

## **APPORT DE LA TELEDETECTION DANS L'ETUDE DE LA RELATION ENTRE ETATS DE SURFACE ET PEDOPAYSAGES EN MILIEU ARIDE: EXEMPLE DE LA REGION D'EL OUTAYA (BISKRA, ALGERIE)**

ASSAMI Tarek<sup>1\*</sup>, HAMDIAISSA Baelhadj<sup>2</sup>, HALITIM Amor<sup>3,1</sup>, MOSTEFAOUI Tawfik<sup>1</sup>, ROUAHANA Houria<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup>Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides  
Omar El Bernaoui, Biskra, Algérie

<sup>(2)</sup>Département d'agronomie, Université de Ouargla, 30000 Ouargla, Algérie

<sup>(3)</sup>Département sciences du sol, Université de Batna, Batna, Algérie

Email: assami.tarek@gmail.com

**Résumé.-** La région d'El Outaya est située dans l'étage bioclimatique aride à 15 km de Biskra (Algérie). Les sols sont peu couverts par la végétation permettant ainsi l'observation directe des sols qui présentent des états de surface très divers, particulièrement intéressants du point de vue pédologique. Cette étude porte sur deux aspects à savoir d'une part, évaluer la capacité de discrimination des différents états de surface par télédétection multispectrale et d'autre part, étudier l'organisation spatiale des états de surface en relation avec les pédopaysages. Concernant le premier aspect, l'utilisation de l'image Landsat 5 TM dans l'identification des états de surface a relevé que les informations spectrales liées à la couleur, la minéralogie et la rugosité sont satisfaisantes à l'exception de la discrimination des états de surface à croûte saline et des surfaces à croûte sédimentaire de type 1 qui s'est avérée difficile à cause de la confusion spectrale. Quant au second aspect de l'étude, à partir de la carte des états de surface issue de la classification par maximum de vraisemblance et des relations chorologiques liant les caractères de la surface de la couverture pédologique aux paramètres externes de différenciation du paysage, il est déterminé quatre grands ensembles pédopaysagiques (sableux, colluvionnaires, alluvionnaires et salins) dans la région. Ceci constitue un document préparatoire rapide et utile à toute étude pédologique dans les régions arides qui sont peu cartographiées.

**Mots clés :** El Outaya, télédétection, états de surface, pédopaysage, région aride.

## **CONTRIBUTION OF REMOTE SENSING IN THE STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SOIL SURFACE STATE AND SOIL LANDSCAPES IN ARID AREAS: THE EXAMPLE OF THE REGION OF EL OUTAYA (BISKRA)**

**Abstract.-** The region of El Outaya is located in the arid bioclimatic level at 15 km of Biskra (Algeria), the soils are covered by vegetation allowing direct observation of soils which have a wide range of soil surface state, particularly interesting at the soil perspective. The objective of this study focuses on two aspects namely on the one hand, to evaluate the ability to discriminate different soil surface state by multispectral remote sensing and secondly, to study the spatial organization of soil surface state in relation to soil landscapes. Regarding the first aspect, the use of landsat 5 TM image in the identification of surface conditions noted that the spectral information related to color, mineralogy and roughness are satisfactory except for the discrimination of salt crust surfaces and sedimentary crust surfaces of type 1 which proved difficult due to the spectral confusion. The second aspect of our study, from the map of soil surface state following the classification by maximum of likelihood and chorological relationships linking characters from the surface of the soil cover to external parameters of landscape differentiation, it was determined four soil landscape sets (sandy, colluvial, alluvial and saline) in region. This constitutes a quick and useful preparatory document for all soil survey in arid regions which are not mapped.

**Key words:** El Outaya, remote sensing, soil surface state, soil landscape, arid region

## Introduction

En Algérie, les sols des régions arides sont importants, puisqu'ils représentent 95% du territoire national dont 80% dans le domaine hyperaride [1]. Or, la planification rationnelle d'un développement agricole durable de ces régions nécessite une bonne connaissance des sols particulièrement du point de vue inventaire pédologique. Les méthodes classiques de cartographie restent difficiles et coûteuses. Néanmoins, ces étendues vastes présentent une faible couverture végétale permettant l'observation directe de la surface des sols.

Par ailleurs, le développement de l'étude de ces milieux par télédétection a montré qu'en absence de la végétation, les caractéristiques de la surface du sol peuvent être identifiées telles que la couleur du sol [2], la rugosité [3] et la minéralogie [4,5]. Ceci implique que les images satellitaires apportent des informations sur la surface du sol et, sont utilisées comme une source de variables environnementales dans la cartographie numérique du sol [6]. Cette étude recherche des relations entre certaines caractéristiques du sol de la région d'El Outaya et le comportement spectral du sol sur une image multispectrale de type Landsat 5 TM. Elle étudie de même l'organisation spatiale des états de surface en relation avec les pédopaysages.

## 1.- Matériel et méthodes

### 1.1.- Région d'étude

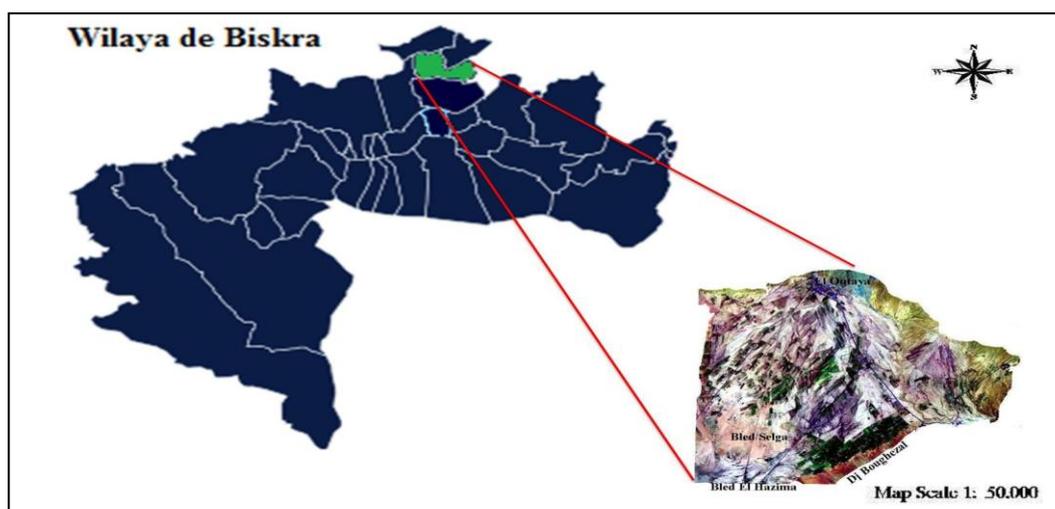
La région d'El Outaya occupe une superficie de 33.300 ha. Elle fait partie de la wilaya de Biskra (Algérie) (fig. 1). Elle se caractérise par un climat aride (127,73 mm de précipitations et une température moyenne de 23,15°C). Les paysages présentent des modèles typiques des régions arides qui sont constituées de glacis avec une couverture d'éléments grossiers en surface, des zones d'épandage, des terrasses qui occupent des pentes faibles constituées d'alluvions hétérogènes et des sebkhas. Les sols sont hétérogènes, il est noté la présence de sols peu évolués non climatique d'apport colluvial, de sols peu évolués non climatique d'apport alluvial et des sols halomorphes à structure dégradé et non dégradés [7,8]. La végétation naturelle est très peu dense et de type herbacée. Quant à l'utilisation humaine de cette zone, elle est essentiellement agricole et pastorale. La région d'étude se caractérise par une végétation naturelle de type steppique et des zones de cultures réduites par rapport à la surface totale, permettant d'observer une hétérogénéité importante des états de surface du sol.

### 2.2.- Etats de surface

Les états de surface correspondent «à la composition et à l'organisation de la surface du sol à un instant donné» [9]. Pour chaque état de surface décrit, on peut établir une hypothèse de lois chorologiques liant les caractères des états de surface et leur distribution dans les pédopaysages. Le choix des critères d'identification des états de surface repose sur un certain nombre de paramètres observés lors de la prospection ainsi que sur des travaux de recherche réalisés dans des milieux arides [10,11]. Certaines variables retenues tels que la rugosité, l'humidité et la couleur sont en relation avec la réponse spectrale du sol. Les composantes retenues sont:

- Les croûtes de surface: il est noté les différents types de croûtes, la structure, la texture, la couleur, l'humidité et la rugosité;

- Le recouvrement: le matériau pédologique affleurant peut être recouvert par des éléments de nature différente: apport éolien, pavage. Il est distingué les éléments fins des éléments grossiers par leur texture, on note l'abondance en surface, l'humidité et la couleur;
- Les efflorescences: se sont les tâches qu'on observe sur la surface du sol qui peuvent être de natures différentes, tels que les efflorescences salines. La forme, la couleur et l'abondance sont notés;
- Les éléments grossiers: les éléments grossiers sont décrits, il est noté l'abondance, la nature, la forme, la taille, l'humidité et la couleur;
- L'organisation superficielle particulière: dans cette partie sont décrites les organisations particulières observées sur la surface du sol et qui peuvent influencer le signal spectral par exemple la rugosité du sol (labours, fentes de retrait, etc....).



**Figure 1.-** Situation géographique de la région d'El Outaya

### **2.3.- Prétraitement de l'image satellitale**

L'image multispectrale Landsat 5 TM utilisée (fig. 2) correspond à la période la plus sèche (08/07/2010 à 10 heures 04 minutes), la végétation est peu abondante permettant d'identifier la surface du sol. L'image est considérée de bonne qualité puisque la couverture nuageuse est de 0%. Avant d'interpréter visuellement l'image obtenue en composition colorée, il est réalisé une correction géométrique et atmosphérique de l'image ainsi qu'un rehaussement de la qualité à l'affichage en utilisant le logiciel ENVI 4.6. L'objet de l'étude ne portant que sur la région d'El Outaya et sur la surface du sol nu, il est appliqué à l'image un masque radiométrique et géographique.

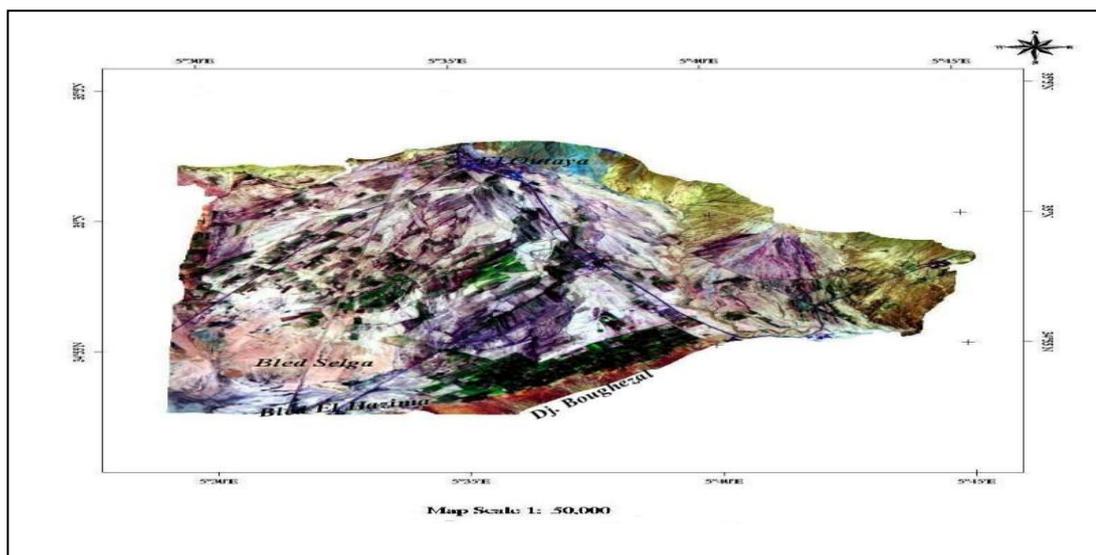
## **2.- Résultats et discussion**

### **2.1.- Description morphologique des principaux états de surface observés**

#### **2.1.1.- Etats de surface salins**

Les états de surface salins sont divers. Ils sont localisés dans le même ensemble géographique, c'est-à-dire dans les sebkhas de Bled Selaga et El Hazima. Il est observé deux groupes. Le premier est constitué de croûtes salines (SSC) caractérisées par une surface lisse avec une structure lamellaire, la couleur est rouge jaunâtre (7,5 YR 8/6 sec) et

la texture est sablo-limoneuse. Le deuxième groupe est constitué par des surfaces à pellicules et pseudosables (SSP). Les surfaces salines à pellicule sont caractérisées par une épaisseur qui varie de 1 à 5 mm avec une rugosité très faible par contre les surfaces à pseudosable sont plus rugueuses, elles présentent des microrides d'éolisation qui indiquent une zone de déflation. La structure est lamellaire (pellicules salines) ou à pseudosables. Cette dernière est le résultat du démantèlement d'une structure lamellaire préexistante sous l'influence de cristallites allongées de NaCl [12]. Ces états de surface ont une texture limoneuse à argilo-limoneuse. Quant à la couleur elle est rouge jaunâtre pour les pellicules salines (7,5 YR 8/6 sec) et les pseudosables (7,5 YR 6/8 sec).



**Figure 2.-** La région d'étude couverte par l'image Landsat 5 TM.

### 2.1.2.- Etats de surface sableux

Ce sont des formations sableuses qui occupent le bas versant nord de Djebel Boughezal, soit sous forme de champs de nebkas (NEBK) de couleur jaunâtre (10 YR 7/8 sec) et qui correspond à des accumulations éoliennes liées à la présence des buissons souvent prolongées par une flèche dunaire développée à l'abri du vent. Soit sous forme de placages éoliens sableux sur le versant (PEOS) de couleur brun jaunâtre (10 YR 6/8 sec).

### 2.1.3.- Etats de surface à croûte

#### 2.1.3.1.- Etats de surface à croûte sédimentaire

Les croûtes sédimentaires résultent d'un déplacement de particules avec tri après un ruissellement ou une accumulation localisée des eaux de ruissellement. Selon BOIFFIN [13], la croûte sédimentaire est la dernière phase de la formation d'une «croûte de battance». Ces croûtes sédimentaires sont les plus dominantes dans la plaine. Elles sont caractérisées par une texture hétérogène dominée soit par l'argile et/ou les limons. La structure est de type lamellaire. Elle correspond à des lits successifs de particules fines dues aux différentes phases de dépôt. L'épaisseur de la croûte est variable et atteint plusieurs centimètres. L'aspect de surface de la croûte est lisse. Selon le taux de couverture végétale et la rugosité de la surface, il se distingue deux types de croûte ;

- Croûte sédimentaire de type 1 (SCSED 1): Dans ce cas, la végétation est quasi absente, la

croûte est caractérisée par une couleur rouge jaunâtre (7,5 YR 6/8 sec), de texture limono-argileuse avec une structure lamellaire. La rugosité est très faible donnant un aspect de glaçage.

- Croûte sédimentaire de type 2 (SCSED 2): La couverture végétale est plus importante. La rugosité de la croûte est faible à moyenne, la couleur est rouge jaunâtre (7,5 YR 7/8 sec) et la texture est limoneuse.

### 2.1.3.2.- Etats de surface à croûte de décantation

C'est le microhorizon superficiel qui permet d'identifier aisément les croûtes de décantation (SCDEC). Il est fragmenté en polygones qui délimitent des prismes, des plaquettes ou des squames [14]. La couleur des croûtes est brun foncé (7,5 YR 5/8 sec) avec une structure lamellaire. La texture est argilo-limoneuse et la rugosité est moyenne. La caractéristique la plus importante de cet état de surface est la présence d'un réseau dense de fentes de retrait larges et profondes. Sa localisation est généralement dans les bas fonds de la plaine (Bled Selga, Bled El Hazima) et le long des oueds.

### 2.1.4.- Etats de surface à éléments grossiers

Ils sont caractérisés par un substrat constitué de cailloux, de pierres, de blocs, de sables et de croûtes. Deux types de surface sur le glacis, sont notés :

- Les surfaces de glacis de type 1 (GLA 1): La plus grande partie de la surface du sol est constituée de croûtes de couleur rouge jaunâtre (7,5 YR 6/8 sec) et d'éléments grossiers de type pierres et blocs ;

- Les surfaces de glacis de type 2 (GLA 2): ce sont des surfaces constituées de pierres et de blocs de formes arrondies et de couleurs variables. La surface du sol est très rugueuse. Elle est liée aux microreliefs des éléments grossiers.

## 2.2.- Choix des bandes spectrales

Afin d'obtenir la meilleure discrimination des surfaces, il est étudié les coefficients de corrélation (tab. I) qui indiquent que les valeurs les moins corrélés sont entre les bandes moyenne infrarouge TM 7, le visible TM 1 et le proche infrarouge TM 4.

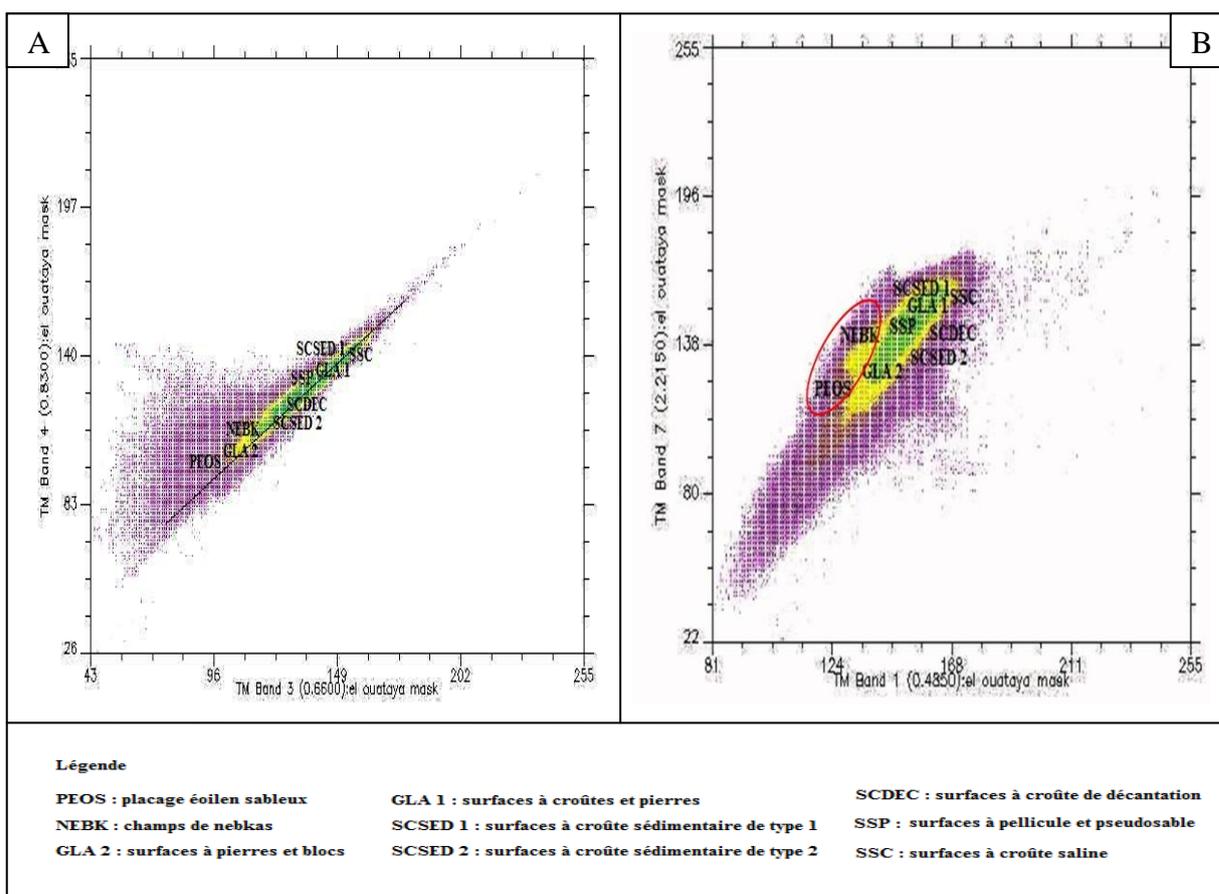
**Tableau I.-** Matrice de corrélation des bandes spectrales

Bandes	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5	TM 7
TM 1	1,00					
TM 2	0,98	1,00				
TM 3	0,96	0,98	1,00			
TM 4	0,94	0,96	0,98	1,00		
TM 5	0,86	0,89	0,91	0,94	1,00	
TM 7	0,85	0,88	0,91	0,93	0,98	1,00

## 2.3.- Comportement spectral des états de surface

La projection des états de surface dans la bande rouge et proche infrarouge montre que les états de surface des sols sont hétérogènes et sont distribués selon un faisceau constitué de segments de droites appelés «faisceau de droites des sols» [15]. La variation

de réflectance le long de ce faisceau traduit le caractère de couleur et de rugosité de la surface des sols. En effet, les valeurs de réflectance sont plus faibles pour les surfaces des sols foncées à forte rugosité (GLA2 et PEOS) contrairement aux surfaces des sols plus claires à faible rugosité (SSC et SCSED 1) (fig. 3A). Par ailleurs, le comportement spectral des états de surface dans les canaux TM 1 et TM 7 permet de distinguer les surfaces sableuses (PEOS et NEBK) représentées par une forte luminance dans le moyen infrarouge et une luminance moyenne à forte dans le visible (fig. 3B). Ceci s'explique par l'utilisation de l'infrarouge moyen réflectif (TM 7), correspondant à la bande d'absorption des groupements hydroxydes qui diminue des sulfates hydratés (gypse), aux carbonates (calcaire et dolomie) puis à la silice (sable) d'où cette individualisation très nette des surfaces sableuses [16].



**Figure 3A, B.-** Comportement spectral de la surface

## 2.4.- Classification des états de surface

La connaissance à priori du terrain, a amené à choisir la classification par la méthode du maximum de vraisemblance qui est considérée comme une technique puissante de classification [17,18,19]. Les parcelles d'entraînement utilisées dans la classification correspondent aux états de surface identifiés et localisés sur le terrain.

## 2.5.- Validation de la classification

La classification est validée avec les données de référence issues du terrain (tab. II). La matrice de confusion permet d'apprécier la pertinence de la classification, qui d'après le tableau II indique un coefficient de Kappa égal à 0,93 (93%) donnant ainsi un résultat

satisfaisant, d'autant plus que la valeur critique du coefficient de Kappa au delà de laquelle une classification est considérée comme satisfaisante est supérieure à 50% [20]. La précision globale, qui est le rapport du nombre de pixels bien classés sur le nombre total de pixels, indique une valeur de 94%. Ceci traduit la qualité élevée de la classification.

Les données de la matrice de confusion indiquent que la détection des états de surface salins est satisfaisante pour SSP (100%) et SSC (90,96%). Ce dernier se confond avec le groupe SCSED 1 avec 9,04% des pixels. Les classes SCSED 2 (100%) et SCDEC (100%) sont bien individualisées. Les surfaces GLA 1 (98,43%) et GLA 2 (100%) localisées sur le glaciais sont bien classées par rapport aux surfaces des pédopaysages alluvionnaires et sableux.

Les états de surface sableux sont bien classés avec absence de confusion spectrale pour PEOS (100%) et NEBK (100%). Les erreurs associées à la matrice de confusion expriment la précision avec laquelle les différents thèmes choisis sont classés. L'erreur de commission permet de donner une idée de l'homogénéité de chacune des classes, par contre l'erreur d'omission permet de juger la performance du classificateur. Il apparaît, d'après le tableau II, que les erreurs de commission sont faibles sauf pour le groupe SSC qui indique que 50,61% des pixels présent dans cette classe vient d'autres classes essentiellement du groupe de SCSED 1. Les erreurs d'omissions sont faibles, sauf pour SCSED 1 qui montre que 17,75% des pixels issus de la classe de contrôle sont affectés à d'autres classes, particulièrement à la classe SSC avec un taux de 16,35%.

D'une manière générale, les résultats la classification par maximum de vraisemblance sont satisfaisants. Elles varient entre 82,25 et 100%. Un classement est en effet jugé statistiquement tout à fait bon lorsque les accords correspondent à 80% et plus des pixels des parcelles de référence [21]. Toutefois, les résultats montrent que les surfaces à croûte saline (SSC) présentent une confusion spectrale avec les surfaces à croûte sédimentaire de type 1 (SCSED 1). Il s'explique par le fait que les croûtes non salines ont une forte valeur de réflectance similaire aux croûtes salines dans le visible [22]. Dans la région d'El Outaya, il semble que la couleur, la minéralogie et la rugosité de la surface du sol sont les paramètres qui influencent la réflectance.

**Tableau II.-** Matrice de confusion des parcelles d'entraînement  
(précision globale: 94,04%, coefficient de Kappa: 0,93)

Classes	Vérité de terrain (%)								
	SSP	SSC	SCSED 1	GLA <sub>1</sub>	SCSED 2	NE BK	PEO S	GL A2	SCDE C
SSP	100	0	0	0	0	0	0	0	0
SSC	0	90,96	6,35	0,79	0	0	0	0	0
SCSED 1	0	9,04	82,25	0	0	0	0	0	0
GLA 1	0	0	0	98,43	0	0	0	0	0
SCSED 2	0	0	0,90	0	100	0	0	0	0
NEB	0	0	0	0	0	100	0	0	0
PEOS	0	0	0	0	0	0	100	0	0
SGC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GLA 2	0	0	0	0,39	0	0	0	100	0
SCDEC	0	0	0,50	0	0	0	0	0	100

<b>Erreur d'omission (%)</b>	0	9,04	17,75	1,57	0	0	0	0	0
<b>Erreur de commission(%)</b>	0	50,61	1,91	0	6,98	0	0	0,23	2,87

## 2.6.- Organisation spatiale des états de surface

D'après la carte des états de surface (fig. 4A), les surfaces salines à pellicule et pseudosables (SSP) occupent un groupe homogène visible dans la sebkha de Bled Selga. Ces surfaces sont caractérisées par une faible réflectance par rapport aux surfaces à croûte saline (SSC) qui présentent des surfaces lisses. Selon HAMDI AISSA (2004) les états de surface salins présentent des comportements spectraux très différents selon leur couleur, leur nature géochimique, leur microrelief et leur structure (rugosité) [23]. D'un autre côté, les surfaces à croûte saline (SSC) se mélangent avec les surfaces à croûte sédimentaire de type 1 (SCSED 1) dans toute la plaine, ce qui n'est pas validé sur le terrain. Cette difficulté à discriminer ces deux états de surface s'explique par la confusion spectrale à cette échelle de résolution spatiale. La répartition spatiale des surfaces à croûte de décantation (SCDEC) indique une relation avec le réseau hydrographique et les zones d'accumulation des eaux superficielles.

Les surfaces à croûte sédimentaire de type 1 (SCSED 1) sont réparties géographiquement dans la plaine sous forme de tâches entourées par les surfaces à croûte sédimentaire de type 2 (SCSED 2). La formation des surfaces à croûte sédimentaire de type 1 (SCSED 1) est probablement liée à un degré évolué de dégradation de la surface du sol caractérisée par une absence de végétation et un glaçage de la surface du sol. Quant aux états de surface à éléments grossiers (GLA 1 et GLA 2), ils sont bien distincts en amont de la plaine et occupent les glacis. Les surfaces sableuses (PEOS et NEBK) forment un groupe visible sur le flanc nord de djebel Boughezal.

## 2.7.- Interprétation des pédopaysages à partir de l'image

A partir de l'utilisation de la carte des états de surface et des lois chorologiques liant les caractères de la surface de la couverture pédologique aux facteurs extrinsèques (géologie, géomorphologie, végétation, occupation du sol), il est identifié quatre grands ensembles pédopaysagiques dans la région (fig. 4B).

### 2.7.1.- Pédopaysage sableux

Le versant nord de djebel Boughezal constitue un obstacle qui a permis le dépôt successif de sables d'origine éolienne caractérisé par des accumulations de type PEOS et NEBK. Ce pédopaysage est caractérisé par une végétation spécifique de type psamophile (*Aristida pungens*, *Retama retam*) qui présente un taux de couverture végétale important par rapport aux autres pédopaysage de la région.

### 2.7.2.- Pédopaysage colluvionnaire

Le paysage est caractérisé par des formations superficielles constituées de poudingues et de grès et par une topographie à pente longitudinale de 1 à 5% formant le glacis. C'est deux facteurs extrinsèques sont liés étroitement avec les caractéristiques des états de surface de type GLA1 et GLA2, puisque le matériau désagrégé est chargé en

éléments grossiers de tailles différentes qui sous l'effet de ruissellement diffus est déposé le long de la pente. Ces deux états de surface ne diffèrent du point de vue pédologique que par la charge en éléments grossiers. Ils semblent donc, appartenir à un même type de sol de type peu évolué d'apport colluvial.

### **2.7.3.- Pédopaysage alluvionnaire**

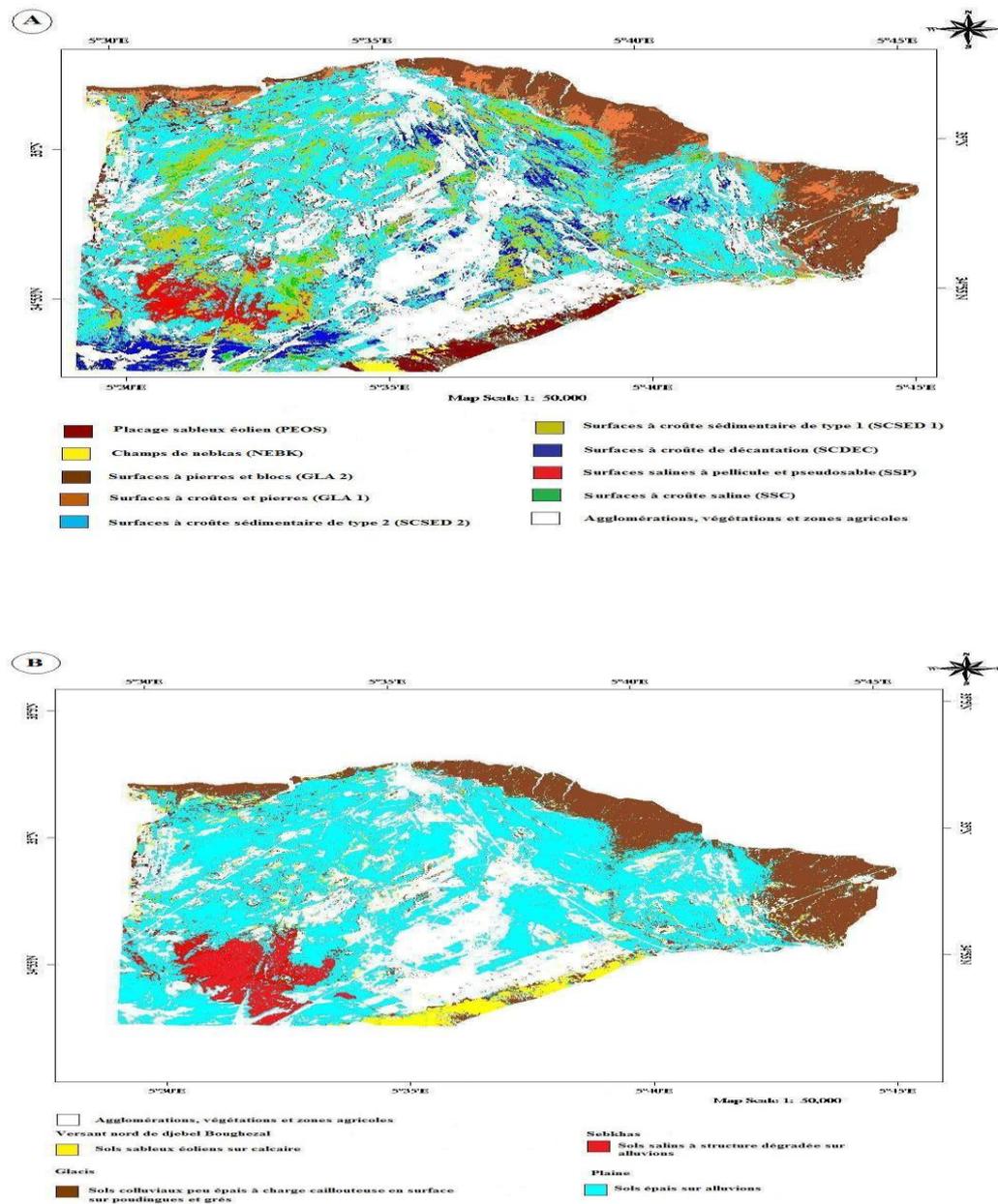
Pendant les périodes humides du Quaternaire, les eaux ont déplacé sur de longues distances des alluvions de nature hétérogène constituées principalement d'éléments fins (argiles et limons), de sables et de galets qui par la suite se sont déposés par sédimentation dans la zone basse du paysage de la plaine d'El Outaya. La couche superficielle du substrat caractérisée par une texture fine, un faible taux de matière organique et une végétation éparse ne permettant pas la protection du sol nu, subit l'influence de pluies rares et torrentielles ainsi que l'action anthropique, ceci se traduit par la formation de croûtes hétérogènes (SCSED1, SCSED2 et SCDEC) qui ne reflète pas la nature variable des sols de la plaine.

### **2.7.4.- Pédopaysage salin**

Le groupe d'états de surface salins (SSP et SSC) varient dans le temps mais forment un ensemble pédopaysagique localisé dans un même espace géographique correspondant aux sebkhas. Ces deux états de surface correspondent spatialement aux sols halomorphes à structure dégradée.

## **Conclusion**

L'utilisation des bandes 7, 4 et 1 de l'image multispectrale Landsat 5 TM a permis la discrimination et l'extraction d'information sur les états de surface du sol de la région d'El Outaya. L'analyse spectrale réalisée à partir de différentes valeurs des bandes spectrales a mis en évidence neuf états de surface qui se différencient principalement par la couleur, la minéralogie et la rugosité de la surface du sol dues aux croûtes de surface et aux éléments grossiers. Globalement, les résultats de la classification par maximum de vraisemblance sont satisfaisants, notamment la différenciation entre les états de surface sableux, colluvionnaires, alluvionnaires et salins. Cependant, la classification n'a pas permis une discrimination des surfaces à croûte saline (SSC) et des surfaces à croûte sédimentaire de type 1 (SCSED 1) à cause de la confusion spectrale qui existe entre ces deux éléments, causée par l'aspect lisse de la surface. Par conséquent, l'utilisation des images de 30 m de résolution a montré ses limites dans la caractérisation des surfaces de sols au niveau de la plaine. A partir, de l'utilisation de la carte des états de surface et des lois chorologiques liant la couverture pédologique aux éléments du paysage (géologie, géomorphologie, végétation, occupation du sol). Il est élaboré une carte des pédopaysages de la région, qui constitue un document préparatoire très utile à toute étude pédologique sur le terrain.



**Figure 4.A et B.-** Cartes des états de surface (A) et des pédopaysages (B) de la région d'El Outaya.

### Références bibliographiques

- [1].- Halitim A., 1988.- Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, 384 p.
- [2].- Viscarra Rossel R. A., Cattle S. R., Ortega A., Fouad Y., 2009.- In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis- NIR spectroscopy. *Geoderma*, 150: 253-266.
- [3].- Breunig F. M., Galvao L. S., Foramggio A. R., 2008.- Detection of sandy soil surface using ASTER- derived reflectance, emissivity and elevation data: potential for the identification of land degradation. *Int. J. remote sensing*, 29 (24-276): 1833-1840.

- [4].- Hubbard B. E., Crowley J. K., 2005.- Mineral mapping on the Chilean-Bolivian Altiplano using co-orbital ALI, ASTER and Hyperion imagery: data dimensionality issues and solutions. *Remote Sens. Environ*, 99 (1-9):173-186.
- [5].- Ninomiya Y., Fu B., Cudahy T. J., 2005.- Detecting lithology with Advanced Space-born. Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared 'radiance-at-sensor' data. *Remote Sens Environ*, 99 (3-4): 237-254.
- [6].- McBratney A. B., Mendonça-Santos M. L., Minasny B., 2003.- On digital soil mapping. *Geoderma*, 117: 3-52.
- [7].- ANRH., 1980.- Carte pédologique de la plaine d'El Outaya. Echelle: 1/100 000.
- [8].- C.P.C.S., 1967 - La classification des sols. Cahier de pédologie, Ecole Nationale Supérieure Agronomique Grignon, 87 p.
- [9].- Escadafal R., 1989.- Caractérisation de la surface des sols arides par observations de terrain et par télédétection. Applications: exemple de la région de Tataouine (Tunisie). ORSTOM, Paris, 317 p.
- [10].- Escadafal R., 1981b.- L'étude de la surface du sol dans les régions arides (Sud Tunisien). Recherches méthodologiques. E.S. n°187, direction des sols, Tunis, 64 p.
- [11].- Valentin C. 1981 - Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez-Niger): Dynamique et conséquences sur l'économie en eau. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Université Paris VII, ORSTOM, 259 p.
- [12].- Servant J., 1976.- Sur quelques aspects de la pédogénèse en milieu halomorphe: l'exemple des sols salés de la région méditerranéenne française. *Ann de l'INA (Alger)*, vol. VI (1): 225-245.
- [13].- Boiffin J., 1984.- La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse de doctorat, INA, Paris-Grignon, 320 p.
- [14].- Casenave A., Valentin C., 1989.- Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Paris, 229 p.
- [15].- Girard M.C., Girard C.M., 1999.- Traitement des données de télédétection. Ed. Dunod, Paris, 529 p.
- [16].- Escadafal R., Pouget M., 1987.- Comparaison des données Landsat MSS et TM pour la cartographie des formations superficielles en zone aride (Tunisie méridionale). Rapport final du projet TM/EARTHNET, ORSTOM, 16 p.
- [17].- Boulahouat N., Naert B., 1996.- Télédétection des ressources en sols des zones arides. Une méthode d'inventaire adaptée au travail sur le terrain, expérimenté dans la région de Djelfa (Algérie). *Etude et Gestion des sols*, 3 (1): 7-26.
- [18].- Hamdi-Aissa B., Girard M. C., 2000.- Utilisation de la télédétection en régions

sahariennes, pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pédopaysages. *Sécheresse*, 3: 179-188.

- [19].- Lim H. S., Matjafri M. Z., Abdullah K., Saleh N. M., Wong C. J., Omar Al-Hadithi K. M., Al Sultan S., 2006.- Land cover classification over Makkah, Saudi Arabia. *Proceedings of the map India*, New Delhi, India.
- [20].- Pontius J. R. G., 2000.- Quantification error versus location in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol 66 (8): 1011–1016.
- [21].- Lillesand T. M., Kiefer R. W., Chipman J. W., 2004.- *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley and Sons, New York, 784 p.
- [22].- Metternicht G., Zink J. A., 2009.- Spectral Behavior of Salt Types. In: *Remote sensing of soil salinization : impact on land management*. Ed. CRC Press,: 21-37.
- [23].- Hamdi-Aissa B., 2004.- Apport des données satellitales pour l'évaluation de l'impact sur l'environnement du risque salinisation dans l'écosystème désertique (cuvette de Ouargla, Algérie). X<sup>ème</sup> journée scientifique du réseau de télédétection de l'AUF, Géorisque et télédétection, Ottawa: 177-180.