



Agricultural
University
Wageningen



Netherlands
Soil Survey
Institute



International Institute
for Aerospace Survey
and Earth Sciences



4TH SYMPOSIUM OF ISSS WORKING GROUP REMOTE SENSING FOR SOIL SURVEY
4IEME SYMPOSIUM DE L'AISS GROUPE DE TRAVAIL PEDOLOGIE ET TELEDETECTION

IAC, Wageningen and ITC, Enschede
4-8 March 1985

**LUMINANCE SPECTRALE
ET CARACTERES DE LA SURFACE DES SOLS
EN REGION ARIDE MEDITERRANEENNE
(SUD TUNISIEN)**

par R.ESCADAFAL¹ et M.POUGET²

¹ Mission Orstom, BP 94, 6018 GABES, Tunisie.

² Atelier de Télédétection Orstom, 74, route d'Aulnay - 93140 BONDY, France.

**LUMINANCE SPECTRALE
ET CARACTERES DE LA SURFACE DES SOLS
EN REGION ARIDE MEDITERRANEENNE
(SUD TUNISIEN)**

par R. ESCADAFAL¹ et M. POUGET²

INTRODUCTION

Dès l'apparition des satellites d'observation de la terre, l'utilisation de la télédétection spatiale pour l'étude des zones arides a été facilitée par la plus grande abondance des enregistrements sur ces régions rarement couvertes de nuages. Elle s'est rapidement développée car cette technique répond à un réel besoin dans des milieux où la cartographie topographique et/ou thématique est généralement peu avancée surtout dans les pays en développement.

Ainsi les travaux d'inventaire des ressources géologiques et minières, mais aussi biologiques, se sont multipliés. Pour ces dernières, les données MSS Landsat semblent bien adaptées à la caractérisation des écosystèmes arides et semi-arides notamment au suivi des parcours grâce à l'aspect multitemporel. En fait, les travaux de LONG et al. (1978) en Tunisie présaharienne et GENTLE et GRAETZ (1982) en Australie? parmi d'autres, ont montré que la caractérisation radiométrique de la végétation est fortement gênée par le "bruit de fond" dû aux sols dès que le recouvrement du couvert végétal devient inférieur à 30% environ. Dans le meilleur des cas cette caractérisation n'est possible qu'à l'intérieur de systèmes sols-végétation définis sur le terrain et nécessite donc une stratification du paysage en autant de systèmes (Mc. DANIEL et HAAS, 1983).

De plus, la détection de la végétation par le classique rapport visible/infrarouge n'est pas applicable aux régions arides (REBEL, 1982) car les plantes steppiques ne sont généralement pas vertes.

Inversement, si de nombreuses mesures en laboratoire sur échantillons remaniés ont montré que certaines propriétés des sols sont corrélées avec la réflectance (STONER et BAUMGARDNER, 1981), la correspondance entre carte pédologique de sols en place sous parcours et données Landsat n'est pas facile à établir (KORNBLAU et CIPRA, 1983).

En résumé, la luminance spectrale mesurée par MSS Landsat intègre des informations, à priori peu discernables, sur la végétation et sur les sols; elle dépend de l'état de la surface des sols, au sens large, au moment de l'enregistrement de l'image.

¹ Mission Orstom, BP 94, 6018 GABES, Tunisie.

² Atelier de Télédétection Orstom, 74, route d'Aulnay - 93140 BONDY, France.

et grès quartzeux peu consolidés). Les roches dures forment les djebels, reliefs tabulaires interrompus par des corniches; à leur piémont s'étendent des collines, correspondant aux roches plus tendres, et surtout des glacis polyphasés, des cônes de déjection coalescents, et des formations alluviales diverses (zones d'épandage, terrasses, etc...). Les dépressions, souvent endoréiques, sont occupées par des sebkhas plus ou moins ensablées.

Les sols très marqués par les pédogenèses anciennes et la nature des matériaux, sont en relation étroite avec les unités géomorphologiques. Citons les plus typiques : sols à dalle et/ou croûte calcaire des collines et des glacis du quaternaire ancien à moyen, sols à croûte gypseuse affleurante sur les marnes et les gypses massifs, sols profonds de type sierozems sur les glacis et les terrasses du quaternaire récent, sols salsodiques dans les dépressions mal drainées, etc...

La végétation naturelle est composée d'une steppe pérenne à chamaephytes, végétaux lignifiés le plus souvent **non verts**. Elle est très peu dense (recouvrement de l'ordre de 5 à 15% en moyenne). Localement, le couvert végétal peut être plus dense (>20 - 30%) : steppes d'halophytes dans les zones humides et salées, steppes à chamaephytes dans les zones de mise en défens ou peu paturées, steppes graminéennes (*Aristida pungens*) fixant certaines formations éoliennes sableuses, etc...). Lors des épisodes pluvieux, sur certains sols dont la surface permet la germination des graines et le développement des plantules, une végétation annuelle se développe rapidement après les pluies; ce tapis de végétation active disparaît ensuite en quelques semaines.

L'utilisation de ce milieu est essentiellement pastorale à l'exception de quelques petites zones qui, naturellement ou par aménagement, permettent la collecte des eaux de ruissellement : système de "Jessours" dans les zones de piémont (oliviers, palmiers, céréales), champs de céréales dans les petites dépressions circulaires (garaet ou dayas) et dans les zones d'épandage.

En définitive, ces paysages arides se caractérisent par une steppe très ouverte et une faible occupation humaine, ce qui se traduit par une physionomie relativement stable à l'échelle pluriannuelle.

MATERIELS ET METHODES

La zone étudiée se situe dans la scène Landsat 205-37 (fig. 1). Parmi les images disponibles nous avons retenu celles du 29 septembre 1978 et du 4 avril 1981 pour leur qualité (absence de nuages ou de brume sèche). Dans les deux cas, les sols sont à l'état sec et éclairés par le soleil selon un angle sensiblement voisin (45 à 50°), l'image de printemps devant nous permettre de détecter les cultures annuelles.

A partir des négatifs au 1/1 000 000 nous avons utilisé des agrandissements photographiques (compositions colorées sur film diazoïque) au 1/500 000 et au 1/100 000 superposables aux cartes topographiques disponibles pour réaliser un zonage en unités de paysage dans la phase de préparation de l'étude de terrain et de stratification de l'échantillonnage des points d'observation.

Observations de terrain

Dans les projets de télédétection les données de terrain ne sont pas toujours à la hauteur de la sophistication des traitements des données image et leur absence ou leur mauvaise qualité a souvent conduit à de graves erreurs d'interprétation.

Deux points nous ont parus essentiels : la précision du repérage et l'adaptation des observations à la problématique de la télédétection.

Le **repérage** sur le terrain a été fait à partir de cartes et de photos aériennes, celles-ci étant anciennes et insuffisantes il a été précisé par des relevés à la boussole donnant par triangulation une précision de ± 100 m environ. Par le calcul des équations de changement de repère entre coordonnées géographiques et coordonnées des lignes et colonnes des images, la correspondance entre les différents documents photographiques, les pointages sur cartes et les extraits d'images sous différentes formes (tracés à l'imprimante rapide) a pu être établie à tout moment à quelques pixels près. Ceci a permis un travail en aller-retour entre le terrain et les données Landsat tout au long des différentes étapes de l'étude.

Les **observations adaptées** ont comporté l'étude classique des coupes, fosses et sondages pédologiques, complétée par une caractérisation de la surface des sols et de la végétation selon une méthode originale (ESCADAFAL, 1981), et ce à trois niveaux :

1. **Niveau du mètre carré** : description de chacun des différents composants simples de la surface tels que microdunes, pavages de graviers, surface nue battante, microdépression, végétation rase... Pour chacun de ces composants sont notés la couleur, la texture, le nombre et la taille des éléments grossiers, la structure, et des échantillons sont prélevés sur des placettes de 1m^2 . A partir de dénombrements sur le terrain, de tamisages au laboratoire et en tenant compte de la masse volumique et de la forme, un modèle permet de calculer l'abondance de chaque classe granulométrique, des éléments fins aux pierres, exprimée en recouvrement, c'est à dire telle qu'elle apparaît sur la surface vue à la verticale.

2. **Niveau du pixel (0,5 ha)**. La distribution relative des différents composants simples et de la végétation en touffe est mesurée le long de lignes de 20 m disposées aléatoirement. On obtient un relevé complété par des photographies prises à la verticale à partir d'une perche.

Exemple : Parcelle n° S 69 - Composition de la surface :

- . 35% de microdunes liées à la végétation constituée de sable fin (90%), de couleur 7,5 YR 6/6.
- . 60% de pavage de cailloux (30%) et pierres (15%) de forme aplatie, de couleur 7,5 YR 7/5.
- . 5% de touffes d'*Arthrophytum scoparium* état sec, diamètre moyen 30 cm, hauteur moyenne 20 cm.

On peut en déduire une composition moyenne de la surface en sable, cailloux, etc... et même une couleur moyenne, pour raisonner au niveau du pixel.

3. Niveau de l'unité de paysage (km²). Par analyse des photographies aériennes, de prises de vues spéciales à basse altitude et de contrôles de terrain, l'extension latérale de l'organisation des parcelles étudiées est vérifiée et des zones de types de surface semblables sont délimitées.

Grâce à cette démarche rigoureuse multiniveaux, nous avons pu caractériser les différents milieux échantillonnés, à la fois du point de vue du pédologue et du point de vue du satellite.

Les traitements numériques des données Landsat

Ils ont été préparés par une étude des données sous forme photographique (ESCADAFAL et HAMZA, 1982) et réalisés en deux phases :

- Analyse sur extraits d'image (fenêtres) de 256x256 pixels enregistrés sur disquettes, en utilisant le système Pericolor 1000 (NUMELEC) permettant un traitement d'image interactif et autonome. Dans ces fenêtres choisies pour contenir le maximum de zones test étudiées au sol, les signatures spectrales de différents types de surface ont été définies par seuillages des quatre canaux. Il a été aussi possible de repérer la position de ces types de surface sur l'histogramme bidimensionnel (MSS4 - MSS5, MSS5 - MSS7, etc...). Les comparaisons entre les deux dates ont été ensuite faites en recalant les fenêtres deux à deux : rectifications géométriques (logiciel Pericolor-Spot) et transformations de l'échelle des radiométries des canaux en fonction de la moyenne et de l'écart-type d'un canal pris comme référence (programme RECVAR développé par C.MERING à l'ATOB). Ceci a notamment permis la comparaison des histogrammes bidimensionnels MSS4 - MSS5.

- Généralisation des seuillages par classification multispectrale et extrapolation à l'ensemble de la zone de Tataouine en utilisant les programmes implantés sur Mini 6 (CII). Restitution de documents en couleurs de qualité cartographique avec un table traçante Benson.

RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse radiométrique a montré que les canaux 5, 6 et 7 sont fortement corrélés entre eux. La corrélation entre 5 et 7 est en particulier très élevée ($r=0,95$) cela s'explique par le très faible pourcentage de végétation verte active. Par contre la corrélation entre 4 et 5 est plus faible ($r=0,82$). En utilisant ces deux canaux on a pu distinguer 16 types de surface par une classification d'une partie de l'image du 4 avril 1981. Le tableau 1 précise la définition de chaque type de surface et la figure 2 leur position dans le plan des canaux 4 et 5. On remarque aux extrêmes de cet histogramme, d'une part les surfaces à l'ombre, d'autre part les surfaces très brillantes (dunes, efflorescences salines...).

Tableau 1 : Les 16 types de surface
et leur situation géomorphologique

| N° | ETATS DE SURFACE | | UNITES GEOMORPHOLOGIQUES |
|----|---|---|---|
| 1 | Surfaces à l'ombre | | Djebels à pente forte à moyenne(exposition N-O) |
| 2 | Surfaces pierreuses | | Djebels à pente forte |
| 3 | Surfaces pierreuses | | Djebels à pente moyenne |
| | Vegetation dense:steppes à <i>Aristida pungens</i> | | Champs de nebkhas sur terrasses et zones d'épandages |
| 4 | Surfaces pierreuses | | Collines à roches calcaires plus ou moins encroûtées |
| 5 | Surfaces pierreuses et caillouteuses | | Collines à roches calcaires plus ou moins encroûtées; amont de glacis |
| | Végétation dense d'Halophytes | | Sebkhas humides |
| 6 | Surfaces caillouteuses | | Collines et glacis à dalle et/ou croûte calcaire |
| 7 | Voile de sable éolien | | Collines et glacis à dalle et/ou croûte calcaire,glacis sableux ou limoneux |
| 8 | Voile de sable éolien et micronebkhas | | Glacis à dalle et/ou croûte calcaire, glacis sableux ou limoneux, zones d'épandages,terrasses et lits d'oueds |
| 9 | Surfaces limoneuses à graviers et sables grossiers (zone Ouest) | | Glacis sableux ou limoneux |
| | Roches et croûtes gypseuses affleurantes avec recouvrement limoneux discontinu (zone Est) | | Collines et glacis gypseux |
| 10 | Surfaces limoneuses battantes (zone Ouest) | | Glacis limoneux, zones d'épandage |
| | Roches et croûtes gypseuses affleurantes avec recouvrement limoneux discontinu (zone Est) | | Glacis gypseux, terrasses anciennes gypseuses (oued Ferch) |
| 11 | Voile sableux éolien et sables grossiers | | Terrasses anciennes (oued Dekouk) |
| 12 | Sable fin éolien | | Champs de microdunes et de dunes vives |
| 13 | Surfaces claires | Graviers et sables grossiers (zone Ouest) | Zones d'épandage |
| | | Roches et croûtes gypseuses affleurantes (zone Est) | Glacis gypseux, sebkhas asséchées |
| 14 | Surfaces très claires | Sable éolien | Champs de dunes |
| | | Croûtes gypseuses affleurantes localement ensablées | Glacis gypseux, terrasses anciennes, sebkhas asséchées |
| 15 | Zones de réflexion spéculaire | | Falaises (exposition S-E), flancs des dunes faisant face au soleil |
| 16 | Surfaces "brillantes": efflorescences salines | | Sebkhas asséchées sans végétation |

La **brillance des sols** dépend de l'ombre créée par la **rugosité** comme cela a été souligné pour les sols cultivés par GIRARD (1983). Ici l'ombre est due à la fois aux éléments grossiers et à la végétation steppique. L'effet de chacun de ces composants sur la réflectance des milieux arides a été mentionné par SPIRIDINOV et al. (1981) et HORWATH (1981) pour les éléments grossiers, GENTLE et GRAETZ (op. cité) pour la végétation en touffes. Dans le cas de la zone de Tataouine les deux effets sont cumulés, il ne semble donc pas possible de mesurer le couvert végétal par les différences d'ombre portée entre enregistrement pris avec des déclinaisons solaires différentes (COLWELL, 1981; OTTERMAN, 1981). Par ailleurs, ces méthodes supposent des fluctuations saisonnières de couvert négligeables, ce qui n'est généralement pas le cas.

Les variations du **rapport 4/5** dépendent de la **saturation** de la couleur des surfaces (chroma du code Munsell). Plus la saturation est forte plus le rapport 4/5 est faible, la teinte variant peu dans la zone étudiée. Ces observations sont corroborées par les mesures sur échantillons au laboratoire, DA COSTA (1980) a mis en évidence une corrélation multiple entre la saturation et les canaux 4 et 5, avec un terme négatif pour le 4 et positif pour le 5. Ceci signifie qu'une surface peu colorée (grise ou "pâle") réfléchit de façon comparable la lumière dans les deux canaux MSS visibles; un déséquilibre en faveur du 5 correspond au contraire à une absorption préférentielle dans le vert et le jaune (canal 4), donc à une couleur rougeâtre.

Ces relations entre variables de la surface, et luminances spectrales ont été vérifiées sur l'image du 29 septembre 1978 où l'on obtient le même type de distribution des surfaces sur l'histogramme bidimensionnel¹.

Le seuillage des canaux 4 et 5 tel qu'il apparaît sur l'histogramme a été complété par l'utilisation du canal 7 (pour discriminer les petites plages de végétation verte active) dans une classification de type hypercube concernant l'ensemble de la zone de Tataouine. Cette phase de généralisation s'est concrétisée par le traçage de la carte infographique des états de surface au 1/100 000.

Les vérifications de terrain ont montré que les 16 classes sont effectivement extrapolables en gardant à l'esprit qu'elles traduisent la rugosité et la coloration. La texture et la couleur étant très liées dans ce milieu on distingue ainsi aisément les surfaces limoneuses des surfaces sableuses par exemple.

Cependant, il s'est avéré que des milieux différents peuvent présenter des surfaces se comportant globalement de la même façon du point de vue radiométrique, en particulier dans le cas d'hétérogénéité de taille inférieure à celle du pixel (cf. tableau 1 : Types de surface 9 et 10 par exemple).

La seule signature spectrale ne suffit donc pas à identifier tous les types de surfaces de façon non équivoque et a fortiori les types de sols; la carte des états de surface paraît donc être un document tout à fait

¹ Avec l'image du 26-12-75, on obtient sensiblement les mêmes résultats.

insuffisant. En fait cette carte contient comme les autres documents de télédétection des informations sur la texture et la forme des différentes surfaces. Ainsi, par une interprétation visuelle basée sur l'analyse de la forme, de la structure, et du contexte, nous avons discriminé des unités de même signature spectrale dominante. Des méthodes numériques d'analyse de la texture, pourraient être utilisées (ROGALA, 1982), comme elles l'ont déjà été pour la cartographie géomorphologique de zones arides (SHIH et SCHOWENGERDT, 1983).

Enfin et surtout, la démarche inférente du pédologue permet de pousser l'interprétation plus loin en intégrant les données de terrain, la morphologie, et la géologie pour aboutir à une compréhension de la structure du paysage et à un découpage en unités morphopédologiques (POUGET et al. 1984). D'une manière plus générale l'intérêt de combiner des informations de plusieurs types avec les données de télédétection pour cartographier les potentialités de milieux arides a été souligné par MOUAT (1981).

CONCLUSION

Utilisant une méthode originale, nous avons collecté des données de terrain précises, comprenant la description de la couverture pédologique (étude de fosses, sondages), et la description de la surface des sols et de la végétation. Un ensemble de zones-test représentatives a ainsi été caractérisé à la fois du point de vue du pédologue et du point de vue du satellite.

Par un traitement interactif des images Landsat, l'analyse radiométrique des zones test a permis de préciser les limites entre classes à l'écran et sur le terrain. Cette approche est diamétralement opposée aux traitements non supervisés car elle entièrement contrôlée par le spécialiste de terrain (DOSSO et al., 1984).

Nous avons mis en évidence l'intérêt des canaux MSS 4 et 5 pour caractériser les surfaces d'après leur rugosité et leur couleur (saturation Munsell). Ainsi les deux canaux visibles S1 et S2 du satellite SPOT, dont on a reproché la redondance dans les résultats des simulations sur l'Europe (REINIGER, 1984) paraissent ici parfaitement justifiés. Ces résultats ont été vérifiés à deux dates et d'après la littérature citée ils semblent devoir s'appliquer à la plupart des zones arides à végétation peu dense. Ils permettent d'envisager un suivi de cette végétation par traitement multitemporel recalé sur des objets du sol invariants.

Par classification multispectrale de l'image du 4 avril 1981 nous avons obtenu une carte infographique représentant 16 états de surface dans la zone de Tataouine. L'analyse texturale de cette carte et l'intégration de données annexes (topographie, géologie...) a permis de tracer une carte des unités morphopédologiques.

Caractérisant l'interface sol-atmosphère, la carte des états de surface n'est cependant pas utile au seul pédologue, d'autres documents peuvent en être dérivés par différents spécialistes connaissant le milieu : esquisse, géomorphologique, zonage écologique, carte de sensibilité à la désertisation, par exemple.

ABSTRACT

The present study which is based on accurate and suitable field observations, collected in the Tataouine area, shows that the spectral brightness measured by MSS 4 et MSS 5 allows us to discriminate different environments in relation to the roughness and the colour of soil surface.

Roughness which includes the amount of coarse elements and the abundance of nongreen steppe vegetation is correlated with the soil background line.

The ratio 4/5 is highly correlated with the saturation (chroma) of the colour.

On the basis of these results a computurized map, showing 16 types of soil surface conditions, was drawn up using a multispectral classification of the 4.4.81 view. An exemple of the interpretation of this map is given in order to study the arid ecosystems, mainly from a pedological point of view.

RESUME

Basé sur des données de terrain précises et adaptées, collectées dans la région de Tataouine, ce travail montre que la luminance spectrale mesurée par les canaux MSS 4 et MSS 5 permet de discriminer différents milieux par la rugosité et la couleur de la surface des sols.

La rugosité, intégrant l'abondance des éléments grossiers et de la végétation steppique, est corrélée avec la droite de brillance des sols. La couleur intervient par la saturation sur le rapport 4/5.

Utilisant ces résultats, une carte infographique représentant 16 états de surface différents a été obtenue par classification multispectrale de l'image du 4.4.81. Une illustration de l'interprétation de ce type de carte pour l'étude des écosystèmes arides est présentée, en particulier sous l'aspect pédologique.

BIBLIOGRAPHIE

- Colwell, J.E., 1981. Landsat feature enhancement, can we separate vegetation from soil. Proc. Fifteenth Int. Symp. Rear. Serv. Env., ERIM, Ann Arbor, Michigan.
- Da Costa, L.M., 1980. Surface soil color and reflectance as related to physico-chemical and mineralogical soil properties. Th. Ph. D., Univ. Miss. Columbia, 1979, 8024350.
- Dosso, M., Kilian, J. et Savary, G., 1983. Campagne de simulation des données SPOT : évaluation des sols dégradés et étude du réseau hydrographique (Bagré, Haute Volta). *L'Agronomie Tropicale*, 38, 4: 253-266.
- Escadafal, R., 1981. Une méthode nouvelle de description de la surface des sols dans les régions arides. Actes du colloque "Traitement informatique des données de sol", Paris, 14-17 septembre 1981, in *Sols n° 5 (INA P.G.)*: 21-27.
- Escadafal, R. et Hamza, A., 1982. Télédétection et cartographie des ressources en sols du Sud tunisien. Essai d'analyse des relations sol-radiométrie par densitométrie d'images Landsat. Troisième séminaire sur la télédétection des ressources terrestres, Tunis, 13-18 déc. 1982, 10 p.
- Escadafal, R., 1984. Organisation superficielle et télédétection des sols de la région de Tataouine (Sud tunisien). XV^e Congrès de la Société Internationale de Photogrammétrie et Télédétection, Rio de Janeiro, 17-29 juin 1984, 10 p.
- Girard, M.C., 1983. Télédétection de la surface du sol. Les colloques de l'INRA. Paris, 11/83.
- Graetz, R.D. and Gentle, M.R., 1982. The relationships between reflectance characteristics in the Landsat wavebands and the composition and structure of an Australian semi-arid shrub rangeland. *Photogramm. Engin. and Rem. Sens.*, 48; 11: 1721-1730.
- Horwath, E.H., 1981. Spectral properties of Arizona soils and Rangelands and their relationship to Landsat digital data. Dissertation, University of Arizona, 162 p.
- Kornblau, M.L. and Cipra, J.E., 1983. Investigation of digital Landsat data for mapping soils under range vegetation. *Remote sensing of Environment*, 13: 103-112.
- Long, G., Debussche, G., Lacaze, B., Le Floch, E., Pontanier, R., 1978. Contribution à l'analyse écologique des zones arides de Tunisie avec l'aide de données de la télédétection spatiale. Expérience ARZOTU, rapport final 1975-1978. C.E.P.E. Louis Emberger, INRA Tunisie, ORSTOM, CNES Montpellier, 220 p.

- McDaniel, K.C. and Haas, R.H., 1982. Assessing mesquite grass vegetation condition from Landsat. *Photogramm. Engin. and Rem. Sens.*, 48, 3: 441-450.
- Mouat, D., Bale, A., Foster, K.E. and Treadwell, B.D., 1981. The use of remote sensing for an integrated inventory of a semi-arid area. *Journal of Arid Environments*, 4:2 : 169-179.
- Otterman, J., 1981. Reflection from soil with sparse vegetation. *Adv. Space Res.*, 1, 10 : 115-119.
- Pouget, M., Lortic, B., Souissi, A., Escadafal, R., Mtimet, A., 1984. Contribution of Landsat data to mapping of land resources in arid regions ("Tataouine" and "Zarzis" sheets of 1/200 000 soil map of Tunisia). Eighteenth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Paris, France, october 1-5, 1984, 9 p.
- Rebel, D.L., 1982. Vegetation classification in arid environments : an alternative approach. *Proc. Int. Symp. Rem. Sens. Env.*, Le Caire, janvier 1982: 533-537.
- Reiniger, P. (ed), 1984. Spot Simulation Europe 82, Final Report. CEC Joint Research Center, Ispra (Italy), 257 p.
- Rogala, J.P., 1982. Approche numérique de l'espace agricole. Analyse de l'hétérogénéité et de la structure des unités cartographiques. Thèse ingénieur-docteur INA P.G., 224 p.
- Richardson, A.J. and Weigand, C.L., 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogramm. Engin. and Rem. Sens.*, 43: 1541-1552.
- Shih, E.H.H. and Schowengerdt, R.A., 1983. Classification of arid geomorphic surfaces using Landsat spectral and textural features. *Photogramm. Engin. and Rem. Sens.*, 49, 3: 337-347.
- Spiridinov, H., Kuncheva, R. and Misheva, E., 1981. Results and conclusions from soil and vegetation reflection coefficient measurements. *Adv. Space Res.*, 1, n° 10: 111-114.
- Stoner, E.R. and Baumgardner, M.F., 1981. Characteristic variations in reflectance of surface soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 6: 1161-1165.