

Commission VII

Groupe de Travail n° 9

Communication

Christine KING

Colette M. GIRARD

Laboratoires de Pédologie, de Botanique et Ecologie Végétale

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARIS-GRIGNON

- : -

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DES SOLS PAR MICRO-ONDES

- : -

INTRODUCTION

Les méthodes aérospatiales, pour l'exploration de la couverture pédologique, se développent de plus en plus. Quelques capteurs, comme les radars, sont encore peu utilisés pour ce type d'applications. Pourtant, les possibilités spécifiques des micro-ondes présentent des particularités intéressantes, comme leur faible sensibilité aux conditions atmosphériques.

Plusieurs équipes de recherche ont déjà défini la nature des paramètres, propres au terrain, qui ont une influence sur les modifications du signal micro-ondes : ce sont les *caractéristiques géométriques* de l'état de surface observé -ou rugosité- et ses *propriétés diélectriques*, liées en particulier à la teneur en eau du matériau.

Pour interpréter correctement les données recueillies par des radars embarqués à bord d'avions ou de satellites, des études préliminaires attentives sont nécessaires. Il faut, en particulier, explorer les possibilités de ces capteurs dans des conditions précises d'observation, par exemple à une altitude très basse et en connaissant parfaitement la zone étudiée. Nous espérons ainsi mieux connaître les relations spécifiques entre les paramètres de surface et la mesure multispectrale du signal.

Notre travail est situé à ce niveau de recherche. Il a pu être réalisé grâce au Centre National d'Etudes Spatiales, qui nous a permis d'engager l'expérimentation d'un prototype : le scattéromètre RAMSES (Radar Multifréquence de Mesure de la Signature Spectrale du Sol), dans les longueurs d'onde de 3, 6, 10 et 20 cm.

A.- EXPERIMENTATION

Deux campagnes d'expérimentation ont eu lieu sur le site de Grignon (Institut National Agronomique) de Mars à Juin 1978 et de Mars à Mai 1979. La zone-test choisie appartient au domaine de Grignon et a fait l'objet d'études pluridisciplinaires, en agronomie et en pédologie.

Le scattéromètre, installé à poste fixe à 11,50 m de haut, disposait d'un champ d'exploration de quelques centaines de mètres carrés.

1 - Le scattéromètre

.Principe :

A la différence des radars aéroportés de type SLAR ou SAR, cet appareil n'a pas de dynamique lui permettant de "balayer" de grandes surfaces. Pour une configuration d'angle donnée, il "éclaire" toujours la même aire au sol, sans permettre d'en distinguer les éléments individuels. Il effectue une mesure globale du signal rétrodiffusé pour une surface donnée.

.Description :

Le scattéromètre est constitué (figure 1)

- d'un ensemble mécanique : la plate-forme d'antenne et son système d'orientation, avec deux cornets d'émission, trois paraboles de réception et une caméra TV.
- un laboratoire de traitement où sont centralisées les informations de télémessures, de télécommandes et les moyens de contrôle.

Les caractéristiques techniques sont consignées en annexe.

.Mesure du signal :

La surface du sol a un comportement spécifique vis-à-vis de la rétrodiffusion : celle-ci s'évalue par le coefficient de rétrodiffusion σ_0 , ou pouvoir réflecteur par unité de surface éclairée", dans des conditions précises d'incidence, de visée, de fréquence, de polarisation :

$$\sigma_0 = \frac{K \cdot D^4 \cdot Pr}{Sr}$$

K : coefficient d'étalonnage
D : distance antenne-cible (m)
Pr : puissance reçue
Sr : aire de la cible (m²)

La précision de la mesure dépend essentiellement du nombre d'échantillons indépendants pris en compte dans le faisceau du lobe principal de l'antenne de réception.

Cette mesure du signal rétrodiffusé, a été réalisée aux incidences de 20° à 70° par sauts de 10° à 12°. La collecte des données était simultanée à celle des conditions de terrain.

2 - L'acquisition des données de terrain

Cette phase importante de l'expérimentation est conditionnée par deux aspects prioritaires :

- .d'une part, accéder à des données à la fois représentatives, objectives et de signification concrète ;
- .d'autre part, utiliser des méthodes maniables, répétitives, fidèles, et les plus simples possible.

Nous nous sommes attachés essentiellement à la prise en compte de deux paramètres :

- .l'humidité du sol nu, facteur influant sur les propriétés diélectriques,
- .la rugosité du sol nu.

D'autres aspects, climatiques essentiellement, n'ont été relevés qu'à titre indicatif et n'ont pas fait l'objet d'un travail systématique.

+L'humidité du sol :

La méthode de mesure utilisée est la méthode de HENIN (prélèvements d'échantillons de terre, chauffage à l'étuve à 105°C jusqu'à poids

constant). Cette mesure est très précise, mais sa représentativité, vis-à-vis des conditions de terrain, n'est obtenue qu'avec un nombre suffisant de prélèvements simultanés. De plus, l'évaluation de cette humidité pondérale ne rend pas compte de la globalité des conditions hydriques du sol à un instant donné (notamment la présence d'eau sous forme de vapeur, aspect non négligeable dans la couche superficielle du sol).

Durant les deux campagnes d'expérimentation, l'humidité du sol a été caractérisée par une prédominance des variations de teneur en eau de surface. Seule celle-ci a été retenue pour la confrontation avec les modifications du signal rétrodiffusé.

+La rugosité du sol nu :

Notre objectif essentiel a été de donner à des appréciations subjectives une formulation numérique permettant un traitement statistique.

L'utilisation d'un conformateur (peigne à dents mobiles), permet de faire des relevés de dénivellés en coupes microtopographiques : système CLEMENTINA (fig. 2). Ces relevés se font suivant des transects parallèles. (cf. C. et D. KING, 1979).

Une série de traitements statistiques et informatiques, sur ces populations de points, ont permis une première quantification de la rugosité. Ils concernent :

- .la distribution des altitudes relatives des points,
- .la distribution des pentes,
- .le comptage et la classification des mottes.

Durant la campagne 1978, divers états de rugosité ont été réalisés : un labour (charrue monosoc), un griffage (cultivateur canadien), un hersage (herse à dent).

Les critères de rugosité définis nous ont permis de discriminer de manière quantifiée les différents états de surface.

Le mode d'échantillonnage de ces données de terrain reste un problème délicat. De leur représentativité dépend une juste confrontation avec les mesures "globales" réalisées avec le scattéromètre.

B.- RESULTATS et INTERPRETATION

Les deux campagnes, réalisées aux mêmes saisons sur le même site, permettent de rassembler des résultats complémentaires en ce qui concerne le comportement du signal rétrodiffusé vis-à-vis de la rugosité et de l'humidité du sol.

1 - Sensibilité du signal rétrodiffusé à la rugosité

.Les expériences de 1978 ont permis une première approche de cet aspect. Les trois états de rugosité réalisés (labour, griffage, hersage) représentent une bonne partie de la gamme de rugosité de surface d'un sol nu, mais de manière très ponctuelle. Aussi, les possibilités de corrélation directe entre le coefficient σ_0 et la rugosité se sont avérées limitées.

Mais la tendance générale de l'influence de la rugosité a pu être dégagée pour les fréquences 1,5 GHz, 4,5 GHz et 9 GHz :

- à 1,5 GHz et 9 GHz, on a mis en évidence l'augmentation de la valeur du signal rétrodiffusé avec la rugosité, quels que soient l'angle d'incidence et la polarisation (figure 3).

- à 4,5 GHz, les neuf expériences réalisées sur les trois types d'états de surface, correspondent à des valeurs très voisines de σ_0 . Le

signal apparaît insensible à la rugosité, dans les conditions d'expériences tout au moins (fig. 4).

.Les résultats obtenus en 1979 sont peu comparables, à priori, avec les précédents, car ils se rapportent à des variations de rugosité très différentes : correspondant à la dégradation "naturelle" d'un labour tout au long de l'expérimentation.

- à 4,5 GHz, le signal rétrodiffusé augmente avec l' "âge" du labour (fig. 5) ;
- à 1,5 GHz et 3 GHz, il n'y a pas de modifications significatives du signal rétrodiffusé avec la dégradation de l'état de surface (fig. 6).

Il se peut donc que ces différences de comportement du signal rétrodiffusé signifient que la relation entre le coefficient σ_0 et la rugosité n'est pas linéaire et que la sensibilité du signal à la rugosité varie suivant l'ampleur des modifications de rugosité.

. Ce comportement demande donc une étude approfondie de manière systématique lors d'expérimentations ultérieures.

2 - Sensibilité du signal à l'humidité

Nous avons regroupé les expériences réalisées dans des conditions de rugosité identiques, pour étudier l'influence de l'humidité sur le signal. Pour chacun des regroupements, à une fréquence donnée, ont été représentées les valeurs des coefficients σ_0 en fonction de l'humidité de surface

Pour chaque fréquence, et très globalement, on observe une augmentation du coefficient σ_0 avec l'humidité (en pourcent d'humidité pondérale), selon une pente propre à chaque incidence de visée. La méthode d'ajustement linéaire a permis une évaluation de la sensibilité du signal vis-à-vis de l'humidité.

Seuls, les résultats obtenus à 1,5 GHz ne concordent pas entre les deux campagnes : sur une même gamme d'humidité de 3 à 30 % (fig. 7)

.en 1978, la sensibilité était évaluée à 0,3 dB/%, pour des incidences de 17 à 52° ;

.en 1979, le coefficient σ_0 était quasi-invariant sur la totalité de la gamme d'humidité.

Cette discordance pourrait être imputée aux variations mal connues de l' "objet-sol" observé, variations qui ne sont pas prises en compte dans la collecte des données de terrain, souvent pour des raisons techniques. Ainsi, les mouvements de l'eau sous forme de vapeur, ou la porosité de la couche superficielle du sol interviennent sans doute au même titre que l'eau gravitaire dans les modifications des propriétés diélectriques du matériau.

Au trois autres fréquences, on obtient une bonne concordance entre les résultats des deux campagnes : lorsque l'évaluation de la sensibilité a pu être tentée, les ordres de grandeurs des pentes des droites de régression sont équivalents (fig. 8).

Fréquence	Année	Polarisation	Incidence	Sensibilité * dB/% d'humidité
3	78 **			
	79	HH VV	35° à 52°	0,34 0,28
4,5	78	HH VV	35° à 61°	0,3 0,22
	79	HH VV	27° à 52°	0,31 0,28
9	78 **			
	79	HH VV	23° à 61°	0,3 0,29

* Valeurs médianes des pentes significatives

** Le calcul des valeurs de pente n'a pu être tenté pour des raisons statistiques : le nombre d'expériences regroupées était trop faible.

Cette méthode d'évaluation de la sensibilité à l'humidité reste approximative, mais elle permet de rendre compte de l'influence directe de la teneur en eau libre de la couche superficielle du sol observé sur la rétrodiffusion.

CONCLUSION

Ce type d'expérimentations permet de dégager quelques éléments quant aux relations entre le signal rétrodiffusé et les paramètres de terrain :

- la sensibilité du signal à la rugosité d'un sol nu est plus ou moins marquée suivant la longueur d'onde utilisée ;
- la sensibilité du signal à l'humidité de surface du sol est assez voisine pour les fréquences 3 GHz, 4,5 GHz et 9 GHz. Elle est de l'ordre de 0,3 décibel par pourcent d'humidité. L'ambiguïté de comportement du signal à la fréquence 1,5 GHz est à lever.

Ces résultats apportent des éléments complémentaires aux données bibliographiques et mettent l'accent sur les différences d'informations qu'on peut obtenir du sol suivant la longueur d'onde choisie.

Ces expérimentations doivent être poursuivies avec plusieurs objectifs :

- permettre une extrapolation plus vaste des résultats obtenus, en diversifiant les zones-tests et les conditions d'observation ;
- corrélérer les résultats "in situ" avec ceux des différentes missions aéroportées réalisées avec des radars SLAR (notamment le radar SLAR VIGIE du C.N.E.S.).

D'ores et déjà, ces résultats, quoique ponctuels, permettent de préciser les perspectives offertes par l'utilisation de radars aéroportés : leur précision atteignant le décibel et leurs "surfaces couvrantes" étant importante (4 000 Km²/h. pour VIGIE), on pourrait envisager le zonage d'une région en classes d'humidité distinctes de 3 à 5 %, et assurer le suivi temporel des conditions hydriques d'un secteur.

Mais de nombreux aspects propres au comportement du signal rétro-diffusé restent à préciser :

- .la réaction d'un sol couvert de végétation vis-à-vis de celle d'un sol nu,
- .les relations spécifiques "caractères du sol en place/propriétés diélectriques complexes".

- : -

BIBLIOGRAPHIE

- C. KING (1979) - *Contribution à l'utilisation des micro-ondes dans l'étude des sols*. Thèse. I.N.A. Paris-Grignon. Doc. photocopié. 122p.
- C. et D. KING (1979) - Méthode d'étude de la rugosité d'un sol, en vue de l'interprétation d'un signal hyperfréquence. *Bull. de la Soc. Franç. de Photogrammétrie*. n° 73-74. pp. 25-32.
- C. KING (1979) - Study of soil moisture and soil surface roughness by active scatterometer. Proceedings of the workshop "*Applications of Microwave Remote Sensing on Bare Soil*". EARSEL publication. Paris. Avril. pp. 241-249.
- C-M. GIRARD et C. KING (1979) - *Utilisation des micro-ondes dans l'étude des sols et l'étude d'un couvert végétal*. Convention CNES 1979. I.N.A. Paris-Grignon. Doc. photocopié. 37 p.

- : -

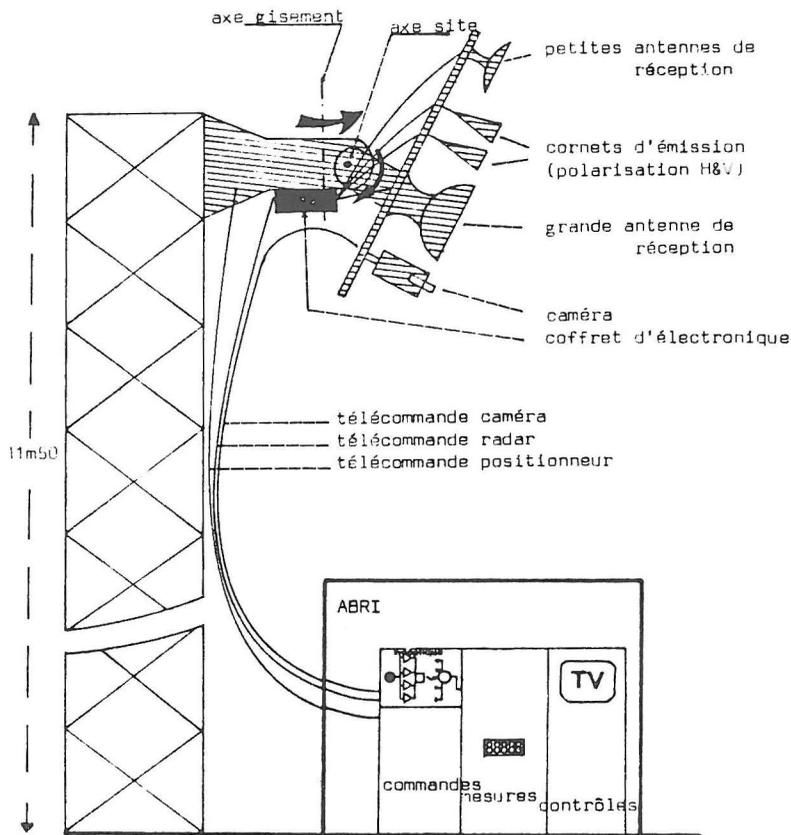


Figure 1 : Configuration du système RAMSES.

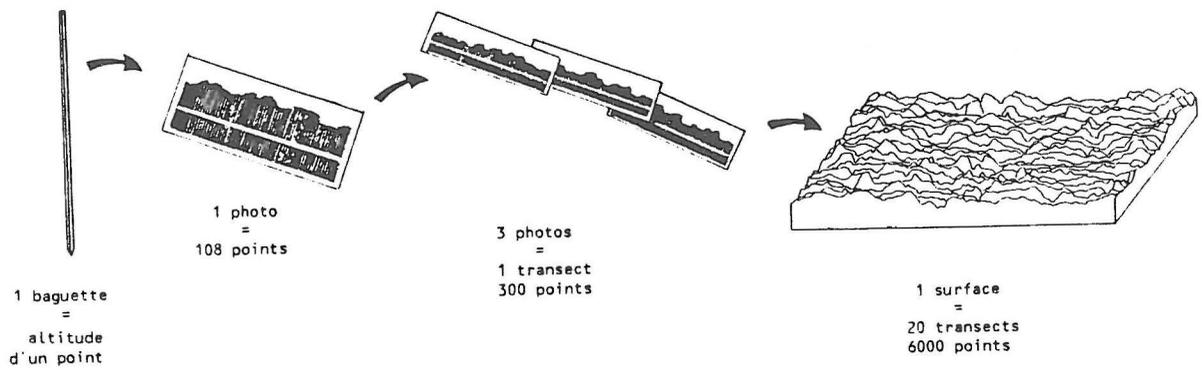


Figure 2 : Principe d'acquisition des données de scattérométrie". (State of roughness data collection principle).



Figure 3 : 1,5 GHz - HH. 1978 - Humidité : 12 à 16 %.



Figure 4 : 4,5 GHz - HH. 1979 - Humidité : 12 à 16 %.

σ_0 en fonction de l'incidence pour différents états de rugosité et à humidité constante.

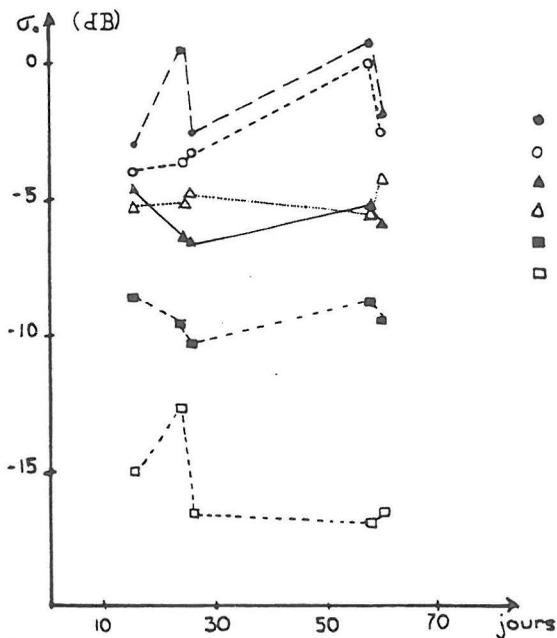


Figure 6 : 1,5 GHz - HH. 1979. Humidité : 25 à 28 %.

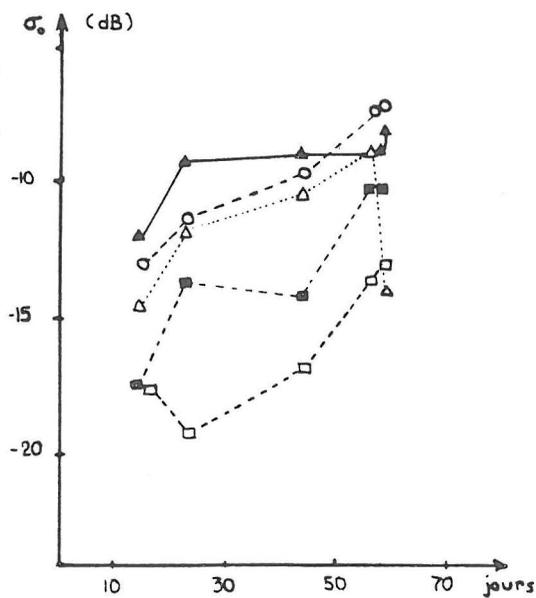
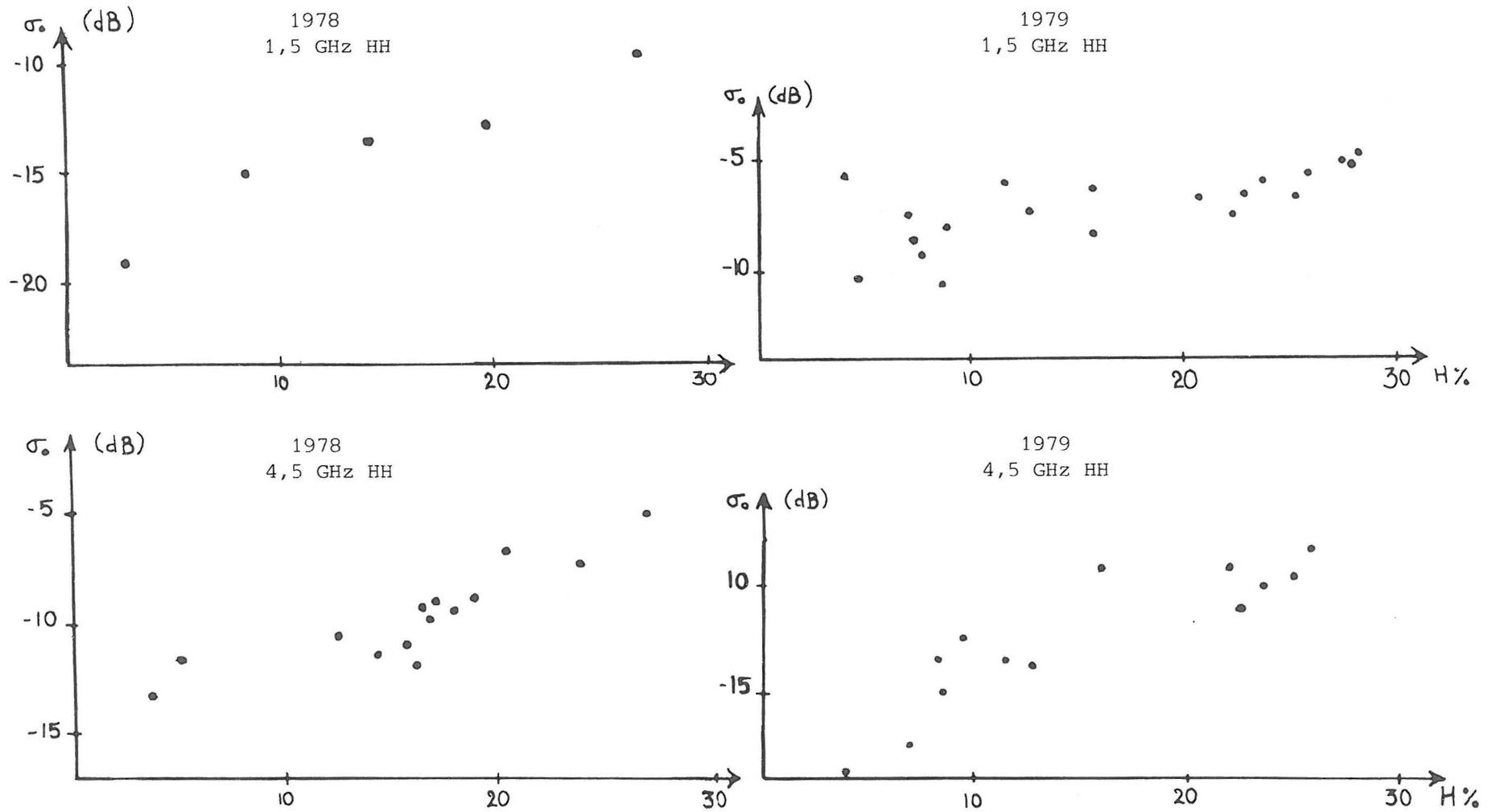


Figure 5 : 4,5 GHz - HH. 1979. Humidité : 25 à 28 %.

σ_0 en fonction de l'âge du labour.



Figures 7 et 8 : σ_0 en fonction de l'humidité (exemple de l'incidence de 41°). Comparaison des comportements entre les deux campagnes.