

Apport des données Landsat Thematic Mapper pour la cartographie des sols dans la région de Menzel Habib

**Hanen Dhaou MSADKI^{*}, Dalel Ouerchefani BOUZAIDA, Houcine TAAMALLAH
et Mohamed OUESSAR**

Département d'Érémologie de l'Institut des Régions Arides de Médenine, Tunisie

* Correspondance, courriel : hanen_dhaou@yahoo.fr

Résumé

Un essai de cartographie des sols a été réalisé au niveau de la zone de Menzel Habib, située en Tunisie présaharienne dans la région naturelle des basses plaines méridionales. Cette zone fait partie d'un Réseau d'Observatoires de Surveillance Écologique à Long Terme (ROSELT) mise en place par l'Observatoire du Sahel et du Sahara(OSS), dans le cadre d'un programme de suivi environnemental de la désertification. Ainsi, conformément aux objectifs généraux de ce programme insistant sur l'intérêt de la valorisation et l'exploitation des données anciennes pertinentes en relation avec le thème recherché par la présente étude. On a adopté une approche méthodologique reposant principalement sur la classification multispectrale d'une image satellite en ayant recours aux cartes des ressources en sols et pédologiques existantes. Il en ressort une carte pédologique couvrant toute la zone de Menzel Habib répartis en huit classes.

Mots-clés : *sols, cartographie, classification multispectrale, image satellite.*

Abstract

Landsat Thematic Mapper Data for soil mapping : case study of Menzel Habib in southern Tunisia

A soil mapping was conducted in the southern region of Tunisia called Menzel Habib. This area is one of the Observatories Network for Long-Term Ecological Monitoring (ROSELT) conducted by the Observatory of the Sahel and Sahara (OSS). In the framework of this program, new methodologies are tested for environmental monitoring of desertification underlining the valorization of relevant historical data already available. Thus, in accordance with the general objectives, we adopted a methodological approach based mainly on the classification of multispectral satellite imagery through the use of the existing soil maps and soil resources. The result is a soil map covering the whole area of Menzel Habib divided into eight classes.

Keywords : *sils, mapping, multispectral classification, satellite image.*

1. Introduction

La Tunisie présaharienne est concernée directement par le phénomène de dégradation des ressources naturelles : sol, eau et couvert végétal. En effet, l'intensification de l'exploitation irrationnelle des ressources naturelles par l'homme dans ces zones arides, est la cause immédiate d'une dégradation rapide du milieu [1-2]. Pour faire face à ce phénomène et conformément aux activités des plans d'action nationaux de lutte contre la désertification en Tunisie, la réflexion et les études se sont orientés vers la mise en œuvre d'un programme de recherche intitulé « ROSELT/OSS» (Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme de l'Observatoire du Sahel et du Sahara) permettant la surveillance des changements environnementaux à long terme et la prédiction de l'évolution écologique du milieu désertique au niveau d'un observatoire test qui est celui de la zone de Menzel Habib.

Ainsi, pour permettre d'appréhender les objectifs visés par ce programme, l'approche méthodologique développée est centrée sur la modélisation spatiale de l'utilisation des ressources naturelles en relation avec les besoins des populations locales. Sur cette base, l'élaboration des systèmes d'information cartographiés sur l'environnement, qui est l'une des articulations essentielles sur lesquelles repose la base de données de l'outil de modélisation : SIEL (Système d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale) [3-4] est rendue nécessaire. Par ailleurs, la carte pédologique, en tant qu'une partie importante de ce système d'information, constitue notamment un instrument de compréhension puis de gestion du territoire. Malheureusement, cet inventaire des ressources pédologiques, n'est pas totalement disponible sous forme de couches continues au niveau de la région de Menzel Habib. Par ailleurs, l'utilisation de la télédétection en cartographie permet une réduction importante des délais et des coûts de réalisation par rapport aux méthodes conventionnelles [5].

C'est dans ce contexte que s'intègre la présente étude qui s'intéresse à présentation de l'enchaînement méthodologique de l'élaboration de la carte pédologique de la zone de Menzel Habib reposant principalement sur l'utilisation des données de la télédétection et les informations issues des cartes pédologiques existantes.

2. Cadre d'étude

L'observatoire de Menzel Habib est situé entre les parallèles 34° et 34° 20' nord, et les méridiens 9° 15' et 9° 58' Est. Sa superficie est de l'ordre de 43 468 ha. Il fait partie de la région naturelle des Basses Plaines Méridionales orientales de Tunisie (*Figure 1*). Avec des précipitations annuelles de l'ordre de 150 mm, il est localisé dans l'étage bioclimatique méditerranéen aride inférieur à hiver doux [2]. Les ressources hydriques constituent le facteur limitant le plus important de la zone. Les potentialités édaphiques bien qu'elles soient diversifiées, manifestent plusieurs contraintes liées à une texture sensible à l'érosion, et une faiblesse de fertilité. Les principales formations végétales sont représentées par la steppe à *Rhanterium suaveolens* sur sols sableux. Sur les sols sablo-limoneux, on rencontre une steppe à base d'*Hammada scoparia* et des formations post-culturelles à base d'*Artemisia campestris* ou d'*Haplophyllum vermiculare* substituant la steppe à *Artemisia herba-alba*. Sur les sols à croûtes, les formations végétales dominantes sont caractérisées par *Gymnocarpus decander* et *Atractylis serratuloides*. Sous l'effet de la mise en culture, du défrichage et de la surexploitation pastorale, les formations steppiques régressent, quelques fois, à une allure inquiétante.

La région est fortement marquée par une anthropisation liée à un système d'exploitation pastoral qui a généré d'importantes perturbations écologiques et socio économiques. La mise en culture pluviale a

provoqué la réduction des parcours de plaines et de plateaux. L'agriculture irriguée commence dans certains secteurs à marquer le paysage agraire. De nos jours, l'anthropisation du milieu est telle qu'elle suscite des questions quant au devenir écologique de cette région ainsi que sur la durabilité des actions du développement social et économique.



Figure 1 : Localisation géographique de la zone d'étude

3. Matériel et méthodes

Malgré l'importante masse d'informations cartographiées sur les sols de la région de Menzel Habib, leur valorisation et leur combinaison ont été relativement difficiles pour l'élaboration d'une nouvelle carte pédologique au 1/50 000 couvrant toute la zone d'étude. Ceci résultant principalement d'une hétérogénéité des systématiques des cartes, ce qui rend leur interprétation et leur représentation presque impossible. De ce fait, même avec la procédure de jointure spatiale de ces plages cartographiques et l'harmonisation de la légende pédologique n'aboutissent pas à l'élaboration d'une carte couvrant toute la zone. Compte tenu de cette difficulté, la démarche adoptée pour la cartographie des sols de la zone d'étude reposent sur utilisation de la télédétection tout en valorisant les données cartographiques et les résultats des réalités de terrain (*Figure 2*).

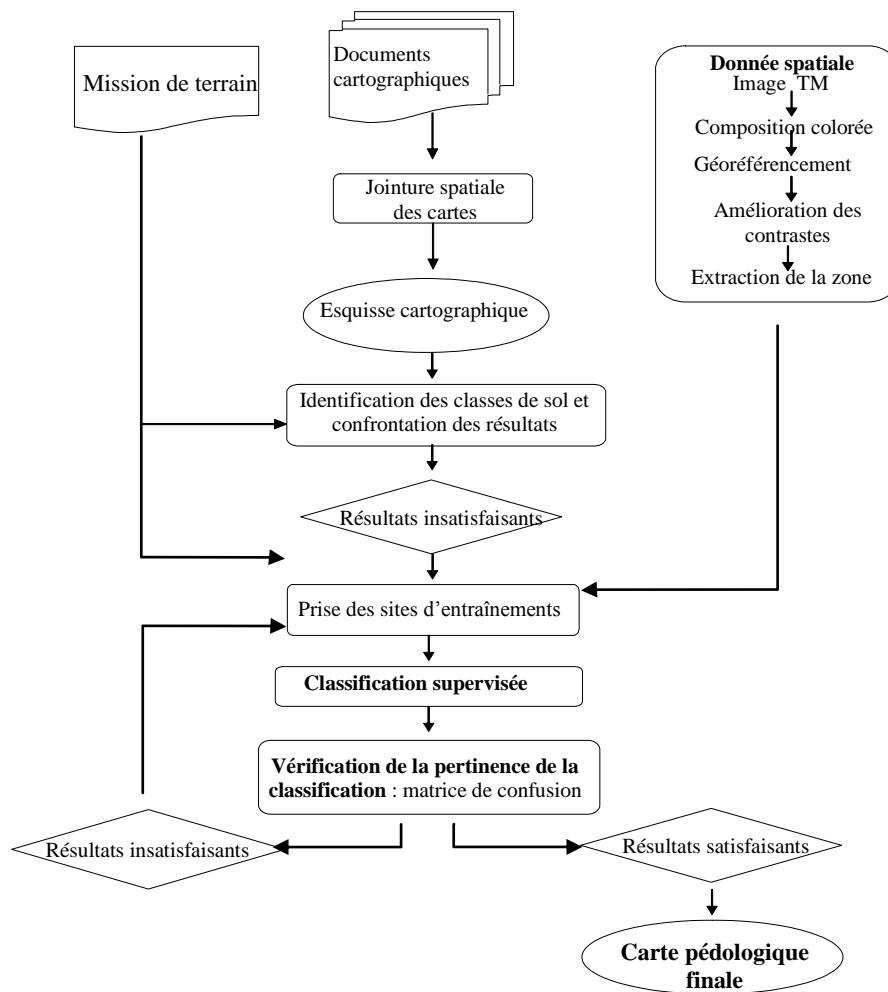


Figure 2 : Méthodologie adoptée pour la cartographie des systèmes pédologique

3-1. Données utilisées

3-1-1. Données cartographiques

Les cartes qui ont servi pour la présente étude sont :

- La carte pédologique au 1/100 000 couvrant la zone de Menzel Habib [1];
- La carte pédologique au 1/100 000 couvrant la zone limitrophe sud de sebkhat Sidi Mansour [6];
- La carte de reconnaissance du sol de la région de Ségui au 1/100 000 [7];
- La carte pédologique de la Tunisie au 1/500 000 ;
- Les cartes topographiques au 1/100 000 représentées par les feuilles de Sidi Mansour et de Bou Omran ;

3-1-2. Données satellitaires

Comme données satellitaires, nous avons utilisé une scène du satellite Landsat Thematic Mapper datant de l'année 2000. Cette image présente l'intérêt d'être prise pendant la saison hivernale durant laquelle la végétation annuelle n'est pas très développée.

3-2. Identification des classes pédologiques sur la base des cartes préexistantes

L'ensemble des données cartographiques a servi pour la mise en place d'une esquisse cartographique préparatoire des ressources en sols au 1/100 000 couvrant quelques localités de la zone de Menzel Habib (**Figure3**). En premier lieu, cette esquisse nous a servi d'une part pour l'identification du nombre des classes de sols et d'autre part dans le choix des sites de prospection du terrain afin de compléter la base de données pédologique. En second lieu, elle nous a permis de dégager des régions d'intérêts relatives à chaque classe de sols existante. Ces régions ont servi de zones d'entraînement pour amorcer une classification supervisée.

Pour établir cette esquisse cartographique préparatoire, on s'est servi uniquement de deux cartes pédologiques au 1/100 000 : la carte de *Floret et al.* [1] et la carte élaborée par *Pontanier* [6]. Ces cartes ont été scannées, puis géoréférencées par rapport aux cartes topographiques au 1/100 000 corrigées géométriquement et ajustées dans un système de projection UTM (mètres) à l'aide du logiciel ENVI 3.5. La numérisation et la délimitation des unités pédologiques de chaque carte ont été effectuées sur écran à l'aide du logiciel ARCVIEW. Ceci a permis d'obtenir deux plages pédologiques distinctes. Pour arriver à regrouper ces plages dans un seul support cartographique, on a fait recours à l'utilisation de l'extension « geoprocessing » du logiciel ARCVIEW, qui a cette possibilité de jointure spatiale des couches d'information.

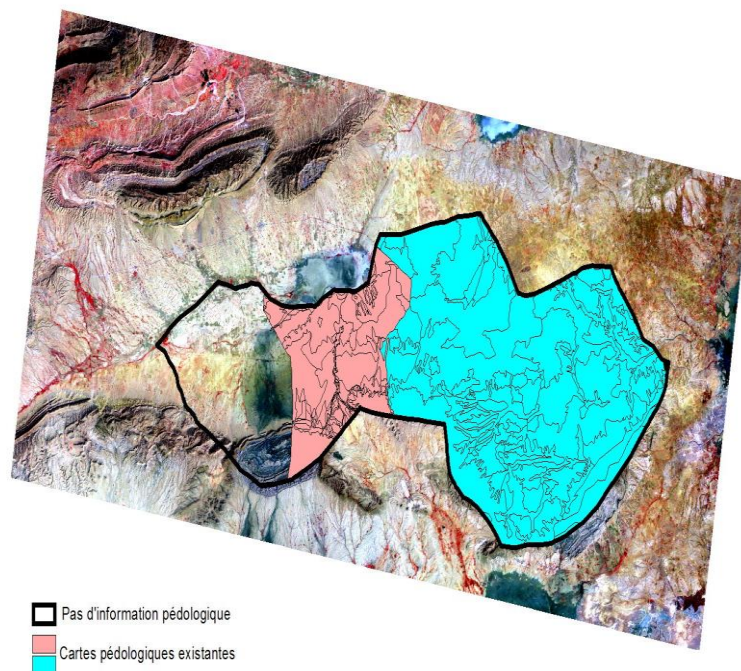


Figure 3 : *Esquisse cartographique préparatoire des ressources en sols au 1/100 000 couvrant quelques localités de la zone d'étude*

3-3. Prospection pédologique

La base des données pédologique a été complétée par des prospections de terrain réalisées principalement pour accomplir et détailler l'information pédologique au niveau des zones non cartographiées. Dix huit profils pédologiques ont été effectués. Ces profils ont servi à la description des sols et le prélèvement des échantillons afin de déterminer leurs caractéristiques physico-chimiques (texture, caractéristiques hydrologiques, matière organique, etc.).

3-4. Approche spatiale par télédétection

3-4-1. Prétraitement des données satellitaires

Avant de procéder à la stratification numérique de l'image satellitaire, une série d'opération de prétraitement sur ENVI est rendu nécessaire afin de faciliter son exploitation :

- La correction géométrique ou le géoréférencement de l'image satellite Landsat TM7 par rapport aux deux cartes topographiques au 1/100 000 couvrant la zone : la carte de Sidi Mansour et la carte de Bou Oumran.
- Le rehaussement de l'image satellite afin d'améliorer son apparence et faciliter l'interprétation et l'analyse visuelle de la scène. Cette opération a été réalisée par une augmentation du contraste entre les différents éléments de l'image en jouant sur la dynamique de ses valeurs radiométriques représentées par l'histogramme de fréquences.
- La délimitation de la zone d'étude et son extraction à partir de l'image.

3-4-2. Classification supervisée de l'image satellite

L'homogénéisation et l'adaptation de la nomenclature systématique des trois cartes pédologiques nous ont permis de saisir les coordonnées spatiales des régions d'intérêts adéquates pour la cartographie des ressources en sol de la région d'étude grâce à un système de GPS portable de la marque MAGELLAN. Au total, une soixantaine de régions d'intérêts ont été saisies et ordonnées dans un tableau qui comprend les coordonnées en Latitude et longitude de chaque point ainsi que sa correspondance thématique relevée de l'esquisse cartographique obtenue par jointure spatiale. Plusieurs missions de terrain ont été ensuite accomplies pour valider ces classes et garder les points les plus proches de la réalité terrain. Au final, un ensemble de quarante points a été retenu pour représenter un ensemble de huit classes thématiques.

Une fois ces points sélectionnés, nous avons procédé à la digitalisation à l'écran des régions d'entraînement. Cette tâche est l'une des opérations les plus délicates sur laquelle repose tout le processus de classification supervisée. Chaque échantillon digitalisé doit être radiométriquement le plus homogène possible et doit donc avoir l'écart-type le plus faible. Le tableau 1 représente la moyenne radiométrique ainsi que les écart-types des régions d'intérêts sélectionnées sur la base de la composition colorée de l'image satellite.

Les images satellites Landsat TM admettent par définition 7 bandes spectrales. Chaque bande spectrale correspond à une portion du spectre électromagnétique qui rend compte d'une caractéristique bien déterminée de la surface du sol. Mais, comme le logiciel ENVI que nous possédons exige un nombre maximal de trois bandes pour afficher et traiter une composition colorée, nous nous sommes contraints de choisir les bandes qui présentent le moins de redondance quant à l'information relative à la nature des sols. Dans ce cadre, plusieurs travaux de recherche ont montré l'intérêt des triplets de canaux 1, 2, 3 ou 1, 3, 7 de TM dans le domaine minéral [8]. Dans un travail de Michot [9], la comparaison des analyses discriminantes effectuées sur 32 types de canaux différents a montré que les données de réflectance spectrale mesurées dans le visible se caractérisent par une plus faible capacité à différencier les unités de sols. Les mesures de réflectance dans le PIR offrent un pouvoir de discrimination des sols supérieur au visible. Pour ceci, la composition colorée mettant en jeu les canaux (TM4, TM7 et TM2) nous a paru une combinaison adaptée pour la cartographie pédologique, Le **Tableau 1** met en évidence les caractéristiques radiométriques des différentes régions d'entraînement choisis dans ces trois bandes.

L'algorithme choisi pour établir le processus de classification est celui du maximum de vraisemblance. Cet algorithme basé sur des approches probabilistes qui s'appuient sur une méthode statistique qui fait le calcul des fonctions de vraisemblance d'un pixel donné par rapport aux classes existantes pour pouvoir l'affecter à une classe donnée [10]. Cette carte issue de la classification reste sans utilité si elle n'est pas évaluée et validée. L'opération de validation est rendu possible grâce à deux moyens : d'abord une évaluation statistique dont la base principale est la matrice de confusion ensuite une validation thématique par comparaison avec les documents cartographiques déjà existants et par retour sur terrain.

Tableau 1 : Propriétés radiométriques des régions d'entraînements

Régions d'entraînements	Code	TM4		TM7		TM2	
		Moy	Et	Moy	Et	Moy	Et
Sols peu évolués d'apport et sols halomorphes	1	92,71	5,49	95,6	4,59	62,38	4,67
Sols hydromorphes	2	109,64	1,98	115,74	4,25	66,82	2,04
Sols minéraux bruts d'apport éolien	3	114,03	2,89	123,25	3,82	70,19	2,29
Sols calcomagnésimorphes gypseux	4	98,36	2,91	98,11	3,71	60,35	2,47
Sols isohumiques	5	94,04	4,85	98,85	5,67	58,19	3,5
Sols peu évolués d'apport hydrique	6	105,55	2,17	108,33	2,44	65,91	1,81
Sols peu évolués d'érosion	7	86,27	7,76	80,56	5,92	52,69	5,52
Sols minéraux brutes d'érosion	8	89,62	9,24	77,05	14,88	58,21	5,77

4. Résultats et discussion

Le résultat de la classification supervisée de l'image satellite est une image mono-bande qui représente la carte des ressources en sols dont les classes sont prédéfinies par les régions d'intérêts. La matrice de confusion de la classification de la composition colorée de l'image est donnée par le **Tableau 2**. Cette matrice n'est qu'un tableau de contingence qui confronte la réalité de terrain aux résultats de classification. L'indice de précision global (overall accuracy index) est très satisfaisant et est égal à 86,5 %. En effet, 5040 parmi les 5826 pixels qui constituent la fenêtre d'intérêt couvrant la zone d'étude sont bien classés. D'après ce tableau les 8 classes prédéfinies ont été bien discriminées par le classificateur du maximum de vraisemblance avec une correspondance presque parfaite (99,8 %) pour les sols halomorphes : ceci est expliqué par la forte réflectance des sols salins dans les domaines du proche infrarouge. Les sols les plus sujets à des confusions thématiques sont les sols peu évolués d'érosion et les sols minéraux bruts d'érosion avec des confusions respectivement de l'ordre de 10,48 % et 10,63 %.

Tableau 2 : Matrice de confusion

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Sols peu évolués d'apport alluvial (1)	99,8	0	0	0	0,06	0	0	0	8,7
Sols hydromorphes (2)	0	84,02	9,73	0,2	0,26	5,44	0	0	8,53
Sols minéraux bruts d'apport éolien (3)	0	10,79	89,14	0	0,19	0,6	0	0	11,83
Sols calcomagnésimorphes gypseux (4)	0	0	0	90,87	8,14	0,6	2,35	3,87	10,71
Sols isohumiques (5)	0,2	0	0,42	4,46	83,07	3,32	3,57	1,37	23,62
Sols peu évolués d'apport alluvio-colluvial (6)	0	4,15	0,28	1,83	5,62	90,03	0	0,91	7,21
Sols peu évolués d'érosion (7)	0	0	0	1,22	0,84	0	83,45	10,48	19,98
Sols minéraux brutes d'érosion (8)	0	1,04	0,42	1,42	1,81	0	10,63	83,37	9,42
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

La couverture pédologique ainsi réalisée (*Figure 4*), révèle une grande diversité des sols dans la région d'étude. Ces différents types de sols sont caractérisés comme suit :

Sols calcomagnésimorphes gypseux

Ce sont des sols peu profonds, gypseux, à croûte ou encroûtement gypseux sur Miopliocène gypseux ou marne gypseuse du Weald. On les rencontre partout dans la zone d'étude, mais ils caractérisent essentiellement les glacis d'ablation et les terrasses des oueds et les dépressions fermées (Sebkhet Sidi Mansour, Sabkhet Zograta et Hajri). Ils s'étendent sur une superficie totale de 7 896 ha.

Sols minéraux bruts d'érosion

Ces sols sont les plus répandus dans la zone d'étude et couvrent une superficie de 10 256 ha. Cette classe est subdivisée en deux sous-classes :

- Les lithosols : sont les sols très peu profonds et reposent sur une roche dure (dolomies) ou sur une croûte calcaire dure. Ils correspondent à surfaces quaternaires anciennes (témoins du villafranchien) qui ont été fortement érodées et qui ne sont pas couvertes par des apports récents en raison d'une érosion hydrique et/ou éolienne active. Ces sols se rencontrent sur des Jbels et les hauts piémonts essentiellement au niveau de Djebel Haira, Djebel Idoudi, Djebel Tbagha fatnassa, Djebel El Baida et Djebel Lefaia
- Les régosols : Ces sols sont peu répandus dans la zone d'étude et se localisent principalement sur les hauts et les moyens glacis de la zone d'El Fejj et Mhemla. Ces sols se présentent souvent sur des matériaux marneux associés parfois à des lithosols et des sols calcomagnésimorphes à croûtes gypseuses.

Sols minéraux bruts d'apport éoliens

Il s'agit des sols constitués par des apports éoliens, des sables mobiles, non évolués sous forme de dunes éparses ou groupées (ergs). Ces sols occupent une superficie très réduite. Ils représentent que 2,3 % de la superficie totale de la zone d'étude et se localisent au niveau des plaines sableuses de Menzel Habib et Zograta.

Sols hydromorphes

Ces sols se localisent principalement dans des dépressions fermées inondables temporairement (Hajri, Féjij, Zograta et Fatnassa). Ils se caractérisent par l'existence d'une nappe phréatique temporaire relativement salée en profondeur et présentent des accumulations gypseuses sous forme d'amas et de nodules. Cette classe couvre une superficie de 816 ha.

Sols isohumiques

Cette classe s'étend principalement sur les plaines de l'est et du centre de la zone d'étude et couvrent une superficie de l'ordre de 5 845 ha. Il s'agit des sols à complexe de saturé témoignant d'un pédoclimat frais, caractérisés par une texture légère avec une proportion de sable relativement importante, et un horizon superficiel supérieur à 40 cm. Dans cette classe, on rencontre essentiellement les sols bruns associés à des sols à croûtes ou encroûtement gypseux et à des sols peu évolués d'apport à faciès isohumiques.

Peu évolué d'érosion régosolique

Cette classe est très représentés dans la zone d'étude et couvrent une superficie de 8 785 ha. Ce groupe de sols sont relativement profonds, généralement à texture fine sablo-limoneuse. Il s'agit d'un sol résultant d'un décapage continu, par l'eau et le vent, des horizons superficiels et la mise à nu des horizons meubles d'accumulation calcaire des anciens sols bruns subtropicaux, des siérosems où la reprise de l'érosion hydrique sur certains glacis d'accumulation de piémont.

Peu évolué d'apport alluvial

Ce groupe est localisé sur les moyennes et hautes terrasses des oueds et l'aval des systèmes de drainage dans les zones d'épandage des oueds, les zones endoréiques. Ces sols de texture sablo-limoneuse à argilo-sableuse à sables fins sont toujours saturés, assez bien pauvres en matière organique (0,5 à 0,7 %), souvent profond et fréquemment soumis à l'influence de nappes phréatiques ou d'inferoflux plus ou moins salés. Ils sont sans cesse rajeunis par des apports alluviaux lors des années pluvieuses ; certains présentent des caractères d'halomorphie et d'hydromorphie au niveau de sous groupe [2]. Il occupe une superficie très réduite de 390 ha.

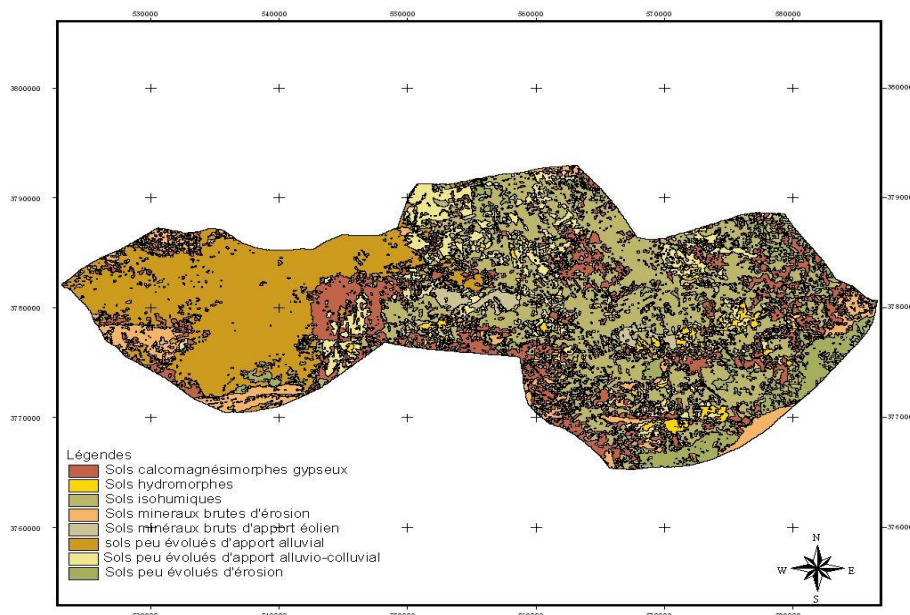


Figure 4 : *Carte des ressources en sols de la zone de Menzel Habib*

Peu évolué d'apport alluvio-colluvial

Il s'agit essentiellement des sols se développant sur les glacis d'accumulation dans les zones de « Séguis » formés de la coalescence des éboulis des reliefs et des épandages divagants des oueds. En plus de leur charge en éléments grossiers, ils présentent les mêmes caractéristiques que les sols d'apport alluvial [2] Cette classe couvre une superficie de 8 478 ha.

5. Conclusion

Ce travail mené dans la région des basses plaines méridionales, a permis de présenter une nouvelle méthodologie d'élaboration d'une carte pédologique de vastes régions non encore cartographiées.

Pour pouvoir cartographier ces unités pédologiques, on a procédé par la présente étude à la proposition d'une méthodologie rapide et moins coûteuse, basée sur les processus de classification multi-spectrale d'image satellite. Deux méthodes de classifications ont été utilisées : la classification non supervisée et la classification supervisée. L'élaboration de cette pré-classification non supervisée nous a permis de dégager des régions d'intérêts relatives à chaque classe de sols existantes. Ces régions ont servi de zones d'entraînement pour amorcer une classification supervisée. Cette méthode est jugée être plus interactive, donc plus satisfaisante, vu qu'elle permet à l'interprète de choisir et de diriger l'étiquetage des classes en valorisant toutes les connaissances dégagées du terrain d'une part et de la bibliographie cartographique d'autre part.

Le résultat d'une telle démarche cartographique a permis de dresser un support cartographique en huit unités pédologiques de la région des basses plaines au 1 : 50 000.

L'analyse de ces unités-pédologiques, ainsi obtenue, nous a permis de constater que :

- 20,21 % de la superficie totale de la zone d'étude correspond à des sols sensibles à l'érosion hydrique et éolienne. Ces superficies caractérisent principalement les glacis et les plaines sablo-limoneuses et limono-sableuses de la zone ;
- 41,8 % de la superficie totale de la zone d'étude correspond à des sols qui ont atteint un seuil de dégradation très avancé. Il s'agit des sols peu profonds avec affleurement très fréquent de la roche géologique.

Références

- [1] - C. FLORET, E. LE FLOC'H, R. PONTANIER et F. ROMANE, « Modèle écologique en vue de la planification et de l'aménagement agro-pastoral des régions arides : Application à la région de Zougrata ». PNUE/CEPE/ORSTOM/IRA/DRES, Document technique, N° 02 (1978).
- [2] - C. FLORET et R. PONTANIER, « L'aridité en Tunisie présaharienne : climat, sol, végétation et aménagement ». *Travaux et document de l'ORSTOM* N°150, Paris (1982).
- [3] - J.-M. D'HERBES, O. GAYTE et M. LOIREAU, « SIEL-Roselt: bases conceptuelles et organisationnelles pour la création de systèmes d'information sur l'environnement adaptés aux besoins du programme Roselt de l'OSS. Développement d'un SIEL Roselt local à partir du territoire de l'observatoire de Banizoumbou (Niger) ». *Travaux et document de l'ORSTOM, OSS/IARE, Montpellier* (1997).
- [4] - M. LOIREAU, « Dynamique des paysages sahétiens dans le sud-ouest nigérien : bilan entre productivité du milieu et prélèvements par les populations rurales », Thèse doctorat à l'Université de Paul Valéry- Montpellier (1998).

- [5] - R. ESCADAFAL, « L'étude de la surface du sol dans les régions arides (Sud-Tunisien) ». Recherches méthodologiques. E.S N° 187, DRES-TUNIS (1981), 64.
- [6] - R. PONTANIER, « Etude pédologique d'EL HAMA Nord ». 2 cartes couleur au 1/100000, DRES-TUNIS, N° 460 (1972).
- [7] - P. LANGLE, « Etude pédologique de la plaine de Ségui (Tunisie) ». Carte de reconnaissance des sols au 1 : 100 000, SOGETIM, (1959).
- [8] - N. BOULAHOUAT et B. NEART, "Télédétection des ressources en sols en zones arides : une méthode d'inventaire adaptée au travail sur le terrain, expérimentée sur la région de Djelfa (Algérie) », *Revue d'Étude et Gestion des sols*, Vol 03, N° 01(1996), 7-26.
- [9] - D. MICHOT, « Intérêt de la géophysique de subsurface et de la télédétection multispectrale pour la cartographie des sols et le suivi de leur fonctionnement hydrique à l'échelle intraparcellaire », Thèse de l'Université Pierre et Marie-Curie – Paris VI (2003).
- [10] - R. CALOZ, et C. COLLET, « Traitements numériques d'images de télédétection ». Précis de télédétection, Presses de l'Université de Québec et Agence universitaire de la Francophonie-Sainte-Foy (Québec), Vol 03, xvi (2001), 386.