

L'IMAGERIE RADAR

LORTIC B.* et LORTIC M.C.**

* Ingénieur télédétection, ORSTOM, Département SUD, U.R. UF

** Chef de travaux, EHESS, CAMS

Arme décisive des militaires pendant la guerre 39-45, le radar (RADio Detection And Ranging) est depuis 1978 un outil extraordinaire pour le géographe. Pendant la décennie 90 toute une série de radars va être lancée sur satellite (radarsat, ERS1).

En effet, les techniques de télédétection spatiale classiques qui commencent à être largement employées aujourd'hui présentent certaines limites :

- limite *temporelle* : la continuité temporelle théorique est en fait rarement réalisée car les capteurs multispectraux classiques (tels Landsat, SPOT, Thematic Mapper...) qui enregistrent des radiations réfléchies dans le visible, l'infra-rouge proche et moyen sont aussi tributaires des conditions atmosphériques que la photographie aérienne. Un nuage passe, pas de données !

- limite *spectrale* : les capteurs classiques, de par leur sensibilité spectrale (visible, infra-rouge), fournissent des informations avant tout sur l'état physiologique des objets;

- limite *spatiale* : la résolution spatiale est souvent grossière : NOAA : 1 km, Météosat : 5 km, MSS de Landsat : 80 m , TM : 30 m., SPOT : 10 mètres.

Les images radar, utilisées jusqu'ici par quelques spécialistes (océanographes, glaciologues, géologues) restent peu employées dans les autres disciplines. Quelques études ont été réalisées dans des domaines agricoles (CESR) ou hydro-pédologique (CEMAGREF et CNET) ou dans des optiques paysagique ou archéologique. Par contre, les applications en milieu urbain restent très rares sinon inexistantes.

Le premier contact avec une image radar est toujours très déroutant pour un utilisateur des données de télédétection. Pourquoi cette constellation

de petits points ? Pourquoi la végétation apparaît-elle si claire ? Toutes ces lignes blanches, sont-elles des défauts de restitution ? Autant de questions spontanées qui trouvent réponse très simplement.

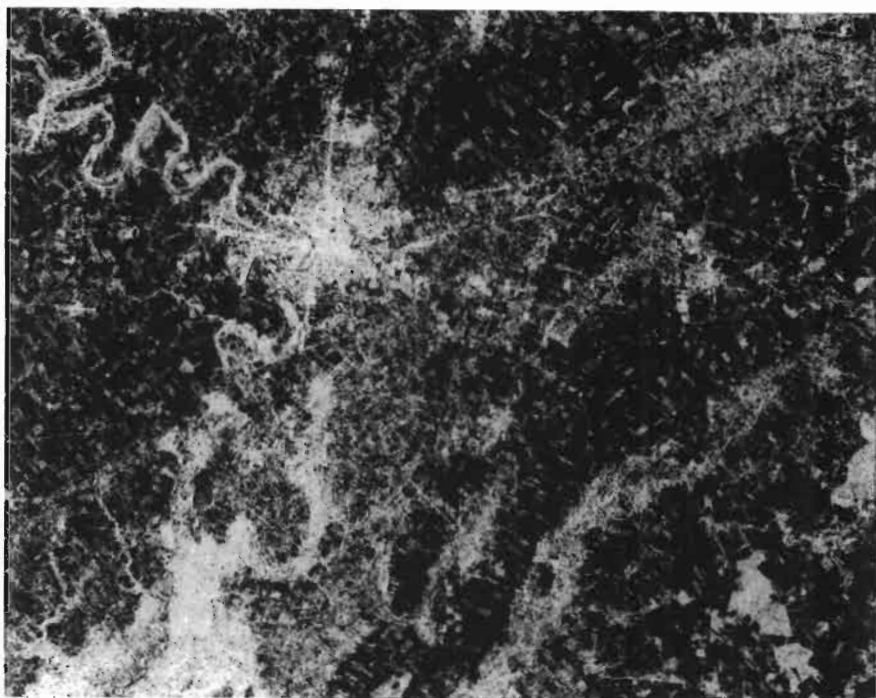


Image Seasat de Niort au 1/100000 ème

Mais, pour bien utiliser ces images, il est nécessaire de se plonger un peu dans la technique, d'essayer de comprendre au mieux l'ensemble des principaux paramètres physiques du système radar. Les caractéristiques techniques permettent d'expliquer en grande partie les signaux rétrodiffusés par un certain nombre d'objets connus et même d'émettre des hypothèses solides d'interprétation en ce qui concerne les objets inconnus.

I. CARACTERISTIQUES DU RAYONNEMENT RADAR

Le rayonnement radar est émis artificiellement en courtes pulsations en direction de la surface terrestre. Il présente cinq caractéristiques

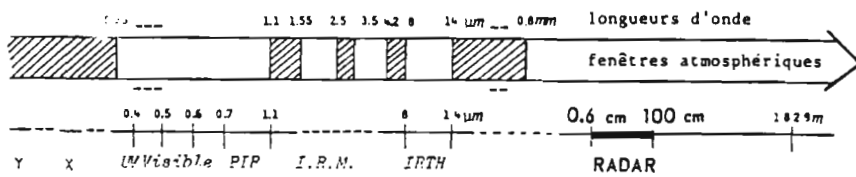
fondamentales qui le différencient du rayonnement utilisé dans les systèmes passifs classiques :

a) C'est un rayonnement dit *cohérent* comme celui d'un laser. C'est-à-dire que tous les rayons sont en phase. C'est donc un rayonnement capable de se propager à de très grandes distances sans modifications importantes.

A cause de sa nature cohérente, le faisceau radar provoque par réflexion, principalement sur la surface terrestre, des phénomènes d'interférences. Ceux-ci se traduisent quelquefois sur l'image par des franges et toujours par un effet de scintillement appelé "speckle", perceptible sous forme d'un moucheté parasite gênant la lisibilité de l'image.

b) C'est un rayonnement de *très grande longueur d'onde*, par rapport au domaine visible ou même au domaine de l'infrarouge lointain.

Les ondes visibles sont situées entre 0.5 et 0.7 micron. Les ondes radar sont situées entre 0.6 cm et 1 mètre.



γ = rayons gamma

χ = rayons X

U.V. = ultra-violet

1 μm = 1 micromètre = 10^{-6}m = 1 millionième de mètre

P.I.R. = proche infra-rouge

I.R.M. = infra-rouge moyen

I.R.T.H. = infra-rouge thermique

Les ondes radar sont donc un million à cent millions de fois plus longues que les ondes visibles. La grande longueur de ces ondes amène deux propriétés intéressantes :

- les radars donnant des images de la surface terrestre utilisent des fenêtres de transparence atmosphérique. Leurs ondes passent très facilement à travers les nuages. Il faut distinguer les radars météorologiques dont les longueurs d'ondes sont choisies pour être absorbés par la pluie, les nuages et même l'atmosphère.

- à l'échelle des ondes radar, la surface terrestre est presque lisse. En effet, la rugosité d'une surface se mesure en fonction de la longueur d'onde que l'on utilise. Classiquement pour l'oeil, l'étalon est le micron. Lorsque

l'on utilise le radar, l'étalon devient le mètre ; la surface terrestre tend à devenir, pour le radar, un assemblage de miroirs. Notons que depuis cinquante ans les noms des ondes radar sont codés par des lettres correspondant à des domaines de longueurs d'onde précis : x, c, l, p.

Bandes	Longueur d'onde (cm)	Fréquence (θhz)
P	100 à 30	0,3 à 1,0
L	30 à 15	1,0 à 2,0
S	15 à 7,5	2,0 à 4,0
C	7,5 à 3,75	4,0 à 8,0
X	3,75 à 2,4	8,0 à 12,5
Ku	2,4 à 1,66	12,5 à 18,0
K	1,66 à 1,13	18,0 à 26,5
Ka	1,13 à 0,75	26,5 à 40,0
V	0,6	50,00

c) C'est un rayonnement *dirigé* qui n'est pas du tout diffusé par l'atmosphère.

La forte directivité du faisceau incident provoque une accentuation apparente du relief par des ombres complètement noires, ne contenant aucune information.

d) C'est un rayonnement *polarisé*.

Contrairement au rayon solaire dont le vecteur électrique se propage dans de nombreuses directions simultanées, le faisceau émis par le radar est d'emblée polarisé soit verticalement, soit horizontalement. On mesure au retour, soit la composante horizontale soit la composante verticale de l'onde rétrodiffusée. On parle de configurations de polarisation : HH, VV, HV, VH. Le comportement polarisant des objets constitue un paramètre supplémentaire qui peut aider à leur identification.

e) Le rayonnement radar a un certain *pouvoir de pénétration*.

Contrairement aux radiations de très courtes longueurs d'ondes dont le trajet est modifié dès qu'elles rencontrent une surface quelconque, l'onde radar possède un certain pouvoir de pénétration. La pénétration augmente avec la longueur d'onde, elle diminue avec la teneur en eau des objets observés.

Selon certains auteurs, en milieu sec, le rayonnement radar pénètre jusqu'à une profondeur maximale de une longueur d'onde; selon

d'autres, en milieu désertique, la pénétration peut atteindre une profondeur équivalente à plusieurs dizaines de fois la longueur d'onde du faisceau incident.

En conclusion, nous insisterons sur le constat suivant : le faisceau radar émis est *totalelement contrôlé*. On peut dire que l'on connaît exactement l'onde qui arrive au sol en tout lieu et à chaque instant (la diffusion et l'absorption atmosphérique étant considérées comme négligeables). Ceci n'est jamais le cas dans les systèmes passifs car le rayonnement solaire utilisé varie constamment en direction et en nature spectrale d'un lieu à un autre, d'un instant à l'autre à cause des fluctuations atmosphériques.

Paramètres influençant l'intensité du signal radar

Ils peuvent se regrouper en deux familles :

a) des paramètres liés à la position des objets ou des surfaces par rapport au faisceau incident. Ce sont l'angle d'incidence, la pente du terrain (inclinaison et orientation), la position relative de la surface par rapport à l'angle d'incidence.

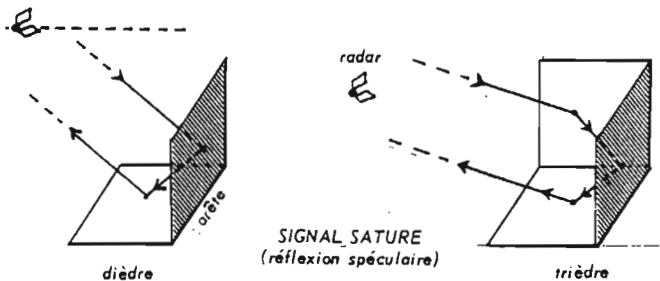
b) des paramètres liés à l'objet lui-même.

- L'état de surface.

L'indicatrice de direction de la diffusion dépend de la rugosité de surface. Un objet de très grande réflectivité peut entraîner quand même un signal nul s'il réfléchit le faisceau dans une autre direction que celle de l'antenne. Un objet lisse réfléchit principalement dans une seule direction.

- La géométrie de l'objet (réflecteur en coin).

En milieu urbain principalement, l'objet est fréquemment constitué d'un dièdre ou d'un trièdre rectangle.



- La constante diélectrique des objets.


Les objets dont la constante diélectrique est élevée réfléchissent plus intensément le faisceau radar que ceux dont la constante diélectrique est faible. Ainsi les bons conducteurs comme les métaux ont une très forte réflectance radar. La constante diélectrique croît avec la teneur en eau, par conséquent l'humidité est un facteur important de l'intensité de la réflexion. Cependant, dans des conditions réelles où tous les paramètres cités se trouvent combinés pour donner une certaine intensité du signal résultant, il est difficile de déterminer lequel est dominant.

Par exemple : des conditions très favorables comme celles de surfaces lisses métalliques peuvent être annihilées par des conditions géométriques défavorables. Inversement un trièdre d'un matériau peu réfléchissant peut-être extrêmement brillant.

En plus de la topographie et de l'état hydrique du sol, ce sont donc avant tout les propriétés géométriques des objets et des surfaces que l'intensité du signal radar traduit. En cela les systèmes radar diffèrent considérablement des radiomètres multispectraux visible et infra-rouge. En effet, ceux-ci, outre la couleur des objets et l'humidité des sols, traduisent le degré de minéralisation et l'état de la chlorophylle des végétaux.

	INTENSITE DU SIGNAL	PENETRATION
RUGOSITE DE SURFACE		
TENEUR EN EAU		
CONSTE DIELECTRIQUE		
LONGUEUR D'ONDE		
$ i - d $		

i = angle d'incidence
 d = angle d'inclinaison

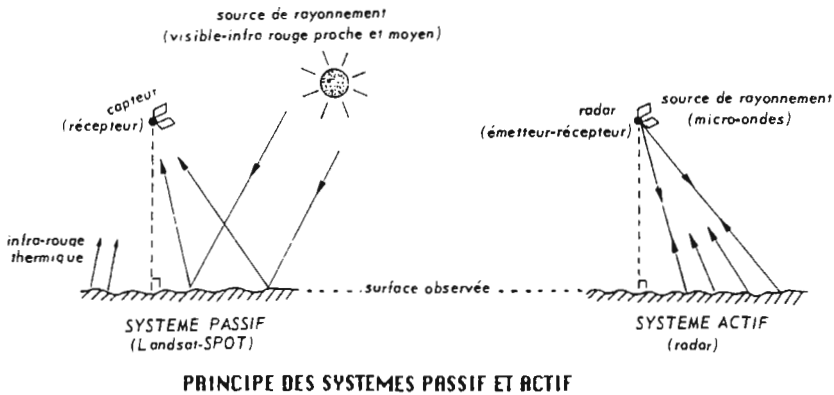

 variation dans le même sens
 variation en sens contraire
 pas de relation

**VARIATION DE L'INTENSITÉ DU SIGNAL ET DE LA PENETRATION
 EN FONCTION DES PRINCIPAUX PARAMÈTRES D'ENREGISTREMENT**

II. LE SYSTEME RADAR IMAGEUR

A) Principe du système radar

Le radar est une technique de télédétection *active*, à savoir qu'un rayonnement est envoyé par un émetteur vers le sol ; une partie de ce rayonnement est renvoyée vers la plate-forme et enregistrée par un récepteur, l'autre partie étant absorbée par le sol ou réfléchi dans une autre direction.



Nature de la mesure

Le faisceau radar, dirigé, est envoyé sur la surface terrestre. Celle-ci, suivant ses propriétés géométriques et physico-chimiques, le renvoie plus ou moins vers l'espace en le diffusant dans toutes les directions.

Le signal résultant appelé, selon les auteurs, "signal radar, signal rétrodiffusé ou écho-retour" est défini quantitativement par la "section efficace" (héritage de la détection aérienne) ou "le coefficient de rétrodiffusion" de la surface considérée, exprimé en décibels.

Exemple

Soient :

S= surface observée

S'= surface apparente par rapport au radar (S' perpendiculaire au faisceau incident)

I1= la partie du rayonnement I renvoyée par S en direction du radar.

I2= la partie du rayonnement I renvoyée dans les autres directions.

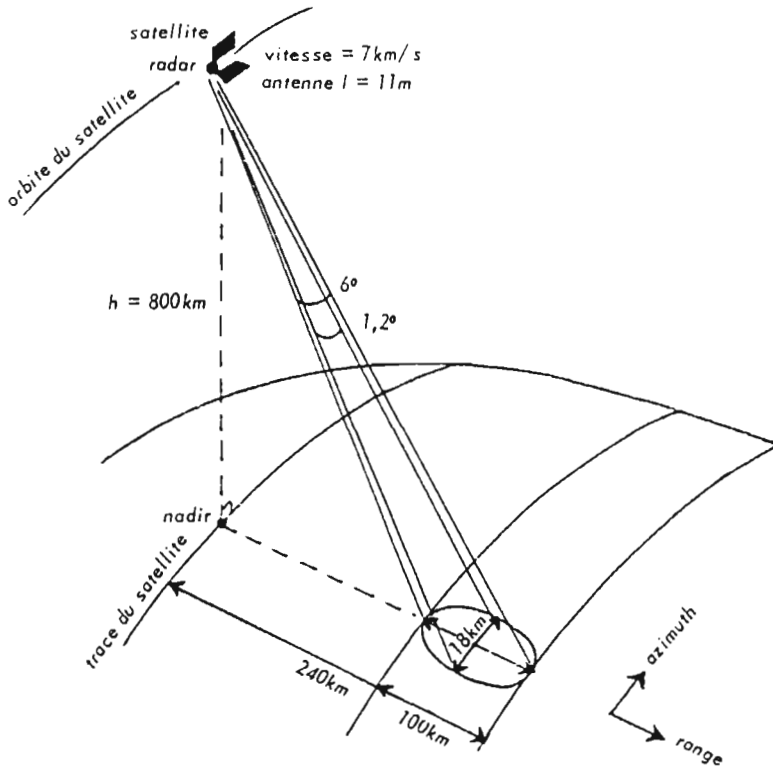
On calcule la section efficace ou coefficient de rétrodiffusion de la surface S, symbolisée par σ_0 , exprimée en décibels par la relation :

$$\sigma_0 = I1/I2 * s'$$

Ce que l'on mesure dans le cas du système radar n'est pas fondamentalement différent de ce que l'on mesure dans le cas du système passif (visible -proche infrarouge). Dans un cas comme dans l'autre, on mesure les radiations qui retournent au capteur après réflexion sur la surface terrestre. Quand il s'agit du visible, on parle de luminance spectrale que l'on exprime en Watt/M2/stéradian. Quand il s'agit de radar, on parle de rétrodiffusion, qu'on exprime en décibels.

B) Un exemple de formation d'une image radar : le cas du sar de SEASAT (radar a ouverture synthétique)

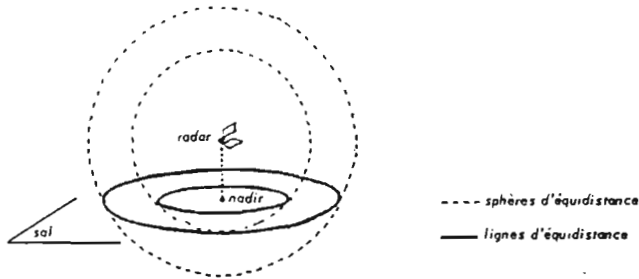
Le faisceau du radar embarqué sur le satellite est orienté perpendiculairement à la trajectoire du satellite. Il a grossièrement la forme d'un cône très aplati dont l'ouverture au sommet est d'environ un degré en gisement (dans le sens du déplacement) et de 20 à 80 degrés en site (dans le plan vertical orthogonal au déplacement).



SCHEMA DES CONDITIONS D'ENREGISTREMENT DU S.A.R.

DE SEASAT

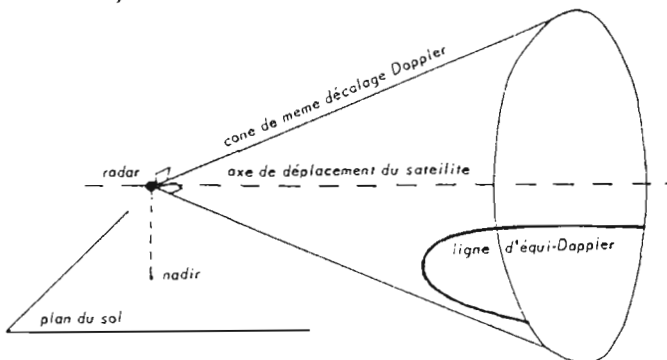
Le lieu géométrique des points de l'espace équidistants au radar est constitué par une série de sphères centrées sur le radar. L'intersection de ces sphères avec la surface terrestre (assimilable à un plan) détermine une série de cercles concentriques centrés sur le point nadir du radar. Ces cercles constituent le lieu géométrique des points du sol équidistants. Les écho-retours renvoyés par les objets situés sur chacun de ces cercles arrivent au même instant au radar. La mesure du temps de réponse des signaux permet donc de savoir sur quel cercle de distance sont situés les objets correspondants.



ACQUISITION DES DONNÉES S.A.R. : EQUIDISTANCE DES OBJETS

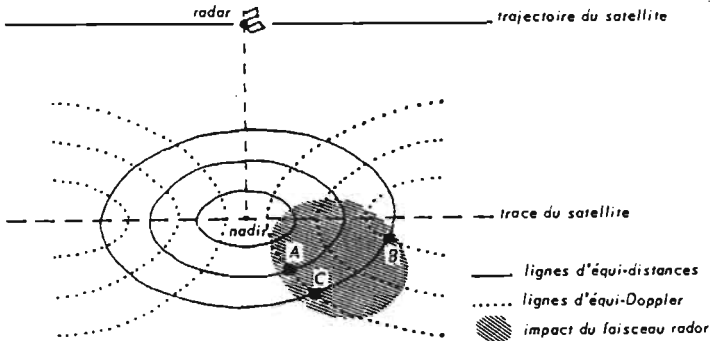
D'autre part, le lieu géométrique des objets de l'espace dont les écho-retour présentent le même décalage Doppler à l'instant t peut se représenter par un cône dont le sommet correspond à la position du radar à l'instant t , et l'axe à la trajectoire du satellite. L'intersection de ce cône avec la surface terrestre est une courbe qui représente le lieu géométrique des objets au sol dont l'écho-retour présente le même décalage Doppler par rapport à l'onde de référence.

Par conséquent, on combine les informations données par l'intensité des signaux (nature des objets), le temps de réponse et le décalage Doppler (localisation des objets)



ACQUISITION DES DONNÉES S.A.R. : EQUI-DOPPLER

On comprend que le décalage Doppler utilisé dans ce cas pour localiser des objets fixes et non pas pour mesurer la vitesse d'objets mobiles, puisse entraîner des erreurs de localisation en ce qui concerne les objets mobiles.



ACQUISITION DES DONNEES : LOCALISATION DES OBJETS

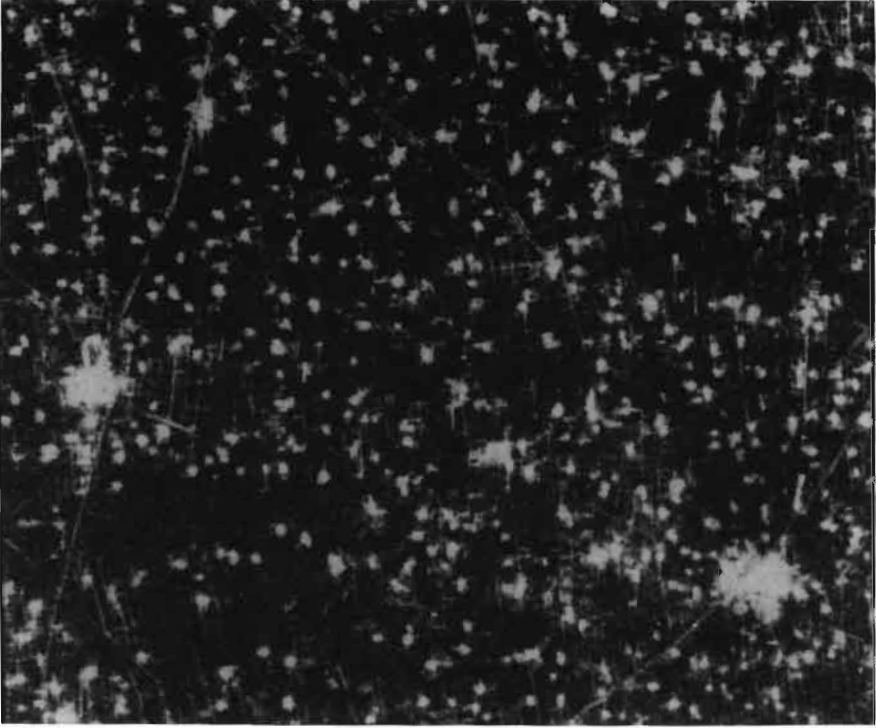
III. QUELQUES GRANDS TYPES D'APPLICATIONS EN MILIEU URBAIN

A partir de ces données techniques et des quelques images disponibles, nous pouvons envisager des applications précises.

1. Détection des agglomérations . Aide au recensement

Tous les auteurs ont signalé la possibilité de détecter les agglomérations. En effet la présence de dièdres ou trièdres réflecteurs de surface très lisse dans tout ensemble d'habitations entraîne sur l'image radar la juxtaposition de points d'intensité maximum et de points d'intensité minimum. LAUR (89) montre bien que l'écart-type local suffit à discriminer correctement les groupes de bâtiments.

Il semble donc que l'imagerie radar puisse constituer une aide précieuse à l'établissement d'une cartographie utilisable lors d'un recensement de population. En effet, le repérage des lieux d'habitation est primordial pour toute enquête exhaustive ou par sondage.



Cette image de la Chine enregistrée par le radar SIR A illustre bien cette possibilité.

2. Possibilité de détection de l'extension urbaine

Un des intérêts de l'imagerie micro-ondes est son indépendance vis-à-vis des conditions météorologiques. Il est donc possible, en toute région, de programmer des acquisitions de données de façon précise et sûre. Cette propriété permettra sans doute un suivi des chantiers et travaux divers en zone peu construite précédemment de façon plus routinière. Il semble plus difficile de détecter les petites modifications, se traduisant seulement par une modification de l'âge ou de la forme du bâti en zone déjà construite.

Il reste cependant à mesurer précisément trois types d'erreurs possibles :

- la confusion entre un immeuble (au sens de tout bâtiment quelle que soit sa taille) et divers objets mobiles (véhicules de toutes natures);

- la sous-détection éventuelle des bâtiments ou constructions due à une absence de trièdres et à une disposition non favorable des dièdres;
- la surestimation éventuelle de la surface urbanisée à cause des valeurs de rétrodiffusion très élevées causées par une juxtaposition de dièdres ou trièdres qui peut entraîner une exagération des valeurs des pixels environnants.

3. Evaluation des phénomènes accidentels

Les propriétés "tous temps" de l'imagerie radar vont permettre une observation et une mesure des événements extraordinaires qu'ils soient ou non catastrophiques (tremblements de terre, inondations, embouteillages...). Le radar embarqué sur satellite permettra facilement, espérons-le, d'obtenir des données enregistrées à des dates suffisamment rapprochées pour des études locales.

Lors d'un tremblement de terre, il paraît certain qu'une bonne localisation des démolitions importantes pourra être obtenue par différence de plusieurs dates ; mais peut-on espérer détecter directement sur une seule image le type de démolitions dues à un tremblement de terre par analyse de la texture?

En cas d'inondations, le radar apportera certainement des images très utiles.

4. Evolution du tissu urbain

Le suivi de l'évolution des quartiers peut s'effectuer par l'analyse des différences globales des valeurs de rétrodiffusion, mais aussi par l'analyse des modifications de la structure des surfaces imperméabilisées bâties ou non.

Il semble que nous ayons encore beaucoup à faire pour que le rapport signal/bruit soit suffisamment maîtrisé pour que l'écho-retour obtenu soit réellement significatif.

5. Représentation du parcellaire et voirie

Une cartographie du parcellaire par détection et suivi des linéaments, bordures de voirie et chemins semble devoir faire l'objet d'études et d'améliorations technologiques avant d'être réalisable.

Cependant l'image de Marne-La-Vallée ci-dessous montre qu'en l'absence totale d'autres données l'image radar peut être utilisée pour établir un plan succinct.



CONCLUSION

En micro-ondes, la résolution de l'image est indépendante de la distance. Sur bien des points l'optique théorique donne ainsi l'avantage au radar pour la qualité géométrique de l'image. Si l'on surmonte les deux problèmes que sont la pléthore de chiffres nécessaire à la fabrication d'une image et l'apparente difficulté de l'optique cohérente, les données radars deviennent une source d'informations précises et stables. Les

progrès que l'on a pu constater sur les capteurs visibles, du MSS de Landsat en 1972 au HRV de SPOT en 1986, ne manqueront pas de se produire pour l'imagerie radar.