

N° : 18/2004 - M/S.N

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE
USTHB - ALGER

FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MAGISTER

En Sciences de la Nature

Spécialité : **Ecologie et Environnement**

Par : **Hourizi Ratiba**

THEME

**Contribution à l'étude d'un écosystème à *Lygeum spartum* L.
dans le Sud Oranais : diagnostic phytoécologique et
cartographique**

Soutenu le 20 Décembre 2004, devant le jury composé de :

Mme F. KHEMMAR	Professeur, USTHB, Alger	Présidente
Mme D. NEDJRAOUI	Professeur, USTHB, Alger	Directrice de thèse
Mme H. KADI – HANIFI	Professeur, USTHB, Alger	Examinatrice
Mr A. DERRIDJ	Professeur, Université de Tizi-Ouzou	Examineur
Mr A. BOUZENOUNE	Chargé de cours, USTHB, Alger	Examineur
Mr A. HIRCHE	Chargé de cours, USTHB, Alger	Examineur

RESUME

Le présent travail est réalisé dans la région du Sud-oranais au Sud du Chott Ech Chergui.

Ce travail a pour objectif la connaissance de l'état actuel de la végétation par une analyse floristique, une description de l'état de l'écosystème et par la cartographie de la végétation en utilisant les données de télédétection spatiale.

Une description floristique de la végétation et de l'état de l'écosystème nous ont permis de mettre en évidence l'importance de la dégradation de la végétation pérenne, et particulièrement celle de l'alfa, du sparte et localement de l'armoise blanche. Par ailleurs une diminution du recouvrement de la végétation a été observée. Cette dégradation a entraîné un changement et une régression de la composition floristique qui semble être la conséquence d'une action anthropozoiqque accentuée.

En zones arides, la dégradation et le faible couvert végétal présentent des contraintes pour la cartographie de la végétation à moyenne échelle. L'utilisation des techniques de télédétection présente des limites d'usage pour ces zones, mais restent toujours un moyen de cartographie très efficace pour la définition de l'état de l'écosystème.

Mots clés :

Steppe, Cartographie, Télédétection, dégradation.

**** REMERCIEMENTS ****

Ce travail a été inscrit dans un programme de recherche ROSELT (Réseau d'Observation et de Surveillance à Long Terme), réalisé au laboratoire d'écologie et Environnement FSB*/USTHB.

Il m'est agréable de remercier toutes les personnes qui ont contribué et ceux qui m'ont aidée et soutenue toute au long de la réalisation de ce travail :

Madame KHEMAR Malika qui malgré ses responsabilités et ses nombreuses occupations a bien voulu prendre un peu de son temps et m'honorer à présider mon jury.

Madame NEDJRAOUI Dalila, mon directeur de thèse, qui a suivie et orienté ce travail et pour ces fructueuses critiques et corrections et le temps qu'elle m'a consacré malgré ses occupations. Qu'elle soit remerciée pour la confiance qu'elle m'a témoignée durant le déroulement.

J'exprime mes profonds remerciements pour Madame KADIHANIFI YASMINA de mettre à notre disposition tous le matériel nécessaire, au sein de son laboratoire, qui a servi énormément dans la réalisation de notre travail. Qu'elle soit également remerciée d'avoir accepté juger ce travail.

Monsieur DERRIDJ de l'université de Tizi Ouezou, qui a accepté avec beaucoup de gentillesse de juger ce travail malgré ses nombreuses activités de Professeur.

Monsieur BOUZENOUNE AMAR à qui je tiens à présentés vivement mes exceptionnelles reconnaissances pour ces nombreuses discussions scientifiques, ces critiques et ces larges connaissances qui ont aidé dans l'orientation de ce travail, et son inquiétude qu'il a fait preuve pour le bon avancement de mon travail ainsi que ses perpétuels encouragements. Je lui présente mes plus profondes gratitude de m'avoir honoré toujours et de me faire profiter encore de ces remarques bénéfiques en examinant ce travail.

Monsieur HIRECH RIAD à qui vont mes sincères remerciements et ma grande reconnaissance pour les séances de travail très fructueuses qu'il m'a accordé et ces conseils très constructifs et pour son esprit critique et le niveau d'appréhension qui m'a inculqué durant mon travail sans oublier ces efforts et ces directives sur le terrain. Je le remercie également d'accepter de juger mon travail en étant certaine qu'il apportera des plus pour la présente étude comme il a toujours fait avec moi.

A la mémoire de notre grand Professeur M. MEDIOUNI KOUIDER, qu'on a eu du mal à accepter sa séparation, mais il reste toujours présent dans nos esprits, je tiens à le remercier et je lui suis très reconnaissante pour la qualité de son enseignement et pour la confiance qui m'a témoigné, cette confiance m'a donné beaucoup de courage pour poursuivre et finaliser ma thèse.

Je tiens à présenter mes sincères remerciements à Monsieur SALAMANI Mustapha de m'avoir consacré de son temps chaque fois que je lui demande sans la moindre hésitation de sa part.

* F.S.B. : Faculté des sciences Biologiques.

Mes très grands remerciements et plus profondes reconnaissances vont s'adresser à M. BOUDERBA Djaffer pour son aide, ses orientations et ses encouragements durant toute la durée de mon travail et son soutien dans les moments les plus difficiles. Au même titre je remercie M. ADDAR Abdelkader pour son soutien morale, son aide, ses conseils et ses encouragements. Je présente ma gratitude à Melle GANA Lynda qui m'a honoré par ses services et d'avoir été toujours à mes côtés dans les moments les plus difficiles.

Mes remerciement vont aussi à Melle OMARI Lynda qui ma soutenu et énormément aider et avec qui j'ai partager l'émotion de terrain.

Il m'est très agréable de remercier M. le conservateur des forêts de la wilaya de Nâama de nous avoir réquisitionner le véhicule et un chauffeur, qui nous a énormément aidé, durant toute la période de terrain. Mes remerciements vont aussi au technicien de la station de Mecheria, pour son aide précieuse sur le terrain.

Je remercie M. HMIDA du laboratoire de biologie marine de m'avoir soutenu tout au long du mois d'août dernier. Je remercie également Melle Boussouf Louiza pour son aide et ses encouragements. Je présente mes gratitudes pour Melle SLIMANI Hakima de m'avoir aider par une documentation très précieuse.

Je ne pourrais oublier de remercié mes amis : MAMES Kahina, REZOUG Fouzia, KALIA Faiza, ADDAR Abdelkader, AIT OUEKLI Lyasid, RACHDI Sabrina, OUDINACH Rabah, OMARI LYNDA, BOUDERBA Rym, BABA Karima, ADI Nacer, MERBAH Farida, BERCHICHE Lynda, CHERIFI Toufik de m'avoir soutenus dans les moments les plus difficiles.

A ma famille qui me supporte depuis tant d'années et surtout : A ma mère et mon père qui mon toujours encourager, conforter, soutenus, et sans leurs aide ce travail ne n'aurait jamais pu voir le jour, et c'est bien à eux que je ne saurais exprimer mes plus profondes reconnaissances même en écrivant toute un livre pour leur démontrer l'énorme aide qui m'ont apporter. A toutes mes sœurs : Djaouida, Khalida, Nadia, Naziha pour toute l'aide qui m'ont apporter et pour leur compréhension. A mes grands parents et à mes oncles, mes tentes et mes cousines et cousins.

En fin à ma nièce Imane qui me remonte le morale très facilement et je souhaiterai qu'elle suivra le même parcours que ses tentes.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
Chapitre I - PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET CARACTERISTIQUES DES FORMATIONS A <i>LYGEUM SPARTUM</i>	3
1- PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	4
1.2- Caractéristiques Climatiques	6
1.2.1- Les précipitations	6
1.2.2- Les Températures	8
1.2.3- L'évapotranspiration.....	9
1.2.4- La neige.....	9
1.2.5- La gelée.....	10
1.2.6- Les vents	10
1.2.7- Synthèse Climatique	10
1.3- Géologie et Lithologie	16
1.3.1- Le Quaternaire	16
1.3.2- Le Tertiaire continental.....	16
1.3.3- Le Secondaire.....	17
1.4- La Géomorphologie	17
1.4.1- Les reliefs.....	17
1.4.2- Les surfaces plus ou moins planes	17
1.5- Les caractéristiques édaphiques.....	19
1.5.1- Les sols minéraux bruts	19
1.5.2- Les sols peu évolués.....	19
1.5.3- Les sols calcimagnésiques	20
1.5.4- Les sols halomorphes.....	20
1.6- La végétation.....	20
- La végétation forestière.....	20
- La végétation préforestière	20
- La végétation steppique	20
- Les formations à <i>Lygeum spartum</i>	21
1.7- Caractéristiques biologiques de la végétation de la zone d'étude.....	23
1.8- Caractéristiques phytogéographiques	
Chapitre II - METHODOLOGIE	26
1- DETERMINATION DES GROUPEMENTS VEGETAUX.....	27
2- LA CARTE D'OCCUPATION DES TERRES.....	27
2.1- LES DIFFERENTES ETAPES DE LA REALISATION DE LA CARTE D'OCCUPATION DES TERRES	28

2.1.1- Recherche documentaire et préparation de la campagne d'échantillonnage.....	28
2.1.3 - Traitement des données.....	30
2.2- UTILISATION DU SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG)	31
2.2.1- La saisie des données de terrain.....	32
2.2.2- Calage des cartes topographiques	32
2.2.3- La transformation des données du mode raster au mode vecteur	35
2.3- UTILISATION DE LA TELEDETECTION.....	37
2.3.1- Principes de la télédétection.....	38
2.3.2- Traitement des données de télédétection	46
<i>Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION</i>	59
1- RESULTATS DE L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES	60
1.1- Analyse globale.....	60
1.2- Analyse partielle	61
1.2.1- Signification des axes factoriels.....	61
1.2.3- La différenciation et définition des ensembles	69
1.4-Discussion	73
2 – ETUDE DE LA DEGRADATION	73
2.1- Rappel des concepts.....	73
2.2 - Analyse de l'état de l'écosystème.....	74
2.2.1- Le recouvrement de la végétation.....	75
2.2.2 - Le recouvrement des éléments de la surface du sol.....	77
3- CARTOGRAPHIE DE LA VEGETATION PAR TELEDETECTION	82
3.1- Les traitements géométriques	82
3.2 - Les traitements d'amélioration d'image	82
3.3 - Le choix de la meilleure trichromie et analyse visuelle.....	86
3.4 - la classification non supervisée.....	89
3.4 - la classification supervisée.....	89
3.4.1- Le choix des zones test	91
- CONCLUSION GENERALE	98
- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	101
- ANNEXES	111

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Situation géographique de la zone d'étude.....	5
Figure 2 - Evolution de la pluviosité annuelle dans les stations	7
Figure 3 - Régime pluviométrique des trois stations.....	8
Figure 4 - Positionnement des trois stations sur le diagramme des continentalités	13
Figure 5 - Positionnement des trois stations sur le climagramme d'EMBERGER	14
Figure 6 - Diagramme ombrothermique de Mecheria.....	15
Figure 7 - Diagramme ombrothermique de d'EL Bayadh.....	15
Figure 8 - Diagramme ombrothermique de d'El Khreider	15
Figure 9 - Le spectre biologique brut.....	24
Figure 10 - Le spectre phytogéographique brut	25
Figure 11 - Les données intégrées dans le SIG	31
Figure 12 - Saisie des données de terrain et élaoration d'une base de donnée	32
Figure 13 -Positionnement des relevés par l'utilisation d'un système de projection	33
Figure 14 - Cartes topographiques utilisées	34
Figure 15 -Choix de la projection pour le calage des cartes topographiques.....	34
Figure 16 - Passage du mode raster au mode vecteur	35
Figure 17 - Organigramme des différentes applications du SIG.....	36
Figure 18 - Rayonnement transmit par l'atmosphère.....	42
Figure 19 - Limites de la zone d'étude sur les images satellitaires.....	48
Figure 20 - Le choix de points de calage par	50
Figure 21 - Principe de calcul de l'indice de végétation.....	51
Figure 22 - Trransformation des comptes numériques par étalement dynamique	53
Figure 23 - Application d'un masque sur la zone de Djebel Antar.....	55
Figure 24 - Définition des zones test.....	56
Figure 25 - Organogramme des différentes étapes de classification supervisée	57
Figure 26 - Organogramme des différentes étapes des traitements de télédétection	58
Figure 27 - AFC globale: Représentation des relevés sur le plan factoriel des axes 1-2	60
Figure 28 - Dispersion dans le plan des axe 1-2.....	63
Figure 29 - Dispersion des relevés constituant l'axe 2sur le plan factoriel 1 et 2	66
Figure 30 - Représentation des ensembles I, II, III sur le plan factoriel des axes 1 et 2	69
Figure 31 - Représentation des ensembles IV et V sur la carte factorielle des axes 1 et 3	72
Figure 32 - Visualisation du néocanal "NDVI"	83
Figure 33 - Variations de valeurs radiométriques du NDVI).....	83
Figure 34 - Visualisation du néocanal "indice de brillance"	84
Figure 35 - Visualisation du néocanal " indice de rougeur".....	84
Figure 36 - Variation des valeurs radiométriques après étalement dynamique"NDV".....	85
Figure 37 - Les valeurs radiométriques du canal TM 3 (le rouge)	85
Figure 38 - Carte de l'état de la surface du sol (classification supervisée: 12 classes)	93
Figure 39 - Carte de l'état de la surface du sol (classification supervisée- 8 classes	95

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1- Les coordonnées géographiques des stations météorologiques	6
Tableau 2- Précipitations moyennes mensuelles et annuelles des trois stations.....	8
Tableau 3- Variations des températures dans la station de Mecheria	8
Tableau 4- Variations des températures dans la station de d'El Khreider	9
Tableau 5- Variations des températures dans la station de d'El Bayadh	9
Tableau 6- Valeurs du Quotient pluviométrique d'EMBERGER	11
Tableau 7- Indices xérothermiques annuels et types de climat correspondant	11
Tableau 8- Valeurs des indices de continentalité thermique des stations de référence	12
Tableau 9- Fréquences relatives des différents types biologiques	23
Tableau 10 - Gamme du spectre électromagnétique utilisés en télédétection	39
Tableau 11 - Principales caractéristiques des couples capteurs vecteurs utilisés en télédétection spatiale terrestre	44
Tableau 12- Caractéristiques des images couvrant la zone d'étude	45
Tableau 13- Caractéristiques écologiques des relevés à fortes contributions à l'axe 1	62
Tableau 14- Les espèces à fortes contributions à l'axe 1	62
Tableau 15- Autoécologie des espèces à fortes contributions à l'axe 1	64
Tableau 16 - Caractéristiques écologiques des relevés à fortes contributions à l'axe 2.....	65
Tableau 17- Les espèces de forte contribution à l'axe 2.....	67
Tableau 18- Autoécologie des espèces de forte contributions à l'axe 2.....	67
Tableau 19- Caractéristiques écologiques des relevés à fortes contributions à l'axe 3	68
Tableau 20- Les espèces de fortes contributions à l'axe 3	68
Tableau 21- Recouvrement de la végétation par type de faciès.....	76
Tableau 22- Les classes de recouvrement par éléments de la surface du sol.....	78
Tableau 23- Classification des relevés par importance des éléments de la surface du sol	79
Tableau 24- Matrice de corrélation des canaux et néocanaux	86
Tableau 25- Résultat du coefficient de l'Optimum Index Facteurs pour les 30 premières trichromies.....	88

INTRODUCTION

La végétation est l'expression synthétique d'un ensemble de facteurs du milieu (climat, sol, géomorphologie, lithologie...). Elle est fortement influencée par les différentes actions de l'homme.

Selon plusieurs auteurs, l'état de dégradation de la végétation des parcours steppiques algériens est le résultat d'une pression anthropozoïque continue qui ne date pas d'aujourd'hui.

La dégradation de ce patrimoine steppique est accentuée par l'aridité du climat qui rend ses écosystèmes de plus en plus fragiles et vulnérables. Plusieurs études phytoécologiques effectuées dans la région du Sud Oranais ont montré l'amplitude de cette dégradation. Parmi les plus récentes, nous pouvons citer celles de AIDOU (1989), SILIMANI (1995), KADI HANIFI (1998) ainsi que les travaux de l'URBT réalisés à travers le projet relatif à l'étude des changements écologiques à long terme (CAMELEO, 2000).

La gestion rationnelle de ces ressources naturelles nécessite une connaissance approfondie de l'état actuel de la végétation, des facteurs de dégradation ainsi qu'une surveillance continue des différents changements écologiques à long terme. Cette connaissance et ces inventaires exigent le choix de méthodes adéquates.

La cartographie constitue un moyen très utile pour la connaissance des ressources végétales. La réalisation d'une carte d'occupation des terres, à moyenne échelle, sur la base des images satellitaires et par utilisation du Système d'Information Géographique (SIG) peut avoir un grand intérêt dans la gestion de ces parcours. En effet, le SIG facilite la manipulation d'une grande masse d'informations géoréférencées et la télédétection, grâce à la répétitivité des scènes, à la bonne résolution spectrale et à la moyenne résolution spatiale et par la nature numérique des données (image numérique), permet la classification des images.

Les nouvelles méthodes de classification supervisées des images satellitaires constituent un moyen très efficace pour la cartographie thématique et permettent de classer l'image sans avoir recours à la photo-interprétation.

De nombreux travaux de cartographie de la végétation effectués en zones à faible couvert végétal, ayant utilisé des images satellitaires (ABIDI & *al.*, 1982 ; MANIERE & *al.* 1989 ; KERMAD, 1989 ; BASSISTY & *al.*, 1992; CNTS, 1992; BELKHIRAT & CHANGRIHA ; 1992 ; HIRCHE, 1995 ; CAMELEO, 1999), ont montré que la végétation ne peut être cartographiée qu'indirectement et par interprétation des images satellitaires. La question que nous nous posons est : l'amélioration de la résolution spatiale peut-elle avoir un effet sur la cartographie de la végétation dans ces zones ?

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de recherche de l'URBT¹ et du L.E.E² et plus particulièrement, dans celui du projet international ROSELT³. L'un des objectifs de ce projet concerne la réalisation de la carte d'occupation des terres.

L'objectif principal de cette étude est la description et l'interprétation de l'état actuel de la végétation existante dans la zone d'étude. Pour atteindre cet objectif nous avons utilisé les images satellitaires complétées par une analyse floristique de la zone d'étude.

La présente étude est structurée en trois principaux chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons une description de la zone d'étude et un aperçu sur les steppes à *Lygeum spartum* (répartition et écologie).

Le deuxième chapitre est consacré à la méthodologie détaillée utilisée dans ce travail. Celle-ci se divise en deux grandes parties : la première concerne la méthode de détermination des groupements végétaux et la seconde, l'établissement de la carte d'occupation des terres.

Le troisième chapitre portera sur la discussion des résultats obtenus par les différentes méthodes.

¹ URBT : Unité de Recherche des Ressources Biologiques et Terrestres.

² L.E.E. : Laboratoire d'Ecologie et Environnement.

³ ROSELT : Réseau d'Observation et de Surveillance à Long Terme.

Chapitre I

**PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET
CARACTERISTIQUES DES FORMATIONS
A *LYGEUM SPARTUM***

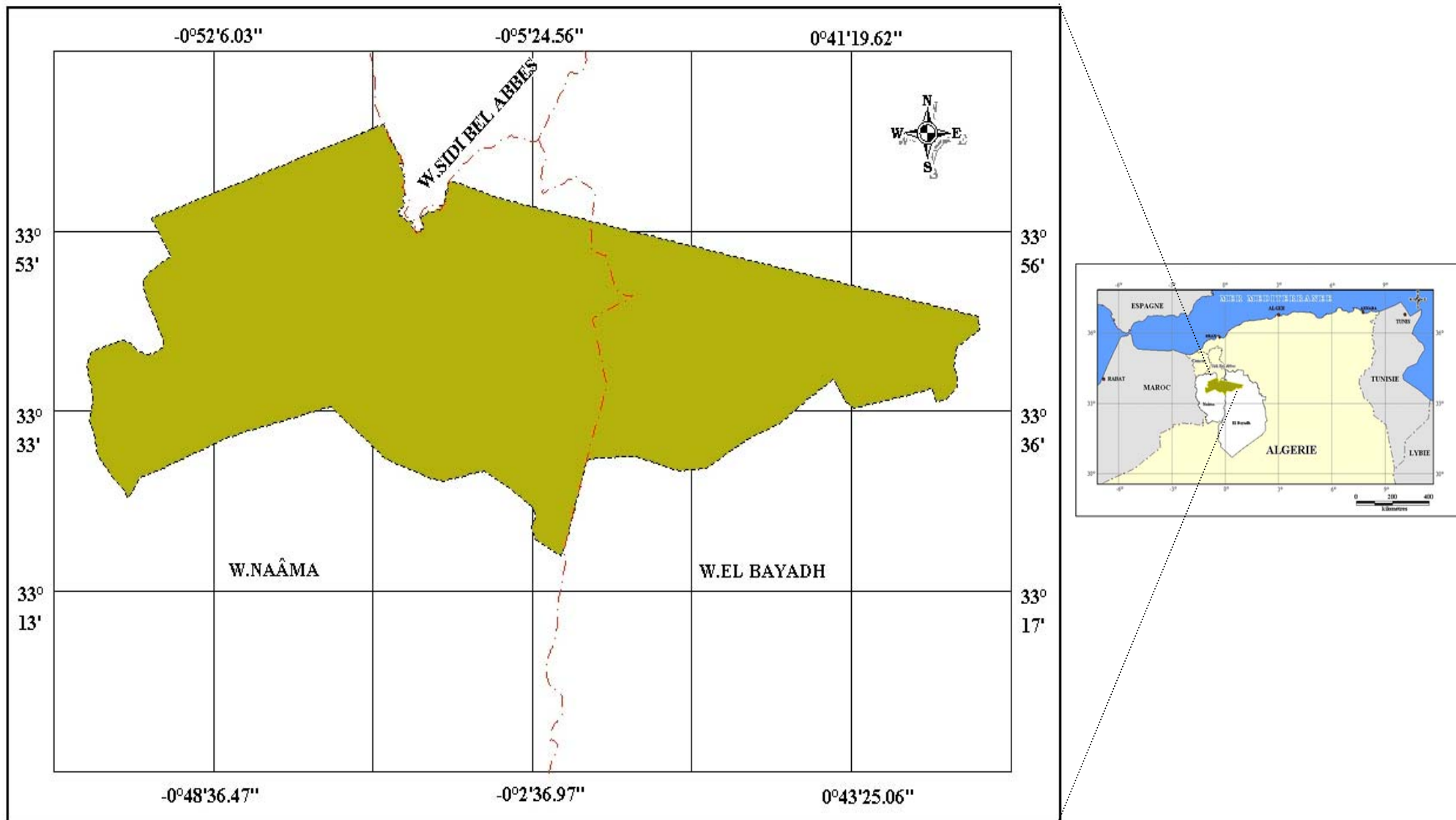


Figure 1- Situation géographique de la zone d'étude

1- PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1.1- Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude s'intègre dans le domaine des plateaux du Sud-Oranais (Fig.1) occupant une superficie de 1 079 000 ha. Elle est limitée au Nord par Chott Ech chergui, à l'Est par Djebel Ksel, à l'Ouest par Mekmen Ben Amar et au Sud par Djebel Kerrouch. Elle se situe entre les coordonnées géographiques :

X entre 34° 22' 54'' et 33° 39' 19'' Latitude Nord.

Y entre : -1° 05' 42'' Longitude Est et 01° 02' 46'' Longitude Est

Administrativement, la zone d'étude chevauche entre deux wilayas steppiques, El Bayadh et Naâma, elle rassemble les communes suivantes : El Biodh, Tousmouline, Mekmen Ben Amar et Mecheria.

Elle est limitée :

- au Nord par la wilaya de Sidi Bel Abbas;
- au Sud par la commune de Naâma, de Ain Ben Khellil et de Mehara;
- à l'Ouest par la commune d'El Kasdir;
- et à l'Est par les communes : de Rogassa et de Kef El Ahmar

1.2- Caractéristiques climatiques

Les paramètres climatiques retenus sont les précipitations et les températures. Ces paramètres s'avèrent être les plus importants pour la caractérisation climatique d'une région donnée.

Nous avons utilisé les données climatiques enregistrées par les stations de l'ONM*, en prenant en considération trois stations météorologiques principales (Tab. 1):

Tableau 1- Les coordonnées géographiques des stations météorologiques

Stations	Latitude	Longitude	Altitude (m)
El Khreider	34° 08' N	00° 05' E	1000
Mecheria	33° 33' N	00° 16' W	1170
El Bayadh	32° 46' N	00° 35' W	709

Les données couvrent une période de 30 ans (1970-2000) pour les données pluviométriques et une période de 10 ans (1990-2000) pour celles des températures.

1.2.1- Les précipitations

Les précipitations moyennes annuelles varient entre 116 et 357mm pour la station de Mecheria, entre 81,5 à 443 mm dans la station d'El Khreider et entre 83,5 à 435 mm pour la station d'EL Bayadh.

**Tableau 2- Précipitations moyennes mensuelles et annuelles des trois stations
(Période 1970-2000)**

Moyenne 1970-2000	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	P. Moy. annuelle
Mecheria	23,94	22,47	36,03	25,33	24,09	10,70	3,88	6,98	21,18	20,45	24,62	19,74	239,41
El Khreider	18,56	13,76	28,43	24,86	22,77	13,50	3,99	9,95	23,09	19,08	22,25	13,82	214,06
El Bayadh	24,09	20,48	33,00	23,29	23,01	16,85	5,28	10,61	23,45	22,59	23,23	22,44	248,32

Le tableau 2 montre que le mois le plus pluvieux est le mois de mars et le mois le moins pluvieux est le mois de juillet pour les trois stations.

* ONM : Office Nationale de la météorologie, Dar El Baida Alger.

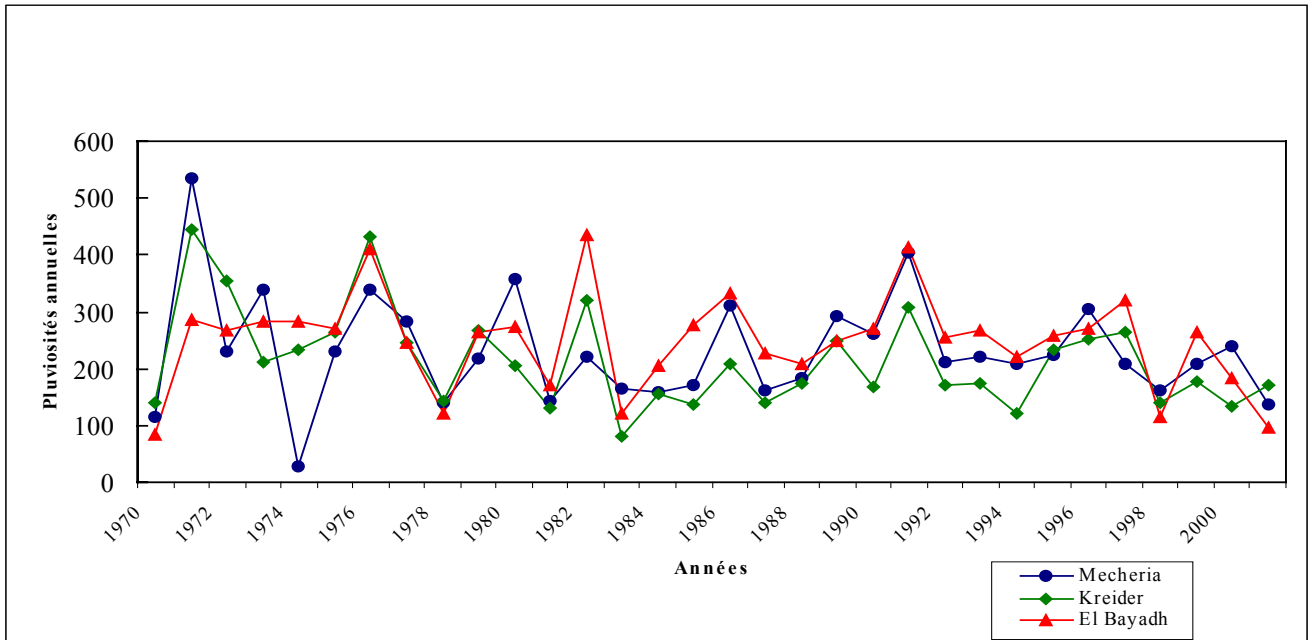


Figure 2 - Evolution de la pluviosité annuelle dans les stations de Mecheria, El Khreider et El Bayadh

On remarque une importante variabilité interannuelle des précipitations (Fig. 2), Pour la période 1970-2000 nous avons calculer le coefficient de variation (CV) des précipitations pour chaque stations Mecheria : $CV=0.44$, El Khreider : $CV=0.41$ et EL Bayadh $CV = 0.34$. Ce coefficient de varioation ce rapproche de celui donner par LE HOUEROU (1975) qui estime cette irrégularité de 40 à 50% en milieu steppique, sauf pour la station d'El Bayadh où on remarque une variabilité inférieur à 40%.

Pour les trois stations, l'évolution de la pluviosité entre 1970 et 2.000 montre des fluctuations importantes. Celles-ci sont plus importantes pour la station de Mecheria, irrégularité pluviale de 44%, où la pluviosité moyenne annuelle atteint un maximum de 500 mm en 1971, et un minimum inférieur à 100 mm en 1975.

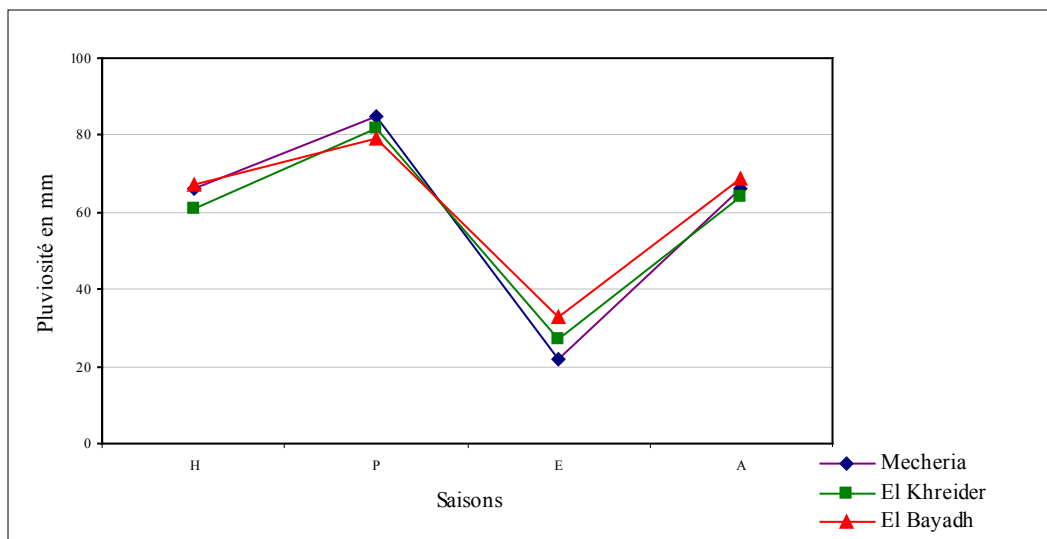


Figure 3 - Régime pluviométrique des trois stations

Hiver (H) : Décembre, janvier, février.
 Printemps (P) : Mars, avril, mai.
 Été (E) : Juin, juillet, août.
 Automne (A) : Septembre, octobre, novembre.

Le régime pluviométrique est de type P.A.H.E. pour l'ensemble des stations (fig. 3).

1.2.2- Les températures

La température est un paramètre déterminant pour la vie végétale. SAUVAGE (1963) considère que « La vie végétale se déroule entre deux extrêmes thermiques, la moyenne des minimums du mois le plus froid " m " et la moyenne des maximums du mois le plus chaud M». Les valeurs de ces extrêmes thermiques constituent un indicateur pour les seuils létaux (DJELLOULI, 1981) et jouent un rôle important sur la phénologie (AIDOUD, 1989 ; NEDJRAOUI, 1990).

Les différents paramètres relatifs aux variables thermiques sont reportés dans les tableaux 3, 4, 5.

Tableau 3- Variations des températures dans la station de Mecheria

Mois Paramètres	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
M	11,56	13,9	16,74	20	26,09	31,21	35,81	34,83	29,1	22,38	16,68	13,12
m	2,01	3,22	5,68	7,59	12,43	16,89	21,24	20,75	16	11,42	6,84	3,46
M+m/2	6,785	8,56	11,21	13,8	19,26	24,05	28,53	27,79	22,6	16,9	11,76	8,29

Tableau 4- Variations des températures dans la station d'El Khreider

Mois Paramètres	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
M	11,68	14,5	17,24	19,4	25,73	30,82	35,83	35,18	29,4	22,73	16,93	12,93
M	0,65	1,47	4,28	6,59	11,17	15,63	19,23	19,19	14,7	10,08	5,35	1,81
M+m/2	6,165	8,01	10,76	13	18,45	23,225	27,53	27,19	22,1	16,41	11,14	7,37

Tableau 5- Variations des températures dans la station d'El Bayadh

Mois Paramètres	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
M	9,42	12	14,8	17,9	24,3	30,29	33,26	33,72	28,3	21,21	14,8	11,82
M	0,37	0,82	3,74	5,79	11,19	16,32	19,74	19,45	15,2	9,73	4,31	0,86
M+m/2	4,895	6,43	9,27	11,8	17,75	23,305	26,5	26,59	21,7	15,47	9,555	6,34

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus froid en °C.

m : moyenne des températures minimales du mois le plus chaud en °C.

M+m/2 : Moyenne des températures moyennes en °C.

Nous constatons que le mois le plus froid pour l'ensemble des stations est le mois de janvier. La valeur de " m " étant de 2°C à Mecheria, 0.6°C au Khreider et de 0.3° C à El Bayadh. Le mois le plus froid coïncide avec la période hivernale.

Le mois le plus chaud est le mois de juillet pour les stations Mecheria et d'El Khreider avec " M " égal à 35.8°C. Pour la station d'El Bayadh c'est le mois d'août qui est le plus chaud avec un " M" égal à 33.7°C.

Contrairement aux précipitations les températures ne présentent pas des variations interannuelles importantes. L'amplitude thermique est relativement forte, elle est de 21,7 dans la station de Mecheria, 21,6 pour celle d'El Bayadh et 21,3 pour El Kheider.

L'effet des températures est souvent accentué par l'action desséchante du sirocco en période d'été.

1.2.3- L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est importante dans notre zone d'étude, et est conditionnée par des températures très élevées. Elle peut atteindre jusqu'à 14 fois la pluviosité annuelle.

1.2.4- La neige

La durée d'enneigement au sol a des conséquences sur l'écosystème à travers l'augmentation du potentiel hydrique du sol (plus la durée l'enneigement est longue plus le potentiel hydrique du sol augmente). Le nombre moyen annuel de jours d'enneigement est 3.80 pour la station de Mecheria (période 1989-1997) et de 3.62 pour EL Kheider (période 1991-1997 ONM).

1.2.5- La gelée

C'est un phénomène rencontré à basses températures, au-dessous de 0°C (SELTZER, 1946). Le nombre de jours de gelée est de 48 jours par an pour El Khreider et 40 jours pour Mecheria.

1.2.6- Les vents

Les vents dominants sont de direction Sud-Est et Sud-Ouest. Pour la saison d'été, les siroccos sont assez fréquents.

Le nombre de jours de sirocco à Mecheria est de 36 jours, il est très variable d'une année à une autre, les mois où le sirocco est plus fréquent sont les mois de juin et de juillet.

La zone d'étude est caractérisée par la fréquence des vents de sable avec un maximum de 16 jours pour Mecheria, 7 jours à El Bayadh et 13 jours pour la station d'El Khreider, entre 1970 et 2000.

1.2.7- Synthèse climatique

Plusieurs indices ont été établis par différents auteurs pour la caractérisation climatique et la classification bioclimatique des différentes régions.

1.2.7.1- Le Quotient pluviométrique d'EMBERGER (1955)

Pour caractériser le bioclimat, EMBERGER (1955) a proposé la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{1000P}{\frac{(M + m)}{2}(M - m)}$$

P : Pluviosité moyenne annuelle exprimée en millimètres.

M : Moyenne des maximums du mois le plus chaud.

m : Moyenne des minimums du mois le plus froid.

"M" et " m " sont exprimés en degrés kelvin.

M+m/2 : Température moyenne.

M-M : Amplitude thermique extrême moyenne.

La valeur du quotient pluviométrique varie en fonction inverse du caractère xérique du milieu. Plus la sécheresse annuelle globale est grande, moins la valeur du quotient est élevée.

Il est de 24, 26 à Mecheria, de 20,89 à El Khreider et de 25,65 à El Bayadh (Tab. 6).

Tableau 6- Valeurs du Quotient pluviothermique d'EMBERGER

Stations	Période 1970-2000
Mecheria	24,26
El Bayadh	25,65
El Khreider	20,89

1.2.7.2 - Indice xérothermique de BAGNOULS & GAUSSEN (1953):

L'indice xérothermique est exprimé par la formule de BAGNOULS & GAUSSEN (1953).

$$Xm = \left[mi \left[pi + \frac{bi + yi}{2} \right] \right]$$

Xm: indice xérothermique mensuel

m_i: durée du mois

p_i: Nombre de jours de pluies

b_i + r_i : Nombre de jours de brouillard et de rosée.

K_i : Constante variant en fonction de l'humidité.

Cet indice est calculé par mois sec. La somme des indices mensuels donne un indice annuel X. Cet indice a permis à ces auteurs d'élaborer une classification mondiale des climats, en combinaison avec la durée de la saison sèche.

BAGNOULS & GAUSSEN (1953) ont calculé les indices xérothermiques pour les stations de référence (Tab.7).

Tableau 7 – Indices xérothermiques annuels et types de climat correspondant

Stations	Indices xérothermiques	Climat
Mecheria	127	Thermoméditerranéen accentué
El Kheider	236	Subdésertique
EL Bayadh	101	Thermoméditerranéen atténué

1.2.7.3 - La continentalité

La continentalité d'une région donnée est exprimée par la combinaison entre les deux indices de continentalité thermique et pluviale (DAGET, 1977).

Indice de continentalité pluviale "C"

$$C = \frac{\text{Précipitations des 6 mois les plus chauds}}{\text{Précipitation des 6 mois les plus froids}}$$

Indice de continentalité thermique

$$K' = \frac{1,7A}{\text{Sin}(\Phi + 9h + 10)} - 14$$

- K' : Continentalité thermique.
- A : Amplitude thermique moyenne
- Φ : Latitude en degrés.
- h : Altitude en Kilometres.

Tableau 8- Valeurs des indices de continentalité thermique des stations de référence

Stations	A en (°C)	C	K'	Altitude	Latitude
Mecheria	21,74	0,61	31,63	1170 m	33° 33' N
El Khreider	21,37	0,76	31,41	1000 m	34° 08' N
El Bayadh	21,69	0,69	30,61	1341 m	33° 40' N

Le diagramme synthétique (Fig.4), des continentalités pluviale et thermique, montre la discrimination des climats méditerranéens, océaniques et continentaux en fonction des degrés des continentalités thermique et pluviale et permet de classer les trois stations de référence dans le climat méditerranéen semi-continental faiblement contrasté.

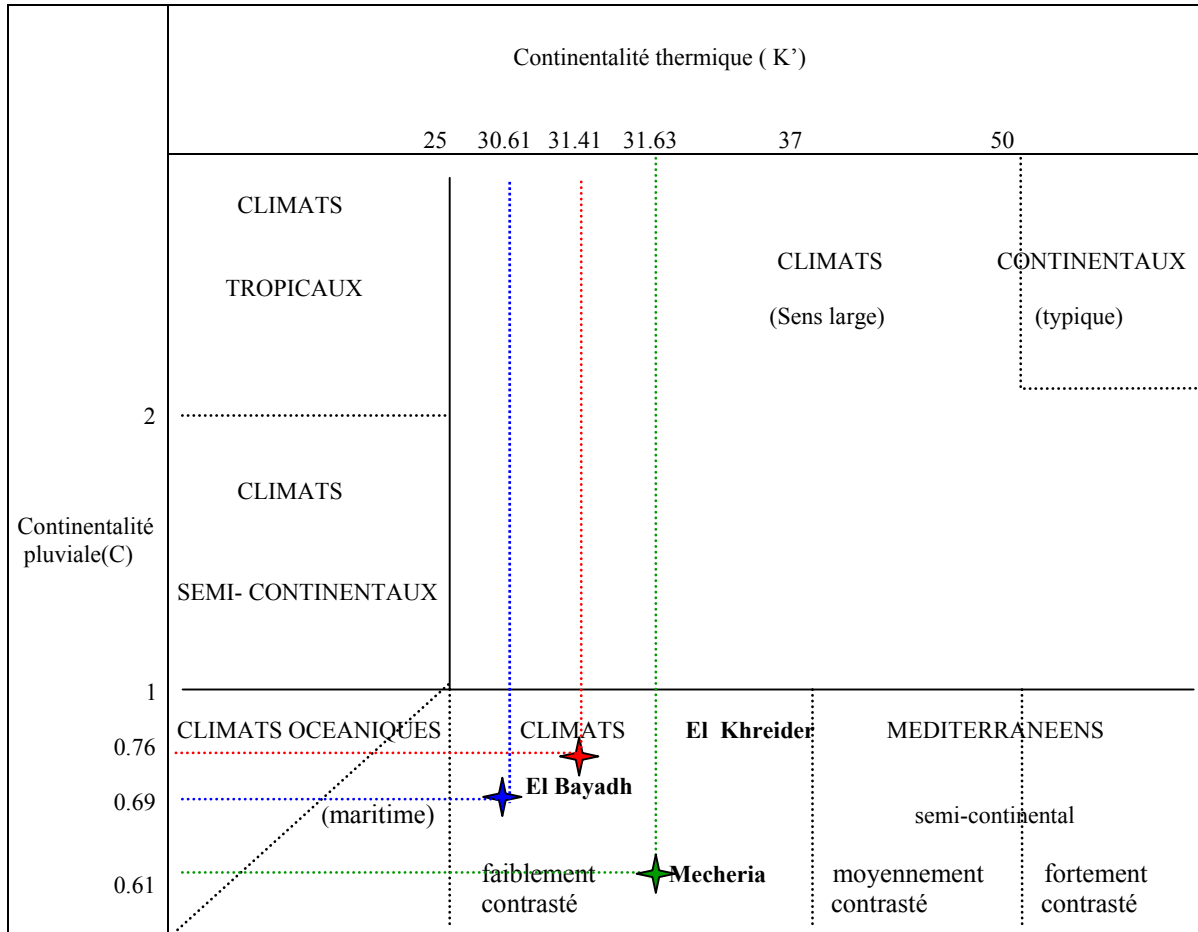


Figure 4- Positionnement des trois stations sur le diagramme des la continentalités

1.2.7.4 - Climagramme d'EMBERGER

EMBERGER (1930) propose une combinaison graphique entre le quotient pluviothermique en ordonnée, et la moyenne des minimums du mois le plus froid "m" en abscisse. Chaque station est donc placée en fonction de la valeur du Q_2 et du "m" (fig. 5). Ce climagramme a été légèrement modifié par AKMAN & DAGET (1981) in DJELLOULI (1990).

Ce diagramme nous permet de positionner nos trois stations comme suite :

- Mecheria dans l'étage bioclimatique méditerranéen aride moyen à hiver frais,
- El kheider dans l'étage bioclimatique méditerranéen aride inférieur à hiver frais,
- EL Bayadh dans l'étage bioclimatique méditerranéen aride supérieur à hiver frais.

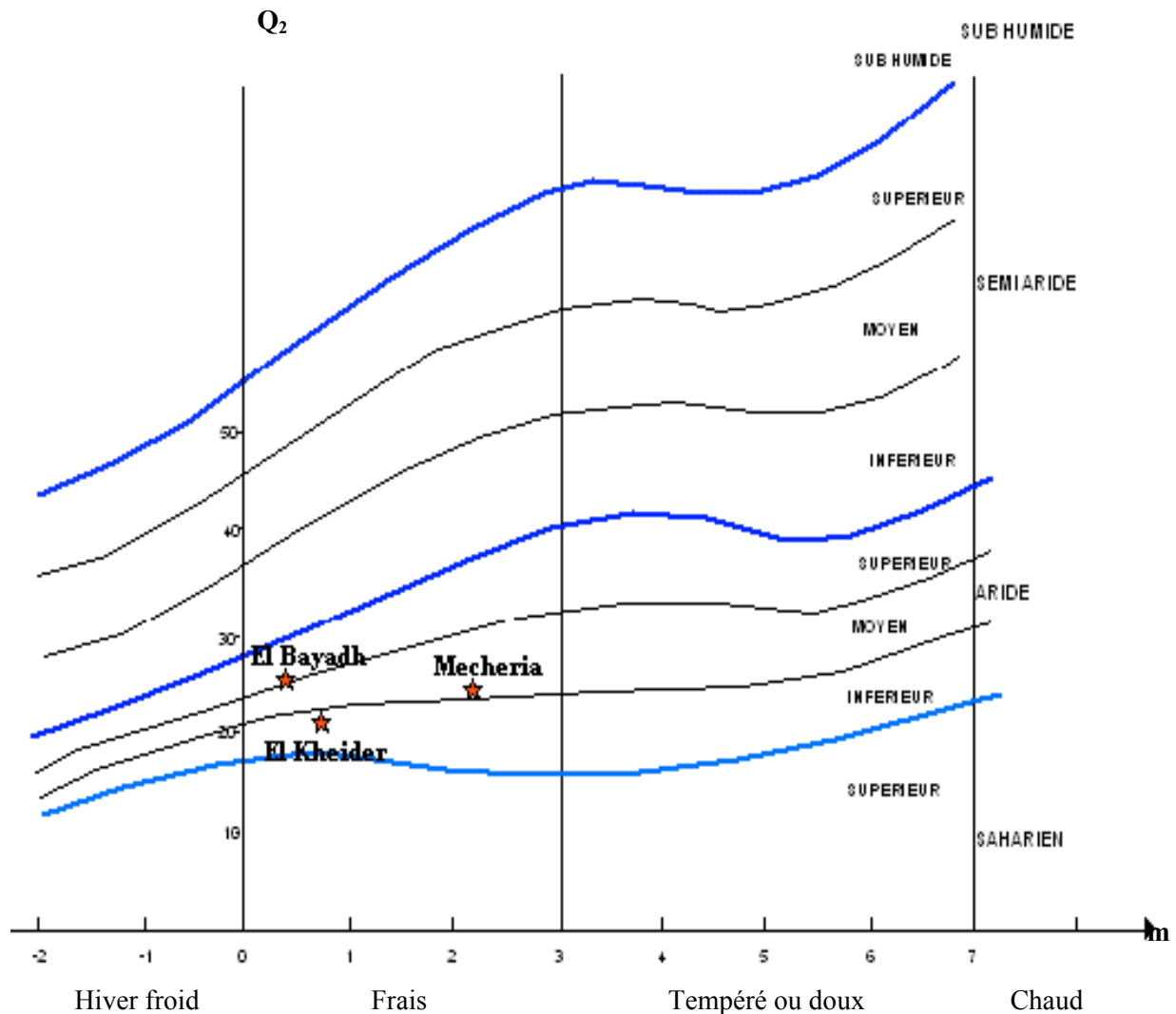


Figure 5- Positionnement des trois stations sur le climagramme d'EMBERGER

1.2.7.5 - Diagramme ombrothermique de BAGNOULS & GAUSSEN (1953)

BAGNOULS & GAUSSEN (1953) définissent un mois biologiquement sec comme le mois où le total mensuel des précipitations exprimé en millimètres est égal ou inférieur au double de la température moyenne exprimée en degré Celsius ($P \leq 2T$). Cette relation permet de représenter sur un même graphique les précipitations et les températures moyennes mensuelles. L'intersection des deux courbes, ombrique et thermique, détermine la durée et l'importance de la saison sèche.

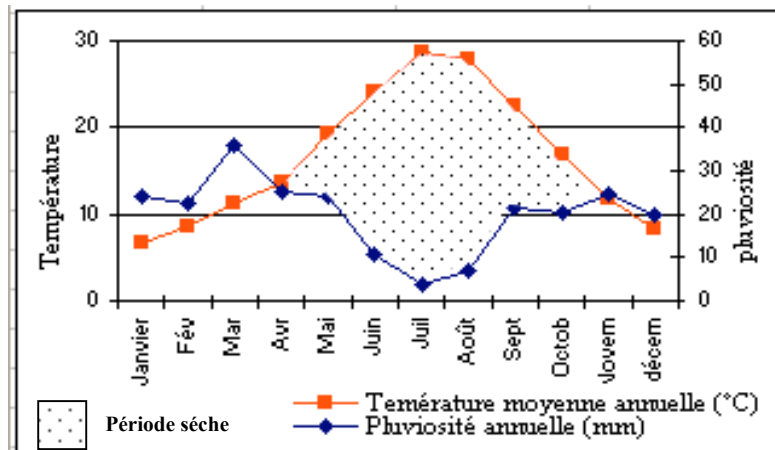


Figure 6- Diagramme Ombrothermique de Mecheria

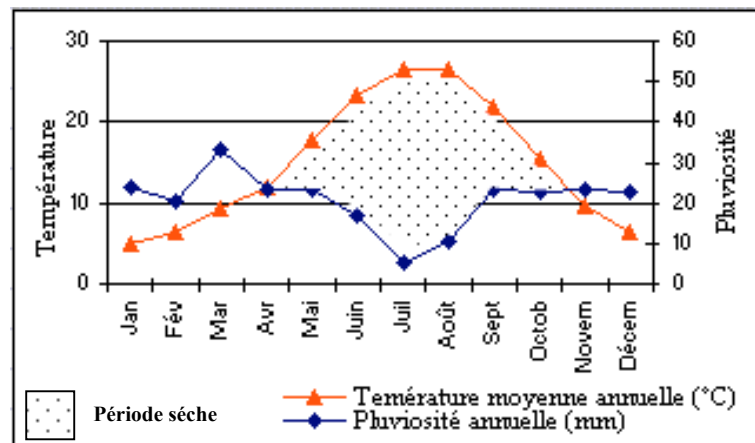


Figure 7- Diagramme ombrothermique d'El Bayadh

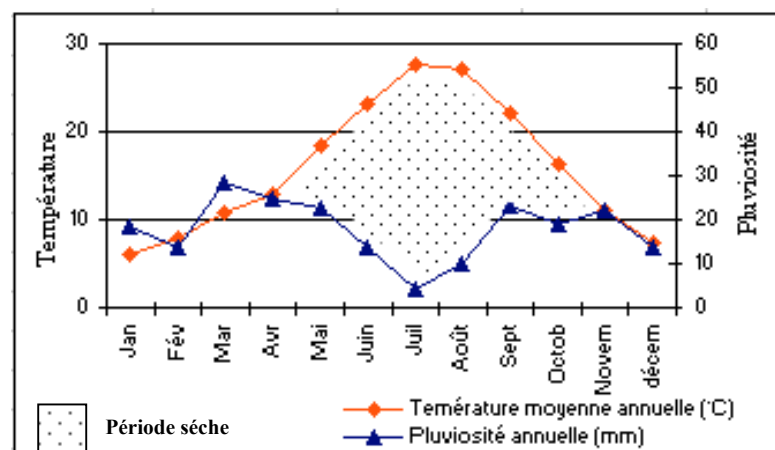


Figure 8- Diagramme ombrothermique d'El Khreider

L'examen des diagrammes ombrothermiques montre que la période sèche est de 7 mois pour les trois stations. La durée de cette période sèche traduit assez bien le caractère xérique des trois stations.

La zone d'étude est située sous un le climat méditerranéen, caractérisé par une sécheresse estivale avec une période sèche plus ou moins longue (7 mois en moyenne), semi continental faiblement contrasté. Le bioclimat est généralement aride supérieur et moyen variante à hiver frais. Pour la région montagneuse (Djebel Antar) le climat est semi-aride inférieur variante à hiver frais (DJELLOULI, 1981).

1.3- Géologie et Lithologie

La géologie a une action indirecte sur la répartition et développement des végétaux. D'une part, elle conditionne la réserve minérale du sol par la nature chimique du substratum géologique (effet sur la lithologie) et d'autre part, elle intervient dans la formation des reliefs (effet sur la géomorphologie). Cette action devient prépondérante en zone aride du fait du faible recouvrement de la végétation (ACHOUR & *al*, 1983).

Nous présentons ci-après les caractéristiques stratigraphiques de la zone d'étude, représentée principalement par les hauts plateaux du Sud Oranais, nous compléterons cette étude par une description du faciès lithologique :

1.3.1- Le Quaternaire

Le Quaternaire est présenté par des alluvions formées sur des encroûtements calcairo-gypseux, on distingue le Quaternaire continental et le Quaternaire récent.

- Le Quaternaire continental : il est représenté par des alluvions localisées surtout au niveau des dépressions.
- Le Quaternaire récent : il est formé des alluvions les plus récentes au niveau des dayas et aussi des dunes vives localisées à l'ouverture du Djebel Antar, sur les Mekmènes et au niveau de quelques Oueds.

1.3.2- Le Tertiaire continental

La zone d'étude, appartenant aux Hauts plateaux du sud oranais, est constituée essentiellement par le Tertiaire continental représenté par deux principaux faciès :

- Le Pliocène continental : ce sont des formations alluvionnaires caillouteuses sur calcaire lacustre, il représente le faciès le plus répandu dans la zone d'étude.
- Le Miocène continental : il est caractérisé par des dépôts continentaux formés de conglomérats, de grès et de limons rougeâtres, il se situe en bordure des chotts

1.3.3- Le Secondaire

Il est formé des faciès suivants:

- Le Turonien formé d'une série marine du crétacé et constitué par des bancs de calcaire dur.
- Le Cénomaniens formé d'une alternance de marne et de calcaires marneux.
- Le Jurassique constitué de calcaires et de dolomies, il se localise des reliefs des hauts plateaux (Djebel Antar).
- Le Trias comporte des argiles versicolores gypsifères et salines, violettes ou multicolores. Il apparaît très localisé (dans les dépressions).

1.4- La Géomorphologie

La géomorphologie est considérée comme une expression synthétique de l'interaction entre les facteurs climatiques et géologiques. L'appréciation de cette interaction diffère selon l'échelle de perception. LONG (1974) précise qu'à l'échelle régionale, ce sont les variations morpho-climatiques (variations des formes structurantes) qui prédominent, alors qu'à l'échelle de la station ce sont les variations lithologiques qui deviennent significatives.

Dans notre zone d'étude la géomorphologie est en relation avec la nature lithologique à moyenne échelle.

On distingue les formes géomorphologiques suivantes:

- Les reliefs ;
- les surfaces plus ou moins planes ;
- Les dépressions ;
- Les formes d'accumulation éolienne.

1.4.1- Les reliefs

En fonction de leurs particularités structurales, on distingue les reliefs en massifs et les reliefs collines.

Les reliefs en massifs sont représentés par le Djebel Antar culminant à 1700 m d'altitude et sont formés de roches dures (calcaires dolomitiques).

Les reliefs en collines sont appelés aussi glacis versant par POUGET (1980). Contrairement aux premiers, ces reliefs se développent sur roches tendres (marno-calcaire) dans la partie Est de la zone d'étude (Nord Est d'El Bayadh).

1.4.2- Les surfaces plus ou moins planes

En fonction de leurs rapports avec les reliefs et les cours d'eau, on distingue les glacis, les terrasses et les chenaux d'oueds alluvionnés.

1.4.2.1- Les glacis

La zone d'étude est caractérisée par la dominance des glacis (formes caractérisant les zones arides) sillonnés par un réseau hydrographique tantôt hiérarchisé, tantôt anastomosé. Les glacis sont classés d'après l'importance du matériel détritique qui les recouvre (TRICART & CAILLEUX, 1969) on distingue :

- Les glacis de dénudation formés par déblaiement de la roche en place.
- Les glacis d'épandage résultant de l'accumulation alluviale mince combinée à la dénudation.
- Les glacis d'ennoyage où l'accumulation alluviale est importante par étalement des eaux.

POUGET (1980) propose, quant à lui, une autre classification basée sur le critère chorologique. Il distingue les glacis du Quaternaire ancien, les glacis du Quaternaire moyen et les glacis du Quaternaire récent.

- Les glacis du Quaternaire ancien correspondent à la haute surface moulouyenne épargnée par les mouvements tectoniques post-Villafranchien.
- Les glacis du Quaternaire moyen se sont développés après les mouvements post-Villafranchien, ils sont formés d'accumulations calcaires sous forme d'encroûtements. Ils se localisent au sud du Chott Ech Chergui représentant le domaine des steppes mixtes à sparte, armoise et alfa.
- Les glacis du Quaternaire récent représentés par une accumulation calcaire sous forme d'amas ou nodules très rarement des encroûtements, ils sont beaucoup moins importants que les précédents.

La zone d'étude est représentée essentiellement par les glacis d'érosion ou glacis parcourus de différentes formes d'érosion, oueds et les dépressions, oueds et daïas anastomosés, oueds et dépressions de type Mekmènes ou un réseau d'oueds de type hiérarchisé.

1.4.2.2- Les formes alluviales : on distingue les terrasses alluviales, les chenaux d'oueds alluvionnés et les zones d'épandage.

- Les terrasses alluviales, sont des formes d'accumulations alluviales du Quaternaire récent. Elles se développent de part et d'autre des oueds avec une texture grossière.
- Les chenaux d'oueds alluvionnés sont les fonds plats des oueds où la texture est moyenne à fine.

1.4.2.3- Les dépressions : nous distinguons les sebkhas et les mekmènes :

- Les sebkhas sont des « dépressions fermées où les efflorescences salines interdisent toute végétation » (COQUE, 1962 *in* AIDOUD-LOUNIS; 1984). Ce type de dépression est toujours alimenté uniquement par les eaux de pluie (TRICART & CAILLEUX, 1969).
- Les Mekmènes sont des dépressions fermées, profondes à bordures abruptes où affleurent des calcaires lacustres (BELOUAM & *al*, 1975). Elles se situent à l'Est de Mecheria.

1.4.2.4- Les formes d'accumulation éolienne

Le sable est présent sur l'ensemble de la zone d'étude sous plusieurs formes d'accumulations : voiles sableux, placages sableux, nebkha-pièges, micro dunes et dunes vives.

1.5- Les caractéristiques édaphiques

Il existe une étroite relation entre l'évolution du sol et celle des formes géomorphologiques, qui se manifeste par une interaction s'exerçant simultanément ou d'une façon concurrentielle dans le temps et dans l'espace (TRICART & CAILLEUX, 1969 ; TRICART, 1976). L'évolution des sols étant également en relation avec la nature lithologique, sur une même unité géomorphologique on rencontre une diversité édaphique, comme il arrive d'avoir des types de sols comparables sur des unités géomorphologiques différentes.

La description pédologique de notre zone d'étude est inspirée des travaux de ACHOUR (1983) KADI HANIFI-ACHOUR (1998), AIDOUD-LOUNIS (1984) et DJEBAILI (1978). Nous distinguons les types de sols suivants :

1.5.1- Les sols minéraux bruts : Ils sont caractérisés par une très faible différenciation des horizons et sont localisés au sommet de Djebel Antar, Il en existe deux types :

- Les lithosols qui sont des sols squelettiques sur roches dures calcaires dolomitiques.
- Les régosols qui résultent de l'altération de roches tendres telles que les marnes et les calcaires marneux.

1.5.2- Les sols peu évolués : Ils sont situés dans les zones d'apport continu et se différencient par l'origine de l'apport, on distingue :

- Les sols d'origine colluviales qui se localisent sur les piedmonts des Djebels, les cônes de déjections et les glacis de couvertures (glacis d'épandage et d'ennoyage).
- Les sols d'origine alluviale qui se situent dans les lits d'oueds, les zones d'épandages et les petites daïas.
- Les sols d'origine éolienne qui constituent les formations sableuses fixées.

1.5.3- Les sols calcimagnésiques : Ils s'étendent sur la plus grande partie de la zone d'étude, on distingue :

- Les sols calcimorphes ou rendzines, rencontrés sur versants des Djebels.
- Les sols calcimagnésiques
- Les sols brun-calcaires localisés sur les glacis polygéniques du Quaternaire ancien et moyen

1.5.4- Les sols halomorphes : ils dominent sur les Sebkhass et les Mekmènes.

1.6- La végétation

En zones arides la végétation est fidèle à certains aspects de la géomorphologie en relation avec la lithologie (LE HOUEROU, 1969; DJEBAILI, 1978). Cette fidélité est souvent interrompue par les différentes actions de dégradation accentuées par la xéricité de ces milieux.

La végétation de la zone d'étude est une végétation steppique représentée par des formations à alfa dominant, des steppes mixtes (alfa, sparte et armoise blanche) et des steppes à *Lygeum spartum*.

Actuellement, sous l'effet de l'action anthropique, ces différentes formations subissent des dégradations continues qui sont à l'origine des formations de dégradation à *Atractylis serratuloides* et à *Peganum harmala*, et essentiellement à *Salsola vermiculata* et à *Noaea mucronata*.

D'après la carte d'occupation des terres de la wilaya de Saida établie par le C.R.B.T (1978), on distingue les formations suivantes :

- **Les formations forestières :** Elles sont représentées principalement par des matorrals à chêne vert, occupant les hautes altitudes de Djebel Antar. Quelques stations de refuge, constituées de forêts claires à *Quercus ilex*, se localisent en exposition Nord et Nord-Ouest des hauts de versant de Djebel Antar.

- **Les formations préforestières** : Elles sont formées par des steppes arborées à base d'alfa et *Juniperus phoenicea*, présentes au sommet de Djebel Antar.
- **Les formations steppiques** : ce sont les formations les plus représentatives dans la zone d'étude. Cette dernière est située dans le domaine de répartition des steppes à sparte qui se trouve en codominance avec d'autres espèces et forme différents faciès.

- La steppe à alfa
- La steppe mixte
- La steppe à sparte

- La steppe à alfa : On distingue la steppe à alfa pur qui se trouve généralement à une altitude moyenne de 1200m, cette steppe se répartit dans des butes de petites collines et dans les glacis, sur les sols bien drainés du semi-aride, du côté Est de la zone d'étude. Elle se présente aussi en bon état sur versant Est de Djebel Antar.

Les steppes mixtes à base d'alfa, de sparte et d'armoise blanche : sont localisées dans la partie Est de la zone d'étude, à proximité des steppes à alfa pur.

- La steppe mixte formée principalement par le Faciès à *Stipa tenacissima* et *Lygeum spartum*. Il se localise au sud Ouest du Chott Ech Chergui (ACHOUR, 1983).

- LES FORMATIONS A LYGEUM SPARTUM

➤ **Caractères généraux du *Lygeum spartum***

Le *Lygeum spartum*, en Arabe appelé "sennagh" ou "sen'gha" (KILLIAN, 1948 ; OZENDA 1956), est une espèce graminéenne de la tribu des Lygées (BATTANDIER & TRABUT, 1902). IL est caractérisé par un rhizome rampant, couvert d'écailles brillantes et étroitement imbriquées (OZENDA, 1958; QUEZEL & SANTA, 1962), à disposition linéaire qui lui confère une forme typique de la touffe (WALTER, 1973). Les feuilles sont enroulées et les stomates localisés au fond des sillons protégés par des poils ce qui représente une forme d'adaptation à la sécheresse (AIDOUD-LOUNIS, 1984).

Pour QUEZEL & SANTA (1962), le *Lygeum* est caractérisé par « une inflorescence très particulière. Plante jonciforme souvent confondue avec l'Alfa à l'état végétatif, s'en distingue par le fait que les feuilles ne s'arrachent pas comme celles de l'Alfa (*Stipa tenacissima*) et sa ligule marquée ; celle-ci est réduite à un rebord dans l'Alfa ».

Selon la classification de RAUNKIAER relative aux différents types biologiques, le *Lygeum* est considéré comme géophyte (AIDOUD, 1983 ; KADI HANIFI-ACHOUR, 1998) en raison de l'importance de sa partie souterraine.

Le sparte est considéré comme une espèce typique du bassin méditerranéen. En Europe, il s'étend du Sud de l'Espagne (MARIANO, 1876 in CHADLI, 1990) jusqu'au Sud de l'Italie (MAIRE, 1953). Il est décrit aussi au Portugal (PINTO DA SYLVA, 1976 in CHADLI, 1990). En Afrique du Nord, il présente une grande extension continentale et littorale allant du Maroc jusqu'en Egypte (MAIRE, 1953).

En Algérie, le sparte se retrouve dans le Sud Constantinois, dans le Sud Algérois et dans tout l'Oranais (QUEZEL & SANTA, 1962). Il est également signalé dans l'Atlas Saharien et à peine dans le Sahara septentrional par OZENDA (1958).

Le sparte semble avoir une grande plasticité écologique liée principalement à des conditions édaphiques très variées (KILLIAN, 1948 ; TADROS, 1953 ; OZENDA, 1954 ; OZENDA & KERAUDEN, 1960). Cette espèce est décrite en Tunisie comme gypsophile (LONG, 1954 et LE HOUEROU, 1969). Dans le même pays, BOUKHRIS (1973) la décrit comme gypsocline ou gypsovague mais pas gypsophile.

En Algérie, dans la région steppique aride et semi-aride, le sparte a été lié aux dépressions argileuses (TRABUT, 1887) et aux argiles mélangées aux sables (MAIRE, 1953). Dans la région du Sud Oranais cette espèce est décrite sur le sable (HOCHREUTINER, 1904 ; WARMING, 1909 *in* AIDOUD-LOUNIS, 1984), pour cette même région NEDJRAOUI & TOUFFET (1988) précisent que le sparte a tendance à se localiser sur des stations plus ensablées que celles de l'Alfa.

Le Lygeum présente une aire de répartition principalement steppique couvrant les dépressions et les surfaces plus ou moins planes, il a été également rencontré sur versant en mélange avec le chêne vert (AIDOUD-LOUNIS, 1994). Cette situation est liée aux conditions édaphiques locales favorables à son développement (compensation de facteurs).

Le sparte est utilisé en général à des fins pastorales, domestiques et industrielles. Selon CHADLI (1990), la pâte écrue du sparte est comparable à celle de l'alfa. Mais le sparte reste non exploité, à des fins industrielles, en Algérie par le fait de sa répartition hétérogène et sa présence le plus fréquemment en peuplement mixte (AIDOUD, 1984).

L'utilisation industrielle du sparte dans la fabrication de la pâte à papier pourrait se substituer à celle des feuillus (CHADLI, 1990) en raison de la dimension de ses fibres estimées à 1.7mm (HARCHE 1988) et qui rappellent celles des feuillus (MARTIN, 1970 ; HARCHE & MEGDAD, 1989).

C'est en tant que pâturage que le sparte présente le plus d'intérêt, soit en formant des parcours diversifiés et productifs composés d'espèces à valeurs énergétiques élevées, cas des groupements sur sols profonds (AIDOUD, 1983) ou par sa résistance particulière aux actions anthropiques et aux contraintes du milieu dans le cas des steppes dégradées. En effet, le sparte dans le Sud Oranais est principalement utilisé à des fins pastorales. L'espèce elle-même a de faibles valeurs énergétiques, qui varient entre 0,13 UF en septembre et 0,59 UF au mois de mai (NEDJRAOUI, 1981), ce qui limite son utilisation.

La résistance du sparte aux conditions de dégradation et son pouvoir colonisateur lui confèrent l'aspect de « régénérateur » des parcours très dégradés (AIDOUD, 1983). Cette capacité de régénération peut rendre l'exploitation du Lygeum, à des fins industriels, possibles dans le Sud Oranais afin de limiter l'exploitation excessive de l'alfa.

➤ **Caractéristiques des formations à sparte**

Dans les steppes algériennes, le sparte se présente rarement à l'état pur. Les steppes pures se localisent seulement à l'Est du Djebel Antar et dans la région de Bougtob- El Khreider.

Les principaux faciès sont les suivants :

- Le faciès à *Lygeum spartum* et *Stipa tenacissima*, peu répandu, se présente en général sous forme d'enclaves de dimensions réduites, dans les steppes à alfa dominant.
- Le faciès à *Lygeum spartum* et *Artemisia herba-alba* se localise au Nord-Est et à l'Ouest de la zone d'étude.
- Les faciès à *Lygeum spartum* et *Atractylis serratuloides* et à *Lygeum spartum* et *Noaea mucronata* sont bien représentés dans la partie Sud-est.
- Les faciès *Lygeum spartum* et *Artemisia campestris* et à *Lygeum spartum* et *Thymelaea microphylla* se localisent surtout en bordure du chott Ech Chergui, atteignant les sols à efflorescences salines.
- Le faciès à *Lygeum spartum* et *Peganum harmala* très localisé, n'occupe que des surfaces réduites, autour des agglomérations.

Les trois derniers faciès sont des faciès de dégradation.

L'intérêt économique et écologique que présente le *Lygeum spartum* et les steppes dominées par cette espèce, nous a incités à nous intéresser à la cartographie et à décrire son état actuel.

1.7- Caractéristiques biologiques de la végétation de la zone d'étude

Du point de vue biologique, la végétation peut être caractérisée par le spectre biologique établi en prenant en considération la classification de RAUNKIAER (AIDOU-LOUNIS, 1984).

Sur les 100 espèces inventoriées au niveau de la zone d'étude, nous avons estimé le taux des différents types biologiques (Tab.9 et Fig. 9).

Tableau 9- Les fréquences relatives des différents types biologiques

Type Biologique	Phanérophytes	Chamaephytes	Hémicryptophytes	Géophytes	Thérophytes
Fréquence en %	5	28	26	4	37

Remarque : La végétation des oueds et celle de la zone forestière n'ont pas été inventoriées.

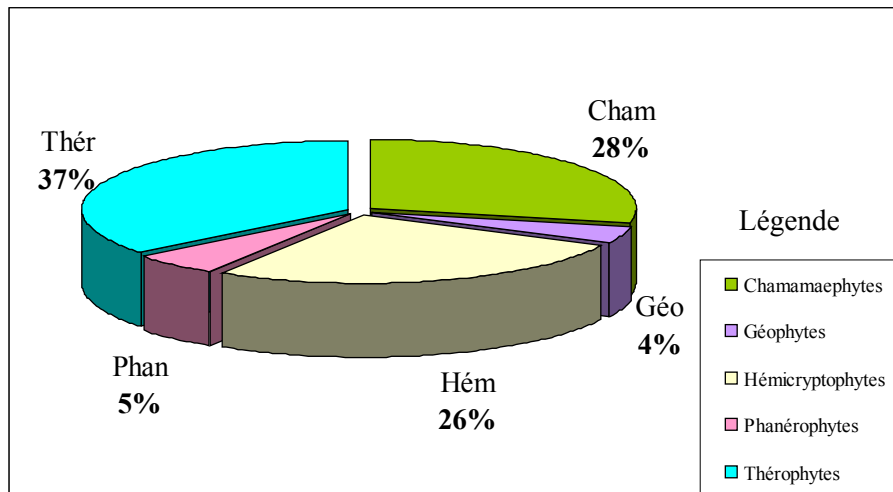


Figure 9- Le spectre biologique brut

Le spectre biologique montre la prépondérance des thérophytes par rapport aux autres types biologiques. Ce phénomène ressort dans l'ensemble des travaux en zones méditerranéennes (DAGET, 1970 ; AIDOU-LOUNIS, 1984, 1989 ; DANIN & *al*, 1990 ; FLORET & *al*, 1989-1990 ; KADI HANIFI-ACHOUR, 1998 ; SADJI, 2003). Il a été décrit comme une forme de résistance des plantes au stress du climat méditerranéen (MEDAIL, 1996 ; KADI HANIFI-ACHOUR, 1998).

Cependant, dans notre zone d'étude, le pourcentage des thérophytes est relativement faible (37%), proche de celui des chamaephytes (28%) et des hémicryptophytes (26%). Ceci semble être en relation avec la période d'échantillonnage qui correspond à la période d'été coïncidant avec la période du repos végétatif avec le minimum de thérophytes. Dans cette étude, on ne peut parler d'une diminution de la richesse floristique par l'insuffisance des relevés effectués dans la zone d'étude. Pour évoquer une diminution de la richesse floristique, dans une zone aride, il faut effectuer des relevés à différentes périodes de l'année et sur plusieurs années (AIDOU, 1988).

Le développement et la dominance d'espèces vivaces de dégradation, plus résistantes aux nouvelles conditions du milieu, et la disparition des espèces vivaces physionomiquement dominantes (l'alfa et le sparte et localement l'armoise blanche) peuvent avoir un effet direct sur la richesse floristique de ces milieux. Si on prend l'exemple de l'espèce *Thymelaea microphylla* qui peut se trouver en codominance avec l'alfa et avec le sparte, si les conditions d'ensablement s'accroissent, cette espèce, dans les deux cas peut devenir l'espèce dominante. Dans ce cas, la physionomie des parcours à alfa va ressembler à celle des parcours à sparte. Ce changement physionomique est suivi d'un changement dans le cortège floristique qui peut se traduire par une homogénéisation floristique (KADI HANIFI-ACHOUR, 1998). C'est uniquement dans ce cas que l'on peut parler de la diminution de la richesse floristique.

1.8- Caractéristiques phytogéographiques

La zone d'étude, du point de vue biogéographique, appartient à la région méditerranéenne qui s'inscrit dans l'empire floral holarctique. Elle s'intègre dans la région méditerranéenne partie des Hauts Plateaux du Sud Oranais qui a fait l'objet d'une étude phytogéographique détaillée réalisée par BOUZENOUNE (1984). D'autres descriptions phytogéographiques sur la base du spectre biogéographique ont été réalisées par ACHOUR (1983), AIDOU-LOUNIS (1984).

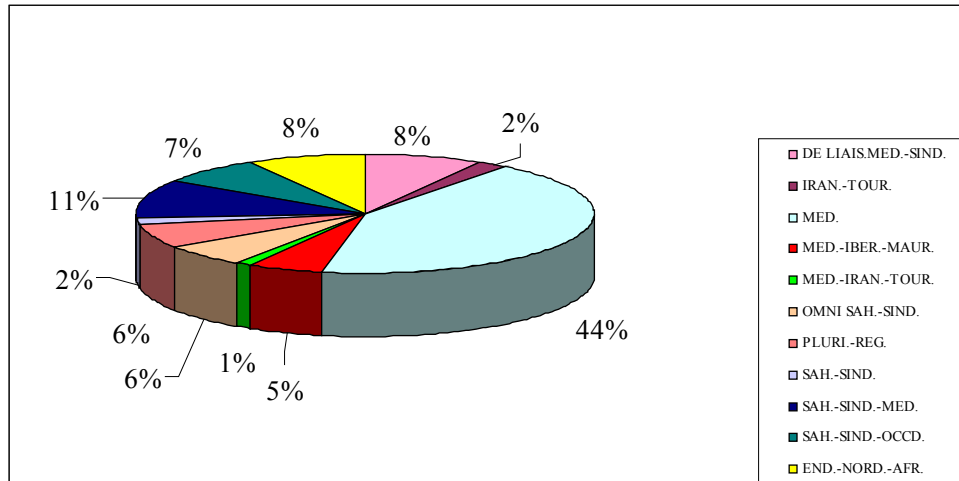


Figure 10- Le spectre phytgéographique brut

D'après le spectre biogéographique brut (Fig. 10) on remarque un taux élevé des méditerranéennes. Les Saharo sindien méditerranéennes 11%, les saharo sindiennes 2%, les saharo sindien occidentales 7%. Selon AIDOUD (1987), le taux élevé de Saharo-sindiennes est lié aux groupements à sparte et *Thymelaea* qui attestent une aridité édaphique accrue. Dans notre cas, malgré que la majorité des relevés ont été effectués dans les steppes à *Lygeum spartum* ainsi que les steppes à *Thymelaea mucrophylla*, on n'a trouvé que le taux des méditerranéenne qui est plus élevé. Cela peut être expliqué par la période d'échantillonnage et la liste floristique très faible dans l'ensemble des relevés.

Chapitre II

METHODOLOGIE

Méthodologie générale

L'analyse de l'état actuel de la végétation de la zone d'étude a nécessité l'utilisation de deux méthodes :

- L'analyse factorielle des correspondances pour la caractérisation des groupements végétaux.
- L'utilisation de la télédétection et du SIG pour la réalisation de la carte d'occupation des terres (COT).

1- Détermination des groupements végétaux

La détermination des groupements végétaux se base sur l'analyse et le traitement des données floristiques recueillies par les relevés effectués sur le terrain (la méthode d'échantillonnage sera détaillée dans la deuxième partie de ce chapitre.

Le traitement des données floristiques est basé sur l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) qui est largement utilisée pour l'étude des groupements végétaux. Le principe mathématique de cette méthode est décrit par CORDIER (1965) et BENZECRI & coll. (1973). L'application de cette analyse se fait par l'utilisation de "l'ANAPHYTO" (BRIANE, 1991).

Nous avons utilisé, pour l'analyse de nos relevés, le paramètre qualitatif "présence absence" des espèces, en nous basant sur le principe que la seule présence d'une espèce dans un groupement indique sa possibilité de s'y implanter et d'y survivre (GUINOCHET, 1973). L'abondance dominance des espèces, caractère quantitatif, qui présente une valeur informative plus importante que la présence absence dans la caractérisation des groupements (DAHMANI, 1997), n'a pu être utilisée dans la présente étude en raison de l'indisponibilité de ces données concernant l'ensemble des relevés utilisés.

Nous avons effectué une analyse factorielle globale, portant sur 117 relevés et 102 espèces, suivie d'une analyse partielle portant sur une matrice de 109 relevés et 83 espèces.

2- La carte d'occupation des terres

La cartographie est le moyen le plus efficace qui permet, sur la base physionomique, la description et la localisation des principales formations végétales. Elle permet aussi d'avoir une idée sur les superficies occupées par ces différentes formations.

La cartographie comprend "l'ensemble des études et des opérations scientifiques, artistiques et techniques, intervenant à partir des résultats d'observations directes ou de l'exploitation d'une documentation, en vue de l'élaboration et de l'établissement de cartes, plan et autres modes d'expression ainsi que leur utilisation". (Association de cartographie internationale, 1966 in GIRARD & GIRARD, 1999).

Par définition la carte d'occupation des terres est une carte de végétation à un instant « t » appréhendée principalement par sa structure et sa composition floristique essentielle (LONG, 1974).

Elle est définie par BOUZENOUNE & al (1982) comme un document qui rend compte de l'état actuel de la végétation et de l'emprise anthropozoïque sur le milieu.

2.1- Les différentes étapes de la réalisation de la carte d'occupation des terres

Pour la présente étude, la réalisation de la carte d'occupation des terres sera basée sur l'application de l'approche phytoécologique par l'intégration des faits relatifs au milieu et à la végétation (LONG, 1974). Ce choix de l'approche phytoécologique ainsi que celui des variables à prendre en considération seront explicités dans la classification supervisée.

2.1.1- Recherche documentaire et préparation de la campagne d'échantillonnage

Cette phase qui se déroule au laboratoire, se base essentiellement sur :

➤ La recherche de toute documentation préexistante

- Cartes topographiques au 1/200 000.
- Cartes thématiques préexistantes (carte lithologique, carte géologique, carte d'occupation des terres...etc)
- Bibliographie (documents, rapports et thèses).

➤ Acquisition des images satellitaires

Les images satellitaires comportent toute information d'intérêt prise à un moment « t » par le satellite. L'exploitation des images satellitaires nécessite un travail très précis de prétraitement et de traitement qui sera abordé plus loin.

➤ Le choix du niveau de perception

Pour une représentation cartographique, le choix du niveau de perception dépend essentiellement de l'objectif à cartographier qui se traduit par les unités élémentaires cartographiables.

LONG (1974) distingue 5 principaux niveaux de perception écologique, chacun d'eux intégrant un niveau intègre un niveau d'organisation qui représente l'unité cartographiable à une échelle précise.

- Le premier niveau, **la zone écologique**, permet de distinguer les différentes zones biogéographiques à très petite échelle d'expression cartographique (les biomes).
- Le deuxième niveau, **la région écologique**, est désigné par les écosystèmes régionaux ou domaine de l'utilisation des sols.

- Le troisième niveau, **le secteur écologique**, est le niveau de l'organisation qui représente des unités de l'occupation des sols à moyenne échelle, ou unités d'occupation des terres.
- Le quatrième niveau, **la station écologique**, exprime l'unité élémentaire de représentation cartographique, c'est à dire l'unité d'occupation des terres et des sols.
- Le cinquième niveau, **l'élément de la station écologique**, représentant également l'unité de d'occupation des terres et des sols, mais à un niveau plus précis que le niveau précédent, car appréhendé à une très grande échelle.

LONG (1974) considère que l'échelle moyenne est suffisante en milieu steppique, pour représenter les faits qu'on peut aborder à plus grande échelle en climat tempéré.

Plusieurs travaux cartographiques ont été réalisés à moyenne échelle, au 1/200 000, en zones steppiques algériennes : Feuille de Mecheria feuille d'El Khreider, feuille de Ain Sefra, feuille d'El Aricha..... Sur ces cartes d'occupation des terres, l'unité élémentaire cartographiée représente l'unité de végétation désignée par l'espèce ou les espèces physionomiquement dominantes traduisant les différents faciès de végétation. Pour l'ensemble de ces cartes, les auteurs considèrent que l'échelle moyenne semble être satisfaisante pour une telle représentation.

Dans le cas de notre étude nous avons opté pour une représentation au 1/200 000 qui nous paraît être en concordance avec l'utilisation des images satellitaires à 30 m × 30 m de résolution au sol.

2.1.2 – Réalisation des relevés phytoécologiques

➤ Choix du type d'échantillonnage

L'échantillonnage constitue la base de toute étude cartographique. Il désigne « l'ensemble des opérations qui ont pour objet de relever dans une population les individus devant constituer l'échantillon » GOUNOT (1969) et DAGNELIE (1973).

Le choix du type d'échantillonnage se base sur la réalité terrain, sur les données bibliographiques et sur la nature des documents de base utilisés en cartographie (photographies aériennes ou images satellitaires).

L'échantillonnage adopté dans le présent travail est un échantillonnage stratifié. Le choix de ce type d'échantillonnage est lié en grande partie à l'utilisation des images satellitaires à 30m de résolution. Face à cette situation, l'intégration de la méthode phytoécologique, semble être le moyen le plus efficace pour palier ce genre de problème, en prenant en considération les variables du milieu associées à la végétation. L'unité échantillonnée est constituée à partir de la stratification de la zone d'étude qui se fait sur la base de l'image satellitaire.

Ce type d'échantillonnage pose le problème du passage d'un niveau sectoriel (niveau des strates ou des zones isophènes) à un niveau stationnel (station où est réalisé le relevé).

Pour que l'échantillonnage stratifié soit exhaustif, il est indispensable que le relevé soit représentatif de l'unité phytoécologique élémentaire.

La stratification de la zone d'étude sera faite à partir de l'image satellitaire en se basant essentiellement sur les nuances spectrales données par l'image.

Dans chaque zone homogène devra être effectué un ou plusieurs relevés phytoécologiques (relevé floristique et linéaire).

➤ **Réalisation des relevés phytoécologiques et floristiques**

Le relevé phytoécologique a été effectué à partir de la méthode du relevé linéaire. Cette méthode est décrite par plusieurs auteurs (GOUNOT, 1969 ; DAGET & POISSONET, 1969, 1971; LONG & *al*, 1970), elle est adaptée aux écosystèmes steppiques par les travaux effectués par le C.R.B.T. (1978) ; AIDOUUD (1983); MELZI (1986) et NEDJRAOUI (1990) BOUDERBA (2003). Elle consiste à mettre en place un dispositif constitué d'une ligne graduée représentée par un ruban de 20m de longueur, et d'effectuer des lectures le long de cette ligne par le pointage d'une aiguille sur les éléments de la surface du sol et de la végétation avec un espacement de 10 cm entre deux lectures. Ce dispositif linéaire permet de mesurer le recouvrement de la végétation et les autres éléments de la surface du sol.

En plus des espèces végétales rencontrées sous la ligne (relevé linéaire), la liste floristique a été complétée par un recensement des espèces existantes dans une aire minimale d'échantillonnage, autour du relevé linéaire, limité entre 32m² et 128 m² en zone steppique algérienne (DJEBAILI, 1978 ; AIDOUUD, 1983 et BOUZENOUNE, 1984), il s'agit du relevé floristique.

Les relevés ont été réalisés au mois de juin 2002.

2.1.3 - Traitement des données

Après la réalisation des relevés sur le terrain, une intégration des données dans le système d'information géographique sera faite pour leur exploitation dans le cadre de la réalisation de la carte d'occupation des terres.

Une vérification sur le terrain des différentes unités cartographiées est recommandée et des corrections peuvent être portées sur le document final.

Le suivi et la réalisation des différentes étapes de la cartographie, sont faites par l'utilisation du système d'information géographique et les techniques de la télédétection.

2.2- UTILISATION DU SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG)

Un système d'information géographique, tel que défini par MICHEL (1990) *in* PORNON (1992,1995), est « un ensemble de données repérées dans l'espace et structurées de façon à pouvoir en extraire commodément des données de synthèse utiles à la décision ». C'est donc un système informatique qui permet d'analyser, de rassembler, d'organiser, de gérer, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement et contribuant à la gestion de l'espace.

La tendance actuelle est d'intégrer la télédétection, en l'assimilant à une source de données, dans un système d'information géographique avec d'autres types de données. Dans le but d'élaborer d'une carte d'occupation des terres à moyenne échelle, nous avons intégré dans le SIG trois types de données : données de télédétection, cartes topographiques et thématiques et les données de terrain (Fig.11).

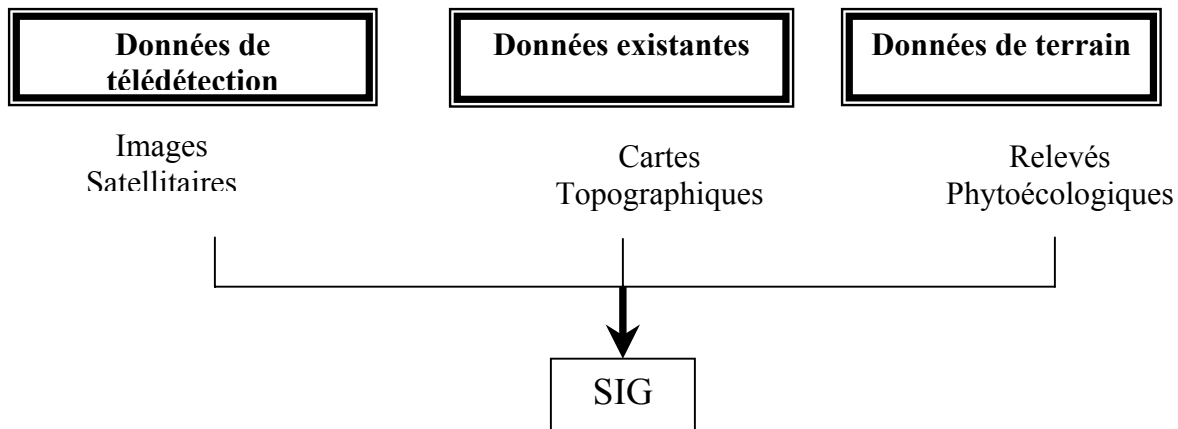


Figure 11- Les données intégrées dans le SIG

L'intérêt de la relation SIG-télédétection a été démontré par EHLERS & *al* (1989). Cette cohabitation représente un enrichissement mutuel entre le SIG et la télédétection. En effet, il existe de grandes possibilités d'extraction d'informations de l'imagerie par son intégration dans le SIG (ROBIN, 2002).

Le SIG offre, outre le moyen d'une production cartographique de meilleure qualité que celle faite à la main, un gain de temps et permet également d'avoir des sorties cartographiques à différentes échelles et avec une plus grande précision. Il présente un outil d'aide à la gestion des données spatiales par le SGBD (Système de Gestion de la Base de Données). L'intérêt est de permettre, à l'aide des requêtes effectuées sur la base de données, d'isoler un thème, par exemple avoir les superficies des différentes formations végétales.

L'intégration des données dans le SIG se fait de différentes manières selon le type des données (alphanumériques et géographiques)

2.2.1- La saisie des données de terrain

Les données de terrain (relevés phytoécologiques) dans le SIG, représentent des données sémantiques. La saisie de ces données est faite par le logiciel Mapinfo par l'intermédiaire de la fonction création de table (fig.12).

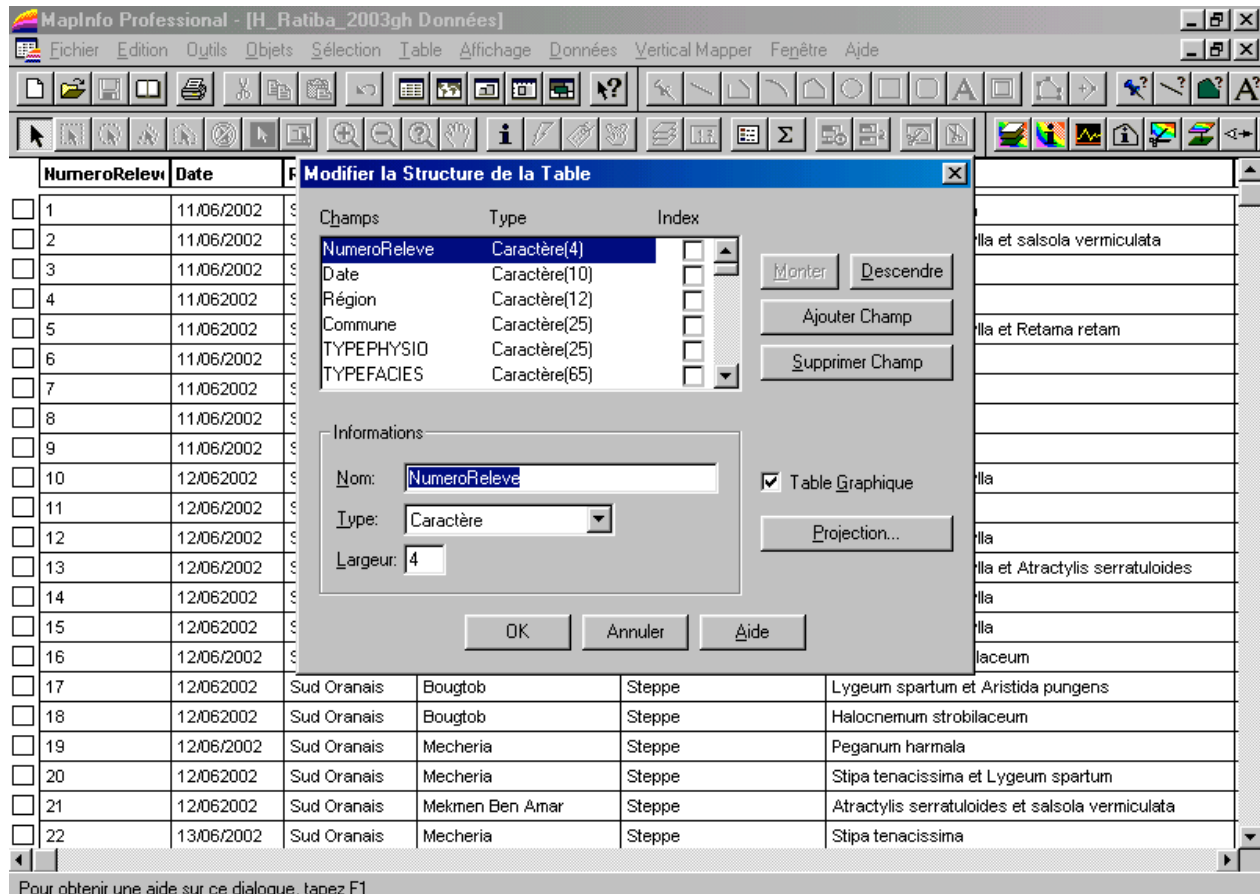


Figure 12- Saisie des données de terrain et élaboration d'une base de donnée

Ces relevés sont localisés sur le terrain par l'utilisation d'un système de localisation géographique GPS (Geographical Positionningt System). La saisie des coordonnées géographiques de chaque relevé (au même titre que les autres caractéristiques) permet le positionnement de ces relevés en utilisant le même système de projection des cartes et de l'image satellitaire (UTM (ED 50) Zone 31) * (Fig.13).

Nous avons utiliser la projection UTM (ED 50 Zone 31), cette dernière est utilisée dans l'établissement des cartes topographiques au 1/200 000.

Le positionnement géographique des relevés présente une aide essentielle dans la classification supervisée appliquée en télédétection, et permet de retrouver l'emplacement de ces relevés au cours du temps, ce qui est essentiel dans le cas d'une analyse diachronique de l'état des ressources naturelles d'une région donnée.

* UTM : c'est la projection **Universal Transverse Mercator (ED 50 : Europe Datum : 1950)**

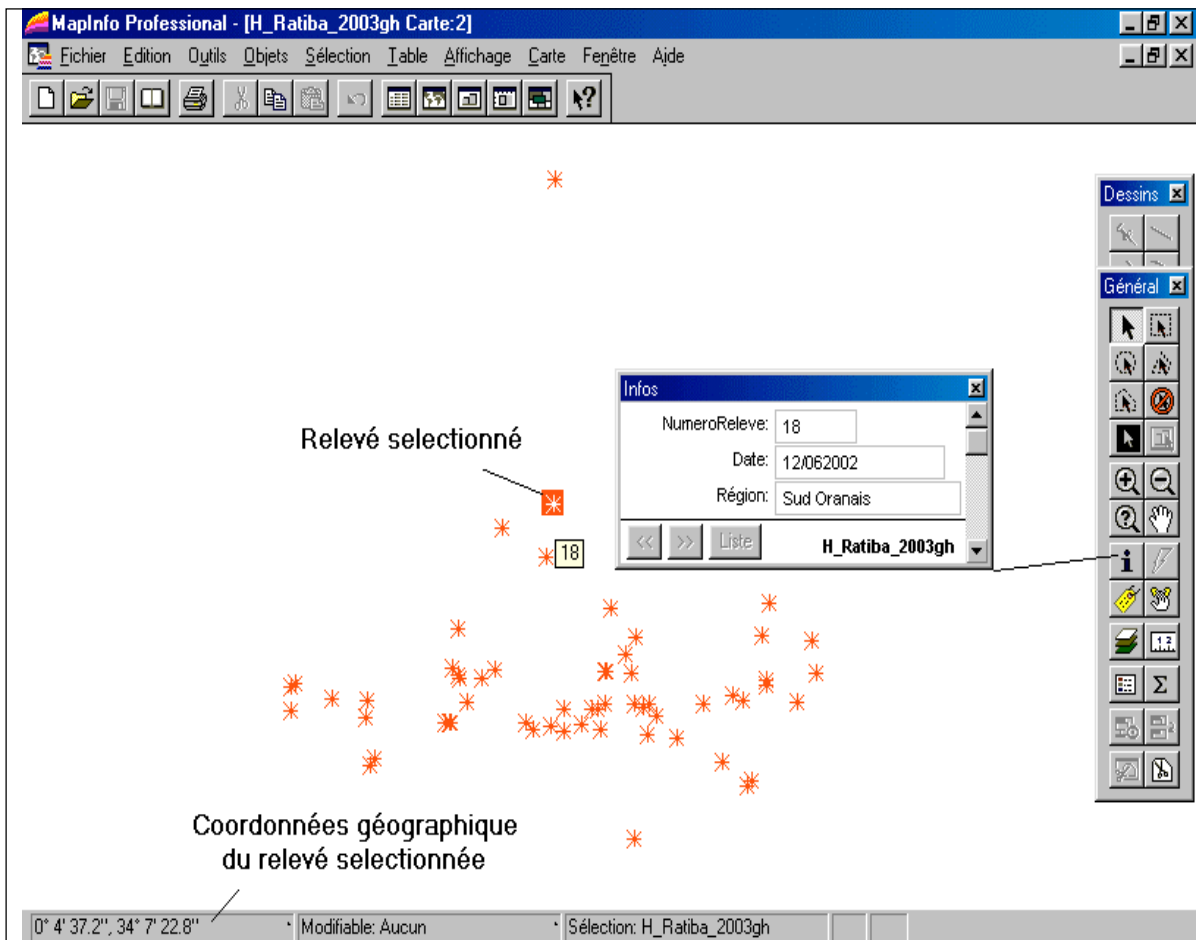


Figure 13- Positionnement des relevés par l'utilisation d'un système de projection UTM (ED 50 ZONE 31)

2.2.2- Calage des cartes topographiques

La zone d'étude s'insère principalement entre deux cartes topographiques (Fig. 14). L'intégration des différentes cartes dans le SIG se fait sous forme raster par numérisation.

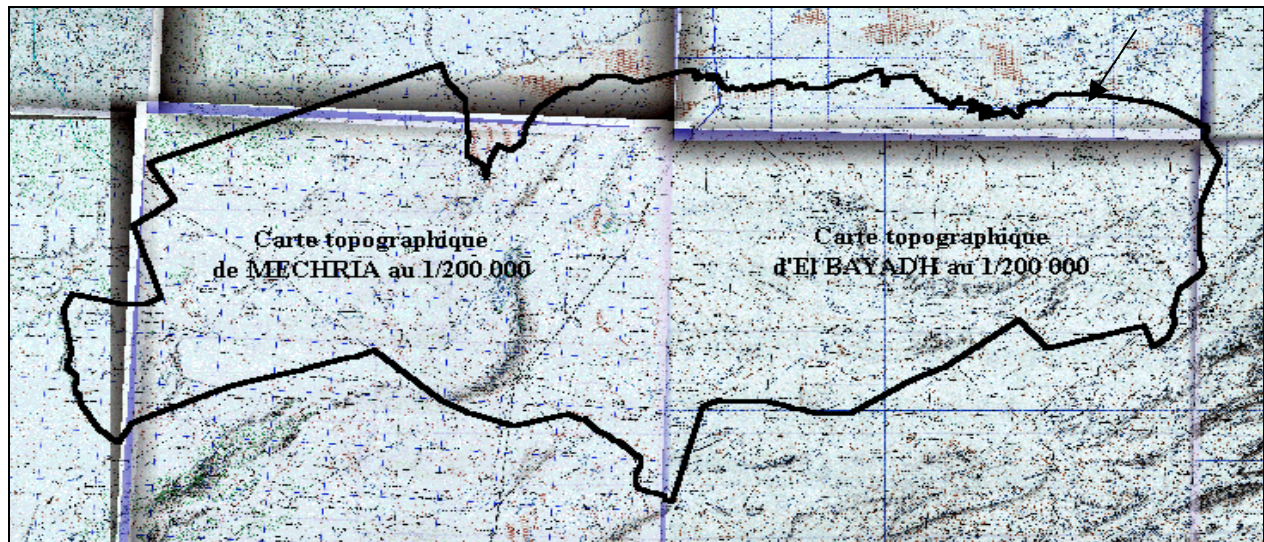


Figure 14- Cartes topographiques utilisées

Après numérisation des cartes, l'utilisation de l'information géographique offerte par ces documents, nécessite leur calage dans un système de projection choisi. La projection utilisée en Algérie est UTM (ED50) Zone 31 (Fig. 15).

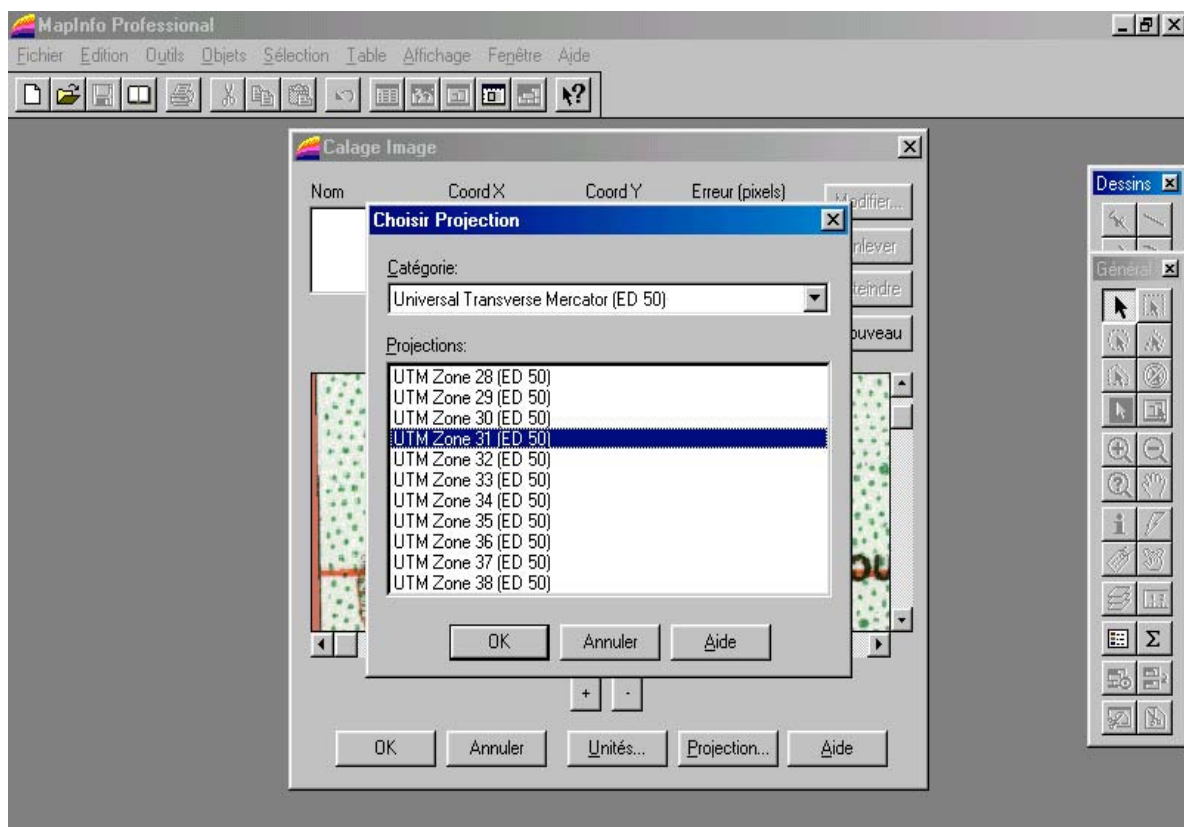


Figure 15- Choix de la projection pour le calage des cartes topographiques

Le calage ne concerne pas seulement les cartes topographiques. Il est appliqué également aux images satellitaires pour que les informations de cette image puissent être superposables aux informations tirées des cartes topographiques en choisissant le même type de projection.

2.2.3- La transformation des données du mode raster en mode vecteur

L'extraction des informations figurées sur les cartes topographiques (mode raster) se fait par digitalisation (mode vecteur), donc le passage du mode raster au mode vecteur suivra le même principe pour les données de télédétection (délimitation des zones isophènes) Fig.16.

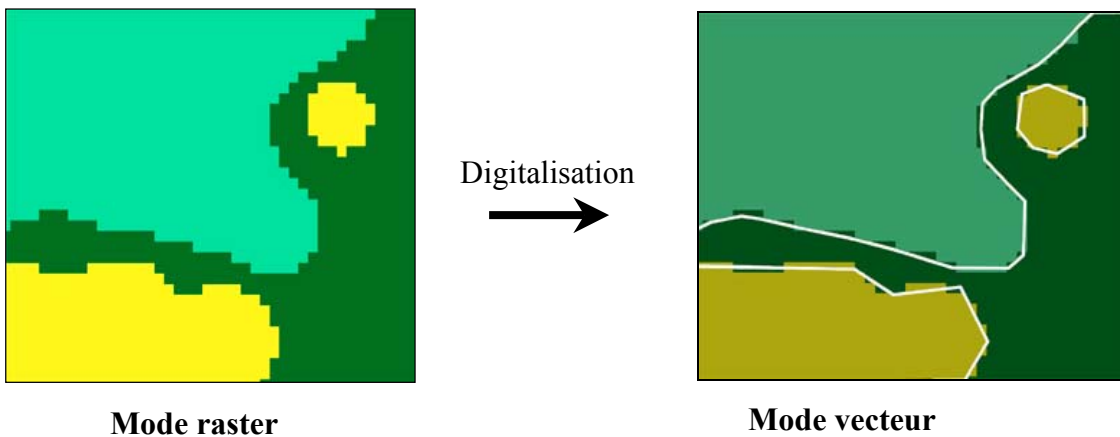


Figure 16- Passage du mode raster au mode vecteur

On aura en fin de parcours plusieurs couches de données : La couche du réseau hydrographique, la couche du réseau routier et une couche des zones détectables par la visualisation des images satellitaires digitalisées sur écran. Chaque couche sera accompagnée d'une base de données propres à elle et une basées de données issues des relevés.

La fig. 17 représente les applications faites pour l'intégration des différents types de données au sein d'un système d'information géographique.

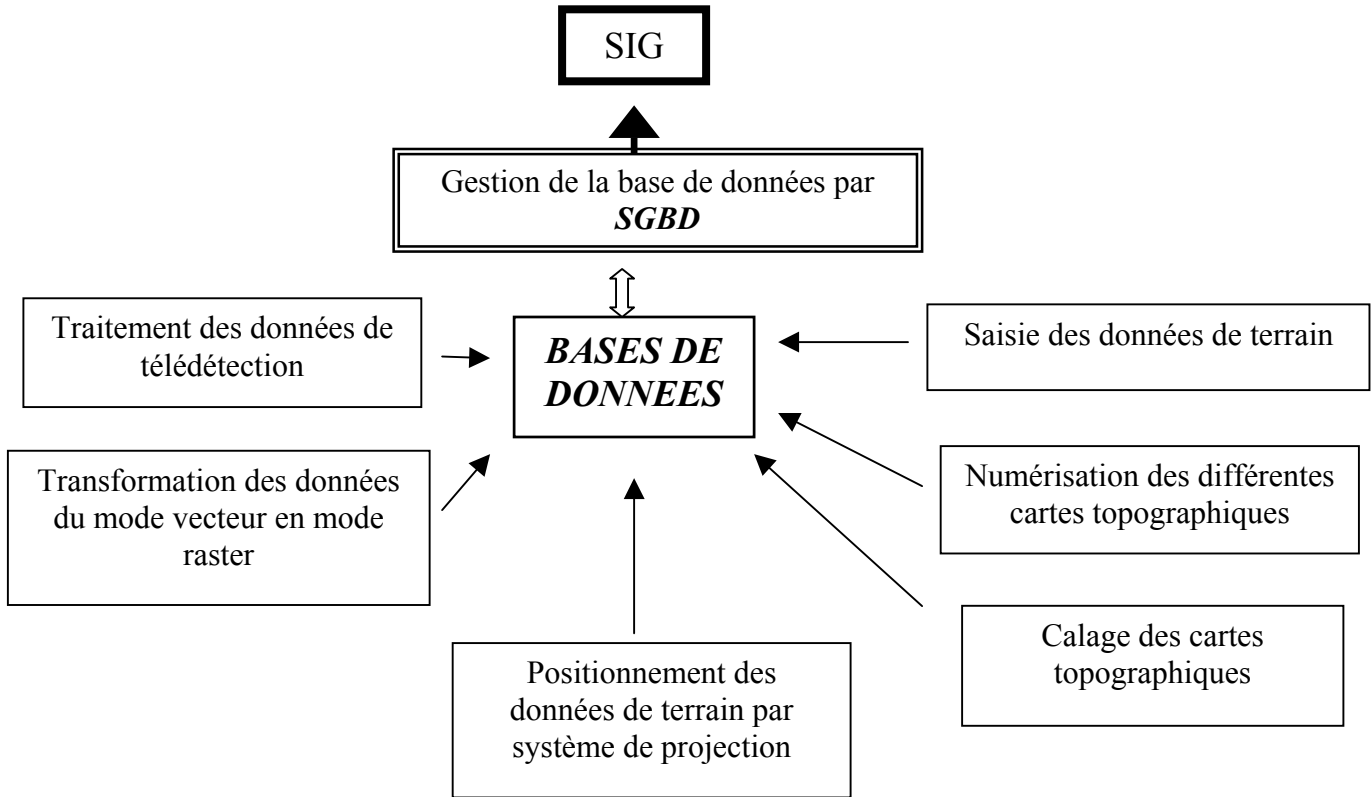


Figure 17- Organigramme des différentes applications du SIG

Les données, intégrés dans un SIG, contribuent à la constitution de la nouvelle base de données.

Le SIG occupe une place importante dans le présent travail. Il met en forme, stocke, élabore, retrouve, et édite des données à partir d'une documentation collectée en fonction d'objectifs préalablement expliqués (ROGER, 1987)

2.3- UTILISATION DE LA TELEDETECTION

« La télédétection désigne l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » GIRARD & GIRARD (1989) « Journal officiel du 11 décembre 1980 ».

En 1999, GIRARD & GIRARD précisent que la télédétection englobe tous les processus qui consistent à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information.

La région steppique des hauts plateaux du Sud Oranais a fait l'objet de plusieurs études cartographiques à différentes échelles. Parmi les plus importantes nous pouvons citer celles réalisés par le CRBT en 1978 qui ont donné naissance à des cartes d'occupations des terres et des cartes pastorales au 1/200 000.

La cartographie de cette zone était appréhendée par utilisation des photographies aériennes qui semble avoir donné satisfaction par rapport aux différents objectifs fixés.

Quelques études de cartographie par télédétection ont été effectuées par Manière et *al* en 1986 dans la zone de Mecheria au 1/200.000 et plus récemment par l'URBT en 1999 dans le cadre du projet CAMELEO. Ces travaux nous ont servi de référence dans la présente étude.

L'utilisation de la télédétection dans la cartographie de la végétation est facilitée par les avantages qu'elle présente :

- La rapidité et la répétitivité d'acquisition des données permettant de faire le choix de la scène la plus représentative et la moins bruitée. Cette répétitivité permet également de voir les changements et l'évolution des différents phénomènes dans le temps.
- La forme numérique des données qui offre un grand avantage de traitements numériques par les multiples programmes de traitement d'image, ce qui facilite le travail du cartographe.
- Le caractère multi-bande des données : la séparation de chaque bande (image) facilite la sélection de l'information recherchée, soit par la sélection directe d'une bande soit par l'application d'une fonction sur plusieurs bandes.
- La stéréoscopie qui donne une vision en trois dimensions, très utile dans l'interprétation des données. Cet aspect n'est pas utilisé dans le présent travail.

Pour réaliser la cartographie de la végétation à moyenne échelle, nous avons utilisé les images TM de LANDSAT résolution 30m × 30m.

2.3.1- Principes de la télédétection

Pour bien comprendre les processus de télédétection, il est important de définir son système et les interactions entre ses différentes composantes. Le système de télédétection est composé de:

- La source de l'énergie ou du rayonnement.
- Le rayonnement et le spectre électromagnétique utile en télédétection
- La trajectoire du rayonnement électromagnétique et ses interactions avec l'atmosphère et la cible visée.
- Les systèmes (capteur et vecteurs) et les modes d'enregistrements des données de télédétection.
- La transmission des données aux stations de réception.
- Le traitement des données et extraction de l'information désirée.

2.3.1.1- Le rayonnement électromagnétique

La télédétection utilise le rayonnement électromagnétique comme source d'enregistrements à distance. Ce rayonnement correspond à des ondes électromagnétiques transportant de l'énergie qui est plus ou moins absorbée par les différents milieux.

Le rayonnement électromagnétique est caractérisé par sa longueur d'onde et sa fréquence.

Le spectre électromagnétique présente toutes les gammes d'ondes depuis les plus petites longueurs d'ondes (fréquence très élevée) jusqu'aux plus grandes (fréquence très basse).

La télédétection utilise une partie du spectre électromagnétique présenté par les gammes de longueurs d'ondes données par le (Tab.10).

Tableau 10-Gammes du spectre électromagnétique utilisées en télédétection

Domaine spectral	Longueurs d'onde	Origine
Ultraviolet	- 0.90 nm-0.38 nm	Rayonnement réfléchi par la surface terrestre
Le visible	- Violet : 0.400 - 0.446 μ m - Bleu : 0.446 - 0.500 μ m - Vert : 0.500 - 0.578 μ m - Jaune : 0.578 - 0.592 μ m - Orange: 0.592 - 0.620 μ m - Rouge : 0.620 - 0.700 μ m	Rayonnement réfléchi par la surface terrestre
L'infrarouge	- Proche : 0.800 - 1.500 μ m - Moyen réflectif 1.600 – 2.2 μ m - Moyen 3 – 5 μ m - Moyen thermique 8 – 14 μ m	Rayonnement réfléchi par la surface terrestre
Les hyperfréquences	- 0.750 - 136 cm	Emises par une antenne et renvoyées par la surface terrestre en mode actif, et émises par la surface terrestre en mode passif.

Dans le visible, chaque gamme de longueurs d'ondes donne une sensation de couleur précise. Le bleu, le vert et le rouge sont les couleurs primaires du spectre visible. Les autres couleurs (violet, jaune et orange) sont des couleurs secondaires créées en combinant les couleurs primaires.

2.3.1.2- Les sources du rayonnement électromagnétique

- Le rayonnement solaire constitue la source principale de l'énergie reçue par la terre. L'éclairement solaire, flux reçu par unité de surface, varie au cours de l'année en raison de la position de la terre sur le plan elliptique et de la densité des particules dans l'espace. Le soleil a un maximum d'émission avec une température d'environ 6000 °K (ROBIN, 2002).
- Le rayonnement émis par une surface de la terre constitue une source d'énergie que l'on capte en télédétection passive.

Un corps noir absorbe totalement les rayonnements (dans le visible et le proche infrarouge) et les émet intégralement dans une autre longueur d'onde (infrarouge thermique).

La terre à une température de 300 °K, est à son maximum d'émission pour une longueur d'onde de 9.6 μ m calculée par la loi de WIEN. A cette température et pour cette longueur d'onde, la terre peut être considérée comme un corps noir.

2.3.1.3- Interaction rayonnement matière et rayonnement atmosphère

Tout rayonnement affectant une matière donnée est absorbé, réfléchi ou transmis par celle-ci de façon à répondre à la relation :

$$\mathbf{A + T + R = 1.}$$

A = Absorption, **T** = Transmission, **R** = Réflexion.

C'est sur la base des propriétés d'absorption, de réflexion et d'émission des rayonnements par les différents objets ou cibles que sont définies les règles de la télédétection.

➤ **La réflexion**

Elle se manifeste à l'interface séparant deux milieux dans lesquels les ondes électromagnétiques se propagent. Elle dépend de la surface de l'objet et de la longueur d'onde, on distingue trois types de réflexion :

- **La réflexion spéculaire**

Lorsque la surface est plane (lisse), l'angle de l'énergie incidente est égal à l'angle de l'énergie réfléchie.

- **La réflexion diffuse**

Si la surface de l'objet présente un caractère rugueux vis-à-vis de la longueur d'onde, il y a réflexion diffuse (l'énergie réfléchit dans toutes les directions). Dans ce cas l'observateur doit choisir la direction privilégiée.

- **La réflexion Lambertienne**

La réflexion est la même dans toutes les directions, elle est indépendante de l'angle d'observation.

➤ **La réfraction**

Elle a lieu lorsqu'un milieu offre une transparence à un rayonnement. Ce dernier pénètre dans le milieu en question, ce qui entraîne la modification de la longueur et de la direction des ondes, alors que la fréquence demeure constante. Ceci est observé dans le cas du passage du rayonnement de l'air vers l'eau. L'atmosphère par son indice de réfraction modifie la direction du rayonnement.

➤ **La diffusion**

Les particules, constituant le milieu dont la surface est soumise au rayonnement électromagnétique, jouent un rôle de sources secondaires susceptibles de réémettre le rayonnement dans toutes les directions. On distingue plusieurs types d'interactions (diffusions) rayonnement-molécules qui dépendent de la dimension des molécules par rapport à la longueur d'onde (GIRARD & GIRARD, 1999) :

- **La diffusion de Rayleigh** : elle se produit lorsque la taille des particules est inférieure à la longueur d'onde du rayonnement. Elle obéit à trois règles :
 - la diffusion du rayonnement se fait dans toutes les directions,
 - l'intensité de diffusion décroît rapidement avec l'augmentation de la longueur d'onde,
 - l'intensité de diffusion croît avec la quantité d'éléments diffusants.
- **La diffusion de Mie** : elle a lieu lorsque le diamètre des molécules rencontrées est sensiblement identique à la longueur d'onde du rayonnement incident. C'est le cas lorsque le rayonnement visible rencontre des aérosols. Cette diffusion obéit à trois règles :
 - si le diamètre des particules rencontrées est égal à 2λ , la diffusion s'effectue vers la direction de l'angle incident,
 - l'intensité de diffusion n'est pas strictement proportionnelle à la longueur d'onde comme pour la diffusion de Rayleigh,
 - l'intensité de diffusion croît avec le volume des particules (épaisseur des nuages). C'est ce type de diffusion qui pose le plus le problème de corrections atmosphériques des images.

➤ **L'absorption**

L'atmosphère constitue un obstacle au passage du rayonnement électromagnétique, et absorbe sélectivement certaines longueurs d'ondes. La principale absorption par la couche d'ozone a lieu dans l'ultraviolet et dans une partie de l'infrarouge. Les molécules d'eau sous forme de vapeur absorbent une grande partie du rayonnement incident.

➤ **La transmission :**

On parle de la transmission surtout pour l'atmosphère. En plus des absorptions diffusions et réfractions du rayonnement par l'atmosphère, cette dernière laisse passer une partie du spectre électromagnétique, qui n'est pas influencée de façon importante par l'absorption atmosphérique, appelée "fenêtre atmosphérique". C'est cette partie du spectre électromagnétique qui intéresse les enregistrements en télédétection (fig. 18).

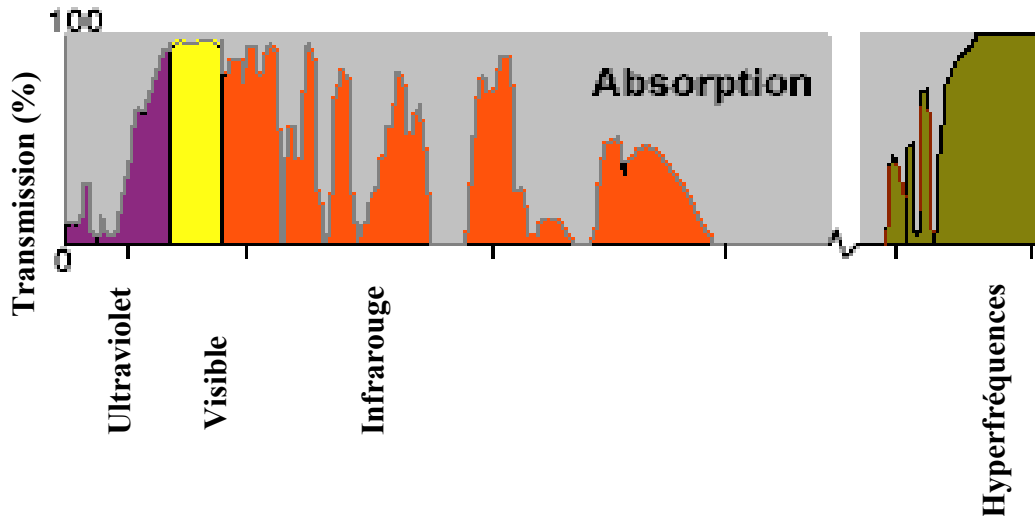


Figure 18- Rayonnement transmis par l'atmosphère "fenêtre atmosphérique"

C'est cette gamme de rayonnement électromagnétique transmis par l'atmosphère que les capteurs utilisent pour la détection des différents objets.

2.3.1.4- Les modes d'enregistrement des données en télédétection

Les données fournies par le satellite ne constituent pas une image (données brutes), mais sont présentées sous forme de valeurs numériques stockées sur un support et transformées en intensités lumineuses sur écran. Cette transformation est assurée par des tables de transcodage qui consistent à passer d'un plan numérique à un plan de caractère.

L'enregistrement des données détectées à distance passe par les étapes suivantes :

➤ L'échantillonnage

Il représente un ensemble de mesures ponctuelles (pixel par pixel) effectuées par le capteur numérique. L'image sera donc présentée sous forme d'une grille. Le mode d'enregistrement dépend des systèmes recevant le rayonnement. Il existe deux systèmes : le système à balayage et le système à barrettes.

Les données que nous utilisons dans la présente étude sont issues du système à balayage. Celui-ci est assuré par un miroir oscillant, situé perpendiculairement à l'avancée du vecteur.

➤ Le codage

Le capteur enregistre l'énergie lumineuse reçue. Celle-ci se traduit par une intensité électrique représentée par un signal analogique.

➤ **La transmission**

Il s'agit de la transmission du signal reçu par le satellite vers les stations de réception. Pour diminuer le bruit de la transmission, c'est-à-dire améliorer le rapport **signal/ bruit**, on procède à une compression du signal (GIRARD & GIRARD, 1989).

➤ **Réception**

Dès sa réception par les stations terrestres de réception situées à la terre, le signal doit être décodé. Le décodage désigne la transformation inverse à celle effectuée à bord du satellite. Les valeurs sont ensuite enregistrées soit sur une bande magnétique, soit sur des Cd-rom, soit sur des disquettes spécifiques de stockage.

Les valeurs obtenues après décodage sont représentées par des entiers. Ce sont des valeurs numériques qui ont une distribution spatiale relative à la position géographique de chaque objet (pixel) détecté par le capteur. Ces données peuvent être visualisées sur écran ou avoir des sorties analogiques sur papier.

2.3.1.5- Les capteurs (Remote sensor)

Ils sont représentés par des instruments permettant de mesurer, dans une longueur d'onde donnée, un signal électromagnétique délivré par une portion d'un territoire visé et le transformer sous forme mémorisable.

On distingue les appareils photographiques (utilisant les émulsions chimiques) et les appareils non photographiques (utilisant le rayonnement électromagnétique pour leurs enregistrements). Il existe deux modes d'enregistrement en télédétection :

- Le mode actif qui utilise des appareils émetteurs récepteurs (radars).
- Le mode passif qui utilise des appareils uniquement récepteurs de l'énergie que les objets émettent ou réfléchissent. Pour ce mode, trois types de capteurs sont utilisés : TM (Thematic Mapper), MSS (Multispectral scanner) et le capteur HRV (Haute Résolution Visible). Les deux premiers capteurs sont embarqués dans le satellite LANDSAT, et le troisième capteur est embarqué dans le satellite SPOT. Chaque capteur est constitué d'un nombre de bandes spectrales et d'une résolution spectrale comme le montre le tableau 11.

2.3.1.6- Vecteurs (vector)

Le vecteur, en télédétection spatiale, c'est le véhicule transportant les appareils de mesure radiométriques ou capteur.

Tableau 11- Principales caractéristiques des couples capteurs vecteurs utilisés en télédétection spatiale terrestre

Type d'Orbite	Satellite	Altitude de vol (km)	Répétitivité	Type de capteurs	Bandes spectrales (µm)	Résolution au sol	Dimension de la scène (km)	Objectif
Géostationnaire	MÉTÉOSAT	35 800	25 mn	VIS, VDT, MIRT	0.4-1.1 5.7-7.1 10.5-12.5	2.5 km × 2.5 km 5 km × 5 km	Le globe terrestre sauf les pôles	Météorologie
	GEOS		17.5mn		Visible et Infrarouge thermique	1 km × 1 km	Portion du globe	
Circulaire	NOAA	850	12h (2f/j)	AVHRR	0.58-0.68 0.72-1.1 3.55-3.93 10.3-11.3 11.5-12.5	1.1 OU 4 km	2400	
Subpolaire Héliosynchrone	LANDSAT (Land Satellite)	705	16J	MSS	0.5-0.6 0.6-0.7 0.7-0.8 0.8-0.1	56 × 79 km	185	Ressources terrestres
				TM	0.45-0.52 0.52-0.60 0.63-0.69 0.76-0.90 1.55-1.75 2.0-2.35	30 × 30 m		
				ETM+	10.4-12.5	120 × 120 m		
	JERS-1	570	44j	OPS	0.52-0.60 0.63-0.69 0.76-0.86 1.59-1.70 2.0-2.1 2.1-2.2 2.2-2.3	18 × 18 m	75	
	SPOT	830	26j ou 1-6j	HRV	0.50-0.59 0.61-0.68 0.79-0.89 Panchromatique : 0.51-0.73	20 × 20 m 10m × 10 m	60	
EarlyBird	470	2-5j		0.49-0.60 0.615-0.670 0.79-0.875 Panchromatique0.44 5-0.65	3 m × 3 m 15 m × 15m	3		

NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration.
 AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer.
 ROS: Radar à Ouverture Synthétique.

2.3.2- Données de télédétection utilisées

Le choix des données adoptées pour atteindre notre objectif, a porté sur des images acquises par le capteur TM (TEMATIC MAPPER) du vecteur LANDSAT. Le choix de ces images est basé généralement sur leur disponibilité, ainsi que sur la bonne résolution spectrale qu'elles offrent.

2.3.2.1- Le choix des scènes et de la date de prise de vue

LANDSAT, satellite héliosynchrone par son système à balayage, offre des images disposées les une à proximité des autres avec un taux de recouvrement de 20%, ce qui donne la possibilité de joindre ces images et d'avoir une couverture continue.

La zone d'étude se trouve entre 4 scènes prises simultanément par le capteur TM. Chaque scène se distingue par un numéro de série correspondant au numéro de ligne (row) et de colonne (path), sa date de prise de vue (tab.12).

Tableau 12- Caractéristiques des images couvrant la zone d'étude

Satellite/Capteur	Path	Row	Date	Qualité
LANDSAT TM7	198	37	14/04/2001	Bonne
	198	36	14/04/2001	Bonne
	197	37	02/05/2001	Bonne
	197	36	02/05/2001	Bonne

La date de prise de vue se situe entre avril et mai 2001 pour l'ensemble des scènes correspondant à la période du printemps. Les conditions météorologiques sont favorables. Les images, acquises durant cette période et pour cette année, sont de bonne qualité et se caractérisent par l'absence de nuages et de vents de sable et de tout autre obstacle atmosphérique, ce qui permet une détection plus ou moins facile des objets.

Chaque image, format numérique, est accompagnée par des informations sur sa dimension totale, la dimension des pixels, la projection et sur le type de capteur et vecteur.

➤ Le choix de la résolution spatiale (résolution géométrique)

Le choix d'une bonne résolution spatiale est basé sur le phénomène étudié, de sorte que cette résolution ne soit pas trop inférieure ni trop supérieure à celle de l'objet détecté et se base surtout sur la disponibilité et la bonne qualité des images.

HIRCHE (1995) suggère que de bonnes résolutions spatiale et spectrale peuvent donner un bon résultat pour la cartographie de la végétation pastorale en zones steppiques.

Les images que nous utilisons dans la présente étude sont des images à moyenne résolution au sol (30m × 30m).

➤ **Le choix des canaux**

Le capteur TM de LANDSAT offre une prise de vue à bonne résolution spectrale en panchromatique et en multi spectrale (7 bandes spectrales : 3 dans le visible, 3 dans l'infrarouge et 1 dans l'infrarouge thermique).

Nous n'utilisons que 6 bandes de la partie multi spectrale.

Le canal infrarouge thermique (TM6) n'est pas utilisé, car il n'apporte pas plus d'information pour notre étude, de plus, il présente une résolution au sol (résolution spatiale) différente (120m) de celle des autres canaux (30×30m), ce qui rend difficile la combinaison entre les autres canaux.

GIRARD & GIRARD, 1999 sépare l'utilisation des bandes spectrales en proposant pour la détection des phénomènes terrestres, les bandes du visible et de l'infrarouge et pour les phénomènes affectant les profondeurs les bandes ayant une certaine pénétration (hyperfréquences ou les infrarouges thermiques) ou intégrant un certain volume.

➤ **Extraction d'une fenêtre de la zone d'étude**

A partir des 4 scènes prises successivement par le capteur on extrait une fenêtre d'intérêt. Cette extraction est spatiale, elle correspond à une fenêtre dont les limites représentent les limites de la zone d'étude.

2.3.2- Traitement des données de télédétection

Les images acquises par les différents capteurs et fournies par les organismes de diffusion des données de télédétection ne sont pas directement utilisables. Toutes les interprétations et analyses d'images satellitaires exigent des traitements numériques qui nécessitent un matériel informatique adéquat et les logiciels nécessaires pour traiter les données. Plusieurs logiciels commerciaux ont été développés spécifiquement pour le traitement et l'analyse des images de télédétection.

Nous avons utilisé, dans ce travail, un logiciel performant ENVI «the Environment for Visualizing Images» qui offre la possibilité de visualisation et d'analyse complète des images.

Pour une meilleure maîtrise des techniques, nous avons axé notre travail sur une partie de la zone d'étude pour laquelle nous disposions plus d'informations phytoécologiques.

2.3.2.1-Prétraitement des images

L'objectif principal de ces opérations est la mise en forme optimale des données contenues dans l'image pour en extraire l'information recherchée.

Les prétraitements rassemblent les corrections radiométriques et les corrections géométriques*.

* Le traitement des images satellitaires a été effectué sous la direction de M. HIRCHE Chargé de cours à l'USTHB, avec l'aide de M. SALAMANI Chargé de cours à l'USTHB.

➤ Les corrections radiométriques

Les corrections radiométriques portent sur des transformations de valeurs de compte numérique en luminance. Ces corrections sont généralement appliquées pour diminuer l'effet des distorsions liées :

- à l'angle de balayage du couple capteur et vecteur;
- à l'orbite du satellite;
- à la différence de l'irradiance solaire due à la date de prise de vue et qui ne porte préjudice qu'en cas d'étude diachronique (JOLY, 1984) ;
- aux perturbations atmosphériques qui se manifestent par la présence d'éléments accentuant les phénomènes de diffusion (les particules et les aérosols) et le phénomène d'absorption (l'eau).

Dans le cas de nos images, l'angle de balayage demeure faible. Il peut être assimilé à un angle constant. Les orbites de LANDSAT sont héliosynchrones et par conséquent aucune distorsion due à l'orbite ne sera remarquée.

Nos images posent le problème de différence des dates de prises de vue d'une scène à l'autre. Ce problème est lié aux effets atmosphériques qui nécessitent des corrections radiométriques.

Dans la présente étude nous avons pris une partie de la zone d'étude sur laquelle nous avons effectué les traitements de télédétection (Fig.19).

Par ailleurs, il faut souligner que l'ensemble des traitements de télédétection sera effectué sur des comptes numériques qui représentent des valeurs radiométriques codées sur 24 bits (256 niveaux) et qui ne correspondent pas à des grandeurs physiques (la luminance et la réflectance).

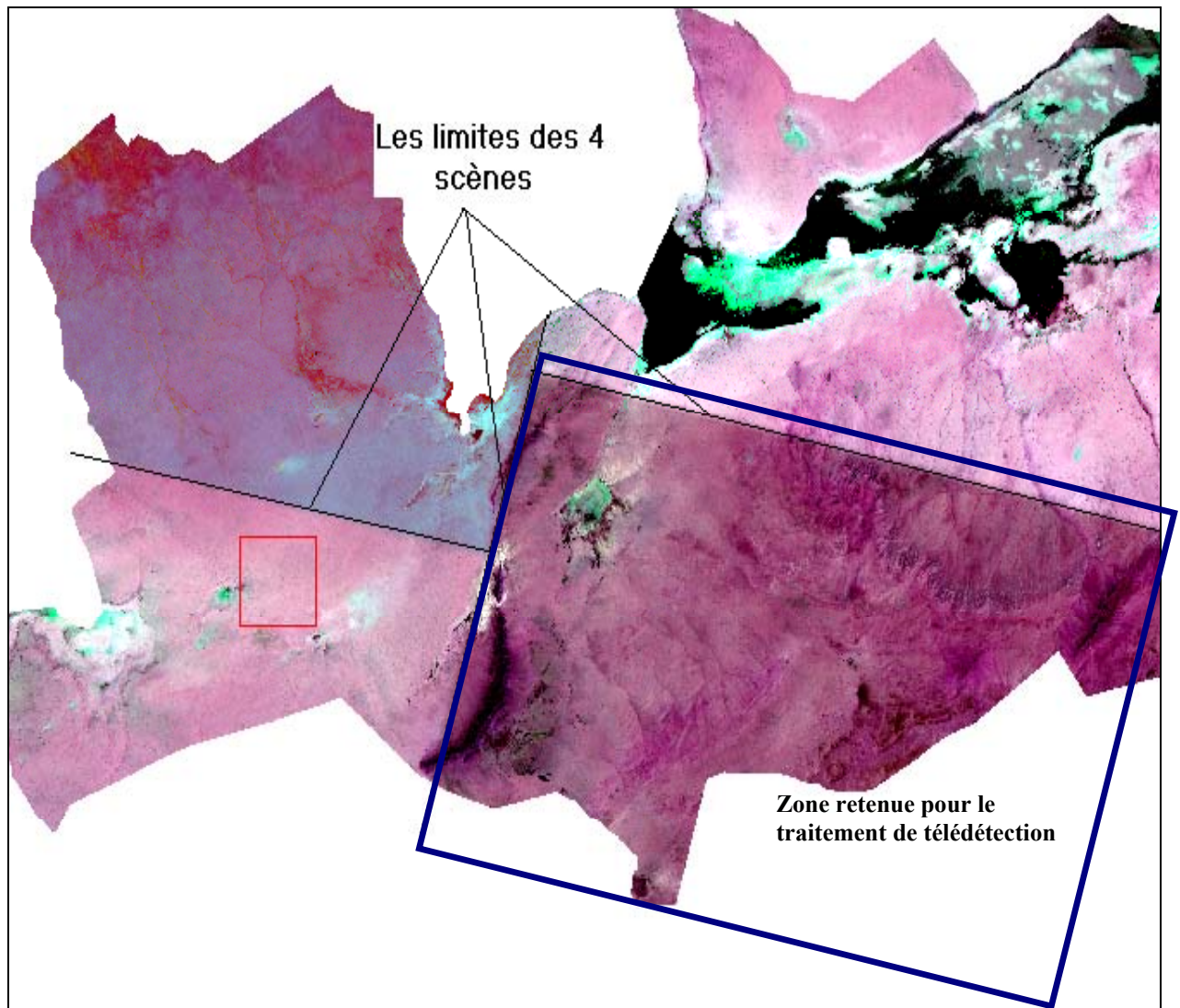


Figure 19- Limites de la zone d'étude sur les images satellitaires TM LANDSAT

➤ Les corrections géométriques

Les images enregistrées par le système de télédétection spatiale d'un territoire donné, comportent des distorsions géométriques dues à plusieurs paramètres (la rotation de la terre, l'angle de prise de vue, la rotondité de la terre, l'orbite du satellite et les mouvements du satellite).

Pour pouvoir utiliser ces images, il faut corriger leurs distorsions géométriques.

Les corrections géométriques désignent essentiellement la mise en conformité spatiale d'une image avec un référentiel, on parle donc de géoréférencement ou calage.

Il existe deux types de méthodes utilisées pour effectuer les corrections géométriques des images satellitaires, les méthodes paramétriques et les méthodes interpolatrices (TEISSER & STAMON, 1994).

- Les méthodes paramétriques reposent sur la modélisation des phénomènes qui engendrent les déformations géométriques. Cette modélisation nécessite la connaissance des mécanismes liés au couple vecteur-capteur. Ces méthodes se caractérisent par leur complexité.
- Les méthodes interpolatrices appelées aussi non paramétriques ne nécessitent pas la connaissance des informations propres au couple vecteur-capteur. Ce sont les méthodes les plus utilisées dans les corrections géométriques des images satellitaires.

Dans le cas des méthodes interpolatrices on distingue les méthodes permettant de corriger les déformations globales de l'image et les méthodes qui prennent en compte les distorsions locales.

Nous utilisons la modélisation polynomiale, méthode globale, qui s'appuie sur la connaissance d'un nombre déterminé de points homologues entre l'image à corriger et la carte de référence (points d'appui ou points de référence). Ces points d'appui permettent de calculer, selon un modèle de déformation de type polynomiale d'ordre 1, les coordonnées des points homologues dans l'image (GALTIER & *al*, 1992).

La méthode polynomiale d'ordre 1 donne des résultats plus satisfaisants (HIRCHE, 1995 ; GIRARD & GIRARD, 1999), malgré le fait qu'elle soit moins précise que la polynomiale d'ordre 2 et 3. Cependant, elle permet d'avoir un document plus homogène.

Cette méthode se base sur une détermination d'une série de points A_i définis par les coordonnées géographiques (x_i, y_i) et les coordonnées (p_i, q_i) dans l'image brute. On pourra déterminer les polynômes L et P par la fonction linéaire suivante :

$$\begin{aligned} p_i &= L(x_i, y_i) \\ q_i &= P(p_i, q_i) \end{aligned}$$

Un point sera déterminé par deux polynômes.

Pour compléter les corrections géométriques, un rééchantillonnage fait suite aux opérations précédentes. Il consiste à surimposer une nouvelle grille à la grille géométriquement corrigée (HIRCHE, 1995).

Chaque point (x, y) de l'image corrigée ne présente pas exactement la même valeur numérique du point d'origine (q', p') dans l'image brute. Donc le rééchantillonnage ou la conversion d'un échantillon du signal en un autre échantillon, permet d'attribuer à chaque point de l'image corrigée une valeur numérique déterminée par interpolation entre les valeurs des pixels voisins de l'image brute, méthode du plus proche voisin qui est appliquée dans notre cas.

Le but du rééchantillonnage est de déterminer les valeurs radiométriques de l'image corrigée.

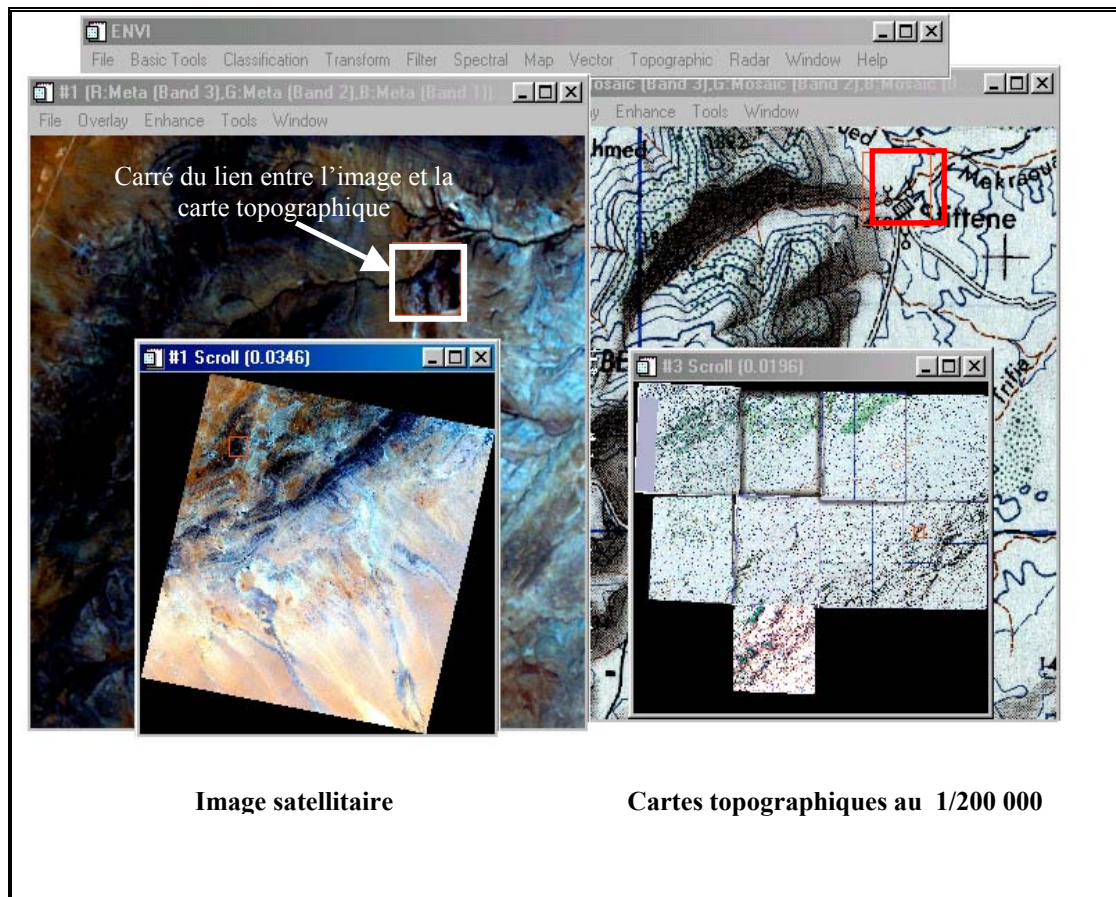


Figure 20- Le choix de points de calage

L'ENVI possède un module de recalage performant, permettant de choisir interactivement les points d'appui sur l'image et sur le référentiel, en affichant sur écran l'image à rectifier et la carte de référence (carte topographique au 1/200 000) (Fig.20) en choisissant le modèle polynomial d'ordre 1.

Nous avons pris 16 points d'appui pour effectuer les corrections géométriques d'une image.

2.3.2.2- Traitements numériques des images satellitaires

Les traitements des images satellitaires appliqués pour cette étude sont le rehaussement, la transformation, la classification et l'analyse de l'image.

Les fonctions de rehaussement ont pour but d'améliorer l'apparence de l'imagerie pour aider à l'interprétation et à l'analyse visuelle. Elles sont appliquées à une seule bande.

Contrairement au rehaussement, les transformations d'images sont des opérations appliquées à plusieurs bandes spectrales. Des opérations arithmétiques (addition, soustraction, multiplication, division) sont faites pour combiner et transformer les bandes originales en de nouvelles images appelées "néocanaux" qui montrent plus clairement certains éléments de la scène.

Les opérations de classification et d'analyse d'image sont utilisées pour identifier et classer numériquement des pixels sur une image.

➤ La création des néocanaux

Les néocanaux (indices) sont créés à partir de différentes fonctions appliquées aux canaux bruts de l'image satellitaire utilisée, afin de pouvoir extraire l'information désirée. Le choix des néocanaux dépend de l'objectif fixé.

CALOZ (1994) définit un indice «comme une variable synthétique, numérique qui caractérise l'intensité ou l'extension d'un phénomène trop complexe pour être décomposé en un nombre maîtrisable de paramètres ».

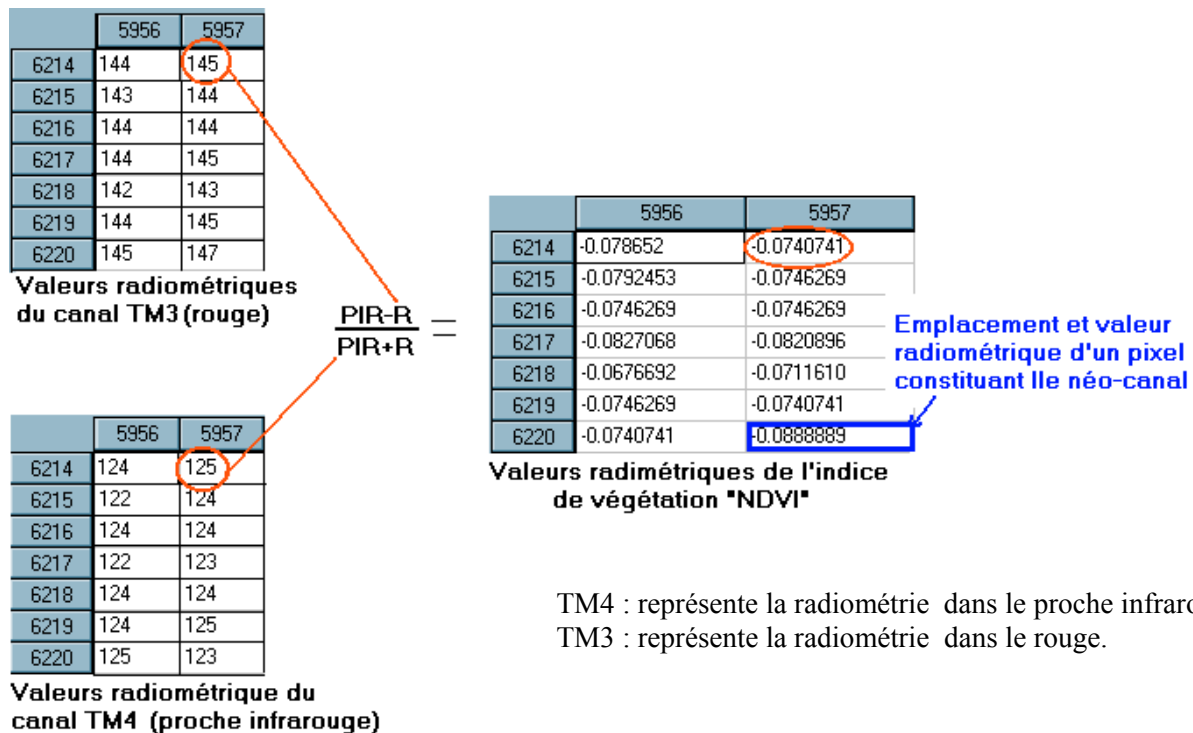
Nous avons considéré trois indices : l'indice de végétation, l'indice de brillance et l'indice de rougeur.

• L'indice de végétation

Il permet de visualiser sur un seul canal la dynamique des réponses liées à la densité d'un couvert végétal, en optimisant les contrastes entre le visible et le proche infrarouge.

Nous avons utilisé l'indice de végétation normalisé "NDVI**". Il est calculé par la formule de ROUSSE & al (1973) (Fig. 21) :

$$NDVI = \frac{(TM4 - TM3)}{(TM4 + TM3)}$$



TM4 : représente la radiométrie dans le proche infrarouge.
 TM3 : représente la radiométrie dans le rouge.

Figure 21-Principe de calcul de l'indice de végétation

* NDVI : Normalized Difference Vegetation Index.

Selon BARIOU & al (1985), la normalisation par la somme des deux bandes, le proche infrarouge et le rouge, tend à réduire l'effet de l'éclairement. Cet indice est compris entre -1 et +1, plus cet indice est élevé et plus la zone correspondante au sol a une activité chlorophyllienne forte.

- **L'indice de brillance et l'indice de rougeur**

Les indices de brillance et de rougeur sont des indices qui mettent en évidence les diverses composantes du sol.

L'indice de brillance sert à distinguer les zones d'ombre des zones ensoleillées (GIRARD & GIRARD, 1999). Il est défini par la racine carrée des sommes de carrées des deux canaux, le rouge et le proche infrarouge. Il est calculé par la formule de ROBIN (1995).

$$IB = \sqrt{TM4^2 + TM3^2}$$

IB : Indice de brillance

L'indice de rougeur d'un sol est calculé par la formule suivante (ROBIN, 2002) :

$$IR = \frac{TM3^2}{TM1^2 \times TM2^2}$$

IR : Indice de rougeur.

Ces deux indices ont été préconisés par POUGET & al (1991) pour les zones méditerranéennes arides.

En plus de ces trois indices, une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée.

L'application de l'analyse en composantes principales aux 6 bandes spectrales du TM, suite à une combinaison linéaire (projection des pixels sur des axes), permet d'avoir 6 ACP non corrélées. L'information est essentiellement concentrée autour des néocanaux ACP1, ACP2 et ACP3.

Cette étude ne nécessitait pas absolument les calculs de l'ACP. En effet l'utilisation des logiciels performants permet la prise en considération d'un nombre illimité de canaux ou néocanaux dans la classification supervisée.

➤ **L'amélioration dynamique**

L'objectif principal de l'amélioration dynamique est de construire l'image la plus contrastée et la plus lisible, ce qui permet l'optimisation de l'information.

Les améliorations dynamiques consistent à modifier la radiométrie de chaque canal, sachant que les données brutes sont codées sur 256 niveaux. Ces données ne couvrent presque jamais l'étendue des 256 valeurs disponibles (GIRARD & GIRARD, 1999)

représentées par les histogrammes de chaque canal (Fig.22). L'étalement dynamique permet l'utilisation maximale de cet intervalle réel.

Une première approche consiste à n'utiliser que les valeurs radiométriques utiles (seuillage) en éliminant les valeurs des pixels initialement inférieures ou égales à un certain seuil. Le seuil minimal sera mis à zéro, les valeurs des pixels initialement supérieures ou égales à un certain seuil (seuil maximal) mises à 255, et les valeurs intermédiaires prendront de nouvelles valeurs radiométriques calculées par des fonctions de transformation ou codage. Les fonctions de transformation permettent d'avoir la majorité des pixels de l'image dans des valeurs détectables.

Une seconde approche est appliquée, en affectant la valeur "0" à la valeur minimum des comptes numériques et la valeur "255" à la valeur maximum. Cette opération garde toute l'information mais la dynamique de l'image sur écran n'est pas nettement améliorée.

Nous appliquerons ces approches aux néocanaux afin d'homogénéiser les données et rendre l'information apportée par ces néocanaux comparable à celle apportée par les canaux bruts (fig.20).

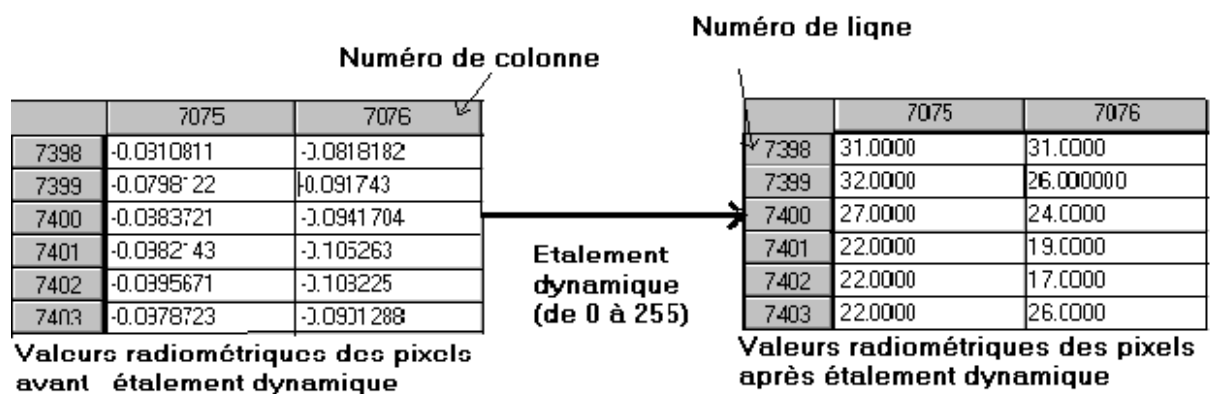


Figure 22- Transformation des comptes numériques d'une fenêtre d'extraction du néocanal "NDVI" par étalement dynamique

2.3.2.2- L'Analyse visuelle et le choix de la meilleure trichromie

L'analyse visuelle des images satellitaires est une étape d'aide pour l'interprétation thématique. La délimitation des différentes zones détectables sur l'image se base sur l'utilisation des critères photogrammétriques définies par RAY & IZARD (1969); GIRARD (1970) et BOUZENOUE (1984) pour l'interprétation des photographies aériennes. Dans le cas des images satellitaires ces critères ressemblent dans leur plus grande partie aux précédents et sont principalement définis par le contraste, la teinte, les formes... etc.

L'identification directe sur image n'est possible que si la dimension de l'objet est supérieure à la dimension du pixel et que l'objet présente le plus de contraste sur l'image. Dans notre cas nous pouvons détecter sur l'image: les routes, les agglomérations (zones construites), le réseau hydrographique et quelques formes géomorphologiques telles que les djebels, les dépressions et les accumulations sableuses importantes.

Les limites des plages cartographiques sont directement dessinées sur écran par l'utilisation du logiciel Mapinfo.

L'analyse visuelle nécessite l'affichage de l'image la plus contrastée sur écran qui se fait par la sélection des trois canaux les moins corrélés, d'où s'impose le choix de la "meilleure trichromie" ou trichromie idéale qui doit permettre la distinction d'un maximum de nuances sur l'image de façon à éviter la redondance entre les canaux (HIRCHE, 1995).

Les trois canaux de la trichromie choisie doivent être en concordance avec le thème à mettre en évidence.

Nous avons effectué une classification de toutes les trichromies possibles, sur la base des analyses statistiques effectuées sur l'ensemble des bandes spectrales disponibles.

La visualisation d'une image composée des trois bandes spectrales, de la trichromie choisie, se fait par la simple affectation d'une couleur par canal en aboutissant à une composition colorée.

La composition colorée telle qu'elle a été définie (arrêté du 25 septembre 1984 relatif à l'enrichissement du vocabulaire de la télédétection aérospatiale, in GIRARD & GIRARD, 1999), est une "représentation significative obtenue par une ou plusieurs combinaisons de couleurs".

« Les couleurs n'ont jamais de significations en elle-même, l'opérateur dans sa lecture se laisse guider par leurs contrastes et combinaisons » (ARMAND & al, 1995).

❖ La classification de l'image

L'image est un document brut et complexe par la multitude d'informations qu'elle contient. Une simplification de ce document est nécessaire pour pouvoir tirer l'information la plus juste et la plus précise.

La cartographie est le meilleur moyen d'illustration des différentes informations contenues dans les images. Donc une image peut faire l'objet de réalisation de plusieurs cartes thématiques.

Pour passer d'un document complexe (image) à un document simple (carte) il est nécessaire de réaliser une classification de l'image, ce qui permet d'extraire l'information d'intérêt et de réduire l'information existante dans les images, pour définir des ensembles moins nombreux, par le groupement de plusieurs pixels en classes thématiques (GIRARD & GIRARD, 1999).

En effet, la classification est définie « comme étant l'opération qui regroupe, au mieux de leur ressemblance spectrale, les divers objets au sol » (CALOZ, 1991). Elle se base principalement sur l'emploi des différentes méthodes statistiques, on distingue deux types de classifications :

- La classification non supervisée
- La classification supervisée

Avant de procéder aux classifications une application d'un masque géographique est nécessaire dans le cas de notre zone d'étude. Ce masque est appliqué de façon à éliminer les valeurs radiométriques extrêmes liées à un thème bien défini. Nous avons appliqué un masque pour la partie d'ensablement très important (placage sableux) et pour la zone de djebel Antar (Fig.23) qui est souvent confondue avec d'autres zones.

Djebel Antar

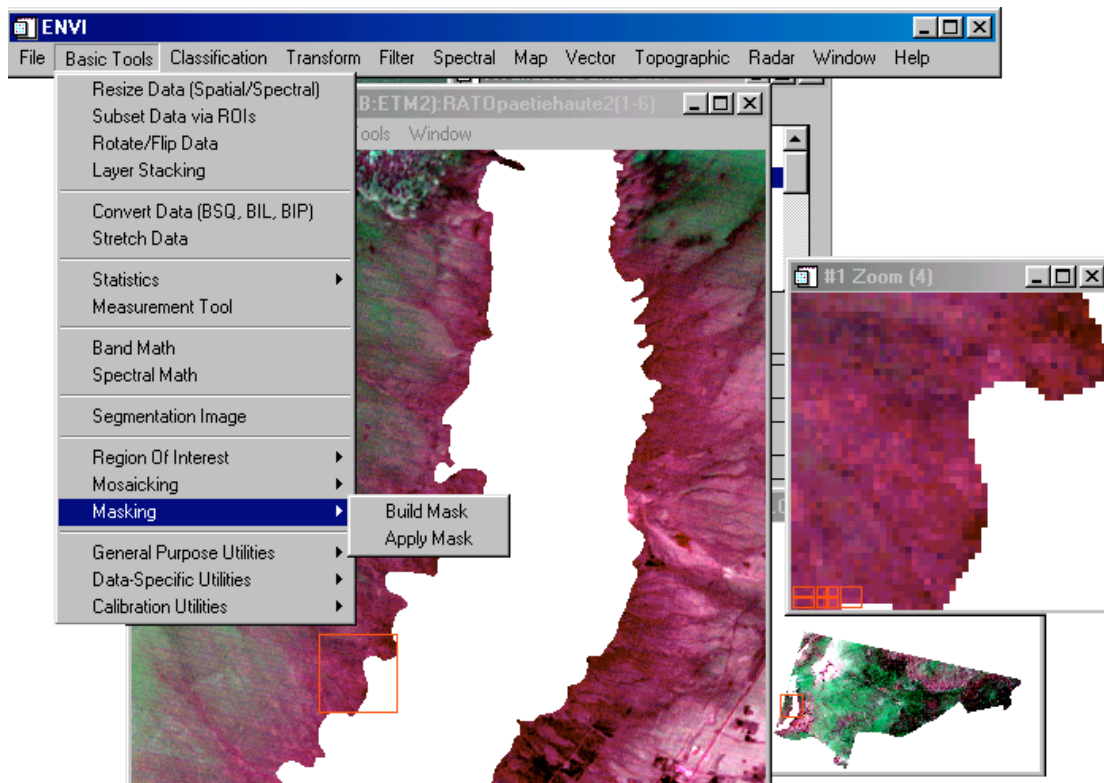


Figure 23 - Application d'un masque sur la zone de Djebel Antar

- La classification non supervisée (non assistée)

Les données sont classées en fonction de leurs caractéristiques spectrales, sans aucune information à priori sur la nature des objets à classer. L'interprète intervient

pour fixer le nombre de classes à prendre en considération. La méthode statistique utilisée est la classification ascendante hiérarchique (CAH).

- La classification supervisée (assistée)

Le principe de la classification supervisée est de classer l'ensemble des pixels constituant l'image par rapport à des pixels de référence définis préalablement. L'ensemble des pixels de référence constitue les zones tests appelées aussi des zones d'apprentissage ou zones d'entraînement. Chaque zone représente un objet identifié sur la base de la réalité terrain.

Le choix des zones d'apprentissage est basé sur les critères suivants :

- Les zones tests doivent contenir des pixels de valeurs radiométriques les plus homogènes possibles.
- Les réponses spectrales des thèmes, représentés par les zones tests, doivent correspondre aux valeurs radiométriques données par les bandes spectrales de l'image traitée.
- Chaque zone test est définie par deux ou plusieurs polygones.
- Le nombre de pixels pour chaque zone d'apprentissage ne doit pas être inférieur à 30 pixels, et de préférence doit être supérieur à 100 pixels (GIRARD & GIRARD, 1999).

Le logiciel "ENVI" permet de définir les zones tests par la fonction "Region of interest" (Fig.24).

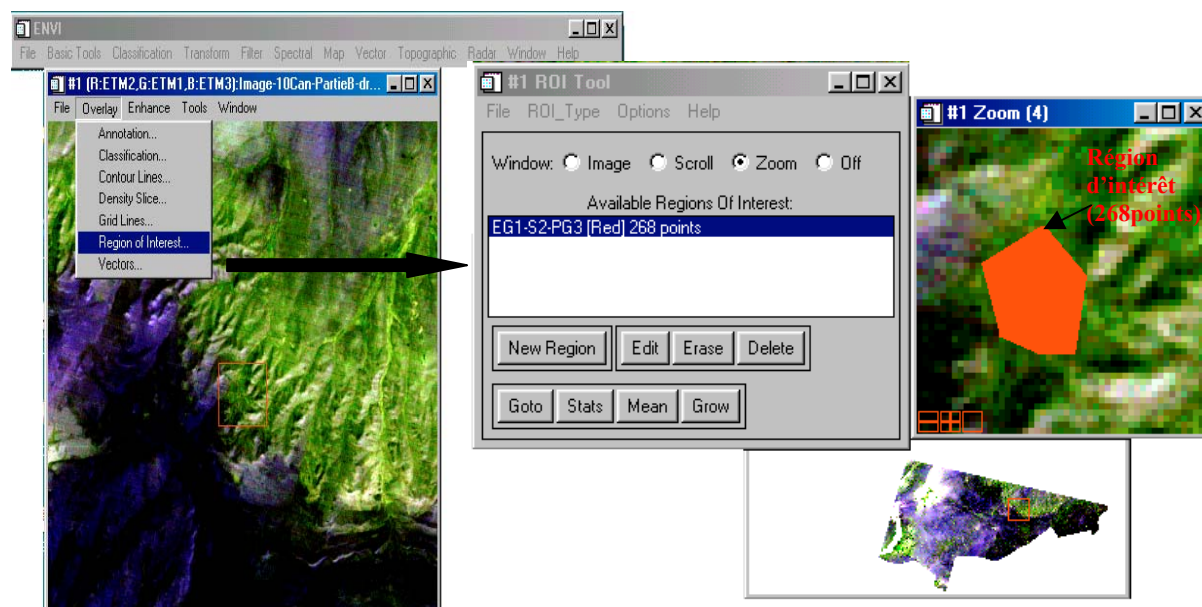


Figure 24- Définition des zones tests

Après définition de l'ensemble des zones d'apprentissage, la classification supervisée peut être lancée en appliquant la méthode statistique du maximum de vraisemblance qui se base sur :

- l'application des méthodes probabilistes : on calcule, pour chaque pixel, la probabilité pour qu'il soit rattaché à telle classe plutôt qu'à telle autre.
- La nécessité de paramétrer les classes de référence de façon à obtenir une distribution gaussienne des comptes numériques représentant chaque classe.
- La création d'une classe de rejet, déterminée par des seuils, qui reçoit les pixels qui ne peuvent pas être affectés à l'une des classes de références.

Les différentes étapes de classification supervisée sont données par la figure 25. La figure 24, par conte, résume les différentes étapes de télédétection adoptée dans la présente étude.

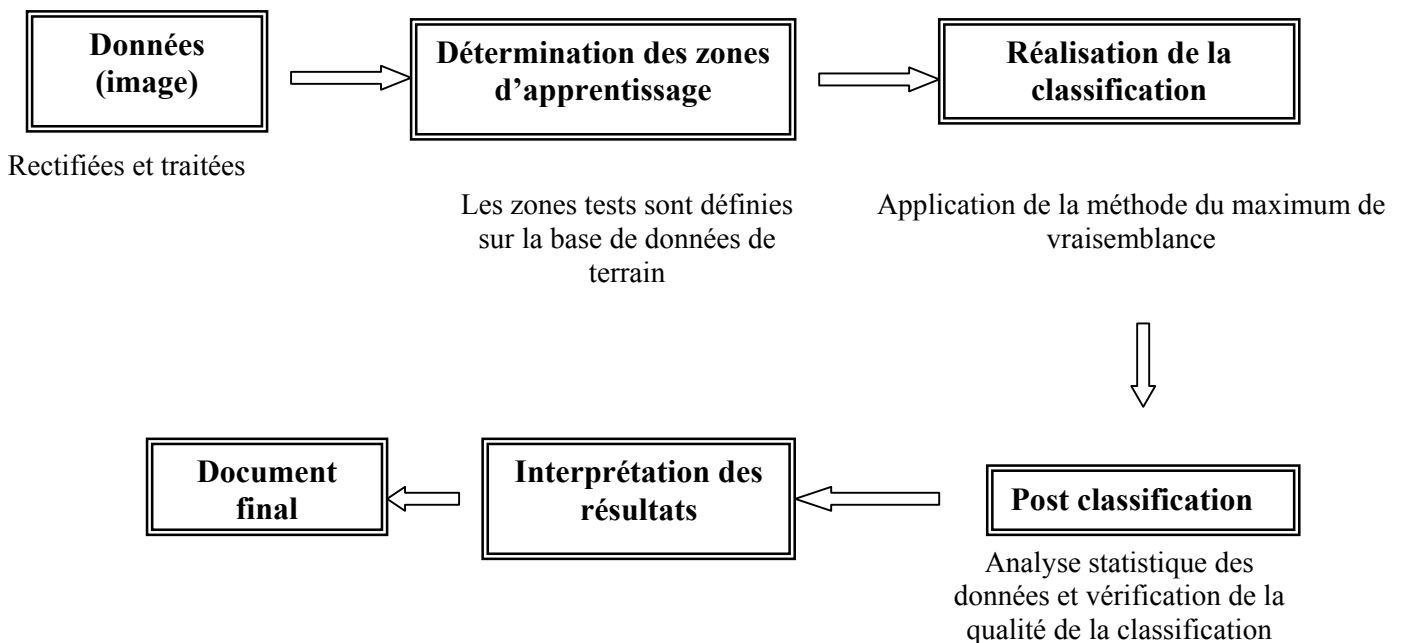


Figure 25- Organigramme des différentes étapes de la classification supervisée

La démarche adoptée dans la partie télédétection est, dans la présente étude, est résumée dans l'organigramme de la figure 26.

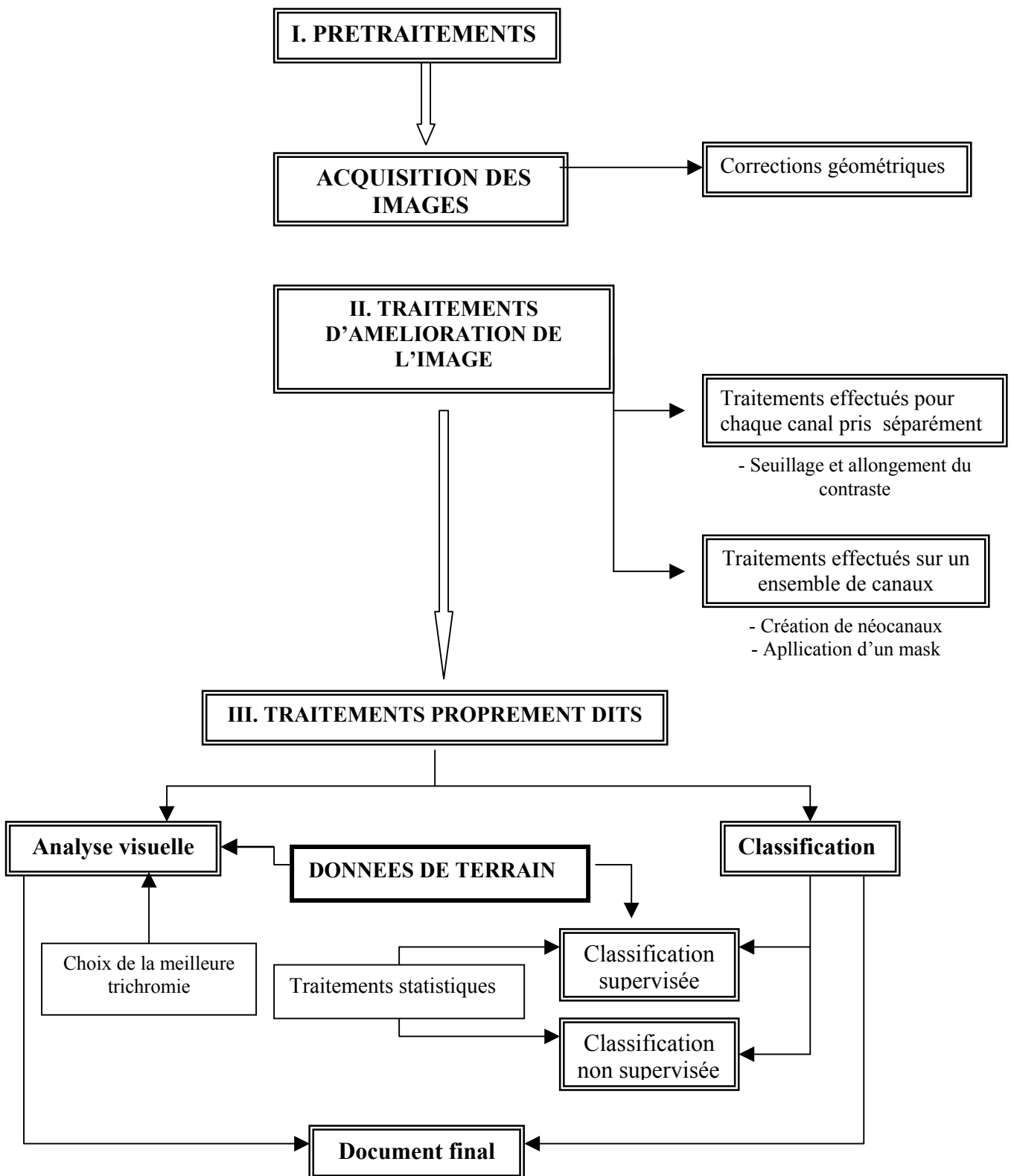


Figure 26- Organigramme des différentes étapes des traitements de télédétection

Chapitre III
RESULTATS ET DISCUSSION

1- RESULTATS DE L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES

Les résultats de l'analyse factorielle des correspondances sont illustrés par des représentations graphiques des projections des points correspondant aux relevés et aux espèces) sur des plans déterminés par des axes factoriels pris deux à deux. Les contributions relatives et absolues ainsi que les coordonnées de chaque point sont reportées dans des tableaux.

1.1- Analyse globale

L'analyse globale, appliquée sur 117 relevés et 99 espèces, permet de différencier quelques relevés représentant des milieux particuliers par rapport à l'ensemble des relevés (109 relevés) qui forment un noyau localisé au centre du plan factoriel formé par les axes 1-2 (Fig.27). Le taux d'inertie cumulée apporté par cette analyse est de 14,5 %

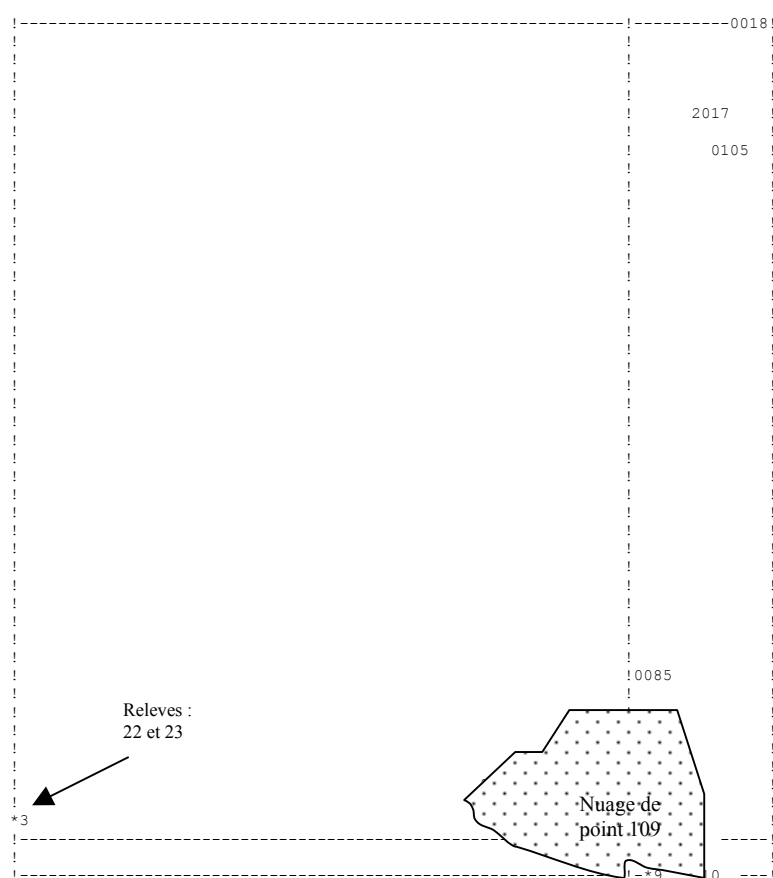


Figure 27- AFC globale : Représentation des relevés sur le plan factoriel des axes 1 et 2

- Les relevés 17, 18 et 105 sont caractérisés par la présence de *Frankenia thymifolia* et *Atriplex glauca* déterminés comme gypso-halophytes par AIDOU-LOUNIS (1984), d'*Halocnemum strobilaceum* qui est une halophyte, de *Zygophyllum album* espèce déterminée comme exclusive de la classe de partition à drin (AIDOU-LOUNIS, 1984), et par la présence d'*Aristida pungens* psammophyte de premier degré (CELLES, 1975; DJEBAILI, 1978). Ces relevés, effectués en bordure du Chott Ech Chergui, représentent donc le groupement des gypso-halophytes.

- Les relevés 22 et 23, effectués en haut du versant du Djebel Antar, représentent la steppe arborée à *Stipa tenacissima* et *Juniperus phoenicea*.

Cette analyse globale semble insuffisante pour la discrimination des groupements existant dans la zone d'étude. Nous avons donc effectué une analyse partielle sur les relevés formant le nuage du centre.

1.2- Analyse partielle

Une analyse partielle est réalisée sur 109 relevés et 83 espèces afin de pouvoir différencier ces relevés.

L'interprétation des axes factoriels est effectuée en prenant en considération les contributions (absolues et relatives) les plus élevées des relevés et des espèces pour chaque axe (TOMASSON, 1988).

Les trois premiers axes de cette analyse partielle cumulent un taux d'inertie de 12,682%.

1.2.1- Signification écologique des axes factoriels

- L'axe 1

Le tableau 13 représente les caractéristiques écologiques des relevés à fortes contributions pour l'axe 1

Tableau 13- Caractéristiques écologiques des relevés à fortes contributions

à l'axe 1

Numéro des relevés et variables écologiques	Partie négative				Partie positive			
Relevés	5088	2009	2064	5072	2068	1113	2084	1111
CTA (absolue)	7	5	4	4	53	46	30	17
CTR (relative)	48	67	99	16	136	202	104	76
Espèces dominantes	TM SV	LS	LS SV et NM	TM et LS	AC	ST AC	LS et SV	ST
Altitude (m)	1300- 1350	1200- 1250	1200- 1250	1200- 1250	1300-1350	1150- 1200	1100- 1150	1150- 1200
R.G.V	15-20	15-20	10-15	10-15	25-30	>30	15-20	10-15
R.Lit	≤5	≤5	5-10	≤5	≤5	≤5	10-15	10-15
R.Sol nu	10-15	0	0	15-20	0	0	0	0
R.Sable	60-75	60-75	30-45	45-60	30-45	45-60	45-60	45-60
R.PG	<10	<10	<10	10-20	20-30	5<10	10-20	10-20
R.E.G	<10	10-20	40-56	<10	10-20	0	10-20	20-30
R.R.M	0	≤5	0	5-10	0	0	0	0

TM: *Thymelaea microphylla*

LS: *Lygeum spartum*

SV: *Salsola vermiculata*

NM: *Noaea mucronata*

AC: *Atriplex canescens**

ST: *Stipa tenacissima*

CTA : Contribution absolue.

CTR : Contribution relative.

R.Lit: Recouvrement de la litière.

R.Sol nu: Recouvrement du sol nu.

R.Sable: Recouvrement du sable.

R.PG : Recouvrement en la pellicule de laçage.

R.E.G: Recouvrement des éléments grossiers.

R.R.M: Recouvrement de la roche mère.

R.G.V: Recouvrement global de la végétation

L'analyse des caractères écologiques des relevés à fortes contributions pour l'axe 1 (Tab. 14 et Fig.), fait ressortir une légère augmentation du recouvrement du sable qui se traduit par la dominance d'espèces psammophyles, du côté négatif de l'axe 1, telles que *Thymelaea microphylla* et *Atractylis serratuloides*. Les steppes formées ainsi, ont déjà été décrites par AIDOU (1983) comme des steppes de substitution des steppes à *Lygeum spartum* quand l'ensablement devient plus important.

Tableau 14- Les espèces à fortes contributions pour l'axe 1

Coté négatif				Coté positif			
Code	Espèce	CTA	CTR	Code	Espèce	CTA	CTR
4972	<i>Thymelaea microphylla</i>	35	134	2827	<i>Launaea acanthoclada</i>	76	228
4348	<i>Salsola vermiculata</i>	19	143	0499	<i>Artemisia campestris</i>	75	297
0641	<i>Atractylis serratuloides</i>	14	121				
1383	<i>Cleome Arabica</i>	3	9				

CTA : Contributions absolues des espèces par rapport à l'axe 1.

CTR : Contributions relatives des espèces par rapport à l'axe 1.

* *Atriplex canescens* : espèce introduite par plantation

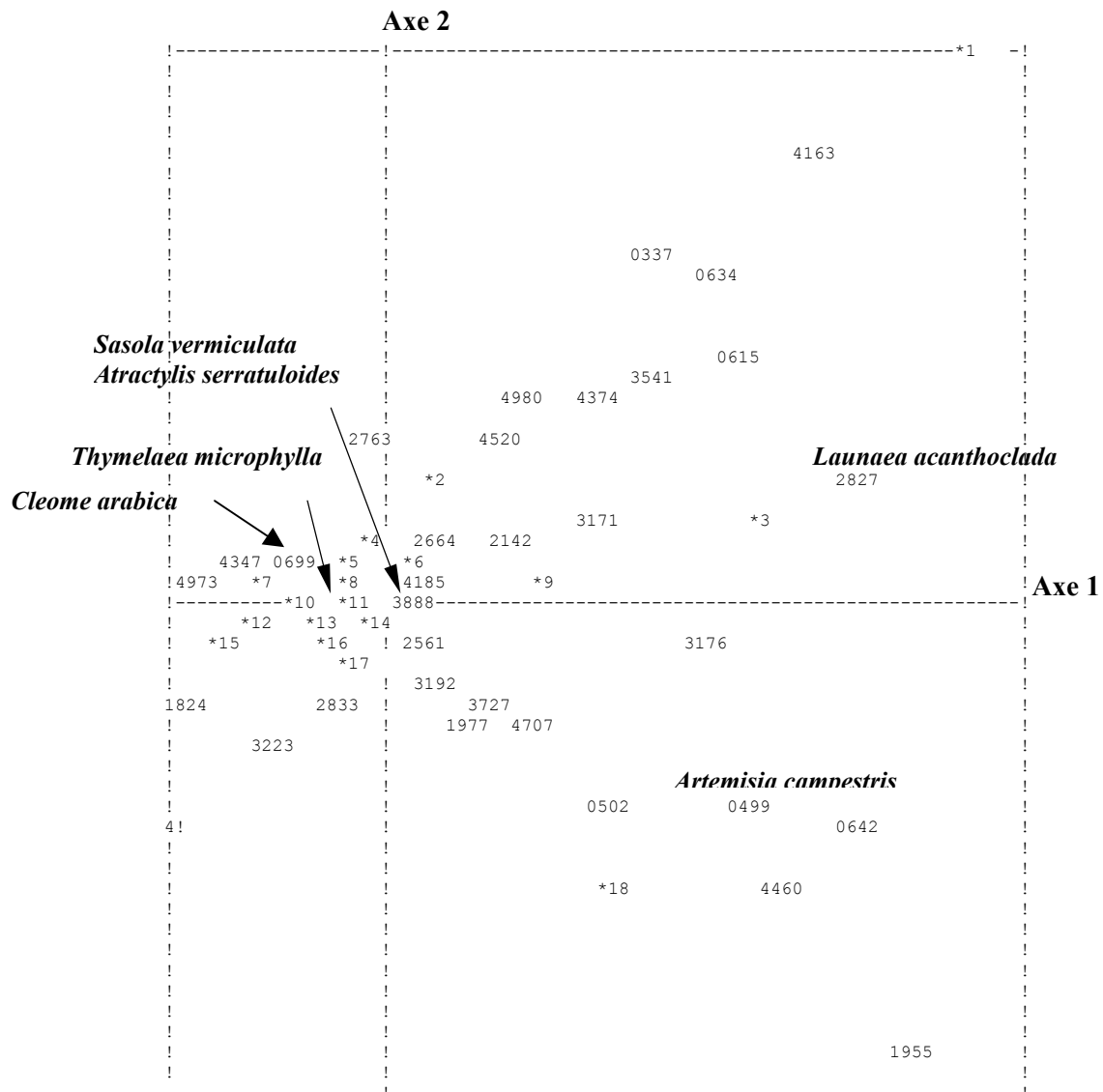


Figure 28- Dispersion des espèces dans le plan des axes 1 et 2

- *1: 1957
- *2: 2835-2093
- *3: 4868-4162
- *4: 3342-4461-2296-4857-2443
- *5: 3418-2496-2444
- *6: 0613-2465
- *7: 0644-1383-0262-3885
- *8: 0641-2089-4853
- *9: 1842 -1843-2476
- *10: 3138-4972-3347-3747-5386-0440
- *11: 4348-5385
- *12: 2438-0258-0568-2090
- *13: 1440-3447-1009
- *14: 1825-3136
- *15: 1826-1592-2493
- *16: 2419-3156
- *17: 1410-4353-3175-2838
- *18: 0573-0691

La carte factorielle des espèces (fig. 28), montre une forte contribution des espèces de dégradation (au niveau du pôle positif de l'axe1) telles que *Launaea acanthoclada*, espèce chasmophyte (LE HOUEROU 1969 ; LE HOUEROU & al 1967 ; CELLES 1975) et *Artemisia campestris*, espèce dite post-culturale (POUGET, 1979) et décrite comme caractéristique d'un sous-groupe de forte pression anthropozoïque (BOUZENOUNE, 1984). Sur le côté négatif on retrouve les espèces liées à l'ensablement (*Thymelaea microphylla* et *Atractylis serratuloides*) voir autoécologie espèces (Tab.15).

L'axe 1 oppose deux natures de dégradation, le côté positif c'est la dégradation par culture et le côté négatif c'est la dégradation par pâturage.

Tableau 15- Autoécologie des espèces à fortes contributions pour l'axe 1

Espèces	Autoécologie
Extrémité négative	
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Thymelaea microphylla</i> - <i>Salsola vermiclata</i> - <i>Atractylis serratuloides</i> - <i>Cleome arabica</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Sable fixe des steppes (LE HOUEROU, 1969). - Groupe sociologique des steppes psammophiles (CELLES, 1975). - Steppe aride moyenne et inférieure. Steppe édaphique à texture grossière (POUGET, 1980). - Pâturage aride et désertique (QUEZEL & SANTA 1962,1963). - Groupements à <i>Lygeum spartum</i> et <i>Stipa tenacissima</i> (AIDOUD, 1984). - Pâturage rocailleux (QUEZEL & SANTA 1962,1963). - Etage aride inférieur et saharien. Psammophyte (LE HOUEROU & al, 1975). - Steppe saharienne. Steppe psammophile (CELLES, 1975). - Etage aride saharien (DJEBAÏLI, 1978)
Extrémité négative	
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Launaea acanthoclada</i> - <i>Artemisia campestris</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Affleurement calcaire (LONG, 1954). - Chasmophyte (LE HOUEROU & al, 1975; CELLES, 1975). - Versant et surface plus ou moins encroûté, sol sur grès et calcaire dur. Dans l'aride (POUGET, 1980). - Sable fixés, cultigène (HOUEROU & al, 1975). - Groupe climatique des steppes arides, préfère les sables sur terrain légers ou labourés (CELLES, 1975). - Steppe climatique aride Sur sol sableux, texture grossière sur au moins 10-20 cm. Steppe psammophile / cultigène; texture moyenne en surface, profondeur variable (POUGET, 1980). - Sol sablo-limoneux plus ou moins caillouteux en surface (DJEBAÏLI, 1978)

- L'axe 2

L'axe 2 représente l'effet GUTTMAN, défini par BENZECRI & coll. (1973), ce qui signifie qu'il existe un facteur redondant entre les deux axes (1 et 2). Cet effet n'exclut pas l'apport de l'axe 2 qui exprime également un autre facteur (Tab. 16 et Fig. 29).

Les relevés situés au niveau du pôle positif de l'axe 2 représentent un pourcentage élevé en éléments grossiers et sont localisés sur des versants à fortes altitudes (> 1350 m). A l'opposé, au pôle négatif, les relevés de faibles altitudes (≤1200 m) reflètent des milieux caractérisés par un important pourcentage en pellicule de glaçage.

Tableau 16- Caractéristiques écologiques des relevés à fortes contributions à l'axe 2

Contributions et variables écologiques	Partie négative				Partie positive			
	0085	3087	2027	4074	1065	2067	1109	4041
CTA (absolue)	170	115	31	13	256	129	35	3
ST, L A	LS, ST	ST, N M	SV					
Altitude (m)	1100-1150	1100-1150	1050-1100	1150-1200	1400	1406	1350-1400	1200-1250
R.G.V (%)	25-30	15-20	30-40	15-20	10-15	<10	<10	10-15
R.Lit (%)	15-20	≤5	10-15	10-15	≤5	≤5	5-10	≤5
R.Sol nu (%)	0	0	0	10-15	0	0	0	0
R.Sable (%)	<15	<15	30-45	30-45	15-30	30-45	45-60	60-75
R.PG (%)	40-50	40-50	10-20	30-40	<10	<10	<10	<10
R.E.G (%)	0	20-30	<10	0	40-60	20-30	20-30	<10
R.R.M (%)	0	≤5	0	0	0	0	0	0

AH : *Atriplex halimus*.

AHA : *Artemisia herba alba*.

LS : *Lygeum spartum*.

SV : *Salsola vermiculata*.

Ph : *Peganum harmala*

ST : *Stipa tenacissima*.

LA : *Launaea acanthoclada*.

NM : *Noaea mucronata*

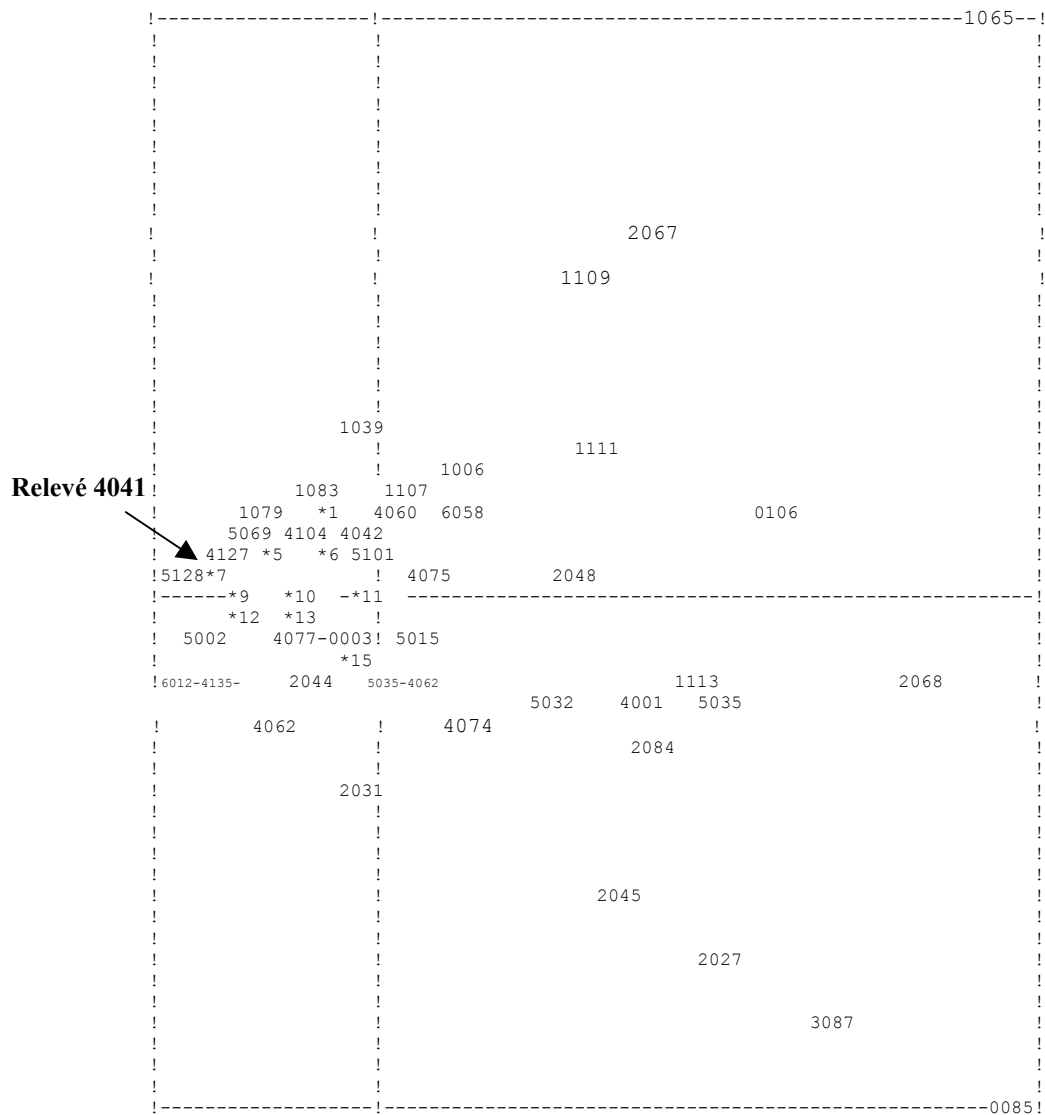


Figure29 -Distribution des relevés constituant l'axe 2 sur le plan factoriel 1-2

- *1: 1125 -1126-1110
- *2: 1107 -4060
- *3: 5069 -1070
- *4: 5095 -5080-8042-5101
- *5: 5099 -4116-5130-2091-2120
- *6: 5005 -4104-2092-5079-7066-1082-1083
- *7: 4115 -5088-8135-5043-6026-4094-4041-2064-2090-6051-2093-5098-1114-4102-7059-2061
- *8: 2030 -5100-1056-4133-4050-2089-2007-4073-1108-1119-2038-4046
- *9: 5129--5134-4096-5097-2049-8057-5025
- *10: 5072--2071-0034-6021-4063
- *11: 2076
- *12: 2009 -2008-4103-2029-5036-4086-5033-5014
- *13: 2040 -5010-5052-5028-4135-6012-2047
- *14: 4077 -0003
- *15: 2044 -5035-4001-4062

L'axe 2 exprime un facteur édaphique en opposant deux types texturaux. Sur le côté positif (Tab.17) de l'axe on retrouve les sols à texture moyennement fine caractérisés par *Artemisia herba alba* et les espèces liées à la présence d'un voile éolien (*Schismus barbatus* et *Marrubium desertii*) (Tab.18). Par contre sur le côté positif, les sols à texture grossière sont caractérisés par la présence des espèces liées au pâturage rocailleux (*Onopordon acaule*).

L'axe 2 exprime un facteur altitudinal important.

Tableau 17- Les espèces de fortes contributions pour l'axe 2

Côté négatif				Côté positif			
Code	Espèce	CTA	CTR	Code	Espèce	CTA	CTR
4460	<i>Schismus barbatus</i>	97	264	4163	<i>Reseda alba</i>	86	392
1955	<i>Erodium glaucophyllum</i>	90	288	0634	<i>Atractylis humilis</i>	67	190
0502	<i>Artemisia Herba-Alba</i>	66	237	1957	<i>Erodium guttatum</i>	66	259
3152	<i>Marrubium desertii</i>	25	101	3541	<i>Onopordon acaule</i>	47	251

Tableau 18- Autoécologie des espèces de fortes contributions à l'axe 2

Espèce	Autoécologie
Côté négatif	
- <i>Schismus barbatus</i>	- Pâturage aride et désertique (BOUZENOUNE, 1984). - Région aride et semi-aride (QUEZEL & SANTA, 1962-1963). - Liée au voile sableux (LE HOUEROU, 1969).
- <i>Artemisia herba alba</i>	- Limonophile, sol battants profondeur 20-60 cm Climat semi-aride (LE HOUEROU, 1969). - Steppe édaphique et cultures, sol non salé de texture fine à moyenne (POUGET, 1980).
Côté positif	
- <i>Onopordon acaule</i>	- Pâturage pierreux (QUEZEL & SANTA 1962-1963). - Milieu forestier aride supérieur froid P>300m, se trouve sur des marnes et marno-calcaire encroûtés (POUGET, 1980).

- L'axe 3

Les caractères écologiques des relevés à fortes contributions pour l'axe 3 ne montrent pas une différence significative entre les deux groupes de relevés (Tab.19). Nous nous sommes donc basés sur l'autoécologie des espèces pour pouvoir attribuer une signification à cet axe.

Tableau 19- Caractéristiques écologiques des relevés à fortes contributions pour l'axe 3

Contributions et variables écologiques	Partie négative				Partie positive			
	5005	2031	4136	0003	2090	4050	8057	6051
Relevés	5005	2031	4136	0003	2090	4050	8057	6051
CTA (absolue)	109	98	64	62	8	8	8	7
CTR (relative)	276	173	91	153	37	33	27	32
Formation végétale	TM-RR	LS-AHA	SV	RR	LS-ST	LS SV	PH	AS
Altitude (m)	1050-1100	1130	1050-1100	1050-1100	1300-1350	1050-1100	1050-1100	1050-1100
R.G.V (%)	15-20	15-20	<10	10-20	<10	10-20	10-20	<10
R.Lit (%)	5-10	≤5	5-10	15-20	≤5	≤5	≤5	≤5
R.Sol nu (%)	0	0	0	0	15-20	0	0	0
R.Sable (%)	60-75	45-60	45-60	45-60	30-45	≥75	60-75	≥75
R.PG (%)	<10	10-20	<10	<10	0	<10	<10	0
R.E.G (%)	10	10-20	10-20	10-20	20-30	<10	20-30	10-20
R.R.M (%)	0	0	3	0	0	≤5	0	0

RR : *Retama retam*

PH : *Peganum harmala*

AS : *Atractylis serratuloides*

Tableau 20- Les espèces de fortes contributions pour l'axe 3

Coté négatif				Coté positif			
Code	Espèce	CTA	CTR	Code	Espèce	CTA	CTR
4185	<i>Retama Retam</i>	84	283	4857	<i>Stipa tenacissima</i>	34	110
1410	<i>Colocynthis vulgaris</i>	52	207	4853	<i>Stipa parviflora</i>	21	89
3171	<i>Malva aegyptiaca</i>	43	207	3136	<i>Lygeum spartum</i>	9	57

Dans sa partie positive (Tab.20), l'axe 3 exprime une forte contribution des espèces plus structurantes telles que *Stipa tenacissima* et *Lygeum spartum* qui forment des steppes plus ou moins dégradées. L'extrémité négative de cet axe est marquée par la forte contribution d'une psammophyte « *Retama retam* » définie comme végétation de dune (QUEZEL & SANTA, 1962-1963 et LE HOUEROU, 1975) et également par la forte contribution d'espèces de pâturage rocailleux telles que *Colocynthis vulgaris* et *Malva aegyptiaca*.

L'axe 3 décrit le facteur d'ensablement qui semble plus important du côté négatif.

L'analyse des axes factoriels fait ressortir deux facteurs principaux :

- Le facteur prépondérant est la dégradation de la végétation due à l'action de l'homme, exprimée essentiellement par le pâturage excessif de ces zones et localement par la mise en culture. Pour ce facteur de dégradation on distingue l'intensité et la nature de la dégradation.
- Le deuxième facteur qui ressort est l'ensablement qui devient un facteur prépondérant et affecte toutes les formations végétales dégradées ou peu dégradées. Son action devient plus importante avec la diminution du couvert végétal.

1.2.3- Différenciation et définition des ensembles

Nous avons tenté de différencier des ensembles sur la base de la signification des axes factoriels ainsi que sur les résultats obtenus par la CAH. Nous avons pu dégager 3 ensembles sur le plan factoriel 1-2 et 2 ensembles sur le plan factoriel 1-3 (Fig.30 et 31).

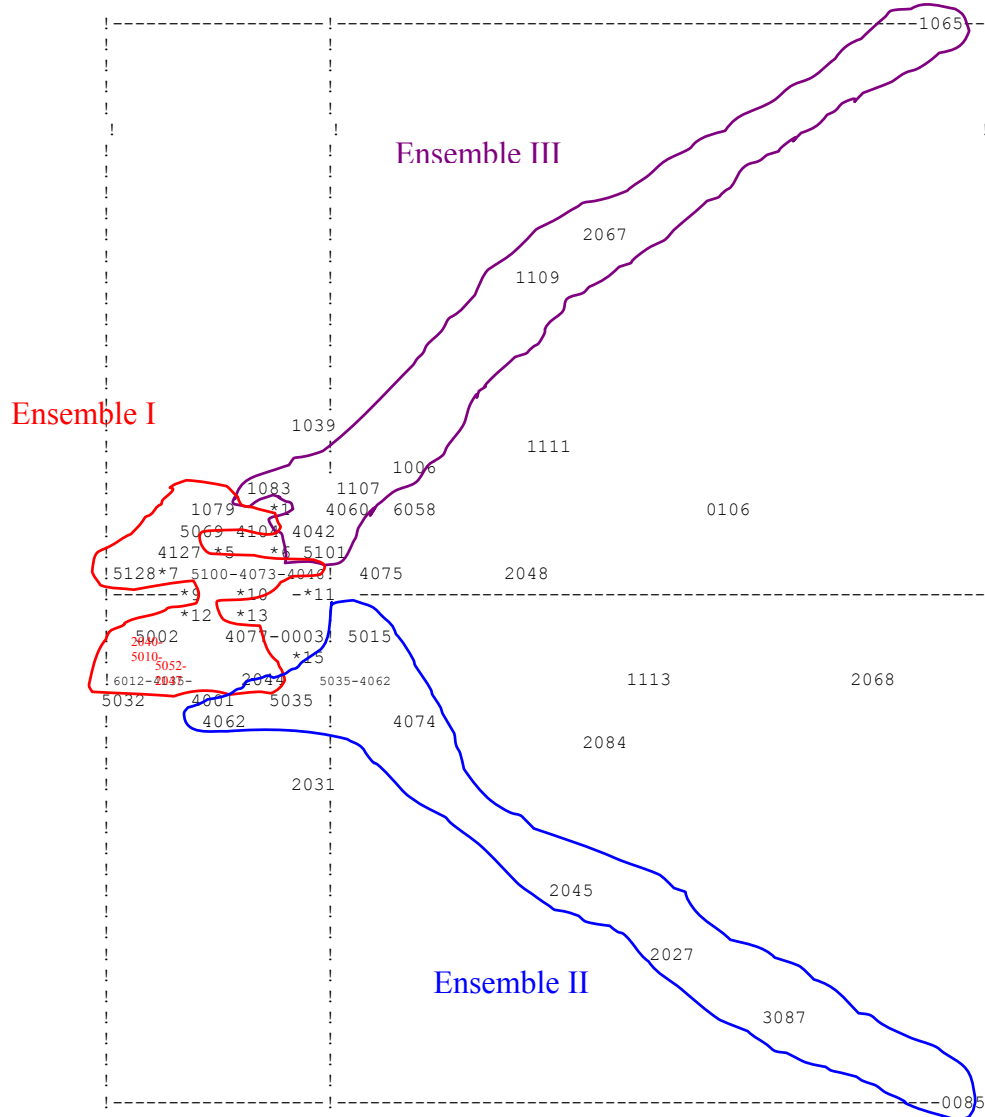


Figure 30- Représentation des ensembles I, II, III sur le plan des axes 1 et 2

- | | |
|--|---|
| *1: 1125 -1126-1110 | *11: 2076* |
| *2: 1107 -4060 | *12: 2009 -2008-4103-2029-5036-4086-5033-5014 |
| *3: 5069 -1070 | *13: 2040 -5010-5052-5028-4135-6012-2047 |
| *4: 5095 -5080-8042-5101 | *14: 4077 -0003 |
| *5: 5099 -4116-5130-2091-2120 | *15: 2044 -5035-4001-4062 |
| *6: 5005 -4104-2092-5079-7066-1082-1083 | |
| *7: 4115 -5088-8135-5043-6026-4094-4041-2064-2090-6051-2093-5098-1114-4102-7059-2061 | |
| *8: 2030 -5100-1056-4133-4050-2089-2007-4073-1108-1119-2038-4046- | |
| *9: 5129--5134-4096-5097-2049-8057-5025 | |
| *10: 5072--2071-0034-6021-4063 | |

* Points des relevés superposés.

1.2.3.1- Ensemble I

Il rassemble des relevés représentant principalement les steppes à *Thymelaea microphylla* et *Salsola vermiculata*, steppe de dégradation des steppes à *Lygeum spartum* et des steppes mixtes à *Lygeum spartum* et *Stipa tenacissima*.

Ces formations se localisent généralement sur glacis plus ou moins ensablés, à une altitude qui varie entre 1050 et 1200m.

Les steppes à *Thymelaea microphylla* sont caractérisés par un recouvrement moyen à important en sable (30-45% à 45-60 %, il pouvant atteindre 75 %).

La steppe à *Peganum harmala* est liée à des pratiques de cultures plus ou moins localisées.

La steppe à *Salsola vermiculata* semble être le plus répandu dans la zone d'étude. La grande extension de ce type de steppe est peut-être liée à la large amplitude édaphique de *Salsola vermiculata* (KILLIAN, 1949) qui tolère des taux en argiles et limons importants et une salinité moyenne (ADI, 2001).

Cet ensemble est caractérisé par la présence des espèces suivantes:

- *Malcolmia aegyptiaca*
- *Thymelaea microphylla*
- *Carduus balanccae*
- *Herniaria fontanesii*
- *Peganum harmala*
- *Pituranthos scoparius*
- *Cleome arabica*

1.2.3.2- Ensemble II

Cet ensemble regroupe deux types de steppes :

- Les steppes à *Lygeum spartum* qui sont marquées par l'abondance de *Schismus barbatus*, petite annuelle psammophyte (BOUZENOUNE, 1984). Ces steppes présentent un recouvrement important de la végétation lorsqu'elles sont mises en défens. Ces formations occupent des étendues très restreintes et ne présentent pas une grande diversité floristique.

- Les steppes à *Artemisia herba alba*, qui sont souvent localisées dans les dépressions caractérisées par un taux en pellicules de glaçage important. Ces steppes sont généralement dégradées par la mise en culture qui favorise l'apparition d' *Artemisia campestris*, espèce post culturale.

L'ensemble II comprend également la steppe à *Atriplex halimus* colonisant les milieux salés, et caractérisé par un recouvrement de la végétation relativement important (30 %).

Les espèces caractéristiques sont les suivantes :

- *Artemisia campestris*
- *Calendula aegyptiaca*
- *Malva sylvestris*

1.2.3.3- Ensemble III

Il représente les formations à alfa plus ou moins dégradées formant des steppes de dégradation à *Stipa tenacissima* et *Launaea acanthoclada*, et à *Stipa tenacissima* et *Noaea mucronata*.

Il colonise surtout les versants de djebels et les glacis de dénudation, ces milieux sont caractérisés par un fort pourcentage en éléments grossiers.

Il est caractérisé par la présence des espèces suivantes :

- *Ferula vesceritensis*
- *Reseda alba*
- *Scorzonera undulata*
- *Thymus Algeriensis*

1.2.3.4- Ensemble IV

Il représente principalement les steppes psammophiles à *Thymelaea microphylla* et *Retama retam* et à *Tamarix Africana*.

Cet ensemble colonise les milieux ensablés à profondeur plus ou moins importante. Il est représenté par une végétation psammophytique qui tend à se généraliser en raison de l'importance de l'érosion éolienne affectant l'ensemble de la zone d'étude, et d'une façon plus importante pour la partie Est, c'est à dire la zone des steppes à alfa (SLIMANI, 1998) qui sont à l'origine de la dominance de *Thymelaea microphylla* dans plusieurs cas de stppes à alfa et à sparte.

Les espèces qui caractérisent cet ensemble sont :

- *Astragalus tenuifoliosus*
- *Telephium imperati*
- *Carduus balancae*
- *Helianthemum virgatum*
- *Malva aegyptiaca*
- *Retama retam*
- *Malva parviflora*

1.2.3.5- Ensemble V

Il est représenté par les steppes mixtes à dominance de *Stipa tenacissima* et *Lygeum spartum*, et par les steppes de dégradation de ces formations, à *Thymelaea miccrophylla*, *Salsola vermiculata*, *Atractylis serratuloides* et *Peganum harmala* présentant un recouvrement de litière relativement important (10-15%). Cette litière est formée par le dépérissement des touffes d'alfa et du sparte.

Les espèces caractérisant cet ensemble sont :

- *Stipa tenacissima*
- *Euphorbia guyoniana*
- *Launaea nudicaulis*
- *Koelipinia linearis*
- *Cutandia dichotoma*
- *Anabasis articulata*
- *Helianthemum apertum*
- *Anthemis miontana*
- *Medicago arabica*

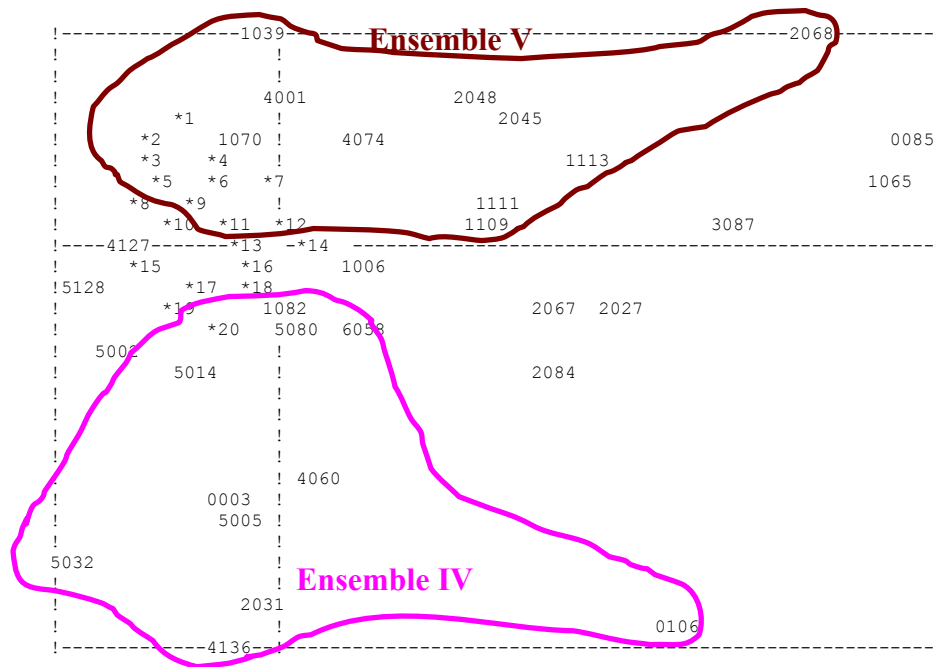


Figure 31- Représentation des ensembles IV et V dans le plan des axes 1 et 3

- | | |
|---|----------------------|
| *1: 8057 -4050- | *16: 4046 -1083 |
| *2: 4115 -2008-2090-4094-5099-2049-6051-2093 | *17: 5072 -4073-6012 |
| *3: 8135 -5069- | *18: 2044 -5035-1107 |
| *4: 2120 -2071-2089-2091-2092-1119-7066-1110- | *19: 6026 -4077 |
| *5: 5043 -2029-5025-5098-4102-2061-1114-1056-5100-5130-5028 | *20: 4133 -2076 |
| *6: 0034 -1126-1125-2007-2038 | |
| *7: 5095 -4062 | |
| *8: 5129 -4086-5036-4096-4103-4041-5097-5033 | |
| *9: 7059 -5010-2040-5052-6021-2047 | |
| *10: 2064 -5134-2030-4116 | |
| *11: 4104 -1108-4063 | |
| *12: 8042 -5101 | |
| *13: 5079 | |
| *14: 5015- 4075 | |
| *15: 2009 -5088 - 4062 | |

1.4-Discussion

L'analyse factorielle des correspondances a donné un aperçu sur l'état actuel de la végétation de la zone d'étude.

Les différents ensembles définis par cette analyse n'ont pas permis une différenciation satisfaisante des groupements. Cela est dû soit à une homogénéité floristique ou à une faible diversité floristique des relevés (nous avons en moyenne 7 espèces par relevé) liée à la période d'échantillonnage, soit à l'insuffisance du nombre de relevés effectués. En effet, la végétation des oueds et celle du Djebel Antar n'ont pas été échantillonnées en raison des conditions particulières de la région.

L'ensemble des relevés de la zone d'étude représente des steppes plus ou moins dégradées. Cette dégradation est exprimée par le faible recouvrement de la végétation et par la présence et la dominance d'espèces de dégradation telles que *Salsola vermiculata*, *Thymelaea microphylla*, *Atractylis serratuloides*, *Peganum harmala*.....

Dans la plupart des études de végétation, et pour la différenciation des groupements, les auteurs classent généralement les formations dégradées au sein d'un groupement de dégradation à part.

Le sable est omniprésent dans toute la zone d'étude, il colonise le quasi totalité des paysages. Son origine est très difficile à cerner et nécessite des études approfondies. Ce phénomène a engendré l'installation d'espèces psammophiles telles que *Thymelaea microphylla* qui montre une extension assez importante, *Retama retam* et *Aristida pungens* sur les dépôts les plus importants.

La dégradation de ces steppes semble être généralement liée à l'action de l'homme (pâturage et mise en culture), accentuée par l'aridité climatique et édaphique de ces milieux. De nombreuses études (AIDOUD, 1989; MELZI, 1990 ; ROGNON, 1994 ; LE HOUEROU, 1995; MAINGUET, 1990, 1998 ; NEDJRAOUI, 2000) ont montré que l'action anthropozoïque est le principal facteur de dégradation qui conditionne l'installation des formations végétales dégradées.

2 - Etude de la dégradation

2.1- Rappel des concepts

Les zones arides ont subi une pression anthropozoïque ancienne et continuelle qui a provoqué des processus d'adaptation et d'évolution des espèces, et la régression du couvert végétal tendant à un processus de désertification.

Dans les zones steppiques de l'Afrique du Nord, le fléau de la désertification est connu depuis plusieurs décennies. Ce phénomène a été abordé par plusieurs auteurs qui lui attribuent plusieurs définitions.

Nous retenons celle donnée par DREGNE (1977) qui souligne que «la désertification est l'appauvrissement des écosystèmes arides, semi-arides ou sub-humides sous l'effet combiné des activités humaines et de la sécheresse. Le changement dans ces écosystèmes peut être mesuré en terme de baisse de la productivité des cultures, d'altération de la biomasse et

du changement dans la diversité des espèces végétales et animales, d'une accélération de la dégradation des sols et de risques accrus pour l'existence des populations». Cette définition aborde les principes et les principales causes de la désertification ainsi que l'aspect relationnel entre les ressources (interactions spatiotemporelles) et suggère la possibilité d'évaluation de la gravité du phénomène (JAUFFRET, 2001).

Dans la dégradation de la végétation, MILTON & al (1994) distinguent 4 étapes majeures successives :

- Variation de la biomasse.
- Modification de la composition floristique par l'action anthropozoïque (pâturage et mise en culture), ce qui entraîne une régression des plantes palatables au profit des espèces non palatables, et le remplacement des espèces de steppes par les espèces post-culturelles.
- Diminution de la diversité et de la productivité.
- Réduction du couvert végétal pérenne.
- Diminution de la capacité de croissance et de reproduction.

La dégradation de la végétation est accompagnée par une dégradation des ressources en sol qui se fait en parallèle. On distingue 4 étapes de dégradation du sol (CORNET, 2000) :

- La modification des états de la surface du sol (pellicule de battance, éléments grossiers, ensablement...). Ces modifications influent sur le fonctionnement hydrique du sol par la réduction de l'infiltration des eaux de pluie, leur évaporation, l'augmentation du ruissellement, et sur sa fertilité.
- La diminution de la stabilité structurale
- L'importance de l'érosion hydrique et /ou éolienne.
- La salinisation des terres (cas des terres irriguées).

Parmi ces indicateurs, nous avons retenu le recouvrement de la végétation et les éléments de la surface du sol pour décrire l'état de l'écosystème, et étudier leurs relations avec le processus de dégradation qui prévaut dans la zone d'étude.

2.2 – Analyse de l'état de l'écosystème

L'analyse de l'état de l'écosystème sera abordée à travers l'étude du recouvrement de la végétation et des éléments de la surface du sol.

Les éléments constituant la surface du sol, que nous avons pris en considération dans notre étude, sont la litière, le sol nu, les éléments grossiers, le sable, la pellicule de glaçage et la roche mère.

L'ensemble de ces éléments, ainsi que la végétation sont exprimés par le pourcentage de recouvrement, évalué par la méthode linéaire. Nous rappelons que le recouvrement de

chaque élément est estimé par le nombre de points où il est noté (point de contact de l'élément avec l'aiguille d'échantillonnage), rapporté au nombre total de points (200 points).

Nous avons regroupé les différents pourcentages en classes de recouvrement pour chaque élément. Chaque classe exprime l'état de l'élément considéré : faible, moyen et important.

2.2.1- Le recouvrement de la végétation

Le recouvrement de la végétation donne une information sur l'état actuel de la végétation et constitue le premier indicateur utilisé lorsqu'on étudie l'évolution dans le temps du couvert végétal et dans notre cas la régression de ce couvert, signe essentiel de la désertification biologique (LE HOUEROU, 1985; AIDOUUD & AIDOUUD-LOUNIS, 1991; AIDOUUD & TOUFFET, 1996).

Chaque formation végétale est caractérisée par un recouvrement de sa végétation déterminé par l'espèce ou les espèces physiologiquement dominantes. Pour pouvoir établir une relation entre le recouvrement de la végétation et le type de faciès, il est recommandé d'effectuer des mesures répétitives, c'est à dire multiplier le nombre de lignes pour le même faciès, ce qui permettra une description de la structure de la végétation (MELZI, 1987). Dans la présente étude nous n'avons pas assez d'éléments pour une telle description.

Cependant, par une simple analyse du recouvrement de la végétation pour l'ensemble des faciès, nous avons essayé d'établir une relation entre l'état de ces faciès et le recouvrement des espèces végétales (Tab.21).

Nous avons considéré quatre classes pour exprimer les différents états de végétation rencontrés dans la zone d'étude:

- La première classe 20-30 (**V1**) correspondant aux recouvrements les plus élevés qui représente une végétation en assez bon état, caractérisant les steppes à *Stipa tenacissima* et *Lygeum spartum*. Cet état n'est pas représentatif des formations végétales de la zone d'étude, il n'est que très localement représenté.

- La deuxième classe 15-20 (**V2**), caractérise les formations les plus ou moins dégradées, leur physiologie est caractérisée par la codominance de l'alfa et/ou de sparte avec des espèces de dégradation principalement *Thymelaea microphylla* et *Salsola vermiculata*.

- La troisième classe 10-15 (**V3**), elle représente un état plus avancé de dégradation par rapport à la classe précédente. Les faciès sont dominés principalement par les formations dégradées à base de *Thymelaea micrpphylla* et *Salsola vermiculata* associées à d'autres espèces de dégradation telle que *Peganum harmal*, *Artemisia campestris*...etc.

- La quatrième classe 0-10 (**V4**) : représente les formations les plus dégradées avec un recouvrement inférieur à 10%. Cette classe de recouvrement reflète la dégradation très avancée du couvert végétal.

Tableau 21- Recouvrement de la végétation par type de faciès

Formation végétale	Faciès de végétation	Classe de recouvrement de la végétation en %	N° des Relevés
Steppe à <i>Stipa tenacissima</i>	<i>Stipa tenacissima</i>	0 - 10	- 6, 56
		10 - 15	- 111
		15 - 20	- 15, 20
		20 - 30	- 22, 23
	<i>Stipa tenacissima</i> et <i>Launaea acanthoclada</i>	10 - 15	- 65
	<i>Stipa tenacissima</i> et <i>Lygeum spartum</i>	0 - 10	- 70, 107, 119
		10 - 15	- 108
<i>Stipa tenacissima</i> , <i>Lygeum spartum</i> et <i>Salsola vermiculata</i>	0 - 10	- 114	
<i>Stipa tenacissima</i> et <i>Salsola vermiculata</i>	0 - 10	- 70	
	10 - 15	- 82	
<i>Stipa tenacissima</i> et <i>Noaea mucronata</i>	0 - 10	- 109	
	20 - 30		
Steppe à <i>Lygeum spartum</i>	<i>Lygeum spartum</i> et <i>Stipa tenacissima</i>	0 - 10	- 67, 89
		10 - 15	- 39, 38
	<i>Lygeum spartum</i>	0 - 10	- 71, 48
		10 - 15	- 7, 8
		15 - 20	- 9
		20 - 30	- 68, 27, 45
	<i>Lygeum spartum</i> , <i>Stipa tenacissima</i> et <i>Anabasis articulata</i>	0 - 10	- 90
	<i>Lygeum spartum</i> , <i>Stipa tenacissima</i> et <i>Thymelaea microphylla</i>	10 - 15	- 93
	<i>Lygeum spartum</i> et <i>Thymelaea microphylla</i>	10 - 15	- 44, 29, 30
	<i>Lygeum spartum</i> et <i>Salsola vermiculata</i>	0 - 10	- 75, 91
		10 - 15	- 40
		15 - 20	- 84, 83
	<i>Lygeum spartum</i> , <i>Salsola vermiculata</i> et <i>Noaea mucronata</i>	15 - 20	- 61, 64
	<i>Lygeum spartum</i> , <i>Lygeum spartum</i> , <i>Atractylis serratuloides</i> et <i>Stipa tenacissima</i>	10 - 15	- 92
<i>Lygeum spartum</i> , <i>Artemisia herba alba</i>	15 - 20	- 15, 20	
<i>Lygeum spartum</i> , <i>Peganum harmala</i>	10 - 15	- 76	
<i>Lygeum spartum</i> , <i>Atractylis serratuloides</i>	10 - 15	- 47	
Steppes à <i>Thymelaea microphylla</i>	<i>Thymelaea microphylla</i> et <i>Stipa tenacissima</i>	10 - 15	- 69, 80
	<i>Thymelaea microphylla</i> et <i>Lygeum spartum</i>	10 - 15	- 33, 35
		15 - 20	- 99
	<i>Thymelaea microphylla</i> , <i>Lygeum spartum</i> et <i>Stipa tenacissima</i>	10 - 15	- 72, 98
		15 - 20	- 101
	<i>Thymelaea microphylla</i> , <i>Salsola vermiculata</i> et <i>Lygeum spartum</i>	0 - 10	- 97
		10 - 15	- 79
	<i>Thymelaea microphylla</i> , <i>Lygeum spartum</i> et <i>Marrubium desertii</i>	15 - 20	- 95
	<i>Thymelaea microphylla</i>	0 - 10	- 12, 10
		10 - 15	- 32, 14, 15, 25, 43, 134
		15 - 20	- 52, 43
	<i>Thymelaea microphylla</i> et <i>Salsola vermiculata</i>	10 - 15	- 2, 88, 100, 5, 128
<i>Thymelaea microphylla</i> et <i>Atractylis serratuloides</i>	10 - 15	- 28	
<i>Thymelaea microphylla</i> et <i>Peganum harmala</i>	10 - 15	- 36	
Steppe à <i>Noaea mucronata</i>	<i>Noaea mucronata</i> , <i>Atractylis Serratuloides</i> et <i>Stipa tenacissima</i>	0 - 10	- 66
	<i>Noaea mucronata</i> , <i>Atractylis serratuloides</i> et <i>Salsola vermiculata</i>	10 - 15	- 59
Steppe à <i>Salsola vermiculata</i>	<i>Salsola vermiculata</i> et <i>Atractylis serratuloides</i>	0 - 10	- 77
	<i>Salsola vermiculata</i> et <i>Noaea mucronata</i>	10 - 15	- 104
	<i>Salsola vermiculata</i> , <i>Noaea mucronata</i> et <i>Lygeum spartum</i>	10 - 15	- 62
	<i>Salsola vermiculata</i> , <i>Noaea mucronata</i> et <i>Lygeum spartum</i>	15 - 20	- 86
	<i>Salsola vermiculata</i> et <i>Peganum harmala</i>	0 - 10	- 60
		15 - 20	- 74
	<i>Salsola vermiculata</i>	0 - 10	- 96, 136, 127, 1
		10 - 15	- 41, 46, 50
<i>Salsola vermiculata</i> et <i>Thymelaea microphylla</i>	0 - 10	- 129, 130	
	10 - 15	- 115, 103	
<i>Salsola vermiculata</i> et <i>Noaea mucronata</i> et <i>Atractylis serratuloides</i>	0 - 10	- 133	
Steppe à <i>Atractylis serratuloides</i>	<i>Atractylis serratuloides</i> et <i>Salsola vermiculata</i>	10 - 15	- 21
Steppe à <i>Peganum harmala</i>	<i>Peganum harmala</i>	0 - 10	- 135
		10 - 15	- 57
		15 - 20	- 42
Steppe à <i>Atriplex halimus</i>	<i>Atriplex halimus</i>	20 - 30	- 85
Steppe à <i>Artemisia herba alba</i>	<i>Artemisia herba alba</i> et <i>Artemisia campestris</i>	15 - 20	- 87
Steppe à <i>Tamarix africana</i>	<i>Tamarix africana</i>	10 - 15	- 106
Steppe à <i>Retama retam</i>	<i>Retama retam</i>	10 - 15	- 3

L'analyse du tableau 21 fait ressortir que les taux de recouvrement correspondant aux classes V3 (10-15 %) et V4 (0-10 %) sont les plus fréquemment rencontrés, avec un plus grand nombre de relevés. Ce sont les classes les plus représentatives de l'état de la végétation existant sur l'ensemble de la zone d'étude qui a subi et continue à subir des actions de dégradation continues des ressources naturelles. Les conséquences de cette dégradation ont donné lieu à une régression du recouvrement de la végétation pérenne qui ne dépasse pas les 20%. Ces résultats confirment ceux obtenus par AIDOUUD & AIDOUUD-LOUNIS (1991) qui signalent une baisse moyenne du recouvrement total de la végétation de l'ordre de 14 à 40% en fonction des groupements sur la base d'une comparaison entre les relevés effectués à deux périodes (1975-1976 et 1989-1990). De même, LE HOUEROU (1992) note, pour la végétation steppique, une diminution du recouvrement des pérennes de 25 % en moyenne à 5 %. Cette régression peut atteindre 91% par rapport au couvert végétal initial (BENHAMADA-DRIOUECHE, 2000).

Dans la plupart des cas l'alfa se présente dans un état de dégradation très avancé jusqu'à atteindre le seuil d'irréversibilité qui se manifeste par l'affleurement de son rhizome et de ces racines.

Donc les différents faciès de végétation (Tab. 21) sont généralement le résultat de dégradation des formations à base d'alfa et de sparte. La dégradation accentuée tend à homogénéiser le recouvrement de la végétation pour les différents faciès, et à le rendre peu significatif.

2.2.2- Le recouvrement des éléments de la surface du sol

En zones arides, caractérisées par un faible recouvrement de végétation, l'état de la surface du sol constitue un élément privilégié pour le diagnostic des conditions du milieu qui reflète l'état de la santé de l'écosystème et peut être considéré comme un indicateur de dégradation (JAUFFRET, 2001).

L'état de la surface du sol est défini par GIRARD & GIRARD (1999) comme étant «une composition et organisation de la surface du sol à un instant donné. Il prend en compte les croûtes de battance, les efflorescences salines, la piérosité, les travaux culturels, les fentes et autres organisations superficielles, mais aussi le recouvrement du sol par les algues, les mousses et autres végétaux».

Dans le cas de notre étude, les éléments considérés se rapportent à toutes les variables écologiques de la surface du sol (pellicule de battance, sable, éléments grossiers, litière, roche mère et sol nu) et la végétation qui, avec son recouvrement plus ou moins faible, constitue un élément de la surface du sol.

En effet, tous ces éléments, paramètres écologiques qui influent sur la qualité et la quantité de végétation, renseignent sur l'état de l'écosystème.

➤ Les éléments grossiers

La présence des éléments grossiers est liée à la dégradation de la roche mère et qui semble être en relation avec l'érosion éolienne et le surpâturage à travers le piétinement du

bétail. La présence plus ou moins importante des éléments grossiers est observée surtout au niveau de quelques versants et glacis où le pâturage est intensif.

➤ La pellicule de glaçage

La présence de la pellicule de glaçage notamment sur des sols à texture plus ou moins fine (limono- sableuse à argileuse), est liée également au surpâturage. La formation de cette pellicule, à la surface du sol, réduit l'infiltration et favorise le ruissellement (LE HOUEROU, 1992).

➤ Le sable

Dans notre zone d'étude, le sable est omniprésent. Il forme des accumulations diverses, du voile éolien de quelques centimètres d'épaisseur jusqu'aux placages sableux.

Il influence la végétation en conditionnant l'installation d'espèces psammophiles. Un voile sableux superficiel et discontinu rentabilise efficacement l'eau de pluie et favorise l'installation des thérophytes.

Dans la présente étude, la profondeur du sable n'a pas été prise en considération, mais l'importance de cette profondeur peut être évaluée par le type de végétation présente pour un relevé donné.

Concernant les autres éléments de la surface du sol : litière, roche mère et sol nu, ils sont généralement très peu variables avec des taux de recouvrement très faible dans l'ensemble de la zone d'étude. Ce taux ne dépasse pas les 20% , il est généralement inférieur à 5 %.

A chaque élément de la surface du sol nous avons attribué des classes de recouvrement. Nous retenons 6 classes pour le sable, 5 classes pour les éléments grossiers et la pellicule de battance, et 4 classes pour la litière, le sol nu et la roche mère (Tab. 22).

Tableau 22- Classes de recouvrement par éléments de la surface du sol

Classes	Sable		Eléments grossiers		Pellicules de glaçage		Litière		Sol nu		Roche mère	
	%	Code	%	Code	%	Code	%	Code	%	Code	%	Code
Classe 1	≥ 75	S1	>40	EG1	>40	PG1	15-20	LIT1	15-20	SN1	15-20	RN1
Classe 2	60-75	S2	30-40	EG2	30-40	PG2	10-15	LIT2	10-15	SN2	10-15	RN2
Classe 3	45-60	S3	20-30	EG3	20-30	PG3	5-10	LIT3	5-10	SN3	5-10	RN3
Classe 4	30-45	S4	10-20	EG4	10-20	PG4	0-5	LIT4	0-5	SN4	0-5	RN4
Classe 5	15-30	S5	0-10	EG5	0-10	PG5						
Classe 6	0-15	S6										
Total des classes	6		5		5		4		4		4	

Par la suite, nous avons essayé de regrouper l'ensemble des relevés présentant plus ou moins les mêmes variations des recouvrements des éléments de la surface du sol (Tab. 22).

Tableau 23- Classification de l'ensemble des relevés par importance des éléments de la surface du sol

Classement	Les classes de recouvrement de chaque élément à la surface du sol								Faciès de Végétation	N° Rel
	R.VG	RSOL	R.EG	R.SAB	R.PG	RLIT	R.RM	ALT		
1- Recouvrement moyen en éléments grossiers, en sable et très faible en pellicule de glaçage	15 - 20	0 - 5	20 - 30	30 - 45	0 - 10	15 - 20	0 - 5	1300 - 1350	- S.T	- 125, 126
	15	0 - 5	20 - 30	45 - 60	0 - 10	10 - 15	0 - 5	1150 - 1200	- TM et LS	- 99
	10 - 15	0 - 5	20 - 30	45 - 60	10 - 20	10 - 15	0 - 5	1200 - 1250	- ST	- 111
	0 - 10	0 - 5	20 - 30	45 - 60	0 - 10	10 - 15	0 - 5	1050 - 1100	- ST - ST et NM	- 6 - 109
	0 - 10	0 - 5	< 10	45 - 60	0 - 10	5 - 10	0 - 5	1050 - 1000	- SV, NM et AS	- 133
	10 - 15	0 - 5	20 - 30	45 - 60	0 - 10	5 - 10	0 - 5	1350 - 1300	- ST - TM	- 108 - 15, 25
	0 - 10	0 - 5	20 - 30	45 - 60	0 - 10	15 - 20 0 - 5	15 - 20 0 - 10	1300 - 1350	- ST et LS - LS et ST	- 107 - 67
2- Recouvrement important en éléments grossiers, et moyen en sable très faible en pellicule de glaçage	0 - 10	15 - 20	0 - 10	45 - 60	0 - 10	0 - 5	0 - 5	1300 - 1350	- LS, ST et AA	- 90
	0 - 10	0 - 5	30 - 40	45 - 60	0 - 10	15 - 20 0 - 5	0 - 5	1250 - 1300	- ST, LS et SV - SV	- 114 - 127
	10 - 15	0 - 5	30 - 40	45 - 60	0 - 10	0 - 5	0 - 5	1200 - 1250	- LS, ST et SV - TM et SV	- 39 - 128
	10 - 15	0 - 5	30 - 40	45 - 60	0 - 10	5 - 10	0 - 5	1250 - 1300	- LS, SV et NM	- 61
	15 - 20	0 - 5	30 - 40	30 - 45	0 - 10	5 - 10	0 - 5	1150 - 1200	- LS	- 102
	0 - 10	0 - 5	30 - 40	30 - 45	0 - 10	5 - 10	10 - 15	1150 - 1200	- ST et SV - LS	- 70 - 71
	10 - 15	0 - 5	30 - 40	30 - 45	0 - 10	10 - 15	5 - 10	1200 - 1300	- TM et LS - SV, AA et LS	- 120 - 94
	10 - 15	0 - 5	30 - 40	30 - 45	10 - 20	15 - 20	0 - 5	1200 - 1250	- SV, ST et LS	- 116
	0 - 10	0 - 5	30 - 40	30 - 45	10 - 20	10 - 20	15 - 20	1200 - 1250	- ST, AS et SV	- 120
	0 - 10	0 - 5	> 40	30 - 45	10 - 20	0 - 5	0 - 5	1100 - 1250	- SV et TM - SV et PH	- 129, 130 - 60
	10 - 15	0 - 5	> 40	30 - 45	0 - 10	5 - 10	0 - 5	1100 - 1150	- LS - LS, SV et NM	- 8 - 64
	0 - 10	0 - 5	> 40	30 - 45	0 - 10	0 - 5	0 - 5	1100 - 1150	- TM, SV et LS	- 97
	3- Recouvrement important en éléments grossiers, et faible en sable et très faible en pellicule de	0 - 10	0 - 5	> 40	45 - 60	0 - 10	5 - 10	0 - 5	1050 - 1100	- SV
10 - 15		0 - 5	> 40	30 - 45	20 - 30	0 - 5	0 - 5	1150 - 1200	- NM, AS et SV	- 59
10 - 15		0 - 5	> 40	15 - 30	0 - 10	0 - 5	0 - 5	> 1400	- ST et LA	- 65
4- Recouvrement important en Sable	0 - 10	0 - 5	> 40	15 - 30	0 - 10	0 - 5	0 - 5	1150 - 1200	- SV	- 96
	15 - 20	0 - 5	0 - 10	60 - 75	10 - 20	10 - 15	0 - 5	1100 - 1150	- LS, SV	- 83
	15 - 20	0 - 5	0 - 10	60 - 75	0 - 10	0 - 5	0 - 5	1100 - 1150	- PH	- 42
	15 - 20	0 - 5	10 - 20	60 - 75	0 - 10	10 - 15	0 - 5	1150 - 1200	TM, LS et ST	- 101
	15 - 20	0 - 5	10 - 20	60 - 75	0 - 10	0 - 5	0 - 5	1200 - 1250	- LS - TM et LS - AS et SV - SV, NM et LS	- 9 - 33 - 21 - 62
	15 - 20	0 - 5	10 - 20	60 - 75	10 - 20	0 - 5	0 - 5	1050 - 1100	- TM	- 52
	10 - 15	0 - 5	10 - 20	60 - 75	0 - 10	5 - 10	0 - 5	1050 - 1100	- TM	- 43
	10 - 15	0 - 5	10 - 20	60 - 75	0 - 10	5 - 10	0 - 5	1200 - 1250	- LS et ST	- 38
	10 - 15	0 - 5	10 - 20	60 - 75	0 - 10	15 - 20	0 - 5	1050 - 1100	- LS et AS	- 47
	10 - 15	0 - 5	10 - 20	60 - 75	0 - 10	0 - 5	10 - 15	1100 - 1150	- LS et TM	- 29
	10 - 15	0 - 5	0 - 10	60 - 75	0 - 10	0 - 5	0 - 5	1150 - 1200	- LS, TM	- 30
	10 - 15	0 - 5	0 - 10	60 - 75	0 - 10	10 - 15	0 - 5	1100 - 1150	- TM, LS et SV	- 98
	10 - 15	10 - 15	0 - 10	60 - 75	0 - 10	0 - 5	0 - 5	1300 - 1350	- TM et SV	- 88
	10 - 15	0 - 5	0 - 10	60 - 75	0 - 10	0 - 5	0 - 5	1100 - 1250	- SV - TM et AS	- 41 - 28
	10 - 15	0 - 5	10 - 20	60 - 75	10 - 20	10 - 15	0 - 5	1100 - 1150	- SV et TM - TM	- 103 - 12
	10 - 15	0 - 5	0 - 10	60 - 75	10 - 20	0 - 5	0 - 5	1050 - 1100	- LS, SV	- 46
	0 - 10	0 - 5	0 - 10	60 - 75	0 - 10	10 - 15	0 - 5	1300 - 1350	- LS et SV - SV	- 91 - 1
	0 - 10	0 - 5	10 - 20	60 - 75	0 - 10	0 - 5	0 - 5	1100 - 1150	- ST	- 56
	0 - 10	0 - 5	10 - 20	60 - 75	0 - 10	0 - 5	0 - 5	1100 - 1150	- AS	- 49, 51
	10 - 15	0 - 5	0 - 10	> 75	0 - 10	0 - 5	0 - 5	1050 - 1100	- LS et TM - TM - TM et PH - SV	- 44 - 32 - 36 - 50
0 - 10	0 - 5	0 - 10	> 75	10 - 20	0 - 5	0 - 5	1050 - 1150	- TM	- 10	

5- Recouvrement important en éléments grossiers et en pellicule important et faible à relativement faible en sable	0 - 10	5 - 10	20 - 30	30 - 45	30 - 40	5 - 10	0 - 5	1150 - 1200	- LS et SV	- 75
	0 - 10	0 - 5	30 - 40	30 - 45	30 - 40	0 - 5	5 - 10	1200 - 1250	- SV et AS	- 77
	0 - 10	0 - 5	30 - 40	15 - 30	20 - 30	0 - 5	0 - 5	1050 - 1100	- PH	- 135
	10 - 15	0 - 5	30 - 40	15 - 30	30 - 40	15 - 20	0 - 5	1150 - 1200	- AS - SV et NM	- 58 - 104
	15 - 20	0 - 5	20 - 30	0 - 15	30 - 40	0 - 5	0 - 5	1100 - 1150	- AHA et AC	- 87
6- Recouvrement important en Pellicule de Glaçage, très faible en éléments grossiers et en sable.	0 - 10	0 - 5	10 - 20	0 - 15	> 40	0 - 5	15 - 20	1150 - 1200	- SV et LS	- 73
	10 - 15	0 - 5	0 - 10	0 - 15	> 40	0 - 5	0 - 5	1150 - 1200	- LS et SV	- 40
	15 - 20	0 - 5	0 - 10	15 - 30	> 40	0 - 5	0 - 5	1150 - 1200	- SV et TM	- 86
7- Recouvrement moyen en sable et important en pellicule de glaçage et très faible en éléments grossiers	0 - 10	10 - 15	0 - 10	30 - 45	30 - 40	0 - 5	10 - 15	1150 - 1200	LS et PH	- 76
	10 - 15	10 - 15	0 - 10	45 - 60	30 - 40	10 - 15	0 - 5	1100 - 1150	ST et SV	- 82
	10 - 15	0 - 5	10 - 20	30 - 45	30 - 40	0 - 5	0 - 5	1050 - 1100	- AS	- 26
	15 - 20	0 - 5	0 - 10	30 - 45	30 - 40	0 - 5	10 - 15	1150 - 1200	- SV et PH	- 74
8- Recouvrement moyen en sable et variable en éléments grossiers et en pellicule de glaçage	0 - 10	15 - 20	10 - 20	45 - 60	0 - 10	10 - 15	0 - 5	1250 - 1300	- LS et ST	- 89
	15 - 20	0 - 5	10 - 20	30 - 45	0 - 10	15 - 20	0 - 5	1250 - 1300	- TM et LS MD	- 95
	10-15	10-15 0-5	10 - 20	45 - 60	0 - 10	15 - 20	0 - 5	1250 - 1300	- LS, ST, TM - RR	- 93 - 3
	10-15	0 - 5	10-20	45 - 60	0 - 10	5-10 10-15	0-5	1150 - 1250	- SV et LS - TM et SV - TM et ST	-63 -5,100 -80
	0-10	0 - 5	10-20	45 - 60	10 - 20	0-5	0-5	1050 - 1100	- LS	-48
	15-20	0 - 5	10-20	45 - 60	10 - 20	10-15 0-5	0-5	1100 - 1150	- LS, ST et SV - LS et AHA	-84 -31
	10-15	0 - 5	20-30	45 - 60	10 - 20	5-10	0-5	1300 - 1350	-TM et ST	-69
	10-15	0 - 5	20-30	45 - 60	20 - 30	0-5	0-5	1050 - 1100	- TM	-14
	10-15	0 - 5	10-20	45 - 60	20 - 30	0-5	0-5	1150 - 1100	- LS	-7
	10-15	0 - 5	10 - 20	45 - 60	20 - 30	0-5	0-5	1150 - 1200	- TM et LS - TM	-35 -134
	10-15	15 - 20	0 - 10	45 - 60	20 - 30	10 - 15	5 - 10	1150 - 1200	- TM, LS et ST	-72
	10-15	0 - 5	0 - 10	45 - 60	10 - 20	15 - 20	0 - 5	1200 - 1250	- SV et TM	-115
	0-10	0 - 5	0 - 10	45 - 60	10 - 20	15 - 20	15 - 20	1200 - 1250	- SV et LS	-119

RVG : Recouvrement global de végétation.
 R.SN : Recouvrement sol nu
 REG : Recouvrement en éléments grossiers
 R. Sab : Recouvrement R en sable
 R.PG : Recouvrement en pellicule de glaçage
 R.LIT : Recouvrement en litière
 R.RM : Recouvrement en roche mère
 ATL : Altitude

Le tableau 23 permet de montrer que le sable, la pellicule de glaçage et les éléments grossiers, par l'importance du recouvrement qu'ils présentent, sont les variables qui expriment le plus l'état de la surface du sol.

En fonction des différents recouvrements de ces principaux éléments, nous avons pu déduire huit états de la surface du sol sur l'ensemble de la zone d'étude:

- Etat 1 : Recouvrement moyen en élément grossier, moyen en sable et très faible en pellicule de glaçage : **EG3-S3-PG5**
- Etat 2 : Recouvrement important en éléments grossiers, moyen en sable et très faible en pellicule de glaçage : **EG2-S3-PG5.**
- Etat 3 : Recouvrement important en éléments grossiers, faible en sable et très faible en pellicule de glaçage : **EG1-S5-PG5**
- Etat 4 : Recouvrement important en sable : **S2 et S1.**
- Etat 5 : Recouvrement important en éléments grossiers et en pellicule glaçage et faible à relativement faible en sable : **EG3-S4-PG2**
EG2-S4-PG2
EG2-S5-PG3
- Etat 6 : Recouvrement important en pellicule de glaçage, très faible en éléments grossiers et en sable : **EG4-S6-PG1**
EG5-S6-PG1
EG6-S5-PG1
- Etat 7 : Recouvrement moyen en sable et important en pellicule de glaçage et très faible en éléments grossiers : **EG5-S4-PG2**
- Etat 8 : Recouvrement moyen en sable : **EG4-S3-PG5**
EG4-S3-PG4
EG3-S3-PG4
EG3-S3-PG3
EG4-S3-PG3
EG5-S3-PG3
EG5-S3-PG4

Discussion

La description de l'état de l'écosystème, par l'analyse du recouvrement de la végétation et des éléments de la surface du sol, permet de constater que la dégradation croissante entraîne d'une part la réduction du couvert végétal et d'autre part l'accroissement des surfaces relatives aux accumulations sableuses, à la pellicule de battance et aux surfaces rocailleuses. Dans ce cas, l'état de la surface du sol constitue un élément privilégié pour le diagnostic des conditions du milieu qui reflète l'état de santé de l'écosystème et peut être considéré comme un indicateur de dégradation (JAUFFRET, 2001).

Chaque état de la surface du sol peut refléter un type de végétation donné, mais la dégradation et surtout l'importance de l'érosion éolienne rendent très difficile cette attribution.

On constate que :

Les faciès à *Stipa tenacissima* et celui à *Stipa tenacissima* et *Lygeum spartum* très dégradés (recouvrement de la végétation <10% et entre 10% et 15%) se rencontrent généralement dans des milieux à recouvrement moyen en sable et en éléments grossiers et très

faible en pellicule de glaçage. Quand le recouvrement en éléments grossiers devient plus important (20-30 %), on a la dominance de *Salsola vermiculata* qui peut former un faciès avec l'alfa et le sparte. Si dans un autre cas le sable est plus important, il y a la dominance de *Thymelaea microphylla*, *Atractylis serratuloides* et *Peganum harmala*.

Un même état de la surface du sol peut être occupé par différents faciès, ce qui rend plus difficile l'interprétation de la végétation en se basant uniquement sur le recouvrement des éléments de la surface du sol en utilisant les images satellitaires.

Pour une interprétation plus proche de la réalité, il est nécessaire de prendre en considération d'autres paramètres du sol qui peuvent servir de support (la rugosité, le taux de la matière organique, la couleur du sol, l'humidité du sol...).

La surface du sol est un élément qui peut être quantifié au niveau de la station par des mesures de ses composantes qui sont à l'origine des différentes réponses spectrales enregistrées sur l'image satellitaire.

3- CARTOGRAPHIE DE LA VEGETATION PAR TELEDETECTION *

Pour réaliser la cartographie de la végétation par télédétection, nous avons procédé à des corrections géométriques portées sur les images satellitaires utilisés.

3.1- Les traitements géométriques

Seuls les traitements géométriques s'avèrent indispensables. En effet, les traitements radiométriques ne sont pas obligatoires d'une part par le fait qu'on travaille sur une seule image et d'autre part, par le fait que les mesures de réflectances des différents éléments rencontrés sur le terrain n'ont pas été effectuées. Ces mesures auraient pu être comparées aux données enregistrées sur l'image satellitaire utilisée.

Sachant que les prétraitements et les traitements réalisés dans la présente étude seront réalisés sur des valeurs radiométriques brutes.

Les corrections géométriques font ressortir un document géoréférencé, sur le quel chaque objet repéré sur ce document peut être localisé géographiquement. L'image géoréférencée est comparable à une spatio carte. Les données détectées sur la spatio carte sont superposables à d'autres données d'une autre source (exemple : cartes topographiques) de la même projection. La spatio carte représente le document de base sur lequel seront effectués les différents traitements de télédétection.

3.2- Les traitements d'amélioration d'image

Le calcul des différents indices donne de nouvelles images appelées néoimages. L'indice de végétation est calculé directement à partir d'un module dans l'ENVI. Le résultat est un néocanal qui n'est pas de bonne qualité visuelle (fig. 32).

* Cette partie est réalisée avec l'aide de M. BOUZENOUNE A. Chargé de cours à l'USTHB.

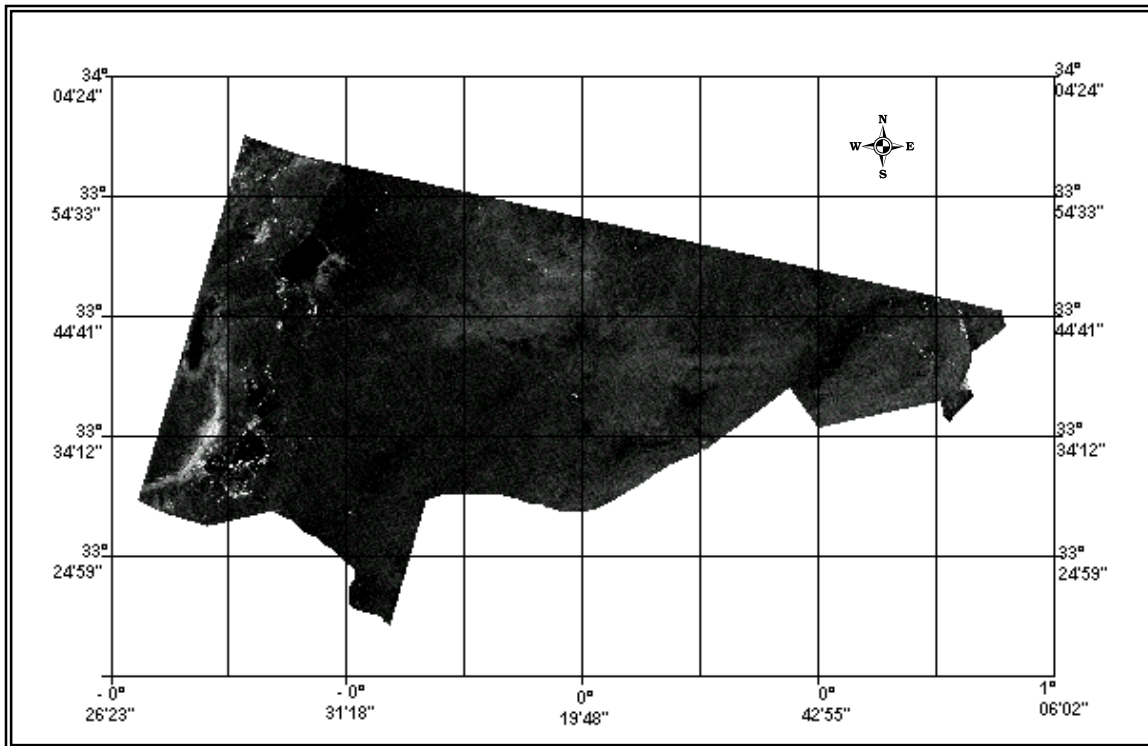


Figure32 - Visualisation du néocanal "NDVI"

La mauvaise qualité visuelle de ce néocanal est due principalement aux faibles valeurs radiométriques qui varient entre - 0.01 et - 0.12, et à la faible dynamique de ce néocanal. Ces faibles valeurs du NDVI reflètent une couverture végétale très faible de la zone d'étude.

La figure 33 montre une concentration des valeurs radiométriques entre la classe [-0.29, -0.20] et la classe [0.10, 0.19] . Cette grande homogénéité des valeurs radiométriques de ce néocanal le rend d'une très mauvaise qualité visuelle.

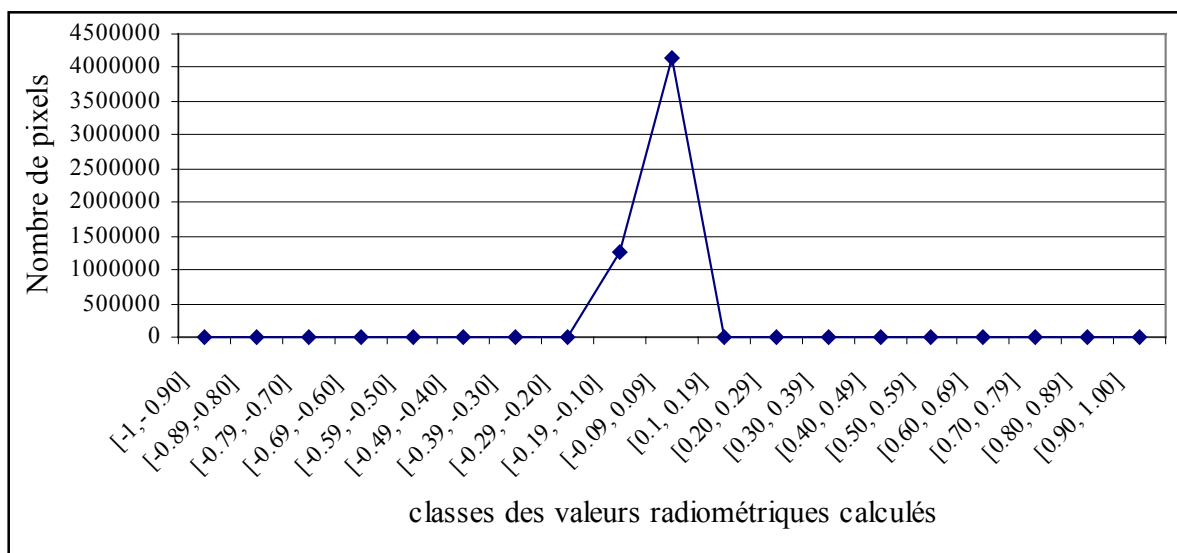


Figure 33- Variations des valeurs radiométriques du NDVI

Concernant le calcul des deux indices de brillance et de rougeur, le résultat donne deux néoimages (Fig.34 et Fig. 35) d'une qualité visuelle meilleure que celle du NDVI. Par ailleurs, ces deux indices peuvent refléter la réponse spectrale des éléments de la surface du sol.

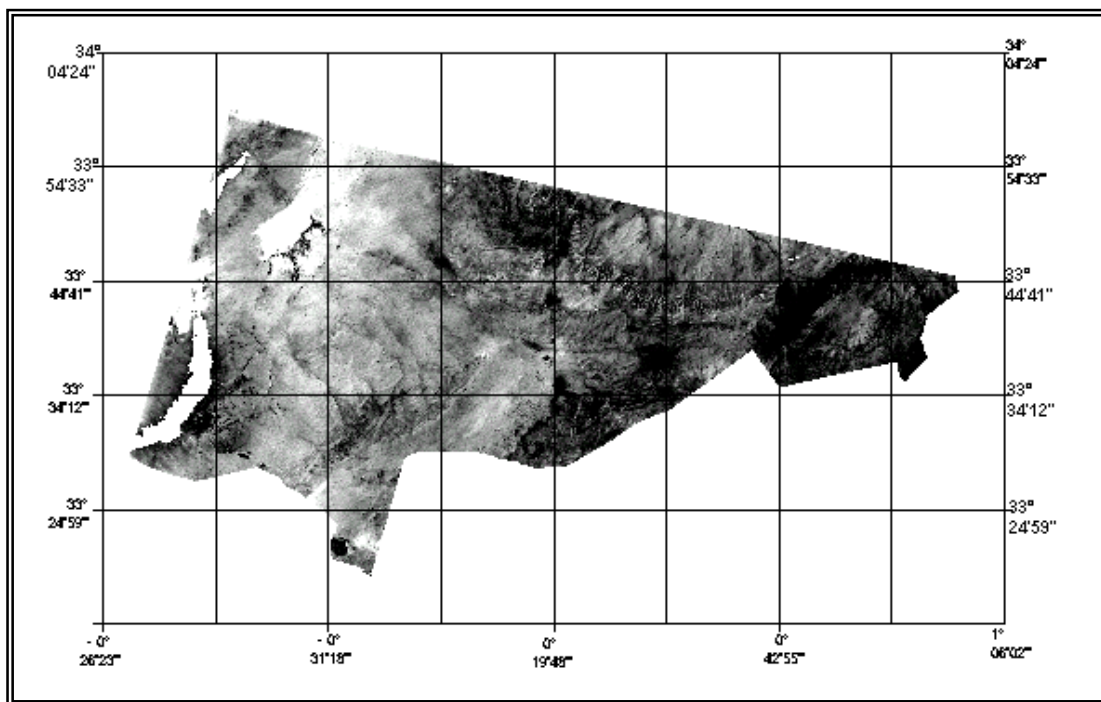


Figure 34- Visualisation du néocanal "indice de brillance"

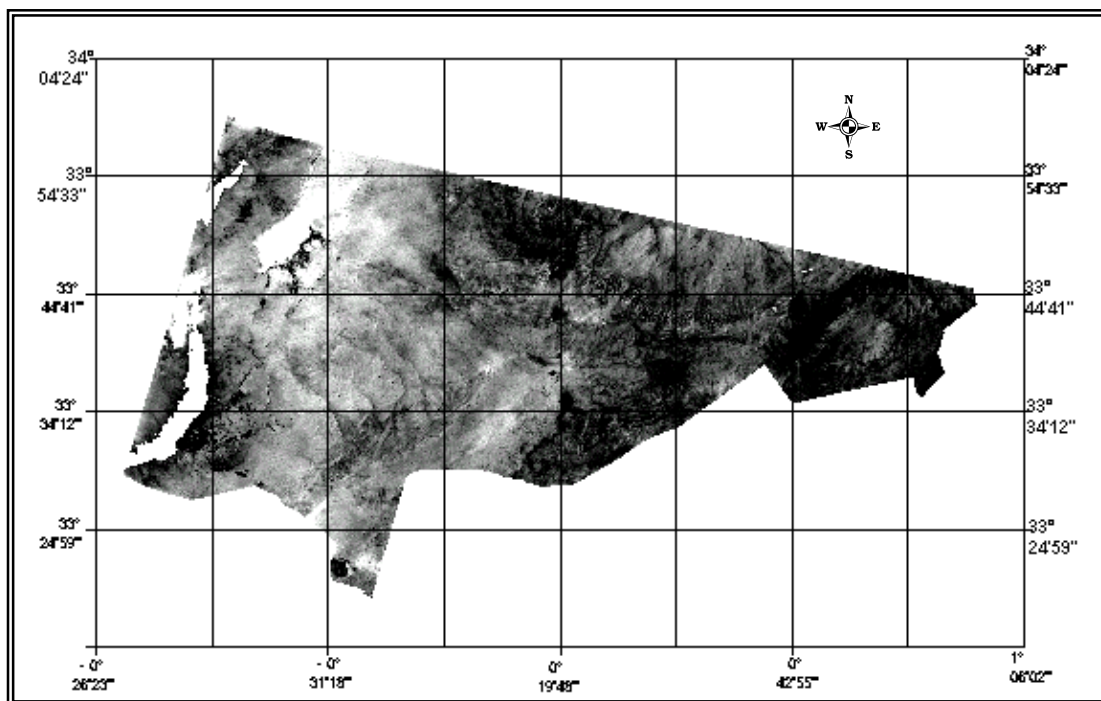


Figure 35- Visualisation du néocanal " indice de rougeur"

Les deux indices, de brillance et de rougeur, donnent des valeurs radiométriques qui dépassent l'intervalle de 0 à 255. Pour rendre les données radiométriques des néocanaux (NDVI (Fig.35), indice de rougeur et l'indice de brillance) comparables à celles des canaux bruts, un étalement des valeurs radiométriques est effectué sur un intervalle de 0 à 255.

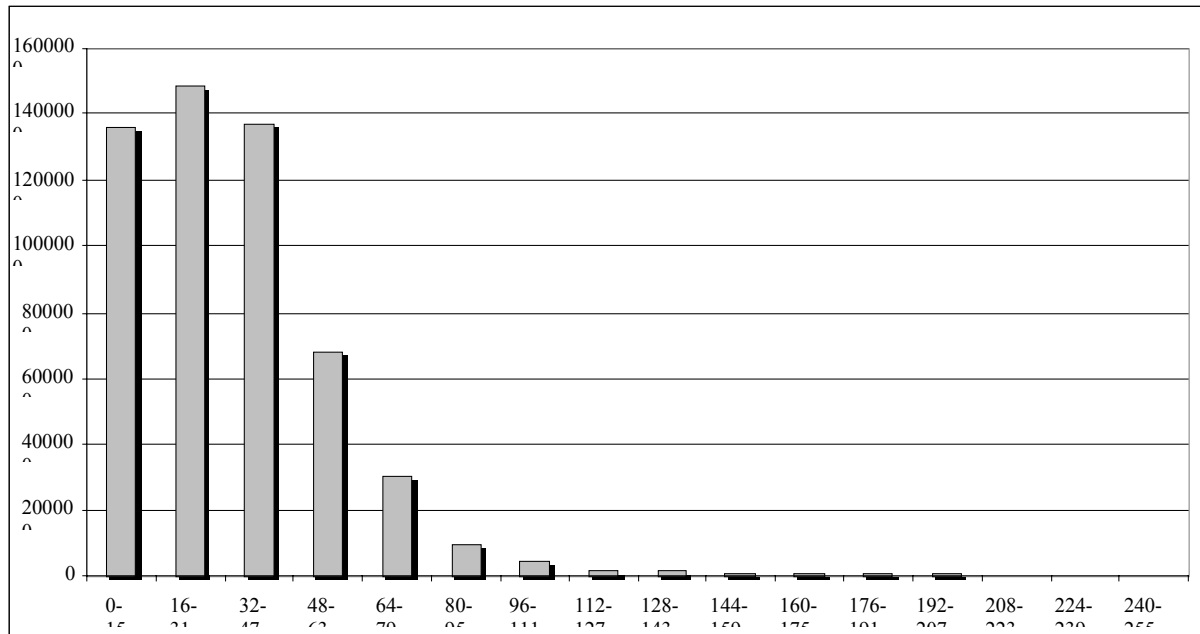


Figure 36- Variation des valeurs radiométriques après étalement dynamique

Dans le cas des canaux bruts, l'étalement dynamique sera effectué après seuillage des données radiométriques. Le but de cette opération est d'obtenir des images plus contrastées qui permettent d'avoir plus de nuances entre les différents objets détectés.

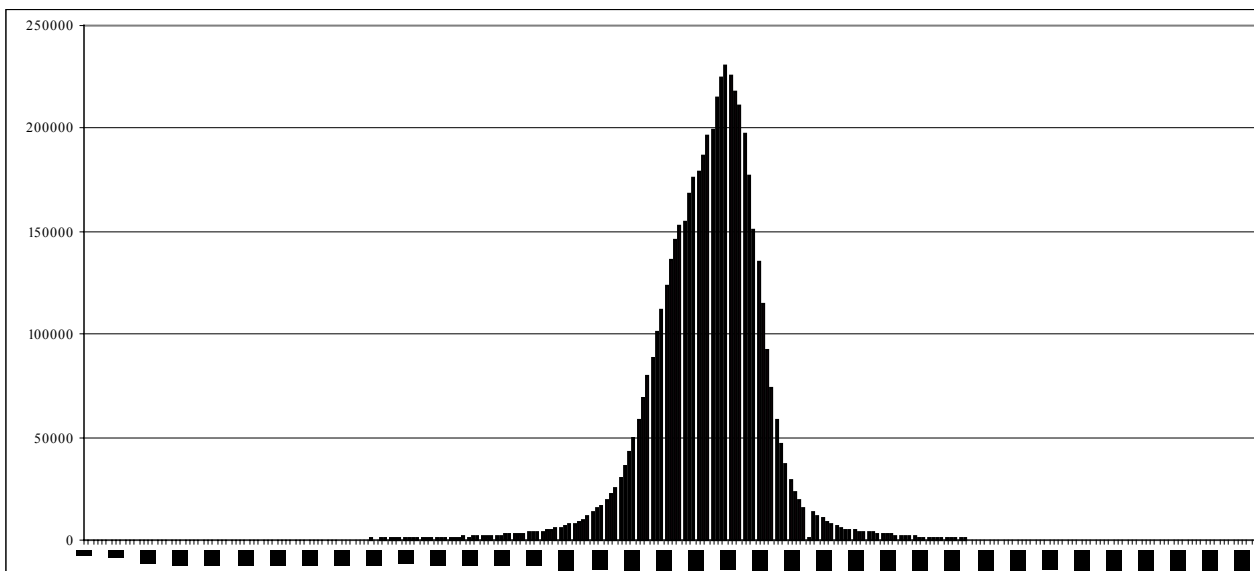


Figure 37- Les valeurs radiométriques du canal TM 3 (le rouge)

L'étalement dynamique, dans le cas des canaux bruts, est réalisé dans le but d'amélioration du contraste, c'est-à-dire que l'information concentrée sera étalée sur un intervalle de 256 valeurs radiométriques. Cette opération est précédée par un seuillage de l'information du canal concerné.

La figure 36 montre la dynamique des valeurs radiométriques des canaux bruts et les valeurs du seuillage de chaque canal.

Les images obtenues par ces différentes applications constituent le support de base pour les différents traitements appliqués ultérieurement.

3.3- Le choix de la meilleure trichromie et de l'analyse visuelle

Le choix de la meilleure trichromie se base sur l'analyse statistique des canaux et néocanaux disponible.

Les traitements statistiques, appliqués sur l'ensemble des canaux et néocanaux, donnent la moyenne, l'écart type, la matrice de corrélation entre les différentes images, et les histogrammes de répartition de chaque bande spectrale.

Le tableau 24 donne les résultats des coefficients de variations calculées pour les images et les néo-images.

Tableau 24- Matrice de corrélation des canaux et néocanaux

Bandes	Ind.R	Ind.BR	NDVI	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
Ind.R	1								
Ind.BR	0.99274	1							
NDVI	0.86555	0.86877	1						
TM1	0.92007	0.92007	0.90061	1					
TM2	0.95726	0.96130	0.90179	0.98932	1				
TM3	0.99390	0.99717	0.86507	0.93468	0.96881	1			
TM4	0.99950	0.99202	0.86358	0.91750	0.95525	0.99305	1		
TM5	0.97750	0.97496	0.84266	0.88131	0.92530	0.97278	0.97787	1	
TM7	0.95154	0.95426	0.83945	0.82635	0.87922	0.94536	0.95197	0.97497	1

- Ind.R : Indice de rougeur (néocanal).
- Ind.BR : l'indice de brillance (néocanal).
- NDVI : l'indice de végétation (néocanal).
- TM1 : canal 1 brut avec étalement dynamique
- TM2 : canal brut avec seuillage et étalement dynamique
- TM3 : canal brut avec seuillage et étalement dynamique

- TM4 : canal brut (seuillage et étalement dynamique)
- TM5 : canal brut (seuillage et étalement dynamique)
- TM7 : canal brut (seuillage et étalement dynamique)

Le tableau 24 montre une forte corrélation entre l'ensemble des canaux et néocanaux, avec des coefficients de corrélation très élevés.

L'indice de rougeur semble le néocanal le moins corrélé à l'ensemble des canaux et néocanaux, et donne des valeurs de coefficient de corrélation les plus faibles avec l'ensemble des canaux.

Le coefficient de corrélation n'offre pas la possibilité de comparaison entre trois canaux. Pour cette raison, nous utiliserons le coefficient de corrélation "Optimum Index Facteur" (OIF) défini par la formule suivante :

$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^{i=j} ET}{\sum_{i=1}^{i=j} COR}$$

Le choix de la meilleure trichromie est porté sur les canaux et les néocanaux disponibles : six canaux (TM1, TM2, TM3, TM3, TM4, TM7) et trois néocanaux (indice de rougeur, indice de brillance et indice de végétation). Plus le nombre de canaux est grand plus le choix des trois canaux les moins corrélés est difficile.

Le nombre de combinaisons possibles est donné par la formule suivante :

$$C_9^3 = \frac{9!}{(9-3)!}$$

On a 504 combinaisons possibles avec répétition, et 84 combinaisons possibles sans répétition.

La valeur la plus élevée de l'OIF la plus élevée indique la trichromie la mieux classée, c'est à dire qu'elle représente les canaux les moins corrélés.

En classant les 30 premières trichromies en fonction des valeurs de l'OIF, on obtient le tableau 25.

Tableau 25- Résultat du coefficient de l'optimum index facteur pour les 30 premières trichromies

Classement	Trichromie	SET	SCR	OIF
1	NDVI-TM1-TM7	203,69	2,565	79,41
2	I.BR-NDVI-TM1	209,83	2,688	78,06
3	NDVI-TM1-TM5	204,5	2,623	77,96
4	NDVI-TM2-TM7	203,66	2,619	77,76
5	I.R-NDVI-TM1	206,72	2,685	76,99
6	NDVI-TM1-TM3	207,78	2,699	76,98
7	I.BR-NDVI-TM2	209,8	2,73	76,85
8	NDVI-TM2-TM5	204,47	2,667	76,67
9	NDVI-TM1-TM2	211,97	2,79	75,97
10	I.R-NDVI-TM2	206,69	2,723	75,91
11	NDVI-TM1-TM4	203,15	2,68	75,80
12	I.BR-NDVI-TM7	201,52	2,661	75,73
13	I.BR-NDVI-TM5	202,33	2,684	75,38
14	I.BR-NDVI-TM3	205,61	2,73	75,32
15	NDVI-TM3-TM7	199,47	2,649	75,30
16	TM2-TM5-TM7	209,01	2,778	75,24
17	I.R-I.BR-NDVI	204,55	2,725	75,06
18	NDVI-TM3-TM5	200,28	2,679	74,76
19	I.R-NDVI-TM7	198,41	2,655	74,73
20	NDVI-TM5-TM7	196,19	2,63	74,60
21	TM2-TM3-TM5	213,1	2,865	74,38
22	I.R-NDVI- TM3	202,5	2,723	74,37
23	NDVI-TM2-TM4	203,12	2,732	74,35
24	I.R-NDVI -TM5	199,22	2,684	74,23
25	I.BR-NDVI-TM4	200,98	2,723	73,81
26	NDVI-TM4-TM7	194,84	2,653	73,44
27	NDVI-TM3-TM4	198,93	2,721	73,11
28	TM2-TM4-TM5	208,47	2,857	72,97
29	NDVI-TM4-TM5	195,65	2,682	72,95
30	TM2-TM4-TM7	207,66	2,857	72,68

SET : Somme des écarts type des valeurs radiométriques par canal.

COR : Somme des coefficients de corrélations des canaux et néocanaux.

OIF : Optimum index facteur.

I.R : Indice de rougeur.

I. BR : Indice de brillance.

On remarque que sur l'ensemble des 30 premières trichromies, il y'a 21 présences de l'indice de végétation, ce qui explique que ce néocanal est le moins corrélé aux autres canaux et nécanaux.

Du point de vue statistique, les deux meilleures trichromies sont constituées par NDVI-TM1-TM7 et I.BR-NDVI-TM1.

Mais, nous remarquons que la visualisation des néocanaux laisse percevoir un bruit de fond très important et donne une image de mauvaise qualité esthétique. Cela est dû à la faible dynamique de ces neocanaux qui ne permet pas de distinguer plus de nuances (HIRCHE, 1995).

Le choix a été porté sur les trois canaux du visible : le bleu, le vert et le rouge. Ces canaux constituent le domaine de réflectance du sol, selon la bibliographie utilisée.

3.4- la classification non supervisée

La classification non supervisée donne un document classé, on a choisi 10 classes. Ces classes n'ont aucune signification sur le plan thématique. Ce type de document est souvent utilisé dans la stratification de la zone d'étude pour le choix des zones d'échantillonnage.

3.4- La classification supervisée

Les données fournies par la télédétection dans la cartographie de la végétation sont en relation avec le recouvrement de la végétation. En zones tropicales, la végétation couvre une grande partie du sol. Elle constitue l'élément responsable de la réponse spectrale et est identifiée directement à partir de l'image utilisée. Par contre, en zones arides, le recouvrement de la végétation est faible (<20 % dans la zone d'étude) et c'est en fait le sol qui constitue l'élément responsable de la réponse spectrale. Dans ce cas, la végétation n'occupe qu'une place quelconque dans la rugosité du sol (ESCADAFAL & POUGET, 1986), et elle est interprétée à partir de cartes intermédiaires réalisées en utilisant la réponse spectrale des éléments directement décelables dans l'image utilisée.

La détermination des éléments directement décelables se base sur le lien entre les réponses enregistrées sur l'image et celles enregistrées sur le terrain. La réponse spectrale du sol est liée aux éléments constituant la surface du sol et à la rugosité de cette surface. La réflexion totale prend en considération tous les éléments de la surface du sol.

Selon HIRCHE (1995), la réflexion totale est égale :

$$R_t = (F_1 * R_{GV} + f_2 * EG + f_3 * Lit) + (g_1 * SNU + g_2 * SAB + g_3 * RM + g_4 * PG)$$

Rugosité **Réflexion**

R_t : Réflexion totale du complexe sol- végétation

EG : Réflexion des éléments grossiers.

LIT : Réflexion de la litière

SAB : Réflexion du sable

PG : réflexion de la pellicule de glaçage.

g₁, g₂, g₃, g₄: Recouvrement respectif des éléments de la surface du sol (SNU, SAB, RM et PG).

SNU, SAB, RM : Réflectance respectives du sol nu, du sable et de la roche mère.

Les paramètres intervenant dans la réponse spectrale de la surface du sol sont la rugosité du sol, le taux de matière organique, la teneur en calcaire et la teneur en fer (GIRARD & GIRARD, 1977).

➤ **La rugosité du sol**

La rugosité a un effet sur la réponse spectrale par le fait qu'on mesure la réponse spectrale propre du sol, et la réponse des ombres sur un sol rugueux. Elle est en relation avec la longueur d'onde utilisée et la taille des différents aspects rugueux. La rugosité constitue un paramètre difficile à définir et à quantifier (KING, 1977).

GIRARD & GIRARD (1977) signalent que l'influence de la rugosité est en relation avec la teneur en matière organique. Lorsque la teneur en matière organique du sol est importante (3 ou 4 %) la réponse spectrale est indépendante de la rugosité. Lorsque la teneur en matière organique est faible (2 %) la rugosité joue un rôle dans la réponse spectrale. Plus le sol est rugueux et plus la réflectance diminue.

La tendance actuelle pour la prise en considération de ce paramètre est l'élaboration de modèles statistiques. Ces modèles ont des limites et traduisent rarement la réalité.

➤ **La matière organique**

La réflectance est inversement proportionnelle à l'importance du taux de la matière organique.

➤ **Le calcaire**

Un taux élevé de calcaire donne une forte réflectance (GIRARD & GIRARD, 1977).

➤ **La pellicule de battance**

Un sol couvert de pellicule de battance est considéré comme un sol à surface lisse.

➤ **Le sable**

La réflectance augmente avec l'importance des dépôts sableux.

➤ **La couleur du sol**

La couleur est un paramètre qui influe sur la réponse spectrale du sol, et qui a fait l'objet de plusieurs études (COLWELL, 1973, 1981; GIRARD & GIRARD., 1977 ; COURAULT & *al.*, (1988). Plusieurs indices ont été élaborés par la combinaison de canaux, indice de couleur (POUGET & *al.*, 1991), indice de brillance lié à la clarté (ANGLADE, 1982), et indice de rougeur qui traduirait la teneur en dioxydes de fer.

La prise en compte de chaque paramètre devra être complétée par la pondération de l'information apportée par celui-ci, par rapport aux autres paramètres participant à la réponse spectrale. Ceci consiste à tenir compte de la mesure de la réponse spectrale de chaque élément pris isolément, complétée par des mesures de réflectances effectuées sur le terrain.

Les mesures des réponses spectrales n'ayant pas été enregistrées sur le terrain, il nous a été impossible de prendre en considération ces paramètres.

Avant de lancer la classification supervisée, il est nécessaire de définir les zones d'apprentissage. Ces zones constituent la base de la classification supervisée et la clé de la réalisation de la carte d'occupation des terres.

3.4.1- Le choix des zones test

Le choix des zones test est basé sur les relevés de terrain exprimant l'état de la surface du sol.

Les états de la surface du sol ont été assimilés à des recouvrements de chaque élément à l'aide de la méthode d'analyse linéaire (relevé linéaire) effectuée sur le terrain. Ces états peuvent être à la fois quantifiés au sol et détectés par le satellite.

La géomorphologie étant un facteur discriminant pour la végétation en zones arides, nous avons caractérisé les zones test par l'état de la surface du sol associé au type géomorphologique.

L'état de la surface du sol est exprimé par des classes de recouvrement des éléments de la surface du sol. Les classes de recouvrement doivent être étalées en fonction de la réponse spectrale de chaque élément. Mais dans le cas de cette étude ce type de mesures n'est pas disponible.

Pour un premier essai de classification supervisée, 12 zones test ont été définies comme suit :

- Zone 1 : V4-SN4-EG1-S4-PG1 (versant)
- Zone 2 : V4-SN4-EG5-S1-PG5 (surface plus ou moins dépressionnaire)
- Zone 3 : V3-SN4-EG5-S2 (glacis d'érosion parcouru par des dépressions et des oueds avec l'installation d'un voile éolien)
- Zone 4 : V3-SN4-EG1-S4 PG5 (glacis)
- Zone 5 : V4-SN4-EG4-S2-PG5 (dépression)
- Zone 6 : V3-SN4-EG5-EG (glacis d'érosion parcouru par des daïas)
- Zone 7 : V4-SN4-S1-PG5- EG1 (versant)
- Zone 8 : V3-SN4-EG4-S3 (glacis d'érosion à accumulations sableuses importantes)
- Zone 9 : Accumulations sableuses (Dunes vives)
- Zone 10: Cultures
- Zone 11: Enclaves agricoles
- Zone 12: V3-SN4-EG2-S3-PG5-Lit3 (glacis de raccordement)

V : Végétation

SN : Sol nu

EG : Eléments grossiers

S : le sable

PG : pellicule de glaçage

Les chiffres désignent les classes de chaque élément de la surface du sol (Tab. 22).

Après chaque classification supervisée, une vérification de la qualité de la classification est nécessaire.

Une analyse statistique des différentes classes thématique est réalisée pour la détermination de la qualité de la classification. Le logiciel ENVI permet de calculer, à partir de l'image classée, les paramètres suivants (Annexes III) :

- L'exactitude globale

L'exactitude globale désigne le rapport entre le nombre de pixels classés correctement par le nombre total des pixels.

- Le coefficient de Kappa

Le coefficient de Kappa est une autre mesure de l'exactitude de la classification. Il est calculé par la formule suivante :

- La matrice de confusion (pixel)

Elle s'appuie sur le principe que chaque pixel sera affecté à une classe thématique représentée par une zone test.

La matrice de confusion est bonne si pour chaque classe il y a plus de 60 % de pixels bien affectés et s'il y a pour l'ensemble des classes 90 à 95 % de pixels bien classés VERGER, 1982.

- Les pixels commis représentent les pixels non classés.
- Les pixels omis représentent les pixels mal classés.

L'analyse statistique de la qualité de cette première classification permet de déduire que les erreurs d'omission et de commission sont très faibles, l'indice de Kappa est très proche de 1, ce qui traduit la bonne qualité de la classification sur le plan statistique.

La bonne qualité de la classification sur le plan statistique ne traduit pas forcément une bonne qualité de classification sur le plan thématique. La classification de l'image se basant sur les valeurs radiométriques des zones tests, deux thèmes différents peuvent être rattachés à une même classe s'ils ont des valeurs radiométriques très proches. Ce cas se rencontre pour les cultures et les enclaves agricoles qui, sur le terrain, se localisent sur des surfaces très restreintes (principalement autour des villages et dans les daïas). Ces surfaces se confondent avec la zone de Djebel Antar et les versants situés à l'Est de la zone d'étude.

Dans la deuxième classification supervisée, nous avons appliqué un masque de la zone de Djebel Antar et de celle des dunes vive, et nous avons éliminé les zones test : cultures et enclaves agricoles sont éliminées dans le but d'éviter toute confusion avec d'autres zones. Les zones de cultures et les enclaves agricoles peuvent être distingués par leurs formes géométriques.

- Zone 1 : V4-SN4-EG1-S4-PG1 (versant)
- Zone 2 : V4-SN4-EG5-S1-PG5 (surface plus ou moins dépressionnaire)
- Zone 3 : V3-SN4-EG5-S2 (glacis d'érosion parcouru par des dépressions et des oueds avec l'installation d'un voile éolien)
- Zone 4 : V3-SN4-EG1-S4 PG5 (glacis)
- Zone 5 : V4-SN4-EG4-S2-PG5 (dépression)
- Zone 6 : V3-SN4-EG5-EG (glacis d'érosion parcouru par des daïas)

- Zone 7 : V4-SN4-S1-PG5- EG1 (versant)
- Zone 8 : V3-SN4-EG4-S3 (glacis d'érosion à accumulations sableuses importantes)
- Zone 9 : V3-SN4-EG2-S3-PG5-Lit3 (Glacis de raccordement)

Tableau 26-Caractérisation des différentes zones test

Les zones test	Recouvrement des éléments de la surface du sol en %	
1- V4-SN4-EG1-S4-PG1-LIT4 (versant)	- Végétation (V4): 0 - 10 - Sable (S4): 30 - 45 - Eléments grossiers (EG1) : 0 - 10	- Sol nu (SN4): 0 - 5 - Lit4 : 0 - 5 - Pellicule de glaçage (PG1) : >40
2- V4-SN4-EG5-S1-PG5 (glacis)	- Végétation (V4): 0 - 10 - Sable (S1): ≥ 75 - Eléments grossiers (EG5) : 0 - 10	- Sol nu (SN4): 0 - 5 - Lit4 : 0 - 5 - Pellicule de glaçage (PG5) : 0 - 10
3- V3-SN4-EG5-S2-PG5-lit2 (Glacis d'érosion parcouru par dépressions et oueds et voile éolien)	- Végétation (V3): 10 - 15 - Sable (S2): 60 - 75 - Eléments grossiers (EG5) : 0 - 10	- Sol nu (SN4): 0 - 5 - Lit4 : 0 - 5 - Pellicule de glaçage (PG5) : 0 - 10
4- V3-SN4-EG1-S4- PG5 (glacis éléments grossiers important et sable moyen)	- Végétation (V3): 10 - 15 - Sable (S4): 30 - 45 - Eléments grossiers (EG5) : 0 - 10	- Sol nu (SN4): 0 - 5 - Lit4 : 0 - 5 - Pellicule de glaçage (PG5) : 0 - 10
5- V4-SN4-EG4-S2-PG5 (dépression - importance du couvert sableux)	- Végétation (V4): 0 - 10 - Sable (S2): 60 - 75 - Eléments grossiers (EG4) : 10 - 20	- Sol nu (SN4): 0 - 5 - Lit4 : 0 - 5 - Pellicule de glaçage (PG5) : 0 - 10
6-V3-SN4-EG5-EG1-S4 (recouvrement important en éléments grossiers et moyen en sable)	- Végétation (V3): 0 - 10 - Sable (S4): 30 - 45 - Eléments grossiers (EG1) : > 40	- Sol nu (SN4): 0 - 5 - Lit4 : 0 - 5 - Pellicule de glaçage (PG5) : 0 - 10
7- V4-SN4-PG5-Lit4-EG1 (versant avec un recouvrement important en éléments grossiers)	- Végétation (V4): 0 - 10 - Eléments grossiers (EG1) : >40 - Pellicule de glaçage (PG5) : 0 - 10	- Sol nu (SN4): 0 - 5 - Lit4 : 0 - 5
8- V3-SN4-EG4-S3-PG3 (glacis d'accumulations sableuses importantes)	- Végétation (V3): 10 - 15 - Sable (S3): 45 - 60 - Eléments grossiers (EG1) : >40	- Sol nu (SN4): 0 - 5 - Lit4 : 0 - 5 - Pellicule de glaçage (PG3) : 20 - 30
9- V3-SN4-EG2-S3-PG5-Lit3 (Glacis de raccordement)	- Végétation (V3): 0 - 10 - Sable (S3): 45 - 60 - Eléments grossiers (EG2) : 30 - 40	- Sol nu (SN3): 0 - 5 - Lit3 : 5 - 10 - Pellicule de glaçage (PG5) : 0 - 10

On remarque que le recouvrement du sable est important sur l'ensemble des zones test (moyen à fort) la variation entre les différentes zones peut être, dans la plupart des cas, liée à la différence de recouvrement en pellicule de glaçage et en éléments grossiers et très rarement à celui de la végétation, du sol nu et de la litière. Le sable influe aussi par sa profondeur (paramètre qui n'a pas été mesuré sur le terrain).

Le recouvrement de la végétation ne présente pas une variable qui peut apporter des informations sur le type de végétation.

Nous constatons, sur la base de cette classification supervisée, ce qui suit

- une zone test peut présentée sur la réalité terrain un ou plusieurs types de faciès.
- un seul type de végétation peut être le même pour deux zones test différentes.

Cela rend très difficile l'établissement de la carte de végétation à partir des zones test définies. Cette difficulté est liée principalement à la dégradation accentuée de la végétation qui tend d'une part homogénéisée la végétation sur l'ensemble de la zone d'étude, et d'autre part une petite surface peut être occupée par deux types de faciès de dégradation différents.

Deuxième classification (9 classes thématiques) :

Exactitude globale = (1637/1697) 96.4643%

Coefficient de Kappa = 0.9604

Tableau 27 - Matrice de confusion en pourcentage.

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1-V4-SN4-EG1-S4-PG1 (versant)	115	0	0	0	0	0	5	0	0	0	120
2-V4-SN4-EG5-S1-PG5 (surface plus ou moins dépressionnaire)	0	181	0	19	0	0	6	0	0	0	206
3-V3-SN4-EG5-S2-PG5-lit2 (Glacis d'érosion parcouru par dépressions et les oueds ouvert d'un voile sableux)	0	0	111	0	0	0	0	0	0	2	113
4- V3-SN4-EG1-S4 PG5 (Glacis)	0	22	0	177	0	0	0	0	0	0	199
5- V4-SN4-EG4-S2-PG5 (dépression)	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	170
6- V3-SN4-EG5-EG (glacis d'érosion parcourus par des daïas)	0	0	0	0	0	220	0	0	0	2	222
7- V4-SN4-S1-PG5- EG1 (versant)	1	2	0	0	0	0	150	0	0	0	153
8- V3-SN4-EG4-S3 (Glacis d'érosion à accumulations sableuses importantes)	0	0	0	0	0	0	0	108	0	0	108
9-blanc (zone masquée)	0	0	0	0	0	0	0	0	231	0	231
10- V3-SN4-EG2-S3-PG5-Lit3 (glacis de raccordement)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174	174
Total	116	205	111	196	170	220	161	109	231	178	1697

Tableau 28- Les erreurs de commission et d'omission

Classes	Commission	Omission	Commission	Omission
	Pourcentage	Pourcentage	(Pixels)	(Pixels)
1	4.17	0.86	5/120	1/116
2	12.14	11.71	25/206	24/205
3	1.77	0.00	2/113	0/111
4	11.06	9.69	22/199	19/196
5	0.00	0.00	0/170	0/170
6	0.90	0.00	2/222	0/220
7	1.96	6.83	3/153	11/161.
8	0.00	0.92	0/108	1/109
9	0.43	0.00	1/232	0/231
10	0.00	0.92	0/174	4/178

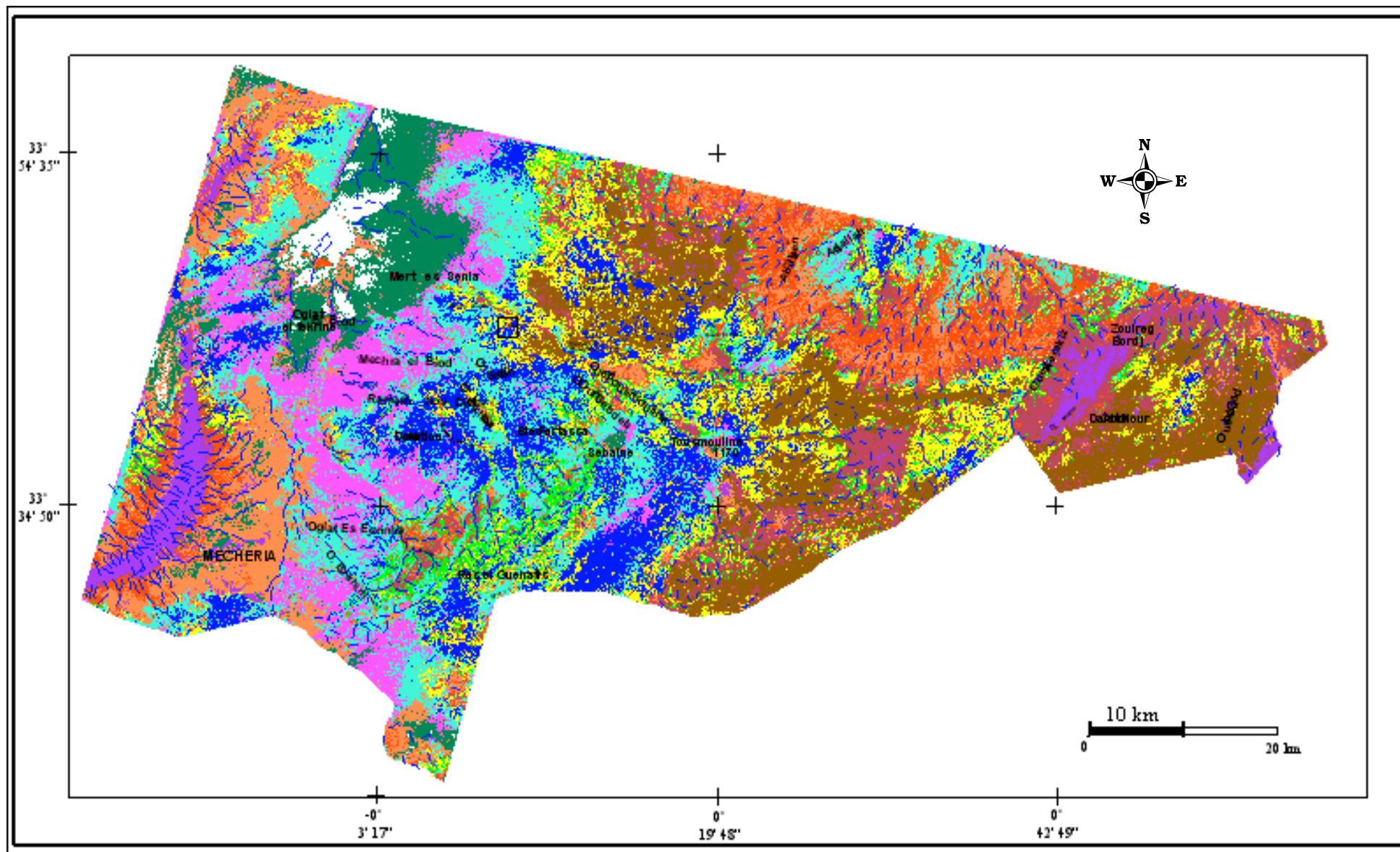














Figure 38 - Carte de l'état de la surface du sol (résultat de la classification supervisée 12 classes)

LEGENDE

	1- V4-SN4-EG1-S4-PG1 (versant)		7- V4-SN4-PG5-Lit4-EG1(versant avec un recouvrement important en éléments grossiers)
	2- V4-SN4-EG5-S1-PG5		8- V3-SN4-EG4-S3-PG3 (glacis d'accumulations sableuses importantes)
	3- V3-SN4-EG5-S2-PG5-lit2 (Glacis d'érosion parcouru par dépressions et oueds-voile éolien)		9- Dunes vives
	4- V3-SN4-EG1-S4- PG5 (glacis éléments grossiers important et sable moyen)		10- Cultures
	5- V4-SN4-EG4-S2-PG5 (dépression - importance du couvert sableux)		11- Enclaves agricoles
	6- V3-SN4-EG5-EG1-S4 (revêtement important en éléments grossiers et moyen en sable)		12- V3-SN4-EG2-S3-PG5-Lit3 (Glacis de raccordement)

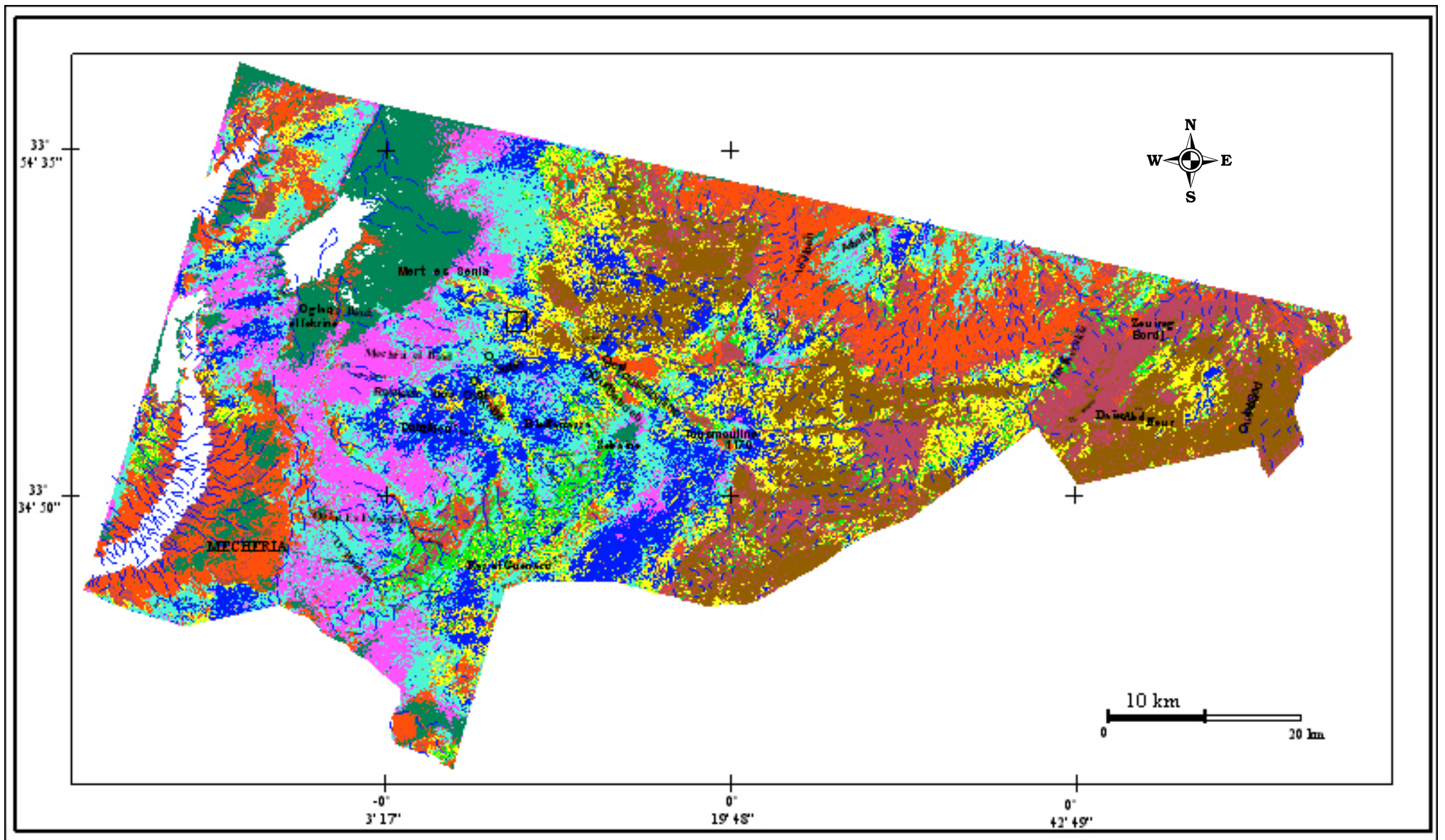


Figure 39 – Carte de l'état de la surface du sol (résultat de la classification supervisée - 9 classes thématiques-)

LEGENDE



1- V4-SN4-EG1-S4-PG1
(versant)



2- V4-SN4-EG5-S1-PG5 (glacis)



3- V3-SN4-EG5-S2-PG5-lit2
(Glacis d'érosion parcouru par
dépressions et oueds-voile éolien)



4- V3-SN4-EG1-S4- PG5
(glacis éléments grossiers
important et sable moyen)



5- V4-SN4-EG4-S2-PG5 (dépression
- importance du couvert sableux)



6-V3-SN4-EG5-EG1-S4 (revouvement
important en éléments grossiers et
moyen en sable)



7- V4-SN4-PG5-Lit4-EG1 (versant avec
un recouvrement important en éléments
grossiers)



8- V3-SN4-EG4-S3-PG3 (glacis
d'accumulations sableuses importantes)



9- V3-SN4-EG2-S3-PG5-Lit3 (Glacis
de raccordement)

Discussion :

1- V4-SN4-EG1-S4-PG1

(versant)

2- V4-SN4-EG5-S1-PG5 (glacis)

3- V3-SN4-EG5-S2-PG5-lit2 (Glacis d'érosion parcouru par dépressions et oueds-voile éolien)

3- V3-SN4-EG5-S2-PG5-lit2 (Glacis d'érosion parcouru par dépressions et oueds-voile éolien)

4- V3-SN4-EG1-S4- PG5 (glacis éléments grossiers important et sable moyen)

5- V4-SN4-EG4-S2-PG5 (dépression - importance du couvert sableux)

6-V3-SN4-EG5-EG1-S4 (revouvement important en éléments grossiers et moyen en sable)

7- V4-SN4-PG5-Lit4-EG1 (versant avec un recouvrement important en éléments grossiers)

8- V3-SN4-EG4-S3-PG3 (glacis d'accumulations sableuses importantes)

9- V3-SN4-EG2-S3-PG5-Lit3 (Glacis de raccordement)

Discussion :

L'analyse de la végétation permet de déduire que celle-ci est très dégradée et que son recouvrement dépasse rarement les 15%. Cet état rend très difficile l'établissement de la carte de végétation à moyenne échelle et la végétation ne peut être exprimée qu'à grande échelle (échelle de la station).

L'objectif de cette étude est de décrire l'état actuel des de la végétation par l'établissement de la carte de végétation, cet état peut être aussi bien illustré par la carte de l'état de la surface du sol.

La carte représentant l'état de la surface du sol semble être l'expression fidèle de l'état de l'écosystème dans notre zone d'étude. Cette expression donne un aperçu sur les éléments de la surface du sol qui peuvent être le résultat d'une action (pâturage, mise en culture, ensablement.....) exercée sur ce milieu. La végétation est considérée, dans ce cas, comme un élément de la surface du sol exprimée par son recouvrement.

La carte de l'état de la surface du sol est un document de base qui peut être réalisé avec beaucoup plus de précision en prenant en considération l'ensemble des éléments de la surface du sol ayant des effets sur la réponse spectrale enregistrées dans les images satellitaires utilisées. Nous signalons que la prise en considération de ces éléments présente plusieurs difficultés.

Les classes que nous avons prises en considération, pour la présente étude, ne tiennent pas comptes de ces paramètres faute d'indisponibilité des moyens de mesures.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de cette étude, nous pouvons dire que notre travail constitue une contribution à la connaissance des écosystèmes steppiques à travers l'étude des différentes formations végétales existantes et leur représentation cartographique. Le suivi des changements écologiques et l'identification des indicateurs de la désertification ont été également abordés.

La première partie du travail a été consacrée à la caractérisation des formations végétales sur le plan floristique. La méthode d'étude adoptée est celle de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) appliquée aux relevés floristiques réalisés sur le terrain. Les résultats obtenus nous ont permis de mettre en évidence des "ensembles" plus ou moins liés à la dégradation des steppes à sparte et à alfa. Ces ensembles sont également conditionnés par l'installation plus ou moins importante du sable.

L'importance de la dégradation de la végétation de la zone d'étude est indiquée par le faible recouvrement des steppes physionomiquement dominantes (les steppes à sparte, les steppes à alfa et les steppes mixtes) et par la dominance des espèces de dégradation comme *Salsola vermiculata*, *Thymelaea microphylla*, *Atractylis serratuloides* et *Peganum harmalas*.

L'homogénéité apparente du cortège floristique semble être la conséquence de la dégradation se traduisant dans ce cas par la diminution de la richesse floristique.

Après avoir exposé les résultats de l'analyse floristique, nous avons essayé de décrire les différents faciès de végétation déterminés sur la base de l'espèce ou des espèces physionomiquement dominantes. Nous avons constaté que la plupart des relevés reflètent les steppes dégradées.

Il serait souhaitable de compléter cette étude par une analyse en composantes principales pour mieux cerner les différents facteurs de dégradation de la végétation, en prenant en compte tous les éléments des relevés phytoécologiques (le recouvrement des éléments de la surface du sol, profondeur du sol, analyse des horizons superficiels du sol) et ceux issus d'une étude socioéconomique qui ferait ressortir l'exploitation des ressources végétales de la zone d'intérêt.

La deuxième partie du travail a été consacrée à la réalisation de la carte d'occupation des terres qui a été élaborée grâce à l'utilisation des données de télédétection.

L'utilisation des images satellitaires pour la cartographie de la végétation en zones arides semble poser des problèmes méthodologiques qui ont été déjà évoqués par plusieurs auteurs. Parmi les problèmes rencontrés figure le faible couvert végétal, reflétant un état très dégradé de la végétation, et qui pose le problème du niveau de perception choisi pour la représentation cartographique.

En effet, la cartographie de la végétation d'une zone d'étude caractérisée par un faible couvert végétal, pose toujours le problème d'incertitude dans l'interprétation de celle-ci. Ce degré d'incertitude semble devenir plus important avec l'importance de la dégradation de la végétation.

L'état de la végétation ne peut être appréhendé de manière précise, qu'à l'échelle stationnelle.

Pour l'image satellitaire utilisée (moyenne résolution spatiale 30m × 30 m), les valeurs radiométriques apportées par ce type de document ne semblent pas traduire les formations végétales et plus précisément les faciès de végétation (première deuxième et parfois troisième espèce dominante) car plusieurs types de faciès semblent avoir des valeurs radiométriques très proches et un seul type de végétation peut se trouver dans des zones à valeurs radiométriques très espacées.

Il s'ensuit que pallier l'utilisation des images satellitaire (30 m × 30 m) de résolution spatiale pose un problème de cartographie de la végétation en zones arides.

Pour pallier ces différentes contraintes, nous nous sommes basés, dans la définition des zones test, pour la réalisation de la classification supervisée, sur l'état de la surface du sol qui semble avoir plus de rapport avec les zones détectés dans l'image satellitaire.

L'état de la surface du sol est caractérisé par le recouvrement des éléments de la surface (les éléments grossiers, la pellicule de glaçage et le sable). La végétation est également considérée comme élément de la surface du sol participant dans la réponse spectrale avec les autres éléments. La réponse spectrale est liée à un ou plusieurs éléments de la surface du sol selon l'importance de ces éléments

Nous avons constaté que, pour certains éléments, le recouvrement n'est pas suffisant pour différencier certaines zones. Il était souhaitable de mesurer sur le terrain l'épaisseur du sable ainsi que l'épaisseur de la pellicule de glaçage et sa dureté. Ces variables peuvent avoir un effet sur la réponse spectrale enregistrée par la télédétection.

Pour caractériser les zones test, nous avons associé l'état de la surface du sol à la géomorphologie qui, en zone aride, peut aider à l'interprétation des faciès de végétation. Elle semble influencer sur la réponse spectrale des objets par son effet d'ombre ou par la forte exposition à la direction du soleil au moment de la prise de vue.

Ce choix de zone test est basé sur l'hypothèse que c'est l'état de la surface du sol qui est responsable des réponses spectrales enregistrées sur l'image. Cette hypothèse ne peut être confirmée que sur la base de la confrontation des mesures effectuées sur le terrain avec les résultats de traitements de télédétection.

Le suivi des changements écologiques à long terme, dans les zones arides, nécessite l'étude détaillée des facteurs responsables de leur évolution et notamment de leur dégradation.

La diminution du recouvrement de la végétation pérenne reste l'indicateur de dégradation le plus pertinent à l'échelle stationnelle. Cet indicateur ne peut être directement détecté par télédétection et ne peut être cartographié à moyenne échelle en zones arides.

L'interprétation de la végétation à partir des éléments de la surface du sol ne peut donner des résultats exacts de l'occupation de celle-ci, cela est dû principalement à l'importance de la dégradation dans la zone d'étude.

Les éléments de la surface du sol semblent constitués des paramètres pertinents pour l'étude et la surveillance des phénomènes de désertification à long terme. Ils présentent l'avantage de pouvoir être évalués sur terrain et observés par télédétection puisqu'ils ne posent pas le problème du niveau de perception (JAUFFRET, 2001) ce qui en fait des indicateurs plus pertinents que la végétation.

La connaissance des ressources naturelles de la zone d'étude nécessite l'étude détaillée des facteurs responsables de la dégradation, et la cartographie à grande échelle de la végétation. Dans les zones arides, la cartographie de l'état de la surface du sol, par les images satellitaires, semble le moyen le plus efficace pour décrire l'état de l'écosystème et cerner son degré de dégradation. La végétation sera prise comme élément de la surface. La carte de la surface du sol peut servir d'un document de base pour des comparaisons ultérieures des changements de l'état de la surface du sol et de suivie des processus de désertification.

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABIDI R., DJEBAILI S. & MEDIOUNI K., 1982.**-La télédétection moyen pour l'inventaire écologique. Application à une zone présaharienne du Sud Ouest Algerien - Biocénoses 1 (2):21-42.
- ACHOUR H., 1983.**- Etude phytoécologique des formations à alfa (*Stipa tenacissima L.*) du Sud-Oranais, Wilaya de Saida. Thèse Doct. 3^{ème} cycle; Uni. Sci. Techn H. Boumediène. Alger, 216 p. + ann.
- ADI N., 2001.**- Contribution à l'étude des formations à *Salsola vermiculata* le long d'un gradient de salinité dans la région du Chott Chergui (Sud Oranais). Thèse Mag. Univ. Sci. Technol. H. Boumediène, Alger, 118 p.
- AIDOU A., 1983.** - Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du Sud-Oranais : Phytomasse, productivité et applications pastorales. Thèse Doct. 3^{ème} Cycle, Univ. Sci. Technol. H. Boumediène, Alger, 254 p. + ann.
- AIDOU A., 1989.** – Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques pâturés des Hautes Plaines Algéro-Oranaises. Fonctionnement, évaluation et évolution des ressources végétales. Thèse Doct.; Uni. Sci. Techn H. Boumediène. Alger, 253 p.+ ann.
- AIDOU A. & AIDOU- LOUNIS F., 1991.**- Evaluation et régression des ressources végétales et steppiques des Hautes Plaines Algériennes. *in* Gaston A., KERNICK M. et LE HOUEROU H.N. ed. Proceeding of the Fourth International Rangeland Congress. Montpellier, 307-309.
- AIDOU A. & TOUFFET J., 1996.**- La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima L.*), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. *Sécheresse* 7 (3) : 187-193.
- AIDOU-LOUNIS F., 1984.**- Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum L.*) des Hauts Plateaux. Etude phytoécologique et syntaxonomique. Thèse Doct. 3^{ème} cycle. Univ. Sci. Technol. H. Boumediène, Alger, 256 p. + ann.
- ANGLADE I., 1982.**-Etude comparée par traitement d'image de quelques paramètres influençant le comportement hydrique des sols nus. *Photo-Interprétation* 82-3/5-6.
- BAGNOULS F. & GAUSSEN H. , 1953.**- Saison sèche et indice xéothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat.* Toulouse., 88, 193-239.

- BARIOU R., LEGAMUS D. & LE HENAF F., 1985.-** Indice de végétation. IN Dossiers de télédétection. Univer. de RENNES. 2, Haute Bretagne. 151 p.
- BASSISTY E., CELLES J., CHIAVERINI D., MANIERE R., MELZI S., AIDOU A., 1992.-** Evaluation de l'imagerie satellitaire à haute résolution spatiale appliquée aux inventaires des ressources naturelles en zones arides méditerranéennes. Boucedrai. Algérie MEN / CMEP. Action de coopération. Rapport final.89 MES 127.USTHB / Univ.Nice.Sophia-Antipolis.45 p + ill.
- BATTANDIER A. & TRABUT L., 1902.-** Flore analytique et synoptique de l'Algérie et de la Tunisie. Jourdan éd., Alger, 347-353.
- BELOUAM N. BERAUD-FAVEDE F. & CLAUDIN J., 1975.-** Etude écologique de la Z.D.I.P. d'El Biodh (MECHERIA). Etude D.E.M.R.H., Alger, 73 p. + Cartes.
- BENHAMADA-DRIOUECHE N., 2000.-** Contribution à la compréhension des processus de désertification : étude écologique de populations végétales dans les écosystèmes arides du Sud-Ouest algérien. Thèse Mag. Univ. Sci.Thechnol. H. Boumediène, 109 p.
- BENZECRI J.P. & COLL., 1973.-** L'analyse des données. 2 vol., Dunod, Paris, 615 + 619.
- BELKHIRAT & CHANGRIHA ,1992.-** Contribution à l'étude des écosystèmes steppiens et présahariens : Utilisation des photographies-aériennes et des images satellitaires TM de Landsat pour la cartographie de de la végétation et des milieux au 1/100 000 de la région de Ain Sefra (Wilaya de Naâma). Diplo. Etud. Sup. Univ. Sscie. Tech. H. Boumedienne.
- BOUKHRIS M., 1973.-** Recherches écologiques et physiologiques sur les plantes gypsicoles de Tunisie. Thèse. Doct. Etat., Montpellier, p. 215.
- BOUNEOUARA H. & HARACH M., 1988.-** Contribution à l'étude des graminées à fibres : (Stipa tenacissima L. ; Stipa barbata L. ; Aristida pungens L. et Lygeum spartum L.). Biocenose.
- BOUZENOUNE A., 1984. -** Etude phytoécologique et phytosociologique des groupements végétaux du Sud-Oranais (Wilaya de Saida). Thèse Doct. 3^{ème} Cycle, Univ. Sci. Technol. H. Boumediène, Alger, p. 255 + ann.
- BOUZENOUNE A., DJEBAILI S. & MEDIOUNI K., 1982.-** Quelque cas de représentation cartographique des écosystèmes naturels en zones arides et semi-arides. *Biocénoses*, 1 (2), pp 111-112.

- BRIANE J.P., 1991.-** Le traitement des données phytosociologiques sur micro-ordinateurs compatibles IBM-PC. ANAPHYTO, manuel d'utilisation. Univ. Paris II , Orsay, p. 32.
- CALOZ R., 1991-** Télédétection satellitaire, Lausanne, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne- Institut d'aménagement des terres et des eaux (hydrologie et aménagement), p. 127.
- CAMELEO (Changes in Arid Mediterranean Ecosystems on the Long Term and Earth Observation), 1999.-** Suivi diachronique des processus de désertification "*in situ*" et par télédétection des Hautes Plaines Steppiques du Sud-Ouest Oranais. Rapport. U.R.B.T. Alger.
- CASSANET J., 1984.-** Satellites et capteurs. Ed. Paradigme, Coll. "SAT", p. 133.
- CNTS (Centre National de Télédétection Spatiale), 1992.-** Rapport de la phase 1 : Elaboration par télédétection de la carte d'occupation du sol au 1/100 000. Wilaya d'El Bayadh.
- C.R.B.T (Centre de Recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres), 1978.-** Rapport phytoécologique et pastoral sur les Hautes Plaines steppiques de la Wilaya de Saida. CRBT, Alger, 256p + ann + cartes.
- CELLE J.C., 1975.-** Contribution à l'étude de la végétation des cofins Saharo-Constantinois (Algérie). Thèse. Doc. Fac. Sci. Univ. Nice, p. 364.
- CHADLI R., 1990-** Contribution à l'étude du sparte (*Lygeum spartum* L.) : Germination, croissance des feuilles, structure pariétale, essai d'obtention de pâte papetière à partir des fibres foliaires. Thèse Mag. Univ. Sci.Thechnol. Oran Es-Senia, 95 p+ Planches.
- CORDIER P., 1965.-** Sur l'analyse factorielle des correspondances. Thèse spécialisée, Rennes , p. 66.
- CORNET A. 2000.-** La Désertification : un problème d'environnement, un Problème de développement. Conférence invitée, La Londe les Maures, 2000, France.
- COURAULT D., GIRARD M.C. & ESCADAFAL R., 1988.-** Modélisation de la couleur des sols par télédétection. Actes du 4 Coll. Int. « Signatures spectrales d'objets en télédétection ». Aussois, janvier, 1988 : 357-362.
- COLWELL J. E., 1973.-** Bidirectional spectral reflectance of grass canopies for determination of above ground Biomass. Ph. Thesis., Univ. OF Michigan. 174. p.

- DAGET Ph., 1977.-** Le bioclimat méditerranéen : caractères généraux, modes de caractérisation, *Vegetatio*, 34 (2), pp. 87-103.
- DAGET Ph. et POISSONET J., 1969.-** Analyse phytologique des prairies, applications agronomiques. Doc. n° 48, C.N.R.S./C.E.P.E., pp. 85 – 100.
- DAGET Ph. et POISSONET J., 1971.-** Une méthode d'analyse phytologique des prairies. *Ann. Agron.*, 22 (1), pp. 5-41.
- DAGNELLIE P., 1973. -** Théorie et méthodes statistiques. Vol. 1 : La statistique descriptive et des fondements de l'inférence statistique. Press. Agron. Gembloux, 378 p.
- DAHMANI M., 1997-** Le chêne vert en Algérie, syntaxonomie, phytoécologie et dynamique des peuplements. Thèse. Doc. Uni. Sci. Tech. H. Boumediene. 330 p. + ann.
- DANIN A., ORSHAN G., 1990.-** The distribution of RAUKIAER life forms in Israel in relation to the environment. *J. Veg. Sci.* 1 : pp. 41-48.
- DJEBAIL S., 1978.-** Recherches phytosociologiques sur la végétation des Hautes Plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse. Doct. Etat. Sci. Tech. Langdoc., Montpellier, 229 p.+ ann.
- DJELLOULI Y., 1981. -** Etude climatique et bioclimatique des Hauts Plateaux du Sud-Oranais (Wilaya de Saida). Thèse doct. 3^{ème} Cycle, Univ. Sci. Technol. H. Boumédienne, Alger, 178 p. + ann. Et cartes.
- DJELLOULI Y., 1990.-** Flore et climat en Algérie Septentrionale : Déterminisme climatique des espèces. Thèse Doct. ; Uni. Sci. Techn H. Boumediène. Alger, 262 p.
- DREGNE H.E., 1977 -** La désertification aux Etat-Unis d'Amérique. Nature et ressources, 13 : 11-14.
- EHLERS M., EDWARDS G. & BEDARD Y., 1989.-** Intergration of Remote Sensing with Geographic Information System: a necessary evolution. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing* 55, 1619-1627.
- EMBERGER L., 1930-** La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. *Rev. Gén. Bot.*, 42, 641- 662.
- EMBERGER L., 1955.-** Une classification biogéographique des climats. *Rev. Trv. Lab. Bot.* Montpellier, 7, 3-43.

- ESCADAFAL L. & POUGET, 1986.-** Luminance spectrale de la surface des sols en région aride méditerranéenne (Sud-Tunisien) *I.T.C.Journal*, 86- 1 : 19-23.
- FLORET C., MTIMET A. & PONTANIER R. 1989-1990.-** Régime hydrique et sensibilité à l'érosion de systèmes écologiques de la zone aride (Tunisie). Cahier ORSTOM, série Pédologie, XXV, 1-2 : 53-69.
- GALTIER B. & BAUDOIN A., 1992.-** Les iconocartes. Bull. SFPT 126, 13-27.
- GIRARD C.M. & GIRARD M.C., 1975. –** Application de la télédétection à l'étude de la biosphère. Masson, Paris, 120 p.
- GIRARD C. M. & GIRARD M. C., 1977.-** Télédétection de la surface du sol. *1^{er} coll. Pédologie. Télédétection. ORSTOM.* Rome. pp 55-64.
- GIRARD M.C & GIRARD C.M., 1989. –** Télédétection appliquée aux zones tempérées et inter-tropicales. Masson, Paris, 260 p.
- GIRARD M.C. & GIRARD C.M., 1999. –** Traitement des données de télédétection. Dunod, Paris, 529 p. + CD-ROM.
- GOUNOT M., 1969. -** Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Masson, Paris, 314 p.
- GUINOCHET M., 1973.-** Phytosociologie. Masson, Paris, 227 p.
- HARCHE M., 1988- Contribution à l'étude des graminées à fibres : (*Stipa tenacissima* L., *Stipa barbata* L., *Aristida pungens* L. et *Lygeum spartum* L.), Biocénos .**
- HARCHE M. & MEGDAD H., 1989- Valorisation des graminées vivaces à fibres : cas des graminées à usage papetier. Séminaire international de Biologie et de développement, Constantine. (sous presse).**
- HIRCHE A., 1995.-** Contribution à l'étude de l'apport de l'image satellitaire à l'inventaire cartographique et phytoécologique d'une zone pré-saharienne, cas de Ouled- Djellal. Thèse Mag. Univ. Sci.Technol. H. Boumediène, 230 p.
- HIRCHE A., BOUGHANI A. & NEDJRAOUI D. 1999 -** A propos de la qualité des parcours en zones arides. Cahiers Option Médit. Zaragoza. V.39 pp. 193-197.
- HOCHREUTINER A., 1904.-** Le Sud Oranais. Etude floristique et phyto-géographique. Ann. Conserv. Jord. Bot. Genève, 7-8, pp. 23-276.

- JAUFFRET S., 2001.-** Validation et comparaison de divers indicateurs des changements à long terme dans les écosystèmes méditerranéens arides. Application au suivi de la désertification dans le Sud tunisien. PhD, Faculté des Sciences et Techniques de St Jérôme, Université d'Aix-Marseille III, Marseille, France, 365 p.
- JOLY G., 1984. –** Les données image. Ed. Paradigme, Coll. "SAT". 128 p.
- KADI HANIFI-ACHOUR H., 1998.-** L'alfa en Algérie : Syntaxonomie, relation : milieu-végétation, dynamique et perspectives d'avenirs. Thèse. Doc. Uni. Sci. Technol. H. Boumediene. 267 p.
- KERMAD M., 1989-** Apport de l'imagerie satellitaire à moyenne résolution spatiale à la perception des ressources naturelles renouvelables en zones arides méditerranéennes (Hauts plateaux Sud-Oranais). Mém. Dip. Etud. Appr. *Univ. Nice*, 37 p.
- KILLIAN Ch., 1949.-** Observations sur la biologie des végétaux des pâturages mis en défens en Algérie. *Ann. Inst. Agric. Allier.*, 4 (9), pp. 1-27.
- KING Ch., 1977.-** Examen des possibilités des hyperfréquences en pédologie. 1^{er} coll. Pédologie. Télédétection. *ORSTOM*. Rome. Pp 43-54.
- LE HOUEROU H.N., 1969. -** La végétation de la Tunisie steppique (avec référence au Maroc, à l'Algérie et à la Libye). *Ann. Ins. Nat. Rech. Agr. Tunis*, 42 (5) 624 p.
- LE HOUEROU H.N. 1975.-** Nature and cause of desertification. Arid plant land resources. Proceedings of the international Arid lands conference on the plant resources. Texas. Techn. University. Editors J.R.. Goodin, David K.N. Worthington. Published by International Center of Arid and Semi-Arid Land Studies. T.T.U. Lubbock, Texas.
- LE HOUEROU H.N., 1985.-** Aspects météorologiques de la croissance et du développement végétal dans les déserts et les zones menacées de désertification. Organisation météorologique mondiale. 368 p.
- LE HOUEROU H.N., 1995.-** Dégradation, régénération et mise en valeur des terres sèches d'Afrique du Nord. Coll. « L'homme peut-il faire ce qu'il a défait ? » *ORSTOM*, Tunis, 65-102.
- LE HOUEROU H.N., HAYWOOD M. & CLAUDIN J., 1975.-** Etude phytoécologique du Hodna. Publ. FAO, Rome, 154 p. + cartes.
- LONG G., 1954.-** Contribution à l'étude de la végétation de la Tunisie centrale. *Ann. Serv.Bot. Agron. Tunis*. 27, 388 p.

- LONG G. 1974.**-Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire. Tome 1: Principes généraux et méthodes. Masson et Cie, Paris, 232 p.
- LONG G. & al, 1970.** - Méthodes d'analyses par points de la végétation prairiale dense. Comparaison avec d'autres méthodes. Doc.n° 55. C.N.R.S/C.E.P.E., Montpellier, 32 p.
- MAINGUET M., 1998.**- Désertification et insécurité environnementale dans les écosystèmes secs. *Aménagement et nature*, n° 129, La désertification, pp. 19-26.
- MAINGUET M., 1990.**- La désertification : une crise autant socio-économique que climatique. *Sécheresse*, 1, 3, pp. 187-195.
- MANIERE R., COURBOULES J., CELLES J.C., CHAMIGNON C., BOUZENOUNE A., MELZI S., DJEBAILI S. & KERMAD M., 1989.** - Inventaire des ressources renouvelables en zone aride méditerranéenne : évaluation de l'apport des données à moyenne résolution spatiale (LANDSAT, MSS). *Photo-interprétation*. Images aérienne et spatiale, 89-3 et 4 (3).
- MAIRE, 1953.**- Flore de l'Afrique du Nord. 2, Monocotyledonae, Graninae. sf., Pooïdae. Lechevalier éd., Paris, pp. 12-13.
- MARTIN, 1970.**- Le papier. "Que sais-je". p. 128.
- MEDAIL F. 1996.**- Structuration de la biodiversité de peuplements végétaux méditerranéens en situation d'isolement. Thèse Doct. Sci. (PhD), Univ. Aix-Marseille III : 290 p. + annexes.
- MELZI S., 1986.**- Approche phytoécologique du processus de la désertification dans un secteur présaharien : Messad- Djelfa. Thèse Mag. Univ. H. Boumediène, Alger, 133 p.
- MELZI S., 1990** - Evaluation du processus de la désertification *Biocenose*, (2), pp 85-102.
- MILTON S.J., DEAN W.R.J., du PLESSIS M.A. & SIEGFRIED W.R. 1994.**- A conceptual model of arid rangeland degradation. The escalating cost of declining productivity. *Bioscience*, 44 (2) : 70-76.
- NEDJRAOUI D., 1981.**- Evolution des éléments biogènes et valeurs nutritives dans les principaux faciès de végétation (Armoise blanche, sparte et alfa) des hauts plateaux. Steppe de la wilaya de Saida. Thèse 3ieme Cycle, U. S. T. H. B, Alger, 156p+ Annexes.

- NEDJRAOUI D., 1990.-** Adaptation de l'Alfa (*Stipa tenacissima*) aux conditions stationnelles. Contribution à l'étude du fonctionnement de l'écosystème steppique. Thèse Doct. ; Uni. Sci. Techn H. Boumediène. Alger, 256 p.
- NEDJRAOUI D., 2000.-** Plan National d'Action Environnementale (PNAE) : Etat des écosystèmes forestiers, steppiques et sahariens : Rapport Banque Mondiale. 130 p. + Ann.
- NEDJRAOUI D. & TOUFFET J., 1988.-** Influence des caractères stationnels sur les teneurs en éléments biogènes de l'armoise blanche (*Artemisia herba alba*) de l'alfa (*Stipa tenacissima*) et du sparte (*Lygeum spartum*). *Biocenose* , 1-2 (1), pp 53-71.
- OZENDA P., 1954.-** Observations sur une végétation d'une région semi-aride : Les hauts plateaux du Sud-algérien. *Bull. Soc. Hist. Nat. D'Afr. Du Nord, Alger*, 45, 3-4 : pp 189-223.
- OZENDA P., 1956.-** Flore du Sahara. CNRS., éd., France, 622 p.
- OZENDA P., 1958.-** Flore du Sahara septentrional et Central. *C.N.R.S., Paris*. 490 p.
- PORNON H., 1992-1995.-** Les S.I.G, mise en œuvre et applications, HERMES, 158 p.
- POUGET M., 1980.-** Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-Algéroises. Trav. et Doc. *ORSTOM. Paris*, 555 p.
- POUGET M., MADEIRA J., LE FLOC'H E. & KAMAL S., 1991.-** Caractéristiques spectrales des surfaces sableuses de la région côtière Nord-Ouest de l'Egypte : Applications aux données satellitaires Spot. In : Deuxièmes journées de télédétection, caractérisation et suivi des milieux terrestres en régions arides et tropicales, Paris, Orstom : pp 27-38.
- QUEZEL P. & SANTA S., 1962-1963.-**Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. 2 vol. CNRS. Ed., Paris, 1170 p.
- RAY P. & IZARD M., 1969.-**Notions pratiques de la télédétection. Centre National de la Recherche Scientifique. Service de la carte de la végétation (CNRS). 62 p.
- ROBIN M., 1995.-**Télédétection des Systèmes d'Information Géographique. 1^{ère} Ed. Nathan, Paris, 200 p.
- ROBIN M., 2002.-**Télédétection des Systèmes d'Information Géographique. 2^{ème} Ed.Nathan, Paris, 318 p.

- ROGER M., 1987.**-Télé-détection spatiale et aéroportée et systèmes d'informations géocodées sur l'environnement. Principes généraux et étude de quelques domaines d'application. Thèse Doct. Sci. (F.S.T.S^T.J). Univ. D.E.S., Aix-Marseille III, 260p +ann.
- ROGNON P., 1994.**-Désertification et dégradation des sols. *In* : Med-Campus, 8 : Désertification et Aménagement. Cours des séminaires 1993 de Médenine (Tunisie) et d'Agadir (Maroc). (eds.) COUDE-GAUSSSEN et P. ROGNON, Caen : 69-87.
- ROUSE J.W., HASS R.H., SCHELL J.A. & DEERING D.W., 1973.** - Monitoring vegetation systems in the great plains with E.R.T.S. 3d E.R.T.S; Resources Technology Satellite-1 Symp., NASA : 309-317.
- SAUVAGE Ch., 1963.** - Etages bioclimatiques. Atlas du Maroc, Notice explicative : Sect. II- *Physique du globe et météorologie*, 44 p.
- SELTZER P., 1946.**- Le climat de l'Algérie. Carbonnel, ALGER, 219 p.
- SLIMANI H., 1998.**- Effet du pâturage sur la végétation et le sol et désertification. Cas de la steppe à alfa (*Stipa tenacissima* L.) de Rogassa des Hautes plaines occidentales algériennes. Thèse Mag. Univ. Sci.Thechnol. H. Boumediène, Alger, 123 p. + ann.
- TOMASSONE R., 1988.**- Conférence sur l'Analyse de données. 4 : Analyses factorielle des correspondances. Univ. Agrn. D'état de Gembloux, 2529 avril 1988, pp. 14-19.
- TRABUT L., 1887.**- Etude de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.), Alger, 90 p.
- TRICART J., 1976.** - Géodynamique externe. Etude intégrée du milieu naturel. Ecodynamique et aménagement *In* : Rev. *Géomorphologie dynamique* XXVE année, 1, pp. 19-32.
- TRICART J. & CAILLEUX A., 1969.** – Traité de géomorphologie. IV : Le modelé des régions sèches (J.Trcart). S.E.D.E.S., Paris, 472 p.
- TEISSER L. & STAMON G., 1994.**- Geometric Ortho-rectification of flash radar images. First IEEE International Conference on image Image Processing, Austin, Etats-Unis.
- VERGER F., 1982.**- L'observation de la terre par satellite. Ed. P. U. F., coll. " Que sais je ?". n° 1989, 128 p., 31 fig.

ANNEXES

ANNEXE 1

LEXIQUE :

Les définitions données ci-après sont extraites principalement de GIRARD & *al* (1999) et ROBIN (2002).

- **Bande :**

Intervalle de longueurs d'ondes défini par deux seuils de début et de fin. Dans une bande spectrale, on ne dispose que d'une valeur énergétique (donnée de réflectance, de luminance ou de compte numérique) qui est égale, entre les deux valeurs seuils, à la double intégrale spatiale et radiométrique des différents objets contenus dans un pixel.

- **Bruit :**

Perturbation parasite au signal et en altère la qualité. Son origine pour un capteur est due aux diverses manipulations que subit le signal (bruit photonique et électronique des détecteurs, amplification du signal, numérisation du signal et de corrections).

- **Canal :**

Partie d'image comportant un ensemble de pixels appartenant tous à la même bande spectrale, ou issue d'un calcul basé sur une même série de bandes spectrales.

- **Comportement spectral :**

Ensemble des luminances, ou réflectance, d'un objet pour un ensemble de bandes spectrales.

- **Compte numérique :**

Valeur de luminance d'un pixel, exprimée par un nombre entier et souvent sur 256 valeurs.

- **Fenêtres atmosphériques :**

Parties du spectre du spectre où l'atmosphère est relativement transparente aux rayonnements, entre les bandes d'absorption

- **Données corrigées (correct data):**

Donnée brute qui a subi un ou plusieurs traitement comportant des corrections radiométriques et/ ou géométriques.

- **Géostationnaire :**

Se dit des satellites positionnés dans le plan équatorial vers 36 000kmd'altitude et dont la vitesse de révolution est égale à la vitesse angulaire de rotation de la terre, ce qui leur donne une apparence fixée au ciel.

- **Géoréférencement :**

Action de redresser une image dans un référentiel cartographique.

- GPS (Global Positioning System) :

Système de 24 Satellites en orbite autour de la terre, qui transmettent des données très précises sur leur position et leur distance par rapport au récepteur. Le récepteur, que l'on tient dans la main, voit les satellites qui sont au-dessus de l'horizon si la vue du ciel est dégagée et s'il n'y a pas d'obstacle (couvert forestier épais, mur, métal, personnes). Selon le nombre de satellite dont les positions sont reçues (de 3 à 12), le récepteur (GPS) indique sa position géographique en deux ou trois dimensions. La précision peut atteindre le cm.

- Héliosynchrone : Se dit des satellites qui passent toujours au-dessus du même endroit à la même heure.

- Image:

Représentation plane obtenue à partir d'un enregistrement structuré de données saisies par télédétection aérospatiale.

- Image-satellite (satellite picture):

Prise de vue fournie par un capteur non photographique (numérique) embarqué sur un satellite, ne pas confondre avec photo-satellite qui est au contraire une prise de vue photographique.

-Indice :

C'est une combinaison de plusieurs bandes spectrales destinées à mettre en évidence les particularités radiométriques.

- Luminance (Radiance) :

Intensité émise par unité de surface apparente selon une direction θ pour une source non ponctuelle, de superficie " dA ", rayonnant à travers un angle solide " ω ".

- Mixel :

Pixel hétérogène qui rassemble plusieurs objets et dont le comportement spectral est issu de la composition spectrale des divers objets rassemblés géographiquement dans l'élément de résolution.

- Orbite :

Trajectoire d'un satellite.

- Pixel (Picture element): Un pixel est la « plus petite surface homogène constitutive d'une image enregistrée, définie par les dimensions de la maille d'échantillonnage » (selon l'arrêté du 25 Septembre 1984 relatif à l'enrichissement du vocabulaire de la télédétection aérospatiale, *in* ROBIN, 2002)

La valeur du pixel dépend de l'aptitude du capteur à séparer des signaux de longueurs d'onde différentes est la résolution spatiale.

- Réflectance :

C'est le rapport de l'énergie réfléchiée par un objet à l'énergie reçue du soleil par cet objet.

- Résolution radiométrique:

Désignée par l'aptitude d'un capteur, dans une bande spectrale considérée, à distinguer des signaux électromagnétiques différents (CASSANET, 1984).

Limite de la résolution radiométrique : plus petite différence d'intensité entre deux niveaux du signal radiométrique détecté par le capteur utilisé.

Limite de la résolution spectrale (Spectral résolution): C'est le plus petit écart entre deux longueurs d'onde séparées par le capteur utilisé.

Limites de la résolution spatiale (Spatial résolution): Désigne la plus petite distance enregistrée directement entre les centres de deux surfaces.

- Scène (scene):

"Surface dont le gabarit résulte des propriétés de champ du capteur". Sa superficie dépend de la longueur de territoire balayé par le radiomètre.

- Structure de l'image:

Organisation dans l'espace des éléments structuraux de l'image. Les éléments structuraux sont des ensembles d'éléments texturaux organisés (GIRARD & *al*, 1989). Un élément structural est donc défini par un ensemble d'éléments structuraux dont l'organisation est connue.

- Texture de l'image:

Composition en objets élémentaires type, en catégorie de pixels sur une image satellite.

ANNEXE 2

Liste des espèces rencontrées (Nomenclature d'après QUEZEL & SANTA, 1962-1963 actualisée *in* KADI HANIFI (1998).

Les types biogéographiques et biologiques sont tirés des travaux de KADIHANIFI-ACHOUIR (1983), AIDOUUD-LOUNIS (1984) et BOUZENOUNE (1984).

Légende

Type BIOL : Type biologique

- Phan : Phanérophyte.
- Cham : Chamaephyte
- Hém : Hémicryptophyte
- Géo : Géophyte

Type BIOG : Type biogéographique

- PLURI.-REG. : PLURI-REGIONALE
- MED. : MEDITERRANEENNE
- MED.-IBER.-MAUR. : MEDIT-IBERO-MAURITANIENNE
- MED.-IRAN.-TOUR. : MEDITERANO-IRANO-TOURANIENNE
- SAH.-SIN. : SAHARO-SINDIENNE
- SAH.-SIND.-MED. : SAHARO-SINDIENNE-MEDITERRANEENNE
- SAH.-SIND.-OCCD. : SAHARO-SINDIENNE-OCCIDENTALE
- OMNI SAH.-SIND. : OMNI SAHARO-SINDIENNE
- IRAN.-TOUR. : IRANO-TOURANIENNE
- DE LIAIS.MED.-SIND. : DE LIAISON MEDITERRANEEN-SINDIEN
- END.-NORD AFR. : ENDEMIQUE NORD AFRICAIN

Code des espèces	Liste des espèces	Type BIOL.	Type BIOG.
0205	<i>Alyssum granatense</i> B. et R.	Thér	MED.
0262	<i>Anabasis articulata</i> (FORESK.) MOQ.	Cham	MED.
0268	<i>Anacyclus clavatus</i> DESF.	Thér	MED.
0267	<i>Anacyclus sp</i>	-	-
0337	<i>Anthemis Montana</i> Batt.	Hém	END. NORD AFR
0440	<i>Argyrolobium unifolium</i> (DESF.) JAUB. ET SPACH.	Hém	SAH.-SIND.-OCCD.
0466	<i>Aristida pungens</i> DESF.	Hém	SAH.-SIND.
4520	<i>Artemisia campestris</i> L.	Cham	MED.-IBER.-MAUR.
0502	<i>Artemisia herba alba</i> ASS.= <i>Artemisia inculata</i>	Cham	PLURI.-REG
0517	<i>Asparagus sp</i>	-	-
0568	<i>Astragalus armatus</i> WILLD.	Cham	SAH.-SIND.-OCCD.
0574	<i>Astragalus caprinus</i> L.	Hém	OMNI SAH.-SIND.
0613	<i>Astragalus sinaicus</i> BOISS.	Thér	MED.
0615	<i>Astragalus tenuifoliosus</i> M.= <i>Astragalus algerienus</i> E. SHELDON.	Hém	MED.-IBER.-MAUR.
0634	<i>Atractylis humilis</i> L.	Hém	DE LIAIS.MED.-SIND.
0641	<i>Atractylis Serratuloides</i> SIEB.	Cham	MED.
0648	<i>Atriplex halimus</i> L.	Cham	END.-NORD-AFR.
0691	<i>Bassia muricata</i> (L.) ASCH.	Thér	OMNI SAH.-SIND.
0740	<i>Biscutella didyma</i> L.	Thér	MED.
0874	<i>Bupleurum spinosum</i> L.	Cham	MED.
0888	<i>Calendula aegyptiaca</i> DESF.	Thér	DE LIAIS.MED.-SIND.
1003	<i>Carduncellus pinnatus</i> (DESF) DS.	Hémi	SAH.-SIND.-MED.
1020	<i>Carduus pteracanthus</i> DUR.	Thér	MED.-IBER.-MAUR.
1094	<i>Catananche sp</i>	-	-
1383	<i>Cleome arabica</i> L.= <i>Cleome amblyocarpa</i> B. et M.	Thér	OMNI SAH.-SIND.
1410	<i>Colocynthis vulgaris</i> (L.) SHR.	Thér	PLURI.-REG
1592	<i>Cutandia dichotoma</i> (FORESK) TRAB.	Thér	MED.
1672	<i>Dactylis glomerata</i> L.	Hém	PLURI-REG
1702	<i>Daucus carota</i> L.	Hém	MED.
1775	<i>Diploaxis harra</i> (L.) DC.	Thér	MED.-IRAN.-TOUR.
1777	<i>Diploaxis pitardiana</i> M.	Thér	SAH.-SIND.-OCCD.
1825	<i>Echinops spinosus ssp. Bovei</i>	Cham	MED.
1842	<i>Echium pycnanthum</i> POMEL= <i>E. humile</i> DESF. SUBSP.	Thér	DE LIAIS.MED.-SIND.
1875	<i>Enarthrocarpus clavatus</i> Del.	Géo	MED.
1955	<i>Erodium glaucophyllum</i> L'HER.	Thér	SAH.-SIND.-MED.
1957	<i>Erodium guttatum</i> (DESF.) Willd.	Hém	MED.
1944	<i>Erodium bipinatum</i> Willd.	Hém	MED.
1971	<i>Erodium triangulare</i> FORESK= <i>Erodium laciniatum</i> (CAV) WILLD.	Thér	END.-NORD-AFR.
1977	<i>Eruca vesicaria</i> (L.) CAV.	Thér	OMNI SAH.-SIND.
2026	<i>Euphorbia guyoniana</i> B. et R.	Hém	MED.

2089	<i>Ferula communis</i> L.	Cham	MED.
2090	<i>Ferula cossoniana</i> B. ET T.	Hém	END.-NORD-AFR.
2093	<i>Ferula vesceritensis</i>	Hém	SAH.-SIND.-MED.
2142	<i>Filago spathulata</i> AUCTION.	Thér	END.-NORD-AFR.
2172	<i>Frankenia thymifolia</i> DESF.	Cham	OMNI SAH.-SIND.
2379	<i>Halocnemum strobilaceum</i> R.	Cham	MED.
2419	<i>Helianthemum apertum</i> POMEL	Thér	SAH.-SIND.-MED.
2438	<i>Helianthemum hirtum</i> (L.) MILLIER	Cham	MED.
2443	<i>Helianthemum lippii</i> (L.) Pers.	Cham	PLURI.-REG
2465	<i>Helianthemum virgatum</i> (DESF.)PERS.	Cham	MED.
2493	<i>Herniaria fontanesii</i> J. GAY	Cham	MED.
2496	<i>Herniaria hirsuta</i> L.	Thér	MED.
2561	<i>Hordeum murinum</i> L.	Thér	PLURI-REG
2664	<i>Iris sisyrinchium</i> L. = <i>Gynandriris susyrinchium</i> (L.) PARL.	Géo	SAH.-SIND.-MED.
2729	<i>Juniperus phoenicea</i> L.= <i>J. turbinata</i> GUSS.	Phan	MED.
2763	<i>Koelpinia linearis</i> PALLAS	Thér	END.-NORD-AFR.
2827	<i>Launaea acanthoclada</i> M.	Cham	MED.
2833	<i>Launaea nudicaulis</i> (L.) HOOK. F.	Thér	SAH.-SIND.-MED.
2835	<i>Launaea residifolia</i> O. K.	Thér	MED.-IBER.-MAUR.
3136	<i>Lygeum spartum</i> L.	Géo	DE LIAIS.MED.-SIND.
3156	<i>Malcolmia aegyptiaca</i> L.= <i>Malcolmia aegyptia</i>	Thér	SAH.-SIND.-OCCD.
3177	<i>Malva aegyptiaca</i> L. = <i>M. Aegyptia</i>	Thér	DE LIAIS.MED.-SIND.
3171	<i>Malva parviflora</i> L.	Thér	END.-NORD-AFR.
3177	<i>Malva rotundifolia</i> L.	Cham	MED.
3192	<i>Marrubium deserti</i> DE NOE	Cham	SAH.-SIND.-MED.
3223	<i>Medicago hispida</i> GAER.	Thér	PLURI.-REG
3220	<i>Medicago sp</i>	-	-
3342	<i>Muricaria prostrata</i> (DESF.) DESV.	Thér	MED.
3418	<i>Noaea mucronata</i> (FORESK.) ASCH. SCHW.	Cham	IRAN.-TOUR.
3514	<i>Ononis natrix</i> L.	Hém	SAH.-SIND.-OCCD.
3541	<i>Onopordon acaule</i> L. = <i>Onopordon acaule</i> L.	Hém	SAH.-SIND.-MED.
3694	<i>Pallenis spinosa</i> (L.) CASS.	Hém	MED.
3727	<i>Paronychia arabica</i> (L.) DC.	Hém	SAH.-SIND.-OCCD.
3731	<i>Paronychia argentea</i> LAM.	Hém	MED.
3747	<i>Peganum harmala</i> L.	Cham	MED.
3786	<i>Phagnalon rupestre</i> (L.) DC.	Cham	MED.
3885	<i>Pituranthos scoparius</i> (COSS. ET DUR.) BEN. ET HOD.	Cham	SAH.-SIND.-MED.
3888	<i>Plantago albicans</i> L.	Hém	IRAN.-TOUR.
3912	<i>Plantago psyllium</i> L. = <i>P. afra</i> L.	Thér	MED.
4163	<i>Reseda alba</i> L.	Thér	MED.
4185	<i>Retama retam</i> (FORESSK.) W. et B.	Phan	SAH.-SIND.-MED.
4261	<i>Rosmarinus tournefortii</i> (Murb.) JANHANDIER et MAIRE= <i>R. eriacalyx</i> JORAN et FORMIER	Phan	MED.
4348	<i>Salsola vermiculata</i> L.	Cham	DE LIAIS.MED.-SIND.

4374	<i>Salvia verbenaca</i> L.	Hém	MED.
4448	<i>Scabiosa stellata</i> L.= <i>Lomelosia stellata</i> (L.) RAFIN.	Thér	MED.
4460	<i>Schismus barbatus</i> (L.) Thell.	Thér	SAH.-SIND.
4520	<i>Scorzonera undulata</i> VAHL.	Hém	MED.
4555	<i>Sedum sediforme</i> (JACQ.)PAU	Cham	MED.
4707	<i>Silybum eburneum</i> COSS. et DUR.	Hém	MED.-IBER.-MAUR.
4731	<i>Sisymbrium reboudianum</i> Verlot	Thér	DE LIAIS.MED.-SIND.
4853	<i>Stipa parviflora</i> DESF.	Hém	MED.
4849	<i>Stipa tenacissima</i> L.	Géo	MED.
4868	<i>Tamarix africana</i> P.	Phan	DE LIAIS.MED.-SIND.
4896	<i>Telephium imperati</i> L.	Hém	MED.
4972	<i>Thymelaea microphylla</i>	Cham	MED.
4980	<i>Thymus algeriensis</i> BOISS. et REUTIER	Cham	END.-NORD-AFR.
5222	<i>Vella annua</i> L. = <i>Carrichtera annua</i> (L.) DC.	Thér	SAH.-SIND.-OCCD.
5386	<i>Ziziphus lotus</i> (L). DESF	Phan	MED.
5397	<i>Zygophyllum album</i> L.	Cham	OMNI SAH.-SIND.

ANNEXES 3

Résultats de l'analyse statistique de la qualité des différentes classifications supervisées par le maximum de vraisemblance: Premier essai de classification (12 classes thématiques) :
 - Exactitude globale = 9651%
 - Kappa Coefficient = 0.9448

Tableau 1- Table de performance classification

CLASSES	Classification												Total des pixels
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1-V4-SN4-EG1-S4-PG1 (versant)	<u>100</u>	0	0	0	0	0	5	0	0	31	0	0	131
2-V4-SN4-EG5-S1-PG5 (surface plus ou moins dépressionnaire)	0	<u>180</u>	0	19	0	0	6	0	0	0	0	0	205
3- V3-SN4-EG5-S2 (Glacis d'érosion parcouru par dépressions et les oueds avec l'installation d'un voile éolien)	0	0	<u>111</u>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	111
4: V3-SN4-EG1-S4 PG5 (Glacis)	0	22	0	<u>177</u>	0	0	0	0	0	0	0	0	199
5: V4-SN4-EG4-S2-PG5 (dépression)	0	0	0	0	<u>170</u>	0	0	0	0	0	0	0	170
6: V3-SN4-EG5-EG (glacis d'érosion parcourus par des daïas)	0	0	0	0	0	<u>220</u>	0	0	0	0	2	0	222
Zone 7: V4-SN4-S1-PG5- EG1 (versant)	1	2	0	0	0	0	<u>150</u>	0	0	0	0	0	153
8: V3-SN4-EG4-S3 (Glacis d'érosion à accumulations sableuses importantes)	0	0	0	0	0	0	0	<u>109</u>	0	0	0	0	109
9 Accumulations sableuses (Dunes vives)	0	0	0	0	0	0	0	0	<u>231</u>	0	0	0	231
10: Cultures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<u>118</u>	0	0	118
11: Enclaves agricoles	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	<u>165</u>	0	181
12- V3-SN4-EG2-S3-PG5-Lit3 (glacis de raccordement)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<u>174</u>	174
TOTAL	116	205	111	196	170	220	161	109	231	118	191	1828	2006

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Le nombre de pixels classés sur l'image	395108	242986	507116	571173	631776	441116	599951	327092	26936248	182539	616190	792878

Tableau 2- Matrice de confusion en pourcentage.

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
1-V4-SN4-EG1-S4-PG1 (versant)	86.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.11	0.00	0.00	0.00	13.61	0.00	6.53
2-V4-SN4-EG5-S1-PG5 (surface plus ou moins dépressionnaire)	0.00	87.80	0.00	9.69	0.00	0.00	3.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.22
3-V3-SN4-EG5-S2-PG5-lit2 (Glacis d'érosion parcouru par dépressions et les oueds couvert d'un voile sableux)	0.00	0.00	97.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	8.67
4- V3-SN4-EG1-S4 PG5 (Glacis)	0.00	10.73	0.00	90.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.92
5- V4-SN4-EG4-S2-PG5 (dépression)	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.47
6- V3-SN4-EG5-EG (glacis d'érosion parcourus par des daïas)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.07
7- V4-SN4-S1-PG5- EG1 (versant)	0.86	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	93.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.63
8- V3-SN4-EG4-S3 (Glacis d'érosion à accumulations sableuses importantes)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.43
9-Accumulations sableuses (Dunes vives)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	11.52
10- Cultures	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	5.88
11- Enclaves agricoles	12.93	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.39	0.00	9.02
12- V3-SN4-EG2-S3-PG5-Lit3 (glacis de raccordement)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	97.75	8.67
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Tableau 3- Les erreurs de commission et d'omission

Classes	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
1-V4-SN4-EG1-S4-PG1 (versant)	23.66	13.79	31/131	13/116
2- V4-SN4-EG5-S1-PG5 (surface plus ou moins dépressionnaire)	12.20	12.20	25/205	25/205
3- V3-SN4-EG5-S2-PG5-lit2 (Glacis d'érosion parcouru par dépressions et les oueds- couvert d'un voile éolien)	1.77	0.00	2/113	0/111
4- V3-SN4-EG1-S4 PG5 (Glacis)	11.06	9.69	22/199	19/196
5- V4-SN4-EG4-S2-PG5 (dépression)	0.00	0.00	0/170	0/170
6- V3-SN4-EG5-EG (glacis d'érosion parcourus par des daïas)	0.90	0.00	2/222	0/220
7- V4-SN4-S1-PG5- EG1 (versant)	1.96	6.83	3/153	11/161
8- V3-SN4-EG4-S3 (Glacis d'érosion à accumulations sableuses importantes)	0.00	0.00	0/109	0/109
9- Accumulations sableuses (Dunes vives)	0.00	0.00	0/231	0/231
10- Cultures	0.00	0.00	0/118	0/118
11- Enclaves agricoles	8.84	13.61	16/181	26/191
12- V3-SN4-EG2-S3-PG5-Lit3 (glacis de raccordement)	0.00	2.25	0/174	4/178

Deuxième classification (9 classes thématiques) :
 Exactitude globale = (1637/1697) 96.4643%
 Coefficient de Kappa = 0.9604

Tableau 4 - Matrice de confusion en pourcentage.

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1-V4-SN4-EG1-S4-PG1 (versant)	115	0	0	0	0	0	5	0	0	0	120
2-V4-SN4-EG5-S1-PG5 (surface plus ou moins dépressionnaire)	0	181	0	19	0	0	6	0	0	0	206
3-V3-SN4-EG5-S2-PG5-lit2 (Glacis d'érosion parcouru par dépressions et les oueds ouvert d'un voile sableux)	0	0	111	0	0	0	0	0	0	2	113
4- V3-SN4-EG1-S4 PG5 (Glacis)	0	22	0	177	0	0	0	0	0	0	199
5- V4-SN4-EG4-S2-PG5 (dépression)	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	170
6- V3-SN4-EG5-EG (glacis d'érosion parcourus par des daïas)	0	0	0	0	0	220	0	0	0	2	222
7- V4-SN4-S1-PG5- EG1 (versant)	1	2	0	0	0	0	150	0	0	0	153
8- V3-SN4-EG4-S3 (Glacis d'érosion à accumulations sableuses importantes)	0	0	0	0	0	0	0	108	0	0	108
9-blanc (zone masquée)	0	0	0	0	0	0	0	0	231	0	231
10- V3-SN4-EG2-S3-PG5-Lit3 (glacis de raccordement)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174	174
Total	116	205	111	196	170	220	161	109	231	178	1697

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Le nombre de pixels classés sur l'image												792878

Tableau 5- Les erreurs de commission et d'omission

Classes	Commission Pourcentage	Omission Pourcentage	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
1	4.17	0.86	5/120	1/116
2	12.14	11.71	25/206	24/205
3	1.77	0.00	2/113	0/111
4	11.06	9.69	22/199	19/196
5	0.00	0.00	0/170	0/170
6	0.90	0.00	2/222	0/220
7	1.96	6.83	3/153	11/161
8	0.00	0.92	0/108	1/109
9	0.43	0.00	1/232	0/231
10	0.00	0.92	0/174	4/178