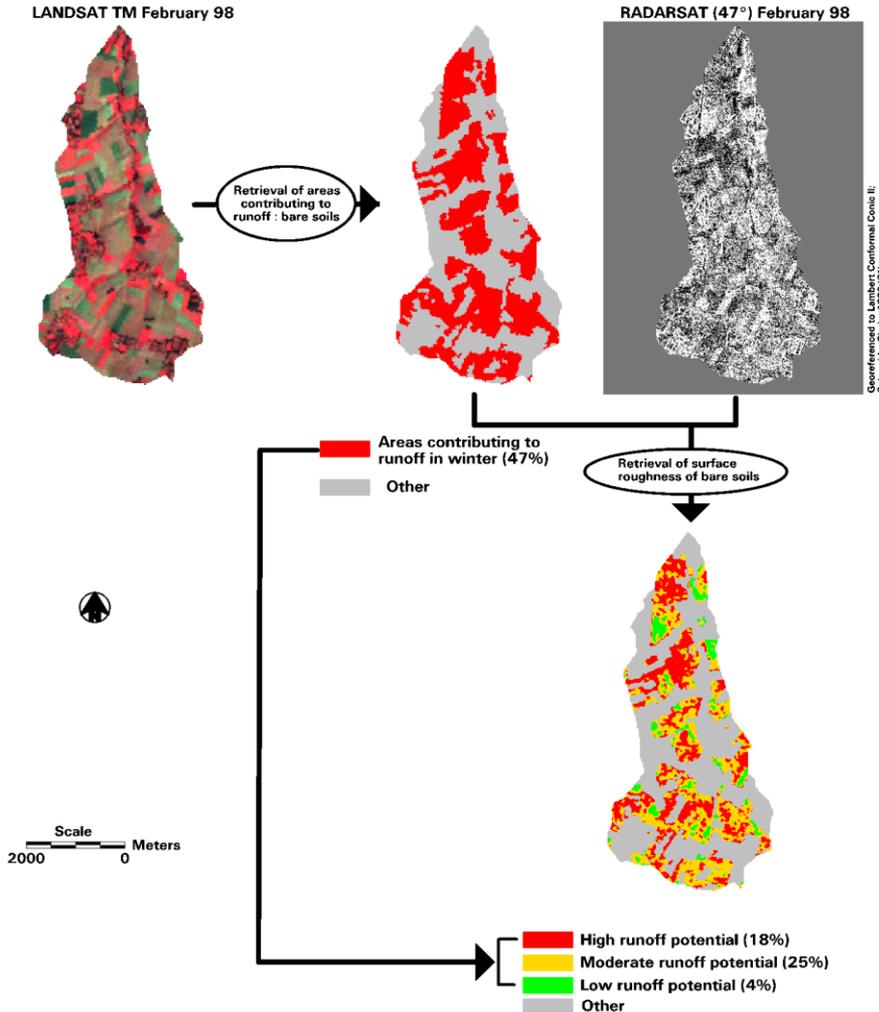
# Apport de la télédétection radar pour l'amélioration des schémas de surface des modèles d'écoulement (1/2)

- Rugosité de surface permet de capter l'eau, aide à l'infiltration et réduit le ruissellement



# Apport de la télédétection radar pour l'amélioration des schémas de surface des modèles d'écoulement (2/2)

Use of SAR data for monitoring surfaces potentially contributing to runoff in an agricultural context



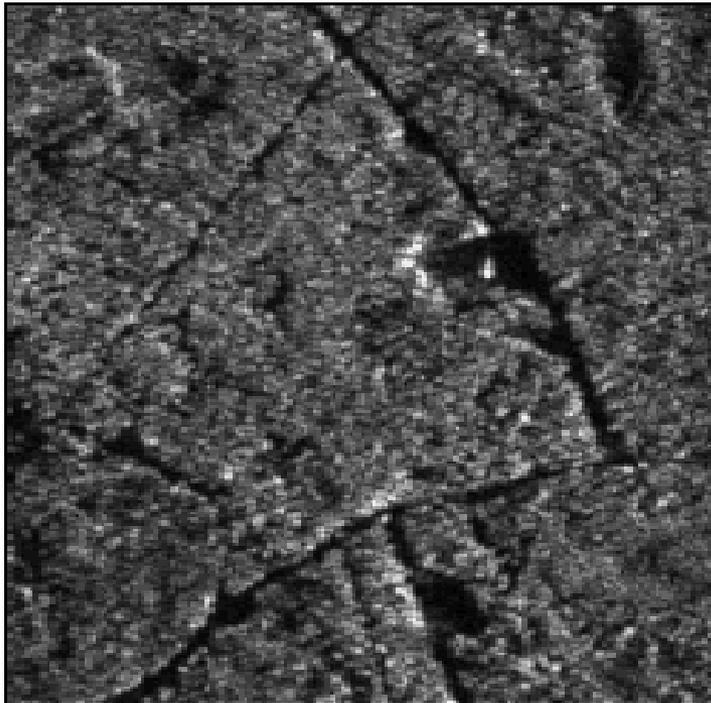
rms

rugosité : accès par radar

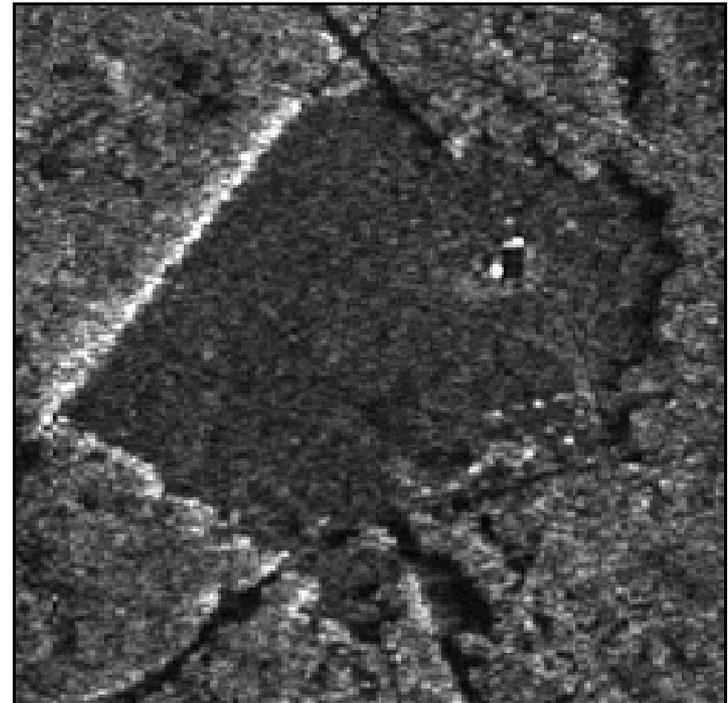
Cartographie des surfaces contributives au ruissellement

## Applications en Foresterie

- Les zones de coupe doivent être cartographiées de façon régulière pour la mise à jour des bases de données forestières. L'imagerie RSO qui peut être acquise à n'importe quel moment spécifique de l'année, peu importe le niveau d'éclairage et les conditions atmosphériques, rend possible la mise à jour des inventaires forestiers à des périodes prédéterminées.



C-HH SAR: Whitecourt, Alberta, 03/18/91

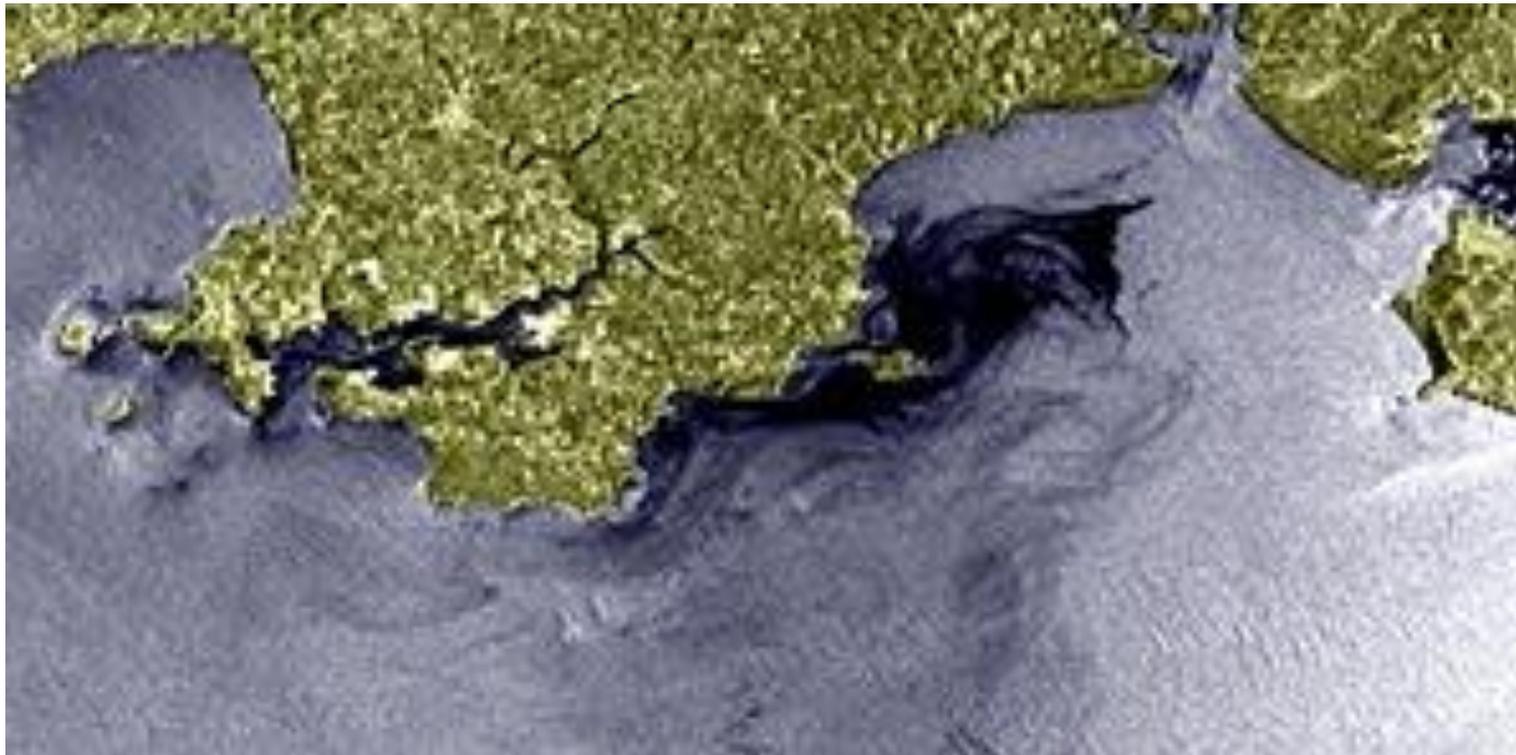


C-HH SAR: Whitecourt, Alberta, 02/08/92

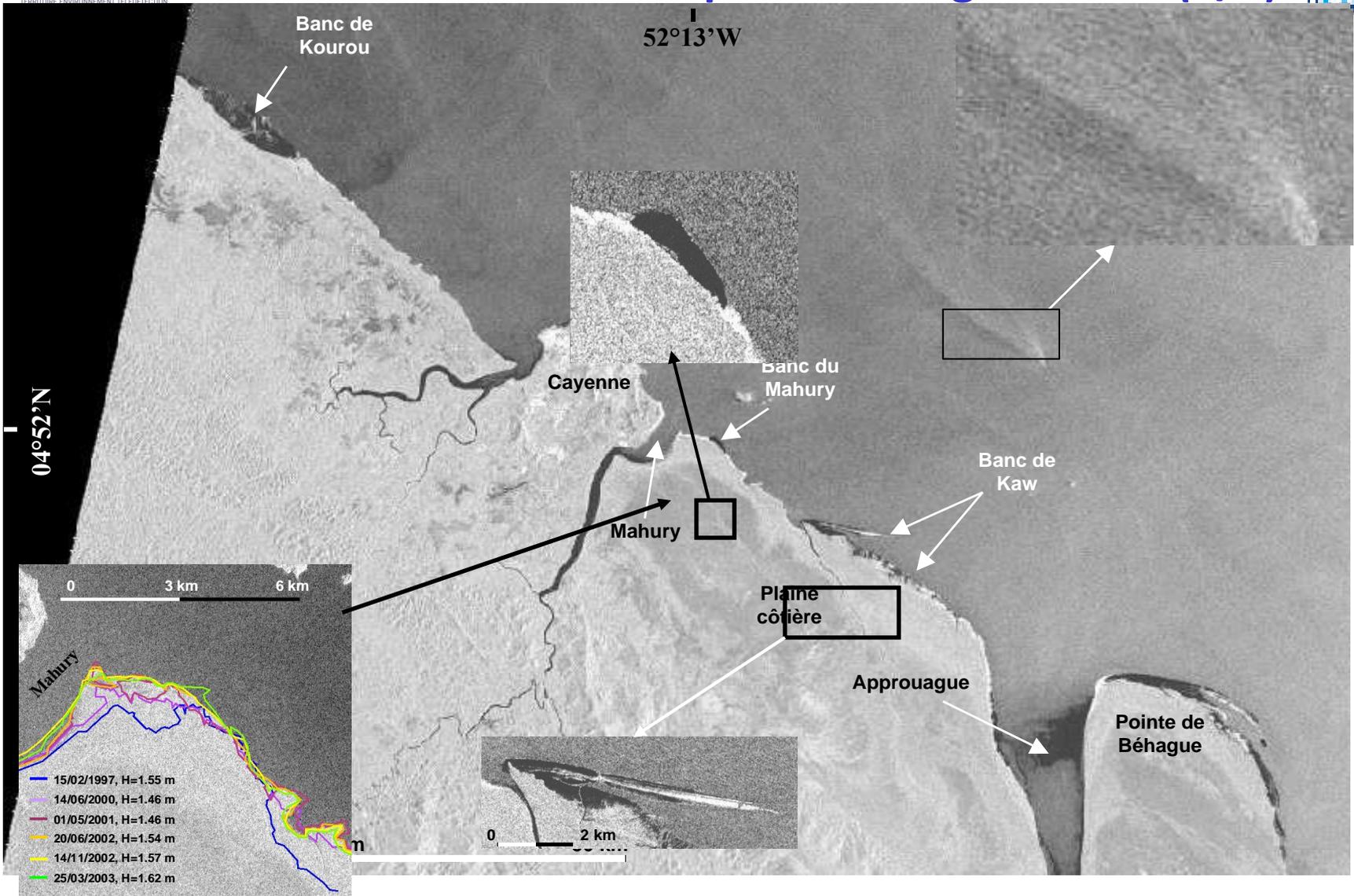
## Détection des nappes d'hydrocarbures

1. Localiser la nappe
2. Déterminer le volume et l'étendue du déversement

- Le pétrole qui flotte sur la surface de l'eau supprime les vagues capillaires de l'océan, ce qui crée une surface plus lisse que l'eau environnante. Cette surface lisse paraît foncée sur une image radar.

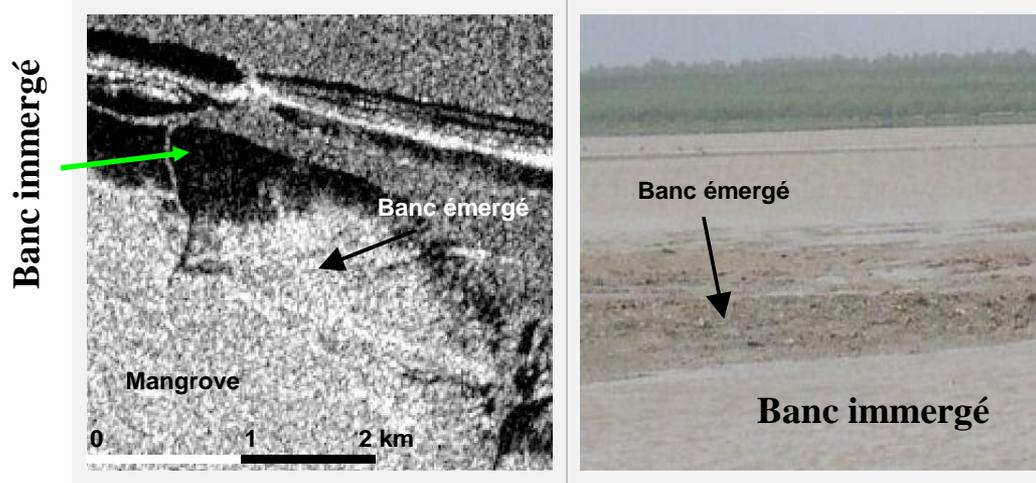


# Détection des bancs de vase à partir d'images radars (1/2)

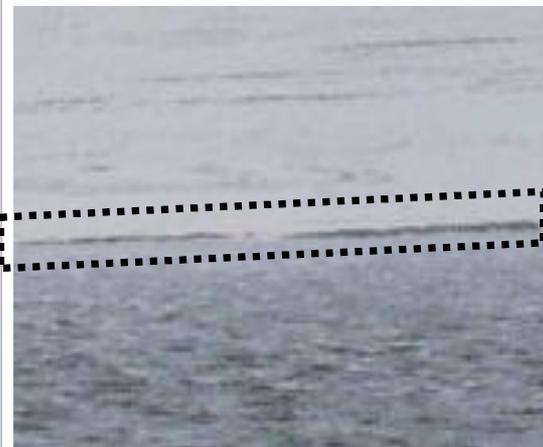


*Le déplacement continu des bancs de vase en provenance de l'Amazonie a un impact très important sur l'économie guyanaise (érosion, pb de navigation, ...).*

# Détection des bancs de vase à partir d'images radars (2/2)



Surface lisse d'un lac de vase



Limite entre lac de vase et eau

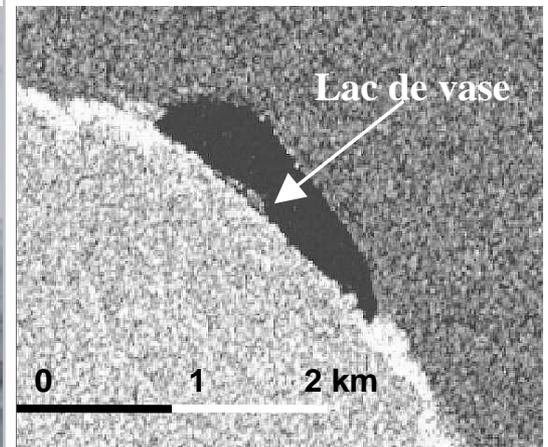
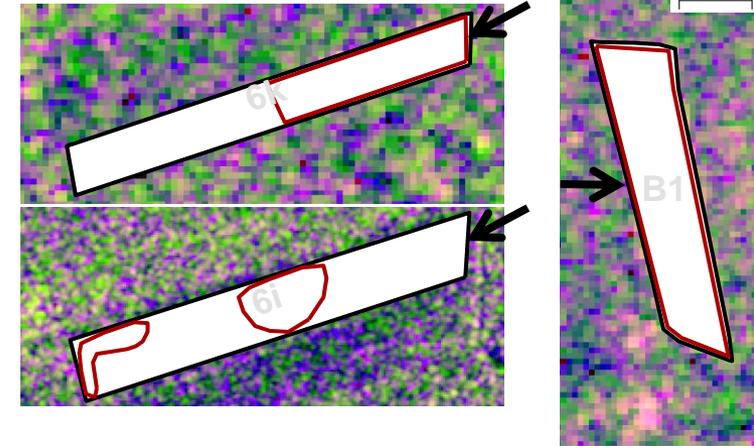


Image RADARSAT du 14/11/2002

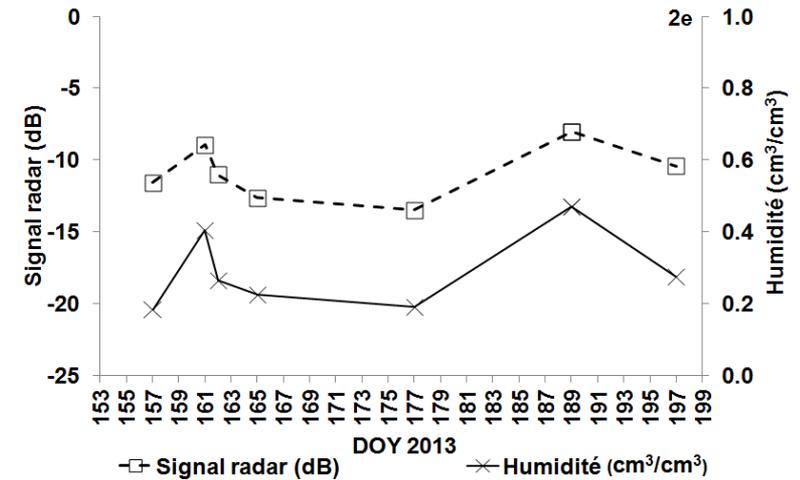
## ➤ Suivi de l'irrigation

Les radars sont capables de détecter les activités d'irrigation → forte augmentation du signal radar.



## ➤ Suivi de l'humidité du sol

Les radars permettent de suivre l'évolution de l'humidité surfacique du sol (les premiers cm).



# Radar images for mapping harvested sugarcane crop

**Problematic:** Sugarcane is one of the most important crops in the tropics

→ **Needs:** to have information on the harvest progress throughout the harvest season. The mapping of sugarcane harvest on a large spatial scale allows optimized cutter deployment, transport operations, efficiency of factories, and finally permits a better estimation of the effective yield.

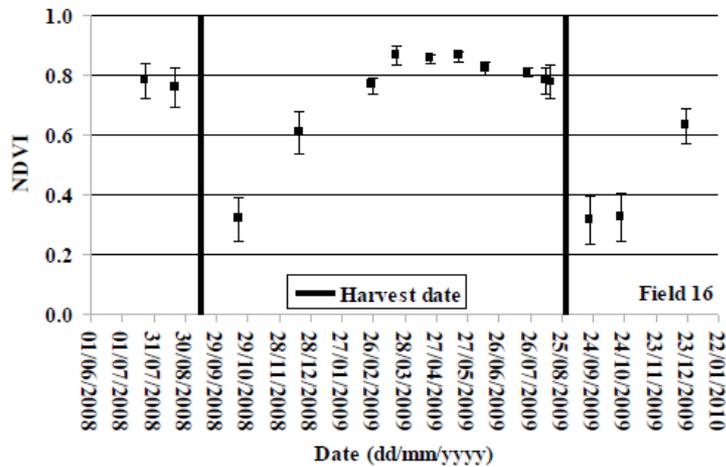
**Optical images:** limited because of atmospheric conditions and cloud cover.

**Synthetic Aperture Radar (SAR):** The new generation SAR sensors, such as TerraSAR-X/CosmoSkyMed, allow the acquisition of images at very high spatial resolution (~1 m) with a short revisit interval (daily to weekly).

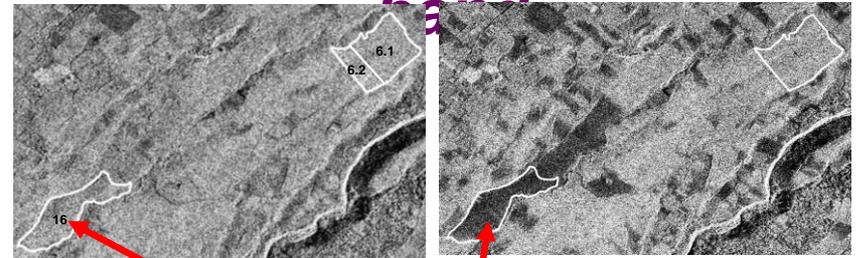
**Objective:** Analyze the potential of TerraSAR-X for mapping harvested sugarcane crop was studied.

# Radar images for mapping harvested sugarcane crop

## SPOT



## Radar, X-band



Field harvested on August 29, 2009

- Harvested fields are easily detected on SAR images if the image acquisition date is close to harvest date (ideally less than two months).
- Indeed, the harvest involves a decrease in the signal that can reach 7dB (VV-37°) if the observation radar is relatively close to the harvesting date (few days).

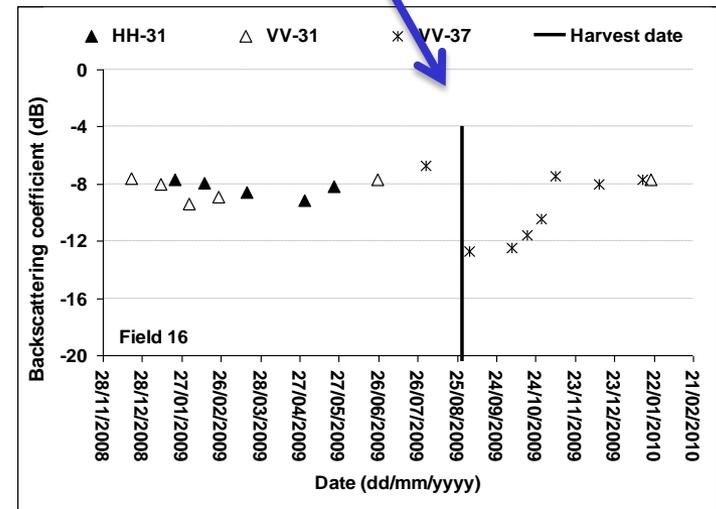




Image SIR-C de saison sèche

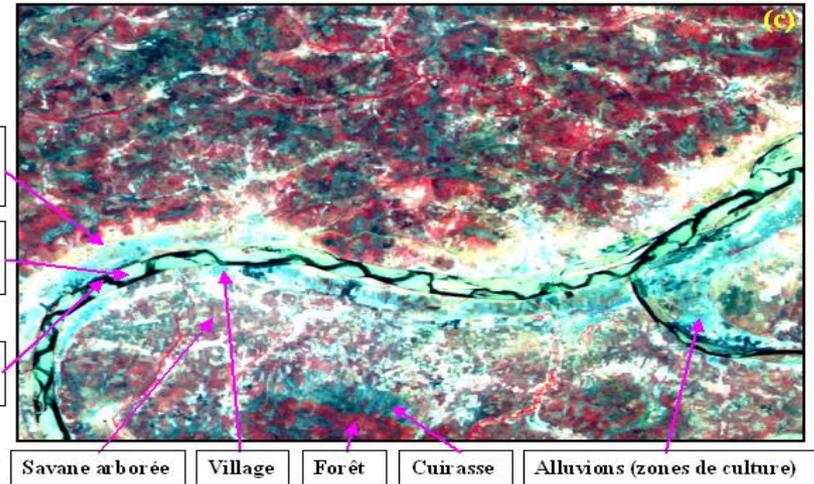
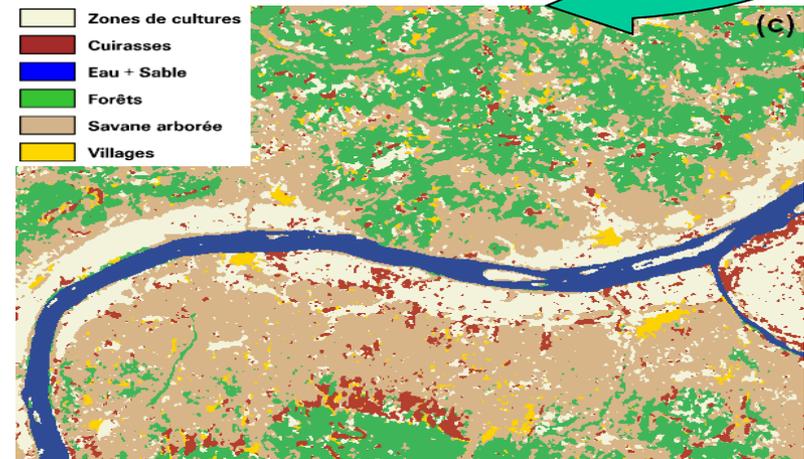


Image SPOT de mars 1998

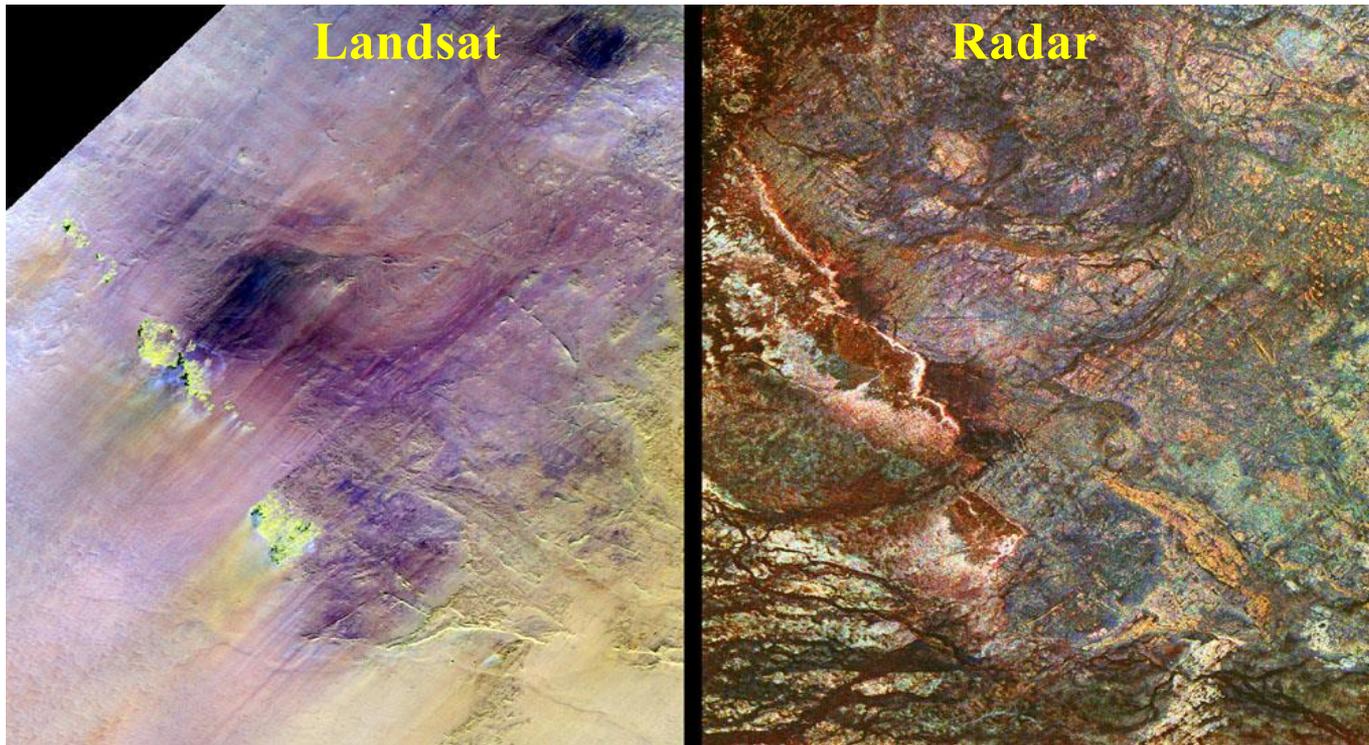
## Cartographie des différentes cibles

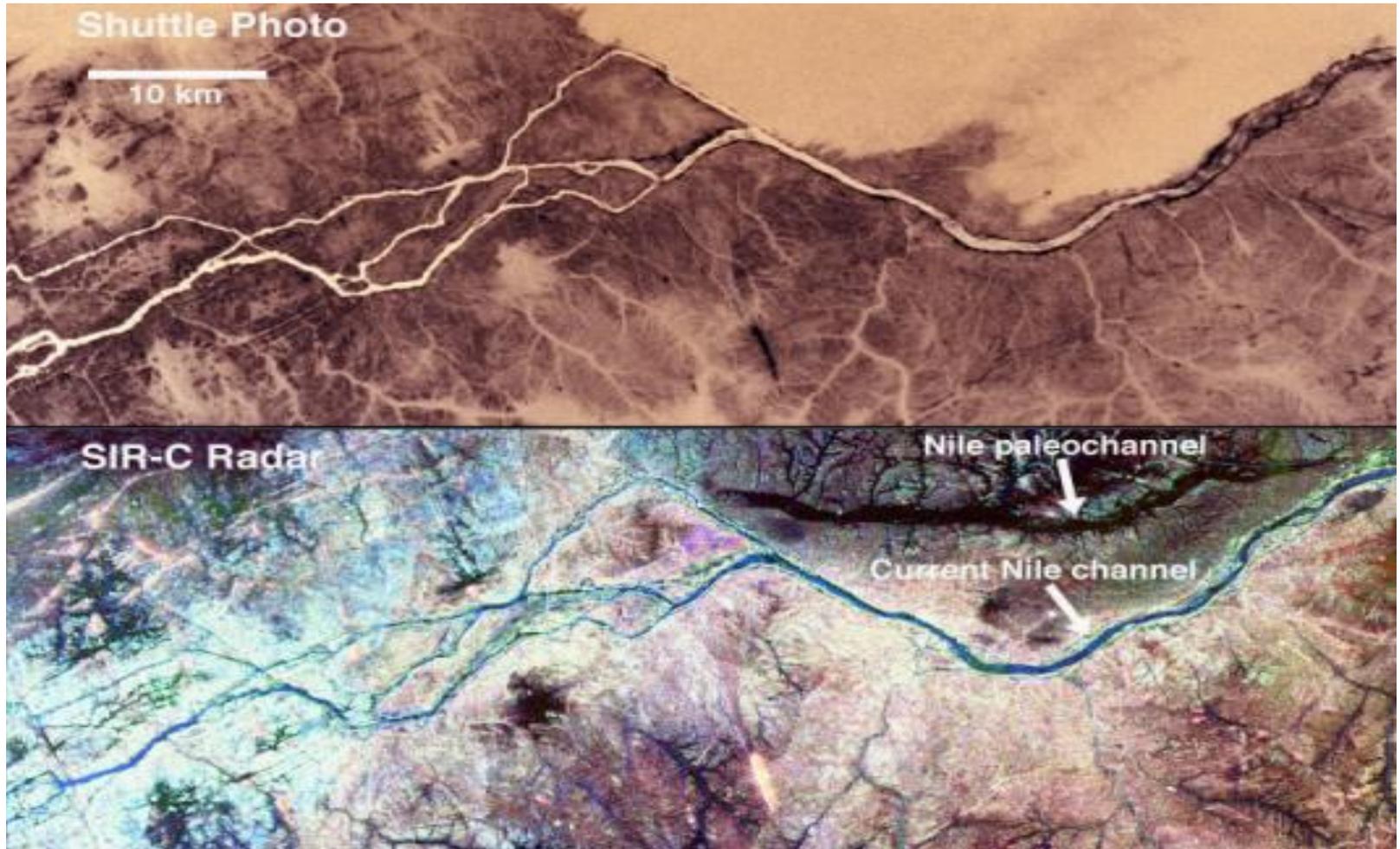
Items	SPOT	ERS	SIR-C
Réseau hydrographique permanent visible	Bien classé	Bien classé	Bien classé
Réseau hydrographique permanent caché : forêts galeries	Bien classé : petites confusions avec la forêt	Invisible	Impossible à classer : visible sur l'image
Réseau hydrographique temporaire	Saison inadéquate (sèche)	Détectable	Détectable
Orpaillages	NON	NON	NON
Zones urbaines	NON : confusions avec les sols nus	NON	Bien classées : bande L
Routes et pistes	Interprétation visuelle du réseau principal	NON	NON
Cuirasses	Partiellement classées : confusions avec les sols nus	Partiellement classées: confusions avec les sols nus	Bien classées : bande L
Forêt	Bien classée	Mal classée	Bien classée
Savane arborée	Bien classée	Mal classée	Bien classée
Zones de cultures	Saison inadéquate (sèche)	Mal classées	Bien classées



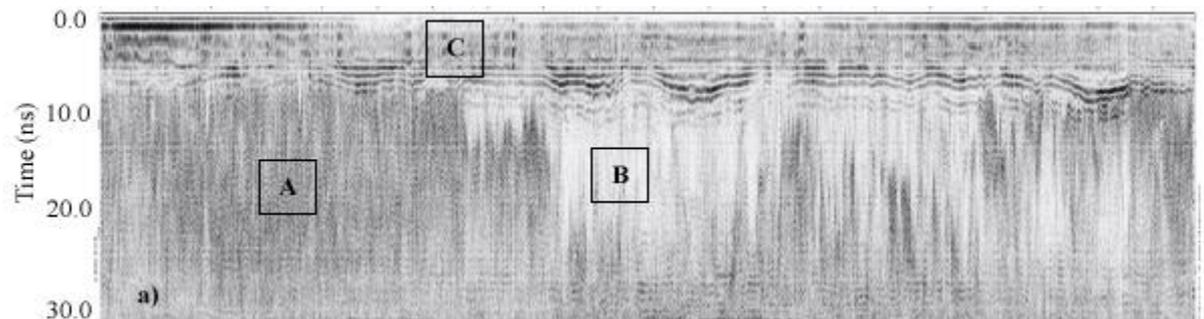
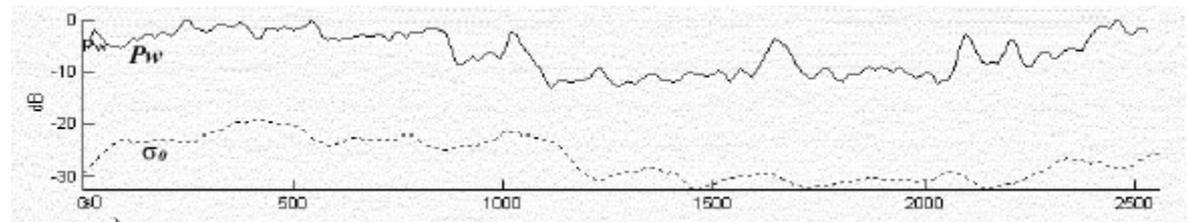
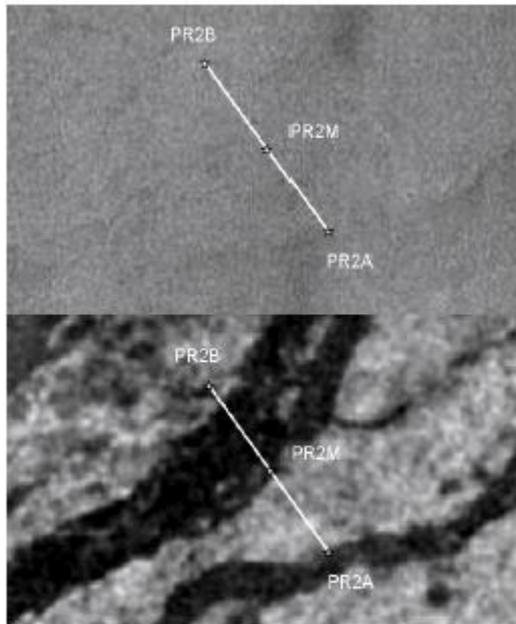
Radar grandes longueurs d'onde: Bandes L et P

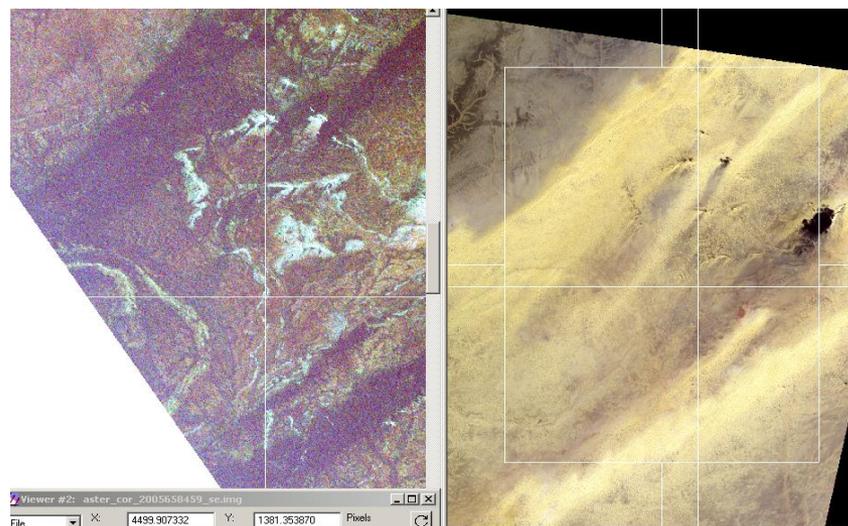
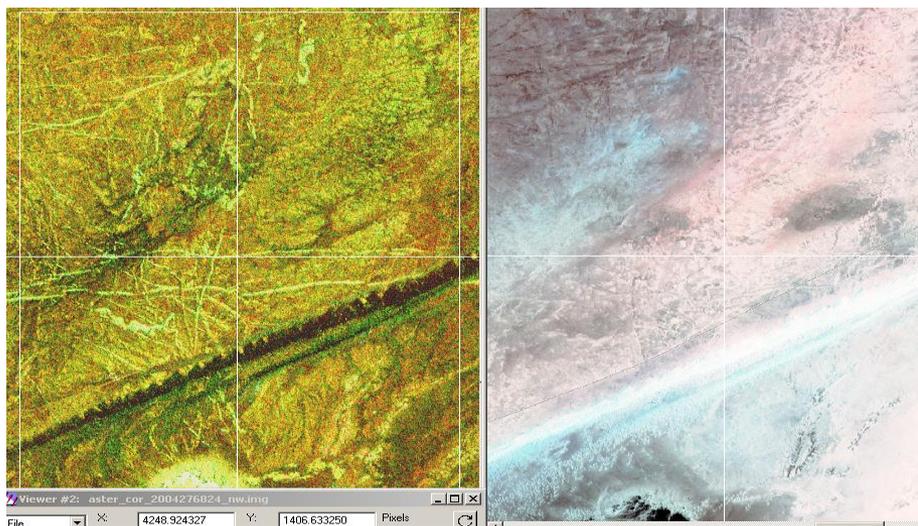
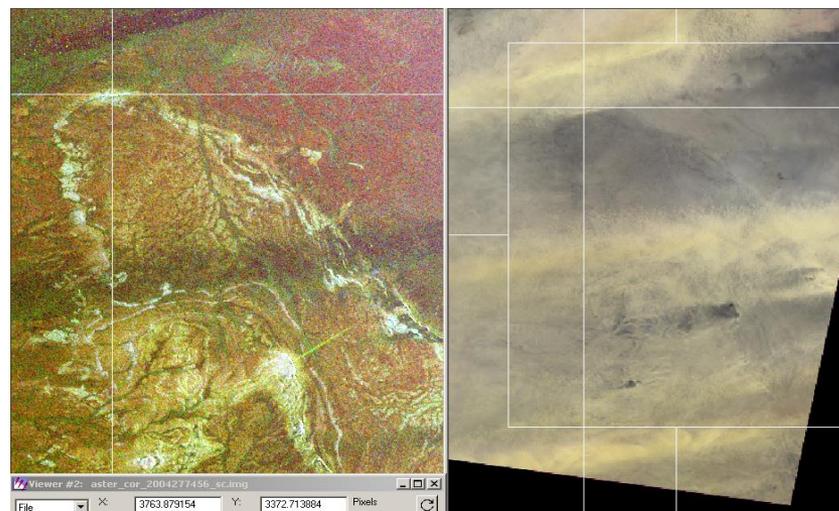
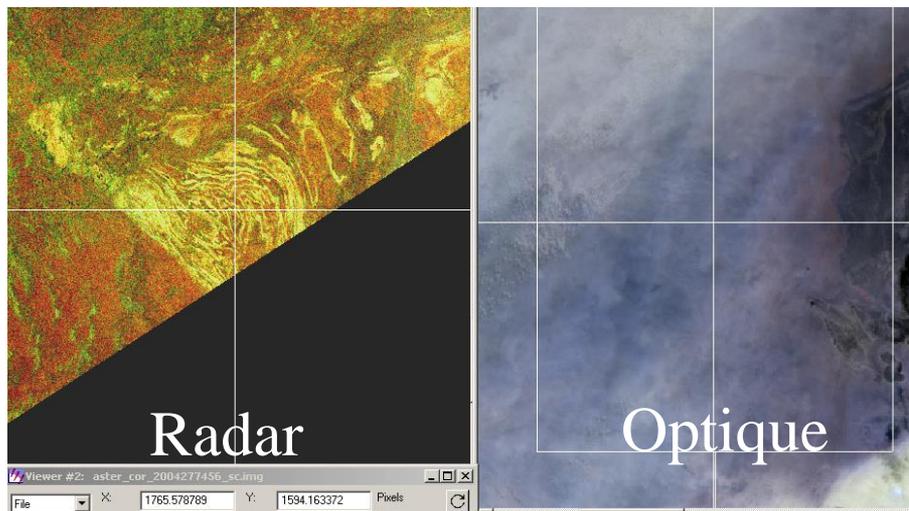
- Exploration des zones arides par des systèmes radar à grande longueur d'onde: Détection des structures de sub-surface et paleo-hydrologie, ...





- Comparaison entre GPR et images radars satellitaires pour mieux comprendre la physique de la mesure



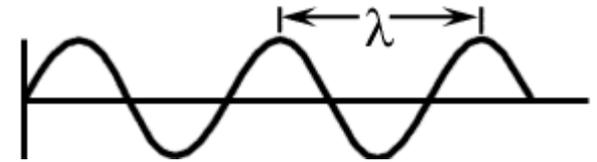


- Deux SAR sont utilisés simultanément, ou bien le même SAR est utilisé à des instants différents → On étudie les différences de phase point à point des images générées pour retrouver la dimension verticale du terrain. On parle alors de SAR interférométrique ou InSAR.
- Cette méthode permet de générer des modèles numériques d'élévation, ou bien, en soustrayant un modèle numérique de terrain, de mesurer des déplacements centimétriques dans les zones où le signal reste cohérent (Interférométrie radar différentielle).

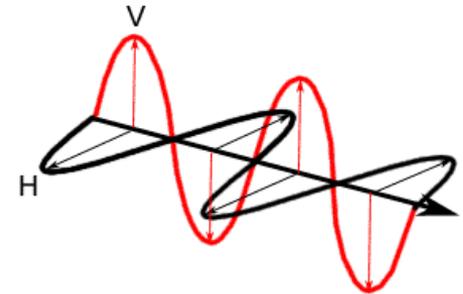
# Etat de la recherche sur la cartographie de l'humidité des sols en milieux agricoles

- Signal radar dépend des paramètres de l'onde émise (longueur d'onde, incidence et polarisation)
- Signal dépend de la propriété du milieu (rugosité, humidité ...)

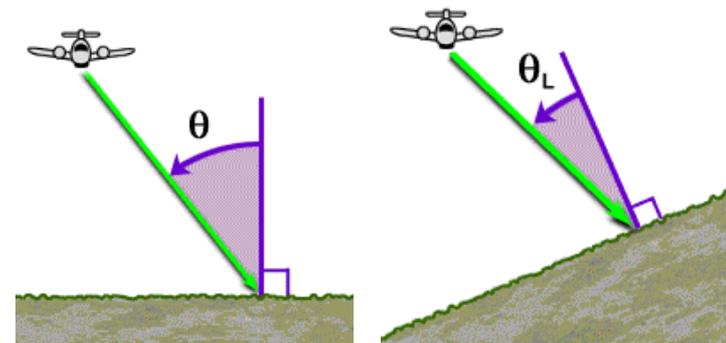
- Radar frequency / radar wavelength



- Polarization, HH, HV, VH, VV

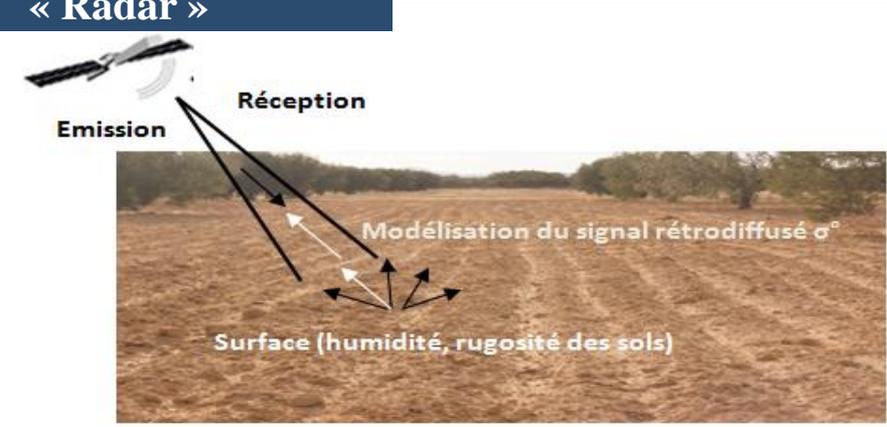


- Incidence angle / local incidence angle



- In many parts of the world, excess runoff and soil erosion are the major sources of damage in agricultural areas
  - Soil moisture and surface roughness play an important role in the ratio runoff/ infiltration
  - Surface runoff occurs when rainfall intensity exceeds the soil infiltration capacity. In addition to vegetation, soil roughness also plays a role of trapping water in agricultural areas, which increases infiltration and in turn reduces downstream runoff.
  - Bare soils are most implicated in the considerable risk of runoff and erosion in agricultural areas.
- Monitoring tools at catchment scale are necessary for improving flood prediction and water-resource management: monitoring of surfaces potentially contributing to runoff in an agricultural context.

✓ Remote Sensing  
« Radar »



*MODELLING RADAR BACKSCATTERING*

- **Radar observation parameters:**  
(frequency , incidence angle,...)
- **Soil surface parameters:**  
(soil moisture, roughness..)

**Electromagnetic backscattering  
Models**  
(Kirchoff, Dubois, Oh,  
Integral Equation Model ...)

**Radar  
Backscatter  $\sigma^0$**

*RADAR SIGNAL INVERSION*

- **Description of soil roughness**

- For radar applications, the description of the surface  $Z(x,y)$  is based on the calculation of the autocorrelation function  $\rho(u,v)$ , defined as:

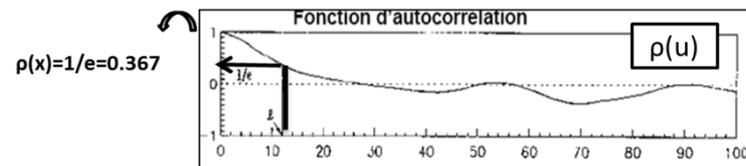
$$\rho(u, v) = \left\langle \left[ Z(x+u, y+v) - \langle Z \rangle \right] \left[ Z(x, y) - \langle Z \rangle \right] \right\rangle$$



$\langle Z \rangle$  is the average height of altitudes measured from the roughness profile  $Z(x,y)$ .

- Generally, two roughness parameters are used and estimated based on the autocorrelation function:
  - The standard deviation of the surface height (root mean square surface height,  $H_{rms}$ ), defining the vertical scale of the roughness and computed as:

$$H_{rms}^2 = \left\langle \left[ Z(x, y) - \langle Z \rangle \right]^2 \right\rangle$$



- The correlation length ( $L$ ), usually defined as the horizontal displacement for which the autocorrelation function of the profile decreases to  $1/e$ .

- *Description of soil roughness*

- When the roughness is weak and the soil is smooth ( $Hrms$  approximately inferior to 1 cm), the autocorrelation function has a generally exponential shape.
- For higher roughness, the autocorrelation function has a shape close to a Gaussian.
- Zribi [ZRI 98] introduced the fractal dimension to the description of the autocorrelation function's shape for bare soils in agricultural fields. For one-dimensional roughness profiles:

$$\begin{aligned} \rho(x) &= Hrms^2 e^{-\left(\frac{x}{L}\right)} & : & \text{exponential} \\ &= Hrms^2 e^{-\left(\frac{x}{L}\right)^2} & : & \text{Gaussian} \\ &= Hrms^2 e^{-\left(\frac{x}{L}\right)^\alpha} & : & \text{fractal} \end{aligned}$$

$\alpha = -2D+4$ ,  $D$  is the fractal dimension between 1.25 and 1.45 → autocorrelation function power a between 1.1 and 1.5.

- *Description of soil roughness*

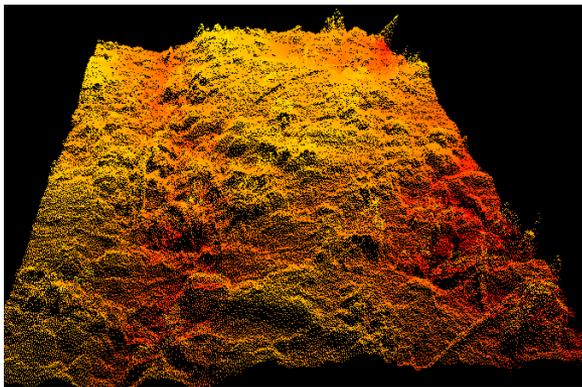
- In the case of agricultural surfaces with periodic structures (rows, with  $P$  periods), the autocorrelation function could be described by (in the case of a Gaussian shape, for example):

$$\rho(x) = Hrms^2 e^{-\left(\frac{x}{L}\right)^2} + S^2 e^{-\left(\frac{x}{L_S}\right)^2} \cos\left(\frac{2\pi x}{P}\right)$$

- The second term models the directional roughness variations as a narrowband Gaussian random process, centered on a frequency ( $1/P$ ) and a band length of  $2\pi/L_S$ . A Fourier transform of this term allows the deduction of the 3 parameters describing the directional structure (the intensity  $S$ , the periodicity  $P$ , and the correlation length  $L_S$ ).

- *Description of soil roughness*

- Several techniques can be used to measure soil roughness: pin profilometer, laser profilometer, and 3D photogrammetry.
- The use of the laser or 3D photogrammetry allows for the accurate rendering of soil roughness (high spatial resolution) with a precise estimation of the roughness parameters, *Hrms* and *L*.
- As regards the correct characterization of soil roughness using a pin profilometer, it is necessary to have (1) long roughness profiles or several short profiles and (2) a relatively fine horizontal resolution from the profilometer (small sampling interval,  $\Delta x$ ).



*2D profile from a laser scanner*



*1D profile from a pin profilometer  
(1 m long and  $\Delta x = 2$  cm)*

- *Description of soil moisture*

- There are two commonly used techniques for the measurement of soil moisture content: gravimetry and Time-Domain Reflectometry (TDR) (or Theta Probe analysis).
- The gravimetric method, while destructive and complicated to implement, remains a reference for the calibration of different equipment used to measure soil moisture.
- The gravimetric method consists in using a cylinder to collect soil samples, which are then placed in an oven at 105°C for 24h. This method determines the ponderal water content ( $Wp$ ) of a soil sample by comparing the wet weight ( $Ph$ ) of the sample with its dry weight ( $Ps$ ):

$$Wp (g \cdot g^{-1}) = 100 \left( \frac{Ph - Ps}{Ps} \right)$$

- The volumetric water content  $mv$  (in  $cm^3 \cdot cm^{-3}$  or vol. %) is deduced from the ponderal water content using the soil's apparent density ( $Da = Ps / \text{volume of the cylinder}$ ):

$$mv = Da \cdot Wp$$

- *Description of soil moisture*

- The TDR probe consists in emitting an electromagnetic microwave pulse along 2 (sometimes 3) waveguides of a given length, inserted into the soil, and measuring the transit time of the return signal.



- TDR measurements are not valid for frozen soils
- In-situ soil moisture data is generally collected simultaneously with radar acquisitions.
- The distribution and spatial density of these measurements depend upon the level of heterogeneity of reference plots (intra-plots variations) and their size. A minimum of 20 measurements is generally taken for each reference plot (measuring at least one hectare).

- *Description of soil moisture*

- When performing studies using radar images in L, C, and X bands for the characterization of the soil surface moisture in agricultural areas, in-situ measurements of soil moisture are taken at a depth between 0 and 10 cm.
- The measurement depth is related to the penetration depth of the radar wave ( $\delta_p$ ) that is generally equal to a few centimeters in C and X bands. In L-band, this depth can reach a few tens of cm for very dry soils.
- The thickness of this surface layer depends on the radar wavelength ( $\lambda$ ) (more penetration with greater wavelengths) and the dielectric constant of soil (water content and soil composition) [ULA 78]:

$$\delta_p \cong \frac{\lambda \sqrt{\epsilon'}}{2\pi \sqrt{\epsilon''}}$$

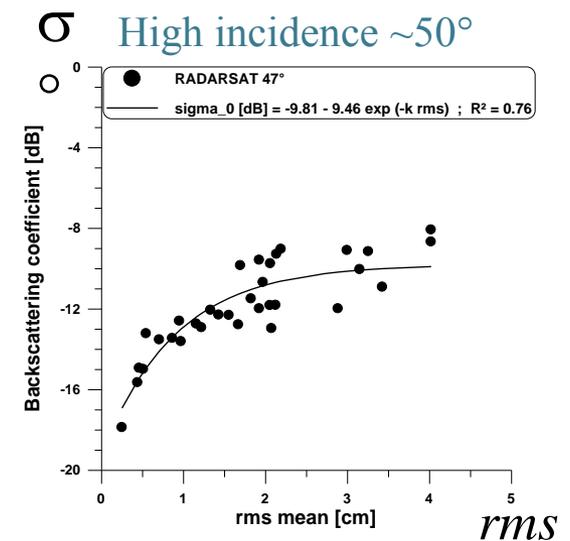
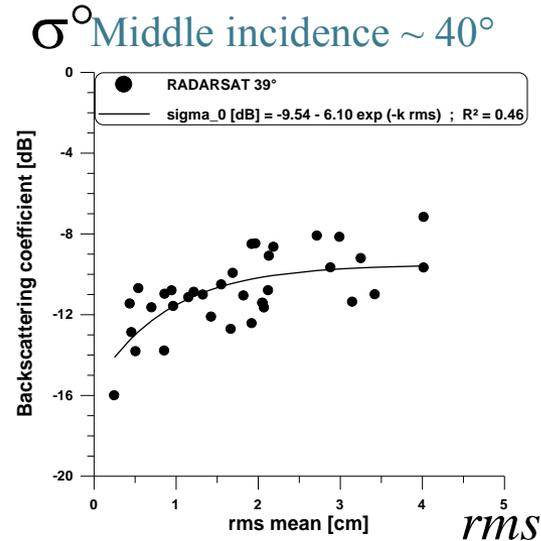
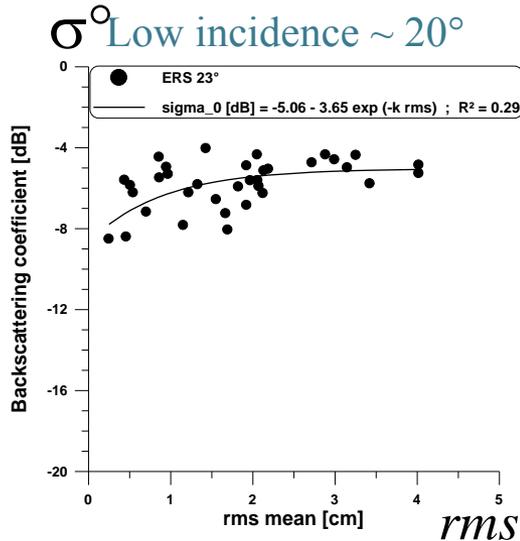
$\epsilon'$  is the real part of the dielectric constant and  $\epsilon''$  its imaginary part.

- *Description of soil moisture*

- Bruckler et al. [BRU 88] found that the penetration depth of the radar signal in C-band for a clay loam soil decreases from 5 to 1 cm when the soil moisture increases from 10 to 30 vol. % .
- The dielectric constant is a physical quantity also known as complex permittivity. The real part  $\epsilon'$  affects the moisture content more, while the imaginary part  $\epsilon''$  essentially depends on the electrical conductivity of the soil solution.
- The empirical relationship between the volumetric water content of soil and its dielectric constant described by Topp et al. [TOP 80] is also widely used for its simplicity. This relation only allows the derivation of the real component of the dielectric constant:

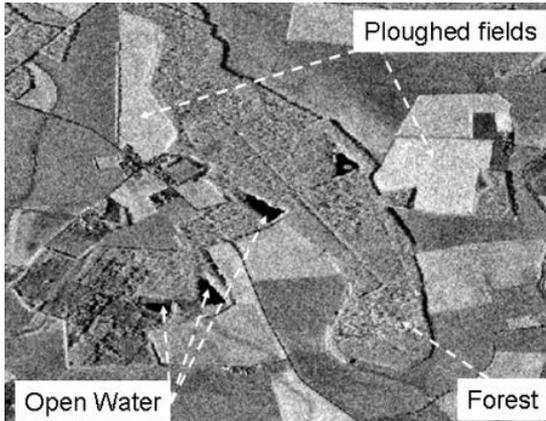
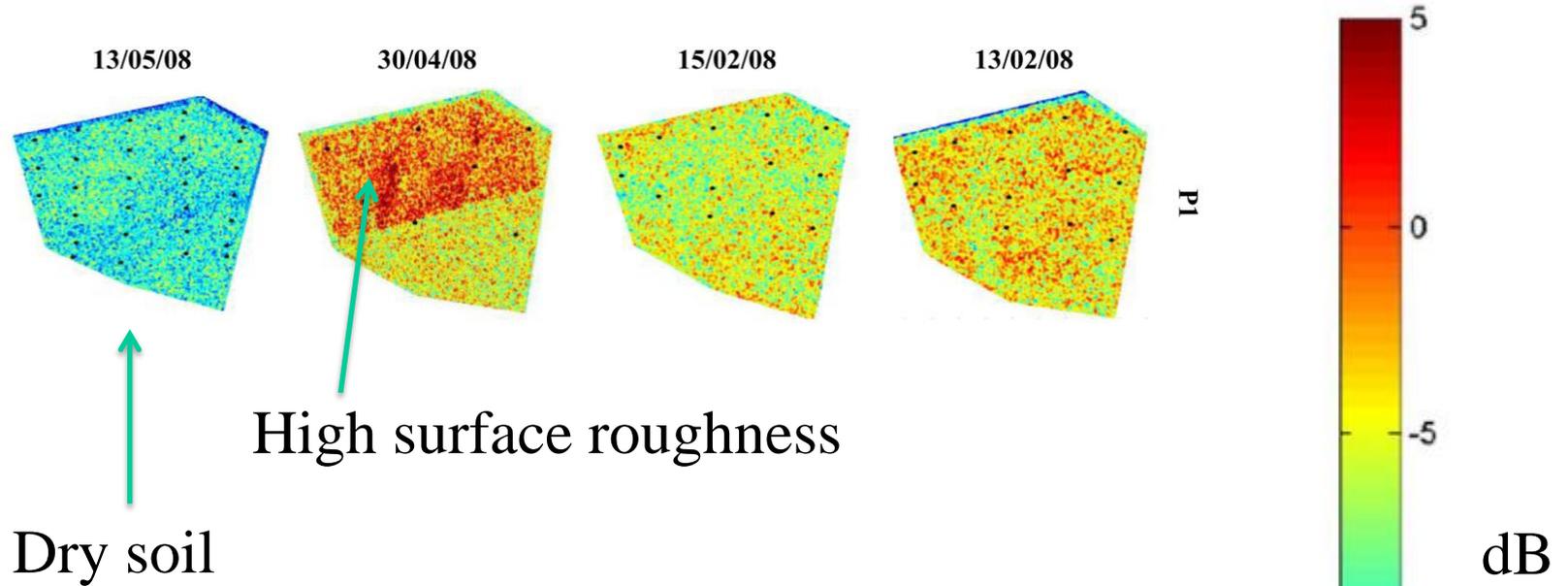
$$mv = (-530 + 292 \epsilon - 5.5 \epsilon^2 + 0.043 \epsilon^3) \cdot 10^{-4}$$

- Radar signal backscattered by a bare soil increases with the rms surface height ( $H_{rms}$ ) according to a logarithmic or exponential law to then become constant after a certain roughness threshold.
- This threshold depends on the wavelength and the radar's incidence angle.
- Several studies show saturation of the radar signal after  $k.H_{rms}$  below roughly 1. This threshold corresponds to  $H_{rms}$  values of 4 cm in L-band, 1 cm in C-band, and around 0.5 cm in X-band.
- The dynamic of the radar backscattering coefficient is weaker in the case of weak incidence angles (variation of 7 dB for 20°-25°) than in the case of strong incidence angles (variation of 10 dB for 45°-50°).
- Theoretical and experimental works show a slightly stronger sensitivity of the signal to the roughness of bare soil in HH polarization.
- Only large wavelengths (e.g. L-band) and strong incidence angles (e.g. 45°) allow to map three roughness classes (smooth “sowing,” rough “great plowed soil,” moderately rough “small plowed soil”) [BAG 02].

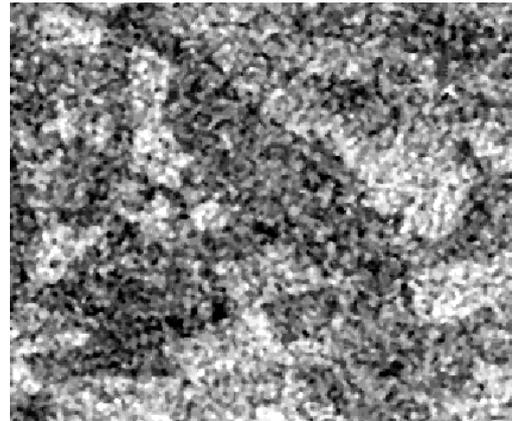


## *Behavior of radar signal as a function of surface roughness (rms)*

- For bare soils,  $\sigma^{\circ}$  increases and follows exponential function with *rms*.
- Extraction of surface roughness is better at high incidence angle: a good indicator for monitoring surfaces potentially contributing to runoff.
- Dependence of radar signal on surface roughness in agricultural areas is mainly significant for low levels of roughness.

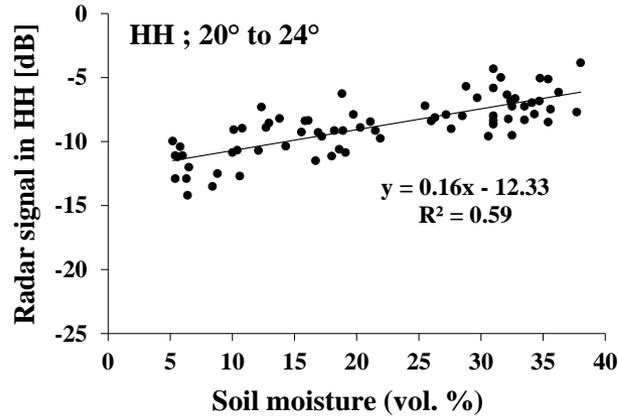


1m

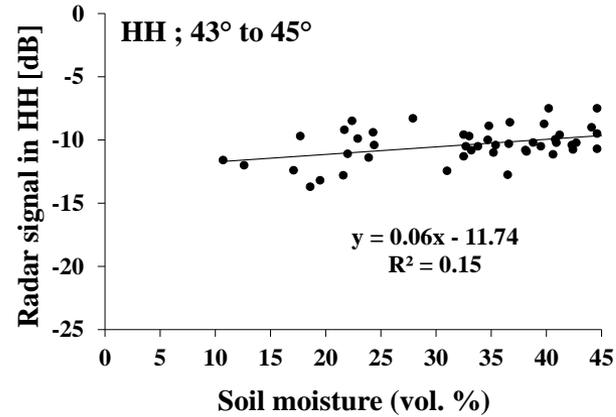


25m

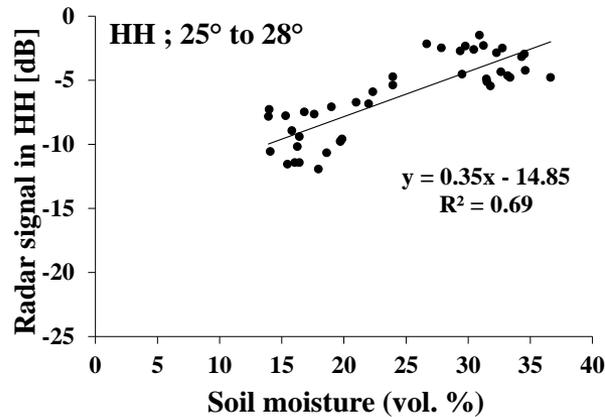
- Optimal configuration for obtaining the best sensitivity of the radar signal to soil moisture (weak influence of the roughness): HH polarization and a weak radar incidence angle:  $15^{\circ}$ - $35^{\circ}$
- Simulations illustrate an approximately logarithmic law between soil moisture and the radar signal.
- This logarithmic function is generally approximated by a linear function for soil moisture between 10 and 35 vol. %.
- After a soil moisture of around 35 vol. %, the radar signal stabilizes, then starts to decrease with the increase of soil moisture, so the estimation of soil moisture cannot be done without ambiguity after this threshold of around 35 vol. %.
- In C-band, sensitivity of radar signal to soil moisture, approximately between 0.15 dB/vol.% and 0.3 dB/vol. %.
- The signal's sensitivity to soil moisture is twice as high in X-band as in C-band ( $\sim 0.35$  dB/vol. % in X-band vs. 0.15 dB/vol. % in C-band).
- Observations in L-band have approximately the same range of sensitivity to soil moisture as in C-band.
- The sensitivity of the signal to soil moisture decreases when the incidence angle increases.



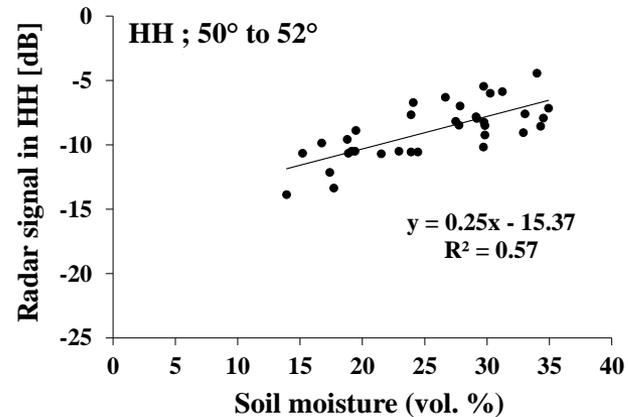
(a)



(b)



(c)



(d)

(a): C-HH(20°-24°), (b): C-HH(43°-45°)

(c): X-HH(25°-28°), (d): X-HH(50°-52°)

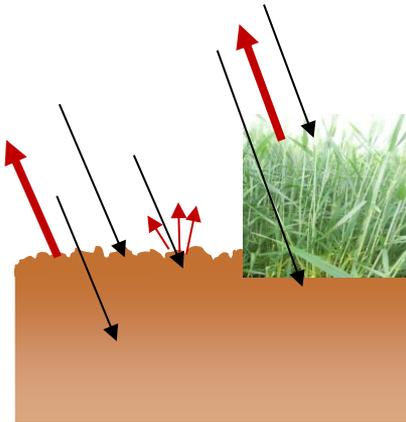
## Soil with vegetation

$$\sigma^0_{\text{tot}} = \sigma^0_{\text{veg}} + T^2 \sigma^0_{\text{soil}}$$

$$\sigma^0_{\text{veg}} = A \cdot V_1 \cdot \cos \theta (1 - T^2)$$

$$T^2 = \exp(-2 \cdot B \cdot V_2 \cdot \sec \theta)$$

$$\sigma^0_{\text{soil}} = C(\theta) \exp(D \cdot M_v)$$

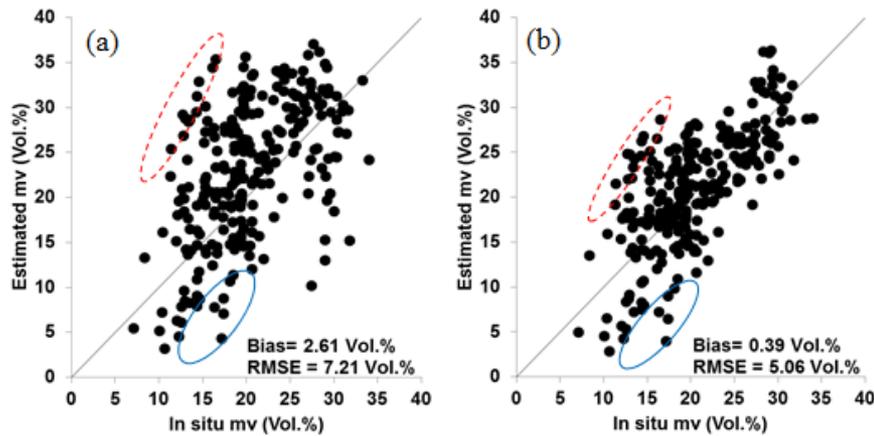


- $\sigma^0_{\text{tot}}$  : Total backscattered radar signal (linear unit)
- $\sigma^0_{\text{veg}}$  : Vegetation contribution (linear unit)
- $T^2$  : Two-way attenuation
- $\sigma^0_{\text{soil}}$  : Soil contribution (linear unit)
- $V_1 = V_2$  : Vegetation descriptors (BIO (kg/m<sup>2</sup>), VWC (kg/m<sup>2</sup>), HVE (m), LAI (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>), NDVI ...)
- $\theta$  : Radar incidence angle
- **A et B** : Parameters depending on the canopy descriptors and radar configurations
- $M_v$  : Volumetric soil moisture (Vol.%)
- **C** : dependent on roughness and incidence angle
- **D** : sensibility of radar signal to  $M_v$  in the case of bare soils, depends on radar configurations

# Algorithm for mapping soil moisture by coupling radar and optical images

- An operational approach for soil moisture mapping in agricultural areas was proposed at a high spatial resolution over bare soils, as well as soils with vegetation cover (up to plot scale).
- A neural network technique was used. The developed approach is based on the synergic use of radar and optical data (NDVI information). The results showed an accuracy on soil moisture estimates of approximately 5 vol.%.
- The proposed approach is based on the inversion of the Water Cloud Model (WCM) using the neural network technique:
  - First, a calibrated WCM and the Integral Equation Model (soil contribution) were combined to generate a synthetic database of SAR backscattering coefficients for a wide range of soil and vegetation conditions;
  - Then, the database was noisy and divided into two equal sub-databases, one for the neural networks training (noisy training database) and one for the neural networks validation (noisy validation database);
  - Finally, to evaluate the neural networks' performance, the trained neural networks were validated using the noisy validation database and a real database.

## Using the real database

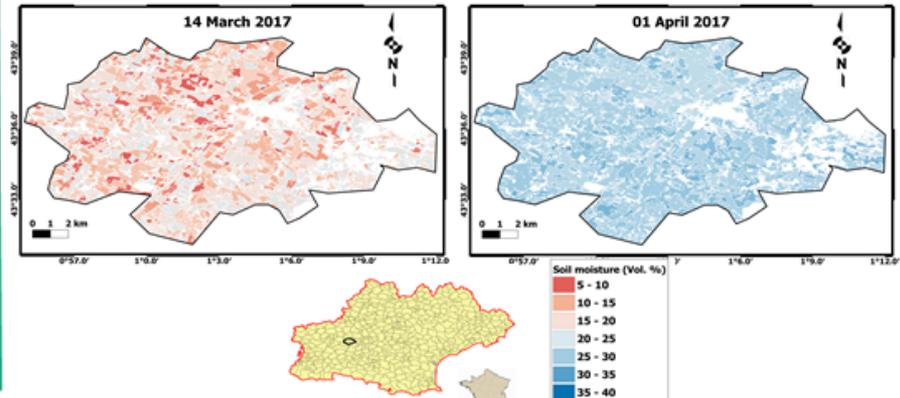


*Retrieved soil moisture versus in situ measurements. Inversion was performed using real SAR data and NDVI derived from optical images. (a) VV alone, (b) VV and VH together. Red dashed ellipses indicate rough plots. Blue ellipses indicate very smooth plots.*

## Toward operational soil moisture mapping over agricultural areas

The developed methodology was applied for soil surface mapping over the French Occitanie region (72724 km<sup>2</sup>) located in southern France.

The objective is to operationally map the soil moisture over agricultural areas for each homogeneous spatial unit → synergic use of the new free and open accesses radar (Sentinel-1) and optical (Sentinel-2) sensors.





# Télédétection pour l'observation des surfaces continentales

*série de 6 volumes sous la direction de*  
**Nicolas Baghdadi, IRSTEA Montpellier**  
**et Mehrez Zribi, CESBIO Toulouse**



L'utilisation de la télédétection pour observer notre environnement a fondamentalement révolutionné la façon dont nous modélisons les processus et systèmes environnementaux. Cette série regroupe les travaux de près de 200 chercheurs de renommée internationale en six volumes pour nous présenter une « boîte à outils » complète des méthodes et actions scientifiques les plus modernes en terme d'utilisation de l'observation spatiale.

Les deux premiers volumes décrivent les principes physiques des différentes techniques couvrant le spectre des fréquences. Le troisième volume illustre des applications de l'observation spatiale destinées à l'agriculture et la forêt.

Le volume quatre présente des applications de l'observation spatiale en hydrologie.

Le cinquième volume est dédié à l'observation des zones urbaines et côtières, et le dernier volume présente l'application de l'observation spatiale à la compréhension et à l'évaluation des risques.

## DÉTAIL DES VOLUMES DE LA SÉRIE

Volume 1 (352 pages – 70,00 € – ISBN 9781784051563)

Observation des surfaces continentales par télédétection optique : techniques et méthodes

Volume 2 (408 pages – 85,00 € – ISBN 9781784051570)

Observation des surfaces continentales par télédétection micro-onde : techniques et méthodes

Volume 3 (368 pages – 95,00 € – ISBN 9781784051587)

Observation des surfaces continentales par télédétection : agriculture et forêt

Volume 4 (456 pages – 90,00 € – ISBN 9781784051594)

Observation des surfaces continentales par télédétection : hydrologie continentale

Volume 5 (364 pages – 70,00 € – ISBN 9781784051600)

Observation des surfaces continentales par télédétection : urbain et zones côtières

Volume 6 (360 pages – 70,00 € – ISBN 9781784051617)

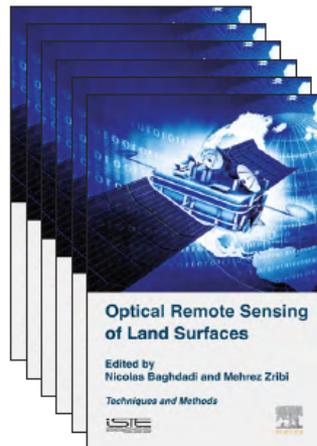
Observation des surfaces continentales par télédétection : environnement et risques

*Tous les titres de la série seront disponibles fin novembre 2016 auprès de votre libraire ou d'Amazon.fr*



# Remote Sensing Observations of Continental Surfaces

*A 6 volumes set edited by*  
**Nicolas Baghdadi, IRSTEA Montpellier**  
**et Mehrez Zribi, CESBIO Toulouse, France**



Remote sensing observations is one of the key disciplines that allow the analysis and provide access to the understanding of the functioning of our environment.

This Set mobilized almost 200 internationally recognized researchers to propose a comprehensive "toolkit", describing the latest scientific methods and actions in terms of the implementation of spatial observation.

The first two volumes describe the physical principles underlying various techniques which cover the frequency spectrum ranging from visible to microwaves.

The third volume illustrates the agricultural and forestry applications of spatial observation.

The fourth volume presents the applications of spatial observation in the field of continental hydrology.

The fifth volume is dedicated to the observation of urban and coastal areas, whereas the final volume presents the implementation of spatial observation within the context of risk assessment and understanding.

## The volumes

### Optical Remote Sensing of Land Surfaces

Techniques and Methods  
ISBN 9781785481024 • 2016 • 388 pages

### Microwave Remote Sensing of Land Surfaces

Techniques and Methods  
ISBN 9781785481598 • 2016 • 448 pages

### Land Surface Remote Sensing in Agriculture and Forest

ISBN 9781785481031 • 2016 • 496 pages

### Land Surface Remote Sensing in Continental Hydrology

ISBN 9781785481048 • 2016 • 502 pages

### Land Surface Remote Sensing in Urban and Coastal Areas

ISBN 9781785481604 • 2016 • 392 pages

### Land Surface Remote Sensing

Environment and Risk  
ISBN 9781785481055 • 2016 • 384 pages

## About the Authors

**Nicolas Baghdadi** is Research Director at IRSTEA in France. He is currently the scientific director of the French Land Data Centre (Theia).

**Mehrez Zribi** is Research Director at CNRS in France. He is currently active at CESBIO in Toulouse where he is also responsible for the team of observation systems.



## Série Utilisation de QGIS en télédétection

coordonnée par André Mariotti

sous la direction de Nicolas Baghdadi, Clément Mallet et Mehrez Zribi

La série *Utilisation de QGIS en télédétection* vise à faciliter l'appropriation et l'utilisation opérationnelle du système d'information géographique (SIG) QGIS (Quantum Geographic Information System) dans le domaine de la télédétection.



### QGIS et outils génériques

Volume 1 • 316 pages • Ouvrage papier 978-1-78405-335-2 : 70,00 €

Ce volume définit le principe de fonctionnement de QGIS et des librairies fondamentales les plus fréquemment utilisées en traitement d'images et en géomatique.

### QGIS et applications en agriculture et forêt

Volume 2 • 374 pages • Ouvrage papier 978-1-78405-336-9 : 84,00 €

QGIS et applications en agriculture et forêt présente différents exemples en agriculture et en foresterie.

### QGIS et applications en aménagement du territoire

Volume 3 • 306 pages • Ouvrage papier 978-1-78405-337-6 : 70,00 €

Ce troisième volume retrace la mise en pratique sous QGIS et ses librairies de différentes applications en lien avec l'aménagement du territoire.

### QGIS et applications en eau et risques

Volume 4 • 320 pages • Ouvrage papier 978-1-78405-338-3 : 70,00 €

Ce quatrième volume de la série expose la présentation et la mise en pratique sous QGIS et ses librairies des applications traitant des problématiques eau et risques.

**Le format ebook est à 9,90 €**  
(Offre uniquement pour les particuliers disponible sur [iste-editions.fr](http://iste-editions.fr))



## QGIS in Remote Sensing

Coordinator: André Mariotti, UPMC, Paris, France



The QGIS in Remote Sensing Set aims to facilitate the appropriation and operational use of the Quantum Geographic Information System (QGIS) software in the field of remote sensing.

### VOLUME 1 – QGIS AND GENERIC TOOLS

*Edited by Nicolas Baghdadi, IRSTEA, Clément Mallet, INIGF, Mehrez Zribi, CNRS, France*

This first volume describes the operating principles of QGIS and the most frequently used and fundamental libraries in image processing and geomatics: GDAL, GRASS, SAGA and OTB. It presents many core features that will be implemented in various practical cases of remote sensing and spatial analysis in the other three volumes of the set.

### VOLUME 2 – QGIS AND APPLICATIONS IN AGRICULTURE AND FOREST

*Edited by Nicolas Baghdadi, IRSTEA, Clément Mallet, INIGF, Mehrez Zribi, CNRS, France*

This second volume of the set presents different applications of QGIS and its libraries for agriculture and forestry. A thorough knowledge of agriculture and forest areas is fundamental from both an economic and an environmental point of view. These environments are strongly involved in the use of spatial data, which are essential for restoring the spatio-temporal variability of surface conditions. In this context, GIS tools have long been used to support the exploitation of spatial imagery.

### VOLUME 3 – QGIS AND APPLICATIONS IN TERRITORIAL PLANNING

*Edited by Nicolas Baghdadi, IRSTEA, Clément Mallet, INIGF, Mehrez Zribi, CNRS, France*

Over the past 15 years, Geographic Information Systems have become central to applications dealing with territorial planning issues. This third volume of the set is devoted to the presentation and practice in QGIS and its libraries of various applications related to territorial planning. The chapters illustrate the great diversity of case studies, spatial scales and actors involved in this issue: from the world to the city and from objects of special interest, from detection of objects, to studies of location or the impact of works through spatial indicators, urban, agro-forestry or coastal environments.

### VOLUME 4 – QGIS AND APPLICATIONS IN WATER AND RISKS

*Edited by Nicolas Baghdadi, IRSTEA, Clément Mallet, INIGF, Mehrez Zribi, CNRS, France*

This fourth volume of the set is dedicated to the presentation and the practice of QGIS and its libraries of applications dealing with water and risk management issues. In the context of global changes (climatic and anthropogenic), understanding and quantifying water resource dynamics and the various aspects of risks is essential for managers in public authorities and local population.

Une nouvelle série d'ouvrages « Utilisation de QGIS en télédétection » vise à faciliter l'appropriation et l'utilisation opérationnelle du système d'information géographique QGIS dans le domaine de la télédétection.

Après la série [Télédétection pour l'observation des surfaces continentales](#), une série d'ouvrages en 4 volumes sur l'utilisation de QGIS en télédétection vient de sortir en version française et anglaise aux éditions Iste. Cette série est coordonnée par André Mariotti sous la direction de Nicolas Baghdadi (Istea, Montpellier), Clément Mallet (IGN, Paris) et Mehrez Zribi (Cesbio, Toulouse).

Volume 1 : QGIS et outils génériques / QGIS and generic tools (QGIS, GDAL, GRASS, SAGA, OTB)

Volume 2 : QGIS et applications en agriculture et en foresterie / QGIS and applications in agriculture and forest

Volume 3 : QGIS et applications en aménagement du territoire / QGIS and applications in territorial planning

Volume 4 : QGIS et applications en eau et risques / QGIS and applications in water and risks

Cette série s'adresse aux équipes de recherche en géomatique, étudiants (masters, écoles d'ingénieurs, doctorat), ingénieurs et chercheurs qui utilisent déjà des systèmes d'information géographique et aux ingénieurs impliqués dans la gestion des ressources en eau et du territoire.

En plus des textes, les lecteurs auront accès aux données et outils qui permettent la réalisation intégrale de toutes les démarches scientifiques décrites ainsi qu'aux copies d'écran de chaque fenêtre qui illustrent les manipulations nécessaires à la réalisation des applications.

Plus d'informations sur [iste-editions.fr](http://iste-editions.fr) (version française) et [iste.co.uk](http://iste.co.uk) (version anglaise).

### QGIS in Remote Sensing

New series of books "QGIS in remote sensing" aims to facilitate the appropriation and operational use of the Quantum Geographic Information System (QGIS) software in the field of remote sensing.

After the [Land Surface Remote Sensing set](#), new series of 4 books on QGIS in remote sensing has just been published in french and english with ISTE-Elsevier editions coordinated by André Mariotti and edited by Nicolas Baghdadi and Mehrez Zribi.

Volume 1 : QGIS and generic tools / QGIS et outils génériques (QGIS, GDAL, GRASS, SAGA, OTB)

Volume 2 : QGIS and applications in agriculture and forest / QGIS et applications en agriculture et en foresterie

Volume 3 : QGIS and applications in territorial planning / QGIS et applications en aménagement du territoire

Volume 4 : QGIS and applications in water and risks / QGIS et applications en eau et risques

This work is carried out by scientists who are proficient to a high level of technicality. The book is targeted at students (Masters, engineering students, PhDs), engineers and researchers who have already adopted geographic information systems.

In addition to the text, readers will have access to data and tools allowing the integral realization of the scientific procedures described in each chapter, as well as screenshots of all the windows which illustrate the manipulations necessary for the realization of each application.

More details exist in these two sites [iste.co.uk](http://iste.co.uk) (english version) and [iste-editions.fr](http://iste-editions.fr) (french version).