

Images de radar

Didier Massonnet

CNES

Historique : les radars imageurs

L'origine du radar est surtout militaire. La capacité de voir par tous les temps, de jour comme de nuit, a constitué un avantage majeur. L'embarquement de radar à bord d'avions a permis de réaliser des *cartes radar* du sol, dont la résolution était médiocre. Des techniques spécifiques d'amélioration de ces cartes ont alors été développées, en ayant recours à des calculs de plus en plus compliqués.

Comment sont fabriquées ces images de l'invisible ?

Les radars peuvent créer des images en illuminant des objets par un rayonnement radio, puis en recueillant les échos en provenance de ces objets. De ce fait, ils peuvent produire des images de l'invisible puisque nos yeux sont incapables de percevoir les rayonnements radio, pas plus d'ailleurs qu'aucun autre de nos sens. Les ondes utilisées pourraient en théorie aller des très grandes longueurs d'ondes (plusieurs kilomètres) jusqu'à la limite de l'optique infrarouge (moins d'un millimètre). En pratique, les contraintes techniques et réglementaires sont fortes. Pour couronner le tout, le spectre radio est très convoité : liaisons hertziennes, téléphones portables, communications entre ordinateurs, GPS, CB... En pratique quelques créneaux ou bandes de longueurs d'onde sont attribuées à l'observation radar comme la bande L (vers 24 cm ou 1.25 Gigahertz), la bande C (vers 6

cm ou 5 Gigahertz) ou la bande X (vers 3 cm ou 10 Gigahertz). Pour obtenir une image, les systèmes radar installés au sol font tourner leur antenne tout en mettant des bouffées d'ondes radio brèves. En écoutant le résultat de ces impulsions radio en fonction du temps, on obtient les échos des différents objets que l'on peut classer en fonction de leur distance. Le retard entre l'émission de l'impulsion et un écho correspond au trajet aller-retour entre l'antenne et l'objet cause de l'écho, parcouru à la vitesse de la lumière. Ainsi un délai de dix millièmes de secondes (10 microsecondes) correspond à un parcours de l'onde de 3000 mètres, donc à une distance de 1500 mètres. Supposons, par exemple, que le radar découpe l'écho de retour en tranches de 20 millièmes de seconde (ou nanosecondes), c'est-à-dire produise 50 millions de mesures par seconde. Ceci est possible à condition que la longueur d'onde utilisée soit assez petite et que les impulsions aient les caractéristiques adéquates .

Notre radar pourra alors classer des échos séparés en distance par 3 mètres, puisque la lumière parcourt 6 mètres en 20 nanosecondes.



Survol de la Crimée :
image captée CNES

Images de radar

La rotation de l'antenne permet alors d'explorer toutes les directions, et donc finalement de créer une carte complète.

Malgré sa grande antenne, un radar spatial voit *flou* !! Les instruments radar ne voient pas assez petit et confondent les objets...



Survol de la Crimée :
image traitée CNES

Des traitements mathématiques des données, au sol, vont permettre d'améliorer la résolution de ces images d'un facteur souvent supérieur à mille !

Quel est le plus petit objet observable ?

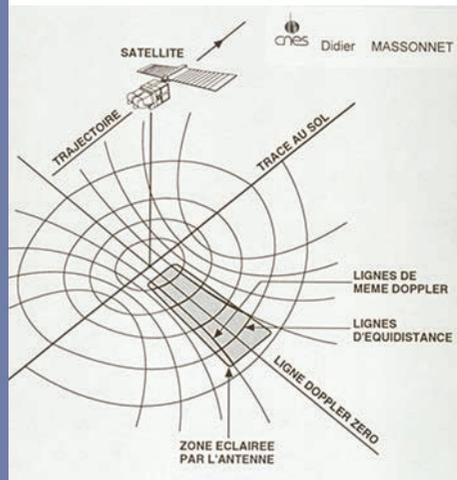
Pour tout système d'observation, le rapport de la distance d'observation à la taille du plus petit objet observable est égal au rapport de l'ouverture de l'instrument à la longueur d'onde utilisée pour l'observation. Dans l'exemple d'une antenne de 10 mètres et d'une longueur d'onde de 5 cm, ce rapport est de 200. Encore l'antenne du radar n'atteint-elle 10 mètres que dans une direction, dans l'autre direction, celle où l'antenne est haute d'un mètre seulement, la résolution est encore plus médiocre.

Comment distinguer les objets ?

Dans le sens de l'avancement du radar, son antenne ne peut distinguer, malgré sa longueur typique de dix mètres, deux objets séparés par moins de cinq kilomètres. La

vitesse du radar sur son orbite étant de six ou sept kilomètres par seconde, un objet au sol restera environ une seconde dans le faisceau de l'antenne. Comme le radar émet typiquement 1000 impulsions par seconde, environ un millier de ces impulsions reviendront vers le radar en portant la marque de l'objet. La difficulté est de distinguer l'objet A qui nous intéresse d'un objet voisin B qui aura été "vu" essentiellement par les mêmes impulsions. Fort heureusement, lors de la traversée du faisceau d'antenne, la distance de l'objet au radar varie légèrement et cette variation de la distance se traduit par des variations de la phase du signal en provenance de l'objet A dans chacune des impulsions. En corrigeant par un traitement spécifique à A ces variations, il se trouve qu'on supprime la contribution de B ; on peut alors réussir à distinguer A de B.

Le principe de vision en distance utilisé par le radar a ses inconvénients car il est possible que plusieurs objets se trouvent à la même distance du radar, et pas seulement de l'autre côté de sa trajectoire. Si la pente d'une



Images de radar

montagne est telle que l'onde du radar lui arrive perpendiculairement, toute une face de la montagne sera à la même distance du radar et concentrée dans un seul pixel. Si la pente est très forte l'ordre des points peut même être inversé !

Même lorsque la pente est raisonnable, les faces exposées paraissent plus



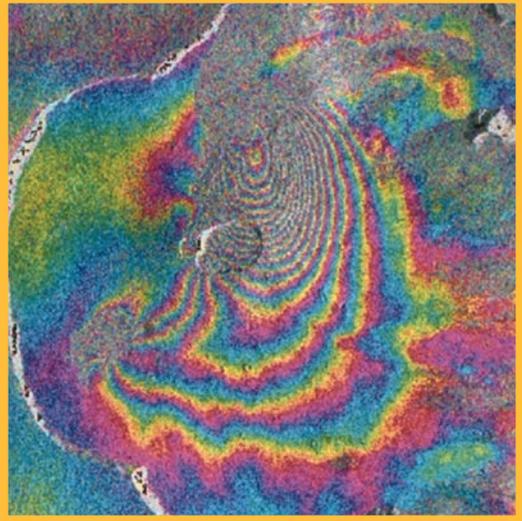
courtes que les faces opposées. Ainsi les montagnes paraissent un peu banales comme

dans cet exemple du relief au sud de l'île de Taiwan.

Pour faire encore mieux : La phase du signal utilisée pour mesurer des distances.

Contrairement aux systèmes optiques, qui recueillent le rayonnement incohérent du Soleil tel qu'il est réfléchi par les objets du sol, un radar émet une onde électromagnétique artificielle dont la longueur d'onde est connue avec une grande précision.

Lors du retour de cette onde, le radar mesure non seulement l'amplitude de celle-ci, qui renseigne sur la force du signal, mais aussi sa phase, c'est à dire là où elle en est dans sa vibration. La phase au retour diffère de la phase à l'émission dès que le trajet aller retour de l'onde n'est pas constitué d'un nombre entier de fois la longueur d'onde.



Si les phases de deux images différentes sont comparées sous certaines conditions, la différence de phase obtenue peut être exploitée pour obtenir des cartes de la déformation subie par le sol entre les deux prises de vue avec une précision incroyable. La différence de phase est représentée par des cycles de couleur. Sur cette vue du Piton de la Fournaise (le volcan actif de l'île de la Réunion), on peut voir la déformation du volcan consécutive à son éruption. Compte tenu de la longueur d'onde utilisée (5.6 cm), chaque frange correspond à une variation de la distance au radar de 28 mm. La totalité de la déformation est donc de moins de 50 cm. Il existe des exemples où cette technique permet de distinguer des déplacements d'une amplitude d'un millimètre ! Rappelons que le radar circule à 28000 km/h à 1000 km de là !

DM

Pour en savoir plus :

A. Cazenave et D. Massonnet,
éditions BELIN - Pour la Science
La Terre vue de l'espace

Centre Canadien de Télédétection
http://ccrs.nrcan.gc.ca/radar/index_f.php