

# Luminance spectrale et caractères de la surface des sols en région aride méditerranéenne (sud Tunisien)

Richard Escadafal\* et Marcel Pouget\*\*

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire  
N° : 23469, ex 1

Cpte : B

20.III.1987

## Spectral brightness and surface soil characteristics in an arid Mediterranean region (southern Tunisia)

### ABSTRACT

In arid regions, green vegetation and soil moisture have only a very limited influence on the spectral brightness as measured by Landsat MSS, and are very localized in space and time. The results presented here concern: (1) a terrain study carried out in a soil survey allowing the detailed observation of soil surface characteristics and (2) a numerical analysis of Landsat data from September and April with equivalent clear conditions.

Sixteen soil surface types were distinguished, localized in the terrain and delineated on the Landsat images. They are characterized through numerical analysis of MSS data for spectral brightness in bands 4, 5 and 7. The relationship between brightness and surface characteristics appears clearly when analyzing the position of the 16 types in histograms of bands 4 and 5. These histograms comprise three domains: (1) The domain of the weak brightness values, where the surface types can be divided linearly as a function of decreasing roughness. Shadow phenomena play a predominant role through the presence of blocks and stones, and also patches of perennial steppe vegetation. (2) The domain of the medium brightness values, where the surface types are organized perpendicular to the longest axis as a function of their colour (chroma of the Munsell code) associated with texture. In this domain, the 4/5 ratio allows good discrimination. (3) Finally, the domain of the high brightness values corresponds to the clear surfaces: dunes, gypsic white sands, etc. It is thus possible to map, through multispectral classification of Landsat MSS data, different surface soil types through their roughness and colour. The pedologic interpretation of the "surface condition" infographic maps thus obtained makes it necessary to take into account additional data, *ie*, geology, morphology, ground-truth, etc. The possibility of distinguishing through multitemporal analysis the permanent roughness of these surfaces (caused by stoniness) and the variable roughness (associated with the vegetation) allows monitoring the non-green steppe vegetation through remote sensing, which cannot be obtained through the classical 5/7 ratio.

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* [11] en Tunisie présaharienne et Graetz et Gentle [8] 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 pourcent 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 [12].

De plus, la détection de la végétation par le classique rapport visible/infrarouge n'est pas applicable aux régions arides [16] 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 [22], la correspondance entre carte pédologique de sols en place sous parcours et données Landsat n'est pas facile à établir [10].

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.

### OBJECTIFS

Dans le cadre du programme de cartographie des ressources en sols du territoire au 1:200000e, actuellement poursuivi par les services du Ministère de l'Agriculture de Tunisie, nous avons tenté d'évaluer l'apport des données MSS Landsat pour la cartographie de la partie méridionale du pays.

En prenant pour projet pilote la réalisation de la feuille de Tataouine, nous avons cherché quelles sont les variables du milieu qui conditionnent la luminance mesurée par le satellite et quelles sont les informations d'ordre pédologique que l'on peut extraire des relations mises en évidence.

### CONTEXTE REGIONAL

La zone de Tataouine (Figure 1) se caractérise par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations ( $P < 200$  mm). Les paysages présentent le modèle typique des régions arides façonnés dans des formations sédimentaires d'âge secondaire où alternent des roches dures (calcaires et dolomites) et des roches plus tendres

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 23469, ex 1  
Cpte : B

\* Mission Orstom, BP 94, 6018 Gabes, Tunisia

\*\* Atelier de Télédétection Orstom, 74 route d'Aulnay, 93140 Bondy, France

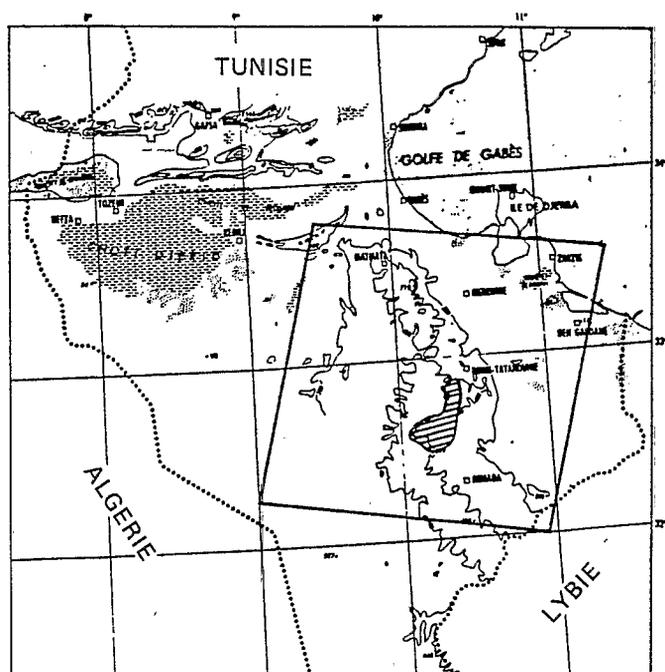


FIGURE 1 Plan de situation

(calcaires marneux, marnes gypseuses 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 siérozems sur les glacis et les terrasses du quaternaire récent, sols salso-diques 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 pourcent en moyenne). Localement, le couvert végétal peut être plus dense (> 20 - 30 pourcent): steppes d'halophytes dans les zones humides et salées, steppes à chamaephytes dans les zones de mise en défens ou peu pâturées, 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 sur des périodes pluriannuelles.

## MATERIELS ET METHODES

La zone étudiée se situe dans la scène Landsat 205-37 (Figure 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<sup>e</sup> nous avons utilisé des agrandissements photographiques (compositions colorées sur film diazoïque) au 1:500 000<sup>e</sup> et au 1:100 000<sup>e</sup> 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  $\pm 100$  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 [4], 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, etc. Pour chacun de ces composants sont notés la couleur, la textu-

re, le nombre et la taille des éléments grossiers, la structure, et des échantillons sont prélevés sur des placettes de 1 m<sup>2</sup>. 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 quelle hauteur à partir d'une perche.

Exemple: Parcelle No S 69 - Composition de la surface: (a) 35 pourcent de microdunes liées à la végétation constituée de sable fin (90 pourcent), de couleur 7,5 YR 6/6; (b) 60 pourcent de pavage de cailloux (30 pourcent) et pierres (15 pourcent) de forme aplatie, de couleur 7.5 YR 7/5; (c) 5 pourcent 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* (km<sup>2</sup>). 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 NUMERIQUES DES DONNEES 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 256 × 256 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 comportements spectraux 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 des histogrammes bidimensionnels (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, etc).

La brillance des sols dépend de l'ombre créée par la rugosité comme cela a été souligné pour les sols cultivés par Girard [7]. 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* [21] et Horwath [9] pour les éléments grossiers, Graetz et Gentle [8] 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

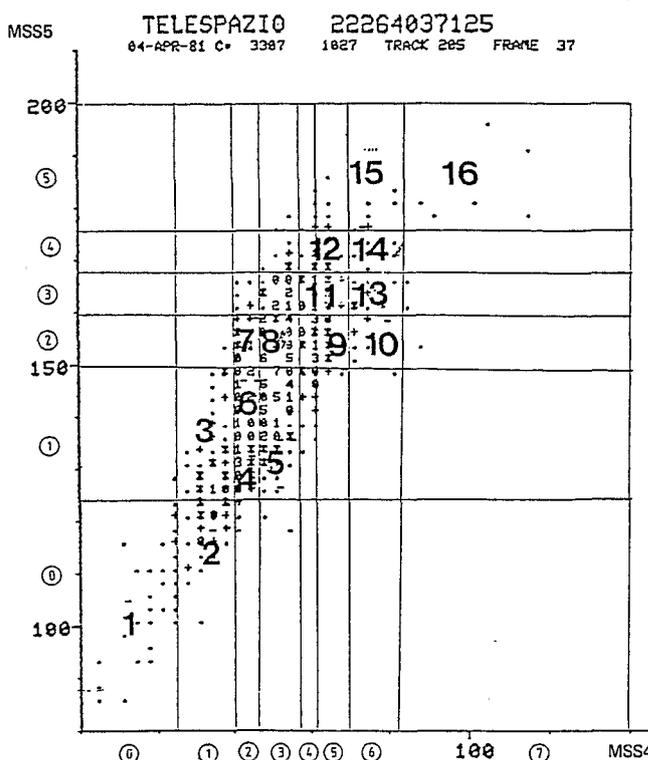


FIGURE 2 Position des 16 types de surface sur le plan des canaux MSS4 - MSS5

**TABLEAU 1** Les 16 types de surface et leur situation géomorphologique

No	Etats de surface	Unités géomorphologiques
1	Surfaces à l'ombre	Djebels à pente forte à moyenne (exposition N-O)
2	Surfaces pierreuses	Djebels à pente forte
3	Surfaces pierreuses Vegetation dense: steppes à <i>Aristida</i> <i>pungens</i>	Djebels à pente moyenne 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  Végétation dense d'Halophytes	Collines à roches calcaires plus ou moins encroûtées amont de glacis Sebkhass 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) Roches et croûtes gypseuses affleurantes avec recouvrement limoneux discontinu (zone Est)	Glacis sableux ou limoneux  Collines et glacis gypseux
10	Surfaces limoneuses battantes (zone Ouest) Roches et croûtes gypseuses affleurantes avec recouvrement limoneux discontinu (zone Est)	Glacis limoneux, zones d'épandage  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	Graviers et sables grossiers (zone Ouest) Surfaces claires	Zones d'épandage  Glacis gypseux, sebkhas asséchées
14	Surfaces très claires	Sable éolien Croûtes gypseuses affleurantes localement ensablées
15	Zones de réflexion spéculaire	Falaises (exposition S-E), flancs des dunes faisant face au soleil
16	Surfaces "brillantes": efflorescences salines	Sebkhass asséchées sans végétation

mesurer le couvert végétal par les différences d'ombre portée entre enregistrement pris avec des déclinaisons solaires différentes [1, 14]. 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 pureté de la couleur des surfaces (du code Mun-

sell). 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 [2] 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 bidimensionnel (avec l'image du 26 décembre 1975 on obtient sensiblement les mêmes résultats).

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 cubique 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 1:100000<sup>e</sup>.

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).

Le seul comportement spectral 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 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 comportement spectral dominant. Des méthodes numériques d'analyse de la texture pourraient être utilisées [18], comme elles l'ont déjà été pour la cartographie géomorphologique de zones arides [20].

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 [15]. 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 *et al* [13].

## 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 est entièrement contrôlée par le spécialiste de terrain [3].

Nous avons mis en évidence l'intérêt des canaux MSS 4 et 5 pour caractériser les surfaces d'après leur rugosité et leur couleur (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 [17] 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, etc) 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.

## BIBLIOGRAPHIE

- Colwell, J E. 1981. Landsat feature enhancement, can we separate vegetation from soil. Proc 15th Int Symp Rem Sens Env, ERIM, Ann Arbor, Michigan.
- Da Costa, L M. 1980. Surface soil color and reflectance as related to physico-chemical and mineralogical soil properties. PhD thesis, Univ Mississippi, Columbia.
- Dosso, M, J Kilian and G Savary. 1983. Campagne de simulation des données SPOT: évaluation des sols dégradés et étude du réseau hydrographique (Bagré, Haute Volta). L'Agronomie Tropicale 38, No 4, pp 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 No 5 (INA PG), pp 21-27.
- Escadafal, R and A Hamza. 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 décembre 1982, 10 pp.
- Escadafal, R. 1984. Organisation superficielle et télédétection des sols de la région de Tataouine (Sud tunisien). XV<sup>e</sup> Congrès de la Société Internationale de Photogrammétrie et Télédétection. Rio de Janeiro, 17-29 juin 1984, 10 pp.
- Girard, M C. 1983. Télédétection de la surface du sol. Les colloques de l'INRA. Paris, 11/83.
- Graetz, R D and M R Gentle. 1982. The relationships between reflectance characteristics in the Landsat wavebands and the composition and structure of an Australian semi-arid shrub rangeland. Photogramm Eng and Rem Sens, 48, No 11, pp 1721-1730.
- Horwath, E H. 1981. Spectral properties of Arizona soils and rangelands and their relationship to Landsat digital data. PhD Dissertation, Univ of Arizona, 162 pp.
- Kornblau, M L and J E Cipra. 1983. Investigation of digital Landsat data for mapping soils under range vegetation. Rem Sens of Environment 13, pp 103-112.
- Long, G, G Debussche, B Lacaze, E Le Floch and R Pontanier. 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. CEPE. Louis Emberger, INRA Tunisie, ORSTOM, CNES Montpellier, 220 pp.
- McDaniel, K C and R H Haas. 1982. Assessing mesquite grass vegetation condition from Landsat. Photogramm Eng and Rem Sens 48, No 3, pp 441-450.
- Mouat, D, A Bale, K E Foster and B D Treadwell. 1981. The use of remote sensing for an integrated inventory of a semi-arid area. Journ of Arid Environments 4, No 2, pp 169-179.
- Otterman, J. 1981. Reflection from soil with sparse vegetation. Adv Space Res 1, No 10, pp 115-119.
- Pouget, M, B Lortic, A Souissi, R Escadafal and A Mtimet. 1984. Contribution of Landsat data to mapping of land resources in arid regions ("Tataouine" and "Zarzis" sheets of 1:200000 soil map of Tunisia). 18th Internatl Symp on Rem Sens of Environment, Paris, 1-5 October 1984, 9 pp.
- Rebel, D L. 1982. Vegetation classification in arid environments: an alternative approach. Proc Int Symp Rem Sens Env, Le Caire, janvier 1982, pp 533-537.
- Reiniger, P (ed). 1984. Spot Simulation Europe 82, Final Report. CEC Joint Research Center, Ispra (Italy), 257 pp.
- 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 PG, 224 pp.
- Richardson, A J and C L Weigand. 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. Photogramm Eng and Rem Sens 43, pp 1541-1552.
- Shih, E H H, and R A Schowengerdt. 1983. Classification of arid geomorphic surfaces using Landsat spectral and textural features. Photogramm Eng and Rem Sens 49, 3, pp 337-347.
- Spiridinov, H, R Kuncheva and E Misheva. 1981. Results and conclusions from soil and vegetation reflection coefficient measurements. Adv Space Res 1, No 10, pp 111-114.
- Stoner, E R and M F Baumgardner. 1981. Characteristic variations in reflectance of surface soils. Soil Sci Soc Am J 45, 6, pp 1161-1165.

## 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 steppe, 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 4-4-1981. Une illustration de l'interprétation de ce type de carte pour l'étude des écosystèmes arides est présentée, en particulier sous l'aspect pédologique.

## RESUMEN

El estudio, basado en observaciones de campo precisas y adecuadas obtenidas en el area de Tataouine, indican que la brillantez espectral medidas por las bandas MSS 4 y 5 permiten la distincion de diferentes colores de la superficie del suelo y de su rugosidad. La rugosidad que incluye los elementos rusticos y la abundancia de vegetacion de estepas no verde, esta correlacionada con la linea de suelo. La razon de bandas 4/5 es altamente correlacionada con la saturacion (croma) del color. Sobre la base de estos resultados se elaboro un mapa computerizado que muestra 16 tipos de condiciones de suelo superficial utilizando una clasificacion multispectral.