

ORGANISATION SUPERFICIELLE ET TELEDETECTION DES SOLS
DE LA REGION DE TATAQUINE (SUD TUNISIEN)*

Richard ESCADAFAL
Mission ORSTOM, 18 av. Charles Nicolle TUNIS
TUNISIE
Commission VII|3

RESUME

Par classification multispectrale d'une image Landsat il a été possible de discriminer 11 types de surface de sol décrits et échantillonnés en détail au sol sur une zone test (région de Tataouine, Sud Tunisien). Cette classification peut être interprétée en termes de rugosité et de coloration des surfaces.

Les cartes de surface obtenues constituent une nouvelle approche des milieux naturels arides qui peut être utile à de nombreux spécialistes de l'étude de ces zones.

ABSTRACT

A multispectral classification of Landsat data is used to distinguish 11 types of soil surfaces in South Tunisia (Tataouine area). These surfaces were described and sampled on the ground using a new method. Results of Landsat classification can be interpreted in terms of surface roughness and coloration.

The derived surface maps are a new approach of the arid biomes and should be of great assistance in their study.

INTRODUCTION

OBJECTIFS

L'étude des milieux naturels arides est une tâche d'actualité dans le monde, importante par les superficies concernées et les travaux à réaliser, ces zones étant généralement mal connues. Dès le début de leur développement, les satellites d'observation de la terre sont apparus comme un outil précieux par les informations récentes et répétitives qu'ils apportent sur ces zones dont on a le plus souvent peu de données par ailleurs.

En Tunisie méridionale on dispose ainsi de nombreuses données Landsat depuis 1972 du fait que le ciel y est le plus souvent dégagé et que la station de réception de Fucino (Italie) est proche. Les premiers essais d'inventaire des écosystèmes arides utilisant ces données ont mis en évidence le rôle essentiel que joue l'état de la surface des sols dans la qualité du rayonnement capté par le satellite (LONG et al., 1978 ; ESCADAFAL et MTIMET, 1981).

* travaux réalisés en Tunisie dans le cadre du protocole d'accord signé le 12. 12. 1971 entre le Ministère de l'Agriculture de Tunisie et l'ORSTOM.

Il est donc apparu indispensable de disposer de données de terrain sur cet aspect pour pouvoir interpréter les images satellitaires, comme cela a été souligné ailleurs par plusieurs auteurs (cf. infra).

Dans le cadre du programme de cartographie des ressources en sols de la Tunisie au 1/200 000e, actuellement poursuivi par la Direction des Sols (Ministère de l'Agriculture, Tunis), nous avons voulu tester l'apport des données Landsat en tenant compte de ces contraintes. Nous nous sommes basés d'une part sur une étude approfondie des relations entre les luminances spectrales mesurées par le satellite et les caractères de la surface des sols (objet de cette communication) et sur l'étude des relations surfaces - sols d'autre part.

CONTEXTE REGIONAL

La zone d'étude est centrée sur la région de Tataouine dont le climat est caractérisé par la faiblesse des précipitations et leur irrégularité (moyenne interannuelle : 80 à 120 mm). Le paysage présente un modelé typique des régions arides façonné dans des formations sédimentaires d'âge secondaire où alternent des roches dures (calcaires et dolomies) et des roches plus tendres (calcaires marneux, marnes gypseuses et grès quartzeux peu consolidés). Les roches dures forment des reliefs tabulaires interrompus par des corniches ; à leur piémont s'étendent glacis polyphasés, cônes de déjection coalescents, zones d'épandage, terrasses et alluvions.

Les sols sont très marqués par la nature des matériaux et les pédogénèses anciennes que certains ont subis ; parmi les principaux, on remarque les sols à dalle calcaire des glacis quaternaires moyens ou récents, les sols gypseux des terrasses d'oued et les sols peu évolués sur alluvions sableuses. Ces sols subissent actuellement les effets conjugués de l'érosion hydrique et éolienne.

La végétation naturelle est composée d'une steppe pérenne à chaméphytes, végétaux lignifiés le plus souvent non verts. Elle est très peu dense (recouvrement de l'ordre de 5 à 15% en moyenne) ; cependant localement dans les talwegs et les dépressions, le couvert végétal peut être plus dense (30%), et au contraire dans les zones très dégradées (par surpâturage ou érosion) il peut être très faible (0 - 2%). 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 et sont mises en culture après des pluies automnales favorables.

Ces paysages arides sont donc caractérisés par une végétation steppique claire et une faible occupation humaine, ce qui se traduit par une physionomie relativement stable à l'échelle pluriannuelle.

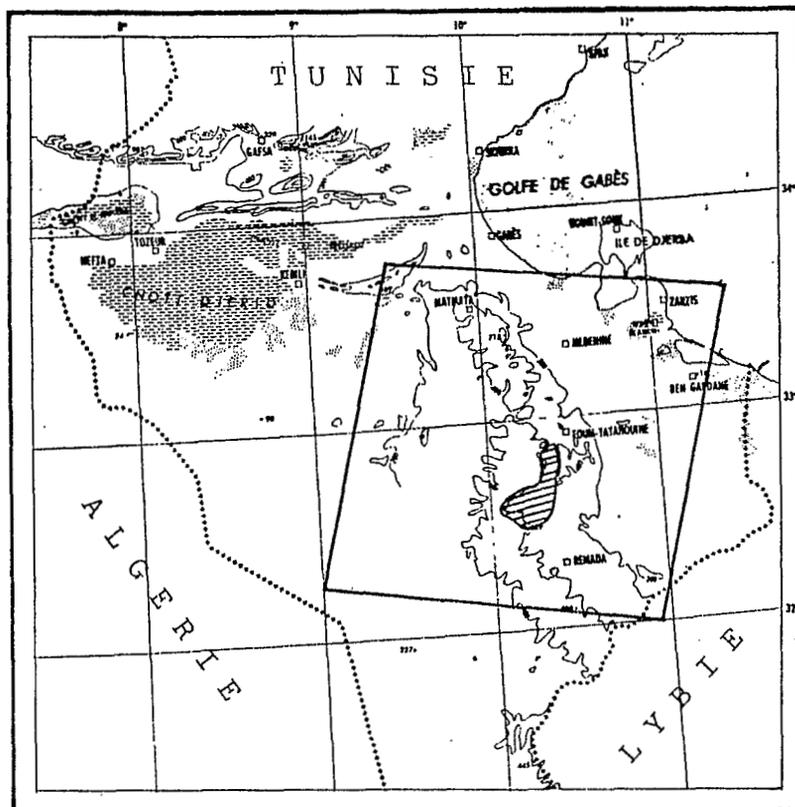


Figure 1 - Plan de situation

LES DONNEES DE TERRAIN

Dans une première étape de notre travail, nous avons sélectionné une zone test de 6 500 ha environ, le bassin versant de l'oued Dekouk, qui a la particularité de présenter une gamme assez complète des sols de la région. Nous avons entrepris une prospection systématique de ce bassin en nous basant sur une stratification en unités morphologiques par photointerprétation et vérifications de terrain. Dans chaque unité nous avons réalisé un ensemble d'observations repérées précisément par triangulation à la boussole, comprenant la description de fosses et sondages pédologiques (144 au total) et de leur environnement, en particulier de la surface des sols et de la végétation.

DESCRIPTION ET ECHANTILLONNAGE DE LA SURFACE DES SOLS

La surface des sols des régions arides présente le plus souvent à l'état naturel une organisation différente de celle du premier horizon du sol lui-même. En effet, placée à l'interface sol - atmosphère elle subit l'action conjuguée de différents flux d'énergie et de matière. L'action de la pluie provoque un détachement des éléments des sols qui se réorganisent sur place, puis latéralement lorsque l'eau circule en surface emportant, triant ou déposant ces éléments. Le vent intervient également par abrasion, déflation, vannage et ensablement. Une partie importante du cycle de la matière organique se déroule à la surface des sols où interviennent les végétaux (algues, lichens, litières et résidus) et les animaux (faune du sol, activité et déjection des animaux supérieurs).

Il en résulte une organisation complexe dont la description globale a nécessité la mise au point d'une méthode originale (ESCADAFAL, 1981 a et b). Les variables de description que nous avons retenues dans cette étude sont celles qui interviennent dans le comportement radiométrique de la surface:

- la couleur (GIRARD 1977, DA COSTA 1980)
- la texture (STONER et BAUMGARDNER, 1981)
- l'abondance des éléments grossiers (HORWATH, 1981)
- l'abondance de la végétation (GRAETZ et GENTLE, 1982)

Notre approche est basée sur la description d'échantillons de surface décomposés en états de surfaces élémentaires (E.S.E.), organisations paraissant homogènes à l'œil nu (ex : surface battante, épandage de graviers, micronebka,).

Chacun de ces états de surfaces élémentaires est décrit séparément : microrelief, couleur, texture, éléments grossiers (taille, nature et abondance) et échantillonné sur des placettes de 1 m² pour en quantifier la composition. Sur chaque placette l'abondance des cailloux est estimée par dénombrement sur place, les éléments plus petits étant mesurés par tamisage (graviers, sables) et granulométrie au laboratoire. La contribution de chaque fraction, exprimée en pourcentage de la surface de l'E.S.E. occupée, est ensuite calculée en utilisant la densité réelle et la taille de chaque classe d'éléments grossiers ; par différence on obtient la superficie occupée par les éléments fins (< 0,05 mm) et les sables fins.

La proportion de chaque E.S.E. dans l'ensemble de l'échantillon de surface étudié est mesurée en même temps que l'abondance de la végétation pérenne (dont on note aussi l'espèce et la hauteur) par lecture le long de lignes de 20 m disposées aléatoirement.

Les caractéristiques moyennes de l'échantillon surface étudiée sont alors calculées par pondération suivant la proportion de chaque E.S.E.

Par un choix judicieux de ces échantillons de surface (nombre, emplacement), on obtient ainsi une assez bonne caractérisation du milieu tel qu'il apparaît "vu" de l'espace.

RESULTATS - TYPOLOGIE DES SURFACES

Cette méthode a été appliquée systématiquement à un ensemble de 38 sites représentatifs sélectionnés parmi les observations de terrain. Les 38 relevés obtenus ont été regroupés sur la base d'une analyse en composante principale. Ce regroupement validé sur le terrain fait apparaître 11 principaux types de surface dont les caractéristiques moyennes sont regroupées dans le tableau 1.

N°	Type de surface	Localisation	Composition de la surface (%)											Couleur moyenne (à l'état sec)	Abondance de la végétation (%)				
			GY	SF	S1	S2	S3	G1	G2	G3	C1	C2	C3						
3	nebkas à sables fins et végétation dense	bordure de zone alluviale	0	6	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5 YR 6/7	28
5	éléments grossiers peu triés	piémonts	0	9	74	4	6	2	22	11	7	13	5	2				7,5 YR 7/5	1
6	cailloux et graviers	glacis à dalle calcaire	0	18	45	8	3	3	2	3	4	9	3	3				7,5 YR 6/6	3
7	cailloux et sables fins	glacis à dalle calcaire et voile éolien	0	9	62	11	4	2	1	1	1	6	3	0				7,5 YR 6/6,2	8
8	sables et quelques éléments grossiers	périphérie de la dépression centrale	0	14	56	11	3	5	3	2	1	2	1	2				7,5 YR 6/6,2	5
9	limono-sableuse à sables grossiers et graviers	glacis et zones d'épandage	0	27	44	7	4	5	7	4	1	0	0	0				7,5 YR 6,6/5,5	5
10	limoneuse à sables grossiers	périphérie des zones d'épandages	0	11	30	11	10	8	1	0	0	0	0	0				7,5 YR 6,5/4	5
11	micronebkas à sables fins et grossiers	centre du bassin	0	11	57	11	11	7	3	1	0	0	0	0				7,5 YR 6/6	7
12	dunes à sables fins	centre du bassin	0	9	70	13	5	2	1	0	0	0	0	0				7,5 YR 6/6,7	11
13	graviers et cailloux roulés	alluvions grossières	0	7	70	17	8	6	7	3	2	7	3	1				7,5 YR 7/6	5
14	roûte argileuse encaillée	terrasse de l'oued Bekouk	0	10	10	13	9	5	3	0	0	0	0	0				7,5 YR 6,5/5,5	7

Tableau 1 - Caractéristiques moyennes des types de surface

Les variables exprimées en pourcentage de contribution à la surface totale sont :

- GY : éléments fins (< 0,05 mm)
- SF : sables fins (0,05 - 0,2 mm)
- S1 : sables moyens (0,2 - 0,5 mm)
- S2 : sables grossiers (0,5 - 1 mm)
- S3 : sables très grossiers (1 - 2 mm)
- G1 : petits graviers (2 - 5 mm)
- G2 : graviers moyens (5 - 10 mm)
- G3 : gros graviers (10 - 20 mm)
- C1 : petits cailloux (2 - 5 cm)
- C2 : cailloux moyens (5 - 10 cm)
- C3 : gros cailloux (> 10 cm)

L'abondance de la végétation pérenne et la couleur moyenne (à l'état sec) complètent ces données. A noter que la couleur varie essentiellement par la clarté et la pureté, le calcul par pondération permet de mieux les préciser que la simple notation de la couleur dominante.

Parmi ces types de surfaces, on remarque celles qui sont très hétérométriques comme le type 5 qui correspond aux colluvions peu triés des piémonts, et le type 13 qui correspond aux zones d'alluvions grossières où les crues transportent aussi bien les éléments fins que les cailloux. A l'opposé, l'effet du tri par le vent apparaît bien dans les types 7, (cailloux et sables fins éoliens), 12 (zones dunaires) et surtout 3 où la végétation a fixé une formation éolienne en ne retenant que les sables fins.

LES DONNEES LANDSAT

L'ensemble des traitements photographiques et numériques des données satellitaires a été réalisé à l'atelier de télédétection de l'ORSTOM (Bondy, France).

CHOIX DE L'ENREGISTREMENT

La zone étudiée s'inscrit dans la scène Landsat de trace 205 et de rang 37 (cf. fig. 1). Parmi les enregistrements disponibles, ceux du 29.9.1978 et du 4.4.1981 ont été retenus pour leur qualité (absence de nuages ou de brume sèche) et leur actualité. Compte tenu des antécédents climatiques, la surface des sols est à l'état sec le 4.4.1981 mais certaines zones ont été cultivées, on peut donc espérer détecter sur cette image les zones favorables aux cultures pluviales. Après analyse des compositions colorées agrandies au 1/100 000e, nous avons retenu cet enregistrement (ESCADAFAL et HAMZA, 1982).

ANALYSE DES DONNEES

De façon à tester la possibilité de discriminer les différents types de surfaces d'après leur luminance spectrale, nous avons créé, en utilisant une console vidéo couleur interactive (Pericolor 1000), un ensemble de "zones d'apprentissage" correspondant à des surfaces homogènes reconnues et échantillonnées au sol, en nous limitant aux zones horizontales ou sub-horizontales.

Les valeurs de luminance mesurées par le satellite Landsat (exprimées en digits) ont été extraites pour chacun des 4 canaux dans chaque zone (cf. tableau 2). Le canal 6 étant fortement corrélé avec le canal 7, il n'a pas été retenu.

Types de surface	canal 4			canal 5			canal 7		
	P	M	P	P	M	P	P	M	P
3	64	66	69	130	138	145	130	138	143
5	74	77	81	132	143	150	130	137	142
6	73	76	80	140	146	152	145	149	153
7	76	79	81	151	157	160	151	154	158
8	72	76	80	152	158	165	160	165	170
9	81	83	84	152	155	159	149	153	155
10	85	86	88	150	154	158	150	153	156
11	79	81	84	160	166	172	158	160	164
12	80	83	85	163	167	172	165	168	171
13	86	88	90	159	165	172	150	163	165
14	86	89	91	169	173	176	165	169	171

Tableau 2 - Image du 4.4.81. Luminance spectrale des surfaces (valeurs modales (M) et périmodales (P))

Les canaux 5 et 7 sont très corrélés entre eux ($r=0,95$), ce qui s'explique par l'absence quasi-totale de végétation verte active. Celle-ci est limitée à des surfaces hors de la zone test mais pour se réserver la possibilité d'en détecter la présence, nous avons néanmoins choisi d'utiliser les deux canaux 5 et 7. La corrélation entre 4 et 5 (ou 7) est moins forte ($r=0,82$), l'information apportée par le canal 4 mérite donc certainement d'être prise en compte ; ainsi nous avons finalement retenu les canaux 4, 5 et 7 pour la suite du travail.

CLASSIFICATION MULTISPECTRALE

Dans l'espace de ces trois canaux l'ensemble des données se présente comme un nuage de points en forme de spatule dans l'axe de la bissectrice et perpendiculaire au plan 5-7.

L'analyse des valeurs radiométriques de chaque type de surface (cf. tableau 2) montre qu'elle se répartissent dans des zones différentes de ce nuage de points. On a donc cherché à découper ce nuage en classes tridimensionnelles ("lots" ou "boîtes") en utilisant le programme LOTERIE (ORSTOM, 1978) pour définir autant de thèmes radiométriques que de types de surfaces. Chaque thème est ainsi constitué d'un ensemble de lots définissant une zone particulière de l'espace des données radiométriques. Parmi ces lots on distingue le lot modal ou "noyau du thème" (contenant généralement le plus de points) et les lots qui lui sont voisins (lots périmodaux). En augmentant le nombre de boîtes donc la finesse du découpage de cet espace, il est possible de cerner précisément le contenu radiométrique d'un thème. L'utilisation de la console interactive permet de faire varier les limites de ces lots et d'apprécier leur pertinence ; par essais successifs nous avons ainsi établi plusieurs classifications multispectrales de l'image dont nous avons retenu la plus stable.

RESULTATS

Les différents essais ont montré que chacun des thèmes a pu être bien discriminé, car chaque thème a une place constante et bien définie dans l'espace des données radiométriques et une étude en cours sur l'image du 29.9.1978 permettra d'en vérifier la stabilité dans le temps.

La figure 2 fait apparaître les lots "noyaux" des thèmes projetés sur le plan Canal 4 / Canal 7, les numéros sont ceux des types de surfaces auxquelles ils correspondent. On remarque le thème 1 correspondant aux ombres et les thèmes 2 et 4 correspondant aux versants des montagnes qui n'avaient pas été pris en compte comme type de surface, ainsi que le thème 15 qui correspond aux surfaces éclairées de face par le soleil (dunes, falaises à réflexion spéculaire).

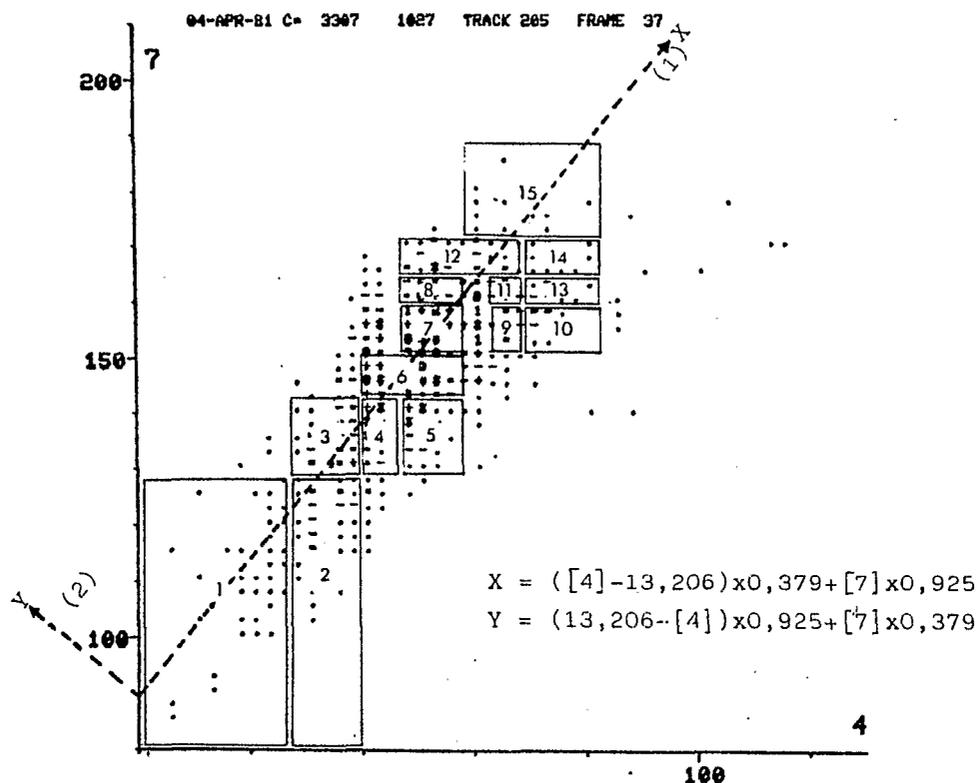


Figure 2 - Classification multispectrale de l'image du 4.4.81 (les numéros renvoient aux thèmes)

INTERPRETATION

Ces thèmes se répartissent selon deux directions :

- un axe principal correspondant à des valeurs de luminance de plus en plus élevées, il exprime la brillance des sols
- un axe secondaire transverse qui correspond à une variation du rapport canal 7 / canal 4.

L'axe principal (1) peut être assimilé à la "soil line" de Kauth et Thomas (1977) ou "soil background line" de Richardson et Wiegand (1977). En effet, si l'on représente le centre des nuages des thèmes dans ce repère, on peut exprimer leur position dans l'espace radiométrique en fonction de ce nouveau système de coordonnées (cf. fig. 3).

On constate alors que pour les thèmes près de l'axe 1 la valeur de l'abscisse est fortement corrélée avec le pourcentage d'ombre à la surface du sol (cf. fig. 4). Ce dernier est estimé, en première approximation, égal au pourcentage de végétation et au pourcentage d'éléments grossiers supérieurs à 5 mm, sachant que l'angle solaire est d'environ 45° à la date et à l'heure de l'enregistrement de l'image utilisée.

Cet effet de l'ombrage de la surface du sol sur sa luminance spectrale a été souligné par ailleurs à propos du rôle de la végétation (KAUTH et THOMAS, op. cité) et en particulier de la végétation steppique non verte (GENTLE et GRAETZ, 1982). Par contre, si le rôle des éléments grossiers a été mis en évidence (HORWATH, 1981), il n'a pas été interprété en termes d'ombrage comme cela apparaît ici.

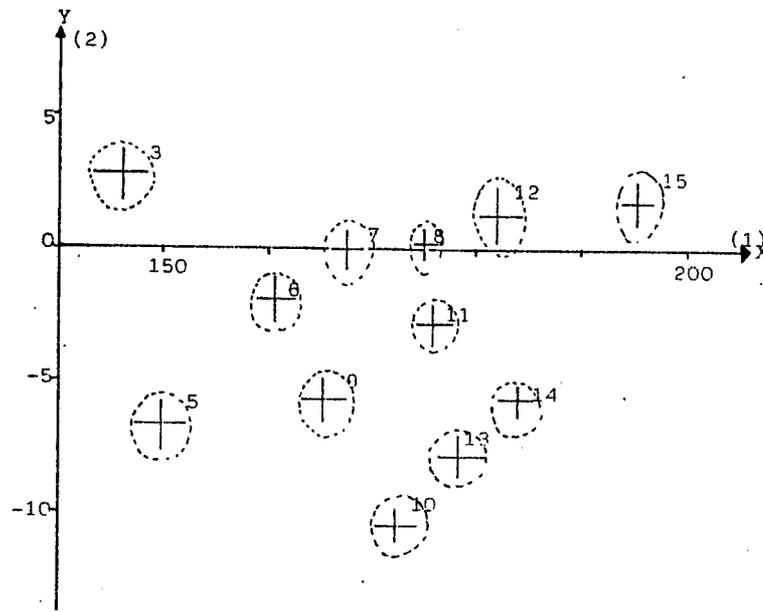


Fig. 3 - Projection des centres des nuages des thèmes sur le plan 4-7

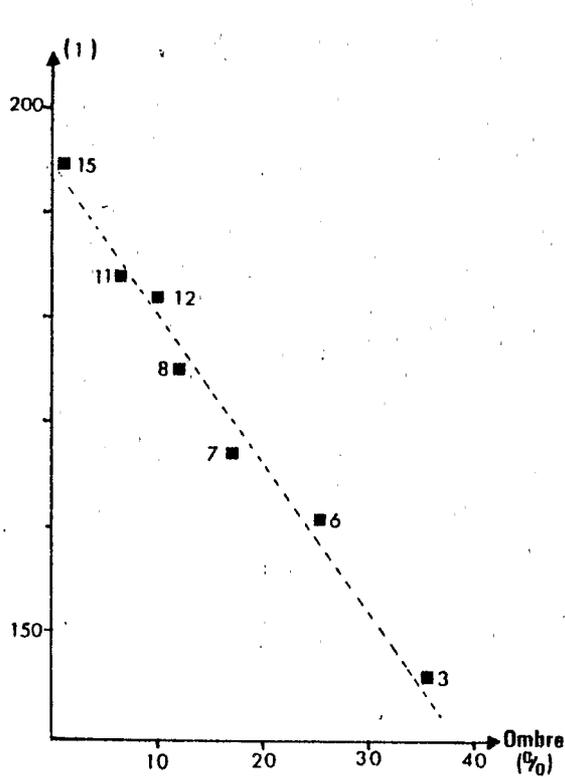


Fig. 4 - Relation entre brillance (axe 1) et pourcentage d'ombre

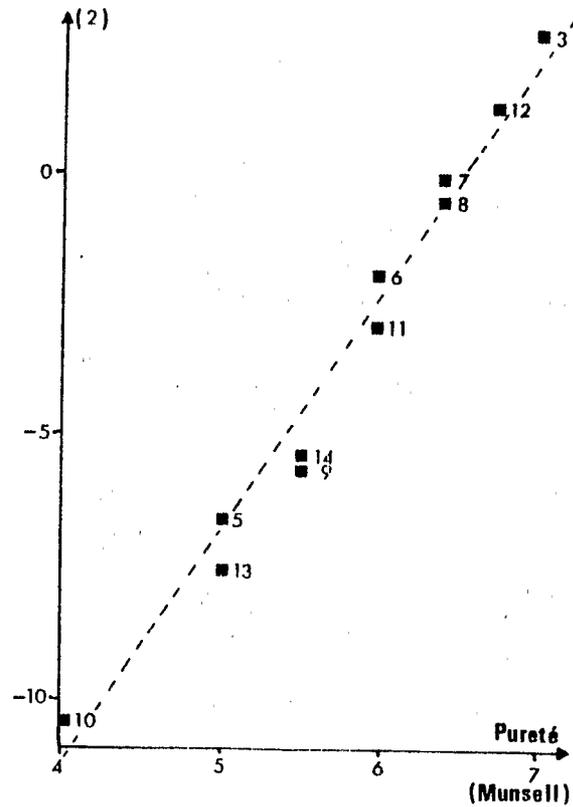


Fig. 5 - Relation entre axe 2 et couleur (pureté)

La méthode d'estimation de l'abondance des végétaux steppiques par différence d'effet d'ombrage entre images prises à des saisons différentes, soit avec des angles solaires différents, ne paraît donc pas applicable aux cas des milieux qui présentent une certaine pierrosité de surface comme c'est le cas ici (COLWELL, 1981 ; OTTERMAN, 1981).

En résumé, la valeur de brillance (axe 1) dépend de la rugosité de la surface au sens large, notion déjà développée à propos des sols nus (GIRARD, 1977).

L'axe 2 quant à lui est lié aux couleurs des surfaces. En effet, celles-ci varient surtout par la pureté (notation Munsell), on constate que celle-ci est nettement corrélée avec l'ordonnée sur l'axe 2 (cf. fig. 5). Ceci montre à la fois l'intérêt de l'information apportée par le canal 4 pour discriminer les surfaces d'après leur couleur et l'intérêt de pouvoir définir ces couleurs avec une précision supérieure à celle du code Munsell (obtenue ici par pondération), comme cela a déjà été souligné à propos des mesures radiométriques au laboratoire (KARMANOV, 1970).

CONCLUSION

L'étude détaillée par une méthode originale d'échantillons de surfaces de sols a permis de définir 11 grands types dans la zone test étudiée caractérisés par leur composition exprimée en pourcentage de surface occupée par les différents constituants. Ces différents types de surface ont pu être discriminés par leur signature spectrale sur l'image Landsat du 4. 4. 1981. Par classification multispectrale de cette image, il est ainsi possible de distinguer les thèmes radiométriques correspondants. Leur position dans l'espace des 4 canaux peut être interprétée en terme de rugosité et de coloration des surfaces.

Cette classification a été généralisée à l'ensemble de la région de Tataouine et des cartes des types de surfaces ont été générées. La validité de cette extrapolation à l'extérieur de la zone test et l'interprétation de ces unités de surface (en fonction des relations surfaces - sols) pour la cartographie des ressources en sols sont en cours.

En conclusion, ces cartes de types de surfaces constituent une nouvelle approche des milieux naturels arides, elles peuvent répondre à des objectifs variés : étude des sols bien sûr, mais aussi modèles hydrologiques de bassins versants ou cartographie des ressources pastorales, pour ne citer que les plus immédiats.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie vivement M. POUGET et l'équipe de l'atelier de télédétection de l'ORSTOM pour leur collaboration.

B I B L I O G R A P H I E

COLWELL J. E., 1981 - Landsat feature enhancement, can we separate vegetation from soil. Proc. Fifteenth Int. Symp. Rem. Sens. Env., ERIM, Ann Arbor, Michigan.

ESCADAFAL R., 1981 (a) - L'étude de la surface du sol dans les régions arides. Recherches méthodologiques. ES : n° 187, DRES-ORSTOM, Tunis, 64p. multigr., bibli. (11 p.).

ESCADAFAL R., 1981 (b) - 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 sept. 1981, in : Sols n° 5 (INA P.G.), p. 21-27, bibli. (11 réf.).

ESCADAFAL R. et MTIMET A., 1981 - Apport de la télédétection spatiale à la cartographie des ressources en sols de la région de Médenine (Sud tunisien). ES n° 189, Direction des Sols, Tunis, ronéo 40 p., bibli. (2 p. 1/2).

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., bibli. (11 réf.).

GIRARD M.C. et GIRARD C.M., 1977 - Télédétection de la surface du sol. A.I.S.S., 1er colloque "Pédologie et Télédétection", Rome, p. 55-64.

GRAETZ R.D. et 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), p.1721-1730, bibli. (24 ref.).

HORWATH E.H., 1981 - Spectral properties of Arizona soils and Rangelands and their relationship to Landsat digital data. Dissertation, University of Arizona, 162 p.

KAUTH R.J. et THOMAS G.S., 1976 - The tasseled cup-A graphical description of the spectral temporal development of agricultural crops by computer classification of Landsat MSS Data. Proceed. of Symp. on Machine processing of Rem. Sens. Data, LARS, Purdue, IEEE Cat. 76, Ch. 1103, IMPRSD.

KARMANOV I.I., 1970 - Study of soils from the spectral composition of reflected radiation. Soviet Soil Science, 4, p. 226-238.

LONG G., DEBUSSCHE G., LACAZE B., LE FLOC'H E. et 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., 19 fig. et tabl. bibli. (10 p.).

ORSTOM, 1978 - Analyse multivariable. Procédure "LOFERIE". Application à l'analyse multi-spectrale en télédétection. Télédétection 2, Initiations-Documents techniques n° 39, ORSTOM, Paris, 77 p.

OTTERMAN J., 1981 - Reflection from soil with sparse vegetation. Adv. Space Res., 1 (10), p. 115-119, bibli. (3 ref.).

RICHARDSON A.J. et WEIGAND C.L., 1977 - Distinguishing vegetation from soil background information. Photogramm. Eng. and Rem. Sens., 43, p. 1541-1552.

STONER E.R. et BAUMGARDNER M.F., 1981 - Characteristic variations in reflectance of surface soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 45 (6), p. 1161-1165, bibli. (43 réf.).