

# Interferometrie radar et deroulement de phase

Stéphane Dupont, Marc Berthod

► **To cite this version:**

Stéphane Dupont, Marc Berthod. Interferometrie radar et deroulement de phase. [Rapport de recherche] RR-2344, INRIA. 1994. inria-00074333

**HAL Id: inria-00074333**

**<https://hal.inria.fr/inria-00074333>**

Submitted on 24 May 2006

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

***Interférométrie Radar et Déroulement de Phase***

Stéphane DUPONT et Marc BERTHOD

**N° 2344**

Septembre 1994

PROGRAMME 4

Robotique,  
image  
et vision ***rapport  
de recherche*****1994**



## Interférométrie Radar et Déroulement de Phase

Stéphane DUPONT\* et Marc BERTHOD\*\*

Programme 4 — Robotique, image et vision  
Projet PASTIS

Rapport de recherche n° 2344 — Septembre 1994 — 56 pages

**Résumé :** L'interférométrie radar est une technique récente de génération de modèles numériques de terrain (MNT) qui combine une large couverture à une haute résolution spatiale et ceci par tous les temps, de jour comme de nuit. Elle utilise des variations géométriques sub-pixeliques présentes dans les différences de phases d'images radar complexes recalées. Ces informations sont malheureusement relatives puisqu'elles sont reportées à l'échelle de la longueur d'onde du radar (quelques centimètres). Pour passer à des variations géométriques absolues, nécessaires à la génération de MNT, on utilise une méthode appelée le déroulement de phase.

Cette étude reprend les différentes étapes menant à la génération des images radar afin de mieux comprendre les principes de l'interférométrie. Elle dresse aussi un état de l'art du déroulement de phase puis se termine par une réflexion sur les limites et les potentiels de ce domaine.

**Mots-clé :** Radar, interférométrie, déroulement de phase, modèle numérique de terrain (MNT).

*(Abstract: pto)*

\*. ISTAR, Espace Beethoven Bâtiment 2, Route des Lucioles, 06560 VALBONNE (France)  
Téléphone : (33) 93 95 72 30 - Télécopie : (33) 93 65 83 29 - e-mail: sdupont@sophia.inria.fr.

\*\* INRIA Sophia Antipolis, 2004 route des Lucioles, BP 93, 06902 SOPHIA-ANTIPOLIS Cedex  
Téléphone : (33) 93 65 78 61 - Télécopie : (33) 93 65 76 43 - e-mail: berthod@sophia.inria.fr.

# SAR Interferometry and Phase Unwrapping

**Abstract:** SAR interferometry is a promising method of measuring topography which combines large coverage with high spatial resolution and all weather capabilities. This technique uses relative sub-pixel geometrical variations observed in the interferograms which are images of phase difference of registred complex SAR images.

This report explains the synthetic aperture in sar imagery in order to understand the principles of interferometry. It presents a state of art of phase unwrapping which is a method to calculate absolute variations from the interferograms. It ends with a description of the limits and potential of this field.

**Key-words:** SAR, interferometry, phase unwrapping, digital terrain model (DTM).

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Le radar à ouverture de synthèse</b>	<b>5</b>
2.1	La prise de vue . . . . .	5
2.2	Le principe . . . . .	6
2.3	La chaîne de traitement . . . . .	7
2.3.1	Le traitement en site : la compression d'impulsion . . . . .	7
2.3.2	La transposition . . . . .	11
2.3.3	Le traitement en azimuth : la synthèse d'ouverture . . . . .	11
2.3.4	Les corrections . . . . .	18
2.4	L'image SAR . . . . .	22
2.4.1	L'influence du relief . . . . .	22
2.4.2	L'interaction onde-surface . . . . .	23
<b>3</b>	<b>L'interférométrie</b>	<b>33</b>
3.1	Le principe . . . . .	33
3.2	Les conditions de faisabilité . . . . .	34
3.2.1	La décorrélation spatiale . . . . .	35
3.2.2	La décorrélation temporelle . . . . .	36
3.3	Le recalage . . . . .	39
3.4	Le produit interférométrique . . . . .	40
<b>4</b>	<b>Le déroulement de phase</b>	<b>43</b>
4.1	La définition . . . . .	43
4.2	Les différentes approches . . . . .	44
4.2.1	L'approche locale . . . . .	44
4.2.2	L'approche globale . . . . .	45
4.2.3	L'approche Markovienne . . . . .	46
4.3	Les problèmes . . . . .	48
<b>5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>49</b>

## 1 Introduction

Une connaissance topographique approfondie d'un terrain peut être nécessaire dans des domaines très variés comme la géologie, la botanique, l'urbanisme ou plus simplement l'aéronautique.

Avec les récents développements en matière de visualisation informatique, les données topographiques ont atteint leur pleine dimension avec des représentations 3-D de la surface : les Modèles Numériques de Terrain (MNT). Généralement, ceux-ci sont fabriqués à l'aide d'une stéréorestitution classique. Cette dernière exploite les variations géométriques entre des images acquises avec des points de vue très différents (images satellitaires SPOT, par exemple).

Ces dernières années ont vu cependant se développer les recherches en interférométrie radar. Cette méthode cherche plutôt à utiliser des variations géométriques sub-pixeliques présentes dans les différences de phases d'images recalées (le SAR génère des images complexes : modules et phases). Ces informations sont reportées à l'échelle de la longueur d'onde du radar (5 - 20 cm).

Le but de cette étude est de recenser et comprendre toutes les étapes permettant la réalisation de ces images des différences de phases, appelées des interférogrammes, mais aussi de dresser un véritable état de l'art du déroulement de phase, méthode permettant de passer des variations géométriques relatives à des variations absolues nécessaires à la génération de MNT.

Pour cela, une première partie explique en détail les principes de formation d'une image radar (aérienne ou satellitaire) possédant une haute résolution au moyen de l'ouverture de synthèse. Les différentes opérations de traitement du signal aboutissant au calcul de l'image radar sont ainsi passées en revue.

Puis, est abordée l'interférométrie elle-même. Ce paragraphe commence par une définition générale de ce qu'est l'interférométrie. Les conditions de validation sont ensuite expliquées ainsi que la chaîne de traitement à effectuer pour obtenir le "produit interférométrique" tel qu'on en dispose dans l'industrie.

Un bilan des différentes techniques de déroulement de phase est enfin dressé, c'est-à-dire aussi bien les résultats obtenus à ce jour que leurs limites et leurs potentiels.

## 2 Le radar à ouverture de synthèse

### 2.1 La prise de vue

La géométrie de la prise de vue du radar à ouverture de synthèse est celle de la figure 1 [63]. On appelle *axe en distance* ou *axe de site* l'axe perpendiculaire au vecteur vitesse du porteur et tangent à la surface de la terre. L'*axe d'azimut* est l'axe parallèle au vecteur vitesse du porteur dirigé dans le même sens. Enfin, l'*axe d'altitude* est dirigé vers le haut et orienté directement par rapport aux deux axes précédents. Le plan contenant le vecteur vitesse du porteur et l'axe central de pointage de l'antenne s'appelle *plan oblique*. La trace au sol du lobe d'antenne décrit une bande d'observation appelée *fauchée*.

Le radar à ouverture de synthèse est un radar à visée latérale (*Side Looking Airborne Radar*, SLAR). Cela veut dire que l'antenne, portée par un mobile (avion ou satellite), vise perpendiculairement au vecteur vitesse de ce mobile. Il existe toutefois des radars ne visant pas latéralement mais étant volontairement dépointés de la perpendiculaire à la trajectoire du porteur.

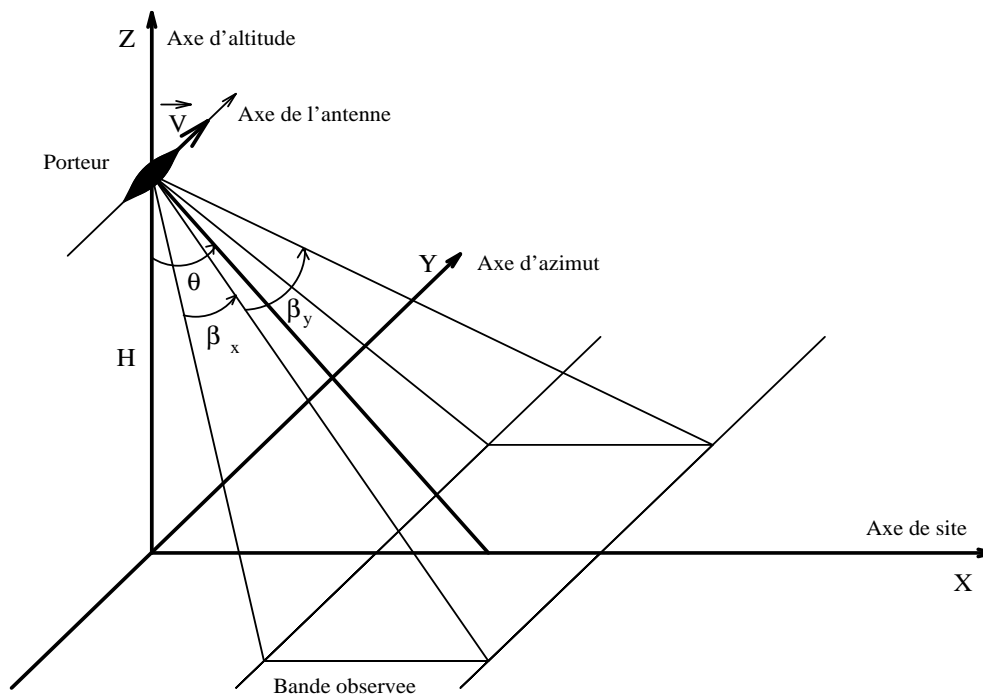


FIG. 1 - Géométrie générale de la visée latérale



## 2.2 Le principe

Le radar à ouverture de synthèse est un système actif. Les impulsions émises par l'antenne se réfléchissent sur la cible (bande au sol) après un temps de propagation proportionnel à la distance entre l'antenne et la cible. L'image radar est ainsi le résultat de l'interaction de l'onde émise avec l'ensemble des points du sol. Cette interaction est déterminée par l'intensité et la polarisation de l'onde rétrodiffusée vers l'antenne.

La même antenne sert alternativement à l'émission et à la réception des ondes. Elle envoie des impulsions vers le sol, avec une inclinaison déterminée par rapport à la verticale, à une cadence appelée la *Fréquence de Répétition des Impulsions* (FRI) (voir figure 2).

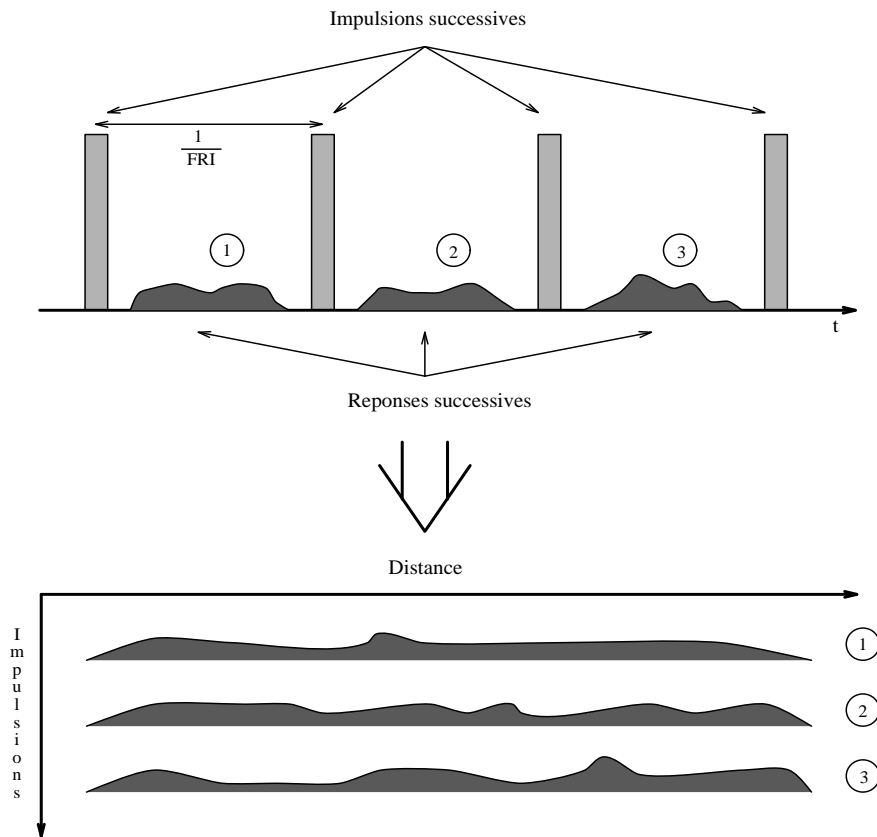


FIG. 2 - Formation d'une image radar à partir des réponses successives

Pour une impulsion donnée, le radar reçoit une réponse, appelée *écho*, fonction de tous les réflecteurs présents dans le lobe de l'antenne au moment où l'impulsion a été émise.

L'originalité du SAR est d'utiliser l'effet Doppler pour localiser les échos reçus par l'antenne. Chaque écho est *découpé* temporellement en morceaux de longueur proportionnelle à la longueur de l'impulsion émise. Chaque morceau de signal, appelé *case distance*, correspond à des réflecteurs situés à distance égale du porteur. L'ensemble des cases distance de même rang s'appelle une *porte radar*.

L'image brute radar ainsi constitué est un tableau *temps-distance* où le temps est représenté par le cadencement des impulsions et la distance par la position d'un écho sur la ligne. La dimension *temps* est généralement appelée *azimut* tandis que l'autre dimension est appelée *distance radiale* ou *distance en site*.

A chaque impulsion, un réflecteur éclairé par l'antenne du radar va renvoyer vers le porteur un signal qui sera reçu toujours dans la même porte radar (en première approximation). Mais, comme il traverse le champ d'éclairage de l'antenne, la phase et la fréquence du signal qu'il rétrodiffuse vont changer (effet Doppler). C'est cette variation de fréquence entre les différentes impulsions qui va permettre de retrouver les contributions de chaque réflecteur pendant le temps où ils sont éclairés par l'antenne. On additionne ainsi les différentes contributions pour former chaque pixel image.

## 2.3 La chaîne de traitement

Ce chapitre décrit en détail les différentes étapes permettant de passer du signal brut reçu par l'antenne à l'image radar [28]. La chaîne de traitement suit l'organigramme représenté sur la figure 3.

### 2.3.1 Le traitement en site : la compression d'impulsion

Comme le montre ce paragraphe, la résolution en site est proportionnelle à la brièveté de l'impulsion. Cependant, l'émission d'impulsions permettant la résolution souhaitée n'est guère réalisable techniquement, au niveau de sa durée mais aussi au niveau de l'énergie (qui doit être suffisante pour la détection des échos réfléchis compte tenu des affaiblissements important dûs au trajet et au coefficient de rétrodiffusion). La finesse de résolution est donc obtenue de manière indirecte. La durée d'impulsion est plus longue (ce qui permet une énergie plus élevée) mais le signal est modulé de manière à occuper une grande largeur de bande et à permettre l'obtention d'une résolution plus petite après traitement adapté du signal reçu. La modulation employée est généralement une modulation linéaire de la fréquence. Elle est communément appelée un *chirp*.