

TELEDETECTION MICRO-ONDES : PRINCIPALES CONCLUSIONS DU
COLLOQUE INTERNATIONAL "SIGNATURES SPECTRALES D'OBJETS EN TELEDETECTION"
MICROWAVE REMOTE SENSING : MAIN CONCLUSIONS OF THE
INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON "SPECTRAL SIGNATURE OF OBJECTS IN REMOTE SENSING"

par

Thuy LE TOAN

Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements
CNRS - Université Paul Sabatier - Toulouse France

RESUME

Quelques considérations sur les recherches en télédétection micro-ondes axées principalement sur les thèmes sol et végétation sont formulées, appuyées sur les contributions du colloque "Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection" tenu à Avignon du 8 au 11 septembre 1981.

- Les paramètres détectés par les capteurs micro-ondes sont liés aux propriétés géométriques de la cible (rugosité du sol, géométrie du couvert) et à ses propriétés diélectriques (teneur en eau du sol et celle du couvert). Les informations fournies présentent donc une complémentarité avec celles des capteurs travaillant dans d'autres bandes spectrales.

- Il est possible de déterminer des configurations de mesure (fréquence, polarisation, incidence) pour l'observation sélective du sol et de la végétation. Dans ces conditions, des relations quantitatives pouvant être généralisées sont obtenues entre les réponses radar et certains paramètres cibles (humidité du sol, teneur en eau d'un couvert).

- Il a été recommandé à la conclusion générale du colloque, de mettre l'accent sur les recherches dans le domaine des micro-ondes - recherches peu nombreuses à l'heure actuelle.

ABSTRACT

Some considerations on microwave remote sensing researchs are presented -based on contributions of the Colloquium on "Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing".

- The physical content of microwave sensor responses is related to geometric and dielectric properties of the object. The information acquired are complementary to that obtained in other spectral bands.

- Selective observations of vegetation canopy are possible through a proper choice of microwave frequency, polarisation, incidence. Quantitative relationships -which can be generalized- are obtained between radar responses and certain target parameters (soil moisture, water content of a canopy).

- It was recommended in the general conclusion of the colloquium to put the emphasis on microwave remote sensing researchs in the future.

1 - INTRODUCTION :

A l'origine, les capteurs micro-ondes étaient destinés aux applications militaires et météorologiques. Depuis une quinzaine d'années, des systèmes radar ont été utilisés dans un certain nombre de programmes d'observation de la terre, essentiellement pour la cartographie géologique des zones à forte nébulosité.

Pour les autres domaines d'application, les raisons d'utiliser les radars et radiomètres micro-ondes à la place ou en plus des capteurs opérant dans le visible et l'infra-rouge sont pourtant évidentes, en particulier lorsque l'information doit être acquise de façon répétitive pendant des périodes bien déterminées. Cependant, le caractère tout temps des capteurs micro-ondes ne présente un avantage que si les données qu'ils fournissent ont un contenu utile pour l'application.

Dans le but d'évaluer l'utilité des systèmes micro-ondes pour les applications telles que le suivi de croissance de la végétation, la cartographie de l'humidité des sols, celle de la teneur en eau des neiges, la détermination de l'état de la mer, etc..., des recherches ont été effectuées afin d'approfondir les connaissances sur la réflectivité et l'émissivité micro-ondes des divers types de surfaces.

Les connaissances portent en premier lieu sur le comportement des réponses spectrales et angulaires des paramètres mesurés -coefficient de rétrodiffusion radar (σ° ou γ) des systèmes radar ou capteurs actifs, température de brillance T_B des radiomètres micro-ondes ou capteurs passifs. Dans la phase suivante, les recherches portent sur les relations entre les paramètres micro-ondes mesurés et les caractéristiques des surfaces cible.

2 - CONTRIBUTIONS AU COLLOQUE "SIGNATURES SPECTRALES D'OBJETS EN TELEDETECTION":

Le colloque "Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection" présentait une opportunité d'ouvrir une discussion sur les résultats et perspectives des recherches menées, en particulier en ce qui concerne les relations entre les propriétés spécifiques d'un objet et le rayonnement qu'il réfléchit ou émet dans le domaine des micro-ondes.

Il est cependant à noter que sur 60 communications présentées, 6, donc 1/10e seulement concernent les études dans ce domaine. Les remarques suivantes peuvent être formulées à partir de l'étude des sujets présentés [1 à 6]:

1. Les recherches entreprises sont peu nombreuses par rapport à celles conduites dans les autres domaines du spectre électromagnétique. La raison peut être attribuée en partie à la difficulté et au coût de la technologie micro-ondes : peu d'appareils de mesure destinés à la recherche, ceux qui existent sont des prototypes donc difficiles à maîtriser.

Par ailleurs, les données micro-ondes des systèmes imageurs, celles qui peuvent susciter plus d'intérêt de la part des utilisateurs sont jusqu'à maintenant en nombre limité.

2. Les sujets traités ne concernent que le sol et la végétation. Cette remarque, valable pour l'ensemble des contributions du colloque, ne doit pas faire oublier qu'il existe des recherches menées pour d'autres domaines d'application : neige, océan, glace de mer... Néanmoins, étant donnée la complexité des milieux naturels constitués de sol et de végétation, il est justifié de mettre l'accent sur les recherches dans ces domaines.

3. Les contributions concernent surtout les systèmes micro-ondes actifs [1, 2, 4, 4, 6], excepté une seule qui traite les mesures du système passif [3]. Ce qui peut indiquer que pour l'observation des surfaces cultivées, thème le plus important traité au cours du colloque, la perspective d'utiliser les systèmes passifs est plus limitée. En effet, la résolution des radiomètres micro-ondes actuels est de l'ordre de 1 à 10 km, peu adaptée à la dimension des champs.

Ces remarques, qui ne sont pas à généraliser compte tenu du nombre restreint des contributions, donnent cependant une idée de la tendance des recherches actuelles.

3 - SCHEMA GENERAL DES RECHERCHES :

Les contributions peuvent s'inscrire dans le cadre d'un schéma général des recherches allant de l'évaluation des données micro-ondes finales - les images radar (ou moins fréquemment celles des radiomètres) - aux problèmes de l'application.

1. Evaluation de la qualité des images :

Contenu physique du ton et de la texture des images - Influence des paramètres instrumentaux et logistiques.

2. Problèmes physiques :

- relation entre les propriétés de diffusion et d'émission d'une cible et ses propriétés électromagnétiques

- relation entre les propriétés électromagnétiques d'une cible et ses propriétés physiques.

3. Problèmes d'application :

Utilité des paramètres cible détectables.

Les recherches présentées concernent principalement les deux premières phases. La concertation avec les utilisateurs doit cependant être toujours présente afin de ne pas perdre de vue l'objet final des études effectuées.

Le but des recherches poursuivies est de relier les paramètres mesurés (σ^0 ou T_B) aux paramètres thématiques et le problème physique à résoudre consiste à évaluer la diffusion ou l'émission de l'onde par un milieu diélectrique bordé par une interface irrégulière. Cependant, la solution théorique du problème et surtout celle du problème inverse implique la connaissance de tous les paramètres intervenant : paramètres systèmes, paramètres cible, paramètres de l'environnement. Il est à noter que dans le domaine des micro-ondes, l'effet des principaux paramètres qui perturbent l'observation dans les autres bandes spectrales (couche atmosphérique, élévation du soleil...) peut être négligé. Par contre, le rayonnement micro-ondes étant affecté par les propriétés à la fois géométriques et diélectriques du milieu observé, les paramètres cible qui interviennent directement dans le processus d'interaction sont plus nombreux et souvent difficiles à quantifier. Le tableau 1 présente un exemple des paramètres cible à tenir compte dans l'étude du sol et de la végétation.

PARAMÈTRES THÉMATIQUES	
SOL	VÉGÉTATION
- NATURE DU SOL	- NATURE DU COUVERT
- RUGOSITÉ DE SURFACE	- STRUCTURE : DENSITÉ, DISTRIBUTION DE FEUILLES, INDICE FOLIAIRE
- POROSITÉ, STRUCTURE, FAILLES	- BIOMASSE : POIDS FRAIS, POIDS D'EAU.
- HUMIDITÉ	- STADE PHÉNOLOGIQUE
- SUCCION DE L'EAU	- ÉTAT PHYTOSANITAIRE
- COMPOSITION MINÉRALE - SALINITÉ	

Tableau 1

Il est plus facile dans ce cas d'utiliser une approche à la fois pragmatique et théorique. Les résultats empiriques permettent d'étudier de façon analytique l'influence de chaque paramètre et de mettre en évidence les relations simples qui existent entre les paramètres. Les études théoriques ont pour but d'expliquer ces relations, permettant ainsi de généraliser les résultats.

Pour illustrer les démarches poursuivies, les contributions du colloque peuvent être analysées suivant le schéma des recherches des deux thèmes présents : détection de l'humidité des sols et l'observation des couverts végétaux.

4 - DETECTION DE L'HUMIDITÉ DES SOLS :

Les études présentées concernent les expériences au sol avec un radar-scattéromètre [1] et l'analyse des images radar [2]. Les recherches ont pour but d'apporter les éléments de réponse aux questions suivantes.

1 - Quelle est la contribution à l'énergie retroréfléchi de :

- . La diffusion de surface
- . La diffusion de volume ?

Quel est l'effet de la rugosité de surface ? Comment la réponse varie avec :

- . La fréquence micro-ondes
- . L'incidence
- . La polarisation ?

Configuration de mesure qui minimise l'effet de la rugosité ?

Quel est le volume du sol qui participe à la diffusion ?

2 - Relations entre l'énergie retroréfléchi et l'humidité du sol ? Quelles sont les influences :

- . Des propriétés diélectriques du sol
- . Du type, de la texture du sol
- . De la présence du couvert végétal ?

4.1 - Effet de la rugosité de surface :

La rétrodiffusion radar est affectée principalement par les propriétés géométriques de l'interface et les propriétés diélectriques du milieu. Pour la détection de l'humidité du sol, l'influence de la rugosité de l'interface est étudiée systématiquement afin de déterminer un choix approprié de paramètres instrumentaux (fréquence micro-ondes, polarisation) et logistique (incidence) pour lesquels l'influence de la rugosité est réduite.

quences micr
la configura
angle d'inci

4.2 -

par l'interm
large gamme
ces, les pro
cette profon

4.3 -

fusée, donc
modèles théo
peut être ex
d'une foncti
Lorsque l'ef
peut être dé

mesurées en
texture, den

[1] entre le
Dans la gamm
tions peuen

15° d'incide

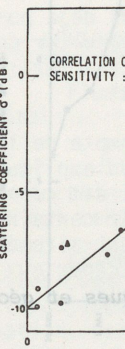


Figure 1 : C
sion radar e
de la couche
sultat expér
(d'après Le

Pour plusieurs types de surfaces agricoles et dans la gamme des fréquences micro-ondes utilisables à l'heure actuelle pour l'observation de la terre la configuration des mesures suivantes a été déterminée [1] : fréquence 4.5 GHz angle d'incidence entre 5 et 20°, polarisation HH.

4.2 - Effet du volume :

Le volume de sol qui participe à l'énergie rétrodiffusée est évalué par l'intermédiaire du calcul des profondeurs de pénétration. A partir d'une large gamme de profils verticaux d'humidité du sol mesurés au cours des expériences, les profondeurs de pénétrations calculées varient de 0 à 10 cm. A 4.5 GHz, cette profondeur varie de 0 cm (sol humide) à 3 cm (sol sec) [1].

4.3 - Relation σ° /humidité du sol :

Dans le cas où l'effet du volume est négligeable, l'énergie rétrodiffusée, donc σ° , résulte principalement de la réflexion de surface. Suivant les modèles théoriques décrivant la diffusion de l'onde par une surface rugueuse, σ° peut être exprimé sous forme d'un produit du coefficient de réflexion Fresnel et d'une fonction de la rugosité. Lorsque l'effet de la rugosité est réduit, σ° en fonction de l'humidité du sol peut être déduit du coefficient de réflexion de Fresnel R.

Pour évaluer R, les permittivités diélectriques du sol doivent être mesurées en fonction des paramètres suivants : teneur en eau, succion de l'eau, texture, densité du sol, fréquence micro-ondes...

A partir des mesures expérimentales, une similitude a été observée [1] entre les variations en fonction de l'humidité du sol de R et celle de σ° . Dans la gamme d'humidité rencontrée le plus souvent (0.03 à 0.30 g/g), les variations peuvent être considérées comme linéaires.

La figure 1 montre σ° en fonction de l'humidité du sol à 4.5 GHz, 15° d'incidence et polarisation VV.

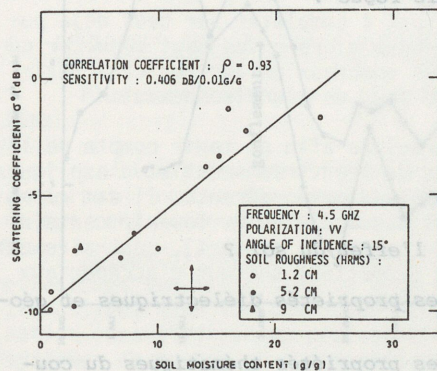


Figure 1 : Coefficient de rétrodiffusion radar en fonction de l'humidité de la couche superficielle du sol. Résultat expérience sur le terrain. (d'après Le Toan et al. [1]).

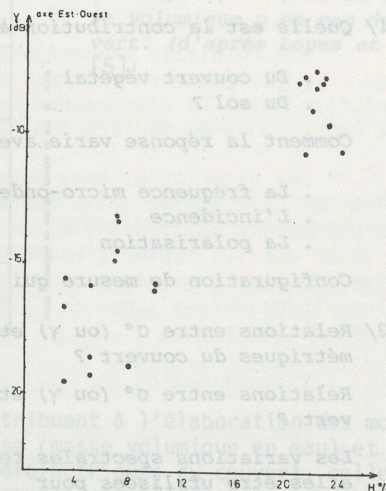


Figure 2 : Coefficient de rétrodiffusion radar en fonction de l'humidité du sol. Analyse de l'imagerie radar (9 GHz, incidence > 60°) (d'après King [2]).

L'augmentation de la rétrodiffusion avec la teneur en eau du sol a été constatée par la contribution [2] sur l'image radar à 9 GHz, incidence 50-70° où dans les conditions de l'étude présentée, on peut distinguer seulement 2 groupes de réponses correspondant à 2 situations d'humidité (figure 2).

4.4 - Effet de la couverture végétale :

Le signal rétrodiffusé par un couvert végétal résulte de la contribution de la couche végétale et de celle du sol. Les résultats expérimentaux sur un couvert de blé [1] font apparaître qu'aux faibles fréquences (1.5 et 3 GHz) la rétrodiffusion radar est due surtout à la contribution du sol à 4.5 GHz la réponse du sol est encore prédominante mais peut être atténuée par le couvert (figure 3). A 9 GHz, la rétrodiffusion radar provient principalement de la contribution du couvert.

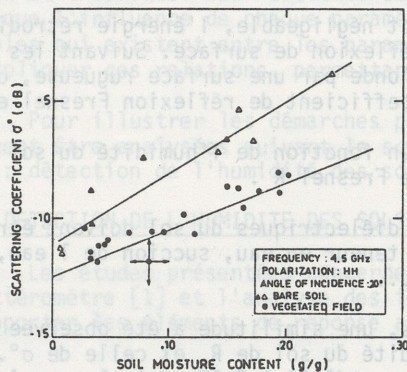


Figure 3 : Coefficient de rétrodiffusion radar en fonction de l'humidité du sol. Cas du sol nu et cas de la présence d'un couvert de blé. (d'après Le Toan et al. [1]).

5 - OBSERVATION DES COUVERTS VEGETAUX :

Les recherches concernent les expériences au sol [1, 3, 4, 5] et l'étude des images radar [2, 6]. Les questions à étudier sont les suivantes :

1/ Quelle est la contribution à l'énergie reçue :

- . Du couvert végétal
- . Du sol ?

Comment la réponse varie avec

- . La fréquence micro-onde
- . L'incidence
- . La polarisation

Configuration de mesure qui minimise l'effet du sol ?

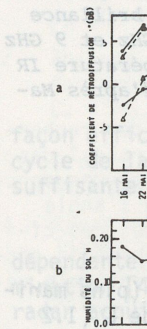
2/ Relations entre σ^0 (ou γ) et T_B et les propriétés diélectriques et géométriques du couvert ?

Relations entre σ^0 (ou γ) et T_B et les propriétés thématiques du couvert ?

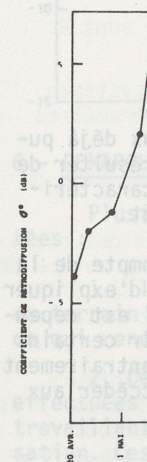
Les variations spectrales temporelles des réponses micro-ondes peuvent elles être utilisées pour

- . discriminer les cultures ?
- . déterminer les stades de croissance ?
- . évaluer le rendement??

ramètres du pour laquelle [5] ont indiqués (\geq) La figure 4 du sol. L'extension HH.



tion temporelle du blé indice foliaire



théoriques structure (sont à relier)

dence 70°, leur [4] fa

5.1 - Contribution relative du sol et de la végétation :

Afin d'étudier les relations entre le signal micro-ondes et les paramètres du couvert, il est nécessaire de déterminer la configuration de mesure pour laquelle la contribution du sol est minimisée. Des résultats expérimentaux [5] ont indiqué qu'aux fréquences de 9 GHz ou supérieures pour les grandes incidences ($\geq 40^\circ$), et à la polarisation VV, la contribution du sol est réduite. La figure 4 compare l'évolution temporelle de σ° à 9 GHz et celle de l'humidité du sol. L'effet du sol est plus visible aux faibles incidences et à la polarisation HH.

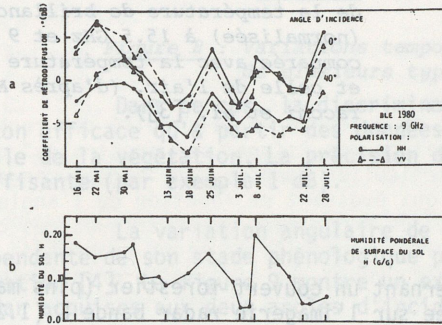


Figure 4 :

- a) évolution temporelle de σ° à 9 GHz
 - b) évolution temporelle de l'humidité pondérale de surface du sol (0-1 cm).
- (D'après Lopes et al. [5]).

5.2 - Relation entre σ° (ou γ) et T_B et les paramètres du couvert :

Deux paramètres suivants ont été indiqués comme ceux dont la variation temporelle suit celle de σ° pendant une grande partie du cycle de végétation du blé [5] : ce sont la masse volumique en eau du couvert (figure 5) et son indice foliaire.

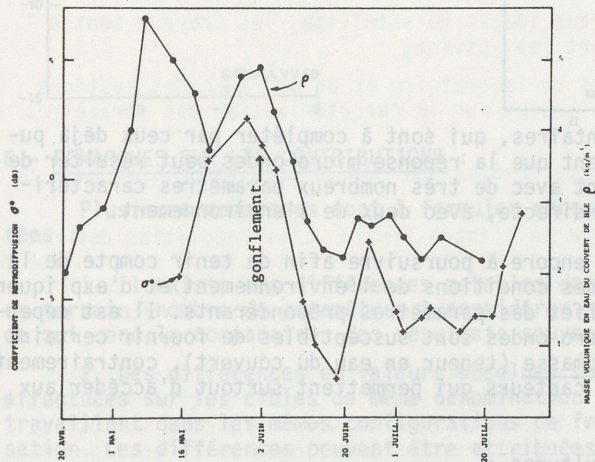


Figure 5 : Evolutions de σ° (9 GHz, VV, 40°) et de la masse volumique ρ en eau du couvert. (d'après Lopes et al. [5]).

Ces résultats expérimentaux contribuent à l'élaboration des modèles théoriques reliant ces paramètres de biomasse (masse volumique en eau) et de structure (indice foliaire) aux propriétés diélectriques du couvert, celles-ci sont à relier dans une deuxième phase à l'énergie rétrodiffusée.

A l'opposé, à partir des mesures similaires (fréquence 9 GHz, incidence 70° , polarisation VV) effectuées en Hollande sur un couvert de blé, l'auteur [4] fait état de l'importance de l'effet du vent sur la rétrodiffusion et

ne constate pas de relations significatives entre le niveau de réflexion et la biomasse de la culture.

En radiométrie micro-ondes, des mesures sur un couvert de blé aux fréquences de 15.5 GHz et 9.5 GHz effectuées en Italie [3] indiquent que les températures de brillance T_b varient dans le temps de façon similaire que la température infra-rouge (8-14 μm) du couvert et celle de la température de l'air (figure 6).

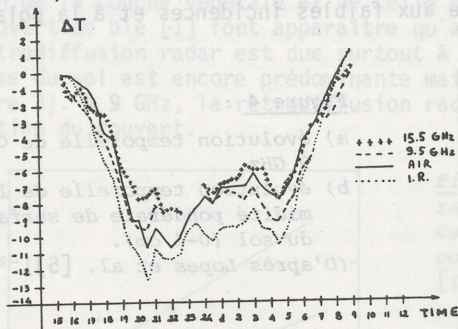


Figure 6 : Variation temporelle de la température de brillance (normalisée) à 15.5 GHz et 9 GHz comparée avec la température IR et celle de l'air. (d'après Maracchi et al. [3]).

La seule étude présentée concernant un couvert forestier (pins maritimes) montre que la réponse radar analysée sur l'imagerie radar bande L (1.2 GHz) varie en fonction de la hauteur et de l'âge des peuplements (figure 7).

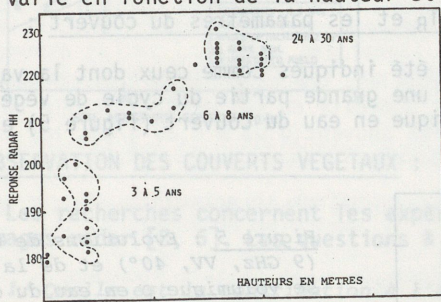


Figure 7 : Relation entre la réponse radar (image-bande L) et la hauteur des peuplements de pins maritimes (d'après Riou et al. [6]).

Ces résultats fragmentaires, qui sont à compléter par ceux déjà publiés dans la littérature, montrent que la réponse micro-ondes peut résulter de l'interaction entre le rayonnement et de très nombreux paramètres caractérisant le couvert, et de manière indirecte, avec ceux de l'environnement.

Des expériences sont encore à poursuivre afin de tenir compte de la diversité des cultures et celle des conditions de l'environnement et d'expliquer par des phénomènes physiques l'effet des paramètres prépondérants. Il est cependant à noter que les capteurs micro-ondes sont susceptibles de fournir certains paramètres de structure et de biomasse (teneur en eau du couvert), contrairement à la plupart des autres types de capteurs qui permettent surtout d'accéder aux paramètres de structure.

5.3 - Discrimination des cultures :

Des mesures du coefficient de rétrodiffusion radar γ sur plusieurs types de culture sont présentées [4] (figure 8). Les cultures à feuilles larges (betteraves, pommes de terre...) ont un niveau de rétrodiffusion plus grand que celles des céréales et graminées. Les mesures sur ces dernières ont de plus des fluctuations et une dynamique de variation temporelles plus importantes, dues surtout à la variation conjuguée des paramètres de biomasse et de structure.

façon efficace cycle de la suffisante dépendante mination [4 radar acqui

0 GAMMA 1 VV15° Wheat Gras

6 - REMARQU

Plusi tées :

1. Il du terrain ce qui rend

2. De effectuées travaillant sation. Ces systèmes de

3. De ramètres ci est à précises (ex : sure des pa gétal non s

exion et la
 de blé aux
 t que les
 re que la
 ture de l'air
 n temporelle
 e brillance
 GHz et 9 GHz
 mpérature IR
 (d'après Ma-

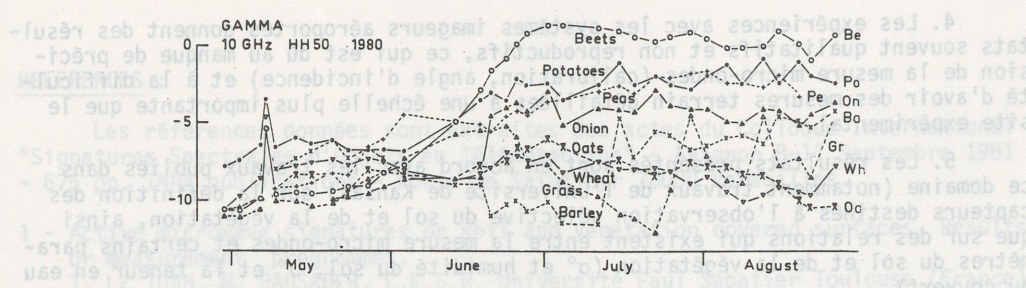


Figure 8 : Variations temporelles de la rétrodiffusion radar γ de plusieurs types de culture (d'après Van Kasteren [4]).

Dans ce cas, la discrimination des cultures ne peut s'effectuer de façon efficace qu'à partir des données acquises à plusieurs dates au cours du cycle de la végétation. La précision de la mesure micro-ondes doit aussi être suffisante (par exemple 1 dB).

La variation angulaire de σ^0 (ou γ), spécifique à chaque culture et dépendante de son stade phénologique peut être utilisée comme critère de discrimination [4]. La figure 9 montre un exemple des résultats utilisant des images radar acquises aux deux angles d'incidence différents.

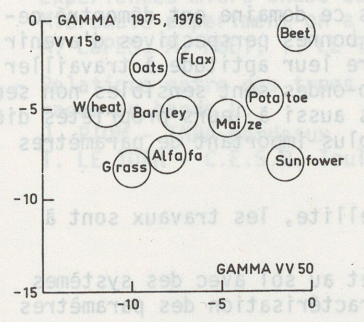


Figure 9 : Classification des cultures par les valeurs du coefficient de rétrodiffusion radar mesurée aux angles de dépression de 15° et 50° (angles d'incidence de 75° et 40°) (d'après Van Kasteren [4]).

6 - REMARQUES SUR LES CONTRIBUTIONS :

Plusieurs remarques sont à formuler concernant les contributions présentées :

1. Il existe des différences notables dans la présentation des paramètres du terrain - nombre de paramètres à considérer, définition et procédé de mesure - ce qui rend la comparaison des résultats souvent difficile.
2. Des différences en valeurs absolues sont constatées parmi les mesures effectuées sur les cibles de même dénomination (sol nu, blé...) avec des capteurs travaillant dans les mêmes configurations de fréquence d'incidence et de polarisation. Ces différences peuvent être attribuées au problème de calibration des systèmes de mesure ou à des caractéristiques des cibles non identiques.
3. Des divergences peuvent être observées sur l'influence relative des paramètres cible sur la mesure micro-ondes effectuée sur deux sites différents. Il est à préciser si ces divergences sont dues par exemple aux conditions écologiques (ex : effet du vent sur certaine variété de plante) ou au protocole de mesure des paramètres de terrain (ex : mesures radar et mesures sur le couvert végétal non simultanées).



4. Les expériences avec les systèmes imageurs aéroportés donnent des résultats souvent qualitatifs et non reproductifs, ce qui est dû au manque de précision de la mesure micro-ondes (calibration, angle d'incidence) et à la difficulté d'avoir des mesures terrain détaillées à une échelle plus importante que le site expérimental.

5. Les résultats présentés sont en accord avec les travaux publiés dans ce domaine (notamment travaux de l'Université de Kansas) sur la définition des capteurs destinés à l'observation sélective du sol et de la végétation, ainsi que sur des relations qui existent entre la mesure micro-ondes et certains paramètres du sol et de la végétation (σ° et humidité du sol, σ° et la teneur en eau du couvert).

7 - CONCLUSIONS - PERSPECTIVES :

Les contributions présentées ont mis en évidence la difficulté des recherches menées par les programmes de détermination des "signatures spectrales" des objets en télédétection micro-ondes. En particulier lorsque ces "signatures spectrales" sont surtout des caractéristiques qui évoluent en fonction de l'angle d'incidence, de la polarisation de l'onde, des propriétés diélectriques des cibles (teneur en eau de sol, celle d'un couvert végétal), de leurs propriétés géométriques (rugosité du sol, structure d'un couvert). La difficulté principale réside dans la détermination quantitative et détaillée des paramètres cible.

Les résultats obtenus à l'heure actuelle dans ce domaine ont démontré cependant que les capteurs micro-ondes présentent de bonnes perspectives d'avenir pour les programmes d'observation de la terre. Outre leur aptitude à travailler par tous les temps, les radars et radiomètres micro-ondes sont sensibles non seulement aux propriétés géométriques des objets, mais aussi à leurs propriétés diélectriques permettant ainsi à accéder à un nombre plus important de paramètres utiles à détecter.

Avant l'utilisation réelle des images de satellite, les travaux sont à poursuivre sur plusieurs points dont les suivants :

- Intensifier les recherches en laboratoire et au sol avec des systèmes micro-ondes calibrés, en mettant l'accent sur la caractérisation des paramètres cible .
- Expliquer les résultats expérimentaux par des études théoriques afin de pouvoir généraliser ces résultats.
- Evaluer le contenu physique de l'image finale. L'extrapolation des résultats sur le terrain et aux images de satellite n'étant pas sujette au problème de l'atténuation de la couche atmosphérique, les travaux portent surtout sur l'étude des phénomènes de cohérence des signaux, problème de longueur de corrélation spatiale...
- Etudier la complémentarité des systèmes micro-ondes avec les capteurs travaillant dans le visible et l'infra-rouge. Pour la classification des cultures par exemple, la réflectance bidirectionnelle dans le visible dépend surtout de la structure de la plante (fonction des variables phénologiques et environnementales), mais aussi de la couche atmosphérique, de la géométrie du Soleil et celle du capteur. Le coefficient de rétrodiffusion radar est par contre indépendant du Soleil et des conditions de l'atmosphère, il dépend de la structure et de la teneur en eau du couvert, de l'angle d'incidence et de la polarisation de l'onde. La combinaison de ces deux types de capteurs améliore donc la discrimination des cultures.

REFERENCES :

- Les ré
"Signatures
- 675 pp. IN
- 1 - Active m
or measu
T. LE TO
pp 303-3
 - 2 - Analyse
fectuées
C. KING,
 - 3 - Ground b
G. MARRA
 - 4 - Radar si
lities o
H.W.J. V
Netherla
 - 5 - Expérien
Microwav
A. LOPES
 - 6 - Relation
radar en
J. RIOM
T. LE TO

REFERENCES :

Les références données sont extraites des actes du Colloque International "Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection" - Avignon 8-11 Septembre 1981 - 675 pp. INRA publications - Route de Saint-Cyr 78000 Versailles.

- 1 - Active microwave signatures of soil and vegetation covered surfaces. Results of measurement programmes.
T. LE TOAN, M. PAUSADER, C.E.S.R. Université Paul Sabatier Toulouse (France) pp 303-313.
- 2 - Analyse du signal rétrodiffusé des parcelles cultivées en Beauce. Mesures effectuées par le radar à visée latérale vigie.
C. KING, Institut National Agronomique Grignon (France) pp 133-145.
- 3 - Ground based microwave radiometry over the wheat.
G. MARRACHI, P. PANPALONI, G. ZIPOLI. C.N.R. Firenze (Italy). pp 157-164.
- 4 - Radar signatures of crops. The effect of weather condition and the possibilities of crop discrimination with radar.
H.W.J. VAN KASTEREN, Centre For Agrobiological Research Wageningen (The Netherlands). pp 407-415.
- 5 - Expériences micro-ondes sur un couvert de blé.
Microwave experiment on a wheat canopy.
A. LOPES, M. HUET, T. LE TOAN, C.E.S.R. Toulouse (France) pp 425-433.
- 6 - Relations entre des types de forêts de pins maritimes et la rétrodiffusion radar en bande L.
J. RIOM - INRA Bordeaux
T. LE TOAN - C.E.S.R. Toulouse (France). pp 455-465.

4. Les travaux réalisés sur les systèmes micro-ondes en vue de leur application à la télédétection sont présentés dans les références citées ci-dessous. Les références données sont extraites des actes du Colloque International "Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection" - Avignon 8-11 Septembre 1981 - 672 pp. INRA Publications - Route de Saint-Cyr 33000 Versailles.

1 - Active microwave signatures of soil and vegetation covered surfaces. Results of measurement programmes. Summary report. T. LE TOAN, M. PAUSADER, C.E.S.R. Université Paul Sabatier Toulouse (France). pp 303-313.

2 - Analyse du signal rétrodiffusé des parcelles cultivées en Beauce. Mesures effectuées par le radar à visée latérale vige. C. KING, Institut National Agronomique Grignon (France) pp 133-148.

3 - Ground based microwave radiometry over the wheat. M. PAUSADER, P. PARRALONI, G. ZIPOLO, C.E.S.R. Université Paul Sabatier Toulouse (France) pp 157-162.

4 - Radar signatures of crops: the effect of weather condition and the possibility of crop discrimination with radar. H. VAN KASTEREN, Centre for Agricultural Research Wageningen (The Netherlands) pp 407-415.

5 - Expériences micro-ondes sur un couvert de blé. M. PAUSADER, P. PARRALONI, G. ZIPOLO, C.E.S.R. Université Paul Sabatier Toulouse (France) pp 425-433.

6 - Relations entre les types de forêts de pins maritimes et la rétrodiffusion radar en bande L. T. LE TOAN, M. PAUSADER, C.E.S.R. Université Paul Sabatier Toulouse (France) pp 458-465.

Avant de poursuivre les travaux en vue de l'application des images de satellites à la télédétection, il faut poursuivre sur plusieurs points dont les suivants :

- Intensifier les recherches en laboratoire et au sol avec des systèmes micro-ondes calibrés en mettant l'accent sur la caractérisation des paramètres cible.
- Expliquer les résultats expérimentaux par des études théoriques afin de pouvoir généraliser ces résultats.
- Evaluer le contenu physique de l'image finale. L'extrapolation des résultats sur le terrain pas tant en ce qui concerne les images de satellites que les images de télédétection, les travaux portant surtout sur l'étude de l'atténuation de la couche atmosphérique, les problèmes de longueur de corrélation des phénomènes de cohérence des signaux, les problèmes de corrélation spatiale.
- Etudier la complémentarité des systèmes micro-ondes avec les capteurs travaillant dans le visible et l'infrarouge. Pour la classification des cultures par exemple, la réflectance bidirectionnelle dans le visible dépend surtout de la structure de la plante (fonction des variables biologiques et environnementales), mais aussi de la couche atmosphérique. Le coefficient de rétrodiffusion radar est par contre indépendant du type de végétation et dépend surtout de la structure de la plante et de l'angle d'incidence de la onde. La combinaison de ces deux types de capteurs permet donc la discrimination des cultures.

RESSOURCES

RENEWABLE

Presented at Commission V

