

# ANALYSE DES HETEROGENEITES INTRAPARCELLAIRES DES SOLS PAR TELEDETECTION

D. COURAULT<sup>(1)</sup> et M.C. GIRARD<sup>(1)</sup>

---

*Cet article correspond au travail de Diplôme d'Etudes Approfondies de Dominique COURAULT qui a obtenu le prix de notre association pour l'année 1987.*

---

## RESUME

*Cette étude\* porte sur deux parcelles agricoles dans l'Orléanais comportant des hétérogénéités visibles à la surface du sol.*

*Dans un premier temps, nous avons effectué une cartographie détaillée par horizons de ces deux parcelles. Nous avons comparé pour les différents horizons des sols, les réponses spectrales avec les analyses physiques et chimiques.*

*Les niveaux d'investigation en télédétection ont été la spectrophotométrie, la radiométrie et les images satellitaires.*

*Dans un second temps, nous nous sommes intéressés à l'analyse des formes sur les cartes des horizons de surface, les cartes de réflectance et sur les images Spot et TM Landsat.*

*Ainsi nous avons pu différencier les zones calcaires à formes arrondies, des zones sablo-argileuses battantes à contours mal définis qui ont la même intensité en luminosité.*

**Mots clefs : Spectrophotométrie, Réflectance, Horizons pédologiques, Analyse de formes**

## INTRODUCTION

Les hétérogénéités intraparcellaires témoignent des variations latérales des horizons pédologiques de surface ou profonds (COURAULT, 1986). Elles entraînent des comportements physiques particuliers qui se répercutent sur le travail de l'agriculteur (CONCARET, 1981).

Nous avons essayé de caractériser ces hétérogénéités intraparcellaires par télédétection à plusieurs niveaux d'investigation (CIPRA, 1980 ; MULDER, 1987).

Dans un premier temps, nous avons vérifié les relations entre les constituants et les réponses spectrales (CONDIT, 1970 ; MATHEWS, 1973 ; STONER-BAUMGARDNER, 1981 ; GIRARD-KING, 1982 ; ARROUAYS et al., 1983 ; ESCADAFAL-POUGET, 1987) puis dans un second temps, nous nous sommes intéressés à l'analyse des formes des horizons de surface et à leur distribution spatiale pour comprendre l'organisation de la couverture pédologique (MOMAL, 1984).

---

\* Ce travail a été effectué dans le cadre de la convention CNES/INAPG intitulé « Etude diachronique intraparcellaire du comportement spectral des sols » et de l'ATP « Télédétection Spatiale ».

(1) Laboratoire de Pédologie, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Centre de Grignon, 78850 Thiverval-Grignon.  
Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

## I. PRESENTATION DES PARCELLES ETUDIEES

Le travail porte sur deux parcelles de la région d'Orléans :

— La première d'à peine un hectare, se situe sur des alluvions sableuses dans le Val de Loire. Il s'agit de sols peu évolués qui varient essentiellement en fonction de la texture. Il en résulte des zones à perméabilités différentes, soit complètement inondées en périodes pluvieuses, soit bien drainées. Elles se distinguent nettement dans le paysage par des taches sombres ou claires ;

— La seconde parcelle, « La Thibaudière » (8 ha) se trouve au nord de la forêt d'Orléans, dans un milieu plus vallonné. Elle est représentative des formations géologiques (calcaire de Beauce, marnes de Blamont). Elle se caractérise par son sommet blanchâtre correspondant à des sols calcaires caillouteux peu épais (rendzines) et ses bas de pente plus sombres et humides occupés par des sols colluviaux (ARROUAYS, 1987).

## II. MATERIELS ET METHODES

Nous avons effectué une cartographie en volumes pédologiques (GIRARD, 1983) en prospectant par sondages : (40 sondages pour la première parcelle calcaire, 45 sondages pour la seconde parcelle sableuse). Un accent particulier a été mis sur la description des états de surface. Nous avons choisi une représentation en tomographies\* (fig. 9-10) afin de mieux comprendre l'organisation de la couverture pédologique et d'établir des relations chorologiques\*\* entre les états de surface et les volumes sous-jacents.

Chaque volume de surface a été caractérisé par trois ensembles d'informations :

— Les courbes de réflectance obtenues par le spectrophotomètre DK2 de Beckmann. Cet appareil mesure la réflexion diffuse d'un échantillon de quelques cm<sup>2</sup> de terre séchée et tamisée à 2 mm. Il donne le facteur de réflectance (rapport des énergies réfléchies par l'échantillon et par le sulfate de Baryum) sur une gamme de longueurs d'onde de 380 à 2 000 nm (ESCADAFAL et al., 1988).

— La réflectance du sol en place, mesurée sur une surface de 1 m<sup>2</sup>, par le radiomètre de terrain CIMEL (GUYOT et al., 1983), dans les bandes spectrales du satellite Spot : le vert de 500 à 590 nm ; le rouge de 610 à 680 nm, et le proche infra-rouge de 790 à 880 nm.

Nous avons procédé en avril-mai 1986 par transects, avec un point tous les 5 m. Quelques précautions ont été prises lors des relevés : la végétation ne devrait pas couvrir plus de 30 % de la surface, le ciel devrait être dégagé ou présenter une couverture nuageuse homogène, les mesures se sont faites entre 11 h et 13 h, heures solaires (GIRARD, 1977).

— Les deux images satellitaires suivantes :

● Le 14 avril 1984, avec Landsat TM (résolution de 30 m) dans les bandes suivantes : bleu : 450-520 nm, vert 520-600 nm, rouge 630-670, proche infra-rouge 750-900 infra-rouge moyen 1550-1750 et 2080-2350 nm, infra-rouge thermique, 10,4 - 12,5 µm.

● le 1<sup>er</sup> mai 1976, avec Spot (résolution de 20 m).

Des traitements d'images ont été effectués sur l'unité de traitement d'images Numelec Péricolor en Bioclimatologie à Grignon avec l'aide de P. BOISSARD et au BRGM à Orléans avec l'aide de C. KING. L'analyse a consisté en des comparaisons

\* Tomographies : représentation de la couverture pédologique en plans parallèles à la surface du sol, qui se situent à diverses profondeurs (M.C. GIRARD, 1983).

\*\* En pédologie la chorologie est l'étude de la distribution des volumes pédologiques dans la couverture pédologique, mettant en valeur les liens qui existent entre ces volumes définis par les variables intrinsèques et le paysage défini par les variables extrinsèques (M.C. GIRARD, 1983).

des différentes informations contenues dans chaque canal, et en des études de contrastes et d'intensité sur les compositions colorées.

### III. RESULTATS

#### A) Relations constituants-réponses spectrales

##### 1. La Pédologie

Les différenciations des volumes pédologiques de référence (V) des sols peu évolués du Val de Loire sont surtout fonction de l'état d'humidité et, en ce qui concerne la texture, de la présence plus ou moins importante de liant argileux. Tantôt des lentilles argileuses reposent sur des bancs de sable sec tantôt en dessous. Il en résulte une organisation assez complexe. Les différents états de surface se marquent notamment par une variation de rugosité, importante pour les volumes les plus argileux et humides, et quasi nulle pour les horizons sableux secs.

Pour la seconde parcelle, l'arrangement des volumes pédologiques paraît plus cohérent. Ceux-ci semblent s'organiser en fonction de la topographie et du substrat. Les caractères extrinsèques comme la nature du substrat, la forme morphologique, se relie assez bien aux caractères intrinsèques qui nous ont permis de distinguer les volumes pédologiques comme la teneur en calcaire, la pierrosité, l'humidité, les taches ou concrétions.

On distingue deux ensembles (Fig. 1 et 2) :

- d'une part les volumes calcaires (V.1, V.2, V.22),
- d'autre part les volumes sableux non effervescents (V.5, V.6, V.13, V.14).

Le lien entre les deux se fait par les volumes argileux-calcaires et sablo-argileux (V.9, V.10, V.12).

Sur les sommets, les volumes les plus clairs, calcaires et caillouteux (V.1, V.2), reposent directement sur le substrat (calcaire). Il existe un volume moins calcaire (V.21) situé entre la surface et la couche d'altération.

Sur pente, l'effervescence diminue, les volumes deviennent plus argileux (V.9) et les sols plus profonds. En bas de pente, la succession semble moins ordonnée ;

soit le volume de sable grossier (V.5) repose directement sur des volumes hydromorphes (V.12) à concrétions et à taches, soit ce sont ces derniers qui apparaissent sur des volumes sableux. Ces alternances traduisent bien des phénomènes de colluvionnement.

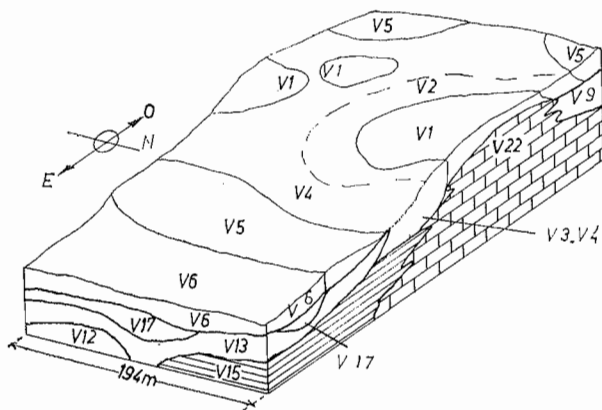


Figure 1 : Bloc diagramme de la Thibaudière. Three-dimensional diagram of « La Thibaudière ».

V1, V2... sont les volumes pédologiques définis sur le terrain.

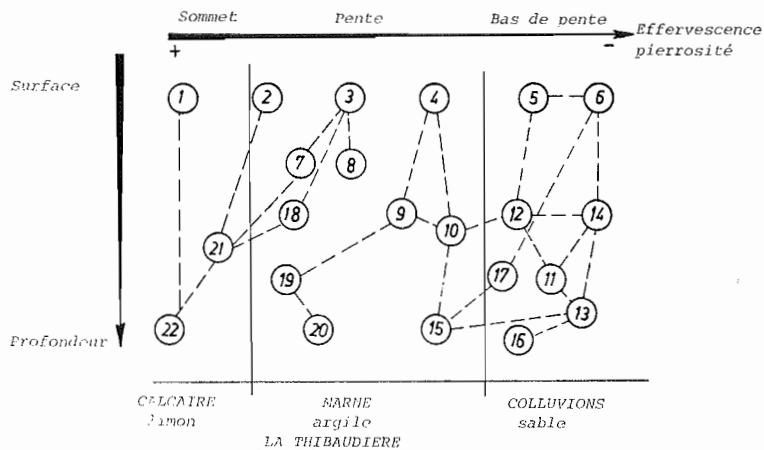


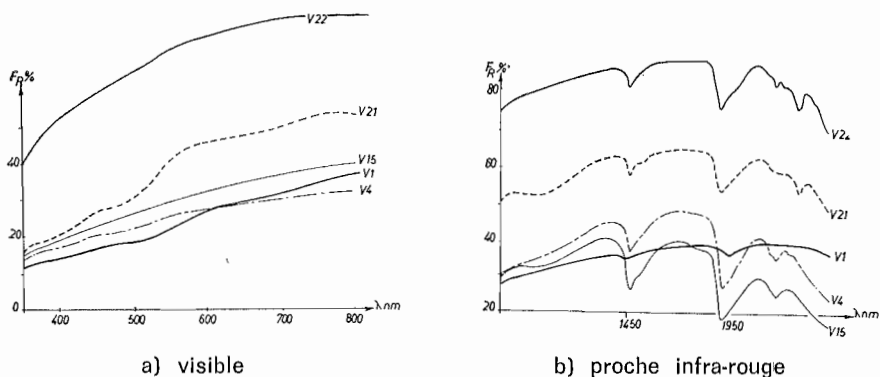
Figure 2 : Organisation des volumes pédologiques de la Thibaudière.

① Volumes pédologiques ——— principales superpositions entre les volumes pédologiques.

Organisation of pedologic horizons.

## 2. Comportement spectral

Les courbes de réflectances obtenues au spectrophotomètre (fig. 3) sont toujours monotones et croissantes dans le domaine du visible. On observe parfois des pentes plus ou moins fortes vers 550 nm suivant que les bandes d'absorption du fer ou de la matière organique sont plus ou moins bien marquées (STONER et al., 1981 ; CONDIR, 1970 ; LATZ et al., 1981).



Fr % : facteur de réflectance

V1 : Sable grossier sec 10YR 4/4

V4 : Volume intermédiaire argilo-limoneux peu effervescent 10YR 4/3

V15 : Argile lourde grise 10YR 7/1

V21 : Couche d'altération calcaire tachetée de rouge

V22 : Substrat calcaire blanc 10YR 8/2

Figure 3 : Spectres des volumes pédologiques dans le visible a) et le proche-infra-rouge b).

Spectral curves of the principal pedologic horizons

Dans l'infra-rouge, les bandes d'adsorption de l'eau se marquent d'autant plus que le sol est argileux. Par contre pour les volumes sableux, elles sont inexistantes, les courbes sont alors quasi linéaires (GERDERMANN, 1979).

On vérifie les relations déjà énoncées par M.-C. GIRARD et C. KING (1982) à savoir que les échantillons les plus clairs (clarté Munsell > 7) et calcaires ont des courbes convexes dans le visible et de fortes valeurs de réflectance. Par contre, les plus organiques (forte absorption dans le bleu et le vert) sont les plus sombres (clarté Munsell < 4) et présentent des courbes plutôt concaves. Les échantillons les plus ferrugineux, à concrétions ou à taches ont une couleur plus rouge et une bande d'absorption qui s'observe entre 700 et 900 nm (CONDIT, 1970 ; TORRENT, 1980 ; KRISNA, 1971 ; KARMANOV, 1970).

Les facteurs comme l'humidité, la rugosité et la pierrosité ne peuvent pas être mesurés au spectrophotomètre car il n'analyse que des échantillons remaniés.

Pour en tenir compte, nous avons fait des mesures de terrain par transects (COMBE, 1984 ; TRAUBE, 1985).

En comparant les transects radiométriques aux transects pédologiques (fig. 4), on constate que l'humidité et la rugosité sont corrélées négativement avec la réflectance (SKIDMORE et al., 1975 ; GAUSSMANN, 1977 ; RIBIER, 1978 ; AROUAYS et al., 1983 ; EPIPHANIO, 1983). En effet, plus les mottes sont importantes, plus il y a d'ombre. Plus l'état est fragmenté, plus la lumière est piégée dans les interstices, la réflexion est donc diffuse et non spéculaire comme dans le cas d'une surface lisse, les valeurs sont donc basses. (KING, 1979 ; CIERNIENSKI, 1983 et 1985). La pierrosité de même nature que le substrat calcaire est corrélée positivement avec les valeurs radiométriques.

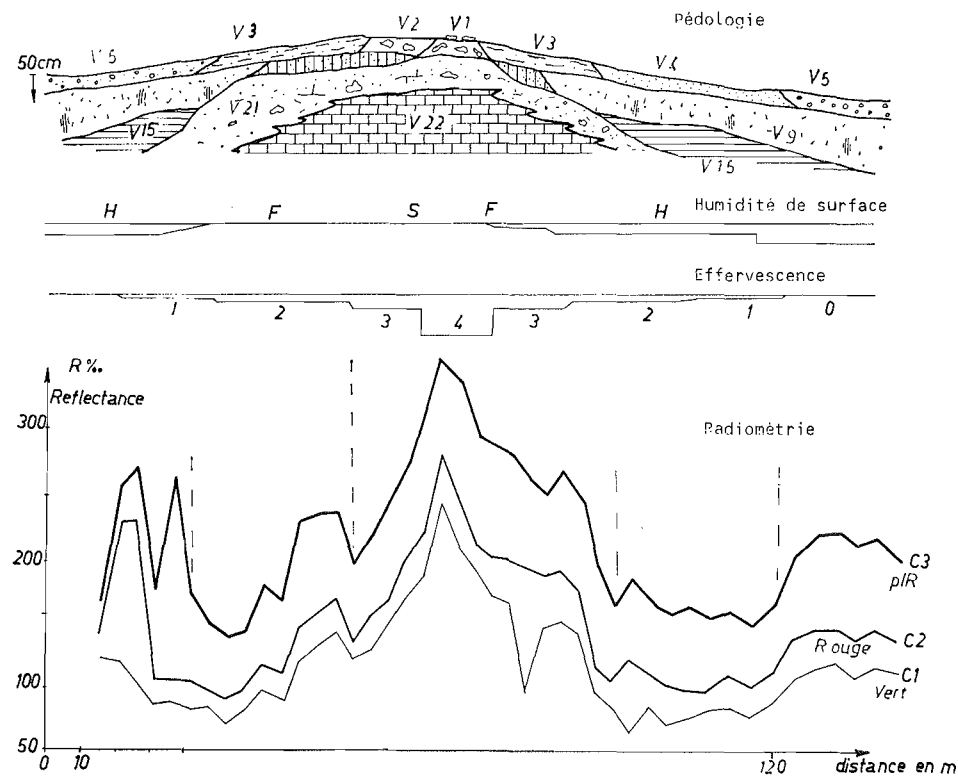


Figure 4 : Comparaison des transects radiométriques et pédologiques.

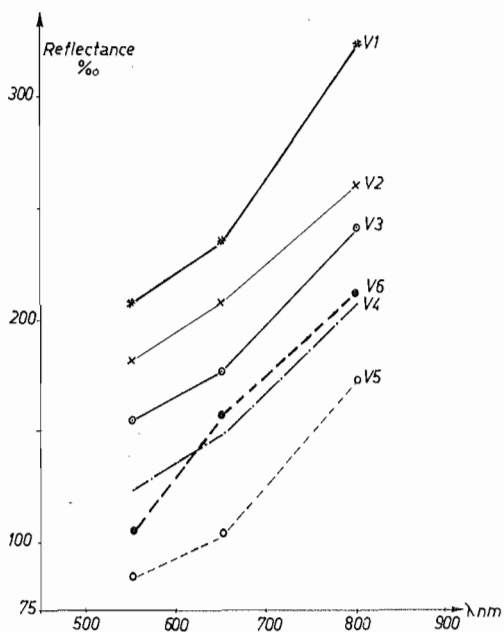
Comparison between radiometric line and pedology.

Effervescence : 0 : nulle ; 1 : faible ; 2 : moyenne ; 3 : forte ; 4 : très forte.

Humidité de surface : H : humide ; F : frais ; S : sec.

Pour chacun des volumes de surface, on a calculé la réflectance moyenne pour chacun des trois canaux (fig. 5 et fig. 2). Les courbes obtenues indiquent bien l'augmentation de la réflectance avec la teneur en calcaire (V.1 à V.4). Le volume V6 a une réflectance plus élevée car il contient dans sa fraction sableuse plus d'éléments quartzeux, très réfléchissants, que le volume V5. Ces volumes V5 et V6 ne sont pas calcaires.

On procède de la même façon sur les images satellitaires, en relevant les luminances pour les différents états de surface. On peut donc comparer les variations relatives de ces volumes à trois niveaux d'observation (CIPRA, 1980 ; KING, 1985).



**Figure 5 : Réflectance moyenne pour les volumes de surface de la Thibaudière.**

*Average values of Radiances of the surface samples.*

Teneur en calcaire : V1 : 5,5 %, V2 : 35 %, V3 : 20 %, V4 : 10 %, V5 : 0 %.

**Tableau I : Effets des principaux paramètres sur la réflectance.**

*Effects of the principal parameters on Radiance.*

Paramètres	Effet sur la réflectance	Seuil au-dessus duquel le facteur domine
Rugosité lisse battant rugueux	↗ ↗ ↘	
Calcaire	↗	> 35% sous forme de cailloux
Matière Organique	↘	> 3%
Fer	↘	
Couleur clarté pureté	↗ ↘	> 7
Texture argileux sableux	↗ ↘	varie en fonction de l'humidité

La première partie de ce travail a donc consisté à vérifier des relations déjà établies, à préciser certains seuils et notamment à montrer les corrélations des trois niveaux d'investigation utilisés : spectrophotométrie, radiométrie, imagerie satellitaire. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous ; ils constituent la base de notre étude (tableau 1).

## B) Analyse des formes

De l'observation des images spatiales et de l'étude du tableau 1, il ressort que certains paramètres peuvent être confondus comme la battance et le calcaire, ou la matière organique et la rugosité.

Des luminances élevées correspondent aussi bien aux zones lisses et claires issues du glaçage de sols argilo-sableux (parcelle du Val de Loire) qu'à des zones très caillouteuse calcaires (parcelle de la Thibaudière).

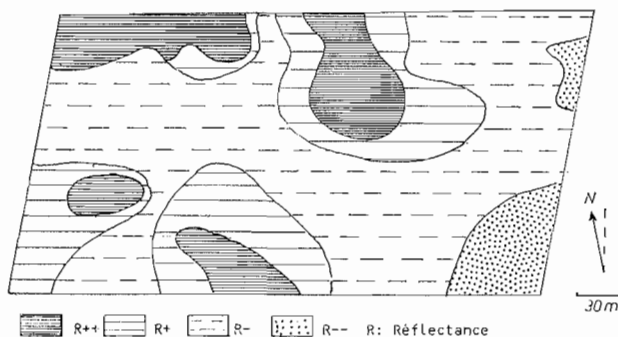
Par ailleurs, des facteurs comme l'humidité sont quelquefois dominants sur la réflectance par rapport à la rugosité. En effet, des surfaces rugueuses humides peuvent avoir des valeurs de réflectance plus fortes que des surfaces moins rugueuses plus humides. Il apparaît donc nécessaire de compléter ces résultats établissant les relations constituants-réponses spectrales par l'analyse structurale des volumes de surface.

Nous avons fait cette analyse sur la base des méthodes présentées par J.P. ROGALA (1982) et F. MOMAL (1984). Nous nous sommes intéressés essentiellement aux limites des unités définies, à leur extension spatiale (Contenant) afin de compléter l'analyse précédente concernant les caractéristiques propres des différentes zones (Contenu).

A partir de photographies aériennes, nous avons appliqué le modèle de C. LACOMBE (1979), et défini des unités photographiques suivant l'intensité du grisé et les contrastes entre plages (MACE, 1985). Les ensembles ont ensuite été comparés aux cartes radiométriques (fig. 6). Par seuillage sur chacun des canaux, nous avons individualisé des formes intraparcellaires sur les images Spot et Landsat TM. (fig 7 et 8).

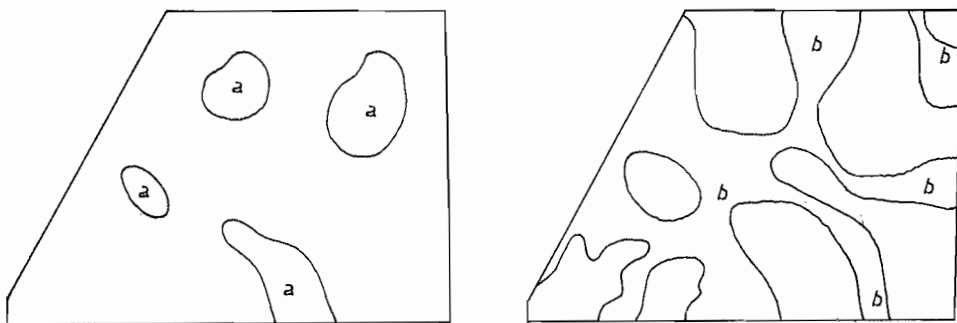
Tous ces documents ont été comparés entre eux ainsi qu'avec les tomographies des volumes pédologiques (fig. 9 et 10).

Il apparaît que la carte de réflectance (fig. 6) est peu corrélée avec la carte des volumes de surface de la couverture pédologique (fig. 9). Les paramètres du sol servant à définir les volumes de surface sont plus nombreux que ceux servant à caractériser la réflectance. En conséquence, certains paramètres, non pris en compte par la réflectance, interviennent pour extrapoler les limites de la carte des volumes de surface. Les limites entre les deux cartes sont donc différentes.

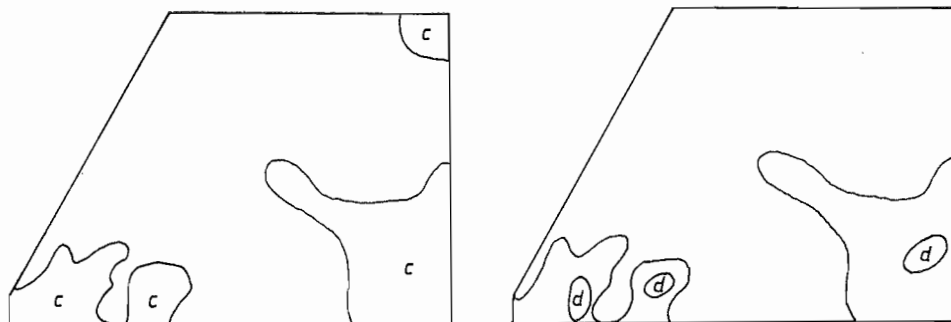


**Figure 6 : Carte de réflectance de « La Thibaudière » dans le proche infra-rouge.**

*Reflectance map of the surface horizons of the Thibaudière.*



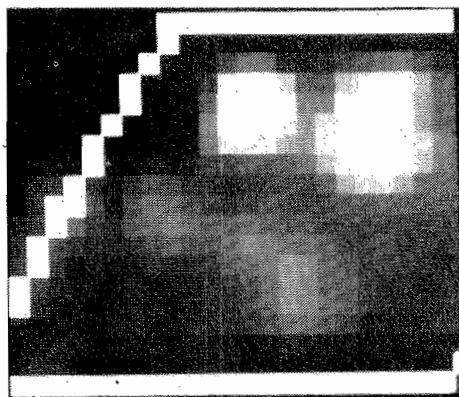
a : sols peu épais caillouteux calcaires    b : sols argileux peu calcaires sur pente



c : colluvions argilo-sableuses    d : zones hydromorphes sableuses

**Figure 7 : Les différentes formes d'unités homogènes repérées à partir de l'agrandissement de l'image Spot du 1<sup>er</sup> mai 1986.**

*Different shapes of homogeneous areas from the enlargement of the Spot imagery.*



**Figure 8 : Agrandissement de l'image Spot dans le proche infra-rouge de la parcelle marno-calcaire de la « Thibaudière ».**

*Enlargement of the calcareous plot on the Spot imagery on the 1st May 1986.*



Par contre, d'une part les volumes de profondeur sont très liés aux paramètres pris en compte par la radiométrie, et d'autre part les volumes sont reliés à la morphologie et donc à la surface de la couverture pédologique. En conséquence, les limites de la carte de réflectance (fig. 6) sont assez bien liées à celle de la carte des volumes de profondeur (fig. 10).

— Les petites plages arrondies à fortes luminances signalent la présence de sols peu épais caillouteux calcaires (fig. 7a).

— Les bandes étroites et sinueuses indiquent des sols à tendance argileuse peu calcaires sur pente (fig. 7b).

— Les larges plages digitées traduisent des colluvions argilo-sableuses (fig. 7c).

— Les zones glacées en surface n'ont pas de formes bien définies, leurs contours ne sont pas réguliers, il y a des extensions dans toutes les directions.

— Les zones hydromorphes sableuses sont souvent en taches circulaires généralement sombres à faibles valeurs spectrales (fig. 7d).

Cet exemple montre qu'il existe des relations entre la forme des limites (le contenant) et le contenu de celles-ci.

L'analyse spatiale des enveloppes facilite la compréhension de la couverture pédologique. Si l'on a déjà établi des relations chorologiques entre volumes de surface et volumes profonds, on peut interpréter les hétérogénéités rencontrées en matière de comportement physique du sol (infiltration, structuration) dans la zone étudiée.

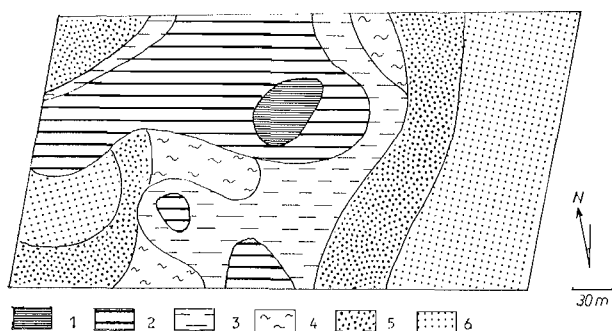


Figure 9 : Tomographie des volumes de surface de « La Thibaudière ».

*Tomography of surface volumes of « La Thibaudière ».*

1, 2, 3... sont les numéros des volumes pédologiques (cf. fig. 1, 2).

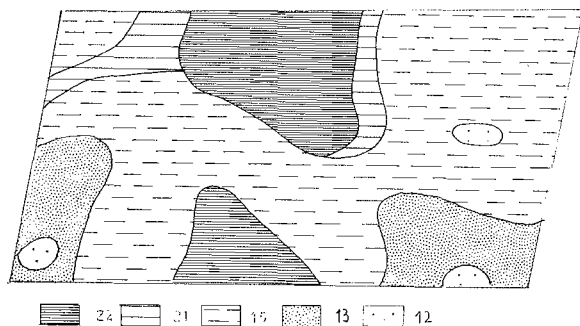


Figure 10 : Tomographie des derniers volumes en profondeur.

V 22 : substrat calcaire dur, blanc ; V 21 : couche d'altération calcaire friable ;  
 V 15 : argile lourde grise ; V 13 : sables ; V 12 : sables à concrétions ferrugineuses.

## DISCUSSION-CONCLUSION

Une telle démarche de synthèse, groupant à la fois les réponses spectrales et les formes, apporte une nouveauté pour l'interprétation des données de télédétection. En effet, elle lève les imprécisions constatées entre le calcaire et les zones lisses et claires dues aux glaçages des sols argilo-sableux.

L'intérêt d'avoir pris deux sites très différents d'un point de vue physiographique, est de permettre d'apprécier le rôle de divers facteurs sur les réflectances :

— La rugosité et l'humidité liée à la teneur en argile entraînent une diminution de la réflectance (parcelle du Val de Loire).

— La pierrosité liée à la teneur en calcaire et à la clarté augmente la réflectance (seconde parcelle).

Par ailleurs, cette étude a permis d'appréhender le sol à différents niveaux d'investigation (au laboratoire, sur le terrain et spatialement), et d'évaluer les corrélations entre ces trois types d'informations.

Une première étape au niveau de la parcelle a été effectuée. On s'aperçoit ainsi qu'à partir d'une image Spot, on peut différencier les états de surface et préciser la nature des hétérogénéités observées dans une parcelle à condition que ces hétérogénéités soient supérieures à la résolution du satellite (20 ou 30 m).

Reçu pour publication : Novembre 1987

Accepté pour publication : Février 1988

### REMERCIEMENTS :

Nous remercions D. ARROUAYS et D. KING (SESCPF, Orléans) pour leur aide et leurs conseils dans le choix des parcelles et leur cartographie, ainsi que P. BOISSARD (INRA, Grignon) et Ch. KING (BRGM).

### ANALYSIS OF THE HETEROGENEITIES AT THE PLOT SCALE USING REMOTE SENSING INFORMATIONS

*The study concerns remote sensing characterization of state surface roughness of two fields corresponding to different soils : calcareous and sandy in the Orleans area.*

*Relationships (tabl. 1) between physical and chemical analysis of soils (performed in the field and in the laboratory) and spectral characteristics measured with the spectrophotometer (fig. 3), field radiometer (fig. 4, 5) and satellite data (Spot and Landsat TM) were shown (fig. 7, 8).*

*Analysis of state of roughness types enables to discriminate calcareous from loamy areas (with splash effect) presenting the same high reflectance.*

### BIBLIOGRAPHIE

- ARROUAYS D., 1987. — Notice explicative de la carte des sols de Bellegarde en Loiret au 1/50 000 SESCPF Orléans, 152 p + annexes.
- ARROUAYS D., GUYON D., RIOM J., 1983. — « Différenciation de l'humidité et de la matière organique de deux sols sableux à partir de données radiométriques et photographiques ». Colloque INRA, n° 2 sur les signatures spectrales, Bordeaux, p. 81-91.
- CIERNIENSKI J., 1983. — « Influence des structures des sols motteux sur la réponse spectrale des sols ». Colloque INRA n° 2, Bordeaux, pp. 141-148.

- CIERNIENSKI J., 1985. — « Relations between soils moisture tension and spectral reflectance of different soils in visible and near IR ». Proc. of 3rd Int. Coll. on spectral signatures, les Arcs, pp. 80-84.
- CIPRA J., 1980. — « Comparison of multispectral measurements from non vegetated soils using data and spectral radiometer ». Soils Sc. Soc. of am. Journal, vol. 44, pp. 80-94.
- COMBE P., 1984. — « Caractérisations radiométriques de volumes pédologiques de référence ». Mémoire de DAA INAPG, Sept. 84, 83 p.
- CONDIT J.H., 1970. — « The spectral reflectance of american soils ». Photogramm. Eng., vol. 34, 9, pp. 955-960.
- CONCARET J., 1981. — Drainage agricole. Chambre régionale d'agriculture de Bourgogne, INRA, 509 p.
- COURAULT D., GIRARD M.-C., 1988. — « Analyse de la surface des sols à l'échelle de la parcelle en télédétection ». Colloque Spot 1, nov. 87, Paris, 7 p. (sous presse).
- COURAULT D., 1986. — « Modélisation du comportement spectral de la surface des sols. Etude intra-parcellaire. DEA de Pédologie, INAPG, 61 p. + annexes.
- EPIPHANIO J.C., 1983. — « Inter-relationships between view angles and surface moisture and roughness conditions in fields measured radiometer reflectance of an oxisols ». Coll. INRA n° 2, Bordeaux.
- ESCADAFAL R., GIRARD M.-C., COURAULT D., 1988. — « La couleur des sols : appréciation, mesure et relations avec les propriétés spectrales ». Agronomie, vol. 8, n° 2.
- ESCADAFAL R., POUGET J., 1987. — « Luminances spectrales et caractères de la surface des sols en région aride méditerranéenne (sud-tunisien) ». ITC journal 1986-1, ORSTOM, 5 p.
- ESCADAFAL R., 1984. — « Organisation superficielle et télédétection des sols de la région de Tataouine ». 15° Congrès de l'ISPRS, Rio de Janeiro.
- GIRARD M.-C., 1983. — « Télédétection de la surface du sol ». Coll. INRA, n° 5, pp. 177-193.
- GIRARD M.-C., KING C., 1982. — « Pédologie et télédétection ». Département des sols, n° 7, 163 p., INAPG.
- GIRARD M.-C., ROGALA J.-P., 1979. — « Analyse de l'humidité des sols. Présentation d'un modèle structural ». Photo-interprétation n° 4, pp. 204-211.
- GIRARD M.-C., 1977. — « Fonctionnement et traitement des images satellites ; méthodes d'emploi en pédologie ». Colloque Rome, Télédétection et pédologie, A.I.S.S., pp. 325-338.
- GUYOT G., HANOCQ J.-F., BUIS J.-P., SAINT G., 1983. — « Mise au point d'un radiomètre de simulation SPOT ». Colloque INRA n° 2, Bordeaux.
- KARMANOV I.I., 1970. — « Study of soil from the spectral composition of reflected radiation ». Soviet journal soil sc. 2, pp. 226-238.
- KRISNA MURTI G.R.S., 1971. — « Influence of chemical characteristics in the development of soil colour ». Geoderma 5, 3, pp. 243-248.
- KING C., 1985. — « Etude des sols et formations superficielles par télédétection ». Thèse BRGM ; INRA, 174 p. + annexes.
- KING C., 1979. — « Contribution à l'utilisation des micro-ondes de l'étude du sol ». Thèse INAPG, Grignon, 122 p. + annexes.
- LACOMBE C., 1979. — « Télédétection et délimitation des sols. Une application : cartographique des zones de friches ». Mémoire de DAA, Grignon, 90 p.
- LATZ K., 1981. — « A study of the spectral reflectance of selected eroded soils in relationships to their chemical and physical properties ». Lars Technical report 082281, Purdue University, USA, 92 p.
- MACE A., 1985. — « Essai de photo-interprétation à l'échelle parcellaire ». Thèse de 3<sup>e</sup> cycle INRA Dijon, 195 p. + annexes.
- MATTHEWS H.L., 1973. — « Spectral reflectance of selected Pennsylvania soils ». Soil Sc. soc. am. proc., vol. 37, pp. 421-424.
- MOMAL F., 1984. — « Analyses spectrales des enveloppes. Etudes des liaisons entre les contenus et les contenants d'une carte pédologique du bocage normand ». DEA Paris, 7, 52 p. + annexes.
- MULDERS M.A., 1987. — Remote Sensing soils science. Development in soils sciences 15 ; Elsevier, 379 p.

- POUGET J., 1984. — « Apports des données MSS Landsat pour la cartographie des ressources des sols en région aride ». 18<sup>e</sup> symposium Int. sur l'observation de la terre.
- RIBIER V., 1978. — « Télédétection et humidité des sols », étude bibliographique INAPG, 35 p + annexes.
- ROGALA J.P., 1982. — « Approche numérique de l'espace agricole. Analyse de l'hétérogénéité de la structure des unités cartographiques ». Thèse de docteur ingénieur de l'INAPG, 137 p. + annexes.
- SKIDMORE E.R., DICKERSON J.D., 1975. — « Evaluating surface soil water content by measuring reflectance ». Soil sc. am. proc., vol. 39, 2, pp. 238-243.
- STONER E.R., BAUMGARDNER M., 1981. — « Characteristics variations in reflectance of surface soils ». Soil sc. soc. am. journal, 45, pp. 1161-1165.
- TORRENT J., 1980. — « Iron oxyde mineralogy of some soils of two terraces sequences in Spain ». Geoderma 3, pp. 191-208.
- TRAUBE L., 1985. — « Analyses radiométriques et caractérisation des différences de l'état de surface ». DEA, INAPG, Grignon, 121 p.