

# **Apports et possibilités d'utilisation de la télédétection en pédologie**

par **M.-C. GIRARD**

Maître assistant

Pédologie appliquée (Télédétection)

I.N.A. P.-G.

---

## **INTRODUCTION.**

Depuis 10 ans, l'existence de satellites de ressources terrestres et la facilité d'obtention de leurs images ont suscité l'intérêt du grand public pour la Télédétection. Les scientifiques n'ont pas échappé à cet engouement. Pourtant, et peut-être à cause de cette mode, plusieurs d'entre eux restent réticents à l'égard de cette nouvelle technique. Certains pédologues cartographes font partie des sceptiques, c'est pourquoi il est nécessaire de faire le point de 10 ans de travaux de recherche et d'utilisation de cette technique en Pédologie.

Il faut signaler trois études bibliographiques récentes portant sur la pédologie et la télédétection : RIBIER V., 1978 ; ROGALA J.-P., 1979, et LEROY G., 1980.

## **I. — GENERALITES.**

Le « Journal officiel » du 11 décembre 1980 (N.C. 10849) définit la Télédétection comme « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci ». Il ressort de cette définition que lorsqu'on regarde un sol, quand on observe sa couleur, lorsqu'on étudie une image satellite ou lorsqu'on manie les rayons X, on fait de la télédétection. On peut en conclure que plus d'un tiers de l'activité du pédologue relève de la Télédétection !...

Le « Journal officiel » précise la définition précédente en distinguant la télédétection électromagnétique et la télédétection aérospatiale.

**A. — TROIS ASPECTS DE LA TELEDETECTION.**

On dispose actuellement de données caractérisées par trois dimensions :

- Les longueurs d'onde électromagnétiques utilisées ;
- L'altitude à partir de laquelle les mesures sont faites ;
- La date à laquelle l'information est saisie.

**1. Les longueurs d'onde :**

On peut subdiviser le spectre électromagnétique en plusieurs domaines spectraux utilisés en télédétection :

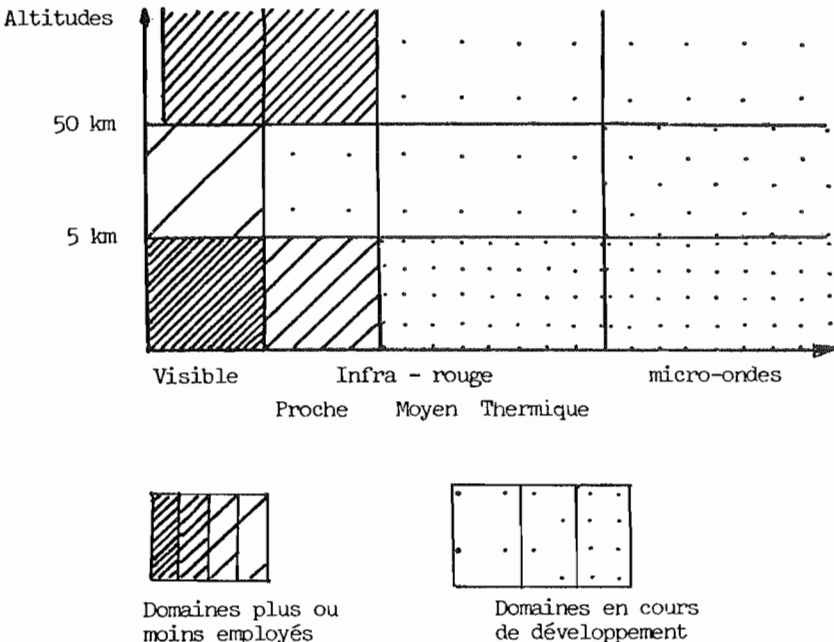
- Le visible : 300 à 700 nanomètres ;
- L'infra-rouge proche : 700 à 1.100 nanomètres ;
- L'infra-rouge moyen : 3,5 à 5,5 micromètres ;
- L'infra-rouge thermique : 8-14 micromètres ;
- Les hyperfréquences : plus de 0,75 cm.

Entre ces bandes de longueurs d'onde, les énergies ne sont pas captées en altitude, car elles sont absorbées par l'atmosphère.

**2. Les altitudes :**

Les informations peuvent être recueillies à diverses altitudes que l'on peut répartir en quatre classes :

- Au sol : jusqu'à 100 m ;
- Basse altitude : de 100 m à 5.000 m (avion) ;
- Haute altitude : de 5 à 50 km (avion, ballon) ;
- Très haute altitude : plus de 50 km (satellite).



**FIGURE I. — Importance relative d'emploi des divers domaines spectraux en fonction des altitudes**

*Relative use of different spectral fields as a function of altitude*

### 3. La date :

Selon l'époque de prise de vue, les informations changent. Sur une image prise trois jours après des précipitations, on obtiendra une information sur l'humidité de surface du sol ; sur une autre image prise en juin 1976, après plusieurs mois de sécheresse, on obtiendra une information sur l'humidité des sols en profondeur. La répétitivité des informations est aussi importante, en particulier pour suivre l'évolution des régimes hydriques des sols.

Avec les missions aéroportées, on peut obtenir des vols avec une répétitivité de l'ordre de l'année dans le meilleur des cas. Avec les satellites Landsat, on peut obtenir une image tous les 18 jours en théorie. En pratique, pour la France, on n'obtient rarement, par an, plus de 2 à 6 images qui soient utilisables ; c'est-à-dire qui comportent moins de 1/10 nuage (auquel il faut ajouter 1/10 d'ombre des nuages).

## B. — UTILISATION ACTUELLE DE LA TELEDETECTION EN PEDOLOGIE.

Les documents de télédétection peuvent être employés de diverses façons en cartographie des sols (fig. 1).

Le document le plus utilisé est la photographie aérienne. En pédologie, on s'en sert couramment depuis les années 1950. Les photographies panchromatiques sont beaucoup plus employées que celle en infra-rouge, bien que ces dernières existent maintenant sur la plus grande partie de la France.

Les photographies à haute altitude sont récentes, peu nombreuses, et leur emploi est encore restreint. Mais ce sont elles qui rendront le plus de services en cartographie des sols à moyenne échelle. Il serait nécessaire de pouvoir en disposer sur l'ensemble du territoire national.

Les images satellites commencent à être utilisées en pédologie. Elles font surgir des espoirs. Une étude abordera cet aspect dans un numéro prochain de « Science du Sol », du point de vue de l'extension spatiale.

L'infra-rouge thermique commence à être utilisé assez largement. Mais on s'en tient la plupart du temps à des bilans globaux (GOILLOT, GUYOT, MALET, 1976) ; PATOUREAUX Y., 1978) dépendant plus de l'ensemble matériau- plante-microclimat qu'au sol proprement dit. La dynamique thermique au niveau du pédon en place n'a été que fort peu étudiée. Elle n'intervient pas en cartographie, ou très peu (GIRARD C.-M., 1973). Enfin, quand on évoque le bilan thermique des sols dans les classifications, ce n'est, dans le meilleur des cas, qu'en terme de températures. Celles-ci, le plus souvent, ne sont pas relevées dans les sols précis, mais dans des stations météorologiques.

Quant aux hyperfréquences, les premiers travaux français viennent d'aboutir (KING C., 1977 ; KING C., 1979 ; FLOUZAT G. et coll., 1980). Le point en a été présenté le 9 juillet 1980 (Bulletin n° 79-80 de la S.F.P. et T.). Ces premiers résultats viennent conforter d'autres résultats américains (CIHLAR J., ULABY F.T., 1975) ou suisses (MUSY A. et coll., 1977).

Il est donc clair que la télédétection aérospatiale déborde largement les seules images des satellites Landsat. Cependant, ces dernières présentent des possibilités de synthèse qu'elles sont seules à pouvoir donner.

C'est pourquoi les deux points suivants seront abordés dans la suite du texte :

- L'apport des diverses longueurs d'onde à la connaissance des sols ;
- Les possibilités d'utilisation des images du satellite Landsat en fonction des échelles.

## II. — APPORT DE DIVERSES LONGUEURS D'ONDES A LA CONNAISSANCE DES SOLS.

Les réponses des sols dans les différentes longueurs d'onde apportent des informations qui peuvent ou non être mises directement en relation avec certaines de leurs caractéristiques. La détection des sols sera donc indirecte ou directe.

### A. — LES ELEMENTS NON DIRECTEMENT DECELABLES.

Lorsque les sols sont recouverts de végétation, leur réflectance ne peut plus être perçue. Il faut donc obtenir des informations sur eux par des intermédiaires : ce sont les éléments non directement décelables.

Ceux-ci sont liés principalement aux éléments du paysage suivant : l'hydrographie ; la géomorphologie, l'occupation du sol : empreinte humaine, cultures et végétation (GIRARD C.-M., GIRARD M.-C., 1975).

#### 1. L'hydrologie :

Les réseaux hydrographiques donnent des informations sur l'érosion et le mode de ruissellement. On peut aussi discerner les divers types de vallées auxquelles correspondent souvent divers types de sols.

#### 2. La géomorphologie :

On ne décèle pas sur les images satellitaires une morphologie fine, car il n'y a pas de relief perceptible. Seuls, les grands paysages géomorphologiques apparaissent, les reliefs importants étant soulignés par les ombres. A petite échelle, on peut en tirer des informations relatives aux associations de sol. A plus grande échelle, l'information est moins utilisable, voire plus du tout.

#### 3. L'occupation du sol :

Il est évident que ce facteur est détecté en premier.

Une étude faite sur le terrain en utilisant des images satellitaires permet assez souvent d'établir des liaisons entre certains caractères du sol et :

- les types de culture ;
- leur répartition dans le paysage ;
- le taux de parcelle cultivée ;
- la structure du parcellaire ;
- les formations végétales comme pelouses, marécages, etc. (GIRARD M.-C., GIRARD C.-M., RIBIER V., 1979) ;
- rarement avec la couverture forestière (DUBREUCQ F., 1980).

Pour en tirer des informations relatives aux sols, il est indispensable d'utiliser toutes les ressources de la pédologie et de faire des études de terrain, sinon on risque de n'interpréter que des évidences.

Nous pouvons en donner un exemple. Une étude a été menée sur le canal 4 d'une scène. La comparaison entre radiance et humidité des sols (fig. II), dans la vallée de la Loire (GIRARD M.-C., GIRARD C.-M., RIBIER V., 1979), correspond en première analyse à ce qui est connu : plus l'humidité croît, plus la radiance diminue. Mais cette analyse doit être affinée. En effet, les sols sont plus ou moins couverts de végétation et c'est cette couverture qui provoque la réponse et non pas directement l'humidité des sols. Cette dernière n'intervient qu'indirectement.

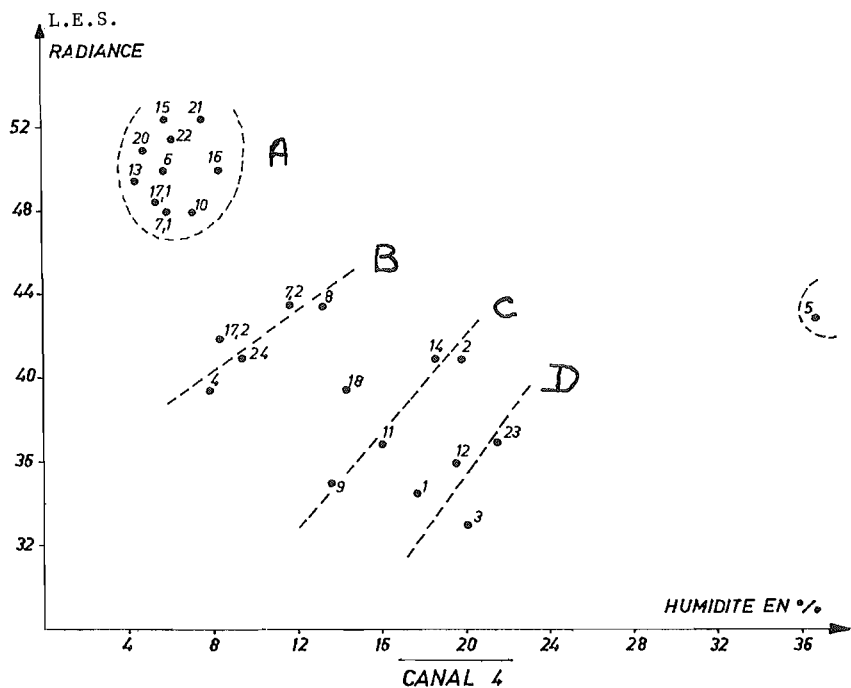


FIGURE II. — Relation entre les luminances énergétiques spectrales et les humidités des sols, recouverts par divers types de végétation

Chaque point représente une population statistique, correspondant à une occupation du sol déterminée

Relation between energetic spectral luminances and different moisture content of soils covered by different vegetation types

Each point represents a statistical group corresponding to a particular soil use

Sur la figure II, on discerne plusieurs groupes de points qui correspondent aux occupations du sol suivantes :

(A) Sols nus, ou peu couverts. Il n'y a pas de relation entre radiance et humidité.

(B) Sols occupés par des cultures couvrantes. Donc, les radiances sont plus faibles qu'en A. Plus le sol est humide, plus la fonction chlorophyllienne est efficace, donc plus la radiance est forte.

(C) Sols occupés par des prairies, ayant peu ou pas de haies. Il y a plus d'ombres que dans le cas précédent, la radiance est donc plus faible. Comme dans le cas précédent, la radiance croît avec l'humidité.

(D) Sols occupés par des prairies de petite taille avec beaucoup de haies. Les ombres portées sont importantes, le phénomène précédent est accentué.

## B. — LES ELEMENTS DIRECTEMENT DECELABLES.

Selon les longueurs d'onde, les informations obtenues prennent plus ou moins en compte certains phénomènes affectant la profondeur des sols.

### 1. Les micro-ondes :

Elles sont sensibles à différentes caractéristiques des sols telles que l'état de surface, l'humidité, la porosité (GIRARD M.-C., 1979), la composition granulométrique... D'autre part, elles possèdent un pouvoir de pénétration dans le sol d'autant plus grand que le sol est sec.

Les études actuelles permettent de déterminer la rugosité et l'humidité des sols. A 3, 7 et 10 cm de longueur d'onde, le signal rétrodiffusé est de 3 dB pour 10 % d'humidité du sol. Pour 7 cm de longueur d'onde, le signal serait insensible à la rugosité du sol (KING C., GIRARD C.-M., 1980).

Pour les longueurs d'onde de 3, 10 et 20 cm, le signal augmente avec la rugosité. Les études effectuées en laboratoire sur des bancs hyperfréquences montrent que la profondeur de pénétration pour les longueurs d'onde précédentes n'est tout au plus que de quelques millimètres (communication orale de T. LE TOAN). Enfin, sur les données de VIGIE (radar à visée latérale de type SLAR, 3 cm de longueur d'onde), les premiers résultats permettent d'espérer une possibilité de différencier les parcelles roulées des parcelles labourées.

Il faut cependant insister sur le fait que les hyperfréquences permettent de se libérer en grande partie des conditions atmosphériques, lors des prises de vues. On peut obtenir des images interprétables lorsqu'il y a une couverture nuageuse. Ceci représente un intérêt majeur pour l'étude des sols dans les régions tempérées ou équatoriales.

### 2. L'infra-rouge thermique :

Il permet d'obtenir une estimation de l'inertie thermique (modèle de WATSON), elle-même fonction de la conductivité thermique de la subsurface du sol dans les longueurs d'onde comprises entre 8 et 14 micro-mètres. La conductivité du sol est faible quand il est sec, et plus forte lorsqu'il est humide ; elle varie aussi avec la porosité du sol. Pour être interprétées correctement, les mesures doivent être comparées dans diverses émissivités ou en fonction de l'évolution, dans le temps, des termes du bilan (réponses de jour, de nuit...).

Quelques travaux récents abordent l'interprétation de l'inertie thermique des sols (PATOUREAUX Y., 1979). Mais, même dans la bibliographie sur l'infra-rouge thermique rassemblée par CILHAR J. (1976), les titres ayant trait à la pédologie sont très peu nombreux.

Au niveau du pédon, il n'existe pratiquement pas de mesures de conductivité du sol qui aient été faites sur le terrain et qui aient été mises en relation avec des données issues de capteurs aérospatiaux. Des études sont en cours ou en projet. Il faudra suivre leur développement avec un intérêt particulier. En effet, il y a tout lieu de penser que la confrontation des données issues des hyperfréquences et du thermique donnera des résultats intéressants pour estimer les bilans hydrique et thermique des sols.

### 3. Visible et proche infra-rouge :

Les informations obtenues ne concernent que la surface du sol. Il est donc nécessaire que le sol ne soit pas recouvert par la végétation.

Il existe de très nombreuses mesures de la réflectance des sols nus (GOETZ A., 1980 ; CILHAR J., 1973 ; STONER *et al.*, 1980). Mais la plupart ont été faites en laboratoire, ce qui leur fait perdre pratiquement tout intérêt. En effet, ces mesures ne tiennent pas compte des nombreuses variations dues à l'hétérogénéité des conditions atmosphériques, et à celle des sols. On sait qu'il y a de fortes différences entre un sol en place et un échantillon de terre prélevé (SCHREIER H., 1977).

Si l'on veut mesurer les réflectances en vue de les comparer avec les radiances des images satellitaires, il faut expérimenter avec des bandes de longueurs d'onde

ayant la même largeur que celles du satellite. Pour cette raison, la plupart des mesures que nous présentons ont été faites avec un radiomètre Exotech (prêté par le laboratoire de Télédétection de l'I.N.R.A.).

Les mesures effectuées sur le terrain jusqu'à présent (GIRARD M.-C., GIRARD C.-M., 1977) permettent d'ordonner les éléments directement décelables de la façon suivante :

- Viennent d'abord les éléments intervenant sur la couleur des sols : matière organique, puis calcaire et fer ;
- Ensuite, intervient la rugosité du sol ;
- Et enfin, l'humidité du sol et les facteurs qui lui sont liés : porosité, texture et structure.

**La matière organique :**

Si le taux en matière organique et la nature de celle-ci entraînent une faible clarté (inférieure à 4 au Code Munsell), la réflectance devient faible (inférieure à 10 %) et les autres facteurs n'interviennent pratiquement plus sur elle (BIATOUSZ S., GIRARD M.-C., 1978) (fig. III). Lorsque le taux en matière organique diminue, la réflectance augmente (fig. IV).

**Le calcaire et le fer :**

Si la teneur en calcaire est forte et entraîne une clarté supérieure à 6 au code Munsell, la réflectance est forte (supérieure à 30 % dans l'infra-rouge) (GIRARD M.-C., GIRARD C.-M., 1977). Mais le fer intervient pour diminuer la réflectance (fig. V).

**La rugosité du sol :**

La rugosité du sol a pour effet de diminuer la réflexion spéculaire, et donc de diminuer la réflectance. D'après les premiers travaux effectués lorsque la surface du sol est rugueuse, la réflectance est inférieure à 20 % (fig VI).

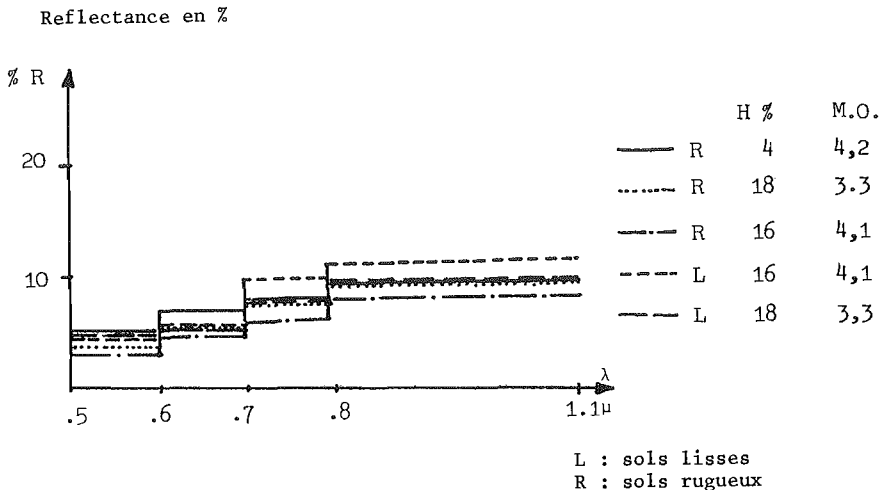


FIGURE III. — Valeurs de réflectance pour les quatre canaux de Landsat sur des sols organiques de Pologne

Reflectance values in the four Landsat channels for Polish organic soils

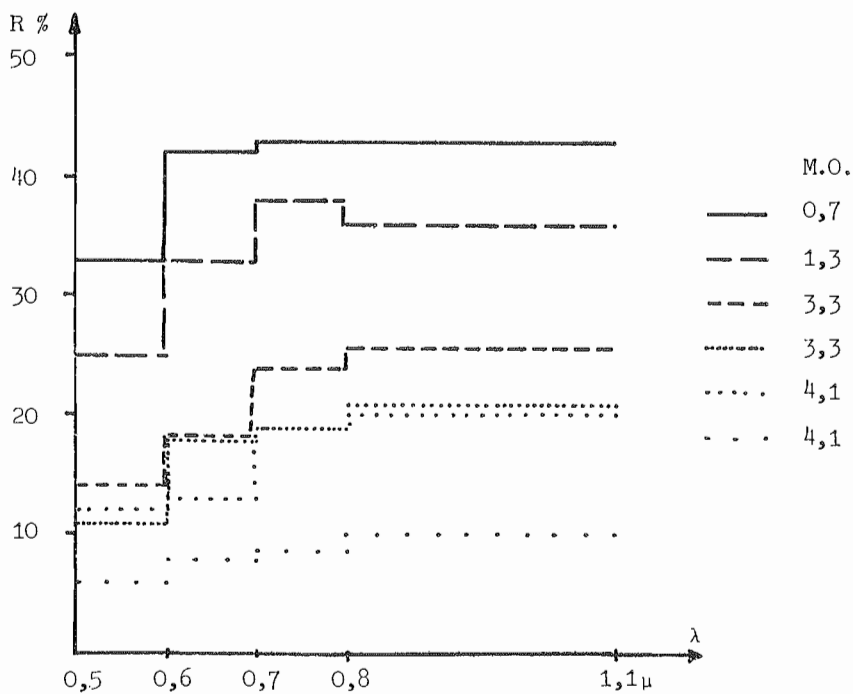


FIGURE IV. — Valeurs de réflectance pour les quatre canaux de Landsat, sur des sols plus ou moins organiques  
 Reflectance values in the four Landsat channels for more or less organic soils

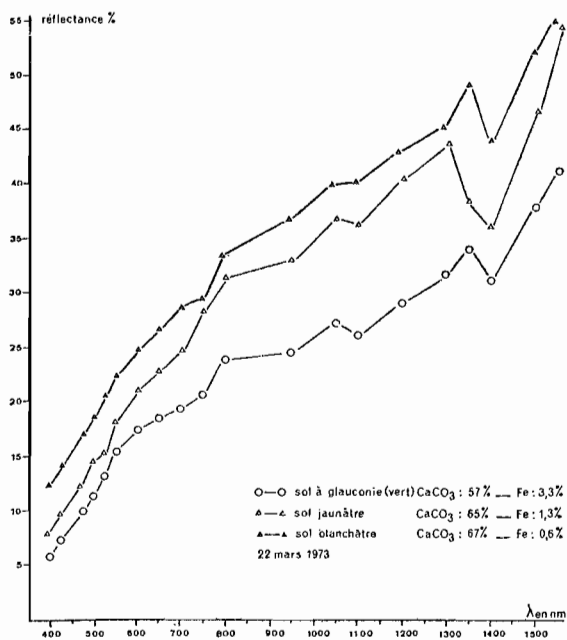


FIGURE V. — Courbes de réflectance de sols plus ou moins riches en calcaire total et en fer libre  
 Reflectance curves of soils with a more or less high limestone and free iron content



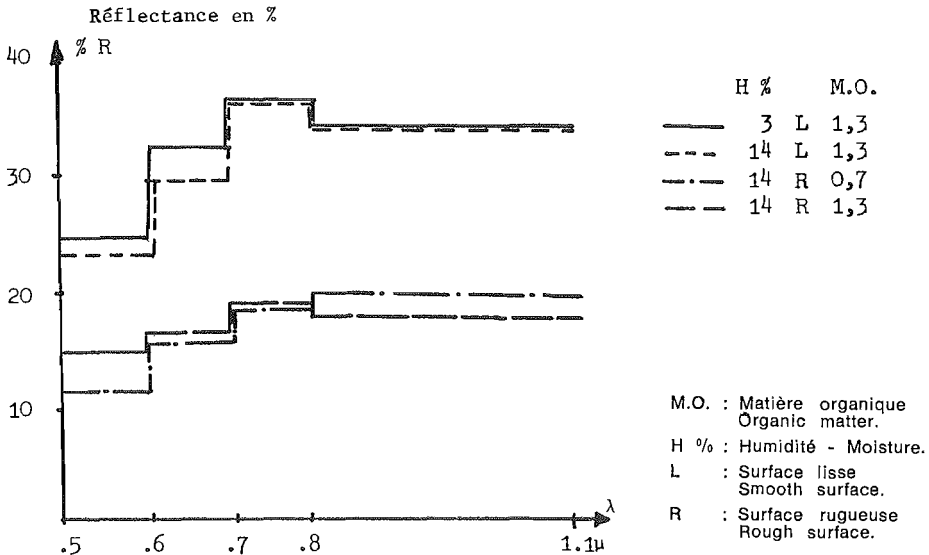
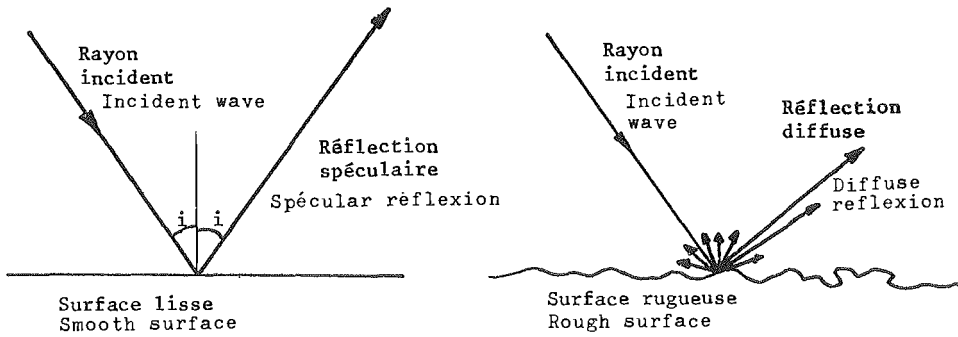


FIGURE VI. — Valeurs de réflectance pour les quatre canaux de Landsat sur des sols lisses et rugueux

Reflectance values in the four Landsat channels for soils with smooth and rough surface

**L'humidité :**

L'humidité ne peut être interprétée à partir des courbes de réflectance que quand on est sûr que les éléments précédemment évoqués ne varient pas. Les réflectances sont alors plus élevées pour des sols secs que pour des sols humides. Mais, pour étudier plus finement le phénomène, il faut regarder ce qui se passe dans les bandes d'absorption de l'eau. Il faudrait donc faire les observations autour de 1.150 et 1.450 nanomètres. Mais on ne dispose pas de réponse dans cette bande dès que la couche atmosphérique est trop grande entre le sol et le capteur. Donc, seule semble intéressante la bande comprise entre 925 et 975 nanomètres.

A cette longueur d'onde, sur les sols humides, la bande d'absorption de l'eau se marque bien (fig. VII). Malheureusement, on ne dispose pas de cette bande étroite dans les capteurs des satellites actuels.

**Structure - Porosité - Texture :**

En fait, la réponse globale que l'on obtient ne provient pas seulement de l'humidité, mais de l'ensemble : structure, porosité, texture, humidité (GIRARD M.-C., 1979). Pour des échantillons de sol de textures différentes et selon les différentes humidités, les courbes varient. Pour les sols argileux, les bandes d'absorption de l'eau sont plus marquées que pour les sols sableux. Pour les sols argileux, même secs, on a toujours un minimum pour les bandes d'absorption de l'eau, car il y a toujours de l'eau liée dans une argile sèche (fig. VIII).

Pour comprendre comment interviennent la structure du sol et sa porosité, il est nécessaire de comparer les réponses du même sol en fonction de diverses périodes hydriques dans l'année, en supposant que le sol ne soit pas recouvert de végétation.

Réflectance en %

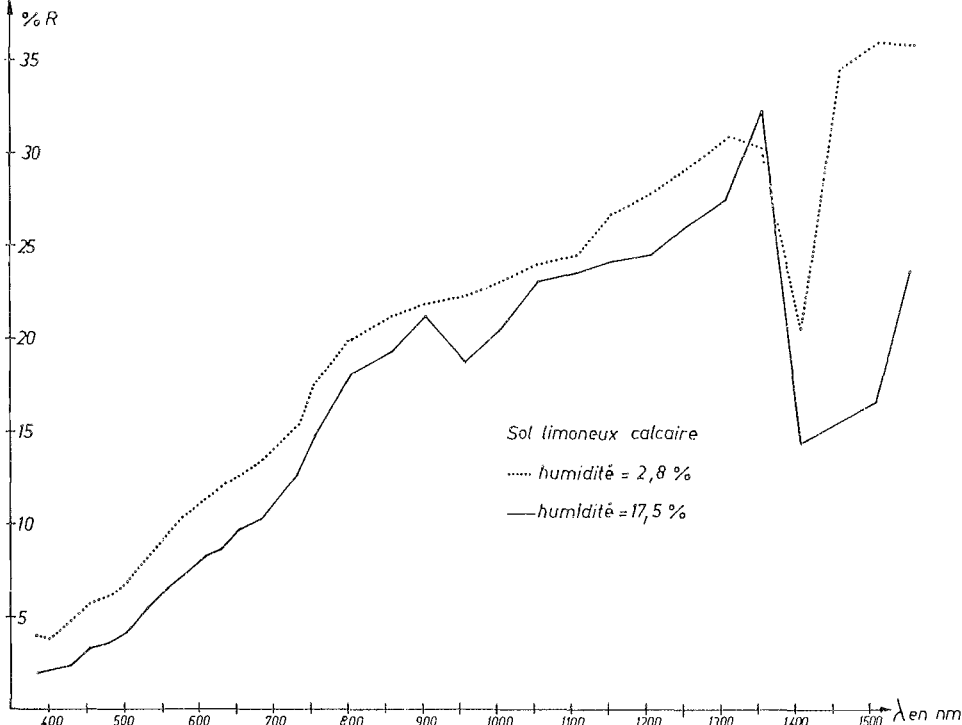


FIGURE VII. — Réflectance d'un sol à 2,8 et 17,5 % d'humidité  
 Reflectance curves for a soil at 2.8 and 17.5% of moisture content

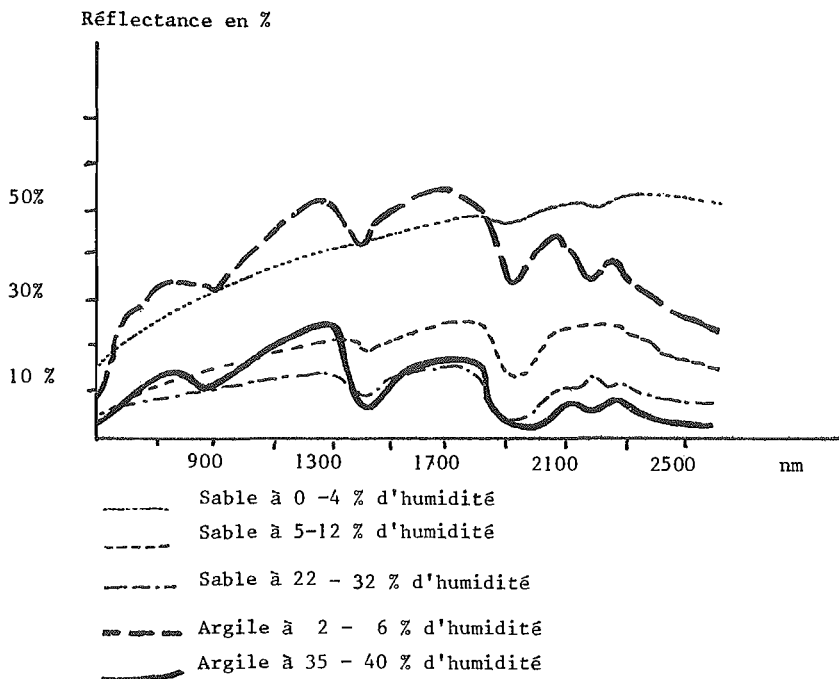


FIGURE VIII. — Réflectances de sols sableux et argileux à diverses humidités (d'après L.A.R.S.)

*Reflectance curves of sandy and clayey soils at different moisture content*

### C. — REFLECTANCES ET LUMINANCES (L.E.S.).

Le satellite Landsat ne fournit pas des valeurs de réflectances. Les grandeurs enregistrées sont des luminances électromagnétiques spectrales (L.E.S.) souvent dénommées radiances. On a pu vérifier que les valeurs lues sur les bandes magnétiques de Landsat et les réflectances mesurées sur le terrain se comportaient de la même façon dans la mesure où il n'y avait pas d'ombres portées.

Les radiances varient aussi avec de nombreux autres facteurs. D'une part, la qualité du rayonnement varie d'un endroit à un autre d'une même image. D'autre part, la relation rayonnement-objet est modifiée selon la pente, l'exposition, etc. Mais comme en pédologie on travaille avec de grands intervalles de radiances pour déterminer une unité, dans de nombreux cas, les facteurs de variation évoqués ci-dessus ne gênent pas l'interprétation. Dans des zones de plaine, ces facteurs n'interviennent pas, sauf dans le cas des haies présenté précédemment, où ils favorisent alors l'interprétation.

Dans les zones accidentées, les pentes et expositions ont une influence sur les valeurs de radiances, mais cela favorise l'interprétation.

On peut donc avantageusement utiliser les études de réflectance « in situ » pour interpréter les valeurs de radiances des images satellitaires.

### III. — UTILISATION DES IMAGES LANDSAT SELON LES ECHELLES.

#### A. — LA QUANTITE D'INFORMATION.

Pour étudier l'apport des images satellitaires en cartographie des sols, il faut se poser les questions :

- Quelle est la quantité d'information qu'apporte une image ?
- Est-ce cohérent avec la quantité d'information désirée pour l'élaboration de la carte des sols ?

La quantité totale d'information brute fournie par une image satellitaire correspond à quatre valeurs de radiances par 0,45 ha. En appliquant la loi du quart qui demande quatre informations par centimètre carré de carte rendue, la plus grande échelle cartographique permise par l'image satellite est donc le 1/13.000<sup>e</sup>. Si l'on suppose qu'il y a une certaine efficacité du pédologue qui interprète l'image, et qu'une information par centimètre carré est satisfaisante, on obtient une échelle de 1/6.500<sup>e</sup>.

En première approximation, il semblerait donc que l'on puisse obtenir des informations compatibles avec de grandes échelles. Ce raisonnement suppose que l'information totale des images soit utile et corresponde exactement aux éléments pédologiques à cartographier. En fait, il n'en est rien.

On peut mentionner aussi que les quatre informations données par Landsat en un point, sont fortement corrélées deux à deux : canaux 4 et 5 et canaux 6 et 7. Le coefficient de corrélation est supérieur à 0,8. Il faut signaler qu'en région accidentée, lorsque le relief est fort, les quatre canaux sont fortement corrélés entre eux.

Dès qu'on a observé une image satellitaire, il devient évident que l'information codée ne correspond pas uniquement à des données-sol. Cela en est même très loin comme on l'a vu à propos des éléments directement ou non décelables. Il faudra, dans la plupart des cas, établir une double corrélation (PERRIN P., 1979) :

Sol  $\longleftrightarrow$  Occupation des sols et Occupation des sols  $\longleftrightarrow$  Radiances. Il est aussi nécessaire que la corrélation : Sols  $\longleftrightarrow$  Radiances soit significative si l'on veut faire un traitement informatique systématique. Comme ces corrélations ne peuvent être généralisées que lorsqu'on se situe dans une même unité, il est donc nécessaire de réétalonner le modèle chaque fois que l'on change d'unité (GIRARD M.-C., ROGALA J.-P., 1980).

On sait que ces systèmes de corrélations ne peuvent être établis ni dans tous les lieux ni à toutes les dates. Il faut donc distinguer dans les informations issues des images celles qui sont :

- $I_1$  : directement utilisables (p.e. sol nu) ;
- $I_2$  : non directement utilisables (variation de l'occupation du sol) ;
- $I_0$  : non utilisables (p.e. forêt dense à plusieurs strates).

En conséquence, l'information utilisable ( $I_1 + I_2$ ) ne constitue qu'une partie de l'information totale  $I$ . On a  $I = I_0 + (I_1 + I_2)$ .

L'information utile pour les sols  $I_s$  est donc :  $I_s = I - I_0$ .

Si l'on veut évaluer l'efficacité de cette information dans la cartographie des sols, il faut appliquer des coefficients  $a$  et  $b$  aux deux types d'informations utilisables pour les sols,  $I_1$  et  $I_2$ .

En première approximation, on peut leur donner pour valeur celle du coefficient de corrélation :

- Radiances  $\longleftrightarrow$  éléments directement décelables pour :  $a$ , et  $0 < a < 1$  ;
- Radiances  $\longleftrightarrow$  éléments non directement décelables pour :  $b$ , et  $0 < b < 1$ .

Il faut tenir compte en plus de l'importance de  $I_1$  et de  $I_2$  pour le type de carte des sols désigné par des coefficients  $\alpha$  et  $\beta$ . Donc :

$$I_s = a\alpha I_1 + b\beta I_2 \text{ avec } 0 < \alpha < 1 \text{ et } 0 < \beta < 1$$

On peut donner quelques exemples :

- Détermination de la matière organique ou du taux en calcaire de l'horizon superficiel .....  $\alpha = 1$  ;  $\beta = 0$  à  $0,3$  ;
- Détermination de l'économie en eau des sols ..  $\alpha = 0,7$  à  $1$  ;  $\beta = 0,3$  à  $0,7$  ;
- Détermination de la profondeur des sols .....  $\alpha = 0$  à  $0,3$  ;  $\beta = 0,3$  à  $0,7$  ;
- Détermination des associations de sols .....  $\alpha = 0$  à  $0,3$  ;  $\beta = 1$  ;
- Détermination des zones de reconnaissance des sols .....  $\alpha = 0$  ;  $\beta = 1$ .

En conséquence, toute l'information apportée par le satellite n'est pas utilisable pour la cartographie des sols. En pratique, il est illusoire de vouloir utiliser les images Landsat pour cartographier à des échelles supérieures au  $1/25.000^e$  ou au  $1/50.000^e$ . Toutes les échelles plus petites peuvent être abordées.

### C. — LES ECHELLES.

L'étude qualitative et quantitative des informations des images Landsat permet de déterminer à quelle échelle on peut envisager de travailler.

On appelle  $I_s$  l'information utilisable.  $N$  est le nombre des points qui permettront d'établir une population statistique pour caractériser le sol. Si  $N$  est inférieur à une trentaine, cette caractérisation est très incertaine.

On caractérise l'échelle du document pédologique par  $E = 1/A \times 10^{-4}$ . Donc  $A^2$  ha correspond à  $1 \text{ cm}^2$  de carte.

La loi du quart donne :  $A = \sqrt{\frac{2}{I_s}}$  et  $N = \frac{4}{I_s}$

On peut alors répondre aux trois cas suivants :

**Cas I :** Si l'on veut obtenir une carte des sols au  $1/50.000^e$  à partir de l'information contenue sur une image, il faut ( $A = 5$ ) :

- étudier les populations statistiques des radiances sur au moins **50 pixels** ;
- que l'information  $I_s$  soit au moins égale à **8 %** de  $I$ .

**Cas II :** Si l'on estime qu'on a une  $I_s$  de **12,5 %** :

- on ne doit pas travailler à une échelle supérieure à  **$1/40.000^e$**  ;
- il faut prendre des populations statistiques de **32 pixels**.

**Cas III :** Si l'on estime qu'il faut au moins  $N = 200$  pixels pour pouvoir comprendre ce qui se passe dans une zone, on a, au mieux,

- une échelle au  **$1/100.000^e$**  ;
- et il faut au moins une information sol,  $I_s$ , de **2 %**.

Toutes ces approches sont statistiques et permettent de prendre une décision globale ; il va de soi que selon les unités de paysage et les éléments du sol recherchés, les valeurs des échelles varient. C'est ainsi que sur la même image, on peut obtenir des résultats différents.

Donnons un exemple :

On cherche, sur une même image, à dresser des cartes demandant de connaître :

- l'économie en eau ;
- la profondeur des sols.

La surface de sol nu ( $I_1$ ) est de 40 %. La surface de sol couvert, mais présentant des liaisons avec le sol ( $I_2$ ) est de 35 %.

Pour la profondeur du sol :

« a » peut représenter par exemple la corrélation entre la radiance du sol nu et sa couleur ;

«  $\alpha$  » peut représenter la corrélation entre la couleur et la profondeur du sol ;

« b » peut représenter la corrélation entre l'occupation du sol en prairie et l'humidité des sols ;

«  $\beta$  » peut représenter la corrélation entre l'humidité du sol et la profondeur du sol.

$$\alpha = 0,2 \quad \beta = 0,4$$

$$a = 0,5 \quad b = 0,5.$$

$$I_s = (0,2 \times 0,5 \times 0,40) + (0,4 \times 0,5 \times 0,35) \\ \approx 0,11.$$

$$D'où A = 4,26 \quad \text{soit} \quad E = 1/42.600^{\circ}.$$

Les paramètres retenus pour l'économie en eau sont :

$$\alpha = 0,8 \quad \beta = 0,4$$

$$a = 0,7 \quad b = 0,5.$$

On calcule alors  $I_s$  :

$$I_s = (0,8 \times 0,7 \times 0,40) + (0,4 \times 0,5 \times 0,35) \\ \approx 0,30.$$

$$D'où A = 2,58 \quad \text{soit} \quad E = 1/25.800^{\circ}.$$

Pour la même image, les valeurs des plus grandes échelles varient donc entre le  $1/25.000^{\circ}$  et le  $1/40.000^{\circ}$  pour chacun des deux thèmes. Elles varient aussi pour chacune des unités de paysage se trouvant en sol nu, ou recouvert.

On peut considérer qu'une  $I_s$  de 30 % ou plus correspond à une très bonne information ; 10 % à une information satisfaisante ; 2 % ou moins à une information pauvre.

En pays de culture ancienne, il est pratiquement toujours possible d'interpréter une image satellitaire en matière de pédologie, si cette image est utilisable et si l'on se limite à une échelle au  $1/250.000^{\circ}$ . Inversement, ce n'est que dans des conditions exceptionnelles que l'on pourra utiliser les images pour atteindre des échelles plus grandes que le  $1/50.000^{\circ}$  (tableau 1).

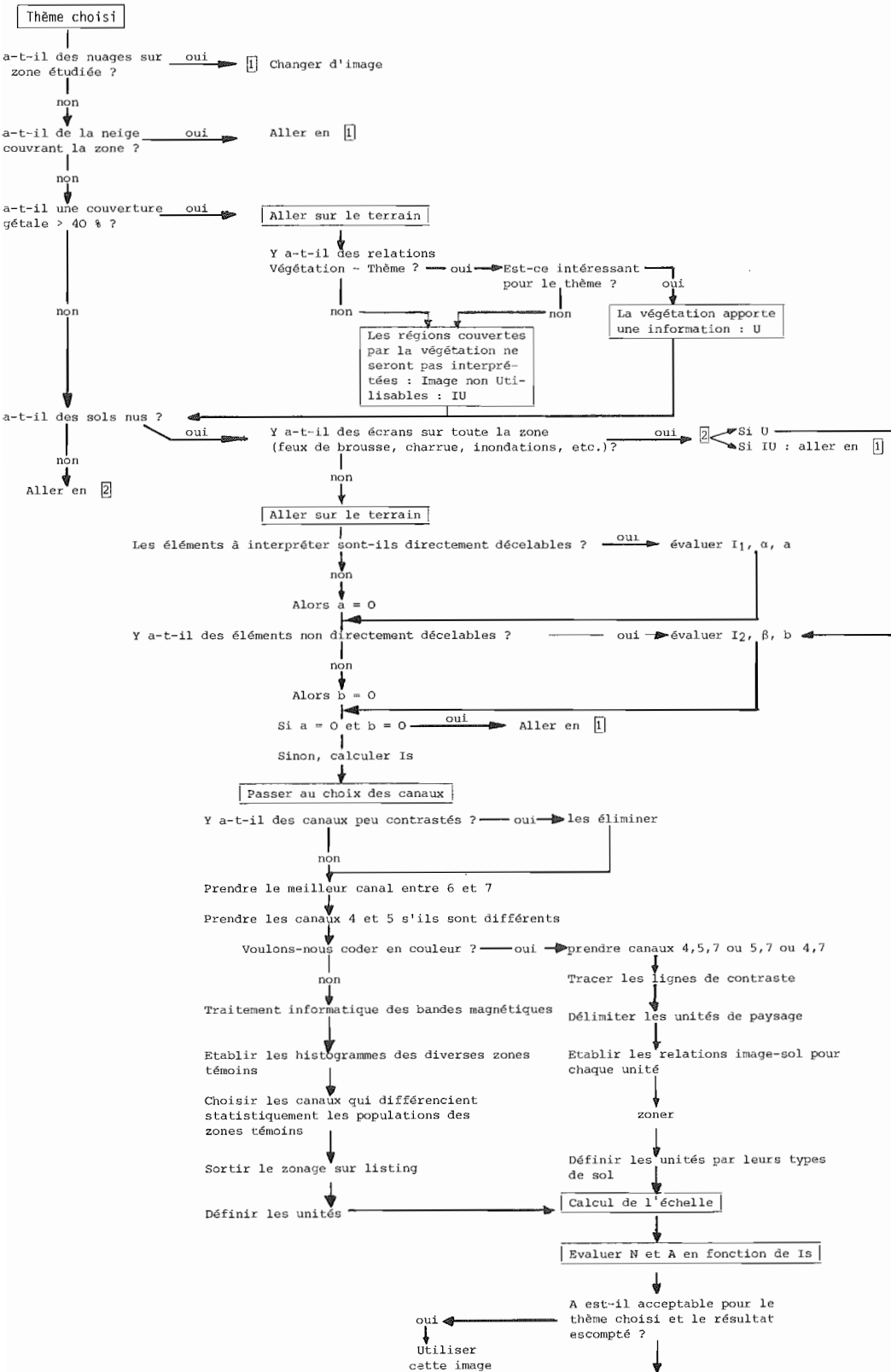
Echelle	N	$I_s$	
$1/15.000^{\circ}$ .....	5	89	%
$1/25.000^{\circ}$ .....	13	32	%
$1/50.000^{\circ}$ .....	50	8	%
$1/100.000^{\circ}$ .....	200	2	%
$1/250.000^{\circ}$ .....	1.250	0,3	%
$1/1.000.000^{\circ}$ .....	20.000	0,02	%

Il semble tout à fait envisageable d'utiliser avec succès les images satellitaires pour réaliser une carte de reconnaissance des sols au  $1/250.000^{\circ}$  dans la mesure où l'on dispose déjà de cartes pédologiques au  $1/100.000^{\circ}$  et de diverses études plus ou moins locales.

#### D. — ORGANIGRAMMES DES POSSIBILITES D'UTILISATION DES IMAGES LANDSAT.

A partir de l'approche que nous avons faite, il est possible de présenter les possibilités d'utilisation des images Landsat sous la forme d'un organigramme.

Choix des dates



## CONCLUSION.

Dans certains domaines spectraux, l'étude de l'interaction du rayonnement électromagnétique avec les sols est déjà classique : rayons X, spectrométrie infra-rouge. Les techniques de télédétection permettent à la fois d'acquérir une information dans de nouveaux domaines spectraux, mais aussi sur des sols en place, plutôt que sur des échantillons.

L'étude du comportement spectral des sols dans les diverses longueurs d'onde semble intéressante à plusieurs points de vue. Les caractéristiques de ce comportement spectral doivent permettre de déterminer certains éléments des sols. Par exemple, on a trouvé des relations entre les réflectances des sols et leur humidité (MUSY A. et coll., 1977), leur teneur en matière organique (KRISTOF S. et coll., 1974), leur texture (STONER E.R. et al., 1980.), leur teneur en fer et calcaire, leur rugosité, leur altération et leur type d'argile (GOETZ, 1980).

On peut envisager, dans un proche avenir, l'utilisation courante des valeurs de réflectance pour caractériser un sol. L'homme de terrain utilisera alors un radiomètre comme on utilise actuellement un pH mètre.

L'autre apport de la Télédétection concerne la possibilité de comparer des sols très distants les uns des autres par le moyen de leurs radiances. Ceci peut se faire d'une manière systématique et automatique. La photographie aérienne ne permettait pas cette approche des sols.

L'information apportée par les images satellitaires est très souvent utilisable pour l'étude de la répartition spatiale des sols. On dispose ainsi d'un outil pour effectuer des changements d'échelle en cartographie. Les images Landsat permettent en effet de passer dans de bonnes conditions du 1/40.000<sup>e</sup> au 1/250.000<sup>e</sup> au moins.



## SUMMARY

### POSSIBLE USES OF REMOTE SENSING IN SOIL SCIENCE

*Remote sensing is based on three main characters:*

1. *Wavelengths used;*
2. *Height at which remote sensing data are collected;*
3. *Date at which remote sensing data are collected.*

*Remote sensing data may be used differently for soil mapping (figure I).*

*What are the remote sensing data most used actually in soil science? The answer concerns mainly aerial photographs taken at different heights and satellite data (mainly Landsat). But since fundamental research is developed in various spectral-bands, a large part of this paper deals on the possible use of spectral bands for soil survey.*

*Soil behaviour in different wavelengths may be linked directly or not with some of their own characteristics. So soil detection may be direct or indirect.*

*Some soil characteristics may be sensed through foreign parameters which are: hydrology, geomorphology, type of land use (figure II).*

*Other soil characteristics are directly sensed by use of different wavelengths. For example, microwaves show sensitivity to surface soil moisture and soil surface state of roughness.*

*Thermal infra-red, enables to get thermal behaviour of soils and link that behaviour to soil moisture.*

*Visible and near infra-red have already been much experienced and show clearly the effect of soil parameters such as: organic matter content (figures III and IV), chalk and iron (figure V), state of surface roughness (figure VI), moisture content (figure VII), structure, porosity, texture (figure VIII).*

*This analysis of soil properties by remote-sensing passes through the knowledge and interpretation of spectral parameters such as reflectance and spectral energetic luminance (figure II).*

*The last part of this paper deals with the use of Landsat imagery according to the scale of the resulting interpreted document.*

*At first, the author deals with the information quantity brought by Landsat images, and by information quality.*

*The information quality is dependent on different relations:*

*Soil ↔ land use types;*

*Land use types ↔ energetic spectral luminances;*

*Soil ↔ energetic spectral luminances.*

*The result of this discussion is that Landsat images cannot be sought for soil mapping at scales larger than 1/25 000 - 1/50.000.*

*A discussion on the scale of the interpreted document show that for countries with a strong and ancient agriculture it is always possible to interpret and use a Landsat image in terms of soil science if the resulting document is at a scale not larger than 1/250 000. In some exceptional cases scales at 1/50 000 may be attained.*

*In conclusion, development of remote sensing shows that in a near future, reflectance characteristics and energetic spectral luminance may be use for soil characterisation in the same way that a pH meter is actually used in soil science.*

*At the same time, development of satellite images interpretation enable to have at one's disposal a useful tool for soil mapping.*

## Bibliographie

- BIALOUSZ S., GIRARD M.-M. (1978). — Współczynniki odbicia spektralnego gleb w pasmach pracy satelity Landsat. Fotointerpretacja w Geografii, t. III (13), Katowice, Pologne, pp. 118-129.
- CIHLAR J., PROTZ R. (1973). — Surface characteristics of mapping units related to aerial imaging of soils. Can. J. Soil Sci., t. 53, 3, pp. 249-257.
- CIHLAR J., ULABY F.T. (1975). — Dielectric properties of soils as a function of moisture content. NASA. CR 141868. RSL.TR.177.47 (40).
- CIHLAR J. (1976). — Thermal infrared remote sensing : a bibliography. Research report 76-1 Mars, Centre canadien de Télédétection, 46 p.
- DUBREUCQ F. (1980). — Cartographie au 1/10.000<sup>e</sup> sous forêt dans le Jura. Mémoire D.E.A., multigr., I.N.A. P.-G.
- FLOUZAT G., LE TOAN T., FLUHR A., PAUSADER M. (1980). — Multifrequency radar measurements of soil parameters. Twenty-Third plenary Meeting, COSPAR, juin, Budapest.
- GIRARD C.-M. (1973). — Agronomie et Télédétection. Cours de l'école d'été du C.N.E.S., Tarbes, sept.
- GIRARD M.-C., GIRARD C.-M. (1975). — Application de la télédétection à l'étude de la Biosphère. 184 p., 92 illustrations, 15 photographies, 2 planches couleurs. Mars. Masson, Paris.
- GIRARD M.-C. (1979). — What is soil moisture ? The soil scientist point of view. Microwaves remote sensing on bare soil. Workshop report. Earsel, session II, pp. 171-185.
- GIRARD M.-C., GIRARD C.-M. (1977). — Télédétection de la surface du sol. Actes du 1<sup>er</sup> Colloque « Pédologie et Télédétection », déc., Paris, pp. 55-64.
- GIRARD M.-C., GIRARD C.-M., RIBIER V. (1979). — Analyse des paysages ruraux et de l'humidité du sol. Doc. ronéo. O.P.I.T., avril, 145 p.
- GIRARD M.-C., ROGALA J.-P. (1979). — Cartographie de l'humidité des sols : approche structurale des données spatiales. Journées G.D.T.A., juin, Toulouse, 8 p.
- GIRARD M.-C., ROGALA J.-P. (1980). — Analyse de l'environnement par traitement informatique des données Landsat. Un exemple : l'humidité des sols. Congr. Int. de photogram. et télédétection - Commission VII, Hambourg, pp. 335-344.
- GOETZ A.F.H. (1980). — Geological spectroscopy and its practical application to lithologic identification. 14<sup>e</sup> Congrès SIP et T., juillet, vol. 10, p. 764, Hambourg.
- GOILLOT C., GUYOT G., MALET (1976). — Utilisation de la télédétection infrarouge pour les études méso-climatiques. Table ronde C.N.R.S. Les Bocages : Histoire, écologie, économie, 5-6 juillet, Rennes.
- KING C. (1977). — Applications des hyperfréquences en pédologie et en agronomie. Etude bibliographique. Doc. ronéo., C.N.E.S., juin, 30 p.
- KING C. (1979). — Contribution à l'utilisation des micro-ondes dans l'étude des sols. Thèse 3<sup>e</sup> cycle. Doc. ronéo., I.N.A. P.-G., mars, 169 p.
- KING C. (1979). — Study of soil moisture and soil surface roughness by active scatterometry. Microwave remote sensing on bare soil : workshop report. Earsel, pp. 241-249.
- KING C., GIRARD C.-M. (1980). — Contribution à l'étude des sols par micro-ondes. Arch. Intern. de photogrammétrie. 14<sup>e</sup> Congrès S.I.P.T., juillet, vol. B., pp. 363-371, Hambourg.
- KRISTOF S.J., BAUMGARDNER M.F., JOHANNSEN C.J. (1974). — Spectral mapping of soil organic matter. I.T.C., Journ., 1974-4, pp. 479-499.
- LEROY G. (1980). — Utilisation des données satellites en pédologie. Doc. ronéo. ORSTOM, janvier, Bondy, 83 p.
- LE TOAN T., PAUSADER M. (1979). — Investigation on the interaction between microwaves and bare soil: interpretation of 1978 experimental data. Microwave remote sensing on bare soil : workshop report. Earsel, pp. 121-133.
- MUSY A., MEYLAN P., MORZIER C. (1977). — Détermination de l'humidité du sol par télédétection. Actes du 1<sup>er</sup> Colloque « Pédologie et Télédétection », déc., Paris, pp. 67-76.
- PATOUREAUX Y. (1978). — Apport de la thermographie multispectrale. dans l'étude des terrains superficiels. Bull. Soc. Franç. Photogram. et Télédéct. n° 71-72, pp. 13-17, Saint-Mandé.
- PATOUREAUX Y. (1979). — Cartographie de l'inertie thermique des sols par télédétection multispectrale. Thèse d'ingénieur-docteur. Ecole des Mines, Paris, 207 p.
- PERRIN P. (1979). — Cartographie de certains critères agronomiques des sols, basée sur la photo-interprétation. DEA. Doc. ronéo., I.N.A. P.-G., octobre, 89 p.
- RIBIER V. (1978). — Télédétection et humidité des sols. Etude bibliographique. Doc. ronéo., I.N.A. P.-G., mars, 20 p.
- ROGALA J.-P. (1979). — Les traitements numériques des données Landsat. Utilisation en Pédologie. Etude bibliographique. Doc. ronéo., I.N.A. P.-G., avril, 48 p.
- SCHREIER H. (1977). — Prédiction des états chimiques des sols au moyen de mesures multispectrales effectuées en laboratoire, sur le terrain, et par voie aérienne. 4<sup>e</sup> Symposium canadien de Télédétection, mai, Québec, pp. 106-113.
- STONER E.R., BAUMGARDNER M.F., BIEHL L., ROBINSON B.F. (1980). — Atlas of soil reflectance properties. Res. Bull. 962, mai, L.A.R.S. Purdue University, W. Lafayette, 74 p.
- X... (1980). — Journée radar. Bull. Ass. Franç. de Photogramm. et Télédéct. n° 79-80, Saint-Mandé.