

Comparaison des données Landsat MSS et TM pour la cartographie des formations superficielles en zone aride (Tunisie méridionale)

R. Escadafal et J. Pouget

Atelier de Télédétection, Centre ORSTOM, Bondy, France

In a previous study the Landsat MSS data were found to be a useful tool for the surveying of arid soils in Tunisia. The data of the 'visible' channels 4 and 5 are correlated with the roughness and the colour saturation of the soil surfaces. Based on these properties a first 'soil-surface condition' map has been produced and interpreted. This map contained pedological information but was not sufficient in itself to determine all the soil types. For instance, the loamy and the gypsiferous soils, both light coloured, were difficult to separate.

Considering this background, the Thematic Mapper image that has been evaluated in this TM-Earthnet pilot project represents a considerable progress. Firstly the 30×30 m ground resolution allows to recognise and describe precisely the physiographic units, and also to locate accurately the ground sampling sites. Secondly, the new visible channel (TM1), forming a trichromatic system with the two others, gives a more precise characterisation of the soil colour. Last but not least, the data of the medium-infrared channel (TM7) are strongly correlated with the mineralogical content of the soil surface in the studied area. This enables to distinguish easily gypsum from carbonate- and quartz-dominated soils. These results are illustrated by a plate showing the 'soil-surface types' map produced by classifying this Landsat TM image. The promising use of this kind of schematic maps in arid land studies is discussed.

Keywords: remote sensing / Landsat MSS / Landsat TM / arid zone / soil surface / soil colour / gypsum.

Au cours d'un précédent travail nous avons utilisé les données Landsat MSS comme aide à la cartographie pédologique de reconnaissance en Tunisie. En se basant sur des données de terrain précises et adaptées, il a été montré que les luminances spectrales mesurées dans les canaux MSS4 et MSS5 permettent de discriminer différents milieux par la rugosité et la couleur de la surface des sols. Mais des confusions existent en particulier entre les sols clairs limoneux et gypseux.

Les données du détecteur 'Thematic Mapper' permettent d'aller beaucoup plus loin dans la caractérisation de l'état et de la nature des surfaces. Ainsi, avec la résolution de 30×30 m, la morphologie est beaucoup mieux cernée et le repérage facilité. Le canal 1, combiné aux deux autres canaux visibles classiques, permet une meilleure distinction des couleurs. Le rapport entre canal 7 et canaux visibles varie avec la nature minéralogique des matériaux de surface; le gypse, notamment, est discriminé sans ambiguïté. Un exemple de carte des types de surfaces obtenu par traitement des données TM illustre ces résultats. Ce type de document, où s'expriment à la fois des ressources et des contraintes, apporte une nouvelle vision des problèmes de mise en valeur des milieux arides.

Mots-clés: télédétection / Landsat MSS / Landsat TM / zones arides / surface du sol / couleur des sols / gypse.

Introduction

L'inventaire des ressources naturelles des milieux arides est une tâche qui est encore loin d'être achevée. Pourtant avec l'augmentation croissante de leur utilisation, il devient urgent de disposer de ces inventaires pour pou-

voir proposer des schémas de mise en valeur qui tiennent compte de la spécificité de ces milieux, et en particulier de leur fragilité.

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

N° :

FB 26945

Cote :

La télédétection, en apportant une vue synoptique, actualisée et répétitive de ces paysages, est apparue dès ses débuts comme une solution prometteuse face à ce besoin. De fait, en Afrique du Nord, les données Landsat MSS ont été disponibles en assez grand nombre à partir de 1973, grâce à la faible fréquence de la couverture nuageuse sur ces régions et à la proximité de la station de réception de Fucino (Italie).

En Tunisie, la Direction des Sols du Ministère de l'Agriculture a entrepris en 1979 la constitution d'un atlas des ressources en sols à l'échelle du 1/200 000. Dans la partie méridionale du pays, les données disponibles étaient rares et bien des zones difficiles d'accès. Un programme de cartographie de reconnaissance des sols assistée par télédétection spatiale a été alors mis sur pied en 1981 (Pouget *et al.*, 1984).

Ces travaux ont montré que l'on peut obtenir par traitement des données Landsat MSS des informations sur la surface des sols. En effet, dans ces paysages présahariens la végétation steppique est très lâche et généralement peu active. Le capteur du satellite mesure donc des luminances qui dépendent essentiellement de la composition et de l'état de la surface des sols. Elles varient peu à une échelle pluriannuelle dans ces régions arides exploitées par un pastoralisme extensif.

Une analyse fine des relations entre sols, composition de leur surface, végétation et données radiométriques a mis en évidence l'intérêt des canaux visibles du MSS (Escadafal & Pouget, 1986). Les valeurs des canaux 4 et 5 croissent simultanément en fonction de la brillance de la surface, mais celle-ci est souvent réduite par l'effet d'ombrage dû aux cailloux et aux blocs ou encore aux touffes de végétation sèche (rugosité au sens large).

Parallèlement, le rapport entre MSS4 et 5 diminue assez sensiblement lorsque la couleur de la surface des sols est plus saturée (c.à d. plus rougeâtre pour le cas des sols observés).

En se basant sur ces constatations, il a été possible de discriminer 16 types d'états de surface différents d'après leur rugosité et leur couleur. La carte infographique représentant ces états de surface s'est révélée être un outil d'aide à la prospection très efficace, elle peut être également utilisée pour étudier les problèmes de bilan hydrique (aptitude des sols à l'infiltration) et de désertification, par exemple.

Cependant cette étude a aussi montré les limitations inhérentes à la nature des données. En premier lieu, la résolution au sol du capteur MSS ne permet pas de se repérer sur les images sur lesquelles on ne peut reconnaître les pistes, maisons et autres constructions utilisées habituellement à cette fin.

Il a donc fallu constamment recalculer sur les images la position des observations au sol repérées par d'autres méthodes (triangulation à la boussole, notamment). Cette mauvaise résolution est également gênante lorsque l'on veut identifier des formes de relief assez fines, or l'analyse géomorphologique est indispensable pour aborder l'étude de ces paysages arides.

Un deuxième point concerne la difficulté à distinguer les surfaces gypseuses des autres matériaux peu colorés (limons battants, sables grossiers...), dont le comportement radiométrique dans le visible est souvent très voisin. Les informations contenues dans les cartes géologiques permettent de trancher dans les cas des roches affleurantes, mais ceci est insuffisant pour lever toutes les confusions possibles.

Cette expérience a montré à la fois l'intérêt d'avoir facilement et sur de grandes étendues des informations sur la surface des sols grâce aux satellites et les difficultés rencontrées dans certains cas avec MSS. Elle nous a incité à tester sur la même région les possibilités offertes par la nouvelle génération de capteurs en abordant l'étude des données Thematic Mapper, dont l'intérêt pour les zones arides a été récemment souligné (Mulders & Epema, 1986).

Méthodologie

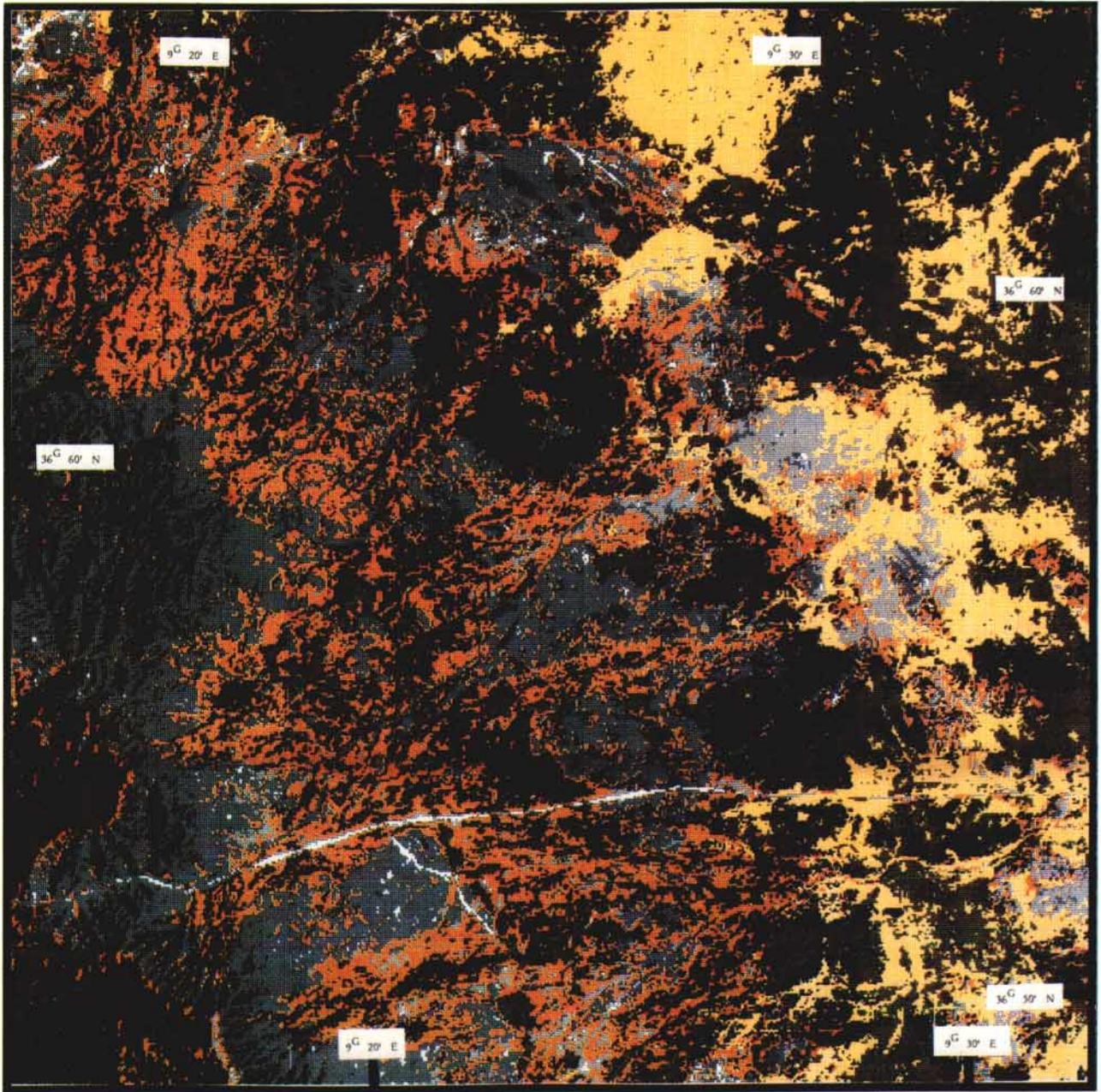
Pour tester dans notre milieu d'étude l'apport du nouveau capteur de Landsat, nous avons choisi, à l'est de la ville de Tataouine, une zone test présentant une forte hétérogénéité.

Elle est composée de reliefs et glacis façonnés dans des formations triasiques où dominent les gypses avec des intercalations de calcaires dolomitiques. Ce paysage est creusé localement de petites dépressions (dollines) le plus souvent cultivées au printemps, il est envahi par des sables éoliens. Il en résulte une juxtaposition de matériaux de couleur, de faciès et de nature très variés (gypse, calcaire et quartz).

Observations de terrain

Suivant la méthode développée et appliquée lors de l'étude des données MSS, nous avons repéré très précisément au sol un ensemble de 48 sites tests constituant un échantillon représentatif des différents ensembles sol-surface-végétation caractéristiques de la zone.

Chaque site test est défini par sa position (unité morphologique), la nature de son sol et l'organisation de sa surface (au sens large). Celle-ci est décrite en mesurant le pourcentage en recouvrement occupé par les différents composants: sol nu, sables, graviers, cailloux et pierres, débris, végétation. Chaque composant est décrit séparément: nature, couleur, état. Des photographies des fosses



(Méridien origine Paris)



LEGENDE

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1 Ombres 2 Surfaces très rugueuses :
- roches calcaires
- végétation dense sèche 3 Surfaces caillouteuses calcaires 4 Surfaces caillouteuses calcaires
à recouvrement de sable quartzeux | <ul style="list-style-type: none"> 5 Surfaces limoneuses calcaires 6 Surfaces gypseuses (? caillouteuses) 7 Surfaces gypseuses
à recouvrement de sable quartzeux 8 Surfaces sableuses (sable quartzeux) 9 Surfaces très brillantes
(pistes, gypse érodé) |
|---|---|

Image Landsat Thematic Mapper
190/37.3 du 5 août 1984

PROJET PILOTE TM/EARTHNET
Classification supervisée des canaux 1, 3, 7
[Méthode barycentrique]

R. ESCADAFAL et M. POUGET - 1986 -
Atelier de Télédétection de FORSTOM - Bondy (France)

Figure 1. Carte schématique des types de surface de sols - Région de Tataouine-Est (Tunisie).

pédologiques et des échantillons de surface complètent ces relevés.

On obtient ainsi une caractérisation du milieu tel qu'il apparaît vu à la verticale et en particulier par les satell-

tes. En choisissant des sites tests suffisamment étendus et homogènes, ils correspondent à un nombre assez important de pixels pour étudier les relations entre données terrain et luminances spectrales sous un angle statistique.

Traitement des données Landsat TM

L'image utilisée a été acquise le 5 août 1984 dans le cadre du projet pilote TM-Earthnet (Fig. 1). Notons qu'à cette période de l'année la végétation est à l'état sec et peu abondante après avoir été pâturée au printemps.

Une première *visualisation globale* a été faite sous la forme de compositions colorées en réalisant sur une console vidéo couleur interactive (Péricolor 1000) différentes combinaisons de canaux.

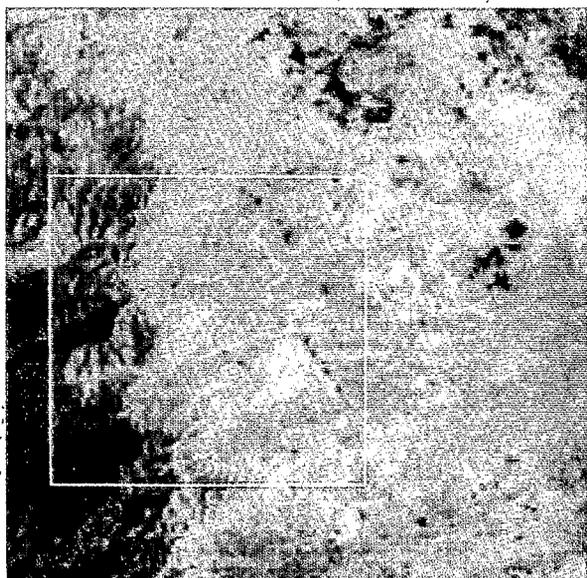
Deux modes principaux ont été utilisés, le mode 'standard' ou 'fausses couleurs' associant les canaux 2, 3 et 4 (équivalents aux canaux MSS 4, 5 et 7) et le mode associant les canaux visibles 1 et 3 au canal 7 (infrarouge moyen). Les limites des sites tests y ont été repérées et intégrées à ces images.

L'*analyse statistique générale* de la distribution des valeurs dans les six canaux étudiés a eu pour but de cerner la qualité de l'information contenue dans chacun d'eux: dynamique et corrélations entre canaux (le canal 6, dans l'infrarouge thermique, n'a pas été pris en considération).

L'*analyse statistique détaillée* des valeurs de luminance observées dans les sites tests a été conduite en comparant les sites entre eux par les méthodes multivariées, puis les relations entre ces valeurs et la composition de chaque type de sites.

Suite à ces analyses, l'interprétation de la distribution relative des différents thèmes dans l'espace des données TM a permis de définir les centres des classes qui leur correspondent. Utilisant une *classification* basée sur la

Figure 2a. Landsat MSS - 4 avril 1981: composition colorée standard (256×256 pixels): MSS4 en bleu, MSS5 en vert, MSS7 en rouge. En jaune: les surfaces sableuses (sable quartzéux).



méthode barycentrique, nous avons enfin tracé une carte des principaux types de surface de la partie de l'image couvrant la zone test (512×512 pixels soit 15×15 km environ).

Résultats

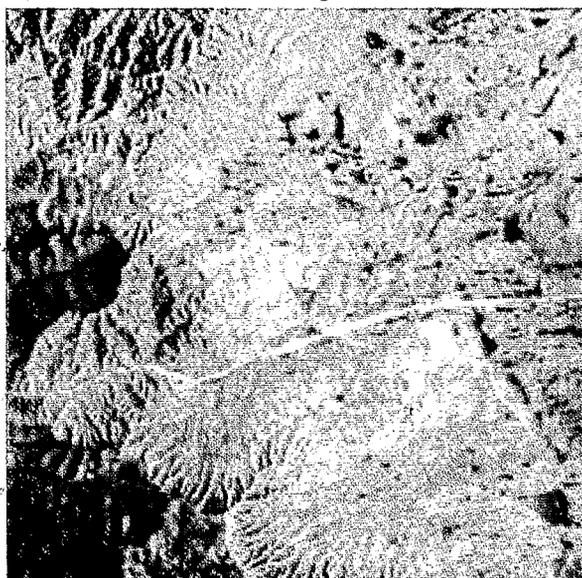
L'observation des compositions colorées standard fait apparaître immédiatement le saut qualitatif apporté par la résolution de 30×30 m (Fig. 2a-b). Contrairement à l'image MSS, on reconnaît sur l'image TM les pistes principales et secondaires (grâce à leur fort contraste avec leur contexte), le cours précis des oueds, les formes de relief remarquables (petites buttes témoins, p.ex.).

Nous avons donc parfaitement pu nous y repérer, positionner les sites tests avec précision et identifier les formes caractéristiques du modelé comme on peut le faire sur une photographie aérienne à l'échelle du 1/50 000.

L'étude des relations entre canaux a montré que, comme dans le cas des données MSS, les valeurs des canaux rouge (3) et proche infrarouge (4) sont très corrélées; ceci est lié à l'absence de végétation verte. Les canaux 1 et 3 sont par contre nettement moins redondants. Les valeurs du canal 5, présentant une troncature par saturation n'ont pas pu être prises en compte. Le canal 7 enfin, apporte une information très différente de celles des autres canaux, comme en témoigne la composition colorée combinant les canaux 1, 3 et 7 (Fig. 3) où l'on voit notamment apparaître en cyan les formations gypseuses.

L'analyse statistique détaillée a montré que pour les canaux 2, 3 et 4 on retrouve exactement les mêmes rela-

Figure 2b. Landsat TM - 5 août 1984: composition colorée standard (256×256) couvrant la zone encadrée de blanc sur la Figure 2a. Remarquer la netteté des formes de relief. TM2 en bleu, TM3 en vert, TM4 en rouge.



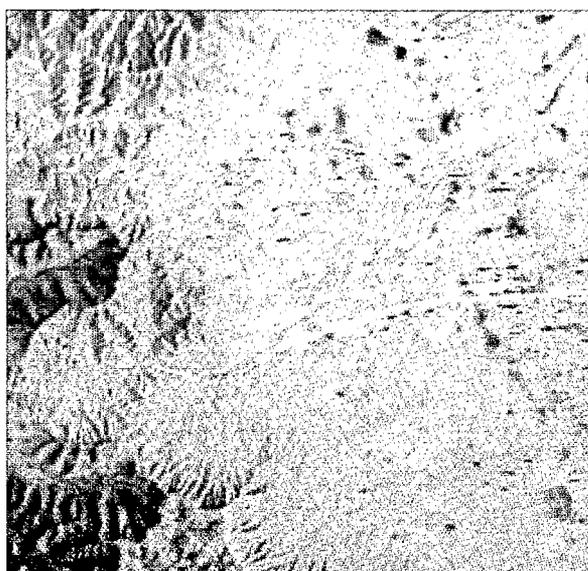


Figure 3. Landsat TM du 5 août 1984: composition colorée avec TM1 en bleu, TM3 en vert et TM7 en rouge. Remarquer en cyan les surfaces gypseuses.

tions entre composition des surfaces et luminance spectrale que dans le cas des canaux MSS 4, 5 et 7. Les mesures enregistrées dans ces canaux sont directement en relation avec la brillance, la rugosité et surtout la couleur des surfaces.

Grâce au nouveau canal TM1, dont la bande spectrale est centrée sur le bleu vert et donc complémentaire des deux autres (jaune orangé et rouge), cette perception des couleurs est fortement améliorée. Suivant le principe de la trichromie, il devient en effet théoriquement possible de distinguer une gamme de couleurs variées.

En ce qui concerne les sols, leur couleur de surface ne varie ici que dans la gamme des bruns jaunes aux bruns rouges (10 YR à 5 YR du système Munsell). Cependant, on constate que le contraste entre ceux dont la couleur est assez saturée (chroma ou pureté relativement élevée) et les autres apparaît encore plus nettement dans le rapport TM1/TM3 que dans celui précédemment utilisé (MSS4/MSS5). Il est ainsi possible de distinguer aisément les surfaces des sols d'après leur couleur suivant qu'elle est plus ou moins saturée, des teintes rougeâtres aux grises, en passant par les beiges.

La couleur des sols étant un des critères de diagnostic les plus spontanément et le plus couramment utilisé par les pédologues, on perçoit bien ici tout l'intérêt de cette nouvelle bande spectrale. Ces relations entre couleurs et réponses spectrales dans les trois premiers canaux de TM sont d'ailleurs un des axes de recherches actuellement poursuivis par notre équipe.

Compte tenu des remarques faites sur le canal proche infra-rouge (4), nous ne l'avons pas sélectionné pour la suite du travail. Le canal 7 par contre, spécialement

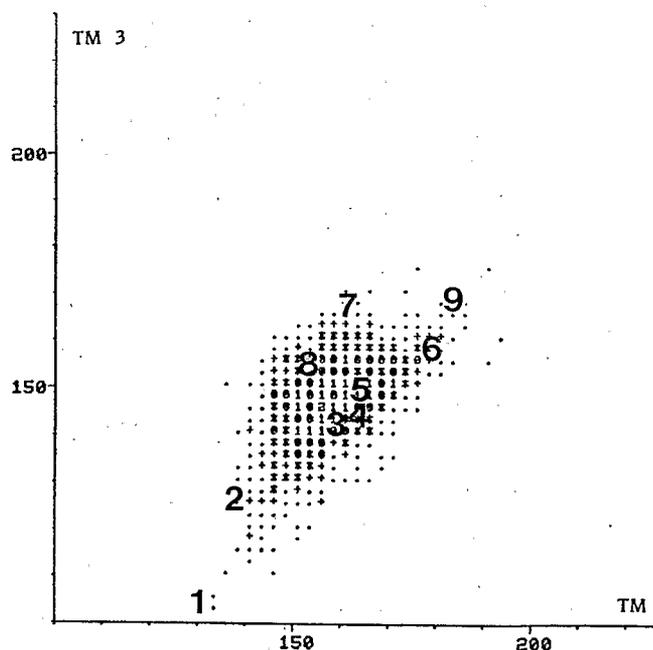
conçu pour répondre à des préoccupations de géologues, s'est révélé apporter des informations sur la nature minéralogique des surfaces. Les relations suivantes ont été observées:

- luminance moyenne à forte dans le visible et faible dans le canal 7: surfaces à dominante gypseuse;
- luminance faible à moyenne dans le visible et moyenne dans le canal 7: surfaces à dominante calcaire;
- luminance moyenne à forte dans le visible et forte dans le canal 7: surfaces à dominante quartzreuse (sables éoliens).

Le choix de la fenêtre spectrale de ce canal 7 (2080 à 2350 nm) n'est pas étranger à cet intéressant résultat, puisqu'elle correspond à la bande d'absorption des groupements hydroxyles. La présence de ces groupements diminue considérablement des sulfates hydratés (gypse), aux carbonates (calcaires et dolomies) puis à la silice (quartz), ce qui explique les variations observées.

En résumé, cet ensemble de résultats a montré que les canaux 1, 3 et 7 sont les plus intéressants pour notre étude. Pour chaque groupe de sites tests correspondant à un thème bien individualisé, nous avons identifié les valeurs radiométriques caractéristiques dans chacun de ces trois canaux, pour définir une classification multispectrale de l'image (méthode barycentrique). Elle a permis la visualisation de 9 types de surfaces dans la zone d'étude, sous la forme d'une carte schématique de la région de Tataouine-est (Fig. 1).

Figure 4. Position des centres des classes sur l'histogramme bidimensionnel TM1-TM3. Les surfaces se répartissent en fonction de leur 'brillance'. Noter la position des thèmes 7 et 8.



La distribution des centres de ces classes dans l'espace des données exprime bien les relations entre radiométrie et types de surfaces.

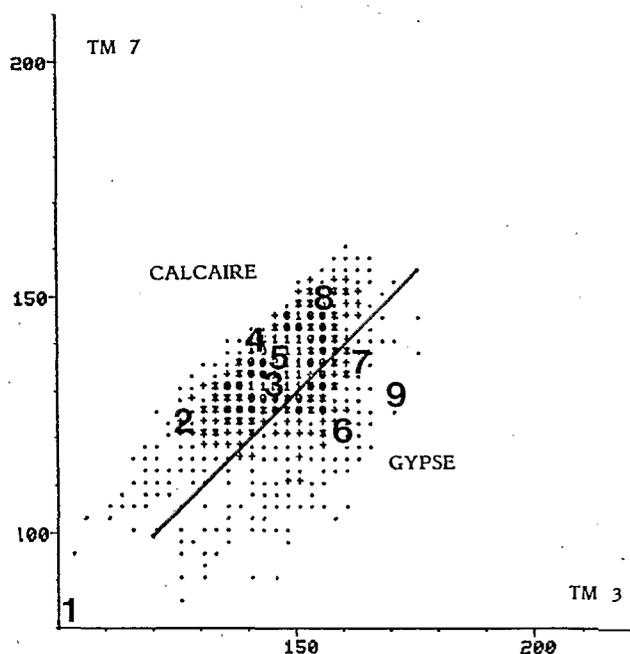
Ainsi sur l'histogramme bidimensionnel TM1/TM3 (Fig. 4), leur position le long de l'axe principal d'allongement du nuage de points dépend de leur brillance dans le visible.

Près de l'origine se trouvent les zones à l'ombre des reliefs (thème 1). En s'éloignant de cette origine on rencontre les roches affleurantes en cailloux et blocs et les zones de végétation dense sèche des bas-fonds. Ce thème 2 regroupe donc les surfaces de forte rugosité créant un taux d'auto-ombrage élevé.

En suivant toujours l'axe principal, les surfaces brillantes et très brillantes sont dans la partie opposée du plan. On remarque que les thèmes 6 et 8 se trouvent de part et d'autre du nuage de points, les surfaces gypseuses (6) étant grisâtres et proches des limons de couleur beige (5), alors que les sables quartzueux (8) sont rougeâtres (ils présentent des traces d'oxydes de fer).

Sur l'histogramme TM3/TM7 (Fig. 5), le phénomène le plus marquant est la distribution des thèmes perpendiculairement à l'axe principal, qui illustre bien l'apport du canal 7. Ainsi, les surfaces gypseuses sont les plus décalées vers TM3, puis les surfaces calcaires se trouvent vers le centre.

Figure 5. Position des centres des classes sur l'histogramme bidimensionnel TM3-TM7. Les domaines calcaire et gypse s'individualisent très nettement.



Conclusion

La première génération des satellites Landsat a fait la preuve de l'utilité des images fournies par son détecteur à balayage multispectral (MSS) pour l'étude des milieux arides. Dans le domaine des inventaires pédologiques, nous avons déjà utilisé ce type de données comme aide à la cartographie. Elles sont insuffisantes en elles-mêmes, mais en les associant aux autres sources d'informations, telles les photographies aériennes pour l'étude de formes de relief, les cartes géologiques pour l'étude de la lithologie et, bien sûr, les travaux de terrain, nous avons réalisé la carte de reconnaissance des ressources en sols de la région de Tataouine (Escadafal, 1985).

Au cours du présent travail, concernant la même région, nous avons montré que les données TM apportent des informations beaucoup plus complètes sur la morphologie des unités de terrain, leur couleur et leur lithologie. Une simple classification des données des canaux 1, 3 et 7 a permis de tracer une carte des principaux types de surfaces, déterminant autant de types de sols et de potentialités différentes.

Compte tenu de la saison à laquelle l'image utilisée a été enregistrée (août), nous n'avons pu aborder le thème végétation. Il ne fait pas de doute qu'une image prise au printemps permettra de délimiter, beaucoup plus précisément qu'avec MSS, les zones où se développe la végétation à cette saison (zones naturelles ou aménagées suivant les techniques d'aridoculture traditionnelle). Dans ce cas encore, cela constitue des informations précieuses, difficiles à obtenir par d'autres moyens.

Le traitement des données TM est donc un outil puissant permettant de produire des cartes détaillées de l'état et de la nature de la surface des sols (au sens large).

Ces cartes permettent une nouvelle approche des milieux arides en exprimant des potentialités (ressources en sols et propriétés hydrodynamiques, ressources végétales), mais aussi des contraintes (traces de phénomènes de dégradation en cours, sensibilité à l'érosion éolienne ou hydrique).

Ceci correspond précisément aux préoccupations des spécialistes de l'étude et de l'aménagement de ces milieux, où la télédétection semble donc pouvoir répondre de mieux en mieux à leurs besoins.

Références

- Escadafal R. 1985. *Carte des ressources en sols de la Tunisie au 1/200 000. Feuille de Tataouine*. Direction des sols, Tunis, notice 37 p., 1 carte coul. h.t.
- Escadafal R. & Pouget M. 1986. Luminance spectrale et caractères de la surface des sols en région aride méditerranéenne. *I.T.C. Journal*, p. 19-23.

- Mulders M.A. & Epema G.F. 1986. The Thematic Mapper: a new tool for soil mapping in arid areas. *I.T.C. Journal*, p. 24-29.
- Pouget M., B. Lortic, A. Souissi, R. Escadafal & A. Mtimet. 1984. Contribution of Landsat data to mapping of land resources in arid regions. *18th Int. Symp. Rem. Sens. Env.*, Paris, 1-5/10/1984.
- Thompson D.R., K.R. Henderson, A.G. Houston & D.E. Pitts, 1984. Variations in alluvial derived soils as measured by Landsat Thematic Mapper. *Soil Sci. Soc. Am. Jl.*, 48(1), p. 137-142.