

Observation de la réponse de surfaces agricoles aux pluies par télédétection en hyperfréquence active aéroportée

François JARRY (1), Michel NORMAND (2),
René BERNARD (3), Daniel VIDAL-MADJAR (3)

RÉSUMÉ

La télédétection active en hyperfréquence à partir d'un radar aéroporté a été employée pour suivre le comportement hydrique de parcelles agricoles au cours de périodes d'humectation et de ressuyage. On montre l'effet du travail du sol sur le signal rétrodiffusé et la capacité du radar à mesurer l'humidité de surface du sol.

L'utilisation de cette technique permet d'appréhender la variabilité spatiale de l'humidité des sols et la variabilité de comportement hydrique des surfaces agricoles en fonction du type de couvert végétal et des travaux culturaux antécédents.

À l'échelle du bassin versant, on obtient une indication concernant l'évolution de l'état hydrique moyen du sol, pouvant être reliée aux données de pluies et de débits mesurés par ailleurs.

On discute de l'intérêt de cette méthode en hydrologie, à partir des données des futurs satellites équipés de radar.

MOTS-CLÉS: Télédétection en hyperfréquence — Comportement hydrique — Etat de surface — Variabilité spatiale — Couvert végétal.

ABSTRACT

OBSERVATION OF RAINFALL RESPONSE OF AGRICULTURAL SURFACES BY AIRBORNE ACTIVE MICROWAVE REMOTE SENSING

Airborne active microwave remote sensing has been employed to monitor the soil moisture behaviour of agricultural plots during wetting and drying periods. Tillage effect on the backscattering coefficient is shown together with the radar capability of measuring the surface layer water content. With this technique, the spatial variability of soil water content can be recorded, and the moisture behaviour variation of agricultural lands can be recorded as a function of time. This paper shows that this behaviour depends on the crop cover and on antecedent tillage.

On a basin scale, the time variation of the mean soil moisture is computed, to be used with rain and flow data. The value of this method for hydrology from future radar satellite data is discussed.

KEY WORDS: Microwave remote sensing — Moisture behaviour — Surface condition — Spatial variability — Crop cover.

INTRODUCTION

Les recherches menées dans le monde depuis maintenant plus de dix ans ont montré que l'observation à distance des sols utilisant le rayonnement électromagnétique centimétrique permet d'estimer l'humidité superficielle. On peut, soit mesurer le rayonnement naturel de la surface à l'aide d'un radiomètre (technique dite passive, SCHMUGGE *et al.*, 1986), soit, à l'aide d'un radar, mesurer la capacité de rétrodiffusion du sol (technique active, DOBSON et ULABY, 1986). Cette caractéristique du rayonnement micro-onde ouvre la voie à une estimation de l'état hydrique de la surface des sols à partir de l'espace, sur une base opérationnelle. Bien que intuitivement ce paramètre semble présenter quelque intérêt pour ce qui touche au comportement de la surface vis-à-vis des échanges d'eau avec l'atmosphère et les horizons

(1) Géographe, CEMAGREF Sections Qualité des Eaux et Hydrologie-Hydraulique — BP 121 — 92164 Antony Cedex.

(2) Hydrologue, même adresse.

(3) Centre de Recherches en Physique de l'Environnement — CNRS — CNET — 38-40, avenue du Général-Leclerc, 92131 Issy-les-Moulineaux.

de sol plus profonds, il y a encore eu très peu d'études sur la mise en évidence d'applications possibles et le développement de méthodes d'utilisation. Comme les projets de systèmes spatiaux pour l'observation de la Terre à l'horizon 2 000 comportent presque tous des radars imageurs dont un des objectifs est la cartographie de l'humidité des sols, il semble important de rechercher dès maintenant les domaines, s'ils existent, dans lesquels cette mesure est susceptible de rendre des services.

La fonction essentielle de l'observation à partir de l'espace est de donner accès aux variations spatiales des paramètres mesurés, le développement d'applications ne peut donc se faire uniquement à partir de mesures locales comme cela a été fait pour montrer la faisabilité de la mesure de l'humidité par radar. C'est dans cet esprit qu'a été développé, avec l'appui financier du Centre National d'Etudes Spatiales, le radar aéroporté ERASME (Etude Radar des Sols et de la Mer). Cet instrument est un simulateur des instruments actifs du satellite de l'Agence Spatiale Européenne ERS-1 (Earth Resources Satellite) dont le lancement est prévu en 1990. Il s'agit d'un radar fonctionnant dans la gamme des 5 GHz (optimale pour la mesure de l'humidité de surface) et qui peut être utilisé dans diverses configurations de polarisations et d'angles d'incidence (BERNARD *et al.*, 1986 a.). A l'aide de cet instrument, on a pu montrer, par exemple, qu'il est possible grâce à la connaissance de la variation dans le temps du signal rétrodiffusé d'estimer le flux d'évaporation sur le sol nu à l'échelle régionale (BERNARD *et al.*, 1986 b. — SOARES *et al.*, 1987 a — SOARES *et al.*, 1987 b).

Le but du travail présenté ici est d'examiner les possibilités d'applications de cette technique à l'hydrologie de surface. En particulier, on a cherché à tester la capacité à mesurer, à l'aide d'un radar, la réponse de l'humidité du sol aux événements pluvieux ainsi que la possibilité de mettre en évidence la variabilité de cette réponse en fonction de l'état du sol et de la couverture végétale.

On s'appuie sur des mesures faites, à l'aide d'ERASME, sur le bassin de l'ORGEVAL géré par le CEMAGREF. On trouvera dans la suite de l'exposé une étude sur les possibilités d'étalonnage du signal radar en fonction de l'humidité de surface, on insiste sur le problème posé par les structures résonnantes comme les lignes de semis et sur l'hétérogénéité de l'humidité de surface elle-même. Une fois l'étalonnage obtenu, on discute la réponse du sol à deux pluies consécutives, d'abord à l'échelle de la parcelle, ensuite en testant une approche globale à l'échelle du bassin versant.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

SITE EXPÉRIMENTAL

Les expériences ont été réalisées en novembre 1985 et mai 1986 sur le bassin versant de l'ORGEVAL situé sur le plateau Briard à 70 km à l'est de Paris en zone de grande culture céréalière et industrielle. Les sous-bassins de Mélarchez et de Butheil sur lesquels ont été menées les études représentent une superficie de 8 km² environ. Les sols qui y sont développés sur un substrat d'origine loessique ont une texture fine, limon moyen à limon argileux (fig. 1). Ces sols présentent des caractères hydromorphes de type pseudo-gley et sont sensibles au phénomène de battance.

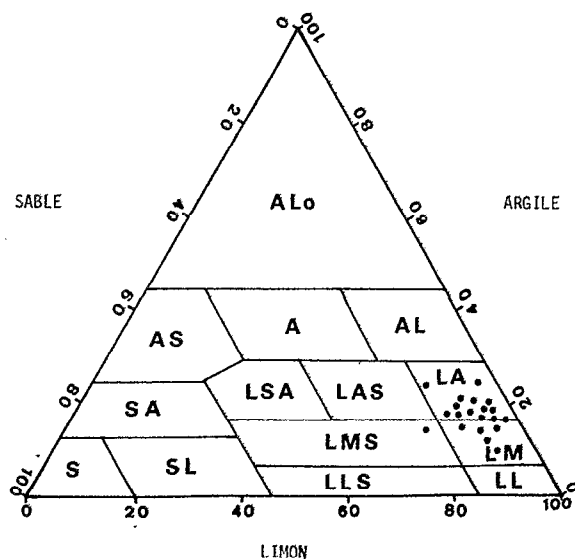


FIG. 1. — Caractéristiques texturales des sols du bassin.

MATÉRIEL EMPLOYÉ

Le radar ERASME est un diffusionomètre en bande C (5,35 GHz) à émission entretenue, modulée linéairement en fréquence. La configuration de polarisation adoptée lors de nos expériences est horizontale (émission et réception) (BERNARD *et al.*, 1986 a.).

L'antenne du radar embarqué sur un hélicoptère léger, est inclinée de 14° par rapport à la verticale en visée à gauche de l'axe de progression de l'appareil. Cette configuration, optimisée pour l'observation de l'humidité du sol (DOBSON et ULABY, 1986), fournit une trace au sol de 10 m de largeur environ située à 150 m à gauche de l'axe de vol de l'hélicoptère pour une hauteur de vol de 350 m environ.

Les axes de vol ont été définis de façon à permettre de recouvrir au mieux le secteur d'étude (fig. 2). Sur le bassin de Butheil chaque parcelle de culture a ainsi été observée selon des directions différentes à raison d'une mesure par jour.

DÉPOUILLEMENT DES DONNÉES RADAR

Le coefficient de rétrodiffusion (σ_0) exprimé en décibels (dB) est obtenu sur une trace au sol de quelques mètres de largeur. Il est donc nécessaire dans un premier temps de repérer les points de passage de la trace radar à partir d'enregistrements vidéo afin d'attribuer à chaque parcelle le signal radar qui lui correspond. D'une journée à l'autre, les points de passage sur une même parcelle peuvent varier (fig. 3) en fonction notamment de l'altitude de l'hélicoptère et de sa ligne de vol. Le signal radar peut être ensuite étudié soit en valeur brute, ce qui permet d'apprécier les variations intraparcélaires (éléments d'image de 10 m × 10 m), soit à partir de valeurs moyennes plus commodes pour les comparaisons entre parcelles.

CONTRÔLE DE L'HUMIDITÉ DU SOL

La première phase de l'expérience a consisté à étalonner le signal radar en termes de teneur en eau volumique. Pour ce faire, des mesures d'humidité au sol ont été réalisées sur un grand nombre de sites (fig. 4) choisis en fonction de la proximité des axes de passage théoriques du radar. Sur chaque site, cinq mesures d'humidité réparties sur une superficie de l'ordre de 100 m² ont été effectuées à l'aide d'une sonde gamma-neutronique de surface donnant une information sur une épaisseur d'environ 10 cm. La valeur retenue est la moyenne de ces cinq points. Ces teneurs en eau volumique associées aux données du densitomètre à rayons gamma ont été par ailleurs contrôlées à l'aide de mesures gravimétriques sur échantillons.

INFLUENCE DU TRAVAIL DU SOL SUR LE SIGNAL RADAR

Au cours du dépouillement des données radar, des variations importantes du signal liées au sens d'observation ont pu être notées. Lorsque l'observation radar est perpendiculaire au sens de travail du sol, le signal est beaucoup plus élevé que lorsqu'elle lui est parallèle. Le tableau I montre que cette variation n'est constante ni dans le temps — pour une même parcelle — ni dans l'espace, entre plusieurs parcelles pour une même date. Ce phénomène de réso-

TABLEAU I
Variation du signal en fonction du sens d'observation

Date		6 mai		7 mai		8 mai		9 mai	
Sens d'observat.		//	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥
P	70	2	5.6	2.4	9.3	3.1	10.4	3.4	9.5
A									
R	53 A	-1.7	7.5	3	8.6	5.8	13.5	2.5	7.2
C									
E	54	3.2	8.6	6.2	9.3	2.4	10.8	1.6	9.9
L									
L	64	1.4	7.2	4.4	6.5	6.4	12.7	3.4	8.8
E									
S	65	4.6	9.5	2.8	8.4	3.3	7.0	3.3	10.6

⑦ Axe d'observation radar
●●●● Limite de bassin versant

0 250 500 ■

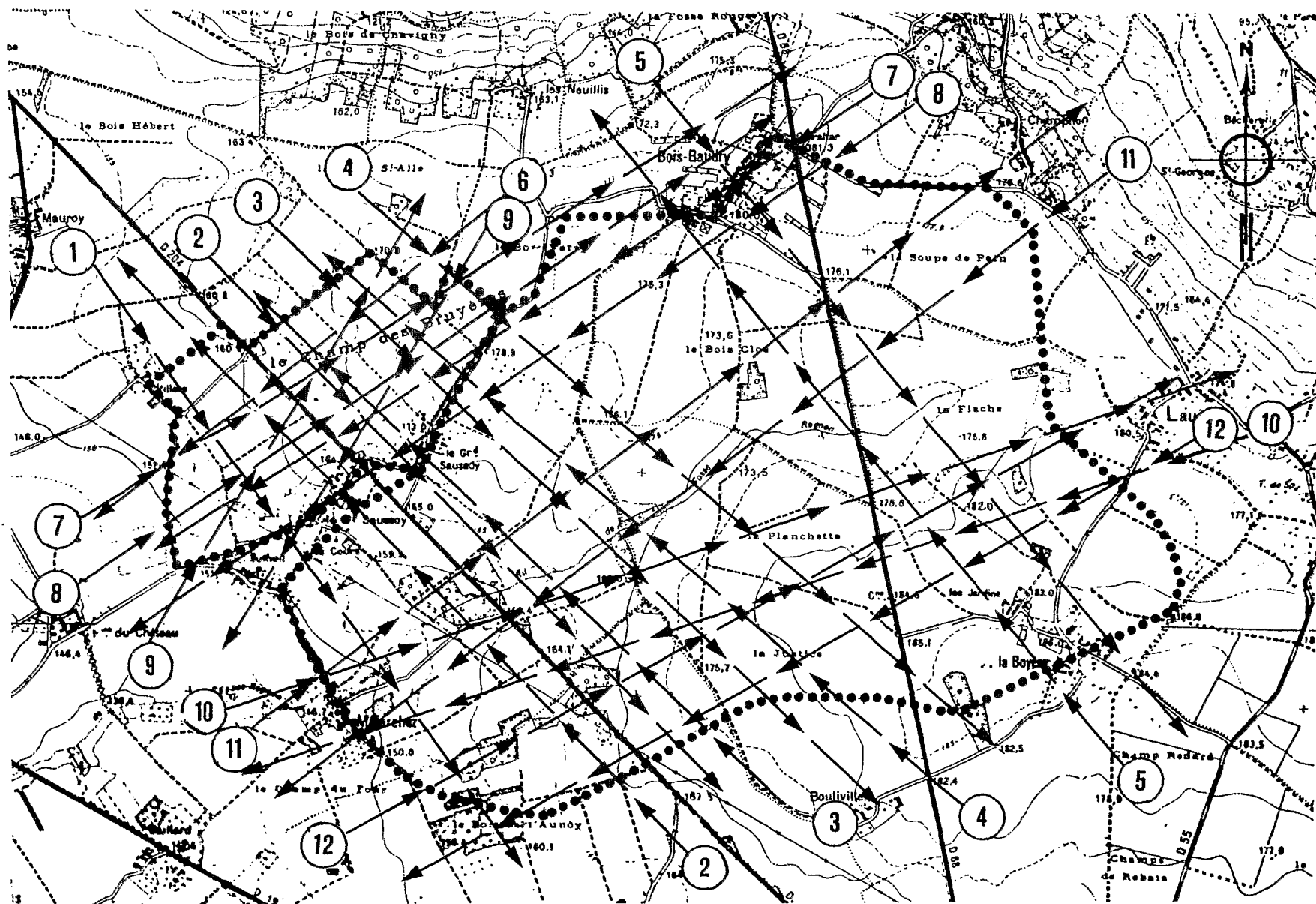
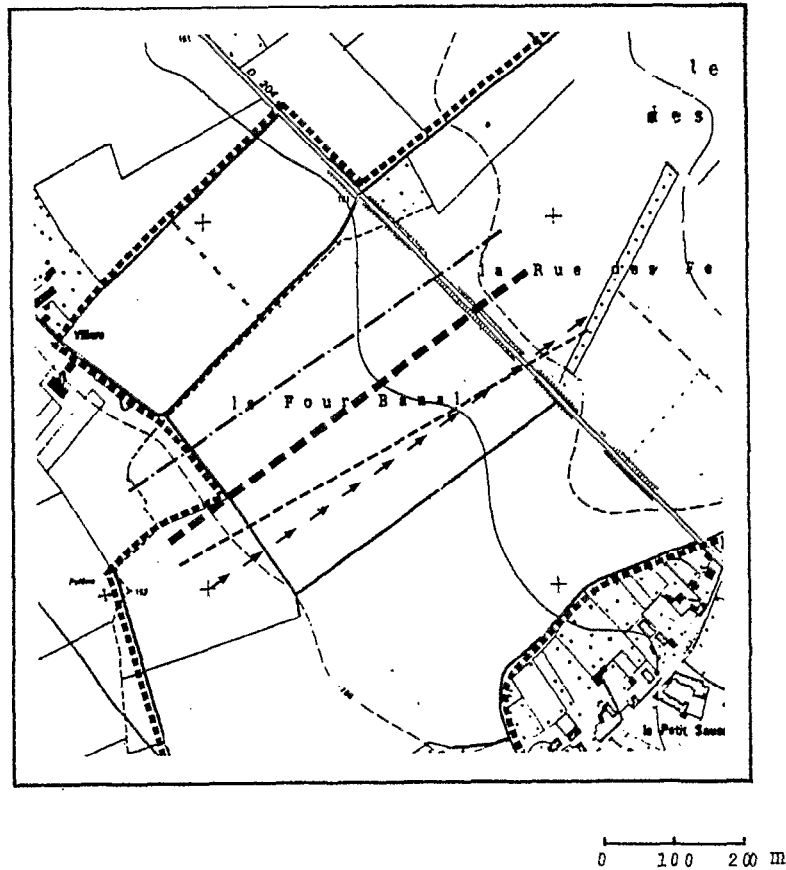


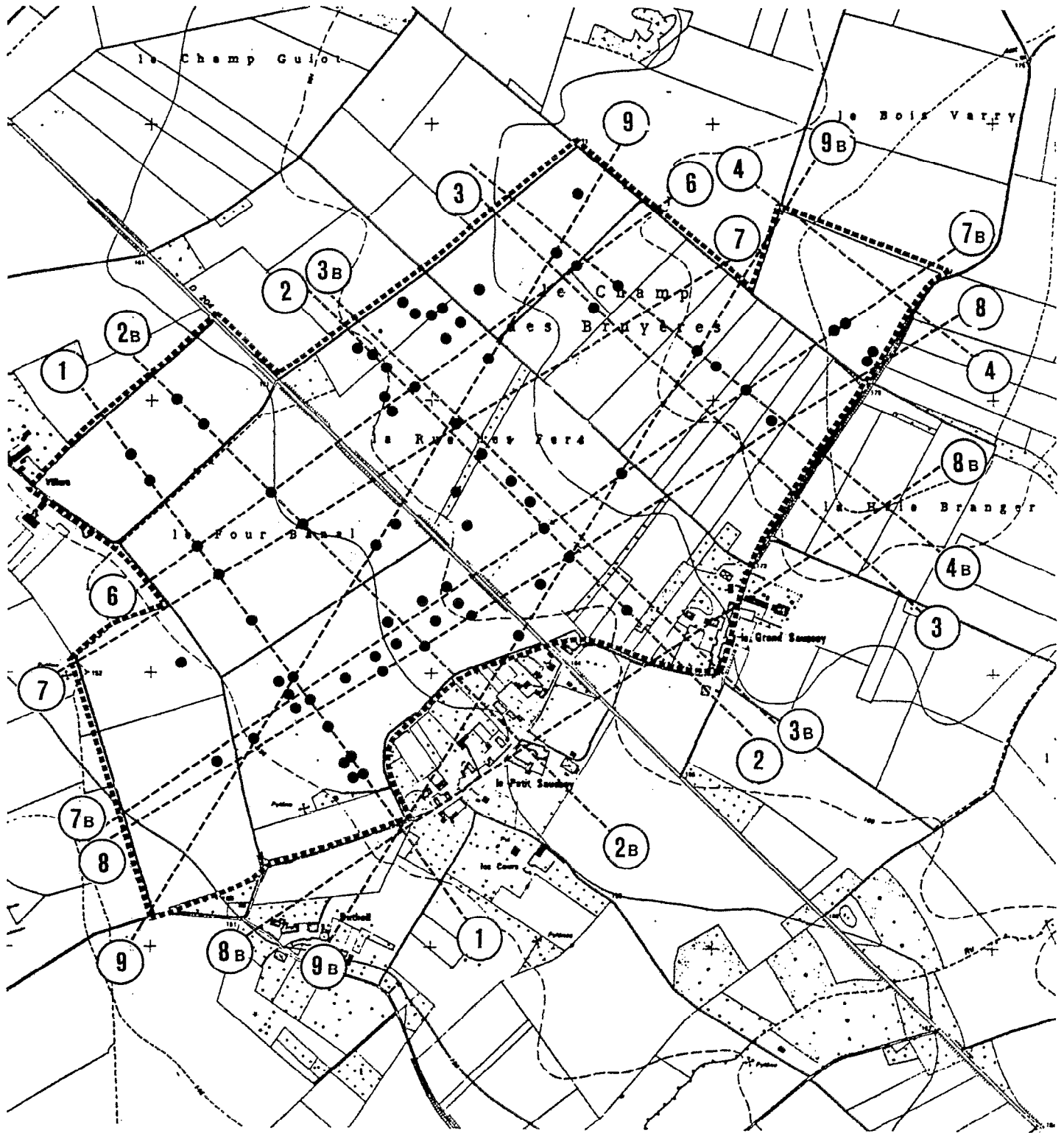
FIG. 2. — Répartition des axes radar sur le secteur d'étude.



- Trace théorique au sol de l'axe 7
- Trace des 8/5, 12/5, 13/5
- >->-> Trace des 14/5 et 15/5
- Trace du 6/5

FIG. 3. — Ecart observé entre traces au sol théoriques et réelles. Parcelle 54 — Mai 1986.

nance de l'onde sur les sillons se traduit par une augmentation générale du signal, quel que soit l'angle d'incidence, pour des observations proches de la verticale (fig. 5a). Il n'est pas de même nature que celui mentionné par DOBSON et ULABY (1986). En effet, les résonances observées précédemment concernent des sillons bien plus larges et plus marqués que la trace d'une ligne de semis. Cet effet disparaît sur les parcelles dont le travail du sol n'est plus sensible en surface telles que prairies ou chaumes (fig. 5b). En dehors de cet effet de résonance de l'onde sur les lignes de semis, SCHMUGGE *et al.* (1986) et DOBSON *et al.* (1986) ont mis en évidence l'influence de la rugosité aléatoire de la surface du sol sur le signal rétrodiffusé. Les études expérimentales et théoriques (par exemple AUTRET *et al.*, 1987) ont montré que l'effet de la rugosité se fait ressentir essentiellement sur la pente de la variation du coefficient de rétrodiffusion en fonction de l'angle d'incidence. La configuration du radar ERASME en fréquence et angle d'incidence, utilisé lors de cette campagne, fait qu'il n'est pas sensible à la rugosité du sol (DOBSON *et al.*, 1986). Comme le montre, à titre d'exemple, la figure 6, nous n'avons pas obtenu de différences de pente significatives entre les observations réalisées sur des parcelles présentant des états de surface très différents.



⑦ Axe d'observation radar

● Point de mesure de l'humidité

0 100 200m

FIG. 4. — Répartition des points de mesure de l'humidité sur le bassin versant de Butheil — Mai 1986.

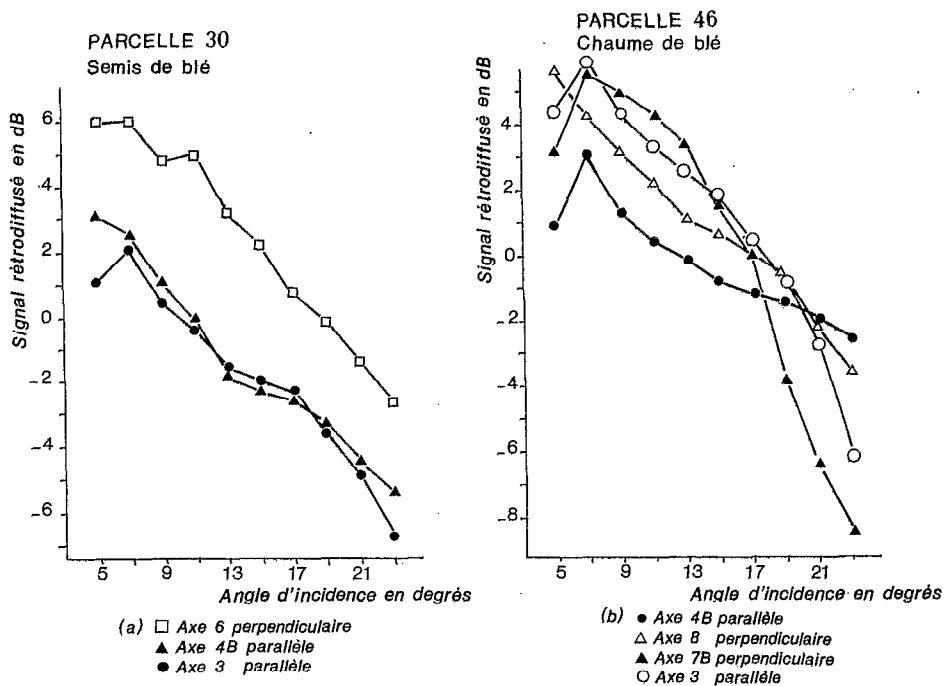


FIG. 5. — Influence du sens d'observation sur le signal rétrodiffusé.

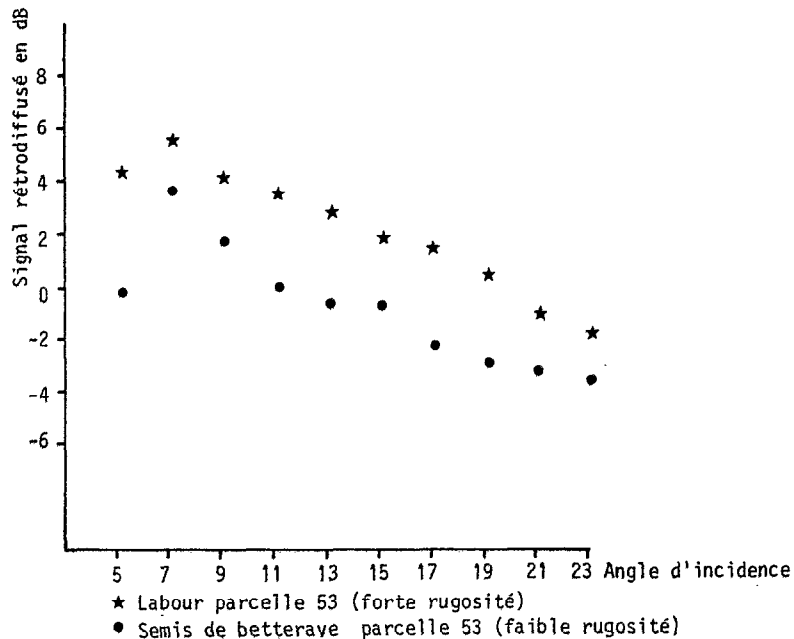


FIG. 6. — Signal rétrodiffusé selon différents états de surface (Radar Erasme).

ETALONNAGE DU SIGNAL RADAR

L'étalonnage qui consiste à relier les données d'humidité mesurées au sol au signal radar a été effectué à partir des expériences réalisées en Beauce en 1983 (SOARES *et al.*, 1987) et sur le bassin de Butheil en 1985 et 1986.

Pour le signal radar la valeur prise en compte est la moyenne des σ_0 sur chaque parcelle, les observations radar perpendiculaires au sens de travail du sol ayant été écartées de l'analyse. Quant à l'humidité de surface, la valeur

retenue est une moyenne des mesures réalisées sur au moins deux sites à l'intérieur de chaque champ. Cette procédure a été appliquée afin de réduire la dispersion liée à la variabilité spatiale intra-parcellaire de l'humidité.

On obtient ainsi une droite d'équation:

$$H_v = 0,015 \sigma_0 + 0,30 \quad (r = 0,89 \text{ pour } 45 \text{ points}) \quad (1)$$

qui permet de calculer la valeur de la teneur en eau de surface en fonction du signal radar rétrodiffusé (fig. 7).

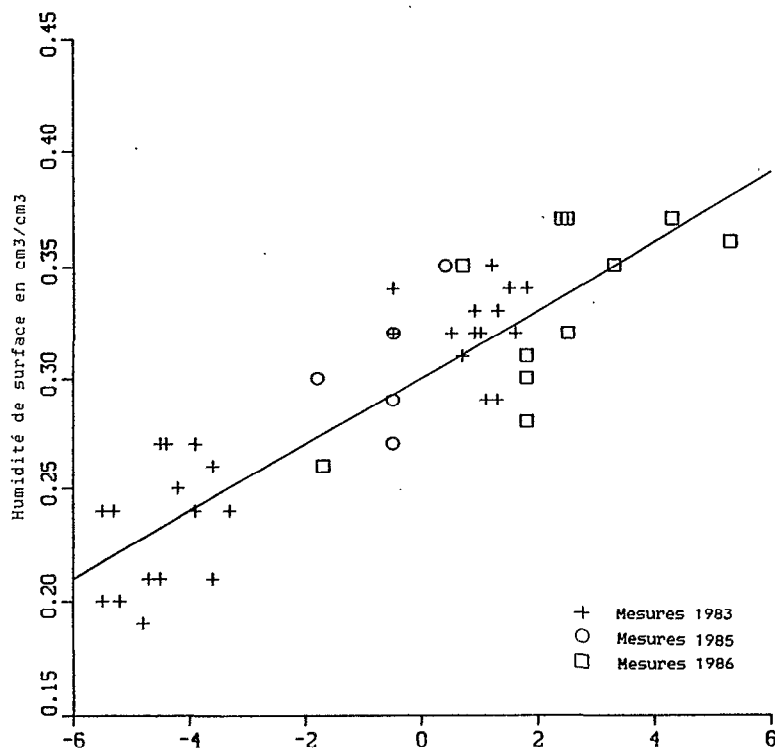


FIG. 7. — Etalonnage du radar Erasme. Signal rétrodiffusé en dB.

3. RÉSULTATS

OBSERVATIONS A L'ÉCHELLE DE LA PARCELLE

L'obtention d'une droite d'étalonnage permettant de transformer le signal rétrodiffusé en termes d'humidité du sol exprimée en volume a permis la caractérisation hydrique, d'une part de parcelles de culture, et d'autre part de l'ensemble des petits bassins versants de Melarchez et de Butheil.

Pendant la période d'essais du printemps 1986, les mesures radar ont été effectuées chaque jour sur une période de deux semaines. Celles-ci ont permis de suivre l'évolution de l'humidité de surface en fonction du temps sur différentes parcelles et notamment lors des épisodes pluvieux des 6 et 13 mai 1986.

Si l'on examine l'ensemble des courbes de teneur en eau en fonction du temps, on observe deux grands types de comportement hydrique de surface en réaction aux épisodes pluvieux:

- des parcelles pour lesquelles la variation de l'humidité de surface est faible au cours de la période, parcelles sous culture de blé à taux de recouvrement important (60% au minimum). Partant d'une valeur de $0,36 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ environ, la courbe d'humidité évolue peu jusqu'au 15 mai, les variations étant de l'ordre de $0,01$ à $0,02 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (fig. 8);

- des parcelles pour lesquelles la variation de l'humidité de surface est importante (en humectation et ressuyage): ce sont des semis de printemps à taux de recouvrement de la végétation faible ou nul (10 à 20% maximum). Dans ce second groupe, on peut effectuer une distinction entre des semis de printemps « anciens » (fig. 9 et 10) qui ont déjà

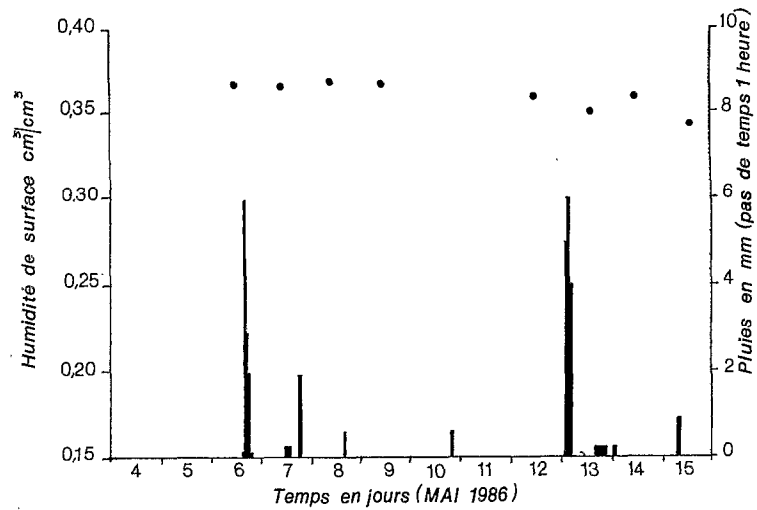


FIG. 8. — Evolution de l'humidité de surface sous culture d'hiver — Blé parcelle 3.

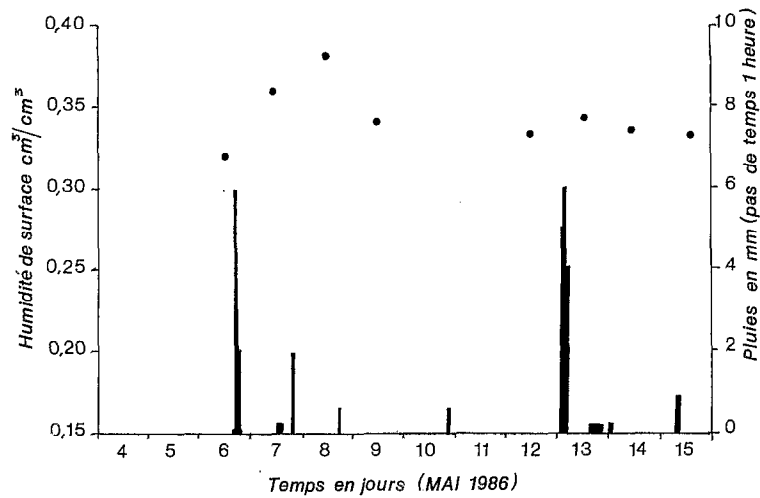


FIG. 9. — Evolution de l'humidité de surface sous culture de printemps (semis « ancien ») — Semis de pois parcelle 64.

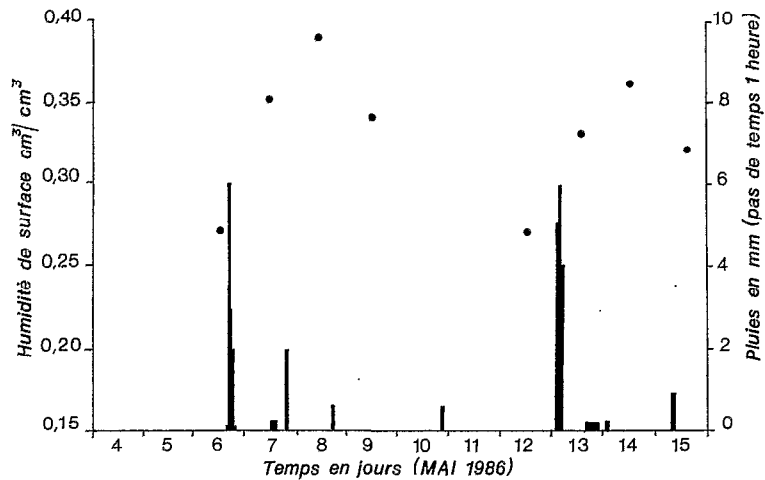


FIG. 10. — Evolution de l'humidité de surface sous culture de printemps (semis «ancien») — Semis de pois parcelle 53A.

reçu des pluies au moment de l'expérience, avec des plantules apparentes, et des semis récemment préparés (fig. 11) n'ayant pas reçu de pluie entre la date de semis et le début de l'expérience et dont les plantes ne sont pas levées. Les réponses de ces semis de printemps présentent une forme générale identique, avec des pics d'humidité très marqués en réponse aux pluies des 6 et 13 mai et une courbe d'assèchement de même forme. La variation maximale observée est de 0,10 à 0,15 cm^3/cm^3 sur semis récent et de 0,05 à 0,08 cm^3/cm^3 sur semis ancien.

La différence essentielle entre ces deux états culturaux provient de la valeur de l'humidité initiale qui est plus élevée sur les semis anciens que sur les semis récents. Pour une même classe de semis on note une amplitude de variation d'humidité qui pourrait être attribuée à des différences d'ordre agro-pédologique (variation de texture, de travail du sol). Ainsi sur semis ancien la variation constatée entre les parcelles de semis de pois 53A et 64 pourrait être reliée à des différences de texture et de structure (tabl. II): la teneur en argile et matière organique est, par exemple, plus élevée sur la parcelle 53A que sur la parcelle 64 et les indices de battance calculés (HENIN, 1976) sont respectivement de 1,77 et 2,52. Ces caractéristiques influent sur la capacité de stockage de l'eau dans la couche superficielle: dans le cas présent la meilleure stabilité structurale de la parcelle 53A pourrait expliquer que la variation de stockage à la suite des deux épisodes pluvieux soit plus importante sur cette parcelle que sur la parcelle 64.

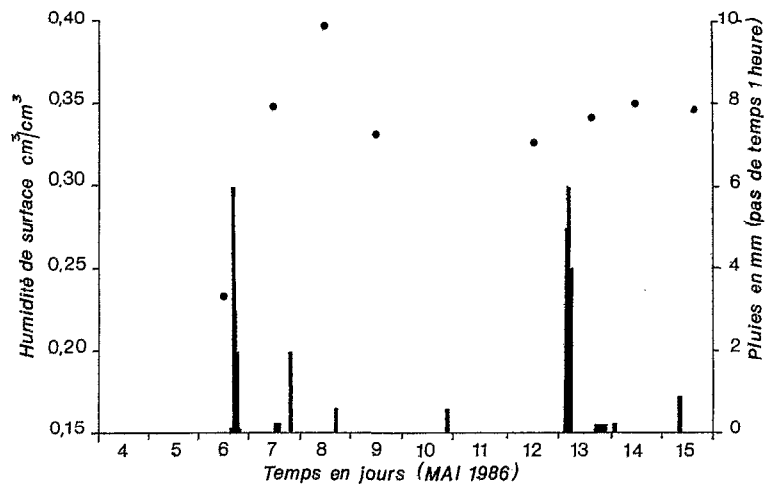


FIG. 11. — Evolution de l'humidité de surface sous culture de printemps (semis «récent») — Semis de pois parcelle 63.

TABLEAU II
Caractéristiques texturales des parcelles 53A et 64

	A 0-2 μ m	LF 2-20 μ m	LG 20-50 μ m	SF 50-200 μ m	SG 200-2000 μ m	M.O.
Parcelle						
53A	194.5	246.5	377.7	148.7	32.5	17.4
64	165.0	293.5	489.0	41.0	11.5	15.5

A : argile, LF : limon fin, LG : limon grossier, QF : sable fin, SG : sable grossier, MO : Matière organique. Les valeurs sont exprimées en ‰

On observe donc des comportements hydrodynamiques différents, d'une part en fonction du type de culture, et d'autre part pour un même type de culture en fonction du temps et de critères pédologiques.

Les variations observées sous cultures de blé ou prairies, très atténuées par rapport aux cultures de printemps, peuvent être attribuées à la présence d'une couverture végétale qui peut :

- retenir une partie de la pluie tombée par interception;
- favoriser son infiltration le long des racines;
- l'utiliser très rapidement et la restituer en partie par évapotranspiration.

Les différences de comportement qui apparaissent en fonction du temps sont relativement importantes : elles sont sensibles à la fois dans les phases d'humectation et de ressuyage. Sur semis de printemps tant anciens que récents la valeur d'humidité maximale atteinte à la suite de chacun des épisodes pluvieux est variable, de 0,31 à 0,40 cm³/cm³ lors du premier épisode pluvieux (13,4 mm d'eau tombés du 6 au 8 mai) et de 0,30 à 0,36 cm³/cm³ lors du deuxième épisode pluvieux (14,7 mm d'eau du 13 au 15 mai). En ce qui concerne la phase de ressuyage entre la première pluie et le début de la seconde, l'évolution est encore différente selon les parcelles avec des variations de contenu en eau (calculées entre les mesures du 6 et du 12 mai) allant de 0,05 à 0,13 cm³/cm³.

Les pluies étant sensiblement identiques tant en quantité totale qu'en intensité (3 à 4 mm/h) lors de chaque épisode, il était intéressant de rechercher les causes des écarts observés. On pouvait en rechercher l'origine dans le temps séparant les épisodes pluvieux des mesures d'humidité. Or, la durée du ressuyage entre pluie et mesure radar ayant été plus courte (7h) lors du deuxième épisode par rapport au premier (15h), cette possibilité d'explication a dû être rejetée.

Il semble donc préférable d'évoquer une vitesse d'infiltration plus élevée lors du deuxième épisode pluvieux par rétablissement d'une meilleure conductivité hydraulique sur sol humide à la suite de la première pluie (HILLEL, 1974). Dans cette hypothèse, cette amélioration aurait permis un transit plus rapide de la pluie du second épisode vers les couches profondes, d'où un stockage plus faible en surface.

OBSERVATIONS A L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT

A partir de l'ensemble des données radar obtenues chaque jour sur les bassins versants de Mélarchez et Butheil, nous avons calculé les valeurs moyennes journalières du signal rétrodiffusé. Ces valeurs ont ensuite été transformées en teneurs en eau grâce à la droite d'étalonnage, de manière à pouvoir suivre parallèlement l'évolution de l'humidité superficielle moyenne du bassin et de l'écoulement à son exutoire en fonction des pluies pendant la période étudiée.

Remarquons que le calcul du signal radar moyen ne tient pas compte du sens d'observation par rapport au travail du sol. Il peut en résulter un biais sur les teneurs en eau : non sur leurs variations relatives car les axes de vol étaient à chaque fois les mêmes, mais plutôt sur leurs valeurs absolues. Nous avons donc comparé ces données à des mesures effectuées indépendamment à poste fixe (parcelle expérimentale de Boissy-le-Chatel) par la méthode neutronique (humidimètre automatique SOLO 40) (fig. 12).

Le rapprochement de ces deux types de mesure très différents quant à leur principe et leur échelle d'observation permet de constater l'absence d'écart systématique entre les valeurs obtenues pendant la période d'observation, ce qui est un indice favorable de la validité de notre approche, sans en être une preuve absolue ; il s'agit en effet dans un cas (méthode radar) d'une valeur moyenne sur quelques kilomètres carrés, difficile à vérifier par les moyens classiques, dans le second cas (méthode neutronique), d'une valeur sûre mais ponctuelle, la nature du sol restant toutefois identique (limons des plateaux).

L'examen de la figure 13 représentant pluies, débits et humidité superficielle moyenne permet de replacer l'évolution de ce dernier paramètre par rapport aux observations effectuées dans ce domaine à l'échelle des différentes parcelles. La variation dans le temps est analogue, avec deux maximums dus aux épisodes pluvieux, le premier étant plus

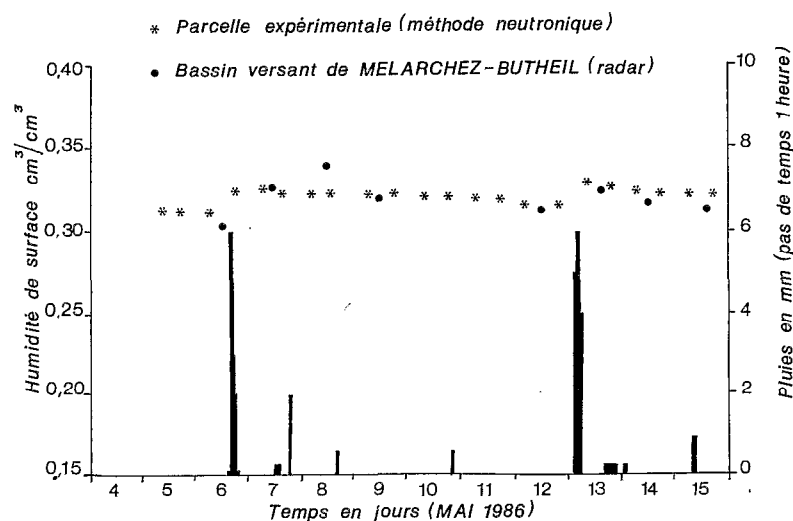


FIG. 12. — Humidité moyenne sur le bassin versant et sur la parcelle de Boissy.

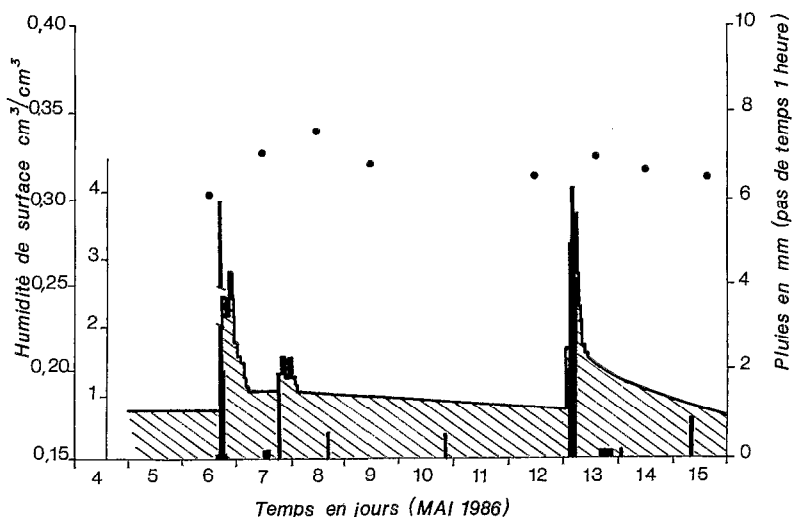


FIG. 13. — Humidité moyenne et écoulement du bassin versant.
(Lame écoulee 1/100° de mm).

élevé malgré des hauteurs de pluie très voisines. On constate que l'amplitude de variation représente une valeur intermédiaire entre les amplitudes maximales (sous cultures de printemps) et minimales (sous cultures d'hiver et prairies). Cette plus faible amplitude de variation à l'échelle du bassin versant est à rapprocher du poids prépondérant des cultures d'hiver représentant en effet 60% des assolements pratiqués. A ce propos, on peut noter (fig. 12) que la variation d'humidité observée sur la parcelle expérimentale par la méthode neutronique est plus faible que celle tirée du signal moyen et correspond logiquement au comportement de type cultures d'hiver ou prairie, les mesures étant faites sous gazon.

Enfin, on peut remarquer sur la figure 13 que pour le premier épisode pluvieux où le stockage d'eau dans le sol est plus important, le pic d'écoulement est plus faible que pour le second épisode pluvieux avec un stockage d'eau cette fois réduit.

Cette observation est à rapprocher de celle déjà faite pour les semis de printemps.

Ces constatations ne permettent pas, à ce stade, et compte tenu de la brièveté de l'expérimentation, de tirer des conclusions générales en matière de relation pluie-débit-teneur en eau du sol, mais elles montrent que la méthode utilisée peut permettre une approche quantitative de ce dernier paramètre à l'échelle du bassin versant.

4. DISCUSSION — CONCLUSION

On a montré que la télédétection hyperfréquence active permet bien, en prenant quelques précautions, de mesurer le contenu en eau de la surface des sols sur une profondeur d'environ 10 cm. La principale contrainte est qu'il faut être capable de donner l'angle des lignes des semis (quand elles existent) avec la direction d'observation. Ne pas le faire peut entraîner une erreur considérable sur la valeur de l'humidité de surface déduite de la mesure radar.

Malgré cet inconvénient, on a vu que cet instrument de mesure permet de suivre la réponse des parcelles aux pluies, humectation suivie d'un cycle d'assèchement plus ou moins long selon le type de surface. Le suivi opérationnel à l'aide d'un radar sur orbite pourrait donc être utile pour mieux comprendre les liens entre les précipitations, l'intensité de la pluie, et le ruissellement de surface en fonction notamment des types de cultures. En particulier, la prise en compte des différences de comportement mises en évidence devrait permettre d'améliorer la détermination de l'efficacité d'une pluie vis-à-vis de l'écoulement avec une appréhension de l'hétérogénéité spatiale.

En outre, des données peuvent être aisément calculées à une échelle plus globale du sous-bassin ou du bassin versant. Cette approche est d'autant plus intéressante que l'utilité d'un suivi de l'état hydrique du sol en simulation et prévision du débit a récemment été montré sur le bassin de l'ORGEVAL (C. LOUMAGNE *et al.* 1987) à partir de données d'humidité obtenues ponctuellement (profil hydrique par humidimètre à neutrons automatique). Ce nouveau moyen est donc très certainement complémentaire d'autres techniques à caractère ponctuel.

Une telle application suppose que l'on dispose de longues séries de mesures radar, seul moyen de faire des observations parallèles de précipitations, d'état hydrique du sol, et d'état de surface d'un, ou mieux, de plusieurs bassins, jaugés et non jaugés. Ceci devrait être possible grâce au radar du satellite ERS. 1 qui sera lancé vers le milieu de l'année 1990 et qui doit fonctionner 3 ans en fournissant des images même en présence de couverture nuageuse.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 15 septembre 1988.

BIBLIOGRAPHIE

- AUTRET (M.), BERNARD (R.) et VIDAL-MADJAR (D.), 1987. — Theoretical study of the sensitivity of the microwave backscattering coefficient to the soil surface parameters, soumis à *Int. J. Remote Sensing*.
- BERNARD (R.), SOARES (J.V.), VIDAL-MADJAR (D.), 1986 a. — Differential bare field drainage properties from airborne microwave observation. *Water Resour. Res.*, Vol. 22, n° 6: 869-875.
- BERNARD (R.), VIDAL-MADJAR (D.), BAUDIN (F.) et LAURENT (G.), 1986 b. — Data processing and calibration for an airborne microwave scatterometer, *IEEE Trans. GE-RS, G.E.*
- DOBSON (C.), ULABY (F.T.), 1986. — Active microwave soil moisture research — *IEEE Trans. GE-RS, 24 (1): 23-36.*
- HENIN (S.), 1976. — Cours de physique du sol. ORSTOM, Paris. *Init. et Doc. techn.* n° 28, 160 p.
- HILLEL (D.), 1974. — L'eau et le sol — Principes et processus physiques. (Vander, Louvain, 288 p.)
- LOUMAGNE (C.), MICHEL (C.), NORMAND (M.), 1987. — Utilisation d'indicateurs de l'état hydrique du sol dans un modèle pluie-débit. Société Hydrotechnique de France, Journées Prévisions des Crues, 18-19 nov. 1987, Paris. *La Houille Blanche*, n° 5/6, 425-432.
- SCHMUGGE (T.), O'NEILL (P.E.), WANG (J.R.), 1986. — Passive microwave soil moisture research — *IEEE Trans. GE-RS, 24 (1): 12-22.*
- SOARES (J.V.), BERNARD (R.), VIDAL-MADJAR (D.), 1987 a. — Spatial and temporal behaviour of a large agricultural area observed from airborne C-band scatterometer and thermal infrared radiometer, *Int. J. Remote Sensing*, à paraître.
- SOARES (J.V.), BERNARD (R.), TACONET (O.), VIDAL-MADJAR (D.), et WEILL (A.), 1987 b. — Estimation of bare soil evaporation from airborne measurements. *J. of Hydrology*, à paraître.