

**RELATIONS ENTRE LES CONSTITUANTS MINÉRAUX D'OXISOLS
BRÉSILIENS ET LEURS SIGNATURES SPECTRALES DU VISIBLE
À L'INFRA-ROUGE MOYEN: APPLICATION À
DES DONNÉES SATELLITAIRES
(LANDSAT TM)
I - LES OXYDES DE FER.
II - LA KAOLINITE ET LA GIBBSITE. IMPLICATIONS SUR LA TEXTURE**

MADEIRA J.¹, POUGET M.², BEDDI A.³, CERVELLE B.²

L'utilisation des images multispectrales pour la cartographie pédologique est fondée principalement sur les différences entre l'énergie réfléchie par les différents types de sols. Les composants minéralogiques et organiques sont responsables, pour une part importante, de la réflectance des sols, surtout dans les domaines spectraux où ces composants présentent des événements bien définis.

Comme les valeurs enregistrées par les satellites reproduisent avec fidélité les réflectances des objets (MARSH et LYON, 1980, RICHARDSON et al. 1980), les études spectrométriques au laboratoire et sur le terrain sont importantes pour la définition des limites de discrimination des cibles par les capteurs existants et la définition des fenêtres spectrales pour les futurs capteurs programmables.

Sur cette base on a conduit une recherche pour identifier les possibilités de discrimination des oxisols brésiliens, en utilisant des images satellitaires.

Parmi les critères pédologiques utilisés pour la discrimination des différentes classes d'oxisols, la granulométrie et surtout la minéralogie, ou les caractéristiques morphologiques qui en découlent comme par exemple la couleur, sont parmi les plus importantes (CAMARGO et al. 1987). La kaolinite, la gibbsite, la goëthite et l'hématite représentent en général plus de 95% des composants du plasma. Le quartz est le composant qui normalement domine le squelette. D'autres oxydes métalliques, principalement de fer et de titane comme la magnétite et l'ilménite, sont aussi présents. Dans le cas d'oxisols formés sur roches basiques ces composants peuvent atteindre des teneurs considérables.

Pour étudier les possibilités d'identifier la variabilité de ces constituants dans les sols à l'aide des méthodes radiométriques, on a utilisé la démarche suivante:

¹ EMBRAPA-CPAC (Brasilia) et CENTRE, ORSTOM. 72, Route d'Aulnay. 93140. Bondy.

² Unité Télédétection, ORSTOM. 72, Route d'Aulnay. 93140. Bondy.

³ Laboratoire de Minéralogie-Cristallographie de Paris. Tour 16, 4 Place Jussieu, 75252 Paris.

1 - ETUDE DES RELATIONS QUANTITATIVES ENTRE:

• *Les constituants:* oxydes de fer (goëthite et hématite), kaolinite et gibbsite.

• *Et les paramètres extraits des spectres de réflectance diffuse* obtenus en laboratoire (spectrophotomètre CARY 2300) pour 56 échantillons de sol couvrant une partie importante de la variabilité minéralogique des oxisols brésiliens. Les conditions de laboratoire ont permis d'éviter les effets d'autres facteurs normalement incontournables en radiométrie de terrain ou sur images (états de surface, humidité, éclairement, etc.).

2 - ELABORATION DE MODELES:

Elaboration des modèles réflectance diffuse/constituants, sur la base des relations quantitatives ainsi obtenues, pour estimer la composition minéralogique des sols à partir des seules valeurs de réflectance correspondant aux bandes du capteur TM;

3 - APPLICATION DES MODELES

Application des modèles à des données TM et validation des résultats par des observations et des mesures (terrain et laboratoire).

I - LES OXYDES DE FER

Pour les oxydes de fer on a exploité les caractéristiques de couleur de la goëthite et de l'hématite déterminées par les absorptions intra-atomiques dues au champ cristallin créée par les liaisons $Fe^{3+} - O_2^-$ et situées dans le domaine du visible (HUNT et al 1971, SHERMAN et WAITE 1985).

Les teneurs en hématite ont été estimées à partir des paramètres colorimétriques CIE ou Munsell (TORRENT et al, 1983) et par des méthodes minéralogiques et chimiques (MADEIRA, à paraître)

En utilisant les paramètres colorimétriques de Helmholtz (CERVELLE et al, 1977) et les réflectances correspondant aux bandes spectrales du capteur TM on a pu développer des indices, qui présentent une précision comparable aux indices de TORRENT, pour l'estimation des teneurs en hématite des sols.

Ces indices sont définis par les équations suivantes:

$$IR(HELM) = \frac{(\lambda_d - 580) * Pe\%}{(\gamma\%)^2}$$

ou:

IR(HELM) = Indice de rougeur calculé avec les coordonnées chromatiques de Helmholtz

λ_d = longueur d'onde dominante

Pe% = Pureté d'excitation

Y% = Luminance

et,

$$IR(TMS) = \frac{TMS3^2}{TMS1 * TMS2^3}$$

ou:

IR(TMS) = Indice de rougeur TM Simulé, calculé à partir des valeurs de réflectance diffuse correspondant aux bandes spectrales du satellite TM;

TMS1, TMS2, et TMS3 = réflectance diffuse correspondant aux bandes spectrales TM1, TM2, et TM3 calculées à partir des courbes de réflectance des échantillons de sols et des fonctions de sensibilité du capteur TM (MARKHAM et BAKER, 1985)

L'indice de rougeur IR(TM) calculé à partir des données TM pour une scène de la région de Brasília s'avère bien corrélé à l'indice de rougeur calculé avec la couleur Munsell mesuré au terrain.

Ces résultats indiquent la possibilité d'utiliser les données TM pour des estimations de teneurs en hématite des sols tels que ceux considérés dans ce travail.(oxisols).

Par ailleurs la longueur d'onde dominante présente une forte corrélation avec les rapports $\frac{\text{Hématite}}{\text{Hématite} + \text{Goéthite}}$

II - LA KAOLINITE ET LA GIBBSITE.

Pour la kaolinite et la gibbsite on s'est intéressé aux absorptions, dues aux vibrations harmoniques des oxhydroyles structuraux (OH), qui déterminent des événements décelables vers 2000 à 2400 nm dans les spectres de réflectance de ces minéraux (HUNT et SALISBURY,1970; HUNT et al,1971).

Le rapport des intensités d'absorption de la kaolinite et de la gibbsite, centrées respectivement à 2205 nm et à 2265 nm et mesurées sur les spectres de réflectance diffuse, est corrélé au rapport $\frac{[\text{kaol}]}{[\text{kaol}] + [\text{gib}]}$

ou:

[kaol] et [gib] = teneurs en kaolinite et gibbsite dans la terre fine.

Ce rapport minéralogique est indicateur du degré de ferrallitisation des sols.

La résolution spectrale des bandes TM ne permet pas de mettre en évidence de telles relations quantitatives puisque ces événements spectraux se situent dans une même bande du capteur (TM7).

Par contre, et compte tenu du fait qu'il n'y a pas pour ces sols d'évènement dans le domaine spectral du canal TM5, un modèle linéaire a été trouvé entre la somme des teneurs en kaolinite et gibbsite et le rapport $\frac{TMS5-TMS7}{TMS5+TMS7}$

ou $TMS5$ et $TMS7$ = réflectance diffuse correspondant aux bandes TM5 et TM7.

Implications sur la texture.

La fraction argileuse des sols étudiés étant dominée par la kaolinite et la gibbsite (en général 80 à 98%), le rapport $\frac{TMS5-TMS7}{TMS5+TMS7}$ pourrait donc discriminer les sols argileux des sols sableux.

Cette relation a été confirmée avec des données TM de la région de Brasilia. On constate en effet une étroite corrélation entre les valeurs de l'indice radiométrique calculé à partir des canaux TM5 et TM7 et le pourcentage d'argile. La carte obtenue en appliquant ce modèle est en étroite concordance avec la carte pédologique existante (BRASIL 1977).

CONCLUSION.

Les néo-canaux proposés permettent l'utilisation des données TM pour la cartographie pédologique des couvertures ferrallitiques. La possibilité d'estimer les teneurs en hématite, le rapport $\frac{Hm}{Hm+Gt}$ et la granulométrie avec ces néo-canaux rend compte de quelques unes des variations les plus importantes dans ces sols.

Les erreurs induites par leur utilisation pour l'estimation des teneurs en hématite et des classes granulométriques sont de différentes origines (MADEIRA à paraître):

- Les teneurs élevées en matière organique des horizons de surface: on vérifié ainsi que les coefficients des modèles linéaires obtenus sont significativement différents pour des échantillons provenant des horizons de surface (teneur en C.O. moyen de 1,88%, écart type de 0,61%) et pour des horizons de profondeur (teneur en C.O. moyen de 0,68%, écart type de 0,36%). Dans les zones où les horizons de surface présentent une gamme très variable de teneurs en matière organique l'utilisation de ces indices peut conduire à des estimations erronées. C'est le cas notamment des zones fortement érodées où les horizons humifères de surface ont été éliminés et des zones où les conditions microclimatiques favorisent l'accumulation de matière organique (sols hydromorphes).

- La présence de substances fortement absorbantes en énergie comme la magnétite et l'ilménite: dans les sols développés sur roches ferromagnésiennes, elles peuvent être en quantités importantes et, au dessus d'un seuil que l'on n'a pu

encore déterminer, l'opacité de ces minéraux dans le domaine spectral des bandes TM (STRENS et WOOD, 1979) est telle qu'elle interfère dans les relations présentées ici. Cependant les sols riches en minéraux opaques présentent des spectres de réflectance très caractéristiques qu'il est facile d'isoler avant d'appliquer les modèles développés pour les roches acides

- les états de surface très différents: des travaux précédents (MADEIRA, 1988, BEDIDI et al. 1991, COURAULT 1989) montrent les effets des états de surface sur la réflectance (rugosité, humidité, végétation, etc.). L'ampleur de ces effets sur ces indices restent à vérifier et préciser.
- les facteurs atmosphériques et topographiques: ils influencent la luminance des surfaces (DESCHAMPS et al., 1981, OTTERMAN et al. 1980, HOLBEN et JUSTICE, 1980) et affectent vraisemblablement la précision de ces indices. Des études spécifiques doivent être conduites pour pouvoir cerner leurs effets.

BIBLIOGRAPHIE

- BARRON V., TORRENT J., 1986. Use of the Kubelka-Munk theory to study the influence of iron oxides on soil color. *J. Soil Sc.*; 37: 449-510.
- BEDIDI A., CERVELLE B., MADEIRA J., POUGET M., 1991. Relation entre la courbe de rétraction hydrique des sols latéritiques et leurs caractéristiques spectrales (VIS). *In: Unité de Télédétection, LIA, ORSTOM. Deuxième Journées de Télédétection. Caractérisation et suivi des milieux terrestres en régions arides et tropicales; 4-6/12/1990; BONDY.*
- CAMARGO M., KLANT E., KAUFFMAN J. H., 1987 Sistema Brasileiro de classificação de solos. *B. Inf., Soc. Bras. Ci. Solo*; 12(1): 11-33.
- CERVELLE B., MALEZIEUX J. M., CAYE R., 1977. Expression quantitative de la couleur, liée au spectre de réflectance diffuse, de quelques roches et minéraux. *Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr.* 100:185-191.
- COURAULT D., 1989. Etude de la dégradation des états de surface du sol par télédétection. Analyses spectrales, spatiales et diachroniques. Paris: Institute National Agronomique Paris-Grignon; 3/10/1989. 239 p.
- DESCHAMPS P. Y., HERMAN M., TAMRE D., 1981. Influence de l'atmosphère en télédétection des ressources terrestres. Modélisation et possibilité de correction. *In: Signature Spectrale des Objets en Télédétection; 8-11 Sept. 1981; Avignon; 543-558.*
- EMBRAPA, 1978. Levantamento de Reconhecimento de solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro: EMBRAPA.
- HOLBEN B. N., JUSTICE C. O. 1980. The topographic effect on spectral response from nadir pointing sensors. *Photogram. Eng. Rem. Sens.*; 46(9): 1161-1199.
- HUNT G. R., SALISBURY J. W. 1970. Visible and infrared spectra of minerals and rocks: I Silicate minerals. *Modern Geology*; 1: 283-300.

- HUNT G. R., SALISBURY J. W., LENHOFF C. J. 1971. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: III. Oxides and hydroxides. *Modern Geology*; 2: 195-205.
- MADEIRA J. S., 1990. Caracteristiques spectrales d'une pédosequence en région tropicale (Plateau Central Brésilien). In: Unité Télédétection, LIA, ORSTOM. Journées Télédétection. Images Satellite et Milieux Terrestres en Régions Arides et Tropicales; 14-17/11/ 1988; Bondy. ORSTOM. 89-101. 330 pp.
- MADEIRA J. S., à paraître. Utilisation des images satellitaires TM à l'analyse d'une couverture pédologique. Cas des paysages cultivés dans les cerrados de la région de Brasilia. Paris: Université Paris 6.
- MARKHAM B. L., BARKER J. L., 1985. Spectral characterization of LANDSAT Thematic Mapper sensors. *Int. J. Remote Sensing*; 6(4-5): 697-716.
- MARSH S.E., LYON R. J. P., 1980. Quantitative relationships of near-infrared spectra to Landsat radiometric data. *Remote Sensing of Environment*; 10: 241-261.
- OTTERMAN J., UNGAR S., KAUFMAN Y., PODOLAK M., 1980. Atmospheric effects on radiometric imaging from satellites under low optical thickness conditions. *Remote Sens. Envir.*; 9: 115-129.
- RICHARDSON A. J., SCOBAR D. E., GAUSMAN H. W., EVERITT J. H., 1980. Comparison of LANDSAT-2 and field spectrometer reflectance signatures of South Texas Rangeland plant communities. In: *Machine Processing of Remotely Sensed Data*: 88-97.
- SHERMAN D. M., WAITE T. D., 1985. Electronic spectra of Fe³⁺ oxides and oxides-hydroxides in the near IR to near UV. *American Mineralogist.*; 70.
- STRENS R. G. J., WOOD B. J., 1979. Diffuse reflectance spectra and optical properties of some iron and titanium oxides and oxyhydroxides. *Mineralogical Magazine*; 43: 347-354.
- TORRENT J., SCHWERTMANN U., FETCHER H., ALFEREZ F., 1983. Quantitative relationships between soil color and hematite content. *Soil Sc.*; 136: 354-358.

REMARQUE:

Le texte présenté ici n'est qu'un résumé. Ce travail fait partie intégrante du travail de thèse de l'auteur principal José MADEIRA (soutenance prévue en septembre 1991).