

***Analyse multi-temporelle de la végétation
de la réserve naturelle d'El Mergueb
(M'sila) par application des techniques
geomatiques***

Présenté par :

IOUALALEN Ghenima

Promoteur: M. SELLAMI Mahdi Professeur ENSA

2012-12-26

JURY : Président : M. BENZARA Abdelmadjid Professeur ENSA Examineurs : M. BICHE Mohamed
Maitre de conférences ENSA M. CHAKALI Gahdab Maitre de conférences ENSA

Table des matières

REMERCIEMENT ..	6
RESUME ..	7
SUMMARY ..	8
ص خ لم ..	9
INTRODUCTION ..	10
CHAPITRE I : CADRE PHYSIQUE ..	12
I.1. Aperçue historique ..	12
I.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE ..	13
I.3. CADRE JURIDIQUE DES TERRES DE LA RESERVE ..	15
I.4. GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE ..	16
I.5. PÉDOLOGIE ..	17
I.6. HYDROLOGIE ..	17
I.6.1. Les oueds ..	17
I.6.2. Les sources ..	17
I.7. CLIMAT ET BIOCLIMAT ..	19
I.7.1. Origine des données ..	19
I.7.2. Pluviométrie ..	19
I.7.3. Moyennes mensuelles et répartition saisonnière ..	20
I.7.4. Les températures ..	20
I.7.5. L'Humidité ..	21
I.7.6. Les vents ..	21
I.7.7. Gelée blanche ..	21
I.7.8. Synthèse climatique ..	21
Conclusion ..	24
I.8. BIODIVERSITÉS ET COMMUNAUTÉS BIOLOGIQUES ..	25
I.8.1. Les parcours ..	25
I.8.2. La flore ..	25
I.8.3. La faune ..	29
I.9. LES ACTIVITES ..	30
I.9.1. Le pastoralisme et l'élevage ..	31
I.9.2. L'AGRICULTURE ..	31
I.9.3. Activités forestières ..	32
I.9.4. Activités de recherche ..	32
CHAPITRE II : CONCEPTS ET PRINCIPES DE LA TELEDETECTION ..	34
II.1. DEFINITION ..	34
II.2. PRINCIPES PHYSIQUES DE LA TELEDETECTION ..	34
II.2.1. LE RAYONNEMENT ÉLECTROMAGNÉTIQUE ..	34
II.2.2. LES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES ..	34
II.2.3. LE SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE ..	35
II.3. SOURCE DE L'ÉNERGIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE ..	36

II.4. RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE ET TELEDETECTION ..	38
II.5. LES CAPTEURS ..	39
II.5.1. LES CAPTEURS ACTIFS ..	39
II.5.2. LES APPAREILS PHOTOGRAPHIQUES ..	40
II.5.3. LES RADIOMETRES IMAGEURS ..	40
II.6. NOTION DE RESOLUTION ..	40
II.7. NOTION D'ALBEDO ET REFLECTANCE ..	41
II.7.1. ALBEDO ..	41
II.7.2. REFLECTANCE SPECTRALE ..	41
II.8. CARACTERISTIQUES SPECTRALES DES PRINCIPAUX OBJETS ..	41
II.8.1. LA VEGETATION ..	41
II.8.2. L'EAU ..	41
II.8.3. LE SOL ..	42
II.9. INTERRACTION DU RAYONNEMENT AVEC LA MATIERE ..	42
II.9.1. INTERRACTION DU RAYONNEMENT AVEC L'ATMOSPHERE ..	42
II.9.2. INTERRACTION DU RAYONNEMENT AVEC COUVERT VEGETAL ..	43
II.10. PRODUIT DE TELEDETECTION : NUMERISATION ..	49
CHAPITRE III : METHODOLOGIE D'ANALYSE MULTI-TEMPORELLE ..	51
III.1. Données et MATERIELS ..	51
III.2. PRINCIPALES ÉTAPES ..	52
III.3. L'IMAGE NUMERIQUE ..	52
III.3.1. FICHER NUMERIQUE PAR BANDES ET IMAGES ..	53
III.4. TRAITEMENT ET EXPLOITATION DES DONNEES ..	54
III.4.1. PRETRAITEMENT DES DONNEES ..	55
III.4.2. REHAUSSEMENT D'IMAGES ..	55
III.4.3. TRANSFORMATION D'IMAGES ..	55
III.4.4. CLASSIFICATION ET ANALYSE D'IMAGES ..	55
III.5. Réalité terrain ..	57
III.6. Création d'indices de végétations ..	57
III.7. CHOIX D'UNE Technique de Détection des changements ..	58
III.8. Base de donnée et Système d'informations ..	60
III.8.1. Données de types graphiques ..	60
III.8.2. Données de type descriptives ..	60
III.9. Traitement et analyse ..	60
III.9.1. Traitement cartographique ..	60
III.9.2. Analyse spatio-temporelle ..	61
III.10. Évaluation des zones ..	61
CHAPITRE IV : RESULTAT ET DISCUSSION ..	63
Introduction ..	63
IV.1. L'occupation du sol durant les périodes 1987, 2000 et 2008 ..	63
IV.1.1. État actuel de l'occupation du sol (2008) ..	65
IV.1.2. Etat de l'occupation du sol en 2000 ..	66

IV.1.3. État de l'occupation du sol en 1987 . . .	66
IV.2. Classification en Indices de végétations . . .	72
IV.3. Détection des changements du couvert végétal . . .	74
IV.4. Analyse de la corrélation entre variables climatiques-végétation . . .	76
IV.5. Dynamique de la Végétation et analyse des changements . . .	78
IV.5.1. Analyse de la dynamique des formations végétales . . .	78
IV.5.2. Analyse des variations dans le territoire de la réserve . . .	79
IV.6. Évolution des unités écologiques . . .	86
IV.6.1. Évolution des formations steppiques à Alfa . . .	87
IV.6.2. Évolution des Formations à Artemisia . . .	90
IV.6.3. Évolution des Formations à Salsola vermiculata . . .	91
IV.6.4. Évolution des Formations à Pistacia atlantica . . .	93
IV.6.5. Évolution des Formation à Genévrier . . .	94
IV.6.6. Évolution des cultures . . .	95
IV.6.7. Évolution des Zones Désertifiées . . .	97
IV.7. Analyse de la biomasse et de la densité . . .	98
IV.8. TRAJECTOIRES DE CHANGEMENT . . .	99
IV.8.1. Matrice de transition des unités écologiques . . .	100
IV.9. Modélisation de la dynamique . . .	106
IV.9.1. Zones à Dynamique progressive . . .	106
IV.9.2. Zones à Dynamique régressive . . .	106
IV.9.3. Zone de Stabilité . . .	106
IV.10. Analyse de la dynamique de la structure spatiale . . .	107
IV.10.1. Calcul d'indice de structure spatiale . . .	108
IV.10.2. Nombre de taches . . .	108
IV.10.3. L'aire totale . . .	108
IV.10.4. L'aire moyenne . . .	108
IV.10.5. La dominance . . .	108
IV.10.6. La diversité . . .	109
IV.10.7. L'indice de forme . . .	109
IV.11. Dimension fractale des classes . . .	114
IV.12. Vulnérabilité aux variabilités climatiques et aux activités anthropiques . . .	119
IV.12.1. Zone à vulnérabilité extrême . . .	119
IV.12.2. Haute vulnérabilité . . .	120
IV.12.3. Vulnérabilité modérée . . .	120
IV.12.4. Zone peu vulnérable . . .	121
CONCLUSION GÉNÉRALE . . .	123
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES . . .	125
Annexes . . .	136

REMERCIEMENT

C'est avec un grand plaisir que j'exprime mes sincères reconnaissances à tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, ont contribué à ce présent mémoire.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrant **Pr. M.SELLAMI MAHDI** qui a bien voulu diriger ce travail et n'a cessé de m'orienter, je me permets aussi de lui exprimer mes sincères remerciements pour sa disponibilité ; ses conseils précieux qu'il m'a prodigué et pour son aide durant toute la période d'élaboration de ce travail

Qu'il me soit permis de témoigner ma profonde reconnaissance et ma très haute considération au président du jury **PR. BENZARA ABDELMADJID**, Pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant la présidence de notre jury de thèse.

Mes remerciements vont également aux maitres et juges de cette thèse **Dr BICHE MOHAMED**, et **Dr CHAKALI GAHDAB**, maitres de conférences à l'école nationale agronomique (ENSA).

Je tiens à remercier l'expert international en Géomatique ; **Dr. RAMAT GIULIANO**, (IAO tutor et Projet SGIAR à l'Institut de recherche agronomique) ainsi que le **Pr. BELHADJ AISSA**, expert en traitement d'images et rayonnements au laboratoire d'électronique de l'USTHB, qui m'ont apportés leurs aide précieuse.

Qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère reconnaissance et mon profond respect,

Je profite de cette occasion pour remercier **M. SAID** ainsi que toute, l'équipe de la DPGR, le centre documentaire et l'ensemble du staff de l'INA, le laboratoire de zoologie et le département d'écologie pour leur collaboration.

RESUME

La perte et la fragmentation des habitats sont responsables du déclin de très nombreuses espèces sauvages (Saunders *et al.* 1991; Fahrig 2003; Kupfer 2006). La réserve naturelle de Mergueb; située dans la wilaya de M'sila à environ 180 km au Sud d'Alger est un excellent « échantillon » représentatif. Elle constitue l'extrémité orientale des steppes algéro-oranaises,

L'analyse multi-temporelle de la dynamique de la végétation, entreprise par application des techniques géomatiques, au cours d'une période de vingt et un ans (21) à partir d'images Landsat TM 1987, ETM+ 2000 et 2008 ; détecte des changements au niveau du couvert végétal dans la région; et une forte corrélation entre l'évolution de biomasse et les paramètres climatiques grâce aux indices de végétation normalisés NDVI.

Les caractéristiques des formations indiqueraient un état du milieu déjà anthropisé, qui cependant a tendance vers l'atténuation des impacts au niveau du site. L'élaboration d'indices (structures, dimension fractal et évolution) et de matrices de transitions, nous a révélé trois processus qui se sont déroulés entre 1987 et 2008. Premièrement, la désertification matérialisée par l'augmentation de l'aire totale et la formation de nouvelles entités, ensuite la dégradation de la végétation des formations steppiques et surtout la régression des espèces arborées depuis 1987, et enfin une faible tendance d'évolution écologique vers un état climacique par un développement des formations arborées ; cas de l'augmentation de l'aire du *Juniperus* et la reprise des surfaces du pistachier à partir de la deuxième décennie en 2000.

Le site Mergueb a évolué ces dernières années, à un rythme assez rapide. On observe une potentialité de fragmentation et aussi une potentialité pour sa préservation et la conservation de la biodiversité.

Mots clé : Multi-Temporelle, Dynamique, Biomasse, Géomatiques, Habitats, Anthropique, Indices, Désertisées, Ndpi, Dimension Fractal, Biodiversité, Matrices De Transitions

SUMMARY

Multi-temporal analysis of the vegetation of the nature reserve of Mergueb (M'sila) by application of geomatics technologies

The loss and fragmentation of habitats is responsible for the decline of many wildlife species (Saunders et al. 1991; Fahrig 2003; Kupfer 2006). Mergueb Nature Reserve, is located in the wilaya of M'sila about 180 km south of Algiers, this is an excellent representative "sample". It forms the end of the Eastern steppes Oran-Algeria,

The multi-temporal analysis of vegetation dynamics, initiated by application of geomatics technologies, over a period of twenty-one (21) from Landsat TM 1987, ETM + 2000 and 2008 detects changes in vegetation cover in the region and a strong correlation between changes in biomass and climatic parameters through standardized vegetation index NDVI.

Formation characteristics indicate already state anthropic environment, however tends to mitigate impacts. The development of transition matrices and different indices (structures, fractal dimension and evolution), allow us to understand three processes that occurred between 1987 and 2008. First, desertification evidenced by the increase of the total area and the formation of new entities, then the degradation of the steppe vegetation formations and especially the regression of the tree species since 1987, and finally a weak trend of ecological evolution towards a statement by the development of tree formations climax; such as increasing area of Juniperus and the resumption of the surfaces of pistachio from the second decade in 2000.

Mergueb site has evolved in recent years, at a pace fast enough. There is still a potential for fragmentation and also a potential for biodiversity conservation

Keywords: Multi-Temporal, Biomass, Dynamics, geomatics, Habitats, Index, Desertisees, Fractal Dimension, Landsat Tm, biodiversity, Transition Matrix

ص خ لم

التحليل المتعدد الزمن لتنبات المحمية الطبيعية للترقب (المسئلة) من خلال تطبيق تكنولوجيات القياس.

إضاعة وتجزئة الموئل هو المسؤول عن تراجع العديد من فواخ لحيه لبرية (سوندرز وأخرون: 1991؛ غورف: 2003؛ كوبر: 2006). تقع المحمية الطبيعية للترقب، في ولاية المسيلة على بعد حوالي 180 كيلومترا من جنوب الجزائر العاصمة؛ فهاتشكل عينة التنباتميزا لطرف الشرقي للسهول الوهرية - الجزيرية. تحليل متعدد الزمنى لديناميكيات الغطاء النباتي التي تضطلع بها تطبيق تكنولوجيات القياس، على مدى واحد وعشرين سنة (21) من خراط لمواضيع لاندسات TM+ 2000 + ETM 2008؛ منحت بالكشف عن تغيرات في الغطاء النباتي في المنطقة و ظهرت قوة العلاقة بين التغيرات في كثافة الحبوبة والعلامات المناخية من خلال مؤشرات دليل الغطاء النباتي شامل الموحد (NDVI). خصائص التشكيلات تشير إلى وجود حالة فنروي البيئة بالفعل، على الرغم من الميل إلى تخفيف الآثار في الموقع وضع مؤشرات (الهايكل واليد الكسوري وكتور) والمصفوفات الانتقالية، عبرت عن حدوث ثلاث ظواهر وقعت بين عامي 1987 و 2008. أولا، التصحر وبتدل على ذلك زيادة في مساحة سطح وتشكيل كيات جديدة، ثم تدهور الغطاء النباتي لتشكيلات السوب وخصوصا لحدائق الأنواع الشجرية منذ عام 1987، ولخبر اضعف الانجاد نحو كتور البيئي بيان صادر عن كتور تشكيلات شجرة ذروتها؛ حالة زيادة مساحة لرعار واستثاف سطح السق من العقد الثاني في عام 2000. قد كتور نظام الإكولوجي لموقع للترقب في السنوات الأخيرة، بونيرة سريعة بما يكفي. إذ لا يزال هناك إمكانية لتجزئة وإضا إمكانية للحفاظ وحماية تنوعه البيولوجي .

كلمات البحث : متعدد الزمنية، كثافة الحبوبة ديناميكيات، القياس، الموئل، الأثر وبي، تصحر، اليد الكسوري، مؤشرات، لاندسات، بيولوجي، المصفوفات الانتقالية

INTRODUCTION

La perte et la fragmentation des habitats sont responsables du déclin de très nombreuses espèces sauvages (Saunders *et al.* 1991; Fahrig 2003; Kupfer 2006).

Différents Facteurs de dégradation se conjuguent pour créer un déséquilibre écologique, social et biologique. L'accroissement des processus anthropiques (pastoralisme et agriculture) constitue avec les variations climatiques les facteurs de dégradation des écosystèmes entraînant la disparition des communautés biologiques. Une rupture de l'équilibre déjà en cours, menace de conduire à la désertification. La tendance de l'assèchement climatique croissante observée sur les 30 dernières années passées a accéléré cette perturbation.

Dans la majorité des terres arides du Nord de l'Afrique, la désertification progresse plus vite. Les changements, suivis à long terme au moins d'un point de vue biologique et écologique, se sont révélés être imprévisibles et le plus souvent irréversibles.

La zone d'étude; Mergueb (wilaya de M'sila), un excellent « échantillon » représentatif des steppes d'Afrique du Nord; est l'une des régions qui a subi de sérieuses menaces, une dégradation de l'habitat et une perturbation par les activités humaines. Les espèces rares présentes risquent l'extinction. En l'absence de statut de protection bien déterminé, le site se trouve malencontreusement confronté à des problèmes de dégradation et de perte de ses ressources naturelles notamment par le braconnage, le défrichement et le surpâturage.

Dans ce contexte, la contribution de la présente étude est de faire une analyse de la dynamique, d'évaluer les changements intervenus dans l'état du couvert végétal, à fin de situer et de mesurer l'ampleur et l'intensité de la dégradation, une cartographie thématique met en évidence les transformations au cours d'une période de 21 années entre 1987 et 2008.

L'étude du changement temporel de la végétation et des communautés végétales a co-évolué" avec celle de leurs variations dans l'espace.

La télédétection a suscité un grand espoir pour l'amélioration de l'analyse et du suivi de la végétation grâce, d'une part à sa vision macroscopique de l'espace et d'autre part à la répétitivité de ses données permettant une analyse diachronique de la dynamique de son évolution.

L'utilisation de 3 images satellites LANDSAT (TM et ETM+) prises à un intervalle de 13 à 8 ans a permis d'apprécier les possibilités qu'offre le traitement d'image en vue d'une analyse temporelle ainsi que les limites de cet outil dans un milieu aussi complexe à plusieurs composantes : forêt, dunes, végétation.

La diffusion accélérée et l'augmentation de la puissance des ordinateurs contribuent de façon continue à promouvoir de nouvelles méthodes d'utilisation des données grâce aux technologies récentes des SIG, pouvant permettre de faire un bilan des changements, la dégradation ou de la régénération.

La télédétection facilite cette tâche en illustrant ces changements par des variations dans les valeurs radiométriques des pixels. Plusieurs méthodes de détection de changement ont été développées et utilisées avec succès dans ce domaine, la littérature

partage ces méthodes en 2 approches : la première regroupe les méthodes procédant par l'analyse simultanée des données multi-temporelles et la deuxième approche regroupe les méthodes effectuant une comparaison des classifications.

Des cartes d'occupation du sol au cours des différentes périodes, ont été dressées afin de tenter de définir les potentiels naturels passés et actuels de cette région, d'évaluer les modifications subis par la végétation naturelle dans le temps, du fait de l'instabilité des conditions naturelles et des interventions humaines et enfin d'analyser la dynamique et de déterminer l'impact des actions anthropiques.

La démarche suivie pour cette recherche est organisée comme suit :

Dans un premier chapitre nous présenterons la zone d'étude, un intérêt sera accordé à la biodiversité de la zone, aux facteurs naturels d'ordre climatiques et anthropiques.

Nous avons consacré un deuxième chapitre aux principes de la télédétection et son importance dans l'étude des milieux naturels.

Le troisième chapitre trace la méthodologie adoptée pour la réalisation de l'étude

Les résultats obtenus et l'interprétation, font l'objet de la quatrième et dernière partie laquelle présente les possibilités offertes par les techniques numériques et statistiques, pour l'analyse de la dynamique de la végétation à travers les différents changements spatiotemporelles induites.

CHAPITRE I : CADRE PHYSIQUE

I.1. Aperçue historique

L'Algérie a toujours plaidé en faveur d'actions concrètes qui contribuent à la reconstitution du patrimoine naturelle particulièrement les biocénoses. A l'échelon international la plupart des conventions des Nations Unies se rapportant à la préservation des ressources naturelles aux niveaux mondial ou régional sont ratifiées, notamment :

- en 1973 ; la convention pour la protection du patrimoine mondiale et culturelle par ordonnance 73-38 qui permet la création de sites Unesco du patrimoine mondiale et de réserve de biosphères ;
- en 1982 ; la convention de Ramsar relative aux zones humides d'importance internationale.

Parmi les aires protégées à travers le territoire national, le Parc National du Tassili, fut le premier créé depuis 1972 sur l'initiative du ministère de la culture, classé par l'Unesco en 1982, patrimoine mondiale de l'humanité.

La loi 83-03 du 05 février, premiers instruments juridiques pour la création de parcs nationaux, détermine la nécessité de conservation de la faune, la flore, le sol et le sous-sol et toutes les ressources naturelles contre les effets de dégradation. Les décrets n°83-458 et n°87-143 du 16 juin 1987; fixent respectivement les statuts types des parcs et leurs modalités de classement ;

Dans le cadre du développement durable, La loi 2003-10 du juillet relative à la protection de l'environnement présente 6 catégories d'aires protégées, ce sont les « réserves intégrales », « parcs nationaux », « monument naturels », « aires de gestion des habitats ou des espèces », « les paysages terrestres ou marins protégés », et enfin « aires protégées de ressources naturelles gérées ».

Les espaces et réseaux de zones protégés répondent aux normes internationales édictées par l'UICN et l'UNESCO (FOSA, Document national de prospective)

Aujourd'hui, 11 parcs nationaux sont classés par décrets ; 8 dans le nord (Djurdjura, Chrèa, Gouraya, Belezma, Taza, el kala, Theniet el haad et Tlemcen) et 3 dans le sud sous tutelle du ministère de la culture (Ahagar, le Tassili et Djebel Aissa)

Sur liste Ramsar 26 zones humides classés d'importance internationale. Des outils complémentaires de protection des milieux naturelles appelées « réserves naturelles » existent au nombre de 05, dont 01 classée (Iles Habibas) et 04 en cours :

- La réserve de la Macta (22 000 ha),
- La réserve des Babors (2 367 ha),
- La réserve des Béni Salah (2 000 ha)
- La réserve de Mergueb. (16 481 ha).

En tant qu'écosystème unique en son genre, ce dernier site « El Mergueb » , point culminant dont l'appellation fait référence au poste de guet qui servait au temps de l'époque

coloniale, avait fait l'objet d'étude sur l'amélioration pastorale (travaux de Kilian en 1961), l'idée d'ériger une aire de 4.500 ha de superficie en réserve de pâturage, remonte à 1950 .

De 1962 à 1974, Mergueb est géré par la circonscription des forêts de Sour El Ghozlane. En 1974, dépendant territorialement de la wilaya de M'sila, il est géré par l'Office National de Matériel Hydraulique (ONAMHYD) sur une superficie de 20.000 hectares comme « réserve nationale de chasse non classée ».

De 1982 à 1983, il est placé sous l'autorité du service des Forêts de la wilaya de M'sila, comme « réserve non classée ».

En vertu de l'arrêté de wilaya de M'sila n° 632 du 18/11/1987, le site est placé sous protection et soumis au régime général des Forêts. Le projet effectif de création de la réserve naturelle a été signé le 18 Avril 1988.

Selon la définition de l'UICN (union internationale de conservation de la nature). Une réserve naturelle intégrale; constitue une aire protégée destinée principalement à la recherche, dans laquelle aucune intervention humaine n'est permise, hormis celle de mise en place de dispositifs expérimentaux sur le terrain dont l'impact induit doit être le plus faible possible.

Actuellement le site est en cours de classement, une catégorisation soit « en parcs » ou bien en « aire de gestion des habitats et des espèces » sera déterminée grâce à une description, une analyse de viabilité et la formulation des objectifs. (PNUD, 2005).

I.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

La réserve naturelle de Mergueb est située dans la wilaya de M'sila à environ 180 km au Sud d'Alger et à 55 km au Nord de Bou-Saâda.

El Mergueb appartient à l'ensemble des Hautes plaines steppiques qui s'étendent entre l'Atlas tellien au Nord et l'Atlas saharien au Sud. Constituant l'extrémité orientale des steppes algéro-oranaises, elle fait partie de la plaine du Hodhna.

D'une superficie de 16.481 ha, Le site de la réserve, est facilement accessible par route (RN n° 40, M'sila-Alger et RN n° 8 (Bousaada-Alger). Le territoire de la réserve chevauche sur 3 communes suivant plan administratif (fig1) :

- Sidi Hadjres au Nord
- Sidi Ameer et à l'Est
- Aïn el Hadjel à l'Ouest

Les coordonnées géographiques de la réserve sont définies comme suit:

35 ° 40' Nord – 3° 54 ' Ouest

35 ° 28' Sud – 4° 7 'Est

La réserve est ainsi délimitée au Nord, par la RN 40 qui longe l'Oued Laham ; celui-ci se déverse dans la dépression du Chott El-Hodhna, À l'Est par diverses dépressions, notamment la daya et la zone d'épandage des eaux de Oued El-Guersa, Au Sud et l'Ouest par une série de reliefs (Djebel Hachlef 707m).

Analyse multi-temporelle de la végétation de la réserve naturelle d'El Mergueb (M'sila) par application des techniques geomatiques

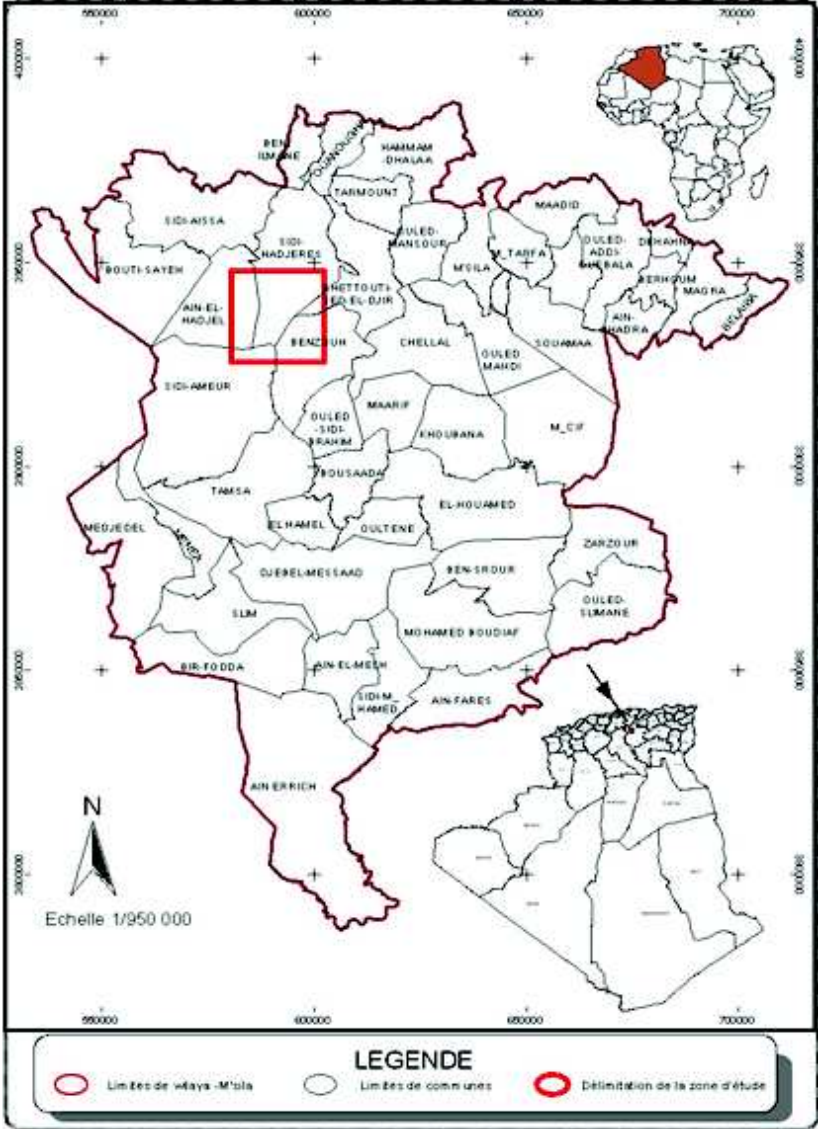


Fig.1. Carte de situation géographique de la réserve naturelle de Mergueb –M'sila

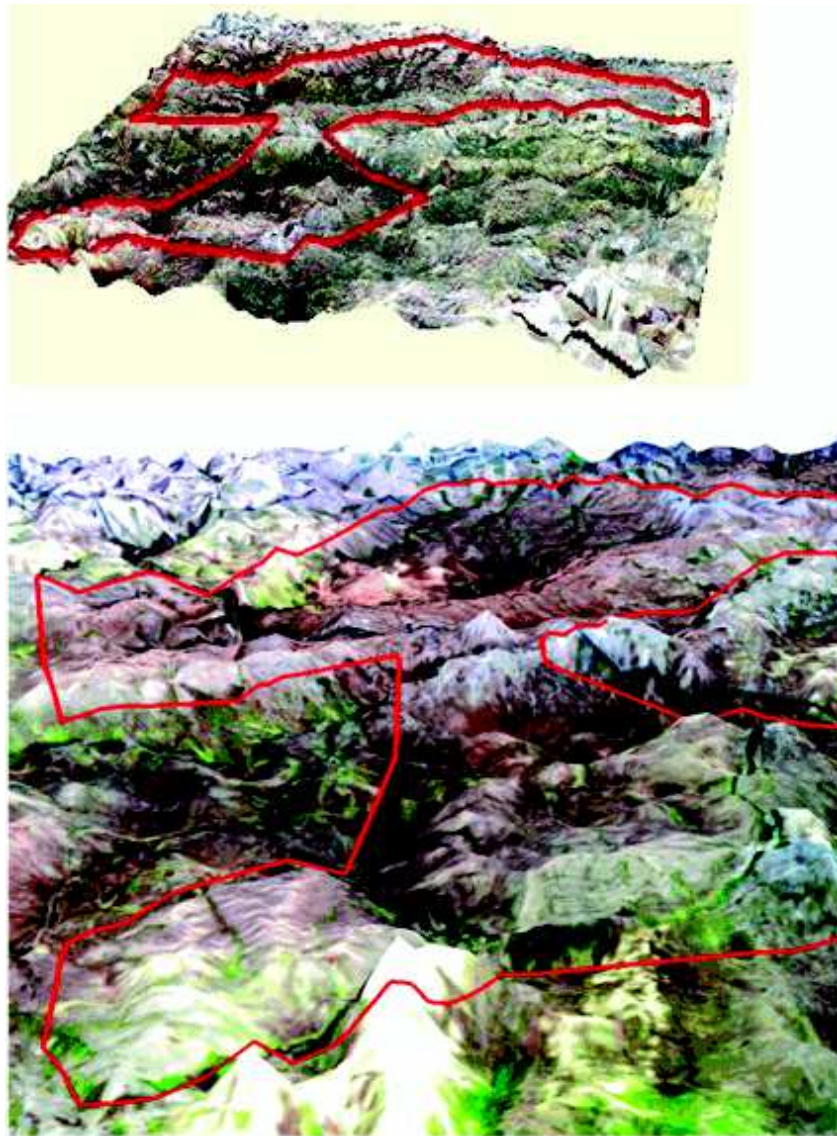


Fig.2. Représentation des limites de la réserve naturelle d'El Mergueb en surface 3D simulation du model numérique de terrain (exagération du DEM du relief)

I.3. CADRE JURIDIQUE DES TERRES DE LA RESERVE

En prenant en compte la nature juridique des terrains constitutifs de la réserve, le découpage suivant peut être établi : (tableau1, d'après la conservation des forêts de M'sila, 2005)

Communes	Section cadastrale	Propriété des terres	Superficie
Sidi Hadjres	Groupe N22	Collectif	367 ha 50 ares
	Groupe N23		44 ha 26 ares 67 ca
	Groupe N24		339 ha 50 ares
	N°2 Lot A	Domaniale	2170 ha 90 ares
	N°2 Lot B		11 ha 10 ares
	N°2 Lot C		7193 ha 75 ares
		N°6	Communale
Ain Lahdjel	Groupe N°1	Domaniale	351 ha 36 ares
	Groupe N°7	Communale	510 ha 62 ares
	Groupe N°17	Collectif	521 ha 67 ares
Sidi Ameer	N°6C	Domaniale	993 ha 32 ares
	N°27C	Collectif	193 ha 32 ares
TOTAL			16481 ha 42 ares 67 ca

Tab.1. Nature juridique des terres de la réserve naturelle de Mergueb

I.4. GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE

Dénomination du relief	Altitude /identification	localisation	Géologie
Les « djebels	Colline de 725 m	Oum el mrazem	alternance de marnes argileuses et de niveaux calcaires dures relevant du Cénomani en.
« kefs »	707 m	Drabine	
dalaat	576 m	djebel Zbara,	
« draas » et les « Chebka »	glacis plus ou moins ravinés de surface plane.	substratum principal des parcours	dépôts alluviaux du Quaternaire
« dayas »	zones de concentration des eaux de ruissellement, dépressions	daïet Sidi Hadjres et daïet El-Oussra	sol relativement profond, à texture limono-argileuse
Feidh	zones d'épandages des eaux et de débordement des oueds,	Faidh el Gharnoug	dépôt de matériaux à texture grossière à moyenne important
- Les nebkas			accumulation de sable quartzeux souvent riche en matériau argileux

Tab.2. Géologie et géomorphologie (source : conservation des forêts de M'sila, 2005)

a réserve d'El Mergueb appartient à l'ensemble structural des Hautes plaines steppiques, constitué par d'épais dépôts alluvionnaires plus ou moins horizontaux accumulés sur le socle primaire.

Les sols déposés en couches horizontales appartiennent d'un point de vue géologique au Miocène plus au moins gypseux, ils sont couverts localement par des bancs calcaires du

pliocène lacustre. Également horizontaux, ces assises sont relayées de part et d'autre par des couches du quaternaire constituées par des alluvions et des graviers roulés. Quant aux dépôts

plus anciens appartenant au grès du crétacé, ils apparaissent bien plus au Sud dans les affleurements de l'Atlas Saharien (Killian, 1961).

Le relief de la réserve est peu accentué, l'altitude relative n'excède pas quelques centaines de mètres. C'est une plaine de moyenne altitude qui oscille entre 550 et 800 m, le point le plus élevé se situe à 805 m et le plus bas à 553 m et dont la pente moyenne varie entre 3 à 20 %. C'est également une enclave désertique dans les hauts plateaux présentant un relief vallonné,

D'après les principaux aspects géomorphologiques (collines et dayas), des unités structurales suivantes peuvent être distinguées (tableau 2):

I.5. PÉDOLOGIE

Les sols (fig.3.) sont peu évolués iso-humiques appartenant à la série calcique, ils sont pauvres en sels solubles et particulièrement en chlorures, leurs complexes sont saturés par l'ion Ca⁺⁺ qui provient de la roche calcaire sous-jacente en se désagréant et en se fissurant facilement ; tout cela constitue un substratum imperméable supportant un dépôt calcaire meuble généralement de faible épaisseur (Killian, 1961). Ces sols steppiques sont pauvres en matière organique 0.1 à 1%. D'après les résultats d'analyse de sol faite par Pouget en 1977 à djebel Mergueb 697 m, le calcaire affleure en grosse dalle sur presque 80-90% de la surface.

I.6. HYDROLOGIE

Le réseau hydrologique est de type endoréique constitué principalement de ruisseaux fortement influencé par des variations saisonnières et interannuelles de la pluviométrie et du relief. Les ressources hydriques sont faibles, peu renouvelables et inégalement réparties.

Les eaux superficielles appartiennent à un ensemble hydrologique constitué d'oueds et de sources (Fig.4.)

I.6.1. Les oueds

Le territoire de la réserve est drainé par plusieurs oueds qui correspondent à des cours d'eau temporaires se déversant dans des dépressions prenant souvent l'allure de vastes plaines.

Ce réseau s'assèchent généralement pendant la période estivale avec toutefois des crues pendant l'hiver (Oueds El Guersa et El Rekab) et dont le lit caillouteux et encaissé correspond habituellement au substrat rocheux.

I.6.2. Les sources

Analyse multi-temporelle de la végétation de la réserve naturelle d'El Mergueb (M'sila) par application des techniques geomatiques

Les potentialités en eau sont localisées dans la partie Ouest, la source de Aïn El Guersa, qui a été aménagée en 1999 par le Haut-Commissariat à la Steppe (HCDS), avec un débit de 10l litres par seconde, cette unique source permanente a une eau salée. Mergueb renferme également 2 digues, une en argile et l'autre en Béton et 2 jobs, ou trous dans les rochers, localisés dans le versant Nord d'Oum El M'razem qui retiennent l'eau assez longtemps.

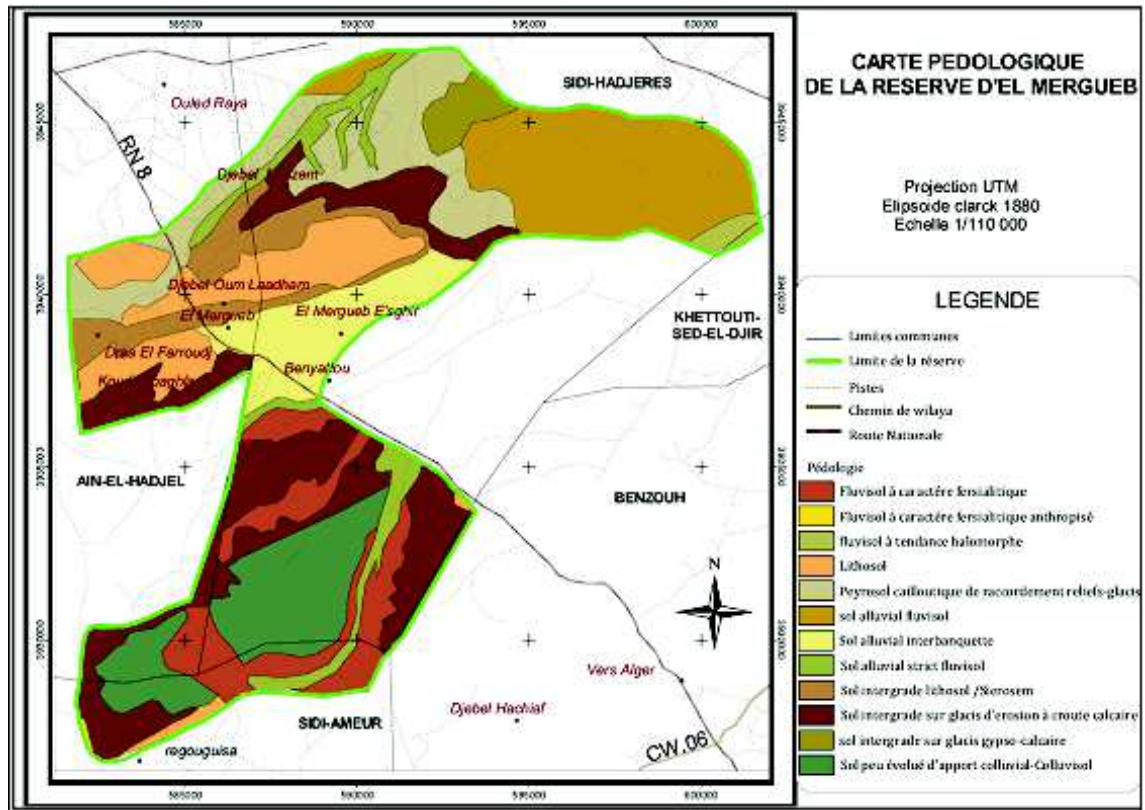


Fig.3. Carte pédologique de la réserve naturelle de Mergueb –M'sila

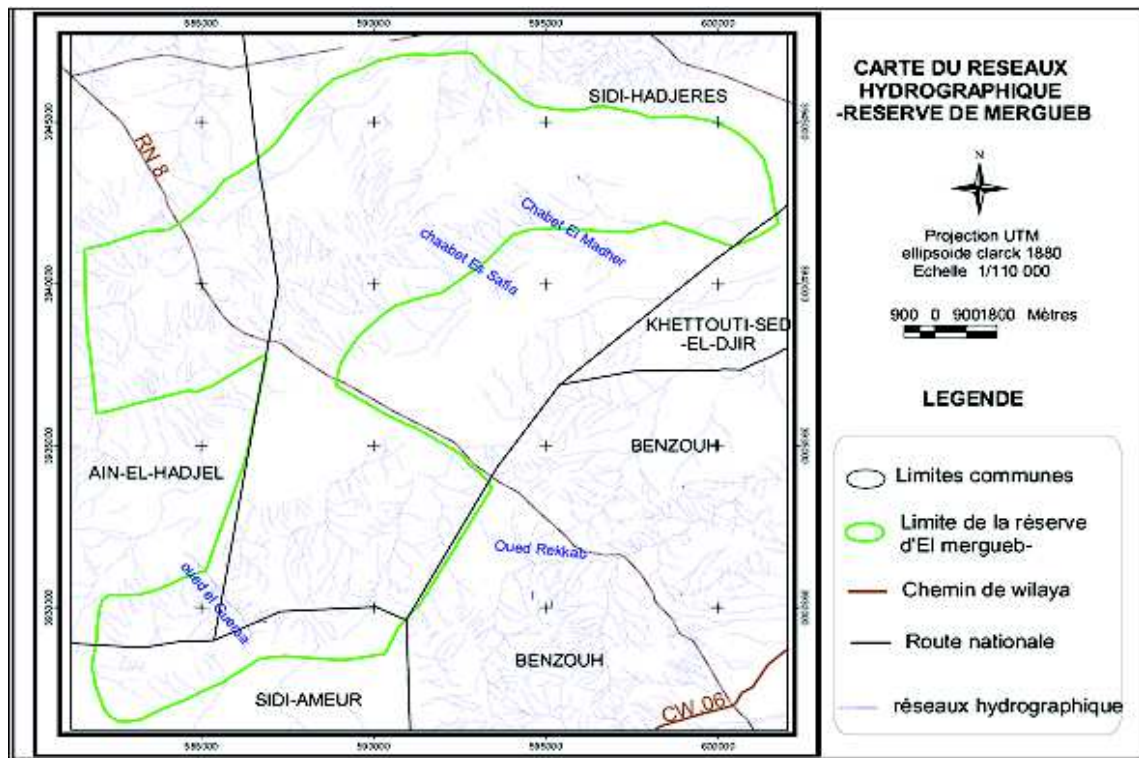


Fig.4. carte hydrographique de la réserve de Mergueb

I.7. CLIMAT ET BIOCLIMAT

Le climat est l'un des facteurs essentiels qui intervient sur le développement et la répartition spatiotemporelle de la végétation.

La région de Mergueb se trouve dans la zone bioclimatique semi-aride à hiver chaud (Emberger, 1955). D'après Killian 1961 (in SELLAMI, 1999), la région du Mergueb est caractérisée par un climat typiquement steppique, moyen entre celui de Sidi Aïssa au Nord et celui de Boussaâda, beaucoup plus désertique.

I.7.1. Origine des données

Le territoire de la réserve est dépourvu de stations météorologiques les travaux de SELTZER (1946) pour la période de 1913 à 1938, de CHAUMONT et PAQUIN (1971), de LUCIDO (1972) complétées par des données récentes issues des services météorologiques d'une station de référence (M'Sila.) ont permis de caractériser le climat.

I.7.2. Pluviométrie

La précipitation moyenne annuelle du site de Mergueb est estimée à environ 262mm. Cette valeur est calculée sur la base de l'établissement d'une carte des isohyètes de tout le bassin versant. Par contre la valeur moyenne arithmétique donnée par les stations de Sidi Aïssa et de Aïn El Hadjel est de l'ordre de 254 mm (Kaabeche, 2005).

La courbe des précipitations (fig.5.) montre une diminution importante des précipitations enregistrées pour l'année 2000 par rapport à l'année 1987 ainsi que l'année 2008 par rapport à celles enregistrées en 2000.

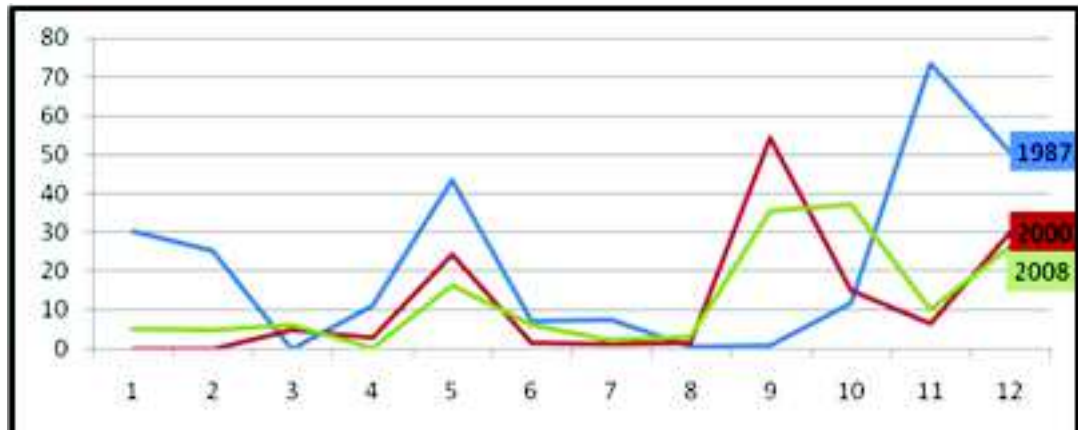


Fig.5. Les précipitations mensuelles de l'année 1987, 2000 and 2008 (station de M'sila)

I.7.3. Moyennes mensuelles et répartition saisonnière

La répartition mensuelle des précipitations dans la zone d'El Mergueb, tout en mettant en évidence le caractère irrégulier de la pluviosité, conduit à y reconnaître une période pluvieuse s'étalant de septembre à mai, avec un maximum en hiver et une période sèche estivale correspondant au minimum pluviométrique. Une telle répartition saisonnière est caractéristique du climat méditerranéen, celui-ci étant plus ou moins atténué par l'influence saharienne qui règne dans le Bassin du Hodhna.

Les maxima sont observés en mai et au cours de la période octobre – décembre. Les minima s'observent en juillet - août. Les valeurs des écarts traduisent une nouvelle fois le caractère très contrasté du régime des pluies.

I.7.4. Les températures

La température moyenne est de 16,6°C,

Les mois de juillet et Août correspondent au mois les plus chauds ($30^{\circ}\text{C} < M < 37,9^{\circ}\text{C}$).

Décembre, Janvier et Février sont les mois les plus froids ($- 0,6 < m < 7$).

Il y a lieu de remarquer que les plus fortes chaleurs coïncident avec les précipitations les plus faibles (mois de juillet et août) et que la période pluvieuse coïncide avec les températures minimales les plus basses (tableau 3).

Tab.3. Les températures mensuelles de l'année 1987, 2000, 2008

année/T°	Jan	Fév.	Mar	Av.	Mai	Jun	Juil.	Aug	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
1987	6,4	9,3	13,1	18,8	20,7	27,4	30,8	31,8	28	21,6	12,3	10,8
2000	6	10,4	14,8	18	25	28	32,4	31	26,2	18,5	13,8	10,1
2008	9	11,6	13,5	18,4	22,6	27,5	32,6	31,8	25,6	18,6	11,5	7,4

I.7.5. L'Humidité

L'humidité relative varie beaucoup au cours de la journée, et au cours de l'année, elle est plus élevée en Décembre- Janvier et très basse en juillet-Aout, en moyenne elle varie de 60 à 65% par an (station de sidi Aissa, nord de la réserve).

I.7.6. Les vents

Les vents dominants (hors saison estivale) sont ceux de l'Ouest et du Nord-Ouest et sont considérés comme des vents très forts, ils atteignent leurs maxima en mois d'Avril et en septembre. Les vents du sud (sirocco) se manifestent durant les mois de juillet et Aout et durent entre 16 à 18 jours.

I.7.7. Gelée blanche

C'est cependant les mois de Décembre- Janvier et Février que l'on observe la gelée blanche au niveau de la région de Mergueb (de 20 à 25 jours/ans).

I.7.8. Synthèse climatique

I.7.8.1. Saison sèche

La saison sèche, joue un rôle capital dans la distribution de la végétation, notamment par sa durée et son intensité.

BAGNOULS et GAUSSEN (1953) définissent un mois biologiquement sec comme étant le mois où le total des précipitations « P » exprimés en mm est inférieur ou égal au double des températures moyenne « T » exprimé en degré Celsius : $P \leq 2T$

Le diagramme ombrothermique est établis à partir de cette formule traduit la durée de la saison sèche d'après les intersections des deux courbes. Pour la zone de Mergueb, la saison sèche s'étale, de manière plus ou moins intense, sur plus de 9 mois.

En comparant les 3 diagrammes (fig.6.), Nous constatons qu'il y'a une différence significative entre les diagrammes des années 1987, 2000 et 2008, la saison sèche tend vers un prolongement ces dernières années.

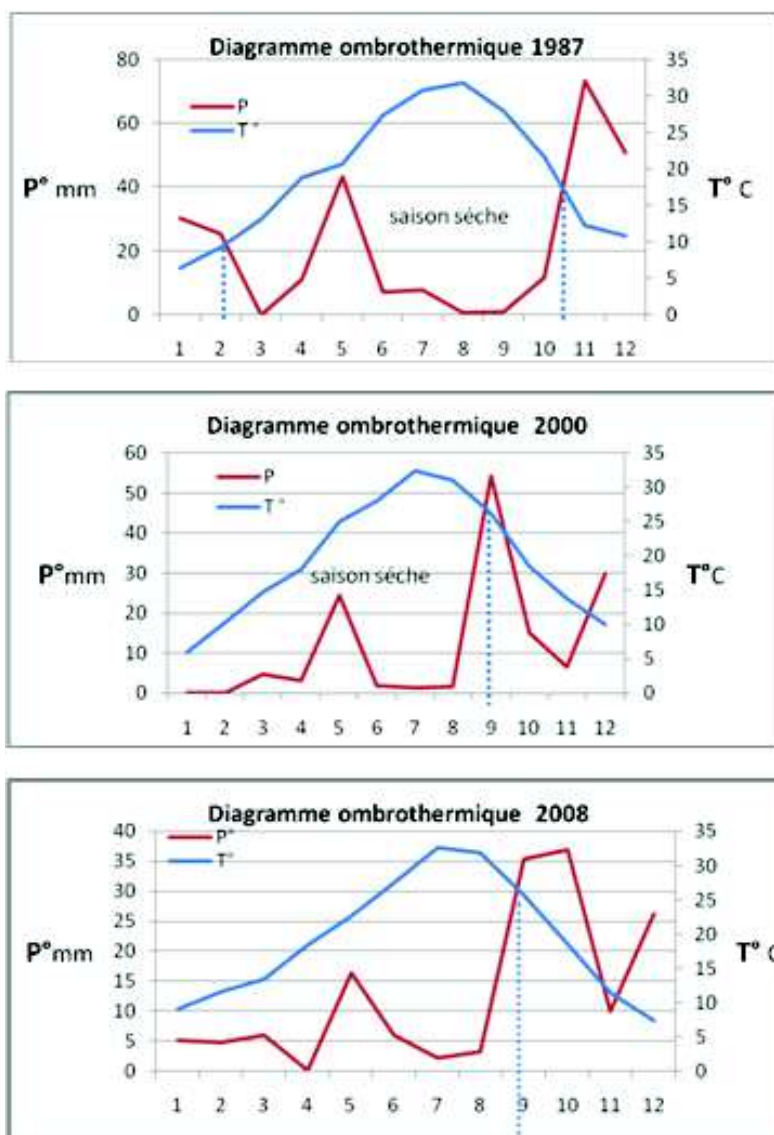


Fig.6. Diagramme Ombrothermique pour 1987,2000 et 2008

I.7.8.2. Quotient pluviothermique

Le quotient pluviothermique (Q2) d'EMBERGER (1955) correspond à une expression synthétique du climat méditerranéen tenant compte de la moyenne annuelle des précipitations (P en mm) et, pour les températures, d'une part de la « moyenne des minimums du mois le plus froid » (m), d'autre part de la "moyenne des maximums du mois le plus chaud" (M). Ces deux valeurs thermiques extrêmes, (m et M), permettent d'évaluer la « température moyenne », $(M + m)/2$, et « l'amplitude thermique extrême moyenne" $(M - m)$; cette dernière,

traduisant la continentalité d'une station, intégrerait approximativement l'évapotranspiration ; variable climatique difficilement quantifiable sur le terrain.

$$Q2 = 1000P / (M - m) (M - m) / 2$$

Ce quotient ne tenant pas compte de la valeur absolue de m, variable discriminante du développement des végétaux puisqu'elle conditionne la durée et le degré de la période des

gelées, EMBERGER (1971) propose, alors l'établissement d'un "climagramme" comportant m

en abscisse et Q2 en ordonnée. Dans un deuxième temps, celui-ci est subdivisé en zones correspondant à divers étages bioclimatiques méditerranéens selon un gradient d'aridité.

Cependant, à la suite des travaux englobant l'ensemble du territoire relatif aux hautes plaines steppiques d'Algérie (LE HOUEROU, CLAUDIN et POUGET, 1977), les limites des étages bioclimatiques sont établies en fonction de la pluviosité moyenne annuelle (P mm) alors que les valeurs de m déterminent des variantes thermiques. Compte tenu des valeurs de P et de m, le territoire relatif à la réserve d'El Mergueb s'avère englober l'étage bioclimatique aride et les sous-étages (Tab.4.).

Étages bioclimatiques	P. mm	Variante thermique	m (en degrés centigrades)
Aride		Hivers frais	1 à 3
- Moyen	300 à 200		
- Inférieur	200 à 100	Hivers tempérés	3 à 5
Saharien	< 100		

Tab.4. Subdivisions bioclimatiques de la réserve

1.7.8.3. Évapotranspiration

L'évapotranspiration englobe la totalité de la consommation d'eau par la plante, elle est fonction de l'ensemble des facteurs climatiques ; ce sont des indicateurs de développement de la végétation.

L'ETR intègre les données climatiques et les facteurs du complexe sol-végétation.

Selon la formule de Thornthwait pour les régions arides et semi-arides les valeurs annuelles respectives de l'ETP et ETR sont de 870mm et 334,6mm, ce qui représente le triple des précipitations. Elle montre que les exigences des végétaux en eau pour une croissance normale sont impossibles à satisfaire (PNUD, 2005)

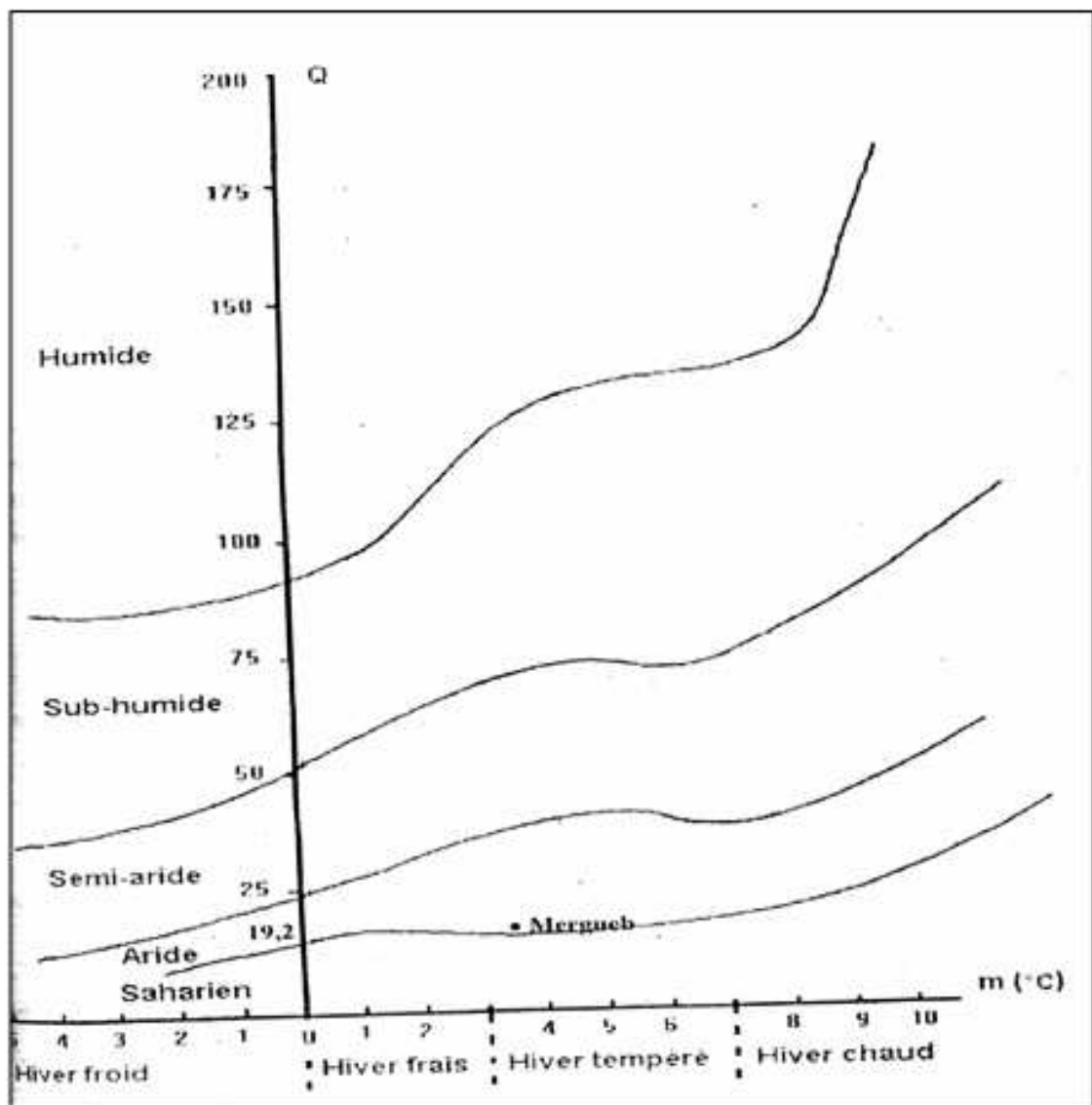


Fig.7. Bioclimat de la zone d'étude - réserve naturelle d'El Mergueb–Msila

Conclusion

La réserve d'El-Mergueb constitue, sur le plan climatique, un exemple de transition du climat typiquement méditerranéen vers un climat de type saharien. L'aridité croissante se traduit par un bilan hydrique déficitaire sur une longue partie de l'année et par conséquent d'une réduction de l'activité photosynthétique des végétaux aussi de la production primaire des végétaux. L'activité des végétaux étant ralentie durant la période pluvieuse (hiver), de ce fait l'efficacité des précipitations hivernales sur la productivité des parcours est amoindrie.

L'aridité de la région (Fig.7.)est accentuée par l'extrême irrégularité de la répartition des pluies au cours de l'année. La nature orageuse des pluies constitue l'autre facteur explicatif de la sévérité du régime pluviométrique ; Il se traduit par une dominance du ruissellement. Les configurations topographiques des bas fond permettent cependant la rétention d'une grande partie des eaux de pluies, dans les secteurs où la carapace calcaire des sols est continue, les horizons profonds du sol ne bénéficient cependant d'aucun apport.

I.8. BIODIVERSITÉS ET COMMUNAUTÉS BIOLOGIQUES

Présentant un écosystème steppique unique en son genre. La réserve naturelle d'El Mergueb recèle des biotopes dont aucun n'existe à l'échelle du Maghreb, des habitats de qualité et de valeur « biologique » indéniable; privilégié de nombreuses espèces protégées à l'échelle du globe. De véritables bijoux de la biodiversité sont répertoriés (gazelle de cuvier, l'outarde houbara et le fennec). Ce qui lui confère une dimension internationale.

Par sa diversité végétale steppique, cette zone recèle d'importantes potentialités en matière de plantes médicinales et aromatiques, plus de 70 espèces végétales (cf. liste en annexe) décrites sont connues par leurs usages empiriques par les riverains en médecine traditionnelle.

I.8.1. Les parcours

Au sein de la réserve, les communautés végétales steppiques constituent le type de végétation dominant qui servent de support à un élevage de type semi-extensif à extensif, tandis que les activités agricoles tendent à se cantonner aux sites à bilan hydrique favorable.

D'après Kaabache 1990, (in Kaabache 2005), il est possible de répartir les parcours steppiques de la réserve en 2 grandes catégories :

- parcours à déterminisme climatique liés soit à l'étage bioclimatique méditerranéen aride :
 - parcours à alfa (*stipa tenacissima*),
 - parcours à armoise (*artemisia herba alba* et *artemisia campestris*,
 - parcours à sparte (*lygeum spartum*)

Soit à l'étage bioclimatique méditerranéen saharien : parcours à Remth (*Arthrophytum scparium*)

- parcours à déterminisme édaphique lié à un gradient d'ordre textural : parcours psamophyles caractérisés par une texture grossière).

Il existe au sein de la réserve un certain nombre d'habitats qui occupent des superficies relativement restreintes et qui sont représentées par divers communautés soit rupicoles associées aux oueds, soit messicoles associées aux cultures, et aux friches et enfin les communautés rudérales représentées par une végétation à caractère nitrophile et thermophile, développées sur les reposoirs des troupeaux et sur les bordures de chemins

I.8.2. La flore

L'exploration floristique de la région a été entreprise depuis plus d'un siècle ; REBOUD (1867) citait 349 espèces à propos des communautés steppiques du Chott El-El Hodhna. Récemment, 550 taxons de spermaphytes ont été recensés (KAABECHE, 1990 et 1995) aussi bien dans les communautés steppiques que dans les communautés forestières et pré-forestières limitrophes des terres de la réserve.

La diversité biologique (floristique) au sein de la réserve représente 19,1 % de celle de l'ensemble des parcours steppiques d'Algérie, du Maroc et de Tunisie (Kaabache, 2005)

1.8.2.1. Composition systématique

Selon les travaux plus récents (KAABECHE, 1996b, 1998), l'inventaire des ressources végétales de la réserve a permis de recenser 211 taxons de spermatophytes de rang d'espèces qui appartiennent aux 38 familles botaniques suivantes :

Anacardiaceae, Apiaceae, Asclepiadaceae, Asteraceae, Boraginaceae, Brassicaceae, Cappariaceae, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Cistaceae, Convolvulaceae, Cupressaceae, Dipsacaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Fumariaceae, Geraniaceae, Iridaceae, *Lamiaceae*, *Liliaceae*, *Malvaceae*, *Papaveraceae*, *Pinaceae*, *Plantaginaceae*, *Plumbaginaceae*, *Poaceae*, *Polygonaceae*, *Primulaceae*, *Ranunculaceae*, *Resedaceae*, *Rhamnaceae*, *Rubiaceae*, *Scrofulariaceae*, *Thymelaeaceae*, *Valerianaceae* et *Zygophyllaceae*. Rapportées aux 123 familles botaniques de l'ensemble de la flore de l'Algérie, la réserve renferme près de 31 % de ces familles. D'après Kaabache, (2005), l'examen de la répartition des 211 espèces sur l'ensemble des 38 familles autorise à faire les observations suivantes :

- Les familles les plus représentatives en nombre d'espèces sont les suivantes :

Apiaceae (10 espèces), *Asteraceae* (30 espèces), *Brassicaceae* (24 espèces), *Fabaceae* (16 espèces), *Poaceae* (33 espèces). A elles seules, ces 5 familles représentent 113 espèces soit 53 % de la richesse floristique de la réserve.

1.8.2.2. Éléments phytochoriques du territoire de la réserve

L'analyse floristique de la réserve fait ressortir les observations suivantes : si la composition floristique est très diversifiée, l'élément phytochorique avec 67,7 % est représentatif d'une grande affinité méditerranéenne de la flore de la réserve ((tableau 5, Kaabache, 2005).

La flore d'affinité saharienne avec 12,3 % d'élément saharo-arabique, est faiblement représentée par contre l'élément représentatif des 2 régions (liaison saharo-arabique et méditerranéen) avec 7,5 % reste quand même significatif. Signalons que les deux éléments saharo-arabique et méditerranéens sont représentatifs de l'Empire Holarctis.

Dominée par l'élément méditerranéen, cette analyse précise la relation d'ordre phytochorique des parcours de la réserve avec les parcours steppiques Algéro-oranais dont elle constitue le maillon oriental et de ce fait le site de la réserve constitue un excellent « échantillon » représentatif des steppes d'Afrique du Nord.

Du point de vue phytogéographique, le territoire de la réserve est localisé, selon ces subdivisions, à la frontière de deux régions: la région Méditerranéenne et la région Saharoarabique. Cependant, selon l'analyse phytochorique le site de la réserve se caractérise plus par son affinité biologique méditerranéenne que saharienne. De ce point de vue, la réserve dépend des subdivisions suivantes :

- du domaine maghrébin-steppique à flore essentiellement méditerranéenne dans sa partie septentrionale.
- du domaine saharo-méditerranéen à flore saharo-arabique ou de liaison saharo-méditerranéenne dans sa partie méridionale et orientale. Ce domaine se caractérise par une flore

dominée par l'élément saharo-arabique et une végétation à caractère steppique à structure simplifiée, devenant monostate et très ouverte.

Élément phytochorique	Effectif	%
Méditerranéen	143	67.7
Élément saharien	26	12.3
Élément de liaison saharo-méditerranéenne	16	07.5
Élément eurasiatique	11	05.2
Élément plurirégional (Paléo-tempéré. Cosmopolite. Circumboréal)	15	07.1

Tab. 5. Analyse des éléments phytochoriques des parcours de la réserve

I.8.2.3. Endémisme

Le site de la réserve se caractérise par un ensemble de taxons endémiques représentatifs tant de l'élément méditerranéen (18 endémiques à affinité méditerranéenne) que de l'élément saharo-arabique (12 endémiques à affinité saharienne).

Les familles représentées par ces endémiques, comptent parmi les plus représentatives de la flore d'Algérie (Tab6 et7) Kaabache, 2005)

<i>Pistacia atlantica</i>	<i>Anacardiaceae</i>	End.-AFN.
<i>Pituranthos scoparius</i>	<i>Apiaceae</i>	End. AFN
<i>Centaurea omphalotricha</i>	<i>Asteraceae</i>	End.-Alg.-Tun.
<i>Centaurea parviflora</i>	<i>Asteraceae</i>	End.-Alg.-Tun.
<i>Alyssum scutigerum</i>	<i>Brassicaceae</i>	End.-AFN
<i>Didesmus bipinnatus</i>	<i>Brassicaceae</i>	End.-AFN
<i>Enarthrocarpus clavatus</i>	<i>Brassicaceae</i>	End.-AFN
<i>Lonchophora capiomontiana</i>	<i>Brassicaceae</i>	End.-AFN
<i>Muricaria prostrata</i>	<i>Brassicaceae</i>	End.-AFN
<i>Psychine stylosa</i>	<i>Brassicaceae</i>	End.-AFN
<i>Silene arenarioides</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	End.-Alg.
<i>Helianthemum pilosum</i>	<i>Cistaceae</i>	End.-Alg. Maroc
<i>Ebenus pinnata</i>	<i>Fabaceae</i>	End.-AFN
<i>Trigonella polycerata</i>	<i>Fabaceae</i>	End.-Ibéro-Maur.
<i>Thymus hirtus</i>	<i>Lamiaceae</i>	End.-Ibéro-Maur.
<i>Hypocoum geslini</i>	<i>Papaveraceae</i>	End.-AFN
<i>Stipa tenacissima</i>	<i>Poaceae</i>	End.-Ibéro-Maur.
<i>Thymelea microphylla</i>	<i>Thymelaeaceae</i>	End.-AFN

Tab.6. Les espèces endémiques d'affinité méditerranéenne présente dans la réserve.

Taxon	Famille
<i>Anvillea radiata</i>	<i>Asteraceae</i>
<i>Atractylis serratuloides</i>	<i>Asteraceae</i>
<i>Matricaria pubescens</i>	<i>Asteraceae</i>
<i>Scorzonera undulata</i>	<i>Asteraceae</i>
<i>Echium trygorrhizum</i>	<i>Borraginaceae</i>
<i>Herniaria mauritanica</i>	<i>Caryophyllaceae</i>
<i>Bassia muricata</i>	<i>Chenopodiaceae</i>
<i>Scabiosa arenaria</i>	<i>Dipsaceae</i>
<i>Euphorbia guyoniana</i>	<i>Euphorbiaceae</i>
<i>Danthonia forskalii</i>	<i>Poaceae</i>
<i>Linaria laxiflora</i>	<i>Scrofulariaceae</i>
<i>Scrofularia saharae</i>	<i>Scrofulariaceae</i>

Tab.7. Les espèces endémiques d'affinité saharienne présente dans la réserve.

I.8.2.4. Les formes biologiques

Les « formes biologiques » (ou types biologiques) constituent un élément de référence qui interviennent dans la définition et la typologie des parcours. Depuis le premier système de classification, purement descriptif, basé sur l'observation de la capacité d'une plante à fleurir et fructifier une ou plusieurs années successives, la plupart des auteurs ont tenté d'intégrer les variables écologiques dans les systèmes de classifications proposés.

Toutefois, la classification la plus utilisée, celle de RAUNKIAER (1918) de nature « morphologique » prend en compte la position, par rapport au sol, des bourgeons de « rénovation » du végétal et permet de reconnaître, en ce qui concerne les « végétaux vasculaires », les 5 principaux types biologiques suivants : Phanérophyte, Chaméphyte, Hémicryptophyte, Cryptophyte et Thérophyte. Selon la participation de chaque type biologique à l'ensemble de la flore de la réserve, le spectre biologique dressé est le suivant (Fig.8.):

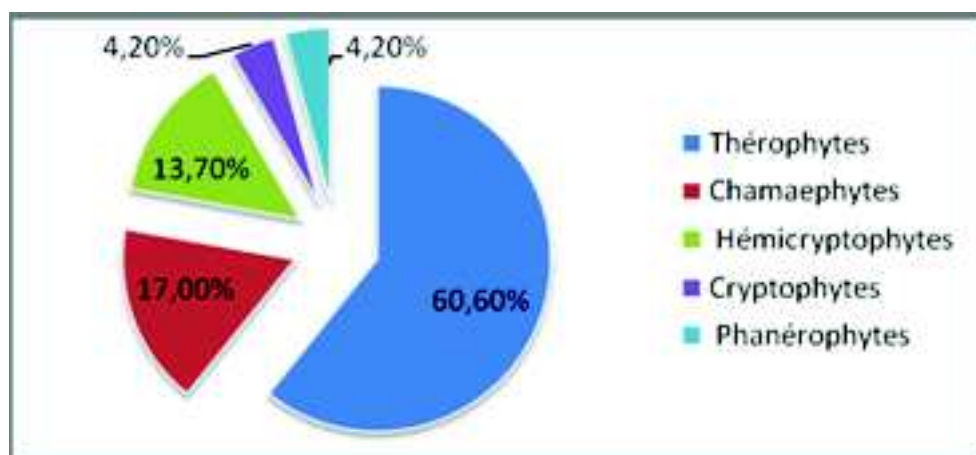


Fig.8. Les formes biologiques

Ainsi, au niveau des parcours de la réserve, les thérophytes, qui représentent l'expression actuelle de l'adaptation des végétaux au milieu aride, apparaissent nettement majoritaires soit 75 % de la ressource pastorale.

I.8.3. La faune

La faune a fait l'objet de travaux de nombreux auteurs, notamment les travaux réalisés par SELLAMI et al. (1989), BOUREDJLI (1989), DAHMANI 1991, DOUMANDJI et al. 1993, KACIMI 1994, HAMADECHE 1997 et SELLAMI 1999, KOWALSKI et KOWALSKI, 1991, et LE HOUEROU, 1995), Les dernières données sont ceux du projet pnud en 2005, relatifs au plan de gestion.

En tant que réserve cynégétique, le site d'El-Mergueb se caractérise, également, par une faune riche et variée par rapport à la faune des régions steppiques d'Afrique du Nord.

Le Mergueb est une aire naturelle d'une extrême importance pour 2 espèces animales, la Gazelle de cuvier et l'Outarde houbara, toutes deux menacées d'extinction ainsi que différents rapaces nocturnes et diurnes protégés par la loi (Décret 83.509 du 20 Août 1983) et diverses conventions internationales. Ajoutons à cela la richesse de la réserve en Arthropodes tels que les insectes, les arachnides et les crustacés.

I.8.3.1. Les mammifères

La faune de Mergueb, est composée principalement de mammifères, dont 40 % du total recensés sont protégés. On dénombre 22 espèces, une espèce endémique *Gazella cuvieri*, 8 espèces protégées par la loi et 13 espèces communes.

I.8.3.1.1. La Gazelle de cuvier

Appelée aussi «gazelle de l'Atlas» (*Gazella gazella*) et connue sous le nom arabe d'«Edemi», c'est une gazelle aux mœurs rupicoles et semi-désertiques. Se répartissant actuellement uniquement sur de petites aires des pays du Maghreb (Maroc, Algérie et Tunisie (Escos, 1986 et Groves, 1988), elle est menacée d'extinction (Lambert et Al, 1980) et inscrite sur la liste rouge des espèces menacées de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (U.I.C.N). Elle est protégée depuis 1983 en Algérie, ceci en raison du déclin de ces effectifs estimés à 400 individus, en 1990, par Desmet et Sellami de l'INA.

En Algérie, bien que son habitat soit inféodé essentiellement aux djebels, elle est fréquemment rencontrée dans les plaines sablonneuses et caillouteuses, sur les collines à végétation herbacée et buissonnante, ainsi que sur les plateaux couverts de maquis ou de végétation steppique où elle trouve nourriture et refuge par temps chaud ou lorsqu'elle est dérangée.

Endémique à l'Afrique du Nord, sa population atteint 50 individus à Mergueb en 1985-1987 selon K.DESMET et 22 individus d'après une enquête réalisée en 1988-1989 par BOUREDJLI et SELLAMI de l'INA. Ce déclin a été accentué dernièrement par le braconnage, le manque d'eau et de quiétude causés par les incursions des troupeaux de moutons qui créent des perturbations et un dérangement au sein des populations d'animaux sauvages.

I.8.3.2. Les Oiseaux

L'inventaire effectué sur l'avifaune de la réserve en 1987 par K. Desmet et B. Ochando de l'I.N.A d'El Harrach confère à cette dernière un rôle délocalisé dépassant le cadre de la steppe. Ainsi 28 % du total des espèces d'oiseaux recensées sont protégés, L'avifaune est représentée par l'Outarde houbara qui est une espèce menacée, l'Aigle royal qui est également menacé d'extinction, l'Aigle botté, le Faucon pèlerin, la Chouette effraie, la Fauvette naine, le Faucon lanier, le Héron cendré, et le Chardonneret. Mergueb abrite

également une multitude d'espèces d'oiseaux migrateurs et sédentaires, 86 y ont été inventoriées. En 1983, K. Desmet de l'INA. y a observé la Fauvette naine et le Bouvreuil à ailes roses. 50 % de l'effectif est sédentaire, 25 % est rare et assez rare et 50 % est migrateur.

Les rapaces nocturnes et diurnes au nombre de 15 sont assez bien représentés, on observe souvent les aigles, faucons, et hiboux ainsi que la chouette effraie (cf. liste en annexe).

I.8.3.2.1. L'Outarde houbara

Selon un inventaire et une étude éco-éthologie de l'outarde houbara (*Chlamydotis undulata*) établie par l'INRF en 1986, cette espèce est considérée comme sédentaire et nicheuse en Afrique de Nord. En Algérie, elle est protégée par la loi depuis 1983 et classée en voie de disparition. Son habitat coïncidait avec la limite Nord et les nappes alfatières et la limite Sud avec la frontière Algéro-libyenne.

Elle fréquente les plaines sèches et arides et les principales formations steppiques avec un faible recouvrement ainsi que les plaines cultivées comme les steppes à Alfa, à Drinn et à Chih.

Mergueb est un des rares endroits en Algérie où l'Outarde prolifère ; sédentaire et nicheuse, elle existe à l'état sporadique dans le milieu steppique de la réserve où sa population a été estimée à 19 individus observés lors d'une enquête menée en 1993 (administration des forêts et l'antenne de Mergueb de l'Institut National de Recherche Forestière).

Cette espèce continue à être observée dans la zone Sud-Est bien que moins fréquemment qu'avant. Ceci est dû à de fortes pressions agro-pastorales et à l'influence d'un climat hostile, ces effectifs ne cessent de diminuer et l'aire de répartition se réduit de plus en plus.

I.8.3.3. Les reptiles

KACIMI 1994, signale que 2 ordres représentent la classe des reptiles : les squamates et les chéloniens (tableau 8)

Tab.8. classe des reptiles présents dans El Megueb

ORDRES	FAMILLES	ESPECES
Squamates	- Collubridae	Malpalonmons pessulanus (Hermann, 1804 (couleuvre de Montpellier)
	Viperidae	Cerastes cerastes (Linnaes, 1785) Vipère à corne
chéloniens	testudinidae	Taestudo graeca tortue grecque

Parmi les espèces de reptiles recensées ; 70 % du total figurent sur la liste des reptiles protégés à l'échelle nationale.

I.9. LES ACTIVITES

La région, de par l'étendue de ces parcours (131.877 ha) et l'importance de la surface agricole utile (SAU), est à vocation agro-pastorale (tableau 9). L'élevage et la céréaliculture sont les activités les plus importantes, menées d'une manière traditionnelle et en extensif.

I.9.1. Le pastoralisme et l'élevage

Les parcours représentent près de 80 % de la superficie de la totalité des terres de la wilaya de M'sila. La production de fourrages est évaluée à 500.000 q. pour une production céréalière de l'ordre de 180.000 q., la production de « viande rouge » est estimée à plus de 200.000 q.

Ces données sont à rapprocher des effectifs du cheptel ovin (2.180.000 têtes), caprins (180.000), bovins (29.000) et camelins (900).

Tab.9. Occupation du sol en hectare (conservation des forêts de M'sila ,2005)

Communes	Superficie Totale	Parcours	Forêts	Terres Improductives	S.A.U totale	Dont irrigué
Sidi Hadjeres	51.200	32.600	10.000	1.150	7.450	250
Aïn El Hadjel	39.000	23.750	2.300	2.430	10.530	240
Sidi Ameer	91.000	75.527	10.000	1.800	36.73	373
Total	181.200	131.877	22.300	5.370	21.653	863

La superficie du parcours est estimée à 131 877 ha. Le cheptel recensé s'élève à 121 765 têtes, (soit plus de 0,77 unité par ha) il est à base d'ovins soit 83%, constitué particulièrement par 2 races locales parfaitement adaptées au contexte steppique : la race « Ouled Djellal », la plus appréciée du fait de sa parfaite adaptation au contexte steppique, constitue la majorité des troupeaux et la race Béni-Guil, dite « Hamra » des Hauts Plateaux de l'Ouest.

Le pastoralisme constitue la principale activité de la majorité des habitants des 3 communes limitrophes de la réserve. Ces parcours continuent d'être exploités durant la période automnale et hivernale par les riverains.

Sur le plan socioéconomique, le pastoralisme contribue à la fixation des populations, cependant c'est une activité peu productive sur le plan de leur potentiel naturel, du fait de diverses contraintes d'ordre climatique et édaphique. Par ailleurs on signale que cette zone est aussi peuplée par rapport au taux moyen de l'ensemble de la wilaya, évaluée à 35 habitants/km².

Les parcours steppiques sont des écosystèmes fragiles dont le fonctionnement est soumis à des conditions naturelles rudes et aléatoires. Ces conditions sont aggravées par une pression humaine de plus en plus grande et dont les déterminants sont complexes et en perpétuel changement.

I.9.2. L'AGRICULTURE

La SAU est menée presque entièrement en sec ; 58% de grandes cultures et 37% de terres en repos, les superficies irriguées avec 202ha représentent 0,05% seulement de la SAU totale (tableau 10).

Tab.10. Répartition de la SAU, campagne 97/98, (conservation des forêts de Msila, 2005)

Cultures com.	céréale	Fourrage	Légumes sec	arboriculture	marais	Culture indus	jachères	SAU total
Sidi hadjres	13000	-		13	6		8791	21810
Ain lahjel	7080	-			22		3428	10530
Sidi Ameer	1750	1810		20	70	2	21	3673
total	21830	1810		33	98	2	12240	36013

I.9.3. Activités forestières

La réserve de Mergueb a bénéficié par le passé d'un ensemble d'actions de développement dans le cadre de l'extension et l'amélioration du couvert végétale.

Tab.11. Activités forestières (Conservation des forêts 2005)

Action	Superficie en ha	année
Reboisement	1300	1972-1973
Plantation fourragères	100	1985
Plantation forestières	100	1985
Plantation forestières	1000	1987
Améliorations forestières	250	1990
Améliorations pastorales	500	1990
Plantation fourragères	100	1990
Plantation fourragères	100	1993
Plantation fourragères	200	1995
Plantation fourragères	200	1996
Plantation forestières	90	1996

Les espèces introduites sont le pin d'Alep, le cyprès d'Arizona, *Acacia cyanophylla*, Olivier de bohème, *Medicago arborea*, *Atriplex numilaria*, et le pistachier de l'atlas (tableau 11).

Le taux de succès de ces opérations est fonction des conditions stationnelles, ainsi dans les bas fonds et dépressions, les reboisements forment de beaux bosquets, par contre sur les glacis encroustés, ces reboisements ont eu moins de succès malgré l'opération de routage.

I.9.4. Activités de recherche

El Mergueb, approprié à l'observation du milieu vivant, offre un très large éventail de thèmes pour la recherche scientifique; notamment ceux de DESMED pour les parcours, les études d'écologie (DJEABAILI, 1978) et de la biodiversité et des ressources phytogénétiques. (rapportées par KAABACHE 1996, 2003).

La faune a suscité un grand intérêt auprès des chercheurs universitaires tels que les travaux SELLAMI et al. 1989, BOUREDJLI, DAHMANI, 1991, DOUMANDJI et al 1993, KACIMI 1994, HAMADACHE, 1997, SELLAMI, 1999, et CHEBOUTI-MEZIOU, 2001.

Des travaux de recherche sont initiés au niveau du site par l'Institut national de recherche forestière INRF dont l'intérêt est la protection et le développement du patrimoine floristique et faunistique des régions steppiques, des protocoles expérimentales concernant plusieurs espèces à savoir :

- Le Pin brutia : 480 plants
- Le Cyprès du tassili : 255plants
- Pistachier de l'atlas : 412 plants, 8 provenances
- Eucalyptus : 424 plants

Dans le cadre d'un projet portant « conservation de la biodiversité et gestion durable des ressources naturelles » un plan de gestion a été élaboré pour son classement en site protégé, impulsé au titre d'un don du fond pour l'environnement mondial (FEM) sous l'égide du Programme des Nations Unis pour le Développement PNUD, est géré par la Direction Générale des Forêts en qualité d'agence d'exécution en partenariat avec un réseau d'associations algériennes.

CHAPITRE II : CONCEPTS ET PRINCIPES DE LA TELEDETECTION

II.1. DEFINITION

La télédétection est la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement et sa dynamique à différentes échelles. Cette technologie permet de déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets, à partir de mesures et d'images effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci, obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes. (Selon la Commission interministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale, 1988)

II.2. PRINCIPES PHYSIQUES DE LA TELEDETECTION

II.2.1. LE RAYONNEMENT ÉLECTROMAGNÉTIQUE

La télédétection utilise les propriétés du rayonnement électromagnétique pour analyser à distance la surface du sol, de l'océan ou l'atmosphère. Le rayonnement électromagnétique c'est une énergie qui se propage dans l'espace et interagit avec la matière. Cette énergie est constituée d'ondes électromagnétiques. Une bonne connaissance de la physique élémentaire du rayonnement est indispensable à l'interprétation des résultats de la télédétection

II.2.2. LES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

II.2.2.1. DEFINITION

Une onde électromagnétique correspond à la vibration simultanée dans l'espace d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Une onde électromagnétique est une onde progressive et transversale; le sens de la variation des champs est perpendiculaire à la direction de propagation (fig.9)

Une onde électromagnétique transporte de façon discrète (au sens mathématique du terme), l'énergie, par entités élémentaires ou *quanta* d'énergie. Ces quanta d'énergie peuvent être assimilés à des particules, et sont parfois appelés des *photons*. La quantité d'énergie associée à un photon dépend de la fréquence, où E est la quantité d'énergie, ν la fréquence et h la constante de Planck : $E = h \cdot \nu$

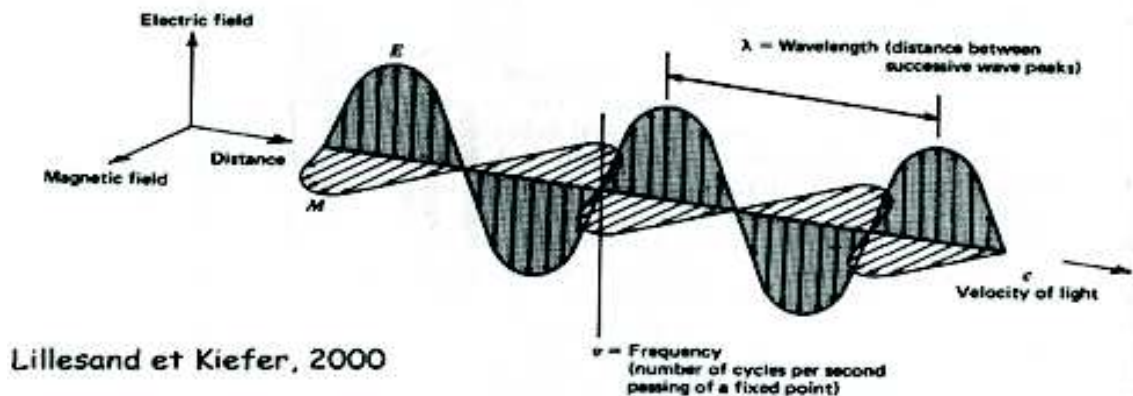


Fig.9. L'onde électromagnétique simple (monochromatique, plane).

II.2.2.2. CARACTERISTIQUE DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Les caractéristiques des ondes électromagnétiques sont porteuses d'informations de la source qui a produit le rayonnement et du milieu avec lequel il a interagi (tableau 12).

Tab.12. caractéristique des ondes électromagnétiques

Caractéristiques	Unité	Définition
période T	seconde	le temps au bout duquel le champ électrique ou magnétique retrouve sa valeur à partir d'un instant quelconque, c'est à dire effectue un cycle.
fréquence	Herz (Hz). 1 Hz = cycle/second	c'est le nombre de cycles par unité de temps.
la longueur d'onde ou amplitude λ	le mètre ou ses sous-multiples	conditionne l'intensité du rayonnement ; plus l'amplitude est forte plus le flux d'énergie est intense.
polarisation		orientation du champ électrique dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation.

Le micron ou micromètre : μm . $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$ et le nanomètre : nm . $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$

Les ondes utilisées en télédétection se caractérisent par des fréquences très élevées mesurées en multiples du Hz (kHz, MHz ou GHz (GigaHerz))

Entre la longueur d'onde et la fréquence existe la relation classique: $\lambda \cdot \nu = c$ où c'est la vitesse de propagation du rayonnement dans le vide (vitesse de la lumière): $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

La lumière visible (rayonnement solaire) est non-polarisée, c'est en revanche, la polarisation du rayonnement qui doit être prise en compte en télédétection micro-ondes (capteurs passifs et radars).

II.2.3. LE SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Le rayonnement électromagnétique, d'origine naturelle ou artificielle, existe pour une gamme très étendue de fréquences ou de longueurs d'ondes (de 10^{-9}m à 10^5m), qui constitue le spectre électromagnétique(fig.10).

II.2.3.1. Domaine de La lumière visible

Une partie très limitée de ce spectre, entre 0,390 μm (390 nm) et 0,7 μm (700 nm), à laquelle est sensible l'œil humain. Une décomposition en fonctions des longueurs d'onde de la lumière visible (lumière blanche) aboutit à distinguer les lumières colorées : Violet (390 à 450 nm), Bleu (450 à 490 nm), Vert (490 à 580 nm), Jaune (580 à 600nm), Orange (600 à 620 nm), Rouge (620 à 700 nm).

II.2.3.2. Domaine du rayonnement Ultra-violet

Les longueurs d'onde inférieures à 390 nm (ou les fréquences supérieures à celle du violet) ne sont pas perçues par l'œil humain ;

II.2.3.3. Domaine DU rayonnement Infrarouge

Les longueurs d'ondes supérieures à 700 nm, également non-perçues par l'œil humain,

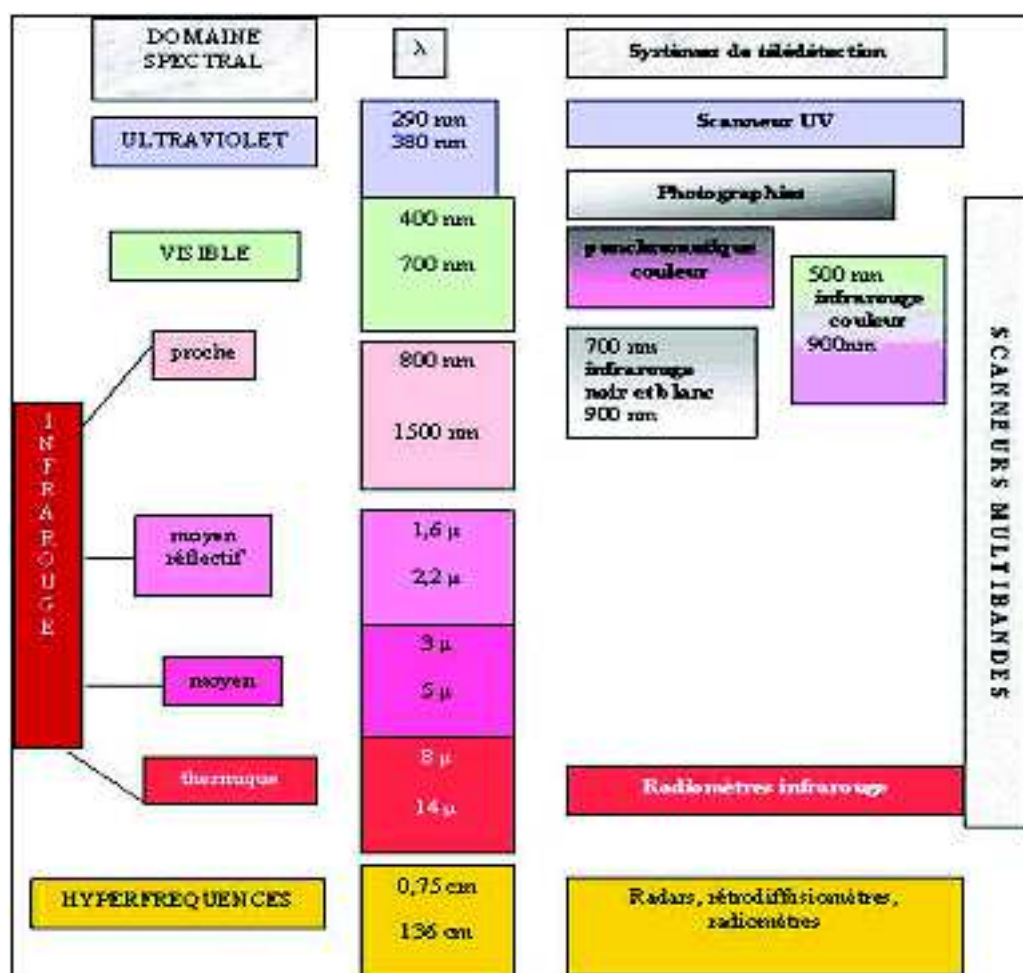


Fig.10. Le spectre électromagnétique (GIRARD M.C. & GIRARD C.M. 1999.)

II.3. SOURCE DE L'ENERGIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Le soleil constitue une source très importante pour les instruments de télédétection. Tout objet ayant une température supérieure à -273°C (0°K) peut émettre de l'énergie. L'énergie émise par un objet est fonction de sa température et peut être exprimée par la loi de Stéphan - Boltzmann :

$$M = sT^4$$

M = la puissance (ou existence) totale d'énergie émise par un corps,

s = Constante de Stéphan - Boltzmann ($6.6697 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$),

T=Température absolue de l'objet

La loi de Stéphan - Boltzmann montre que plus la température d'un corps augmente, plus l'énergie émise par ce corps augmente. Cette loi suppose que la source d'énergie en question se comporte comme un corps noir. On définit un corps noir comme étant un corps théorique qui absorbe et réémet la totalité de l'énergie qu'il reçoit.

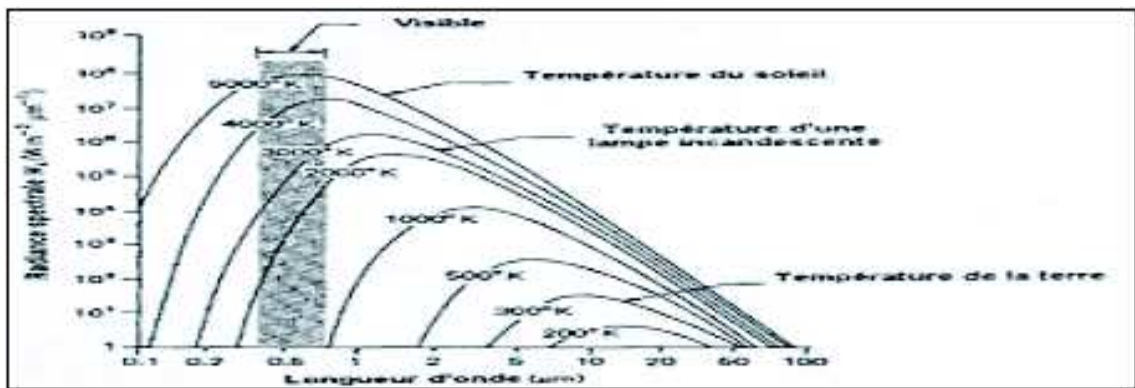


Fig.11. Distribution spectrale de l'énergie émise par un corps noir à des températures différentes

(Lillesand et Kiefer, 1987)

Le soleil peut être comparé à un corps noir dont la température de surface est environ 5900 K : le rayonnement solaire s'effectue dans les longueurs d'onde comprises entre $0,2$ et $4 \mu\text{m}$, de l'ultraviolet à l'infrarouge moyen, avec un maximum correspondant à la longueur d'onde

$$\lambda = 2897/5900 (\approx 0,5 \mu\text{m}).$$

Le spectre du rayonnement solaire déborde donc largement le domaine de la perception par l'œil humain, qui n'est sensible qu'aux longueurs d'onde comprises entre $0,39$ et $0,7 \mu\text{m}$ environ; l'œil humain perçoit cependant la partie du spectre du rayonnement solaire qui présente le maximum d'intensité, autour de $0,5 \mu\text{m}$, qui correspond à la lumière jaune.

La surface terrestre, avec une température moyenne d'environ 290 K , rayonne principalement dans l'infrarouge, entre 3 et $50 \mu\text{m}$, avec un maximum correspondant à la longueur d'onde $\lambda = 2897/290 \approx 10 \mu\text{m}$. Ces longueurs d'ondes correspondent à l'infrarouge thermique.

II.4. RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE ET TELEDETECTION

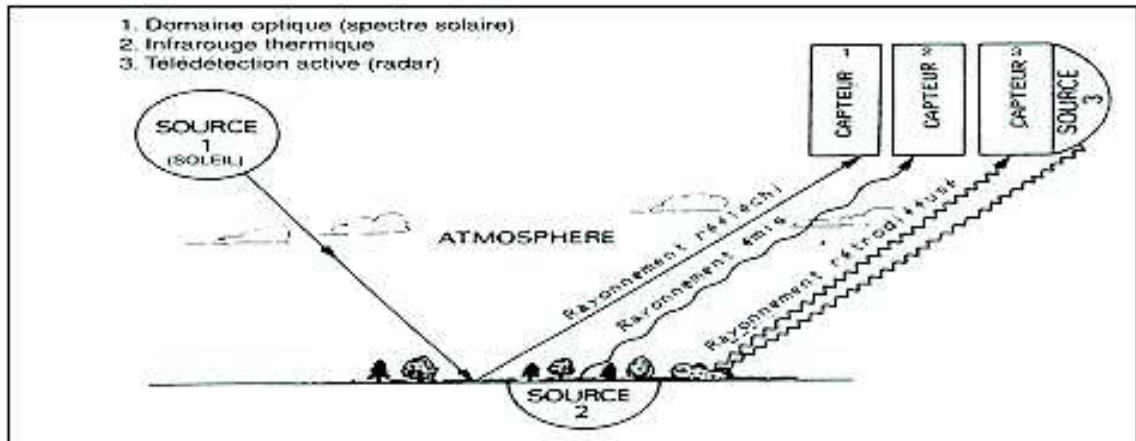


Fig. 12. Utilisation du rayonnement électromagnétique en télédétection.

Les domaines du spectre électromagnétique utilisables en télédétection sont imposés par les sources de rayonnement, et la transparence de l'atmosphère.

Les très courtes longueurs d'onde (ultraviolet, rayons X) par exemple ne sont pas utilisables, car l'atmosphère absorbe ou diffuse la quasi-totalité de ces rayonnements. En pratique, on peut distinguer trois grands types de télédétection (Tableau.13):

Types de télédétection caractéristiques	Spectre solaire visible et proche infrarouge	Infrarouge thermique	Microondes ou Hyperfréquences
Longueur d'onde	0,3 à 4 µm	8 à 14 µm	Ondes millimétriques ou centimétriques 0,75 à 136 cm
Source	le soleil	la surface elle-même	
Mesuré par	des émulsions photosensibles (photographie) ou radiomètres imageurs (à balayage)	radiomètres imageurs. L'intensité des flux radiatifs mesurés est plus faible qu'aux courtes longueurs d'onde	radiomètres microonde visant de très vastes surfaces (plusieurs 100aine de km ²).
Effet de l'atmosphère	limités	nombre restreint de fenêtres : 3,5 et 3,9 µm d'une part, entre 10,5 et 12,5 µm d'autre part	la transparence de l'atmosphère est très grande;
Résolution spatiale	très bonne domaine de la télédétection des espaces terrestres par excellence	très limitée destinée à mesurer la température du sol, de l'océan, ou des nuages.	Faible applications météorologiques et océanographiques ou glaciologiques
Signature spectrale (SP)	-selon la longueur d'onde : correspond aux variations de la réflectance spectrale des surfaces naturelles - permet de distinguer entre eux les principaux types de surfaces terrestres d'analyser leurs propriétés	Ce sont la température et l'émissivité qui déterminent l'intensité du rayonnement émis par la surface. l'émissivité des surfaces terrestres ou océaniques varie dans une gamme limitée : - Surfaces d'eau et océan : ≈0,98 - Neige /glace : 0,95 à 0,99 - Forêt : ≈0,90 - Surfaces minérales : 0,85 à 0,95.	variations de l'émissivité beaucoup plus importantes : ce sont elles qui permettent de caractériser les différents types de surface, et constituent donc la « signature » propre à chaque type

Tab.13. Les grands domaines de télédétection

II.5. LES CAPTEURS

Un capteur consiste à détecter et enregistrer l'énergie transportée par le rayonnement électromagnétique grâce à un le signal radiatif émis ou réfléchi par la surface. Trois grands types de capteurs peuvent être distingués :

1. les capteurs actifs (radars).
2. les appareils photographiques
3. les radiomètres imageurs,

II.5.1. LES CAPTEURS ACTIFS

Le capteur actif le plus utilisé en télédétection est le radar imageur à visée latérale ; utilise des longueurs très grandes (0,8 cm et 1 m) pour lesquelles l'atmosphère, y compris les nuages, est complètement transparente; les radars sont des capteurs « tous-temps », utilisés en géologie, en hydrologie, et en océanographie, le radar permet d'analyser les phénomènes ondulatoires (vagues) et même à l'intérieur de l'océan.

II.5.2. LES APPAREILS PHOTOGRAPHIQUES

Les photographies sont des documents analogiques d'excellente résolution spatiale, acquise grâce à des avions volant à basse altitude et des caméras à large focale (le rapport : $B = \text{largeur du cliché} / h = \text{altitude de l'avion}$ est élevé, ce qui détermine les propriétés géométriques des photos aériennes. des distorsions permettent la vision stéréoscopique. La correction géométrique des photos aériennes donne naissance à une orthophotoplan.

II.5.3. LES RADIOMETRES IMAGEURS

Ce sont des capteurs qui mesurent de façon quantitative le rayonnement. La constitution d'une image est obtenue par l'acquisition séquentielle d'informations radiométriques provenant d'une fraction (tache élémentaire (ou tachèle) de la surface du paysage observé.

Les radiomètres fournissent des données numériques; ensemble de nombres, généralement des entiers codés en binaire sur des bandes magnétiques, qui ; arrangés en lignes et colonnes, permettent de reconstituer une image. Ils enregistrent le rayonnement réfléchi dans diverses bandes spectrales dans le visible ou l'infrarouge, choisies de façon à distinguer au mieux les types de surface, où à analyser certaines propriétés des surfaces.

II.6. NOTION DE RESOLUTION

Les qualités des radiomètres sont exprimées par le terme de résolution qui désigne plusieurs réalités différentes (tableau 14) :

Tab.14. Les différentes résolutions d'un capteur

<i>Résolution spectrale</i>	<i>Résolution radiométrique</i>	<i>Résolution spatiale</i>
- L'aptitude d'un capteur à discerner des bandes de longueur d'onde différente - dépend surtout de la qualité	- Capacité à distinguer, dans une bande spectrale définie, des différences de luminance plus ou moins grandes. - s'exprime par le rapport signal/bruit. (la	- dépend du champ instantané d'observation du capteur (IFOV = Instantaneous Field Of View). Celui-ci détermine, selon l'altitude de l'avion ou du

des dispositifs optiques (filtres).	résolution du capteur AVHRR des satellites NOAA, dans les canaux infrarouges thermiques, permet de détecter des différences de température de la surface de 0,125° (compte non tenu des effets de l'atmosphère).	satellite porteur, - détermine la taille du pixel : « élément le plus petit qui peut être distingué sur l'image finale. »
-------------------------------------	--	---

II.7. NOTION D'ALBEDO ET REFLECTANCE

II.7.1. ALBEDO

L'albédo désigne la capacité de la surface de la Terre à réfléchir l'énergie reçue du Soleil dans toute l'étendue du spectre solaire; il a surtout son intérêt en climatologie.

II.7.2. REFLECTANCE SPECTRALE

La réflectance spectrale correspond aux variations de la réflectance selon les longueurs d'onde du domaine solaire. Elle constitue une caractéristique des surfaces terrestres utilisée en télédétection dans le domaine spectral solaire. Le principe de la radiométrie dans le domaine du spectre solaire est le même que celui de la perception des couleurs par l'œil humain.

La végétation est généralement distinguée par sa très faible réflectance dans les longueurs d'ondes correspondant au rouge (0,6 à 0,7 μm) et sa réflectance élevée dans le proche infrarouge. Elle nous apparaît verte parce qu'elle réfléchit plus le rayonnement dans les longueurs d'onde comprises entre 0,49 μm et 0,58 μm , (la partie du spectre correspondant au vert) que dans les autres longueurs d'onde du visible.

II.8. CARACTERISTIQUES SPECTRALES DES PRINCIPAUX OBJETS

II.8.1. LA VEGETATION

La végétation en générale possède une réflectance très faible dans le rouge 660nm et le bleu 450nm, faible dans le vert (~546nm) et élevée dans le proche infrarouge 0,7-1m. Ces valeurs peuvent varier en fonction de plusieurs paramètres (teneur en eau de la plante, structure des feuilles, la densité, âge, de la pigmentation, de la structure physiologique [Guyot G. 1984].) qui auront une influence sur ses propriétés de réflectance, absorbance et transmittance.

II.8.2. L'EAU

La réflectance de l'eau pure, assez forte dans la bande bleue du visible, diminue ensuite

Rapidement pour devenir très faible dès le proche infrarouge (figure 6). Des particules minérales, du plancton ou des végétaux, en suspension ou flottant dans l'eau, modifient ces caractéristiques en augmentant la réflectance dans le visible.

II.8.3. LE SOL

Les comportements spectraux des sols se caractérisent par des valeurs de réflectance régulièrement croissantes dans le visible et le proche infrarouge, tandis qu'elles sont généralement faibles dans le moyen infrarouge réflectif. La ligne formée est appelée la droite des sols. La réflectance de la plupart des types de sols est similaire. Les principaux facteurs influençant la réflectance des sols sont : l'humidité du sol, sa texture, sa structure, son contenu en oxyde de fer et en matière organique.

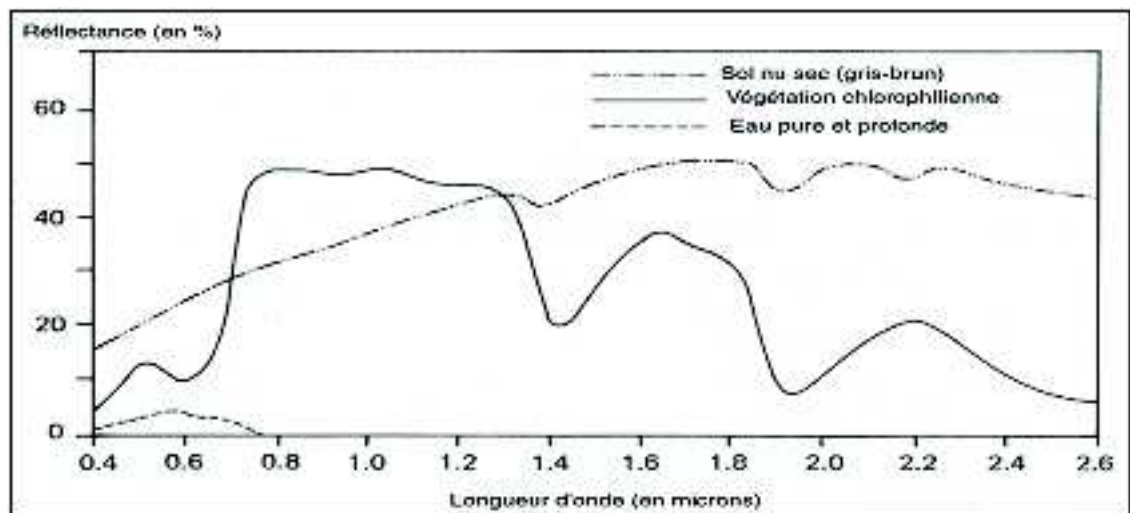


Fig.13. Réflectances spectrales caractéristiques de trois grands types de surfaces naturelles (d'après Lillesand et Kiefer).

II.9. INTERRACTION DU RAYONNEMENT AVEC LA MATIERE

II.9.1. INTERRACTION DU RAYONNEMENT AVEC L'ATMOSPHERE

Les interactions entre l'atmosphère et le rayonnement relèvent de deux phénomènes physiques essentiels (fig.14.):

- **Absorption** : Tous les constituants gazeux de l'atmosphère absorbent donc le rayonnement à des longueurs d'onde précises, les "pics" d'absorption, en rapport avec la fréquence de vibration de leurs molécules.
- **Diffusion** : Correspond à un phénomène de réflexion multiple du rayonnement qui frappe les molécules ou les particules (aérosols) de l'atmosphère. Le rayonnement n'est pas modifié dans sa longueur d'onde (λ), mais la direction de propagation change. On distingue selon le diamètre (d) des particules :
 - **Diffusion de Rayleigh** : $\lambda > d$; proportionnelle à λ^{-4} , importante pour $\lambda < 550\text{nm}$, liée à l'action des molécules d'oxygène et d'azote.
 - **Diffusion de Mie** : $\lambda \cdot 10^{-3} < d < \lambda \cdot 10^2$; suit une loi simplifiée en λ^{-1} , due aux aérosols en suspension dans l'air (poussières, micro gouttelettes d'eau), importante près des sites industriels.)
 - **Cas extrême de diffusion** : représenté par les nuages, où la densité des gouttelettes en suspension est telle que le rayonnement est totalement diffusé, et que la masse du nuage réfléchit une grande partie du rayonnement

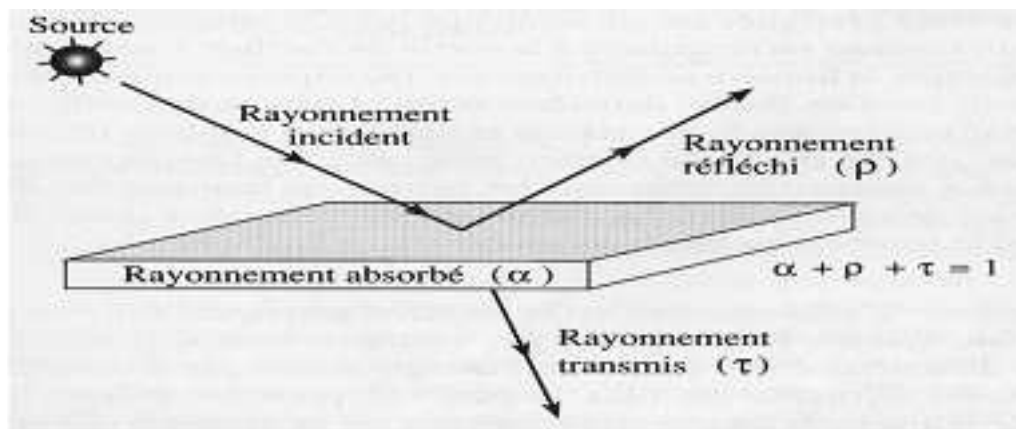


Fig. 14. : Absorption, réflexion et transmission

(Bonn et Rochon, 1993)

II.9.2. INTERRACTION DU RAYONNEMENT AVEC COUVERT VEGETAL

Si le rayonnement solaire constitue la principale source d'énergie faisant fonctionner notre système terrestre, les organismes végétaux sont capables avec une petite fraction de ce rayonnement de le transformer pour l'élaboration de matière organique.

Les propriétés optiques des couverts végétaux dépendent à la fois de la nature des plantes qui les composent, de leur état physiologique, des organes végétaux notamment les feuilles et leur arrangement spatial ainsi que du sol sous-jacent (Guyot, 1995)

II.9.2.1. Propriétés optiques des feuilles

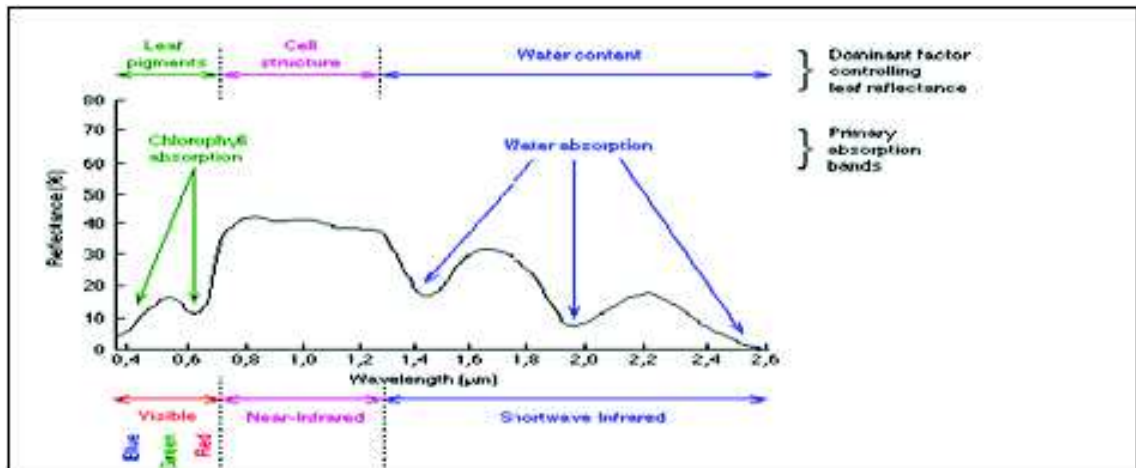


Fig. 15. Propriétés optiques des feuilles.

Les feuilles sont les principales surfaces diffusant et absorbant la lumière dans un couvert végétal. L'atténuation de la lumière à l'intérieur d'une feuille résulte de phénomènes complexes liés à sa composition biochimique et à sa structure anatomique alors que l'épiderme détermine surtout la réflectance bidirectionnelle (la réflectance bidirectionnelle est une expression qui met en relation la réflexion par la surface d'une cible avec la réflexion par une surface lambertienne qui serait observée à l'emplacement de la cible).

Cette réflectance (tableau 15) varie en fonction de la direction du soleil et de la direction d'observation de la cible. Dans le cas d'une surface lambertienne, cette réflectance ne varie pas). Les propriétés optiques des feuilles vont être déterminées par les éléments suivants :

- la présence de pigments : chlorophylles, caroténoïdes, xanthophylles et dans une moindre mesure plastoquinones et composés flavoniques,
- l'architecture cellulaire de la feuille,
- la physiologie de la feuille notamment son port.

DOMAINES SPECTRAUX	PROPRIETES SPECTRALES
<p>Le visible (0.4 - 0.7 μm) :</p>	<ul style="list-style-type: none"> • transmittance et réflectance faible (de forte absorption) • Absorption du rayonnement reçu par les pigments foliaires (chlorophylles a et b qui possèdent deux bandes d'absorption dans le bleu (0.45 μm) et dans le rouge (0.66 μm), masquant les pics d'absorption d'autres pigments foliaires comme les carotènes et les xanthophylles, dans les feuilles saines. • réflectance maximum dans le jaune - vert vers 0.55 μm. • La concentration en chlorophylle diminuant plus rapidement que celle des caroténoïdes lors du vieillissement de la plante, les feuilles jaunissent.
<p><u>proche infrarouge</u> (0.7 -1.3 μm)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • les constituants des feuilles sont transparents c'est pourquoi la quantité de rayonnement absorbé est très faible (inférieure à 10 %). Ainsi le rayonnement est soit transmis soit réfléchi. • La réflectance et la transmittance : 40-60 %. La structure interne des feuilles détermine les propriétés optiques dans ce domaine spectral. (Gausman et al, 1970) ont relié la réflectance dans le proche infrarouge au nombre d'espaces d'air entre les cellules. • Réflectance des feuilles assez constantes pour une espèce donnée durant la croissance, cependant des changements importants sont observés au cours des stades juvéniles et de sénescence. La structure cellulaire est aussi affectée par le stress hydrique.
<p><u>moyen infrarouge</u> (1.3 -2.5 μm)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • région de forte absorption du rayonnement électromagnétique. • Les propriétés optiques affectées essentiellement par l'eau des feuilles (Tucker et Garrat, 1977), et par les composés biochimiques des tissus foliaires (lignine, cellulose, protéines, etc.) qui constituent la matière sèche. Les principales bandes d'absorption de l'eau se situent vers 1.45 μm, 1.94 μm et 2.5 μm. • Réflectance transmittance accrues par une déshydratation

Tab.15. Propriétés spectrales de la végétation

II.9.2.2. Les pigments foliaires (Guyot, 1995)

Le caractère principal du végétal est une forte réflectance dans l'infrarouge proche due au fait qu'à partir de longueurs d'onde supérieures à 700 nm tous les pigments foliaires deviennent transparents.

Dans le visible, le comportement spectral est dû à la composition en pigments parmi lesquels la chlorophylle joue un rôle principal. Les chlorophylles a et b (65 % des pigments des plantes supérieures) possèdent deux bandes d'absorption dans le bleu (450 nm) et dans le rouge (660 nm). Cela se traduit par un maximum de réflectance dans le jaune - vert à une longueur d'onde de 550 nm.

Les seconds pigments par ordre d'importance sont les caroténoïdes et les xanthophylles. Le mieux connu est le β -carotène qui présente un pic d'absorption dans le bleu (450 nm) qui se superpose à celui de la chlorophylle. Ce pic est masqué dans les feuilles saines et vertes. Par contre, ces pigments sont à l'origine du jaunissement des feuilles à l'automne dû à la disparition de la chlorophylle qui cesse alors de masquer la coloration des caroténoïdes.

II.9.2.3. Structure de la feuille d'un végétal

Le parenchyme ou mésophile (la structure interne du feuillage lacuneux) est plus ou moins développé selon les végétaux. Ainsi, un végétal au mésophile bien développé (ex : pomme de terre) traduit une forte réflectance dans le proche infrarouge (de 700 à 1100 nm).

A l'inverse, un végétal dont le mésophile est peu développé (ex : blé) réfléchit moins. Il en résulte des différences sensibles dans les courbes de réflectance des différents végétaux (CM GIRARD 1978).

Dans la figure 16, Le type A a un parenchyme palissadique très développé et un parenchyme lacuneux peu développé et l'inverse pour le type B. Les courbes de réflectance correspondant à ces types présentent : pour A une réflectance dans le proche infrarouge (800 à 1100 nm) plus faible que pour B dans le même domaine spectral.

De même, toute modification d'aspect du parenchyme lacuneux d'un végétal induit une modification de son comportement spectral. Dès que les feuilles d'un végétal se dessèchent (maturation, vieillissement), le parenchyme lacuneux perd sa structure, les cellules s'aplatissent, les lacunes sont réduites et la réflectance dans le proche infrarouge s'en trouve donc perturbée.

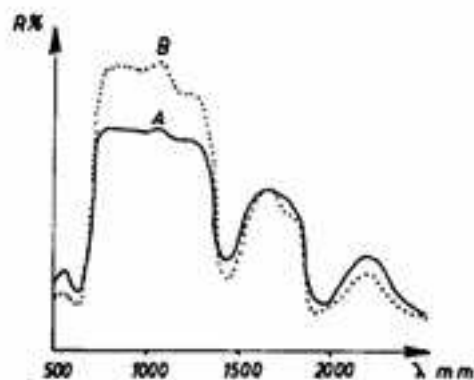
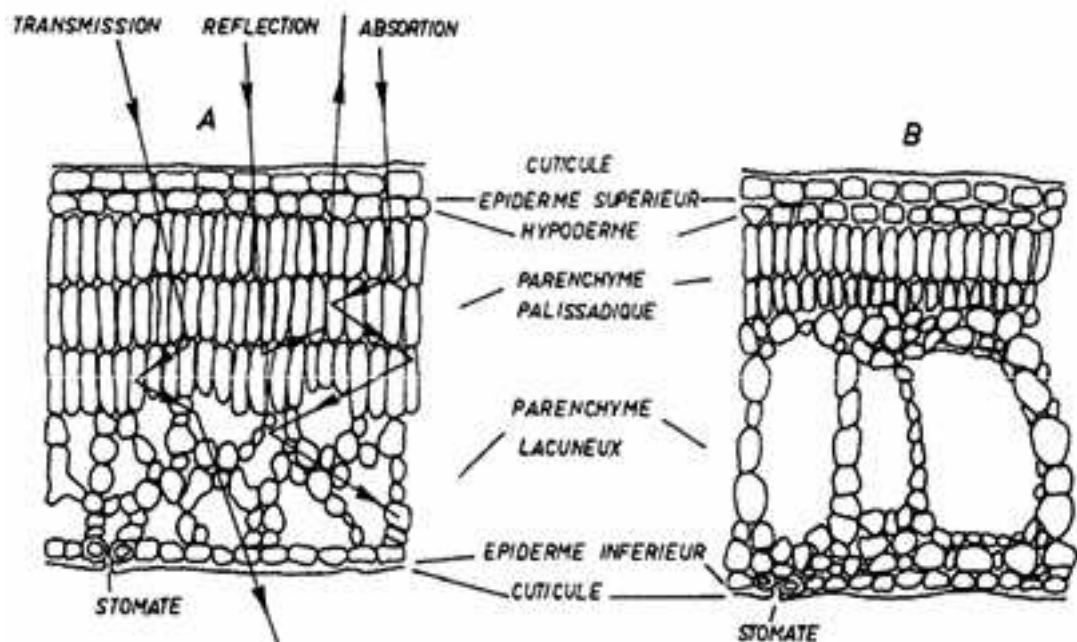


Fig.16. Influence de la structure interne des feuilles vertes sur leur comportement spectral

(MC. & CM. GIRARD 1989)

Un autre aspect intéressant réside dans l'incidence des saisons sur le comportement spectral des végétaux. Il est ainsi possible de caractériser chaque type d'occupation végétale en fonction de ces paramètres par des études diachroniques.

L'analyse de la réflectance dans les différents canaux mesurés va de ce fait permettre d'étudier l'état de santé des végétaux, leur taux de couverture, de les reconnaître et de caractériser les types d'occupation à partir de la combinaison des valeurs observées.

II.9.2.4. Influence de la teneur en eau

Du visible à l'infrarouge moyen, la réflectance de la végétation diminue en général avec l'augmentation de la teneur en eau mais de manière complexe et les avis sur ce point restent partagés voire contradictoires (R. BARIOU - 1985). La figure 17 montre les effets de la teneur en eau sur la réponse spectrale de feuilles de maïs. On y observe une augmentation de la réflectance sur tout l'intervalle du spectre (du visible à l'infrarouge moyen) avec la diminution de la teneur en eau, notamment en deçà de 54 %

Dans l'infrarouge moyen à partir de 1400 nm, un végétal sain a une courbe de réflectance présentant une diminution importante à 1450 nm et à 1900 nm qui correspond aux bandes d'absorption de l'eau.

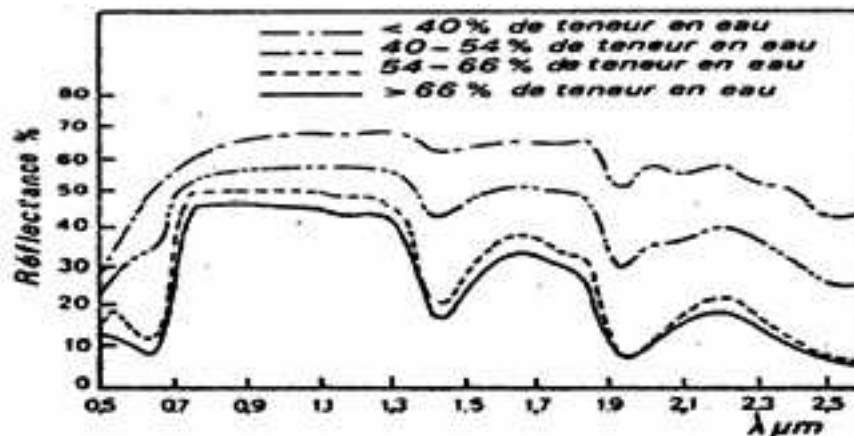


Fig.17. Variation de la réflectance en fonction de la teneur en eau de la végétation

A l'inverse, un végétal en cours de maturation ou souffrant d'un stress hydrique ou d'une maladie voit sa teneur en eau diminuer et les bandes d'absorption à 1450 et 1900 nm seront peu marquées.

II.9.2.5. Caractérisation de l'architecture d'un couvert végétal

La réflectance d'un couvert végétal ne dépend pas seulement des propriétés d'absorption et de diffusion de ses feuilles mais aussi de son architecture. Celle-ci varie selon la forme, la dimension, la distribution dans l'espace et la quantité des surfaces végétales du couvert. La distribution spatiale de la végétation sur le sol dépend du type de végétation, de la disposition des plantes (écartement et orientation des rangs) et de leur stade de croissance. Au fur et à mesure que la végétation se développe, les effets du sol s'estompent. Les

principaux paramètres pour caractériser cette architecture sont l'indice foliaire, l'inclinaison des feuilles, la hauteur du couvert, la taille des feuilles et le taux de couverture des sols.

II.9.2.6. INDICE FOLIAIRE(LAI) (Leaf Area Index)

Il est défini comme l'aire totale des faces supérieures des feuilles par unité de surface du sol. Permet de caractériser la "quantité de matière" du couvert végétal. Le LAI varie typiquement de 0 pour un sol nu à une valeur maximale de 8-10 pour une culture annuelle. Typiquement, le LAI vaut 0.7 pour une végétation herbacée des zones semi-arides.

La réflectance (fig.18) dans le visible et le moyen infrarouge diminue lorsque l'indice foliaire augmente. En revanche, elle augmente dans le proche infrarouge. De façon générale, la variation de la réflectance en fonction de l'indice foliaire atteint un seuil pour une valeur du LAI autour de 3.

II.9.2.7. INCLINAISON DES FEUILLES

Varie d'un type de végétation à l'autre, mais dépend encore du stade de croissance et parfois même de l'heure de la journée. La distribution d'angles foliaires (angles entre la verticale et la normale aux faces supérieures des feuilles) peut être caractérisée par un angle d'inclinaison moyen (q_i) et par un azimut (j_i) foliaire. Si les feuilles n'ont pas d'azimut préférentiel, la connaissance de (q_i) suffit souvent à décrire la fonction de distribution d'angles foliaires. Selon sa forme, on peut distinguer les six grands types de couverts végétaux suivants :

- **Planophylle** : les feuilles horizontales sont les plus fréquentes (fraisier);
- **Erectophylle** : les feuilles dressées sont les plus fréquentes (ray-grass au printemps);
- **Plagiophylle** : les feuilles inclinées à 45° sont les plus fréquentes (blé, maïs);
- **Extrémophylle** : les feuilles ont deux inclinaisons possibles, horizontales et verticales (betterave);
- **Uniforme**: la probabilité d'inclinaison des feuilles est la même quel que soit l'angle d'inclinaison considéré ;
- **Sphérique** : la fréquence des angles foliaires est égale à celle qu'auraient des feuilles placées à la surface d'une sphère.

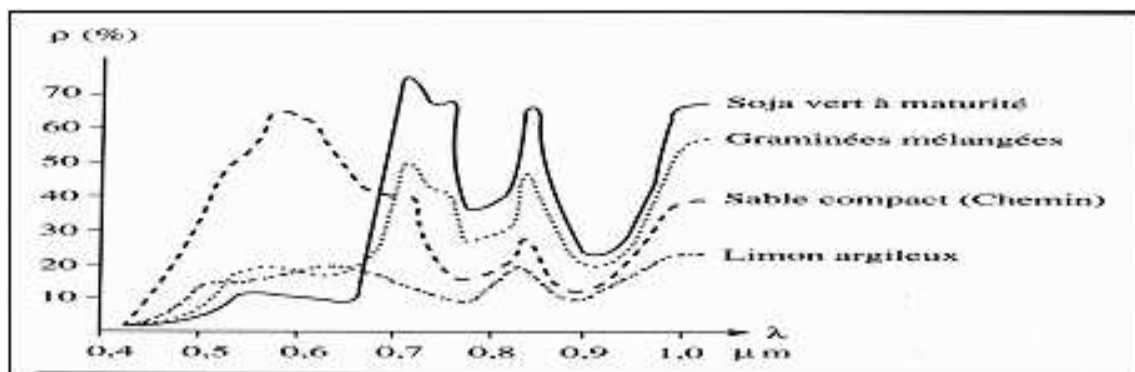


Fig.18. Variation de la réflectance en fonction de la longueur d'onde

(Bonn et Rochon, 1993)

II.9.2.8. HAUTEUR DU COUVERT ET LA TAILLE DES FEUILLES

Ces caractéristiques suffisent généralement à déterminer le paramètre de hot-spot (souvent caractérisé par le rapport de ces deux grandeurs) qui permet d'expliquer la forte dissymétrie de la réflectance du couvert dans le plan principal d'observation (plan du Soleil). Cet effet de hot-spot (ou effet d'opposition), caractéristique d'un couvert végétal et des milieux poreux en général, se traduit par une augmentation de la réflectance dans la direction rétro-solaire, là où les feuilles masquent leur propre ombre.

II.9.2.9. PROPRIETES OPTIQUES DES SOLS

Les effets du sol sur la réflectance (fig.19) des couverts jouent un rôle important lorsque la végétation est peu développée. Sur des surfaces dépourvues de végétation ou recouvertes par un couvert épars, il est nécessaire de bien caractériser les propriétés optiques des sols. Celles-ci dépendent de leur composition minérale, de leur teneur en matière organique, de leur humidité (modifiant les propriétés spectrales), ainsi que de leur rugosité de surface (affectant leurs propriétés directionnelles)

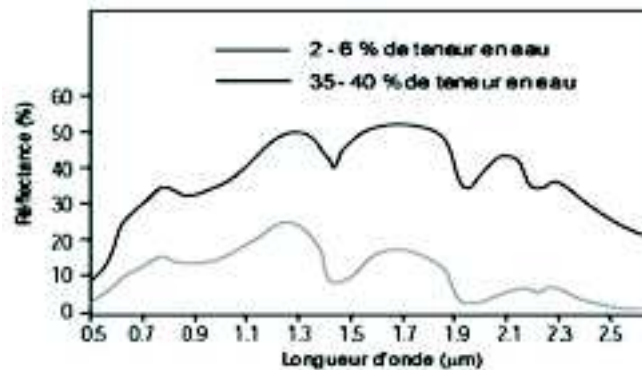


Fig.19. Réflectance d'un sol argileux (d'après [2]).

La réflectance d'un sol croît du visible au moyen infrarouge. En général un sol est plus réfléchissant dans le visible et moyen infrarouge que la végétation et par contre moins réfléchissant dans le proche infrarouge.

II.10. PRODUIT DE TELEDETECTION : NUMERISATION

Le rayonnement (fig.20) parvenant sur le capteur donne naissance à un signal électrique plus ou moins grand. La numérisation consiste à transformer ce signal électrique en une valeur numérique utilisable par un système informatique. La précision de la numérisation dépend du nombre de niveaux permis (256 niveaux possibles pour les valeurs des pixels des images Météosat ou Spot Sont codées sur un octet, 1024 niveaux codées sur 12 bits pour des images NOAA)

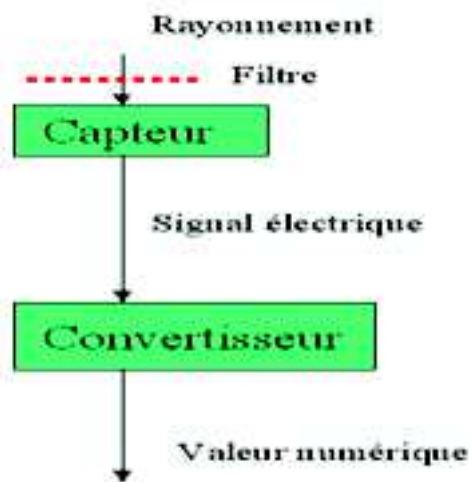


Fig.20. Numérisation : du rayonnement aux valeurs radiométriques.

CHAPITRE III : METHODOLOGIE D'ANALYSE MULTI-TEMPORELLE

La méthodologie suivie pour la réalisation de notre étude d'analyse multi-temporelle de la végétation repose sur les principes de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques : Géomatique.

La première phase consiste à faire une recherche bibliographique, consultation de travaux, de données, cartes et plans existants de différentes sources et consultation de sites web.

Pour l'acquisition des données de différentes dates, nous avons procédé au téléchargement des données image numériques Landsat TM et ETM+, bande par bande spectrale. Des logiciels de traitement d'images notamment Erdas imagine et ENVI et un outil SIG, Esri Arcview sont indispensables aux traitements et à l'analyse numérique.

III.1.Données et MATERIELS

Cette étude se base essentiellement sur les données de télédétection de trois dates, l'image multi- spectrale issue du satellite Landsat 1987, Landsat 2000, et Landsat 2008 (tab.16).

	Acquisition des données	Matériels
1 2	- données climatiques - cartes thématiques: carte de végétation	Saisie et introduction des données Analyse des données
3	(04) cartes Topographiques, INCT édition 1/50.000 Feuille de CHELLAL NI-31-XXIII-3 OUEST	Logiciels de traitement d'images : - Erdas 9.1 - ENVI 4.3 (<i>Environment for visualising image</i>).
4	Feuille de AÏN LAHDJEL, NI 31-XXII-4 EST	Outils SIG, Arcview 3.2 Tableur Excel
5	Feuille de AIN FEKKA-NI 31-XXII-6 EST	Appareil GPS (Global Position System)
6	Feuille de EDDIS NI-31-XXIII-5 OUEST	
7	Données Landsat : 3 imageries de 28m résolution TM 1987, ETM2000, ETM2008, Données Spot 2005 5 m de résolution	

Tab.16. données et matériels

III.2. PRINCIPALES ÉTAPES

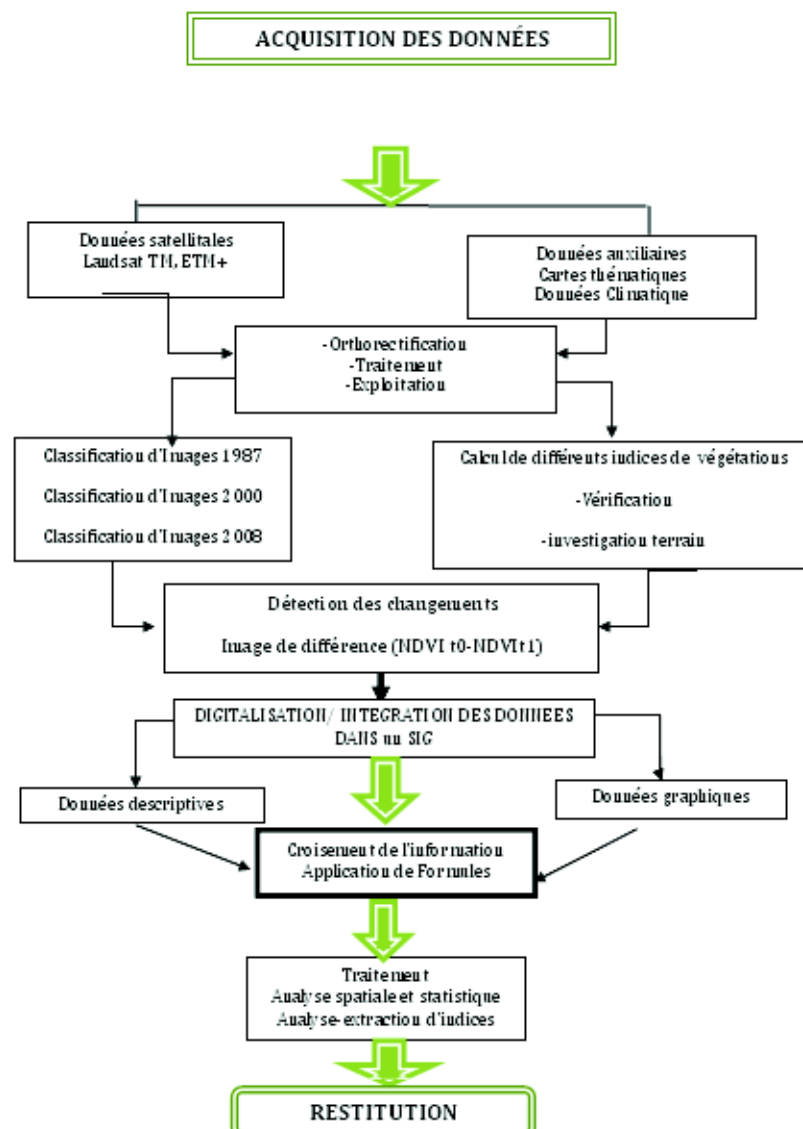


Fig.21. Organigramme de la méthodologie

III.3. L'IMAGE NUMERIQUE

L'image numérique est la projection plane d'une scène tridimensionnelle sur un support physique capable de restituer les valeurs de luminance en chacun de ses points" (Pun, 1982). L'information contenue est :

1. le ton (valeur comprise entre 0 et 255 pour une image codée en 8 bits)
2. la bande ou valeur spectrale

III.3.1. FICHER NUMERIQUE PAR BANDES ET IMAGES

L'image numérique est une matrice rectangulaire où chaque élément représente la luminance d'une portion élémentaire du sol (le pixel). Elle est constituée de deux éléments L'en-tête et la matrice numérique

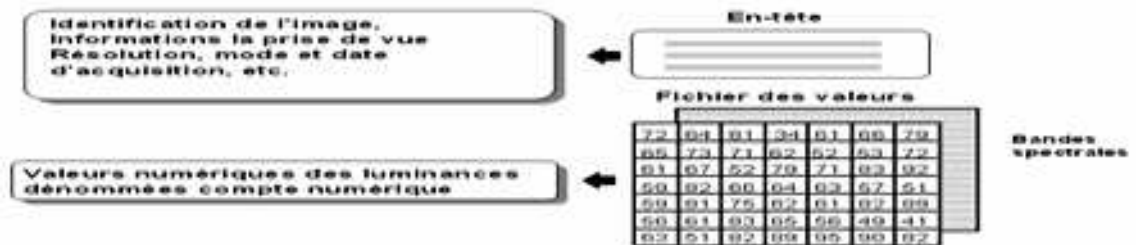


Fig.22. L'image numérique (valeurs comprises entre 0 et 255 (codage 8 bits))

III.3.1.1. LES BANDES SPECTRALES DU LANDSAT

Le premier satellite civil d'observation de la Terre a été Landsat en 1972. (Earth Resources Technological Satellite (ERTS)) dû à la NASA. Il embarquait un capteur MSS (Multi Spectral Scanner) dont les pixels mesuraient environ 80 mètres de côté. La seconde génération de satellites Landsat fait son apparition en 1982 avec l'envoi de Landsat 4, qui embarqua un Thematic Mapper (TM) en plus du MSS.

Caractéristiques	Les capteurs de la série Landsat			
	RBV	MSS	TM	ETM+
Bandes spectrales µm	0.479-0.575	0.500-0.600	1 : 0.450-0.515	1 : 0.450-0.515
	0.580-0.680	0.600-0.700	2 : 0.525-0.605	2 : 0.525-0.605
	0.690-0.830	0.700-0.800	3 : 0.630-0.690	3 : 0.630-0.690
		0.800-1.100	4 : 0.730-0.900	4 : 0.730-0.900
			5 : 1.550-1.750	5 : 1.550-1.750
		6 : 10.40-12.5	6 : 10.40-12.5	
		7 : 2.090-2.350	7 : 2.090-2.350	
			Pan : 0.520-0.900	
Codage	Caméra vidéo analogique		8 Bits	8 Bits
Altitude nominale	915 KM		705	699
Angle d'ouverture	11°56		14°8	
Taille du pixel au sol (Résolution spatiale)	40 m		1 à 5 et 7 : 30 6 : 120	1 à 5 et 7 : 30 6 : 60 : Pan : 15
Taille de l'image	170x 185.2 KM			

Tab.17. Résumé des caractéristiques des capteurs de la série de Landsat.

Les capteurs TM détectent la radiation réflétée à la surface de la terre dans sept bandes spectrales dans les longueurs d'ondes du visible et de l'infrarouge proche, moyen et thermique.

A partir de Landsat 7, le capteur devient ETM + (Enhanced Thematic Mapper). Ses huit bandes spectrales sont semblables à celles de TM, sauf que la bande thermique 6 a une résolution améliorée de 60 m. (tableau 17).

De 1986 jusqu'à récemment les produits LANDSAT 7 étaient commercialisés par la société EOSAT. La diffusion est assurée par l'United States Geological Survey (USGS).

III.3.1.2. LES DOMAINES EXPLOITÉS PAR LANDSAT 7 (Tableau.18)

Tab.18. Les bandes spectrales et les domaines spectraux couverts par le satellite Landsat 7

Bandes spectrale	Longueurs d'onde exploitées
ETM1	exploitant la partie bleue du spectre électromagnétique, surtout utilisée pour des études sur l'eau (les radiations bleues ont un bon pouvoir de pénétration dans l'eau). Très sensible aux gaz et aux particules atmosphériques, cette longueur d'onde est assez peu employée, si ce n'est pour réaliser des images en couleurs naturelles
ETM2	exploite les longueurs d'onde du vert. ce canal est employé pour mesurer l'énergie réfléchi par la végétation. et permet également de mettre en évidence le mouvement des sédiments lourds dans l'eau ;
ETM3	correspond au rouge. partie du spectre où les radiations sont fortement absorbées par la chlorophylle et les pigments des feuilles. A contrario, les oxydes de fer du sol sont ici fortement réfléchants (possibilité de mesure de leur abondance). - permet une bonne identification du domaine urbain (surtout les toits de tuiles)
ETM4	Bon indicateur phénologique; c'est le canal du proche infrarouge ; longueur d'onde où la Végétation chlorophyllienne se caractérise par sa très forte réflectance. cette bande permet une bonne cartographie du réseau hydrographique, ou du réseau routier en urbanisme (très peu réfléchant). Ce canal est peu sensible aux effets atmosphériques ;
ETM5	Neutre par rapport aux sols et à la végétation. Sa variabilité dépend surtout de la composante eau ou, d'une façon plus générale, de l'humidité des objets ;
ETM6	exploite une bande spectrale (infrarouge thermique) pour laquelle le rayonnement solaire réfléchi est négligeable. Le rayonnement terrestre émis devient ici important. Ce canal permet la mesure (de nuit comme de jour) de la température de radiance de la surface terrestre. Il permet notamment de distinguer les surfaces de neige ou de glace, les anomalies thermiques.
ETM7	pour l'identification des composants minéraux. Les pics d'absorption (vers 2.2 et 2.35 μm) des liaisons AL et Mg avec OH et CO ₃ permettent d'identifier les minéraux hydratés et les carbonates.

III.4. TRAITEMENT ET EXPLOITATION DES DONNEES

Les données acquises par télédétection sont affectées par les conditions atmosphériques, la topographie de la surface, la distance focale du système optique et la géométrie du capteur. Ces erreurs sont corrigées. La nature, les caractéristiques et les phénomènes propres la surface terrestre sont ensuite être mesurés, interprétés et cartographiés par des processus d'interprétation manuels ou par des processus de transformation numériques assistés par l'ordinateur. L'ensemble de ces processus de correction et de traitement peuvent être classés en 4 catégories :

1. Prétraitement
2. Rehaussement de l'image
3. Transformation de l'image
4. Classification et analyse de l'image

III.4.1. PRETRAITEMENT DES DONNEES

On appelle fonctions de prétraitement les opérations qui sont normalement requises avant l'analyse principale et l'extraction de l'information. Les opérations de prétraitement se divisent en corrections géométriques et en corrections radiométriques.

III.4.1.1. Corrections radiométriques

Ces opérations consistent en une correction radiométrique des données de réflectance du sol qui sont affectées par les effets de l'atmosphère (absorption et diffusion).

III.4.1.2. Redressements géométriques

Pour intégrer les données spatiales dans des bases de données cartographiques. Les satellites et les avions enregistrent en effet une information d'une surface terrestre sphérique impliquant des déformations de l'image notamment sur les bords.

- **Orthorectification** : opération de superposition de l'image à une projection
- **Géoréférencement**: Affectation de coordonnées géographiques à chaque pixel.

A l'aide du Logiciel de traitement d'image ENVI des ajustements sont établis entre les images acquises afin d'aligner les 3 images Landsat ; celle de l'année 1987, ETM2000, et la Landsat2008 dans un même référentiel de coordonnées UTM Clarck 1880 et avec les mêmes points de contrôle GCP en utilisant une carte de référence. Cette opération est indispensable afin d'avoir des repères parfaitement superposables nécessaires aux diverses analyses comparatives diachroniques.

III.4.2. REHAUSSEMENT D'IMAGES

Le rehaussement consiste à améliorer l'apparence de l'imagerie pour aider l'interprétation et l'analyse visuelles. Les fonctions de rehaussement permettent l'étirement des contrastes pour augmenter la distinction des tons entre les différents éléments d'une scène, et le filtrage spatial pour rehausser (ou éliminer) les patrons spatiaux spécifiques sur une image.

III.4.3. TRANSFORMATION D'IMAGES

La transformation de l'image combine le traitement des données de plusieurs bandes spectrales. Ces transformations ont pour objectif essentiel d'extraire les nombreuses informations, en associant, par exemple une masse végétale (biomasse) en reconnaissant les catégories de végétation recouvrant le sol. Une combinaison de bandes spectrales peut être un bon indicateur d'une propriété biophysique de la couverture du sol.

III.4.4. CLASSIFICATION ET ANALYSE D'IMAGES

Il existe différentes méthodes de classification, en connaissance du terrain nous avons opté pour une classification dite supervisée par maximum de vraisemblance, elle consiste à utiliser des zones-échantillon pour déterminer les caractéristiques des classes d'objets, qui deviennent également des centres dans l'espace multispectral.

La classification se base sur une analyse statistique de la distribution des vecteurs spectraux de l'échantillon pour définir des zones de probabilité équivalente autour de ces centres.

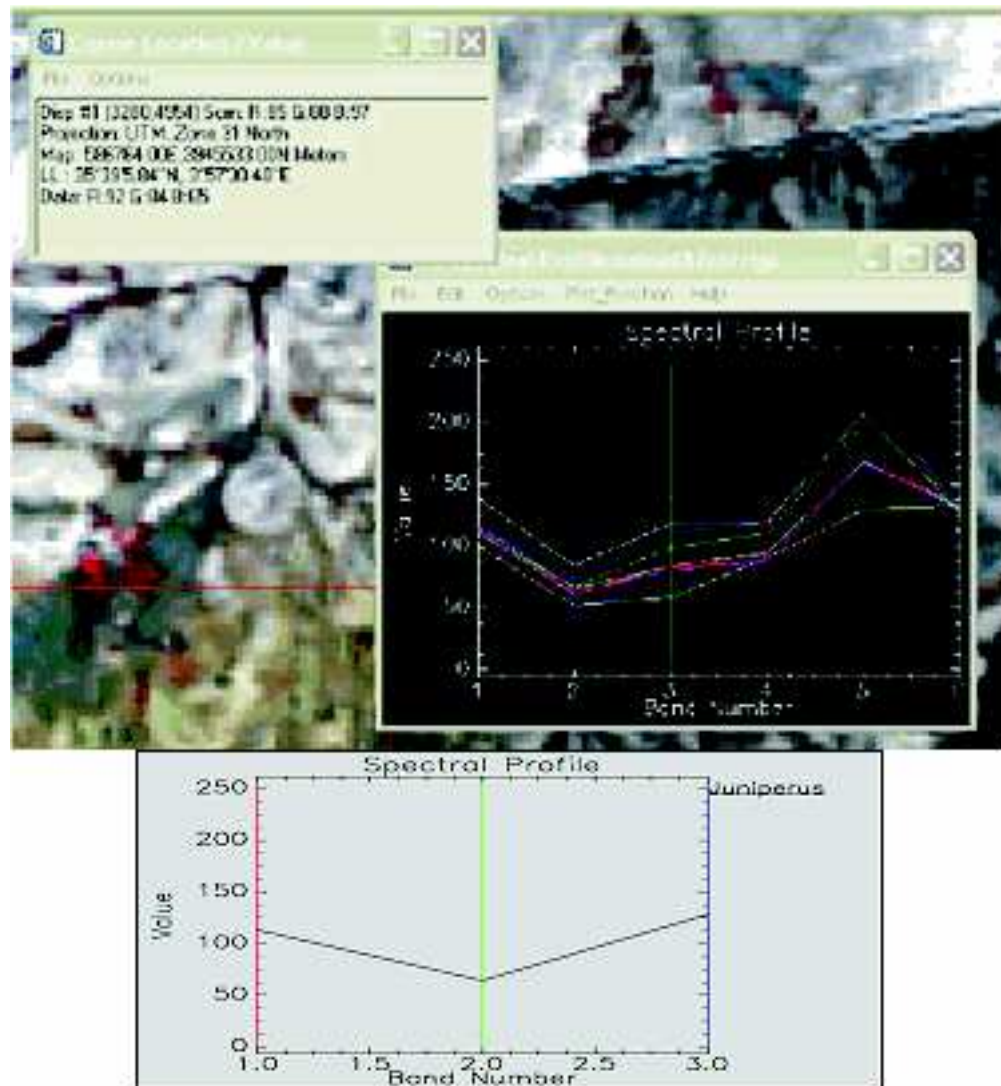


Fig.23.valeurs numériques et profils spectrales des objets de l'image sous ENVI

La probabilité d'appartenance à chacune des classes est calculée pour chaque vecteur spectral et le vecteur est affecté à la classe pour laquelle la probabilité est la plus élevée. ENVI et Erdas permettent d'utiliser plusieurs classes.

La composition colorée livre un nombre important d'information, l'étude des couleurs des pixels met en évidence un certain nombre de phénomènes.

L'analyse d'éléments significatifs, la forme de la distribution des valeurs des valeurs radiométriques permettent l'étude des phénomènes caractéristiques.

Pour des résultats satisfaisant, on procède à des traitements de post-classification afin d'obtenir une amélioration visuelle qui facilite l'interprétation.

III.5. Réalité terrain

Des investigations de terrains ont servi à la vérification de l'échantillonnage, à la création des zones tests appelé « Regions of interest, fichier. ROI », ainsi qu'à la validation des classifications sous logiciel envi (tab19)

ROI	pixel	lat	long	classes
ROI1	3377	35 32 27 65	3 59 02.60	Alfa
ROI2	3434	35 32 1 77	4 0 0 28.80	Armoise
ROI3	3384	35 33 20 16	3 59 30.20	Pistacia
ROI4	3525	35 38 11 82	4 2 21.98	cultures
ROI5	3134	35 35 1.83	3 54 33 46	Genevrier
ROI6	3622	35 37 27.95	4 4 18.29.	salsola
ROI7	3309	35 34 4.70	3 58 1.37	désertification

Tab.19. Pixel d'échantillonnage « zone d'intérêt »

Avant le développement des techniques de télédétection telles que la photographie aérienne et l'imagerie satellite, les relevés de terrain constituaient l'unique outil cartographique disponible.

Des relevées peuvent servir de données de réalité de terrain indépendantes pour la classification par télédétection. Cependant suite au développement des systèmes GPS (Systèmes de positionnement global), ces données de terrain peuvent être enregistrées sous forme numérique, pouvant être directement intégrés aux bases de données SIG.

III.6.Création d'indices de végétations

Les indices de végétations permettent de mettre en évidence la quantité et l'état de végétation. Ils sont basés sur les propriétés radiométriques de la végétation.

On a utilisé les canaux 3 et 4 de Landsat TM qui mesure le pourcentage d'écart entre le rouge visible et le proche IR. Le contraste entre les deux canaux qui permet au mieux d'exploiter les réponses spectrales de la végétation. La formule de cet indice de végétation est la suivante :

$$NDVI = (\text{réfl.canal 4} - \text{réfl.canal 3}) / (\text{réfl.canal 4} + \text{réfl.canal 3})$$

Grace à l'utilisation du logiciel ENVI nous avons obtenu des cartes NDVI pour les 3 images Landsat NDVI 1987, NDVI 2000 et NDVI 2008

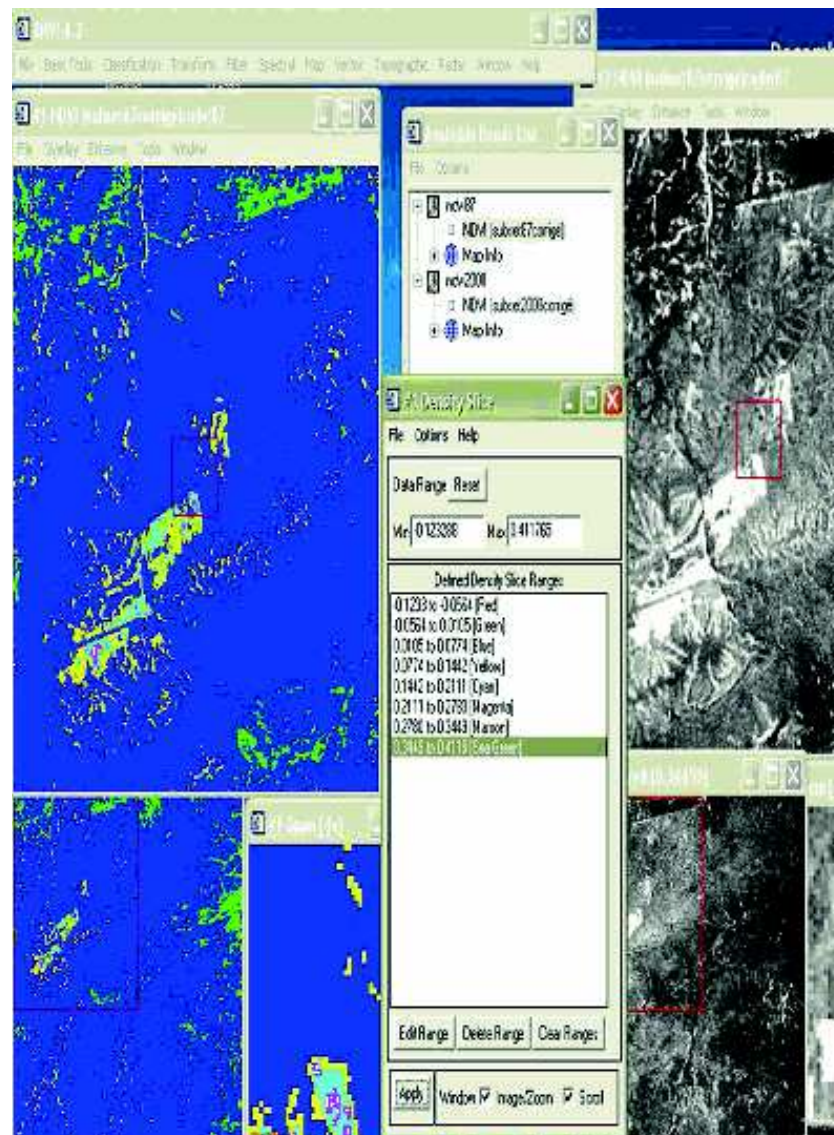


Fig.24. Classification en indices de végétation

III.7. CHOIX D'UNE Technique de Détection des changements

La détection nécessite l'utilisation de données multi-temporelles, il existe plusieurs techniques. Le choix d'une technique lors d'une application de détection de changement dépend de l'information recherchée et de la base de données disponible :

Dans notre cas d'étude nous avons opté pour une méthode combinée celle de différence des images obtenues des produits de classification en Indice de végétations normalisés NDVI appartenant à des images de deux dates :

$$\text{NDVI à } T_0 - \text{image NDVI à } T_1$$

La procédure consiste simplement en soustraction des valeurs numériques de pixels DNs d'une date (t_1) à partir de celle de l'autre date (t_0)

Calcul des images de différences : produit de classification sous ENVI, l'image caractérisant la différence entre un état initial et un état final.

L'image de sortie peut être une seule bande ou autres type de données

La différence est calculée en appliquant une opération de soustraction de l'image initiale à partir de l'image finale. Les classes sont définies par des seuils de changements.

- Les changements positifs identifient les pixels devenus plus lumineux (l'état de luminosité final était plus important que l'état de luminosité initial)
- Les changements négatifs identifient les pixels devenues sombre (l'état de luminosité final était moins important que l'état de luminosité initial).
- L'amplitude de changements est présentée sous forme de classes de valeurs à partir de la valeur 0.

Des seuils et des masques produisent une cartographie et des informations de changement entre la période 1987 et 2008. Plus la valeur T est petite, plus le nombre de pixels changés augmente.

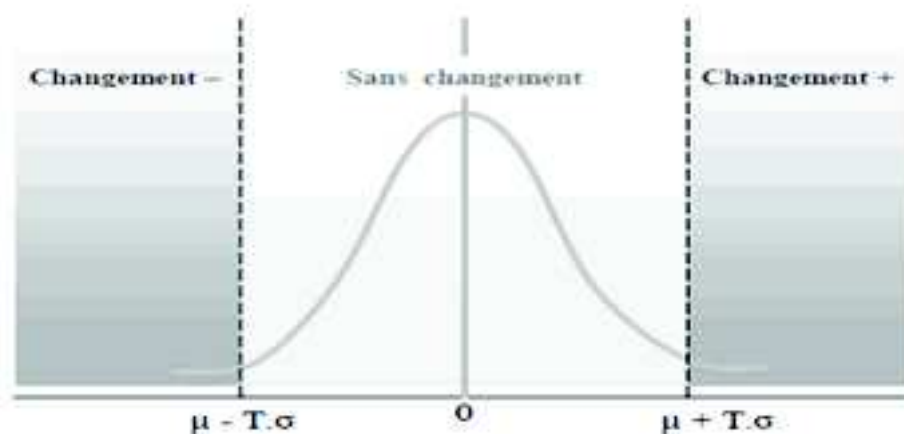


Fig.25. classes de changements

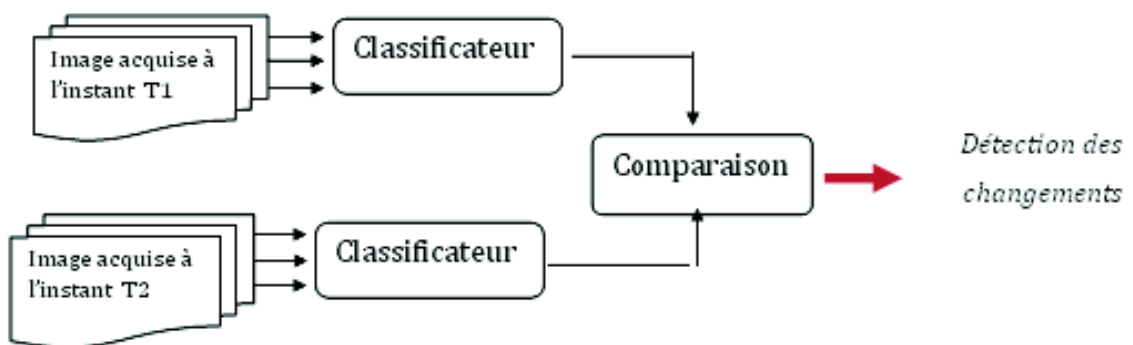


Fig.26. Détection des changements par analyse comparative

III.8. Base de donnée et Système d'informations

Dans l'objectif est de détecter les éventuelles changements de la couverture végétale, les données, les images et les classifications issues de la télédétection seront intégrés ensuite exploitées dans les Systèmes d'Information Géographique. SIG ; outils spécialisés dans le maniement et le croisement d'informations géographiques numérisées, en vue de l'analyse et de la gestion.

Les images de classification importée vers l'outil SIG sous forme Raster en fichier « .Jpg »

Une conversion de format est nécessaire ; soit automatiquement ou par digitalisation, cette dernière a été utilisé pour de meilleur précision pour les 3 images (TM 1987, ETM +2000 et 2008.

III.8.1. Données de types graphiques

- Des fichiers images de 1987, 2000, et 2008 de format raster ont été transformés en format vecteur «fichier .EVF » sous logiciel de traitement d'image ENVI vers des formats «fichier .Shape» sous Arcview (SIG Esri),
- Des statistiques et des diagrammes sont créés dans Arcview et tableur Excel

III.8.2. Données de type descriptives

- Transfert des fichiers de table _ « .dbf» ArcView3.2 vers _« .Xls » Excel
- Introduction de données alphanumérique nécessaire à l'analyse dans les tables d'Arcview.



Fig.27. Progression de la création de topologie vecteur dans ENVI

III.9. Traitement et analyse

III.9.1. Traitement cartographique

Les changements et la dynamique au niveau de l'occupation des terres ont été extraits grâce aux avantages des observations multi-dates et macroscopiques offerts par les données de télédétection.

Les modèles de paysage numériques, extraits à partir de l'interprétation des images TM et ETM de Landsat du mois d'Avril 1987, 2000 et 2008 relatifs à la zone délimitée de Mergueb ont servi de base de données auxquelles nous nous sommes référés pour les analyses de la fluctuation végétation

- mise en place d'une minute d'interprétation, dont la précision a été validée par la réalité de terrain. D'après Pontius (2000), une étude de l'occupation des terres peut être validée si l'indice de Kappa est compris entre 50 % et 75 % ;
- mise en place d'une banque de données. La superficie des cellules d'occupation des terres sont évaluées à l'aide de *X tools*, installé dans Arcview 3.2.

III.9.2. Analyse spatio-temporelle

L'analyse de la dynamique de l'occupation des terres a été faite à partir du calcul du taux moyen annuel d'expansion spatiale.

Nous avons calculé les taux de changement entre les surfaces des classes d'occupation du sol entre les dates :

- 1987– 2000 (T1 – T2),
- 2000 - 2008 (T2 – T3)
- 1987-2008 (T1 – T3).

Pour cela, nous avons utilisé l'équation proposée par la FAO en 1996 et dont l'utilisation est très courante dans les études sur le changement d'occupation du sol (Velazquez et al.2002 ; Noyola-Medrano, 2006).

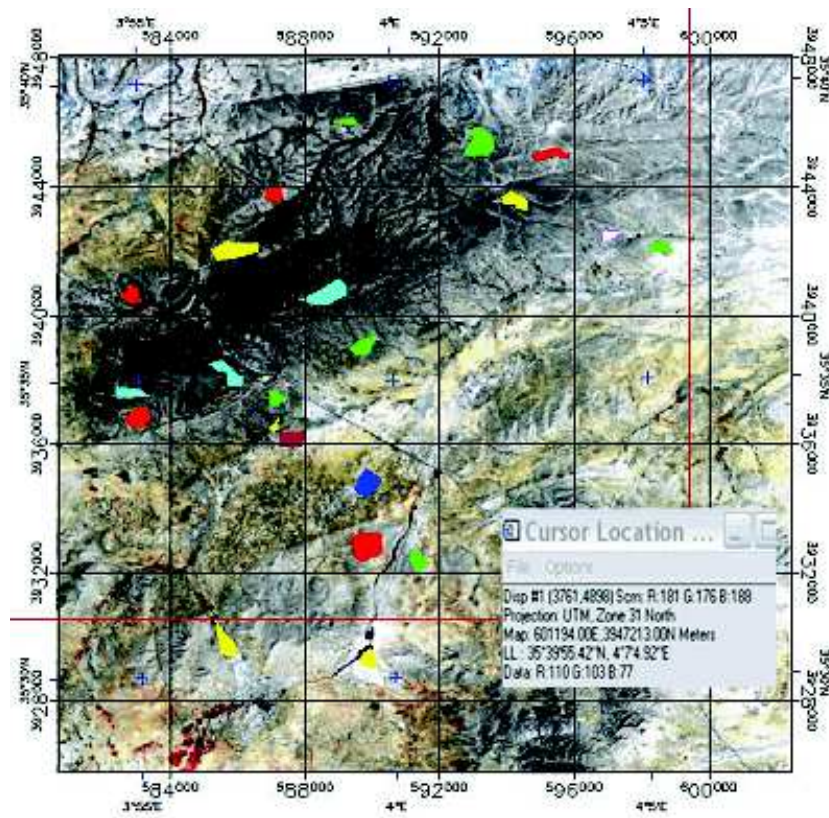
$$(t_0-t_1/t_0)*100$$

III.10. Évaluation des zones

C'est la phase de restitution, consiste à présenter les informations sous formes de cartes, et tableaux. Les changements observés et combinées aux espèces représentant chaque unité spatiale ont permis d'évaluer et de catégoriser des classes de risques ou de vulnérabilités selon les critères de milieux et de pression et en fonction des paramètres suivants

- Exposition (aux risques):
- Sensibilité:
- Capacité adaptive
- Statut de conservation en cours

Analyse multi-temporelle de la végétation de la réserve naturelle d'El Mergueb (M'sila) par application des techniques geomatiques



File ROI_Type Options Help

Window Image Scroll Zoom Diff

ROI Name	Color	Pixels	Polygons	Polylines
* Alla steppe forma Red	Red	1,896	5/1,896	0/0
Artemisia steppe I Green	Green	1,637	6/1,637	0/0
Pistacia atlantica Blue	Blue	472	1/472	0/0
Agriculture Yellow	Yellow	1,651	5/1,651	0/0
Juniperus phoenix Cyan	Cyan	1,363	3/1,363	0/0
Salsola steppe Magenta	Magenta	160	1/160	0/0

New Region Goto Stats Grow Pixel Delete

Fig.28. Zone d'entrainement et vérification GPS

CHAPITRE IV : RESULTAT ET DISCUSSION

Introduction

Aux débuts de l'histoire des études de végétation, l'espace n'est qu'un cadre, qu'il convient de remplir au travers de la cartographie d'une typologie jugée pertinente "d'associations" ou de groupements" d'espèces. Ensuite, l'espace devint la scène des relations espèces-milieux et des processus successionnels, ce qui généra une vision plus riche des thèmes cartographiques au travers des "*séries de végétation*". Il faudra attendre les deux dernières décennies pour que l'idée d'une synergie entre hétérogénéité spatiale, telle que représentée par la "carte", et processus dynamiques, transformant la carte, s'impose pleinement, faisant de l'espace un *facteur écologique* à part entière. (Levin (1992)

Dans ce travail, nous envisageons une analyse multi-temporelle pour déceler la dynamique de la végétation de la zone d'El Mergueb à travers la cartographie thématique et l'analyse descriptive de l'évolution et des changements à l'aide des techniques de la géomatiques.

IV.1. L'occupation du sol durant les périodes 1987, 2000 et 2008

L'occupation du sol est une image reflétant en même temps l'utilisation du sol (urbanisme, agriculture, activités industrielles, transport, sylviculture, tourisme, protection de nature...) et les écosystèmes (des biomes aux habitats des espèces). Elle a en conséquence un rôle particulier dans l'analyse économique-environnementale; devenue plus important grâce aux outils et ensembles de données SIG qui permettent de produire des statistiques à différentes échelles et qui ensuite détectent les interactions (longues tendances, hotspots) à travers des paysages façonnés par la géographie et l'histoire.

Les cartes d'occupation du sol sont générées par classification, une fois les zones d'entraînement(ROI) sont tracées sur les images stellites.

Les objets délimités sont caractérisés par leur réflectance, textures et structures (GUY, 1970 in HIRCHE ; 1989), les signatures spectrales ont permis d'individualiser les unités. Une documentation existante, des cartes thématiques et une connaissance de terrain sont indispensable pour la réalisation de la classification.

Les fichiers numériques sont utilisés comme cartes de références pour conduire la détection des changements, le suivi des transformations, la dynamique, la quantification de la dégradation, et la délimitation spatiale.

Le but de la classification est d'identifier les groupes de pixels homogènes représentant plusieurs entités ou classes.

La classification supervisée des données satellitaires de la zone d'El Mergueb a été obtenue avec la méthode du maximum de ressemblance basée sur des points de contrôles, ce qui a permis de quantifier les classes catégorielles couvrant la zone d'étude en regroupant des pixels de mêmes propriétés.

Les catégories sont perfectionnées, selon les différentes signatures générées pour déterminer les classes d'appartenance de chaque pixel. Une fois les signatures spectrales ont été créées, les matrices de contingence et de séparabilité et autres techniques sont utilisées pour vérifier si une signature particulière montre une représentation du pixel dans l'image classifiée,

Les résultats de la classification ont été comparés avec la vérité terrain à l'aide de points de contrôle ; une investigation a été menée au niveau de sites échantillonnés.

Suite à l'amélioration de morphologie et aux techniques de post classifications tel que le filtrage, l'évaluation de nos résultats à partir des matrices de confusion, nous a permis de constater que les indices Kappa (0,686 pour l'image Landsat 1987; 0,747 pour l'image Landsat 2000 et 0,84 pour l'image Landsat 2008) et la mesure d'exactitude de l'ordre de 70% à 86% pour les trois cartes, indiquent que les classifications sont de bonne qualité.

Pour les zones d'entraînement et l'identification, nous avons utilisé comme source première d'information, la carte thématique éditée par le PNUD représentant les groupements végétaux de la zone d'El Mergueb, basée sur l'imagerie spot dont la taille du pixel est de 5 mètre qui offre une très bonne qualité d'extraction.

D'après l'analyse de la qualité de nos données, nous pouvons conclure que la qualité de la classification est liée à la résolution de l'image. Sauf quelques confusions qui se situent entre la classe de l'alfa et l'armoise, ce qui est probablement lié surtout à leurs associations ainsi qu'aux codominances de ces deux espèces formant des groupements mixtes.

D'autre part, lors d'une classification, le discernement entre deux espèces de même type surtout non ligneuse n'est pas très automatique, beaucoup d'investigation terrain sont nécessaires.

Les 3 images satellitaires Landsat 1987, 2000 et 2008 ont été acquises pour la même période et possèdent la même dimension du découpage (SUBSET) afin de pouvoir effectuer des applications, comparaisons et des calculs.

La dimension de chaque image couvre une zone ayant une surface de 48 614 ha, de résolution spatiale de 28m / 28m, elle permet de distinguer une surface à partir de 784m², de ce fait une surface de 1ha est facilement cartographiable.

La technique de classification a permis de générer automatiquement des cartes thématiques (figure 31, 32 et 33) à partir des 3 données images Landsat (TM et ETM+) des 3 années ; 1987, 2000 et 2008, chaque cartographie thématique représente les classes suivantes :

- Classe 1 : Formation à base d'Alfa
- Classe 2 : Formation à base d'armoise
- Classe 3 : Formation à base de *Salsola vermiculata*
- Classe 4 : représentant le Genévrier
- Classe 5 : Formation à base de pistachier
- Classe 6 : zones de culture
- Classe 7 : zones désertisées (ou sol nues)

Chaque classe est codée par une couleur qui représente une unité écologique réparties en îlots discontinus.

IV.1.1. État actuel de l'occupation du sol (2008)

La carte de l'occupation des terres traduit les traits essentiels de la végétation actuelle (structure et composition floristiques) ainsi que l'impact de l'homme sur la végétation (LONG, 1968 in LONG, 1974 in HIRCHE, 1989), cette carte constitue déjà une étude et une expression des ressources végétales actuelles et de leur localisation dans l'espace.

On distingue 2 grands types de formations végétales existant au niveau de la zone :

- Formations herbacées : Alfa, Armoise, Salsola
- Formation arborées à Pistachier et à Genévrier

Ces formations forment une succession d'îlots suivant un gradient de dégradation représentant une mosaïque de paysage. L'état actuel de la végétation reflète les conditions du milieu lié aux facteurs anthropiques et climatiques, La carte résultante du traitement par télédétection à partir des données LANDSAT pour la végétation de l'année 2008 (figure30) se base sur les traits physiologiques dominants, exprimant les différents faciès.

Les steppes herbacées à Armoise et Alfa sont les principales formations végétales naturelles composant le site. Les steppes arborées et arbustives sont également identifiées mais sont confinées à des sites bien localisés, ce sont des formations à base de *Pistacia atlantica* et de *Juniperus phoenicea* sur les reliefs. Les steppes se caractérisent par un tapis herbacé saisonnier qui se développe en automne, en hiver et au printemps.

Les classes les plus répandues sont celles de l'armoise situées dans la partie Sud Est en parallèle aux zones de cultures, elles renferment les surfaces les plus importantes atteignant 13221,4ha soit plus de 27% et 12784,6 ha soit plus de 26 % respectivement, par rapport à la surface total du territoire.

La classe des surfaces cultivées sont représentées à travers tout le territoire couvert par la carte, autour des réseaux hydrographiques, où les conditions sont plus favorables à leurs développements.

Les surfaces représentant la classe attribuée aux formations à base d'Alfa sont moyennement élevées, elles occupent 6269,3 ha, soit presque 13% du territoire ; cependant elles correspondent relativement aux 1/2 des classes précédentes (agriculture ou armoise)

On rencontre l'Alfa, le plus souvent sur des Glacis, ce sont des faciès à alfa pures et d'autres le plus souvent mélangés à d'autres espèces associées en groupements.

La classe identifiée pour les formations à base d'espèces ligneuses Genévrier atteint une superficie de 6395,2 ha soit 13% du territoire. Tandis que la classe du pistachier présentent des proportions plus réduites ; 2986,6 ha seulement soit 6% des surfaces totales.

La plus faible superficie est celle relative à la classe attribuée aux formations à base de l'espèce *Salsola vermiculata*, elles occupent 1717,2 ha seulement soit 3,5% du territoire couvert par notre image satellites.

La dégradation du couvert végétale semble très important vu la discontinuité des classes et surtout l'identification d'importantes surfaces correspondant aux sols nus et désertifiés, cette classe renferme un territoire de 5240 ha soit près de 11% des surfaces de la région.

La répartition de ces classes reflète des formations qui constituent une végétation basse et clairsemée, soumise à une exploitation humaine très ancienne.

IV.1.2. Etat de l'occupation du sol en 2000

La classification de l'imagerie Landsat ETM+ pour l'année 2000 (figure31) ; affiche un paysage dominé par une végétation herbacée à base d'armoise et de surfaces destinées à l'agriculture

Les formations à armoise et les cultures occupent la majeure partie du territoire, ce sont les classes les plus importantes en terme de superficies, elles renferment une surface de 12 509,7 ha, et 10 006 ha respectives ; soit 26% et 20% du territoire.

La classe des formations à base d'alfa occupent la troisième position, cependant, sa superficie était supérieure à celle de l'année 2008, cette classe occupait 8293,9ha soit plus de 17% du territoire.

Une autre espèce herbacée, c'est la *Salsola vermiculata*, renferment une surface de 5626,7 ha, soit plus de 11,5% du territoire, ces formations sont bien développées, elles envahissent le paysage steppique à l'Est de la zone d'étude, elles sont en contact avec les formations à Alfa.

Les formations ligneuses à base de Genévrier occupent 4425,4736 ha soit 9% du territoire.

Celle à base de pistachier est très réduite, avec une superficie de 2580,7 ha cette classe représente 5% seulement de la surface totale.

La classe attribuée aux zones désertisées, sols dépourvus de végétation renferment également une grande part du territoire, on enregistre 5171,5426 ha soit près de 11%

IV.1.3. État de l'occupation du sol en 1987

La végétation de la zone couverte par l'imagerie satellitaire TM de 1987 (figure32); fait apparaître des unités plus homogènes que celles observées dans les précédentes cartographies issues des classifications d'imagerie de 2000 et 2008. Les entités affichées correspondent à des formations qui sont bien individualisées, facile à délimiter. Ce qui atteste d'une répartition relativement moins fragmentée.

On peut distinguer les formations à armoise qui sont les mieux représentées, les surfaces occupent 11119ha soit 23% de la zone dominant la partie nord de la zone couverte par l'image.

En seconde position, nous avons enregistré des classes d'identification des formations arborées à pistachier (*Pistacia atlantica*) avec une proportion assez importante par rapport au total, sa superficie atteint 9875,61ha soit 20% du territoire ; elle semble caractériser le paysage de la zone après l'armoise. Par rapport aux autres périodes d'observation (2000 et 2008), nous constatons que la classe identifiée pour les formations à *Pistacia atlantica* est assez considérable en termes de superficie, ce qui s'explique que l'espèce a dû subir une exploitation importante au cours de ces décennies.

Par ailleurs, nous distinguons d'autres formations ligneuses à base du genévrier occupant un espace plus réduit; 2664 ha soit seulement 5,4%. Les formations à base d'Alfa

et les zones cultivées possèdent des surfaces à des proportions presque égale elles renferment respectivement ; 8057 ha et 8811 ha soit 16,5% et 18%.

Au sud du territoire classifié on distingue la classe appartenant aux zones dépourvues de végétation ou désertifiée qui apparait en petit ilots qui atteignent dans l'ensemble une superficie de 6277 ha soit 13% par rapport à la surface total.

La classe identifiant les formations steppiques à base de Salsola est la moins représentée sa surface est de 1810 seulement soit 3,% du territoire total du site défini par les limites.

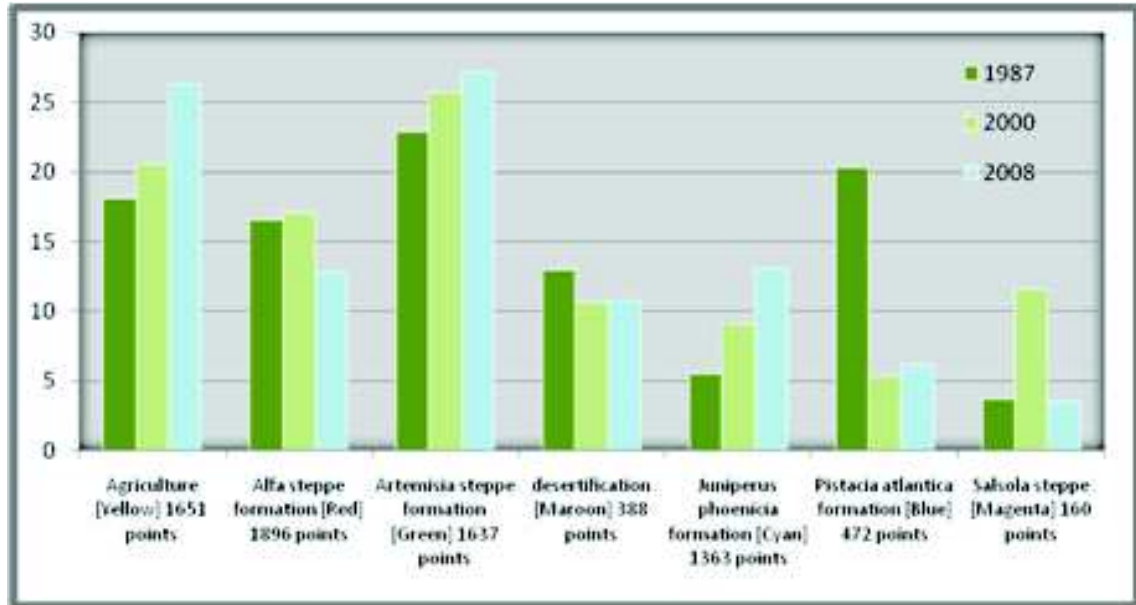


Fig.29. Les surfaces des formations végétales de la réserve naturelle d'El Mergueb en 1987,2000 et 2008

Les pressions naturelles et anthropiques qui s'exercent sur les communautés biologiques se traduisent par des modifications de l'occupation de la végétation (limites naturelles, compositions, floristiques et diversités) entraînant la disparition des espaces naturels.

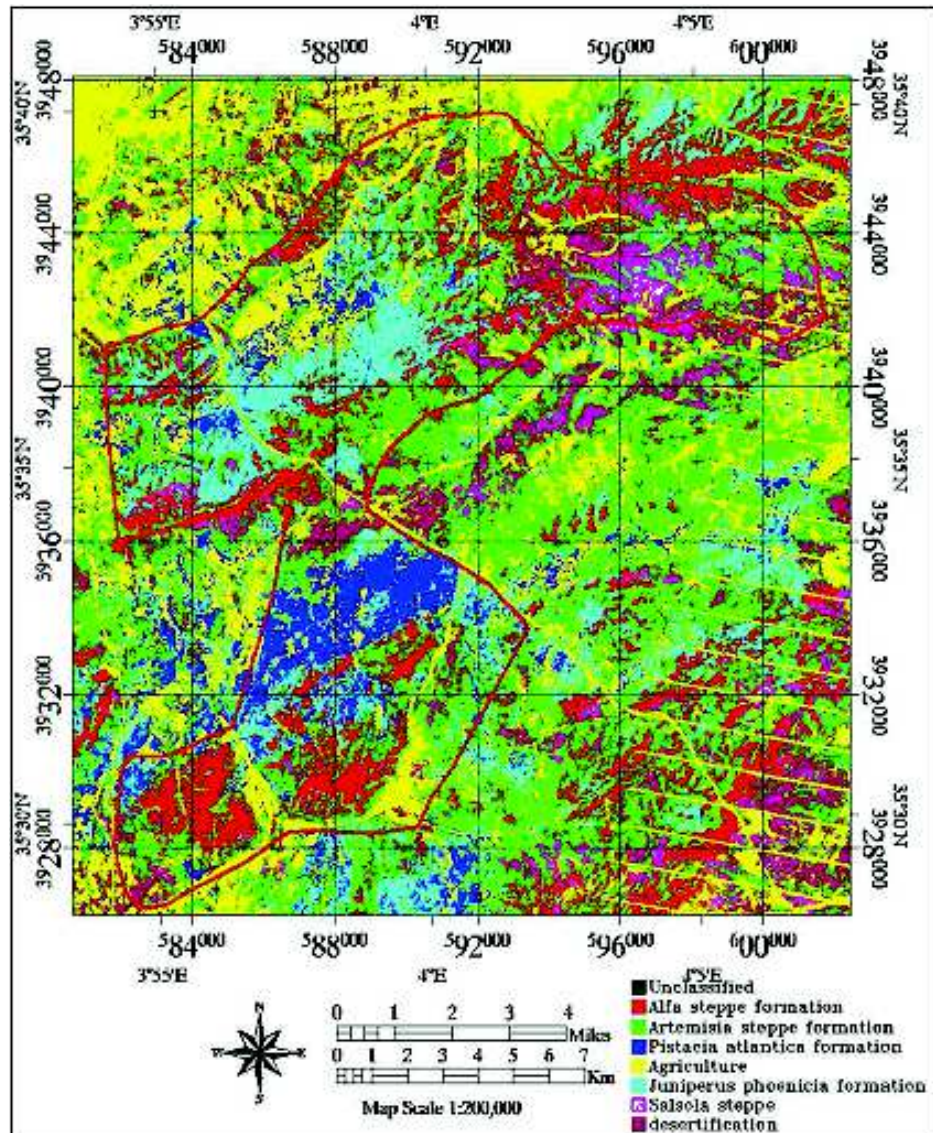


Fig.30. Classification supervisée à partir de l'image Landsat 7 ETM+ 2008 de la réserve naturelle d'El Mergueb

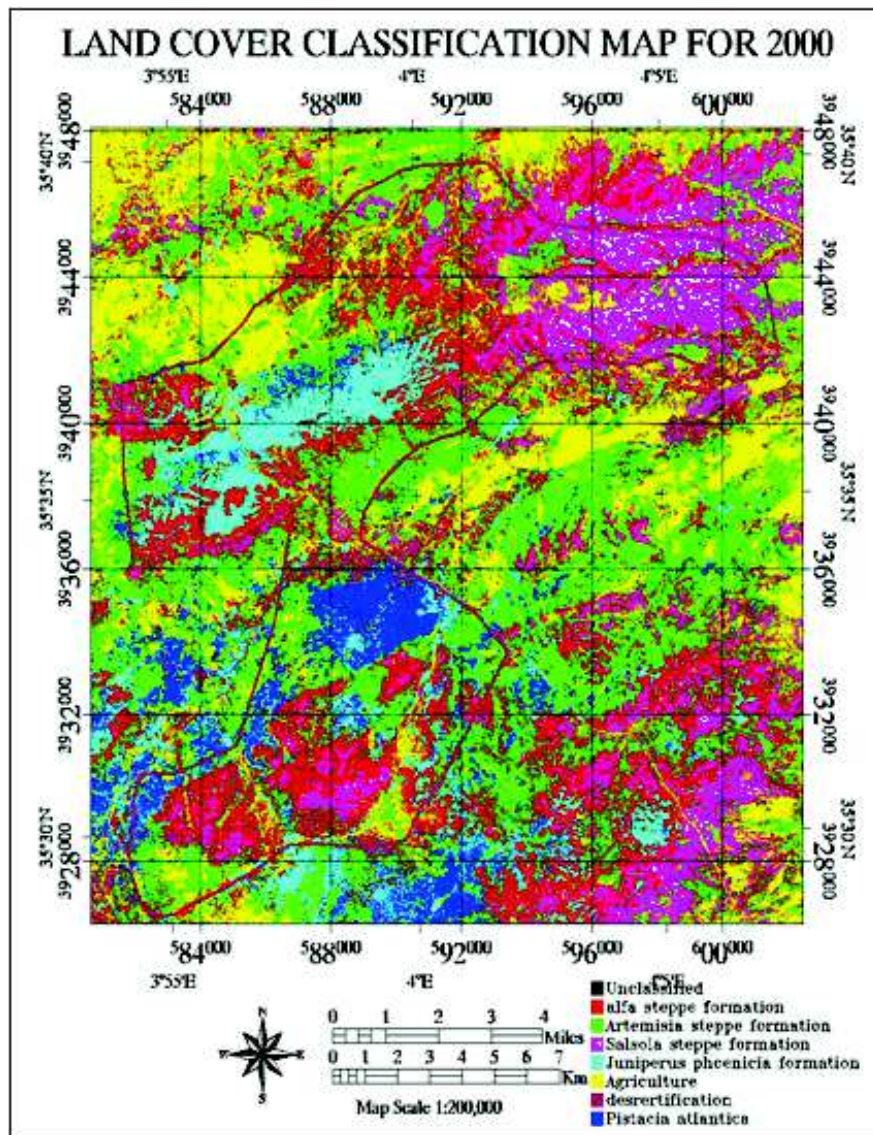


Fig.31. Classification supervisée à partir de l'image Landsat 5 TM 2000 de la réserve naturelle d'El Mergueb

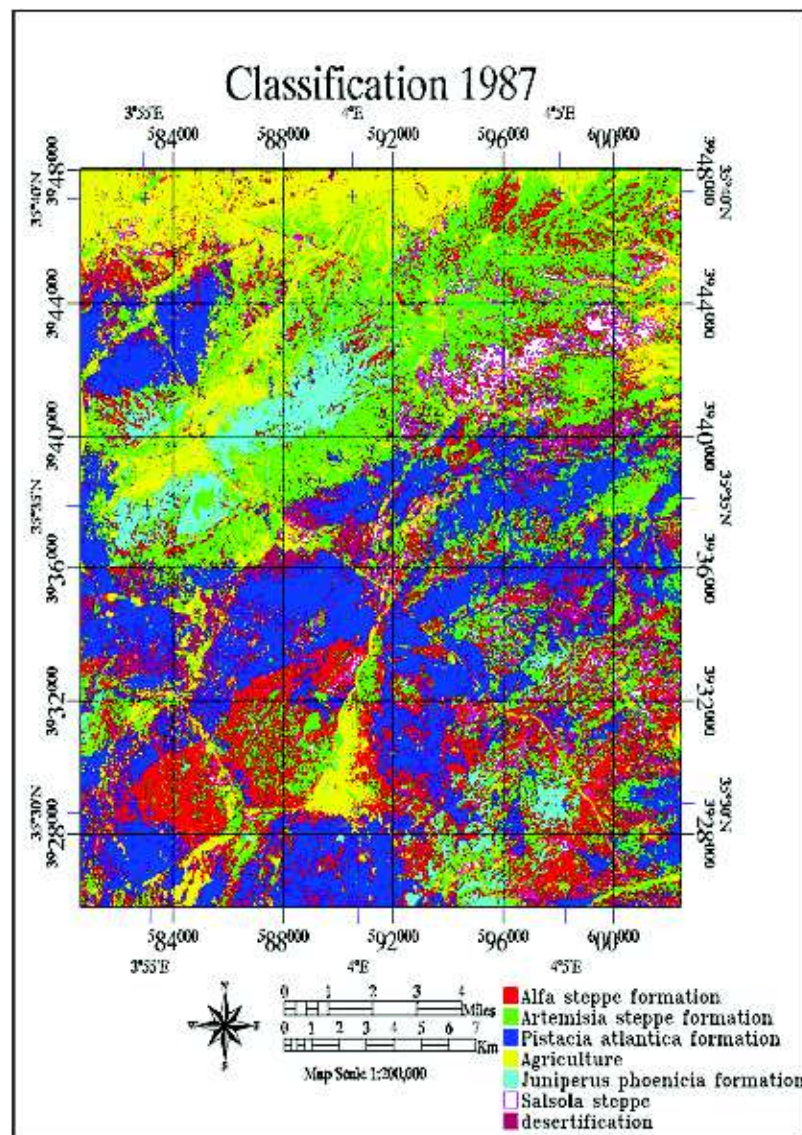


Fig.32 . Classification supervisée à partir de l'image Landsat Mss 1987 de la réserve naturelle d'El Mergueb

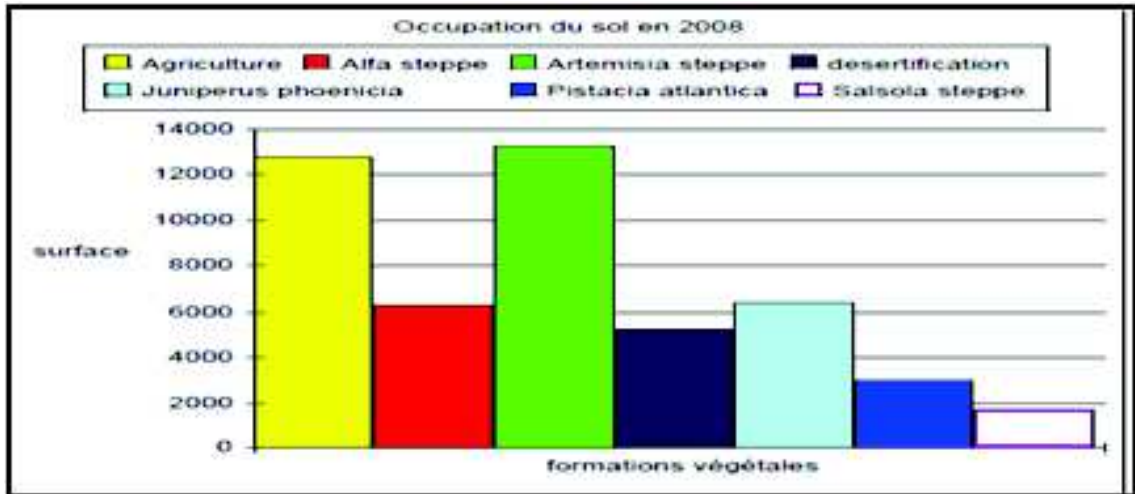


Fig.33. diagramme représentant l'occupation du sol de la réserve naturelle d'El Mergueb à partir de Landsat 7 ETM+ 2008

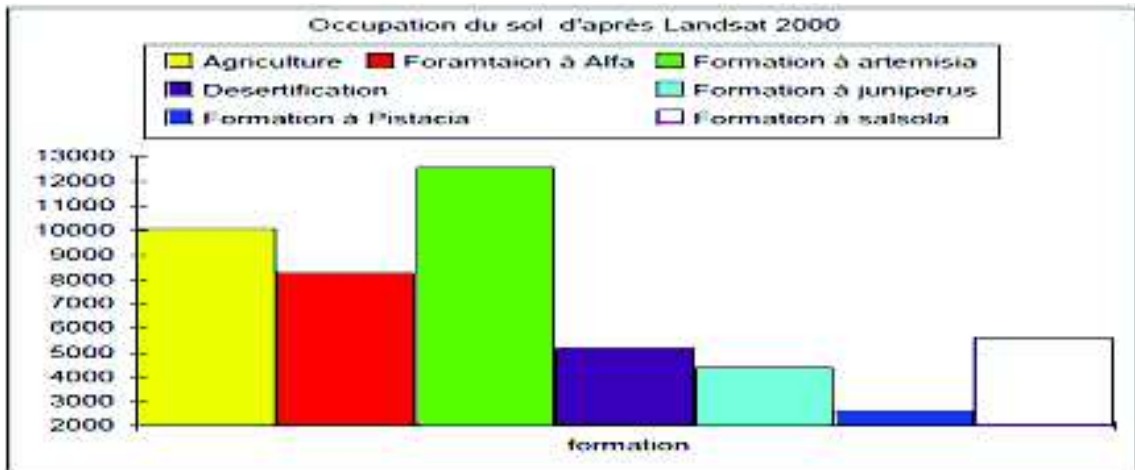


Fig.34. diagramme représentant l'occupation du sol de la réserve naturelle d'El Mergueb à partir Landsat 5 TM 2000

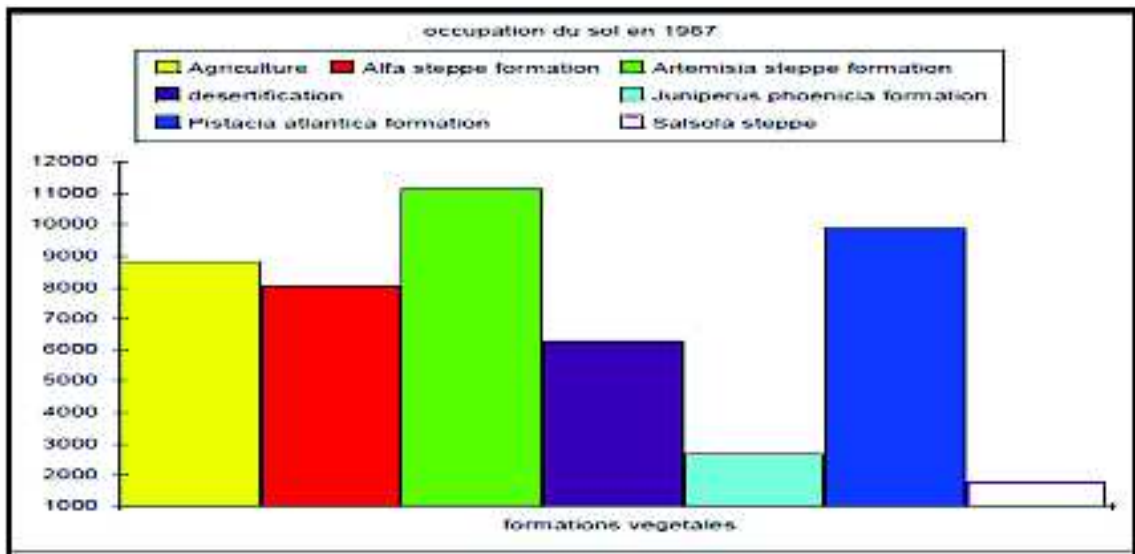


Fig.35. diagramme représentant l'occupation du sol de la réserve naturelle d'El Mergueb à partir Landsat Mss 1987

En conclusion, nous avons identifié des différences significatives entre l'état de la végétation au entre les 3 périodes observées; 1987, 2000 et 2008. Des fluctuations se sont produites au sein de chacune des classes mise en évidence par la classification supervisée des données satellitaires, cependant cette dernière décennie 2000-2008 la désertification semble se stabiliser aux alentours des 10% du territoire ((figure29, 33, 34 et 35).

Depuis l'idée de proposition du site en unité de conservation, il semblerait que l'état du couvert végétal en 2008 révèle l'impact de la mise sur pied d'une stratégie de restauration, suite aux différents reboisement dont la réserve a fait l'objet, nous remarquons une reprise de développement d'espèces arborées, c'est le cas du pistachier et du genévrier), dont les surfaces ont augmenté en 2008.

Le surpâturage entraîne également une modification de la couverture végétale. Il y a diminution de la production végétale consommable, parfois raréfaction du nombre des espèces présentant un intérêt pastoral et, éventuellement, une extension des espèces inaliéables (non appréciées du bétail). Tandis que l'éradication des espèces ligneuses, bien qu'elle soit le plus souvent diffuse, peut avoir une action très néfaste, surtout dans le cas où le prélèvement des racines empêche la régénération des sujets par rejet de souche.

IV.2. Classification en Indices de végétations

Nous avons utilisé le NDVI et la transformation en Tasseled Cap dont la combinaison offre une meilleure appréciation de l'image.

La transformation de l'image multi-spectrale en indice de végétation normalisé permet d'obtenir une seule bande d'image représentant la distribution de la végétation, les valeurs du NDVI indiquent les quantités de la végétation chlorophylliennes au niveau des pixels. Plus la valeur est élevée, plus la végétation est importante.

Le NDVI généré par le logiciel ENVI utilise un algorithme standard pour des bandes spectrales Landsat TM, Landsat ETM et Landsat Mss:

Les résultats enregistrés sont représentés par des valeurs allant de -1 à +1.

Utilisation de Tasseled Cap

Pour les données Landsat Mss, la transformation en tasseled Cap effectue une transformation orthogonale de données originales en un nouvel espace quadridimensionnel qui consiste en :

SBI : Indice de brillance du sol

GVI : Indice de verdure

YVI : yellow stuff index

NSI : Non such indice associé avec les effets atmosphériques

Pour les données Landsat TM, nous avons les 3 indices (brillance, verdure et le troisième lié aux caractéristiques du sol y compris l'humidité.

L'analyse des données de composition colorée d'indices de végétation et d'indice de brillance à partir des données Landsat ETM+ 2008 et des données Landsat Mss

1987 révèlent des différences apparentes entre les deux périodes 1987 et 2008 (figure 36 et 37). Ce qui a permis de distinguer le recouvrement de la végétation, d'une part, et d'autre part cette classification met évidence une dynamique de la végétation qui apparait très nettement au niveau des zones à couvert végétal important.

On signale qu'il s'est produit un développement de façon diffuse de la végétation dans la partie Sud-Ouest, tandis qu'une dégradation très importante est observé dans la partie Nord.

Cette apparition de la végétation serait dû à un développement spontanée de la communauté végétale, cette remonté biologique serait probablement le résultat d'une protection de cette zone contre le pâturage intensive dans le cas de mise en défens.

La restauration des steppes par la remontée biologique peut être facilitée et accélérée par divers travaux de conservation des eaux et la réhabilitation par la plantation d'arbres et arbustes fourragers spécialisés et tolérants à l'aridité: *Cactus*, *Atriplex*, *Acacia*... (Le Houérou, 1995).

Par ailleurs, il s'agit probablement des activités de reboisements menées au niveau du site qui ont donné de bons résultats dans les conditions plus favorables. Certaines réhabilitations impliquent, une amélioration artificiellement provoquée par l'homme, utilisant un matériel végétal différent de celui des steppes originelles, souvent par l'introduction d'espèces exotiques ou allochtones. C'est le cas de reboisement et plantation à but expérimentale.

Selon les auteurs, on peut distinguer (rapport ETL):

- des changements dans la végétation qui conservent la même apparence globale, la même physionomie, fluctuations.

- Fluctuation

Ces fluctuations résultent de différence entre rythmes (phénologie) des différentes espèces et du réarrangement perpétuel de la répartition des individus. Les variations interannuelles, d'ordre climatique notamment, influencent ce processus de réarrangement et peuvent entraîner des variations assez marquées dans les proportions des différentes espèces présentes, mais sans modifier l'importance globale des espèces dominantes (celles qui impriment leur physionomie à la végétation).

Elles sont plutôt de courte durée, réversibles en principe, la végétation variant d'année en année autour d'une moyenne, et sans qu'il ait généralement apparition d'espèces nouvelles, leur importance est beaucoup plus grande en climat aride (à cause de la grande variabilité pluviométrique interannuelle) qu'en climat tempéré.

- Succession

Des changements plus radicaux qui modifient la physionomie de la végétation, à tel point qu'on peut considérer qu'elle a changé de type: successions.

Les successions peuvent être considérées comme une forme plus extrême de fluctuations où les proportions des espèces dominantes changent également. La composition botanique s'éloigne de la moyenne initiale, et souvent (quoique pas obligatoirement), de nouvelles espèces s'installent. Ce terme désigne finalement le processus de colonisation d'un biotope par les êtres vivants et les changements.

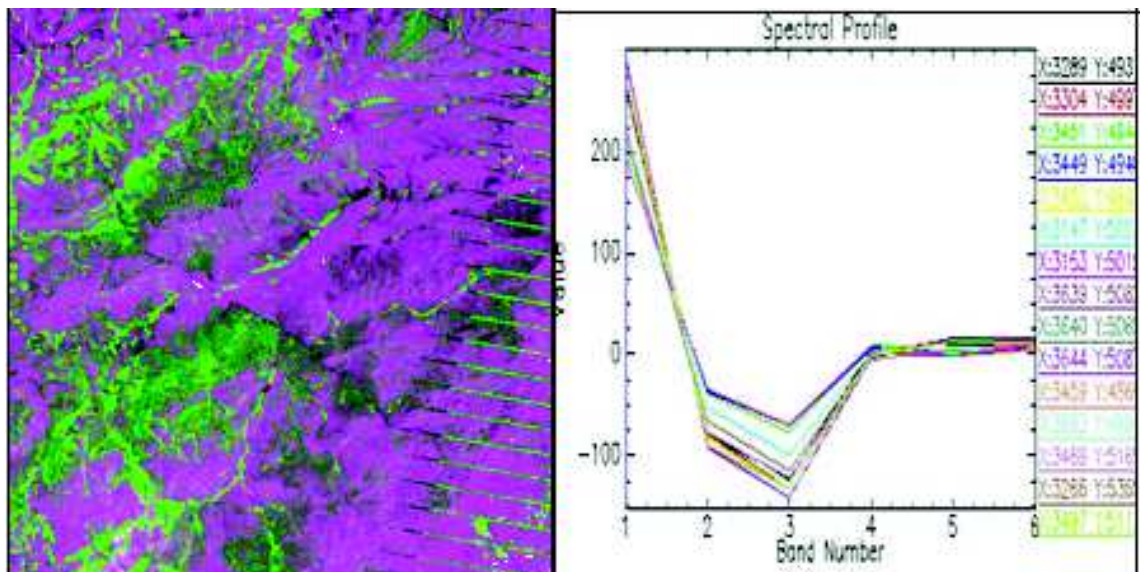


Fig.36. Composition colorée d'indice de végétation et d'indice de brillance à partir des données Landsat 2008 de la réserve naturelle d'El Mergueb

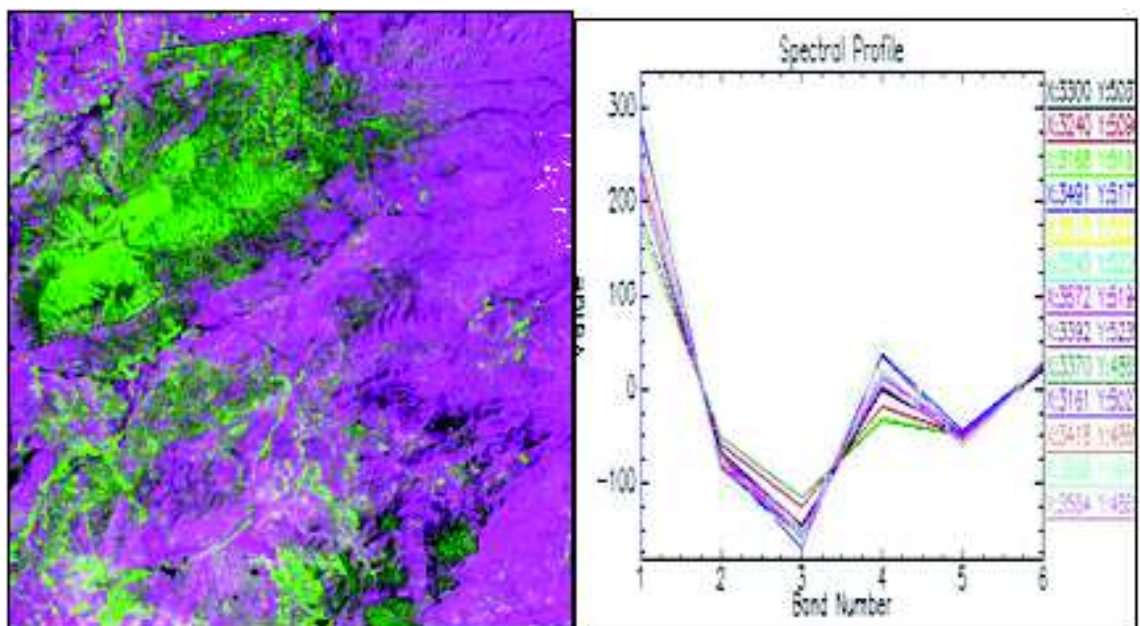


Fig.37. Composition colorée d'indice de végétation et d'indice de brillance de Landsat 1987 de la réserve naturelle d'El Mergueb

IV.3. Détection des changements du couvert végétal

Le suivi et la modélisation précise des composantes biotiques "végétations"; permet d'obtenir l'information qui aide à la compréhension de l'impact climatique et anthropique, afin de déceler les problèmes majeurs pour une meilleure prise de décision pour cela nous avons dressé les évolutions par périodes suivantes :

A/Différence d'images entre l'année 1987 et 2000

B/ Différence d'images entre 2000 et 2008

C / Scénario cumulatif des changements.1987-2008

La détection de changement consiste en une opération de calcul de différences et d'analyse des données numériques issue de télédétection, la détection thématique des changements doit prendre en considération deux images de classification en indices de végétations NDVI de la même scène à différentes dates 1987, 2000 et 2008, pour identifier les différences entre les indices, ce qui est réalisé automatiquement par soustraction de l'image d'état initial de l'image à l'état finale(figure 38 et 39).

L'analyse des changements à partir de l'image de changements qui résulte des différences d'indices de végétation créés NDVI-1987, NDVI -2000 et NDVI- 2008; a permis d'obtenir des classes définissant des seuils de changement. Les seuils sont codés par des couleurs, le produit correspond à une modélisation de scénarios d'évolution de la couverture végétale. Ce modèle d'évolution met en évidence 3 classes de changements:

1-Un changement positif qui identifie les pixels qui sont devenus plus lumineux (l'éclat final d'état était plus important que l'éclat d'état initial), elle exprime le développement et la croissance de la végétation à l'état actuel

3- Changement négatif qui identifie les pixels qui sont devenus plus faibles (éclat final d'état était l'exactitude d'état moins qu'initial). Cette classe indique la dégradation ou l'appauvrissement du sol en végétation

2- Aucun changement, cette classe représente les zones stables.

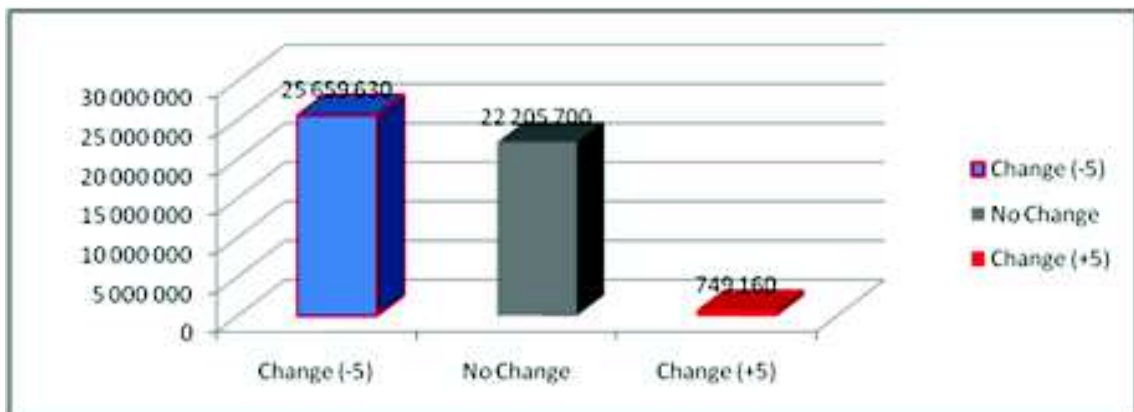


Fig.38. Détection des changements dans la réserve naturelle d'El Mergueb

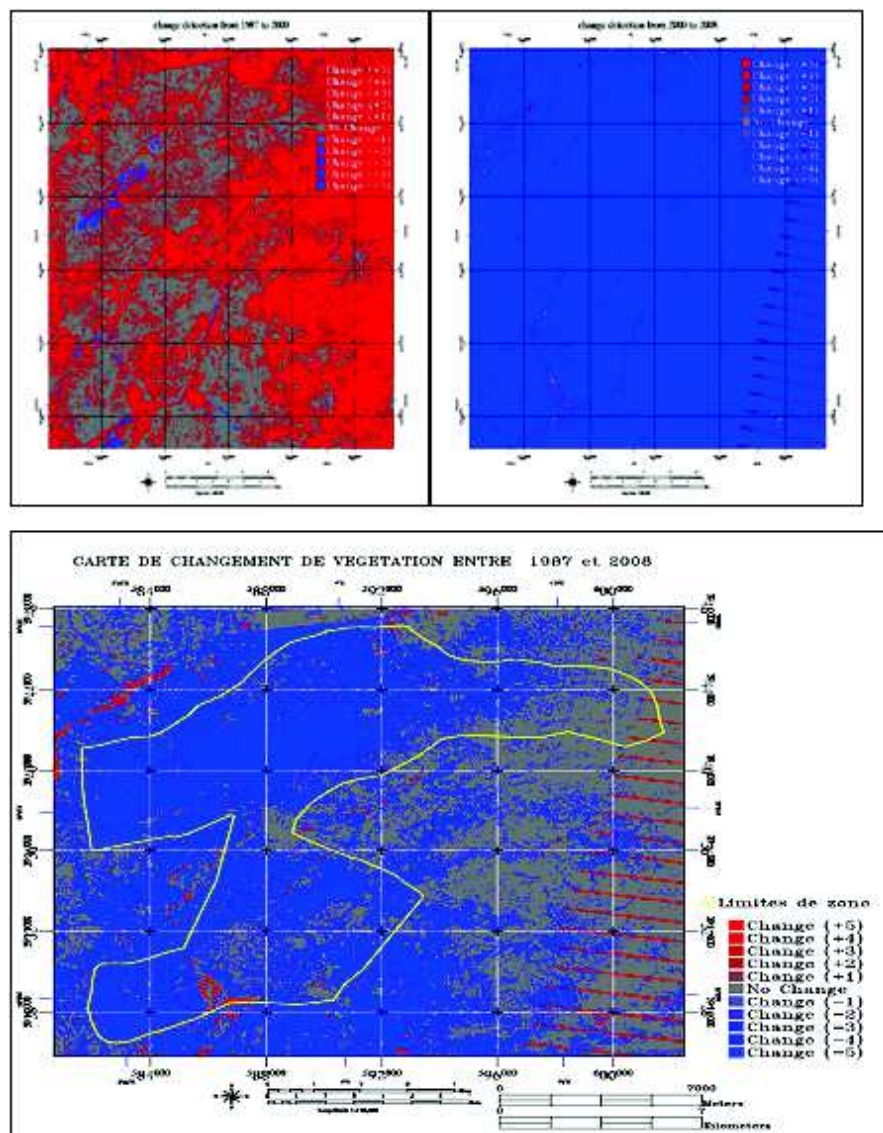


Fig.39. cartes des différences en NDVI entre l'année 1987 et 2008 à partir des données Landsat de la réserve naturelle d'El Mergueb

La répartition de la classe attribuée aux changements négatifs domine la couverture de la carte obtenue, elles renferment plus de 50% de la superficie du territoire avec une forte amplitude de changements. En seconde position l'espace non affecté par des changements est assez important, renferment des surfaces plus restreintes par rapport aux changements négatifs.

Cependant, on constate que la zone protégée d'El Mergueb est la plus affectée par la dégradation du couvert végétal beaucoup plus atteint par les changements négatifs. On évalue à plus de 70% des surfaces définie par les limites.

IV.4. Analyse de la corrélation entre variables climatiques-végétation

La distribution de la végétation dépend des facteurs externes du climat, l'état du couvert végétal lui-même exerce une influence importante sur les caractéristiques des microclimats, ainsi que les macroclimats.

Il a été démontré que l'impact de la variabilité climatique sur la dynamique de végétation peut être différent d'une région à une autre ; pour notre cas, les zones arides et semi-aride, les rapports entre l'anomalie de végétation et la disponibilité d'humidité sont significatifs.

Une forte relation existe entre la végétation, d'après l'indice NDVI, reliant ainsi la quantité de biomasse et les paramètres climatiques, Ce facteur joue un rôle déterminant dans le développement de la végétation et en particulier, les parcours de la réserve.

Le coefficient de corrélation (r) entre la moyenne annuelle des précipitations et les indices de végétations NDVI ; affiche une valeur très élevée, ce qui démontre qu'il existe une forte corrélation entre l'indice de végétation (NDVI) et les facteurs climatiques, notamment le paramètre précipitation, elle correspond à une parfaite et positive corrélation de + 0.9%,

L'indice de végétation diminue au fur et mesure que les précipitations diminuent, nous passons d'un indice d'une valeur de 0.1 à une valeur qui atteint -0.2 en une période de 13 ans (entre l'année 1987 et l'année 2000) la valeur du NDVI remonte légèrement vers -0,17 en 2008.

Cette analyse a permis de démontrer que la végétation est très sensible aux conditions climatiques, étant très vulnérables aux facteurs de dégradation

Les analyses des précipitations enregistrent une baisse de plus de 50% pour la moyenne annuelle, qui passe de 21mm à moins de 13mm.

Cependant, on observe une tendance d'augmentation des températures nous enregistrons une corrélation négative ($r = -0.9\%$), entre le NDVI et le maximum annuel des températures,

Les températures maximales annuelles ont augmenté de 0,8°C par ans

Les températures minimales ont augmenté de 2,6°C, nous passons de 6 à 9° C, cette variation est enregistré au cours de la dernière décennie, les températures moyennes se sont accrues au cours de cette périodes 1987 – 2008.

La température moyenne a augmenté au total de 1,5 ° C (North et al. 2007). Ces changements climatiques drastiques pourraient avoir un impact sur la diversité végétale (Thomas et al., 2004 ; Lenoir et coll., 2008) au niveau des régions montagneuses ayant un risque élevé de disparition d'espèces (Thuillier et al., 2005).

Les écosystèmes steppiques sont marqués par une grande variabilité interannuelle des précipitations. La diminution des précipitations est de l'ordre de 18 à 27% et la durée de la saison sèche aurait augmenté de 2 mois entre 1913-1938 et 1978-1990 (Djellouli et Nedjraoui, 1995). En conséquences il y'a des changements sur les phénomènes d'albédo et d'évapotranspiration, impliquant une incidence sur la végétation, qui à son tour marque son effet à travers les tendances des températures locales.

En effet les conséquences des changements de la végétation, affectent directement les radiations, comme les modifications de la végétation, affectent directement le budget radiatif local; les changements dans la végétation aussi modifient l'évaporation. Ainsi, les changements dans l'humidité de l'air peuvent entraîner des effets très éloignées due au transport d'humidité sur de longues distances.

Les changements dans la couverture végétale a une incidence non seulement sur des zones à végétation dégradées, mais également sur les zones voisines, l'effet local est plus prononcé pour la température.

L'anomalie du couvert végétal constitue un bon indicateur, sachant que les perturbations d'ordre climatiques affectent à la fois la période de croissance et la quantité total de biomasse végétale.

Le risque d'extinction associé aux changements climatiques devient de plus en plus accru, d'éventuelles menaces pèsent sur cette région, les perturbations au sein des communautés végétales provoqueraient plus d'extinction parmi les espèces les plus vulnérables.

IV.5. Dynamique de la Végétation et analyse des changements

Le concept de dynamique de la végétation est mis en place par Clements (1916, 1971), Margalef (1957, 1963, 1968, 1974), Whittaker (1975), Ozenda (1982), ces auteurs considèrent que la végétation est en perpétuelle transformation, en évolution progressive, elle aboutit à un équilibre harmonieux des conditions naturelles de végétation et de milieu. Cet équilibre apparaît au niveau sectoriel dans l'expression des étages de végétation et au niveau local et stationnel dans les séries et même les structures de végétation.

Les populations naturelles ne sont pas des entités amorphes subissant passivement les effets des facteurs externes ou de leurs variations (Barbault, 1981), l'évolution spontanée et lente permet aux groupements des végétaux de se succéder. Par conséquent, cette transformation a été reconnue par (Ozenda ,1979) comme "dynamique de la végétation".

IV.5.1. Analyse de la dynamique des formations végétales

Le concept de perturbation joue un rôle fondamental, défini comme un changement au niveau d'un facteur de l'environnement initial (Rykiel, 1985;Van Andel er al., 1987).

Une perturbation est définie par sa nature qui dépend du type de facteur concerné, son intensité déterminée par l'écart entre l'état résultant et l'état normal du système, par sa fréquence et son échelle c'est-à-dire soit par ses caractéristiques spatio-temporelles, soit par le niveau d'organisation du système où elle opère. Une perturbation est une cause de changement dans le fonctionnement d'un système.

L'analyse de l'état actuelle de la végétation à partir des données satellitaires des années 2008, 2000 et 1987 (l'état initial), révèlent d'importants changements dans la distribution de la végétation. Les classifications en indices de végétation normalisés résultants des images satellitaires actuelles enregistrent des classes de valeurs différentes à partir des NDVI obtenues par les données Landsat 2000 et classifications initiales de l'année 1987.

L'objectif de l'analyse multi-temporelle utilisant les données de télédétection est de restructurer, et définir l'évolution des changements produits depuis plus de deux décennies (entre l'année 1987 et 2008), ainsi, l'analyse multi-temporelle se base sur 2 principales aspects : le temps et l'espace ;

Ces changements sont mis en évidence à partir de l'analyse comparative de l'occupation du sol des 3 dates 1987, 2000 et enfin 2008, induites par les pressions anthropiques conjuguées aux variations des conditions climatiques au cours de cette période.

Les combinaisons en canaux 432 (RVB) fausses couleurs de Landsat5 et Landsat7 sont affichées par le logiciel de traitement d'images ENVI 4.3; les valeurs calculées pour NDVI de l'image Landsat7ETM+ acquise en avril 2008 étaient inférieures comparées aux valeurs de l'NDVI du même secteur acquise pour la même période saisonnière 1987.

Ces différences s'expriment par une chute du taux de réflectivité mesuré sur la bande infrarouge (les bandes 4) dans des images Landsat dans le cas de sécheresse ou de faibles précipitations et de températures élevées, et inversement, dans les conditions de précipitations abondantes qui favorisent une augmentation du feuillage et du couvert de la végétation et ainsi, correspond une augmentation de la réflectivité enregistrée dans le canal infrarouge.

Une diminution en végétation caractérise la majeure partie du secteur couvert par l'étude plus le détail de 50% en particulier à l'intérieur des limites du site à protéger, les changements calculés sont plus importants ; nous enregistrons plus de 96% du territoire sont affectés.

Ces résultats au niveau des indices de végétation NDVI entre les deux ensembles d'images Landsat ne sont pas liées à l'âge de la végétation, mais plutôt le reflet des changements dans la densité de la végétation impliquées par l'activité Anthropique, surexploitation, en particulier; le surpâturage au cours de 21 ans.

On observe un déclin des limites de végétation, ces dernières années, ces modifications sont probablement dues aux conditions climatiques conjuguées aux effets de surexploitation. Des activités pastorales autour de la réserve, cette anthropisation intense, en particulier le pâturage demeure irrationnel.

Ces effets qui mèneraient à un risque d'extinction d'espèces animal et végétal déjà en danger suite à la destruction des habitats naturelles, avec apparition de plus en plus de territoires désertiques.

IV.5.2. Analyse des variations dans le territoire de la réserve

La comparaison des classifications d'images satellitaires acquises à différentes périodes pour un territoire donné est largement utilisée afin de quantifier les changements de l'occupation du sol tout en considérant la répartition spatiale de ces changements et permet d'en évaluer les impacts sur la biodiversité et l'intégrité des habitats (Moufaddal 2005; Poschlod *et al.* 2005; Tombre *et al.* 2005; Reidsma *et al.* 2006).

L'analyse diachronique des 3 images Landsat acquises entre 1987, 2000, et 2008a permis de suivre l'évolution spatio-temporelle des formations végétales à l'intérieure des limites définies de l'aire protégée.

Le traitement des tables attributaires de chaque carte établies sous l'outil SIG et la comparaison quantitative des données (surfaces de chaque groupement) permettent de déceler des différences remarquables entre les états du milieu durant 21 ans. En effet, une évolution de la végétation dans tout le territoire de la réserve.

A partir des surfaces calculées, nous avons évalué les écarts entre les périodes (tableau 19,20, 21) ; les valeurs positives représentent une progression en surface de la classe

pendant la période analysée et les valeurs négatives indiquent la perte en surface d'une classe entre les deux dates. Les valeurs proches de zéro nous indiquent que la classe reste relativement stable entre les dates de 1987 à 2000 et de 2000 à 2008

IV.5.2.1. La variation des surfaces entre 1987 et 2000

Les surfaces sont calculées sous Logiciel ArcView GIS 3.2, en fichiers, vectorisées sous format « .Shape », ainsi qu'en Evi (SIG vecteur Envi).

L'aire totale de zone délimitée du site d'El Mergueb renferme une surface de 17245 ha.

Pour chaque unité la superficie couverte en hectares et le pourcentage de couverture de chaque classe d'habitat ont été calculés pour chaque période afin d'analyser les changements observés dans l'occupation de la végétation entre les années 1987 et 2000.

Les variations sont obtenues par soustraction de l'état final de l'état initial en ha, cette valeur obtenue a servi à évaluer l'indice d'évolution Tc1 (tableau.20)

Nous remarquons que toutes les unités ont évolués. Aucune classe ne présente une surface stable dans le temps, cependant la nature et l'ampleur du changement varient d'une classe à une autre.

En générale il y'a une perte des surfaces de végétation naturelle au profit de la désertification

La progression des surfaces couverte par la végétation correspond à 1,20% contre le double de celui des classes désertifiées qui est de l'ordre 2,18 % de surface à sol nus.

Ce sont les classes à *Artemisia herba alba* et des classes à *Alfa tenacissima* qui sont les plus fluctuantes. Les superficies des formations à base d'Alfa se sont accrues considérablement de +2191 ha en 13 ans, son taux de changement « Tc1 » est près de 67%.

Nous remarquons également l'augmentation des surfaces des formations arborées, celle à base de *Juniperus* mais avec un taux moindre qui est de (+) 13% seulement.

Tandisque les superficies formations steppiques à armoise (*Artemisia*) et les formations ligneuses à base de *Pistacia atlantica* ont connu une forte régression, cependant se sont ces

dernières qui ont le plus fort indice de régression avec un Tc1 de l'ordre de -50%, celui de l'armoise est de -28%.

Par ailleurs, on note la réduction des surfaces classées en zones de cultures (-997 ha), probablement au profit des zones dénudés voir désertifiées.

D'autres parts, l'analyse des indices d'évolutions démontre que les formations à Salsola et la classe désertification (sols dénudés) détiennent le plus fort indice d'où le taux de changement « Tc1 » entre l'année 1987 et l'année 2000, il atteint une valeur de +165et +153%respectivement. Il est à signaler que les surfaces identifiées en zones désertifiées ont considérablement progressé et occupent plus d'espace qu'à l'état initiale (1987).

Le taux de gain de surface de végétation est estimé à 6% en moyenne, en revanche celui des zones désertisées a atteint près de +12%, en conséquent la perte en végétation serait évaluée à 6% au profit de la dégradation.

Le pistachier est l'espèce la plus affectée avec une cinétique de l'ordre de 4% de perte annuelle, ensuite viennent les formations steppiques à armoise avec un taux annuel de 2% de perte.

Concernant les terres cultivées la valeur d'évolution annuelle qui correspond à une vitesse de régression de (-4,5) s'expliquerait probablement par un développement de la végétation naturelle ou l'abandon.

Formation	surface (ha)		variation T1-T2	indice d'évolution Tc1	Taux d'évolution en 13 ans	Taux d'évolution annuel
	1987	2000				
Juniperus	1941	2195	+ 254	+13,08	+0,01006618	+ 1,006
Pistacia	2657	1322	-1335	-50,24	-0,03864972	-3,86
Salsola	829	2200	+1371	+165,38	+0,12721537	+12,72
Alfa	3273	5464	+2191	+66,94	+0,05149357	+5,14
Artemisia	6604	4744	-1860	-28,16	-0,02166519	-2,16
Agriculture	1695	698	-997	-58,82	-0,0452462	-4,5
Désertification	246	622	+376	+152,84	+0,11757348	+11,75

Tab.20. variation et indices d'évolution des surfaces de la réserve naturelle d'El Mergueb entre 1987 et 2000.

IV.5.2.2. La variation des surfaces entre 2000 et 2008

Pendant cette période toutes les surfaces des formations ont subi des changements, cependant ces changements varient d'une espèce à une autre (Tab.21).

formation	surface (ha)		variation T2-T3	indice d'évolution Tc2	Taux d'évolution en 8 ans	Taux d'évolution annuel
	2000	2008				
Juniperus	2195	2968	+773	+35,27	+0,0440205	+4,40205011
Pistacia	1322	2285	+963	+72,84	+0,09105522	+9,10552194
Salsola	2200	510	-1690	-76,82	-0,09602273	-9,60227273
Alfa	5464	3459	-2005	-36,7	-0,04588841	-4,58884114
Artemisia	4744	4312	-432	-9,11	-0,0113828	-1,13827993
Agriculture	698	1104	+406	+58,16	+0,07270774	+7,27077364
Désertification	622	2607	+1985	+319,13	+0,39891479	+39,891479

Tab.21. variation et indices d'évolution des surfaces de la réserve naturelle d'El Mergueb entre 2000 et 2008

On enregistre un accroissement pour les formations à base de Genévrier et les formations à base de Pistachier, leurs taux de changement « Tc2 » est de +35, et +72 respectivement, ce qui correspond à une vitesse de gain annuel de l'ordre de +4 et de +9 % par an.

Les surfaces cultivées en parallèle à celles des classes de désertification ont connues un important accroissement.

Les zones qualifiées désertisées se sont accrues plus rapidement par rapport à la première décennie (1987-2000), d'où le taux de changement « Tc2 » est le plus élevé (+319), elle est passé de 622 en 2000 à 1104 ha en 2008.

Cet accroissement du taux de changement (Tc) correspond à une vitesse ou une cinétique de dégradation très forte, nous constatons une aggravation du taux annuel de désertisation estimé à près de 40% contre 1,6% seulement par an de gain de paysage végétale.

Nous constatons un recul des surfaces et des limites des aires des formations à Armoise, et celles des formations à Alfa et à Salsola.

Cette période l'espèce graminéenne, l'alfa et l'armoise ont enregistré des taux négatifs d'évolution annuel respectivement 4,5% et 1% ; ce qui reflète une dégradation au niveau de leurs territoires. En revanche, ce sont les salsolacées qui enregistrent les taux annuelles les plus importants (-9%).

D'après cette analyse globale, il en ressort que ces dernières années et en l'espace d'un temps plus court (8 ans), le couvert des formations végétales a été marquée par une forte dégradation, des pressions ont été beaucoup plus intenses et serait probablement, les résultats d'un cumul de dégradation d'un écosystème beaucoup vulnérable aux perturbations exercées. Ce fait semble lié à des conditions climatiques sévères, notamment, à la sécheresse qui a sévit pendant le début des années 1990.

IV.5.2.3. La variation des surfaces entre 1987 et 2008

Ces tableaux donnent pour chaque année une estimation des proportions et des surfaces occupées par les formations végétales. Un indice d'évolution est déduit à partir du taux de variation, ce qui nous permet d'estimer la cinétique d'évolution traduite par le gain (+) ou la perte (-) en surfaces relatives à chaque formation en fonction du temps.

formation	surface (ha)		variation T1-T3	indice d'évolution Tc3	Taux d'évolution en 21ans	Taux d'évolution annuel
	1987	2008				
Juniperus	1941	2968	+1027	+52,91	+0,02519565	+2,51956527
Pistacia	2657	2285	-372	-14	-0,00666703	-0,66670251
Salsola	829	510	-319	-38,5	-0,01832386	-1,83238555
Alfa	3273	3459	+186	+5,703	+0,00270612	+0,27061237
Artemisia	6604	4312	-2292	-34,7	-0,01652678	-1,65267803
Agriculture	1695	1104	-591	-34,87	-0,01660346	-1,66034555
Désertification	246	2607	+2361	+959,75	+0,45702671	+45,7026713

Tab.22. *variation et indices d'évolution des surfaces de la réserve naturelle d'El Mergueb entre 1987 et 2008*

L'analyse de l'ensemble de la période 1987 – 2008 (tableau 22) nous permet de corroborer l'hypothèse d'un accroissement de l'anthropisation du milieu dans cette région avec leurs effets très dommageables sur le couvert végétal et surtout sur les espèces ligneuses en particulier les formations à base de *Pistacia atlantica* dont nous signalons un indice de changement négatif qui atteint -14% depuis 1987.

L'action anthropique a contribué à l'extension des zones dégradées. Globalement nous enregistrons la régression continue de l'armoise ainsi que celles des classes de cultures avec un même taux de changement « Tc3 » – de 34%.

Quant à l'Alfa, elle est marquée par de nettes fluctuations, pour l'année 2008, malgré le déclin de ses superficies au cours de la dernière décennie (en 2000) elle enregistre un taux de changement positif évalué à +5% par rapport à l'an 1987.

Les surfaces des formations à Salsola ont nettement reculé avec un taux d'évolution le plus élevé, cette diminution est enregistrée surtout au cours de la dernière période.

Pour la première période 1987-2000 et la deuxième période 2000-2008, on note une avancée considérable de zones désertifiées, les zones classées en désert ont évolué rapidement, ces surfaces se sont multipliées par 1000. Le taux de changement (indice d'évolution) de cette classe « Tc3 » est évalué à +959%.

En l'espace de 21 ans, malgré la remontée biologique au niveau des formations à pistachier en 2008, les surfaces demeurent réduite par rapport à celle de la première décennie, néanmoins le seul fait positif constaté; est la progression des surfaces à Genévrier avec un taux d'évolution (Tc3) de près de 53%.

Des études diachroniques réalisées dans les régions steppiques du Sud-Ouest oranais ont montré que des faciès ont complètement disparu et sont remplacés par d'autres qui sont indicateurs de stades de dégradation et d'ensablement.

L'évolution régressive des steppes à armoise blanche et alfa se traduit par des stades où ces deux espèces climaciques sont remplacées par le sparte et par des espèces de dégradation telles que *Atractylis serratuloides*, *Peganum harmala* et *Noaea mucronata* traduisant le surpâturage. (Nedjraoui, 2004)

La dégradation peut être très lente, se traduisant par des changements seulement perceptibles sur le très long terme, c'est ce qui a marqué au Maghreb, à l'échelle du siècle, le passage des steppes d'alfa vers d'autres formations comme celles à armoise blanche ou à sparte en Tunisie, en Algérie, et au Maroc. Cependant, les changements peuvent être parfois rapides et détectables en moins d'une décennie sur la végétation et sur le sol.

Ces différentes surfaces nous ont permis de construire des graphes de l'évolution des surfaces et celui des indices, nous avons également calculé les taux d'évolution annuelles de perte ou de gain de l'occupation du sol de chaque formation végétale de 1987, 2000 à 2008

Les graphes (fig.40) montrent une diminution des surfaces des formations végétales entre 1987 et 2008 au profit de la désertification (et des sols dénudés), cette diminution s'est traduite naturellement par l'émergence des surfaces des dégradées dite désertisées au cours de cette même période.

La dégradation qui a plus marquée la période 2000 à 2008 a été plus rapide (fig.41) avec une surface de 2607 hectares en 2008 contre 622 en 2000 et 246 hectares en 1987(tableau

21). La vitesse d'évolution de la désertification entre l'année 1987 et l'année 2008 s'est considérablement accrue, l'indice est évalué à plus 45% par an.

La première décennie est caractérisée par une augmentation des surfaces des formations à base de *Salsola*, en effet cet espèce est considérée comme formation de dégradation, c'est la moins appréciée, relativement aux parcours à armoise et à Alfa.

On constate également l'accroissement des surfaces des zones cultivées, durant la deuxième décennie, néanmoins son taux d'évolution annuelle globale ne dépassent pas le taux de 1,6%. Ce fait peut être lié à une importante régression du nomadisme qui ne subsiste que de façon sporadique (Khaldoun, 1995). Les pasteurs ont modifié leur système de production en associant culture céréalière et élevage.

L'ensemble des liens dynamiques qui expliquent les passages entre les différents types de steppes, sur sols squelettiques ou sols profonds plus ou moins sableux, a été détaillé par Le Houérou pour l'ensemble du Nord de l'Afrique.

Les changements peuvent être relativement progressifs, en particulier lorsqu'ils sont liés au pâturage qui permet, pour un temps, le maintien d'une partie plus ou moins importante des plantes pérennes.

Les surfaces occupées par la végétation ont considérablement évolué entre les différentes dates examinées. Les constats alarmants de la dégradation du couvert végétal entre 1987 et 2008 font place à une reconstitution des îlots de végétation à partir des années 2000 dans certaines zones.

Une dynamique positive a été observée dans les zones à Genévrier avec un taux de plus de 2%. Au niveau des formations à pistachier la végétation se reconstitue progressivement. Cependant l'équilibre écologique reste encore fragile (avec un indice annuel négatif global de - 0,6) si certains groupes défavorisés dans le terroir continuent de couper les arbres pour la vente du bois afin de se procurer des revenus pour l'achat des céréales.

Par ailleurs, des zones de pâturages (Alfa, Artemisia et Salsola) continuent de se dégrader. Le surpâturage et le piétinement des animaux participent à la dégradation des sols détruisant la couverture ligneuse et herbacée, exposant ainsi les sols aux effets de l'érosion. Il s'en suit l'apparition de plages de sols dénudés.

De manière générale c'est au cours de la deuxième décennie (2000-2008) que les changements les plus importants ont été observés; désertification, diminution des espèces steppiques et extension des cultures.

En l'espace de 8 ans seulement, la vitesse est la plus accrue par rapport à l'amplitude et la nature des fluctuations, ainsi la reprise des ligneuses peut être la conséquence du reboisement et des efforts de conservation.

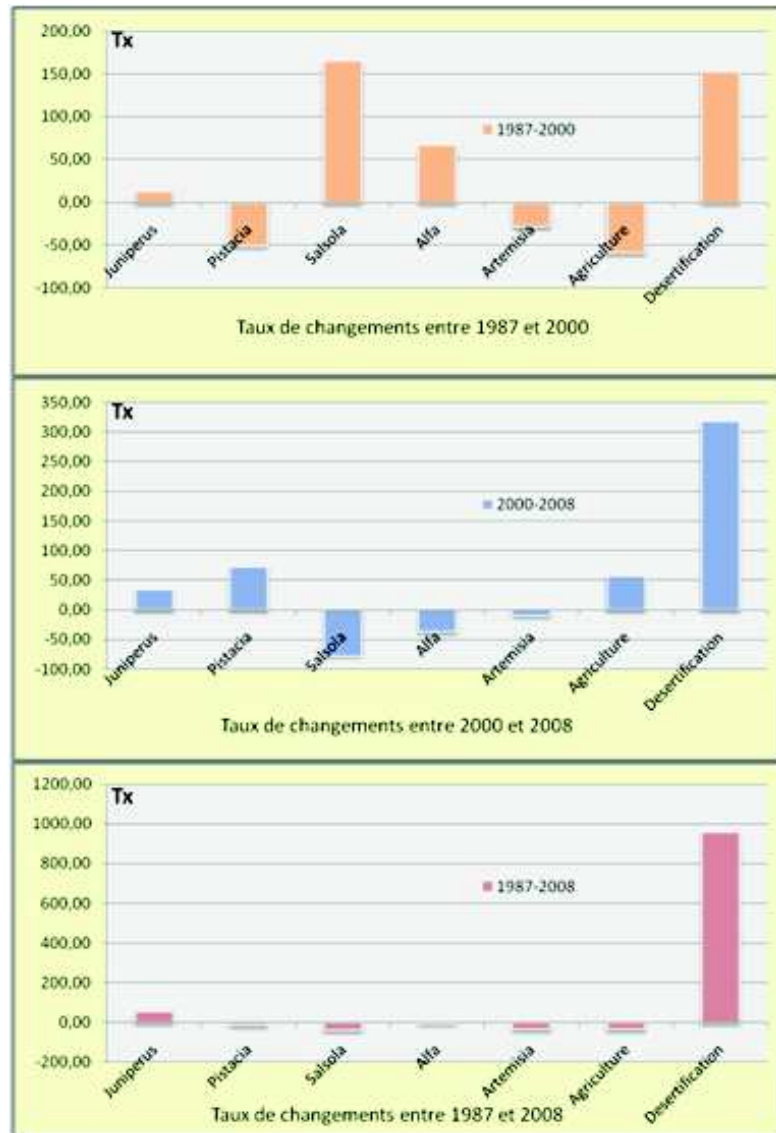


Fig.40. Taux de changements de la végétation de la réserve naturelle d'El Mergueb entre 1987, 2000 et 2008

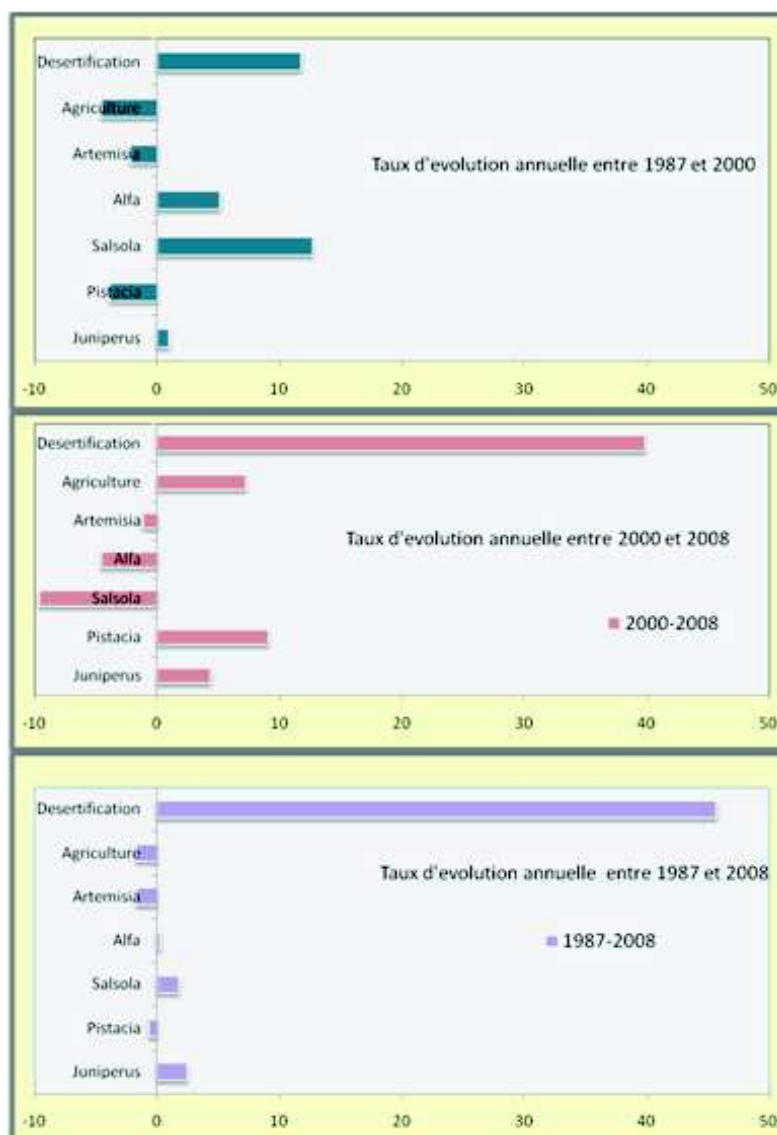


Fig.41. Indice d'évolution annuelle de la végétation de la réserve naturelle d'El Mergueb entre 1987, 2000 et 2008

IV.6. Évolution des unités écologiques

La végétation de la réserve se caractérise par des formations steppiques (savana) qui reflètent les conditions du sol et du climat de la région.

La steppe est une "formation, primaire ou secondaire, faible et ouverte dans son aspect typique et surtout inféodée aux zones bioclimatiques, arides et désert, qui est l'expression naturelle des plantes"(Donnadieu, 1979). Elle est structurée à la fois par deux espèces de graminées (*Stipa tenacissima*) et par des chamaephytes (*Artemisia*, *Anabase*, *Salsola*), et peut être dominée par des nanophanérophytes (*Rhus*, *Retama*, *Adenocarpus*, *Calligonum*) ou des phanérophytes (*Juniperus*, *Acacia Argania*, *Pistacia atlantica*, *Pinus halepensis*)

La zone d'étude renferme des formations à Alfa (*Stipa tenacissima*), des formations à armoise champêtre (*Artemisia campestris*), l'armoise blanche (*Atémésia herba-alba*). et le groupement à *Salsola vermiculata* à différents types de paysage, en fonctions des formes et du relief.

D'autres espèces sont faiblement représentées telles que le *Plantago lagopus accompagné par des plantes* fluorescentes en particulier les mousses tel que *Syntrichia ruralis*, *Grimpa pulvinata* et le *Didymodon luridus*.

Des espèces arborées tel que le pistachier et le genévrier sont bien représentées, ainsi que des essences forestières et fourragères introduites, dans le cadre du reboisement, il s'agit de *Pin d'Alep*, *Cyprès vert* de l'*Acacia cyanophyla* et de l'*Atriplex halimus*.

Des espèces de lichens enrichissant le paysage de cette steppe, ces espèces sont représentées par *Mauler depcipens*, *Toninia coealalus-nigricans*, *squamaria lentigera* et *Fulgensia fulgens*. Ces formations forment l'habitat préférentiel de nombreuses espèces faunistique protégées à savoir la gazelle de cuvier et l'outarde houbara, à cet effet, nous présentons l'évolution de la végétation, des espèces végétales à travers les formations cartographiées grâce aux données de télédétection transformées d'un format Raster en format Vecteur, la physionomie de la végétation est liée aux espèces dominantes représentant les formations rencontrées au niveau du site délimité

IV.6.1. Évolution des formations steppiques à Alfa

Le genre ***Stipa*** rassemble des Graminées vivaces, hautes et puissantes, propres à l'aride mais non sahariennes. La plus connue car prééminente est ***Stipa tenacissima*** (Alfa) dont le nom latin évoque le sens de la résistance et de la lutte. L'Alfa possède des rhizomes courts et fortement ramifiés, munis de racines adventives, ses tiges robustes peuvent atteindre 150 cm de hauteur et sont coiffées par des épis de graines.

Cette Poacé vivace, cespiteuse et xérophile; occupe la partie occidental du bassin méditerranéen, en Algérie, elle est rencontrée sur les hautes plaines de l'Atlas saharien limité par les isohyètes 100-500mm (Le Houerou, 1969)

L'Alfa caractérise les hautes plaines steppiques, se développe bien dans la zone de la réserve, c'est l'espèce dominant les deux versants des djebels, et tous les habitats du sommet du plateau. On distingue une flore diversifiée correspondant aux différents substrats.

Grâce à son système de reproduction végétative Elle colonise divers habitats, les glacis localisé dans la partie septentrionale et méridionale où elle se trouve en groupement dans un état de dégradation avancée. Ces habitats se caractérisent par un substrat constitué de marne argileuse et de niveau calcaire dur relevant du cénomaniens.

L'évolution des formations à alfa est caractérisée par des fluctuations affectant ses limites (fig.42), on observe surtout une extension de l'espèce. En 1987, ces formations à base d'alfa occupaient une superficie de 3273 Ha soit près de 19% du territoire. Cette surface s'est étendue à 5464 ha en 2000, pour couvrir plus de 31%.

Cette espèce dominait de part et d'autre de l'aire protégée, on constate qu'il y'a eu une extension importante de son aire de répartition, occupant des surfaces de plus en plus considérables, ce qui peut s'expliquer par son mode de d'accroissement et probablement suite aux mesures de protection et de mise en défens.

La touffe d'alfa a une taille moyenne de 0,5 à 1 m et sa biomasse aérienne, dans une nappe de densité moyenne, est de l'ordre de 5 à 10 t MS4/ha. Cette espèce se présente sous forme de touffes d'abord pleine et homogènes qui deviennent circulaires à mesure que la touffe vieillit, la partie centrale de la touffe dépérit et donne une structure circulaire, ce mode de croissance est qualifié de circination par analogie à celui utilisé pour décrire certaines mycoses de la peau. La touffe se fractionne et chacun des fragments obtenus forme une nouvelle touffe.

Au cours de cette période, cette espèce a beaucoup évolué, toutefois ; elle a connu une forte dégradation en 2008 ; sa superficie a subi une réduction des limites de son développement qui est surtout apparente au niveau de la partie nord du site, ses surfaces ont régressé considérablement soit de 10%, et se limitent à 3459 ha pour occuper seulement 20% du territoire. Les touffes denses d'Alfa sont limitées relativement aux sols profonds et deviennent de moins en moins denses dans la partie rocailleuse qui héberge des plantes succulentes à dominance de l'espèce *Sedum coeruleum*.

D'autres touffes d'alfa, bien développées sur les pentes des collines associées avec des espèces telles que *Chrysanthemum var fuscatum*, *Vellaannua*.

Lorsque les conditions sont plus favorables telles que les ravins et les oueds, cette espèce est accompagnée par des arbustes tels que *Rhus tripartitus*, *Pistachio atlantica*, *Asparagus albus* et *Ephedra major* qui apparaissent sur les pentes.

La touffe d'alfa forme une butte où le sol est plus riche en matière organique et en particules fines permettant une plus grande rétention d'eau et une plus grande richesse en éléments biogènes que dans l'espace interstitiel. Au plan pastoral, seules les pousses récentes et les inflorescences (*bôss*) de l'alfa sont consommées.

Sur des aires au sol plus riches et à recouvrement non jointif, viennent s'infiltrer des chaméphytes, ligneux de taille modeste, comme l'Armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) vulnérabilisée par une forte appétabilité pour le cheptel, et des Thymus comme *Thymus ciliatus* . Des Légumineuses thérophytes variées émergent, fleurissent et grainent en un temps record dans les espaces les moins garnis, voire sur des terrains lacunaires, dès qu'une pluie favorable annonce une providence pour ces plantes opportunistes.

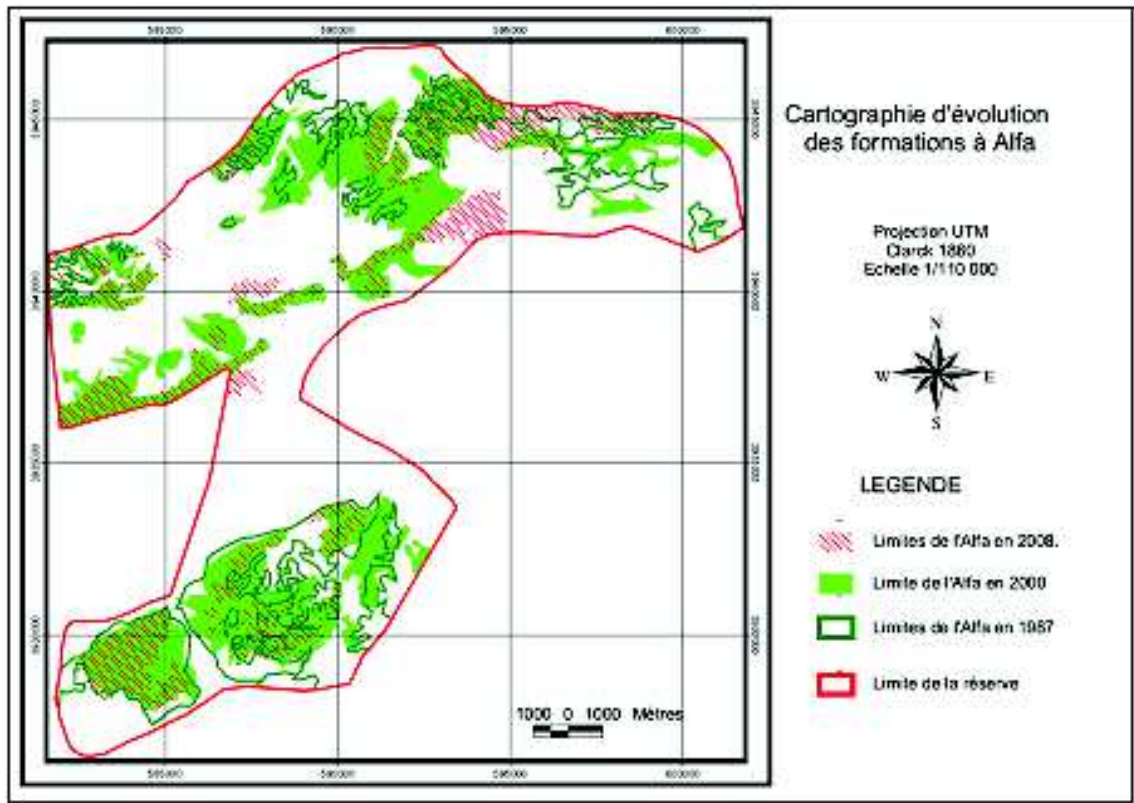


Fig.42. Carte d'évolution de l'Alfa dans la réserve naturelle d'El Mergueb de 1987, 2000 et 2008

L'Alfa s'associe en formant des groupements phytosociologiques qui se caractérisent par une importante richesse floristique qui leur imprime une phénologie saisonnière remarquable en périodes humide :

- avec l'asparagus albus ; colonisant les mi versants et les affleurements rocheux sur glacis encroutés,
- avec *Launea acanthoclada*,
- avec *Artemisia herba alba*, sur glacis calcaire d'érosion à croute calcaires
- avec *Salsola vermiculata*, s'étend vers l'Est du site, sur substrat à croute et à encroutement gypso-calcaire
- avec *Thymelea microphyllase* développant sur glacis d'érosion à croute calcaire ensablé et sur voile sableux
- forme des groupements arborés avec le *Juniperus phonicea* sur sols squelettiques avec dalles des djebels gréseux et calcaires

Au Nord-Ouest du site les associations à alfa servent aux pâturages d'hivers ce qui explique le stade de dépérissement suite à son état de dégradation très avancée (périmètre El l'tima et Oum el mrazem).

Ces formations à Graminées sont souvent induites par des facteurs anthropozoogènes et représentent alors un processus de dégradation, notamment par la substitution du matorral (stade initial de transformation) en une steppe herbacée mieux adaptée à la xéricité stationnelle. Elles peuvent aussi dériver de formations présteppiques, mais en montagne ou en haute plaine et sous climat aride ou saharien, grâce à un ensemencement soutenu, voire par la fragmentation des touffes, la formation herbacée stabilisée devient une véritable

expression climatique : il en est ainsi de la steppe alfatière. Un aspect de cette steppe graminéenne est parfois chétivement arbustif ou arboré par la présence de Jujubiers, de rares Genévriers oxycèdres ou de Thuyas.

IV.6.2. Évolution des Formations à *Artemisia*

Les steppes à armoise blanche *Artemisia herba alba* sont particulièrement liées aux zones où les eaux pluviales se concentrent plus ou moins longtemps (cuvette et dépressions limono-argileuses et plaines alluviales) où *Stipa tenacissima* se trouve au contraire éliminé.

L'armoise occupe une place considérable dans le paysage végétale de la réserve, colonise une grande partie du territoire à sol relativement profond de l'ordre de 50 cm, à texture limono-argileuse favorable à l'installation et au développement des communautés thérophytiques

Cette espèce se développe bien sur la plaine entre les 2 chaînes de montagnes à l'Ouest, qui s'étend des habitats plus secs accompagnée d'espèces de *Salsola vermiculata*, *Stipa retorta*, *Calendula aegyptiaca* et *Cyrtolépidoïdes Pinto*, *Artemisia herba alba*, *Peganum*, *harmala* et *Thymelea microphylla* qui sont des espèces rares.

Malgré son exceptionnelle résistance à la sécheresse et au pâturage elle est désormais en forte régression (fig.43). De même, dans les situations où elle subsiste, son couvert a beaucoup baissé et la contribution de l'armoise a nettement régressé au profit de celle d'autres espèces moins appréciées du bétail : *Atractylis serratuloides*, *Anabasis* sp, *Noaea mucronata*, *Hammada* sp. et, localement, *Salsola vermiculata*

Les steppes à armoise blanche se présentent comme une formation végétale basse (inférieur à 50 cm) et avec un taux de recouvrement qui dépasse rarement 30 % ; ayant une valeur fourragère importante de 0,45 à 0,70 UF/kg MS (Nedjraoui, 1981), elles sont souvent considérées comme les meilleurs parcours, 1 à 3 ha/mouton.

Exceptionnellement pour les parcours proches de la Maison forestière d'El-Mergueb où a été observé un parcours à armoise blanche avec 75 % de taux de recouvrement, ce qui est exceptionnel pour une végétation steppique. (KAABECHE, 1990). Elle a atteint un stade de dégradation très avancé notamment dans la partie Nord.

En effet, en 1987 elle couvrait une surface de 6604 Ha soit plus de 38% du territoire totale, elle a été réduite de près de 2000 ha, et se retrouve à (4744 ha.) soit 27% en l'an 2000, et continue de subir des rétrécissements de son aire de répartition. En 2008, sa surface est passée à 4312 ha pour n'occuper que 25% de la surface totale du site.

Par ailleurs, de nouveaux faciès de végétation sont apparus dans tout le territoire de la réserve mais sans atteindre l'état de développement initial qui formait un paysage plus homogène.

Selon les auteurs, elle est interprétée soit comme steppe primaire, soit comme résultant de la dégradation d'autres types de formation végétale, l'Armoise se trouve en association avec l'espèce *Attractifs serratuloides*, et le *Perganum harmala*, formant des groupements typiques liés aux sols.

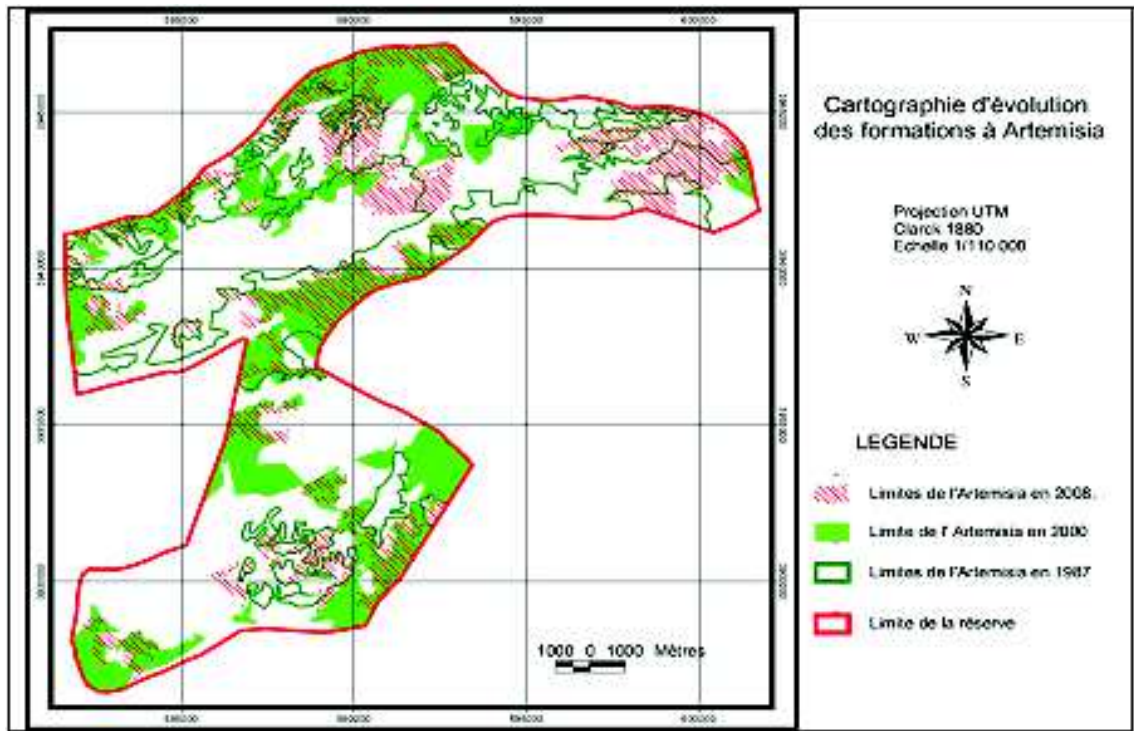


Fig.43. Carte d'évolution des formations à Artemisia dans la réserve naturelle d'El Mergueb de 1987, 2000 et 2008

Sur glacis d'érosion à croûte calcaire, l'armoise est dominée par l'apparition des espèces non appréciées (*Perganum harmala*, *Noa mucronata*, *Astragalus armatus*, cette espèce se raréfie et devient relictuelle sous l'effet de la double action de la charrue et du mouton (pnud Alg35/2005).

Sur sols sableux, se développent les steppes à armoise champêtre (*Artemisia campestris* ssubsp. *glutinosa*) qui forment souvent des faciès post-cultureaux.

Les petites dépressions comme lits d'oueds (rivières) offrent un habitat plus favorable à un autre type de végétation la steppe *Artémision campestris*. L'Armoise champêtre constituerait un "faciès ou un stade transitoire et post-cultural participant à la dynamique des steppes à armoise blanche".

IV.6.3. Évolution des Formations à *Salsola vermiculata*

Cette formation d'extension plus restreinte dans le contexte climatique considéré, sont des steppes crassulescentes à base de salsolacées halophiles (bordures de sebkhas).

En 1987, les formations à *Salsola* étaient peu représentées ; à moins de 5% du territoire, localisées aux extrémités du site, sur substrat à croûte et encroûtement gypseux à gypso-halophile plus ou moins affleurant. Les salsolacées sont généralement des formations de dégradation.

Killian 1953 a déjà noté la grande amplitude écologique de *Salsola vermiculata*. Elle est généralement considérée comme une halophyte (Djebaili, 1978 ; Achour 1983 ; Pouget 1980).

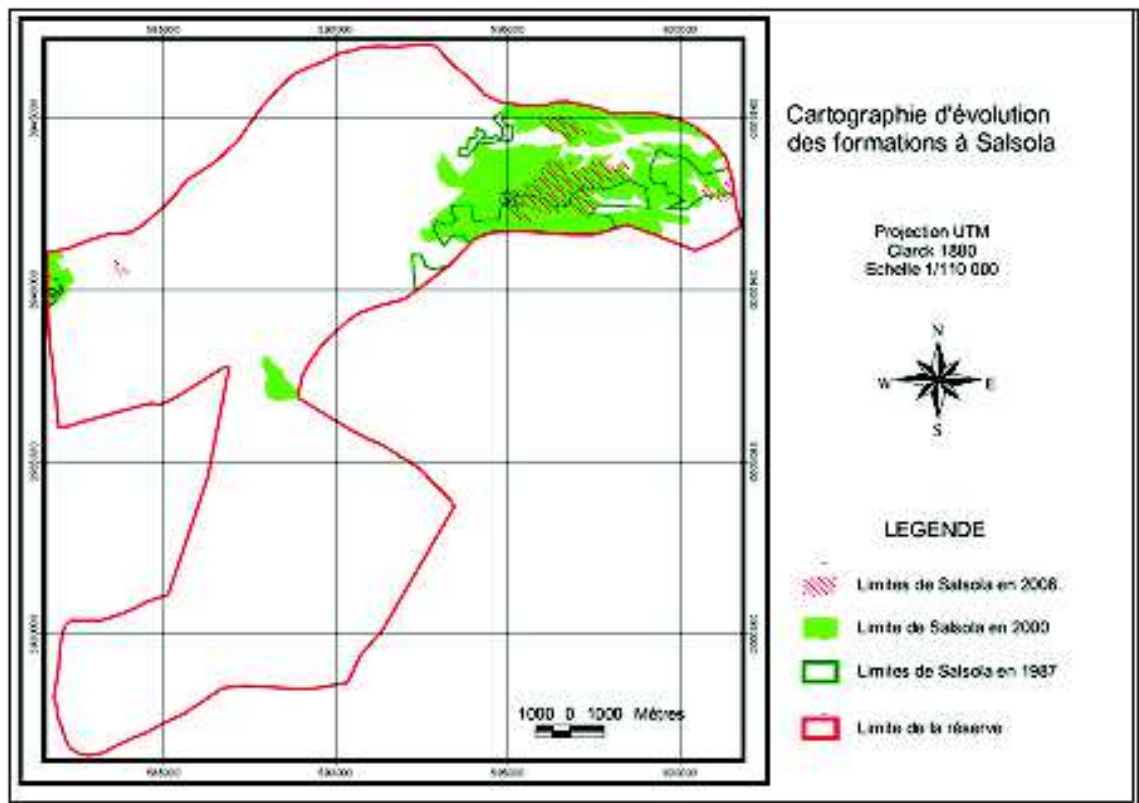


Fig.44. Carte d'évolution de Salsola dans la réserve naturelle d'El Mergueb de 1987, 2000 et 2008

C'est au cours de la première décennie (selon les données satellitales de l'année) que l'on constate le développement de l'espèce dont l'extension est très remarquable au Nord-Est du site, la surface de cette formation a triplé, elle est passé de 4,8% (829 ha) à 12% (2200 ha) d'occupation par rapport à la surface totale du site (fig.44). Cependant c'est en 2008 que l'on observe un remarquable rétrécissement de sa surface, c'est le retour à l'état initial (celui de 1987) pour ne couvrir qu'une faible superficie (510 ha) soit 3% du territoire total.

Cette restriction de ses surfaces, à l'état actuel (en 2008) a cédé la place aux espèces cultivées et autres espèces plus résistantes aux aléas climatiques notamment à la sécheresse, ainsi, les travaux de Hirsch en 1989, dénote que les unités à *Salsola vermiculata* du fait de la profondeur de leur sol, et d'une texture favorable sont souvent cultivées, il faut cependant que les sels ne soient pas trop important afin d'être lessivés lors de la saison des pluies.

Au sein du site, les salsolacées forment des groupements et s'associent au *Thymelia microphyla* et à l'*Anabasi articulata*. Ces 2 groupements caractérisent une végétation messicoles, à caractère anhrhopozogenes, constitué par une steppe secondaire post-culturelle des étendues steppiques limono-nitro-subhalophiles des régions arides et semi arides.

Cette formation steppique constitue des parcours médiocres très fragiles. La dégradation du couvert végétal entraine la disparition de la maigre couche de sol à caractère superficiel (substrat à encroûtement) et par conséquent la mise à nu de la roche mère.

Ces groupements à *Salsola* possèdent de très faibles valeurs pastorales, cependant elle représente l'espèce préférée de la gazelle de cuvieri (Pnud, 2005).

IV.6.4. Évolution des Formations à *Pistacia atlantica*

Le pistachier de l'Atlas présente une grande amplitude thermique bioclimatique. Il se limite, dans le Sud, aux versants et falaises de l'Atlas saharien, la nature gréseuse ou gypso-calcaire de la roche mère conditionne son association avec le jujubier dans les dépressions alluviales et le long du réseau hydrographique ; ceci corrobore les résultats recueillis à partir d'images satellites utilisant comme critère la végétation, qui notent que la couverture végétale des dayas est constituée essentiellement de *P. atlantica*, de *Z. lotus* et d'herbacées.

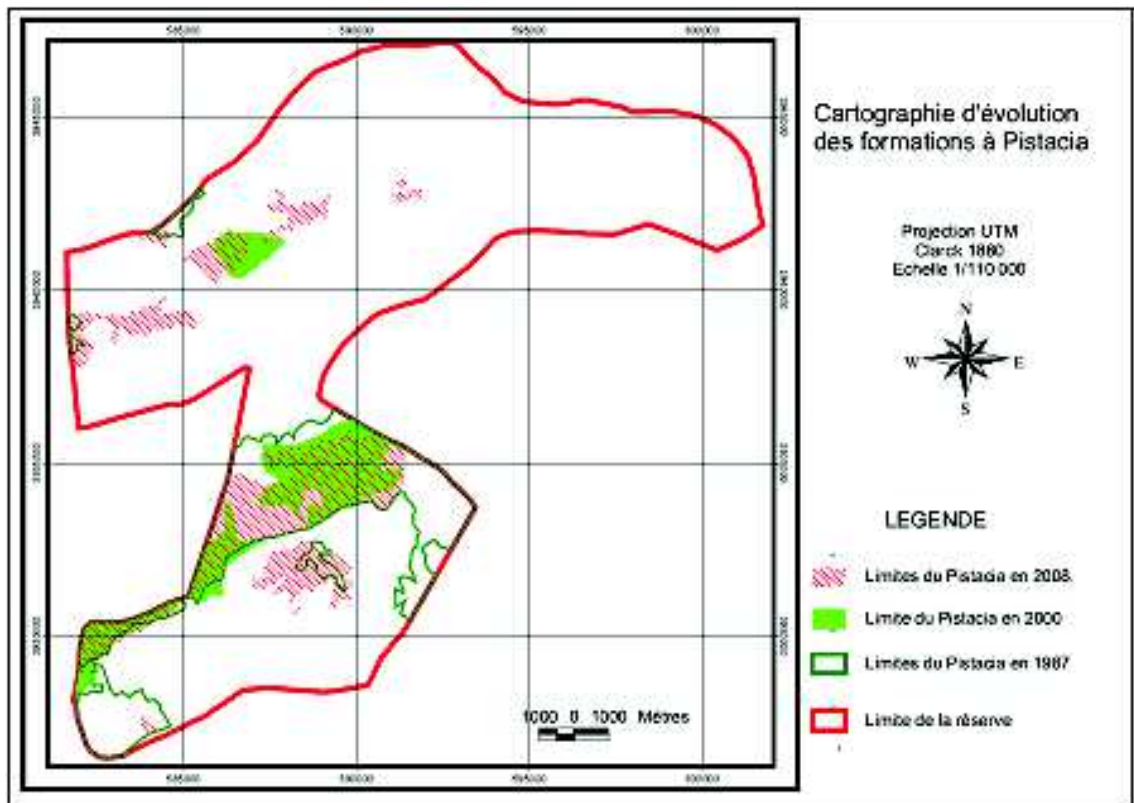


Fig.45. Cartographie d'évolution des formations à *Pistacia atlantica* dans la réserve naturelle d'El Merqueb entre 1987, 2000 et 2008

Le pistachier forme des forêts galerie, cette formation s'observe sur de longue chaîne de dépressions arborées, appelé dayas, localisées au Sud-Ouest du site, la formation végétale est dominée par le *pistachier atlantica* et *Pistacia atlantica* pure entouré de fourrées denses de *Zizyphus lotus* en bordures des talwegs ; espèces caractérisées par la présence d'un groupement steppique à *Arthrolytus scoparium* associé aux espèces *Artemisia herba-alba* et *Peganum harmala* ; accompagné par *Noaea mucronata* .

Ces dayas correspondent à des zones de concentration des eaux de ruissellement, ces dépressions sont le lieu privilégié de décantation de diverses particules en suspension, le sol est profond, à texture limono-argileuse.

Cette espèce a subi une dégradation intense au cours de ces périodes étudiées (fig.45);l'on observe des transformations dans les limites des formations, au cours de la

première décennie (1987 à 2000), ces changements aboutissent à une restriction de sa répartition en 2000, sa surface occupait 2657 ha soit 15% du territoire total en 1987, elle a été réduite de la moitié et s'est cantonnée dans des zones bien déterminées pour ne couvrir que 1322 soit 7% seulement probablement à cause des défrichements aux alentours de ses surfaces les plus accessibles.

Toutefois, on signale une reprise de développement de cette formation ligneuse d'après les données de l'an 2008, occupant d'autres espaces, nous constatons plus ou moins un rétablissement de son aire de répartition, dont les superficies atteignent 2285 ha soit 13% du territoire, ce fait, semble lié aux résultats des actions de reboisements et de protection menées par les services forestiers dans l'objectif ; est, la conservation et la préservation des habitats naturelles des espèces faunistiques en voie de disparition, ainsi que la réhabilitation des parcours .

En effet, le site est soumis aux activités agropastorales intenses, les riverains exercent de fortes pressions par la pratique de labours illicite la location des terres de parcours, pour l'élevage en extensifs de troupeau d'ovin et caprins

IV.6.5. Évolution des Formation à Genévrier

Il s'agit de formations ouvertes dominées par le genévrier de Phénicie en Cette formation steppique ligneuse caractérise les écosystèmes presteppiques, c'est une espèce à large distribution géographique, grâce à sa résilience et sa capacité de développement sur différents types de substrat. Cette espèce est bien développée sur sol nu squelettique, et dalle des djebels gréseux.

Le genévrier se présente en arbrisseau touffu ou arbuste dressé de 1-8 mètres, à écorce brun rougeâtre, bourgeons nus, ramules cylindriques; feuilles toutes ou presque toutes en forme d'écaillés très petites, étroitement imbriquées ses fleurs généralement monoïques; fruits rouges et luisants à la maturité.

Des perturbations naturelles ou anthropiques sont susceptibles de modifier les trajectoires dynamiques. Ainsi, l'effet des défrichements par incendies, et une augmentation de la fréquence des coupes de bois pourraient favoriser les espèces capables de rejeter de souche et défavoriser peu à peu les espèces qui se multiplient par voie sexuée.

La surface de développement des formations arborées à *Juniperus* s'est progressivement accrue entre 1987 et 2008 (fig.46); ou l'on observe de nouveaux faciès occupant le territoire des de l'aire protégée. Ainsi, l'expansion plus ou moins importante du genévrier, serait probablement liée aux résultats des reboisements et le pouvoir de régénération ayant favorisé son accroissement suite aux projets de restauration du site, et aussi à sa localisation moins accessible aux perturbations anthropiques.

Cette espèce héliophile est résistante au froid et à la sécheresse. On le retrouve sur les pelouses herbeuses, les friches, les landes à callune, et s'accommode de tout type de sol. Avec une surface qui couvrait 1941 ha en 1987 soit plus de 11 % du territoire, ses limites se sont étendues, nous signalons une progression de son développement, qui atteint 2195 ha soit près de 13% en l'an 2000, et passe à 2968 ha soit 17% du territoire en 2008.

Ces formations arborées constituent des complexes d'habitats du plus grand intérêt sur les plans paysager et écologique (offrant une grande diversité de niches à la faune et à la flore). Cependant, les peuplements les plus denses apparaissant sur les pentes rocailleuses (mais restant ouverts); sinon individus dispersés, Selon Bennabid et Fennan, 1996, ces formations forment une zone tampon très importante entre les massifs forestiers et les

steppes présahariennes. 11 jouait une barrière écologique primordiale contre l'avancement du désert.

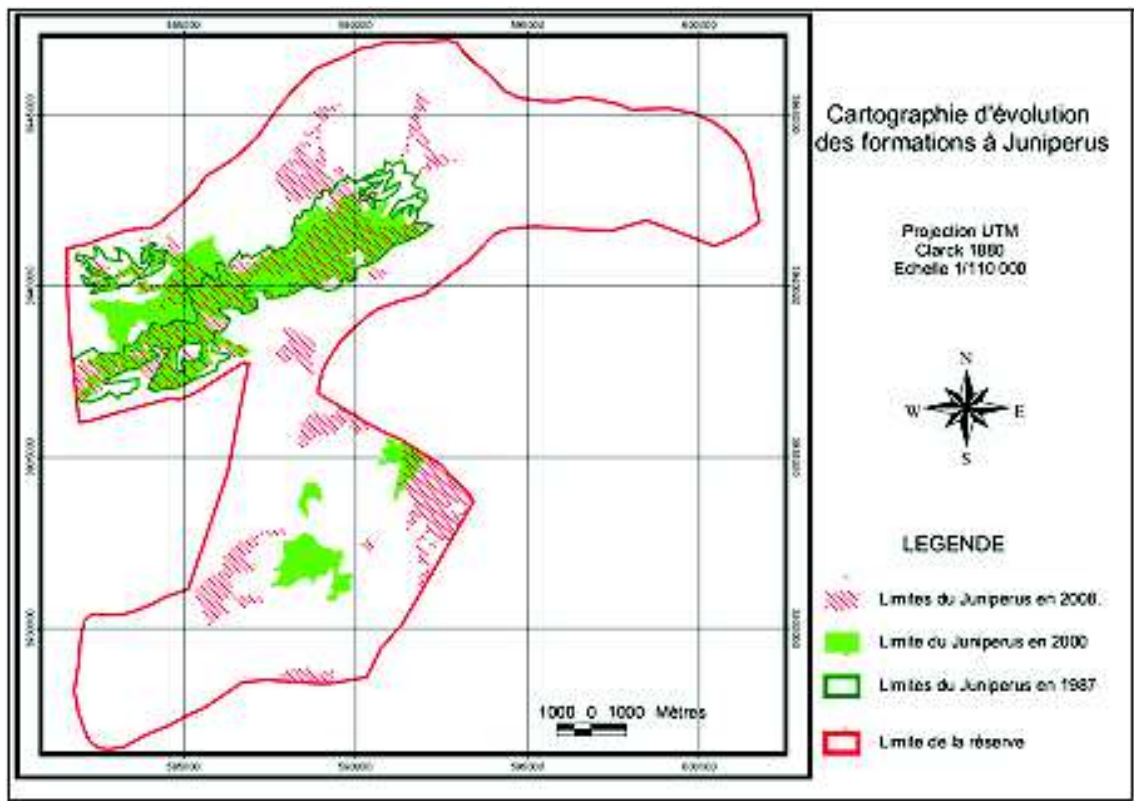


Fig.46. Carte d'évolution des formations à Juniperus dans la réserve naturelle d'El Mergueb de 1987, 2000 et 2008

IV.6.6. Évolution des cultures

Des activités agricoles bien localisées se sont développées durant de longues périodes sans assister à de bons rendements.

Le mode pastoral basé sur la pratique de la transhumance, encore dominant fait accessoirement place à la pratique agricole (culture d'orge ou de blé)(Kaabache, 2005).

Actuellement ce mode d'exploitation des pâturages respectant les règles « écophysologiques » des végétaux est en voie d'être remplacé par un système basé sur la sédentarisation des pasteurs qui pratiquent la mise en « valeur » agricole. On assiste à des défrichements des meilleurs terrains de parcours pour la mise en culture à base de céréales, essentiellement vivrière, en raison des faibles rendements (Kaabache, 2005).

Malgré l'augmentation des surfaces cultivées, une très large partie de la production est destinée à la consommation familiale. .

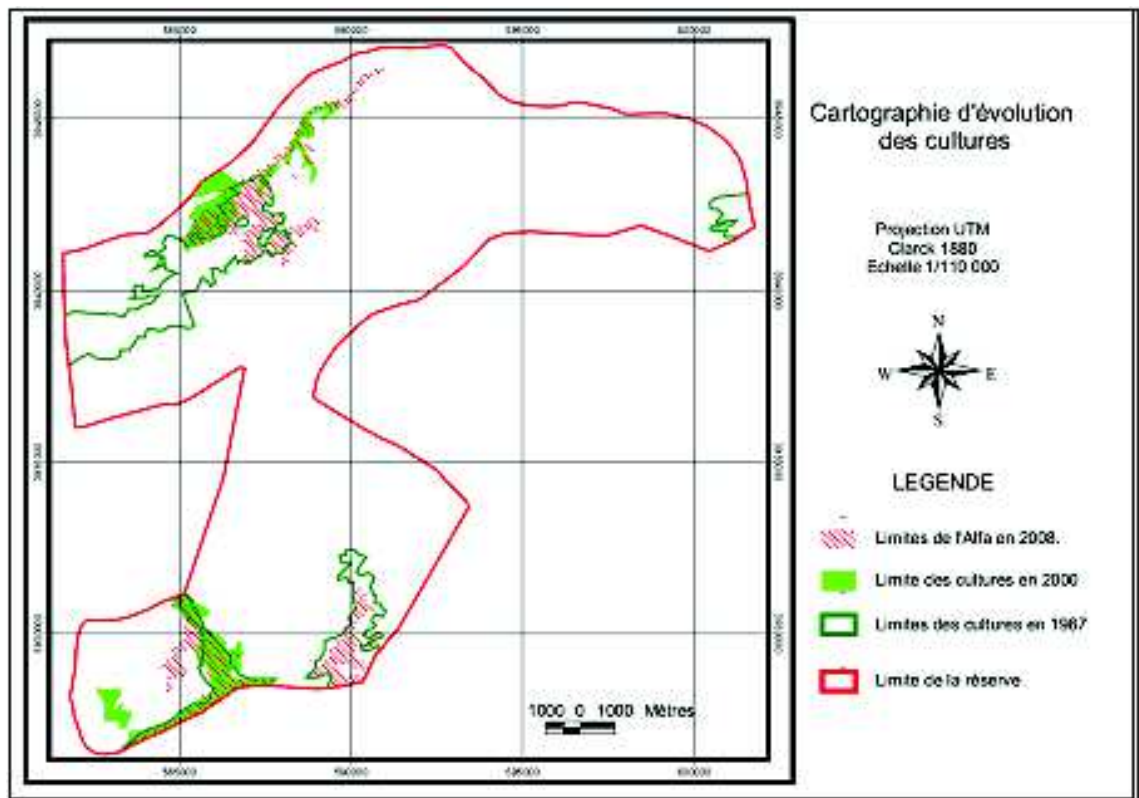


Fig.47. carte d'évolution des cultures dans la réserve naturelle d'El Mergueb de 1987, 2000 et 2008

D'après l'analyse de la carte d'évolution (fig.47); des cultures sont installées au niveau des zones favorables (sol et ressources hydriques), à proximité des oueds. Elles se développent également sur des surfaces restreintes au Nord et Sud-Ouest du site.

En 1987, les surfaces occupées par les cultures s'élevaient à 1695 ha soit presque 10% de la surface totale de la zone délimitée en aire protégée.

D'après les données satellites de 2000 et 2008, certaines de ces parcelles sont maintenues, à l'exception d'une partie au Nord Est, au cours de la première décennie, les cultures ont nettement diminué, leurs superficies est réduite à 698 ha, il n'en subsiste que 4%, ce qui ne demeure pas le cas, durant la deuxième décennie.

En effet, en 2008, l'on identifie une tendance à l'extension des territoires cultivés vers plusieurs kilomètres au Nord et à l'Est du site, à la recherche de conditions plus favorables ; environ 1104 ha ont été enregistrés; soit plus de 6% du territoire de la réserve. Ce fait de conquérir d'autres terrains labourables probablement plus fertiles pourrait traduire un système de mise en valeur qui semble être laissé en repos ou bien des terres abandonnées, devenant moins productives ; suite à l'érosion et à l'épuisement du sol.

La première cause avancée pour expliquer l'emprise agricole est l'augmentation des besoins et des niveaux de vie d'une population en croissance. Cette évolution est celle d'une diminution des terres de parcours au profit des cultures quelles soient pluviales ou irriguées. Outre l'augmentation des besoins, l'emprise agricole semble répondre également, à une augmentation de la spéculation et à la quête de diversification des revenus.

IV.6.7. Évolution des Zones Désertifiées

La désertisation est l'ultime stade de dégradation, marquée par la disparition totale de la végétation, par vieillissement, mais aussi en raison des déséquilibres produits au niveau de leur alimentation en eau et en substances minérales nutritives.

La désertisation est définie par LE Houerou (1969) comme étant un ensemble d'actions qui se traduisent par une réduction plus ou moins irréversible du couvert végétal, aboutissant à l'extension de paysages désertiques nouveaux,

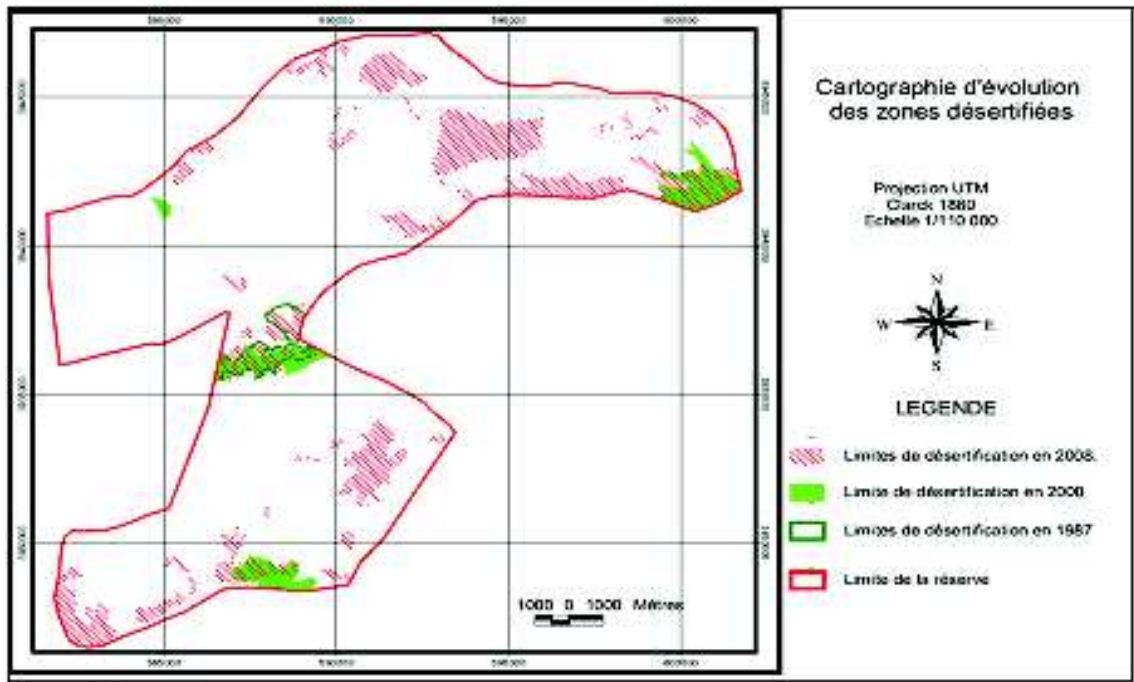


Fig.48. Carte d'évolution de la désertification dans la réserve naturelle d'El Mergueb entre 1987, 2000, et 2008

Du Nord au Sud du site (fig.48), on constate que les zones classées désertifiées ont augmenté, en 2000, on observe l'apparition de nouvelles zones classées comme désertifiées se sont des surfaces à sol nus, cette classe de dégradation s'est accrue en nombre et en surface suite à une fragmentation des formations végétales, en effet la superficie calculé en 1987 était de 246 ha soit elle représentait seulement 1,4%.

C'est au cours de la première décennie (1987-2000) que l'on observe des surfaces envahies par la désertisation, la dégradation de la couverture végétale commence à s'étendre à d'autres

territoires, cette classe a pratiquement doublé en superficie, nous enregistrons 622ha soit 3% du territoire total. L'absence de toute régénération compromet le renouvellement de la végétation et sa réinstallation sauf sur certains replats ou en bas de pentes où s'accumulent les éléments fins.

Les types de ces dernières stations sont colonisés par des arbustes vestigiaux du climax.

Dans la zone d'El Mergueb, le désert est généré suite aux pressions des activités pastorales, Le pâturage intensif a réduit la végétation et a transformé la zone en une terre dégradée, on signale par ailleurs que les jeunes pousses sont consommées par le cheptel

et les touffes sont incendiées par les bergers, seuls quelques pieds asséchés de *Peganum harmala* recouvrent le sol. (Kaabache, 2005)

L'étude PNUD en 2005 (Programme des nations unies pour le développement), rapporte que la charge maximale que supporterait le site est de 27.000 têtes (tout cheptel confondu, alors que le nombre recensé s'élève à 130.000 têtes. Ce surpâturage se traduit par la raréfaction et même la disparition des espèces végétales à haute valeur fourragère et par l'abondance et même la dominance des espèces peu palatables et par la dénudation de plus en plus croissante du sol. Si en plus, s'y exerce des actions d'éradication des espèces pérennes, des actions de destruction du couvert végétal et du sol (labours) le résultat est sans appel : les processus de désertification sont irrémédiablement enclenchés. En conséquence, les surfaces délimitées de cette classe s'élèvent à 2607 ha soit 15% du territoire en 2008.

Même si le couvert végétal se rétablit, quand les bonnes espèces pastorales n'arrivent pas à se réinstaller, autrement dit, Floret et Pontanier, 1992 considèrent ces zones désertisées. (Hirsch, 1989).

IV.7. Analyse de la biomasse et de la densité

Le surpâturage provoque une diminution du couvert végétal pérenne et de la phytomasse. La phytomasse de l'alfa a diminué de 2100 Kg MS/ha en 1976 à 572 Kg MS/ha (Aidoud et Nedjraoui, 1992 ; Slimani, 1998) in Nerdjraoui, 2004)

L'information relative au niveau de couverture végétale a été extraite de l'analyse des valeurs de l'indice de végétation normalisé. L'estimation de la biomasse est évaluée en fonction du NDVI obtenue des données de télédétection, en utilisant la corrélation suivante :

$$V(\text{kg/ha})=0,216(100 \cdot \text{NDVI})^{1,7}$$

Le NDVI est considéré comme un indicateur lié au taux de recouvrement végétal du sol, à la quantité de biomasse et à l'état général de la végétation.

L'indice de végétation Normalisée (NDVI) est couramment utilisé, Comme l'ont démontré de très nombreuses études, cet indice est sensible à la santé et à la vigueur de la végétation et par conséquent, à l'activité photosynthétique.

Concernant toutes les formations végétales cartographiées, les valeurs du NDVI enregistrées en 1987, révèlent une végétation relativement assez dense. Cependant d'après le suivi du comportement des NDVI (fig.49) on remarque que les valeurs moyennes diminuent depuis 1987, 2000 à 2008, pour toutes les classes identifiées au niveau de la réserve

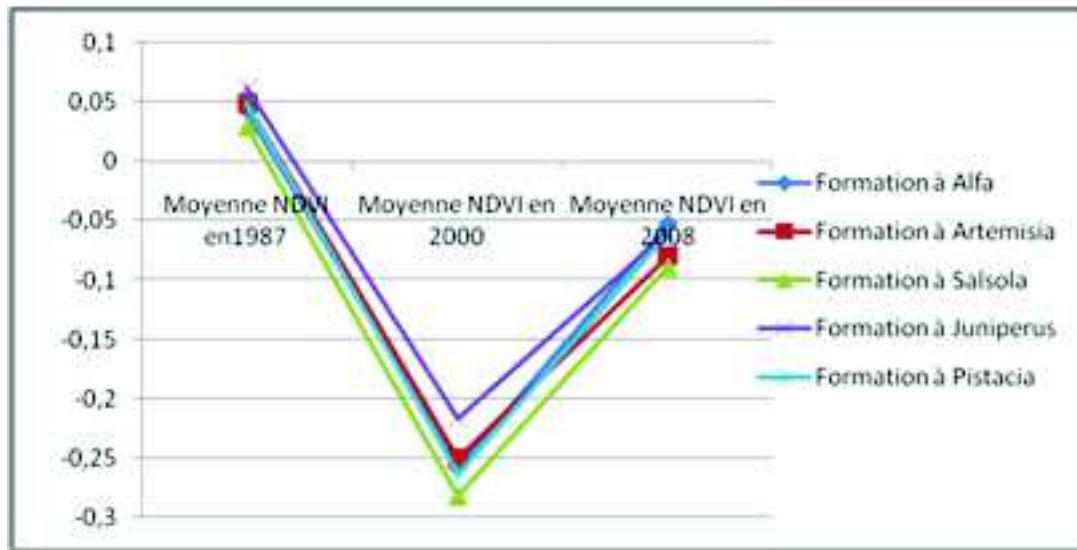


Fig.49. évolution de l'NDVI entre 1987,2000 et 2008à partir des données Landsat de la réserve naturelle d'El Mergueb

On constate une baisse importante et brutale du NDVI (fig.49) ; au cours de la première décennie entre 1987 et 2000, toutefois ces valeurs augmentent vers l'année 2008, une remontée biologique semble s'établir au cours de la deuxième décennie entre 2000 et 2008, ce qui détermine que la biomasse a également diminué, ainsi que la densité. C'est un constat qui démontre clairement la dégradation du couvert végétal pareillement aux régressions des surfaces du tapis végétal au profit du sol nu.

Les salsolacées ont des taux de phytomasse verte assez constante et toujours bas alors que d'après plusieurs études en milieux steppiques (Aidoud, 1989, Floret et Pontanier, 1982 in Hirche, 1989), déterminent que l'Alfa possède un grand dynamisme, peut en bonne année augmenter considérablement son pourcentage de matière verte.

Dans le cas où elle est protégée, elle peut avoir plus de 50% de sa phytomasse aérienne en pousses vertes, cependant ce taux peut atteindre des valeurs plus basses 10%, notamment lors d'une succession d'années sèches (Aidoud 1989).

IV.8. TRAJECTOIRES DE CHANGEMENT

Le concept de trajectoire est actuellement préféré à celui de succession, car il "recouvre à la fois la succession naturelle d'un écosystème et toutes les autres pressions qui lui sont applicables" (Le Floc'h et Aronson, 1995).

Les trajectoires visent à identifier les voies par lesquelles les paysages se transforment à travers le temps. En attachant l'histoire des changements à une portion de territoire, elles permettent non seulement de mettre en évidence les configurations temporelles des changements mais de tenir également compte de leur continuité et de leurs directions. Cette connaissance s'avère d'autant plus importante que les changements passés influencent les caractéristiques écologiques actuelles des différents éléments du paysage et donc le rôle qu'ils peuvent jouer au sein des stratégies d'aménagement (Haines-Young, 2005).

La méthode utilisée est celle des matrices de transition (GODRON et LEPART, 1973). Selon cette méthode, il est proposé de déterminer des coefficients qui traduisent le pourcentage en surface et la vitesse de transformation d'une unité phytoécologique en une autre unité.

Pour décrire les changements d'occupation du sol par les formations végétales intervenus entre 1987, 2000 et 2008, la méthode de la matrice de transition a été utilisée.

Cette matrice est constituée de tous les coefficients de transformation des unités rencontrées sur la carte; la surface initiale des unités est également prise en considération. On peut alors simuler, par calcul automatique, l'évolution dans le temps des surfaces des différentes unités.

IV.8.1. Matrice de transition des unités écologiques

La matrice de transition entre deux états (t_0 et t_1) est obtenue à partir des valeurs données par les logiciels de SIG et traitées dans Excel. Ces valeurs proviennent de la superposition des deux cartes grâce à un logiciel de SIG (l'extension GeoprocessingWizard du logiciel Arcview 3.3) en vue de détecter les transformations opérées dans l'occupation du sol entre deux dates.

Elle correspond à une matrice carrée décrivant de manière condensée, les changements d'état des éléments d'un système pendant une période donnée (Schlaepfer, 2002). Les cellules de la matrice contiennent la valeur d'une variable ayant passé d'une classe initiale « i » à une classe finale « j » pendant la période allant de t_0 à t_1 .

Les valeurs des colonnes et des lignes représentent des proportions des aires occupées par chaque classe d'occupation du sol au temps correspondant. Ainsi, les colonnes de la matrice indiquent les états d'occupations des sols finals (2000 et 2008) et les lignes correspondent aux états initiaux (1987, 2000)

Chaque valeur du tableau correspond à une portion du paysage convertie, entre 1987, 2000 et 2008, de la classe indiquée sur la ligne vers la classe indiquée en colonne.

1987 \ Formations végétales 2000	Agr		A t		Art		Dt		J ph		Patl		S v		Total général
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	
Agr	293	17,3	98	5,78	668	39,41	102	6,02	403	23,78	129	7,611	2	0,118	1695
A t	77	2,35	1944	59,40	455	13,90	221	6,75	140	4,277	97	2,964	339	10,36	3273
Art	255	3,86	2928	44,34	2010	30,44	80	1,21	135	2,044	5	0,076	1191	18,03	6604
Dt				0,00	75	30,5	130	52,85		0		0	41	16,67	246
J ph			388	19,99	169	8,71		0,00	1339	68,99	39	2,009	6	0,31	1941
P atl	73	2,75	27	1,02	1263	47,53	64	2,41	178	6,699	1052	39,59		0	2657
S v		0,00	79	9,53	104	12,55	25	3,02		0		0	621	74,91	829
Total général	698	4,05	5464	31,68	4744	27,51	622	3,61	2195	12,73	1322	7,666	2200	12,76	17245

Matrice de transition de la végétation entre 1987 et 2000

Tab.23. Matrice de transition de la végétation dans la réserve naturelle d'El Mergueb entre 1987 et 2000

Analyse multi-temporelle de la végétation de la réserve naturelle d'El Mergueb (M'sila) par application des techniques geomatiques

Formations végétales 2000 \ 2008	Agr		A t		Art		Dt		J ph		Patl		S v		Total général
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	
Agr	472	67,6	9	1,29	97	13,9	77	11,03	41	5,9	2	0,287		0	698
A t	137	2,5	2632	48,2	1387	25,4	630	11,5	524	9,6	125	2,288	29	0,5	5464
Art	393	8,3	210	4,43	2047	43,15	741	15,6	747	15,75	579	12,2	27	0,57	4744
Dt			24	3,86	17	2,73	464	74,6	111	17,85	0	0	6	0,96	622
J ph	44	2	95	4,33	127	5,8	6	0,27	1393	63,46	530	24,15		0	2195
Patl	58	4,4	3	0,23	47	3,56	21	1,6	144	10,9	1049	79,35		0	1322
S v			486	22,1	590	26,82	668	30,36	8	0,4		0	448	20,36	2200
Total général	1104	6,4	3459	20,06	4312	25,00	2607	15,12	2968	17,21	2285	13,25	510	2,95	17245

Matrice de transition de la végétation entre 2000 et 2008

Tab.24. Matrice de transition de la végétation dans la réserve naturelle d'El Mergueb entre 2000 et 2008

Formations végétales	Agr		A t		Art		Dt		J ph		P atl		S v		Total général
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	
2008 1987															
Agr	684	40,35	28	1,65	268	15,8	160	9,44	171	10,09	372	21,95	12	0,7	1695
A t	137	4,19	1293	39,51	679	20,75	451	13,78	368	11,24	213	6,5	132	4,1	3273
Art	227	3,44	1734	26,26	2453	37,14	1265	19,16	529	8,01	171	2,6	225	3,4	6604
Dt					6	2,44	214	87	26	10,57					246
J ph	50	2,58	245	12,62	173	8,9			1398	72,02	75	3,8			1941
P atl	6	0,23	16	0,60	437	16,45	268	10,1	476	17,91	1454	54,7			2657
S v		0,00	143	17,25	296	35,71	249	30,04					141	17,01	829
Total général	1104	6,40	3459	20,06	4312	25,00	2607	15,12	2968	17,21	2285	13,25	510	2,9	1724

Matrice de transition de la végétation entre 1987 et 2008

Tab.25. Matrice de transition de la végétation dans la réserve naturelle d'El Merqueb entre 1987 et 2008

Agr : Agriculture At : Alfa tenacissima Art :Artemisia J ph :Juniperus P atl : Pistacia atlantica Sv : Salsola vermiculata

IV.8.1.1. Les transitions entre 1987 et 2000

Le tableau de transition exprime les fractions des surfaces appartenant à une classe « A » en 1987 et qui se sont converties en d'autres classes « B » en 2000. La diagonale représente les surfaces de 1987 maintenue en 2000.

On observe d'après le tableau (tab.23) ; 17 % des surfaces de zones cultivées sont maintenue en 2000 tandis que 102 ha soit 6% renfermant des surface cultivées en 1987 se sont transformées en désert ou sol nu. D'autres surfaces cultivées se sont transformées en zones de régénération d'espèces ligneuses, Genévrier ou probablement un développement suite aux reboisements.

D'importantes modifications ont été observées au cours de la période de 1987 à 2000, en l'espace de 13 ans, nous enregistrons une superficie de 9856 ha qui se sont transformées et évoluées soit 57% de la surface totale du territoire délimité. Ces modifications ont touché presque toutes les unités écologiques identifiées.

Cependant les formations végétales ligneuses à base du pistachier sont les plus affectées, l'analyse de la matrice de transition révèle une proportion élevée par rapport aux autres communautés végétales composant le site, on enregistre une superficie de 1263 ha

soit 47 % des surface occupées par les formations à *Pistacia atlantica* en 1987 qui ont été identifiées comme envahis par les formations à Armoise

On signale que cette espèce steppique a gagné du terrain en l'an 2000. Ainsi, nous constatons une remontée biologique au niveau des surfaces qui étaient classées comme désertifiées, ou dépourvu de végétation en 1987.

L'armoise s'est développé sur les espaces qui étaient classés en zones cultivées probablement abandonnées pour d'autres espaces plus productifs en 2000, ces surfaces atteignent (39%) de son aire initiale, de ce fait on totalise de 1860 ha au profit de l'armoise

Par ailleurs 44% du territoire des formations à armoise ont été dominées par l'alfa en 2000. Cette espèce maintien 60% de son aire de répartition à travers le site, elle représente la troisième espèce la plus résistante au changement du côté du Genévrier et la Salsola avec respectivement 70 et 75%.

De ce fait il semble qu'il y'a tendance au développement de formations de types steppiques herbacées ligneuses de types basses, cas de l'armoise et de l'alfa plus résistante à la sécheresse et bien adaptées aux conditions climatiques arides plutôt qu'aux espèces arborées plus exigeantes.

IV.8.1.2. Les transitions entre 2000 et 2008

Au cours de la période 2000 et 2008 au total plus de 50% des surfaces ont subi transition, on assiste à une transformation des classes (tableau 24), on passe d'une espèce dominante à une autre espèce plus résistante ou probablement plus favorisée dans les reboisements, et ainsi grâce à sa capacité de régénération.

On observe qu'au cours de cette période d'importantes surfaces 2137 ha soit 12% se sont du territoire se sont transformées en classes de sol dénudés ou probablement désertifiées, Cet état de dégradation a touché en majorité la classe des formations à alfa et les formations à armoise.

Cependant, les proportions les plus importantes sont celles de la classe à Salsola dont la surface convertie en sol désertique atteint 668 ha soit 30 % de son aire initiale en 2000 ce qui probablement induit par les activités pastorales intenses, d'autre part cette espèce est dominée par l'armoise occupant 27% (950 ha) du territoire en 2000 il est à noter que la Salsola malgré sa grande aptitude germinative, les semences de cette espèce sont caractérisées par une courte longévité.

Une proportion de l'ordre de 14% (94 Ha) des territoires qui appartenaient aux zones de cultures en 2000 sont convertie en steppes à armoise. D'après Lehouerou 1969, une recolonisation par l'armoise champêtre constituerait un "faciès ou un stade transitoire et post-cultural participant à la dynamique des steppes à armoise blanche".

L'action intense du troupeau sur les parcours a modifiée considérablement la composition floristique de ces formations, Certaines espèces diminuent au profit d'autres espèces, la dégradation de cette végétation dans ces steppes résulte de deux facteurs fondamentaux: les conditions climatiques et l'activité anthropozoogène

Une superficie de 530 ha soit 24% de la surface totale qui appartenaient à la classe des formations à base de Genévrier sont dominées par le pistachier en 2008 ce qui est lié probablement aux reboisements en pistachier en parallèle aux prélèvements et défrichements

Les steppes à alfa constituent un espace à usages multiples (Attia 1977) : pâturage à seuil de charges excessif, prélèvement pour la pâte à papier, et d'autres utilisations domestiques.

De nombreuses publications ont montré, plus au Sud, l'importance de la dégradation des steppes à alfa par le surpâturage pour aboutir aux vastes paysages des steppes à armoises annonçant les formations pré-désertiques et désertiques (Aimé et al., 1988, Attia, 1977, El Hamrouni, 1992).

L'armoise blanche (*Artemisia herba-alba* Asso), plante des hautes plaines steppiques du sud de l'Algérie occidentale, colonise progressivement les nappes alfatières. La sédentarisation des pasteurs, une sécheresse persistante et un rouissage naturel très long en absence d'exploitation rythmée ont contribué au remplacement de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) par l'armoise blanche.

IV.8.1.3. Les transitions entre 1987 et 2008

Entre 1987 et 2008 (tableau 25), les zones dégradées et désertifiées demeurent maintenues dans 87% de leurs surfaces. Aussi, on compte une proportion de 9%, 14%, 19%, et 10% ; ont été dégradées et transformées en zones désertiques, parmi les zones de cultures, classe à alfa, armoises et pistachier.

Cependant, concernant les surfaces ayant connu de fortes transitions, nous retrouvons, les formations à base de *Salsola* dont 36% et 30 % de ses surfaces ont disparus pour laisser la place ; respectivement, à l'armoise et aux zones désertisées.

A son tour l'armoise; cède une proportion de 26% de ces surfaces pour le développement de l'alfa tandis que l'on observe la transformation inverse à 21% des surfaces

Environ une proportion des surfaces estimées à 40% ont été maintenues pour les formations à Alfa ainsi que les zones à activités agricoles sont en équilibre, n'ayant subi aucune transformation.

D'autre part, On estime que 22% des surfaces agricoles ont été converties en pistachier ce qui peut expliquer la prise de conscience de la population pour la réhabilitation et la conservation.

Dans l'ensemble, Malgré les conversions des formations, entre les différentes périodes, il y'a eu réhabilitation et reprise de végétation à base d'espèces dominantes. Le Genévrier représente l'espèce dominante la plus résistante aux changements du fait qu'une proportion de ses surfaces maintenues est estimée à 72% entre 1987 et 2008

Vient ensuite le pistachier, dont seulement la moitié de ses surfaces soit 55% qui demeurent représentées en 2008.

L'évaluation locale de la dynamique de la végétation des différents microsites étudiés traduit un déclin général des formations végétales, de nombreux auteurs signalent que des transitions régressives entraîneraient la diminution de la richesse floristique et donc de la biodiversité. Ce constat a suscité vraisemblablement une tentative de réhabilitation des formations naturelles, conduite par les services forestiers ; ainsi des reboisements et des mises en défens ont été réalisés.

IV.9. Modélisation de la dynamique

La dynamique de la végétation est "*l'étude des changements qui affectent la végétation avec le temps*" (Miles, 1979; cité par El Hellafi, 1994).

Les précédentes analyses, et l'évolution de la végétation à travers les transitions au cours du temps entre la période 1987-2008 ont permis définir une dynamique au niveau des différents groupements d'espèces dominantes dans l'espace en délimitant des zones de même tendances (fig.50.)

IV.9.1. Zones à Dynamique progressive

Ces surfaces représentent 5797 Ha soit 33,6% ; correspondent aux zones où l'on observe un développement d'espèces arborées et l'installation de la végétation sur des zones classifiées dessertisses. L'évolution progressive est observée dans des zones plus ou moins protégées des facteurs de dégradation. L'ensemble des processus observés est appelé "*remontée biologique*" (Le Houérou et Hoste, 1977). Elle se caractérise par l'augmentation du taux de recouvrement

permanent, de la biomasse pérenne, du taux de matière organique dans le sol, de la stabilité structurale, de la perméabilité et du bilan d'eau, de l'activité biologique et de la productivité

primaire, tandis que la variabilité de la production annuelle diminue, se sont probablement des zones moins accessibles.

IV.9.2. Zones à Dynamique régressive

L'évolution régressive sont des transformations de la végétation dues aux facteurs de dégradation : le déboisement et les incendies et surpâturage, notamment par les caprins, le défrichage et la culture des steppes (Le Houérou, 1995). D'après notre cas d'étude, l'évaluation des zones en catégorie régressive, concerne les occupations transformées en sol nues désertiques, et celle dont la végétation initiale étant des espèces arborées remplacées par des herbacées après 21 ans .elle renferment une surface de 5582 ha soit 32,4 % du territoire

L'étude de la dynamique des steppes d'après Le Houérou, 1995 ; montre qu'elles sont dérivées de forêts claires, en passant par la garrigue et steppe à alfa avec campagne forestières, ensuite en steppe d'armoise blanche et champêtre avant d'aboutir aux steppes dégradées ou cultures.

L'exploitation anarchique des ressources pastorales, a généré un état de dégradation avancée, ce qui engendre une évolution des potentialités et de la biodiversité vers une dynamique non productive avec installation et développement d'espèces rudérales non appréciées : c'est le schéma classique de la dynamique au sein des parcours.

La désertification est causée par une combinaison de facteurs qui évoluent dans le temps: les facteurs indirects, tels que la croissance démographique, et les facteurs directs, comme les pratiques d'utilisation de ces terres et les changements climatiques.

IV.9.3. Zone de Stabilité

« Une loi en écologie nous apprend qu'en règle générale les écosystèmes sont d'autant plus stables et résistants à des perturbations extérieures qu'ils sont biodiversifiés » (Sarthou J.P., 2006) In Ranzon, 2006)

Les surfaces identifiées comme étant stables sont les mieux représentées, elles englobent une superficie de 5865 Ha soit 34% du territoire du site.

Ces zones sont caractérisées par une stabilité des éléments structuraux dominants les formations, leurs surfaces ont été maintenues au cours de la période étudiée, soit aucun changement n'est intervenu dans l'occupation de ces espaces; c'est le cas des zones désertifiées, et de certaines formations végétales.

On y distingue également des territoires ayant connus une réhabilitation et une reprise de la végétation initiale, qui succède à un stade de dégradation intense.

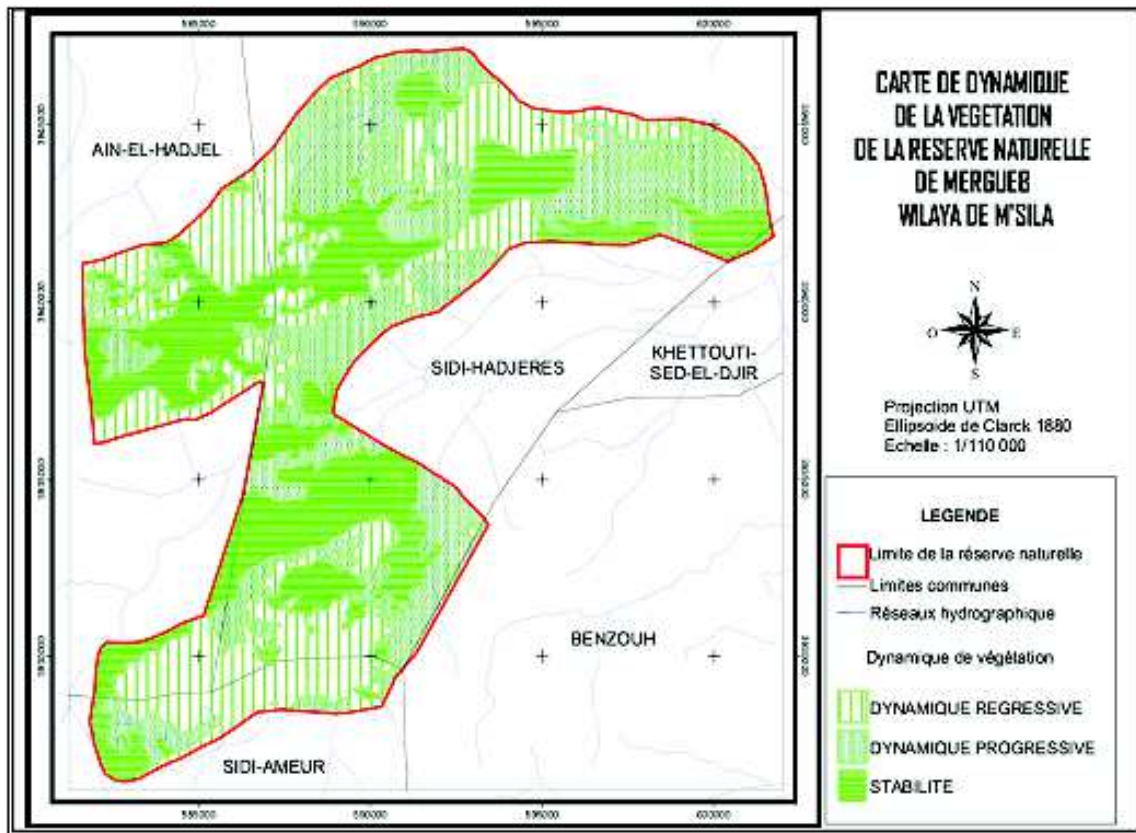


Fig.50. carte de la dynamique de la végétation dans la réserve naturelle d'El Mergueb entre 1987 et 2008

IV.10. Analyse de la dynamique de la structure spatiale

La dynamique du paysage peut être décrite par des changements dans le temps de sa composition et de sa structure spatiale. L'application des méthodes de l'écologie du paysage (calcul d'indices de structure spatiale) est basée sur la relation d'interdépendance entre les trois éléments clés de tout système écologique à savoir sa configuration spatiale, sa composition et son fonctionnement (Bogaert & Mahamane, 2005).

IV.10.1. Calcul d'indice de structure spatiale

L'analyse consisté à calculer un certain nombre d'indices de structure spatiale. Il est admis que le paysage est composé par trois types d'éléments :

- Les taches, entités élémentaires fonctionnelles d'une classe d'occupation du sol ;
- Les corridors, éléments linéaires reliant les taches entre elles ;
- La matrice, l'élément englobant qui exerce le rôle dominant (Burel & Baudry, 2003).

Afin d'étudier les rapports entre la configuration du paysage et les processus écologiques, il est nécessaire de décrire ces structures en termes quantifiables. Ceci explique le développement d'une série d'indices «landscape metrics» (Hargiset *al.*, 1997). Ces mesures sont souvent un indicateur de l'impact humain.

Dans le cadre de cette étude, un certain nombre d'indices au niveau de chaque classe d'occupation du sol ont été calculés.

IV.10.2. Nombre de taches

Premièrement, le nombre de taches appartenant à une classe donnée j (n_j) a été déterminé. Cet indice nous renseigne sur la fragmentation d'une classe entre deux périodes.

En effet, l'augmentation du nombre de taches d'une classe peut être due à la fragmentation de cette classe (Davidson, 1998).

IV.10.3. L'aire totale

L'aire totale (at_j) occupée par la classe j (en km²) a été calculée suivant l'équation :

$$a_j = \sum_{i=1}^{n_j} a_{ij}$$

a_{ij} était l'aire de la i -ème tache de la classe j

IV.10.4. L'aire moyenne

L'aire moyenne a_j (la valeur moyenne de l'aire des taches de la classe j) a été calculée selon la formule suivante :

$$\overline{a_j} = \frac{a_j}{n_j}$$

IV.10.5. La dominance

La dominance $D_j(a)$ indiquant la proportion d'aire occupée par la tache dominante dans la classe j a aussi été prise en compte. Il s'agit de la part occupée dans l'aire totale (at_j) par la plus grande tache de la classe j notée $amax, j$ (McGarigal & Marks, 1995):

$$D_j(a) = \frac{a_{\max,j}}{a_j} \times 100$$

$0 < D_j(a) \leq 100$. Plus la valeur de la dominance est grande, moins la classe est fragmentée.

IV.10.6. La diversité

La diversité des aires des taches de la classe j , notée $H_j(a)$, a été calculée par l'indice de Shannon (Bogaert & Mahamane, 2005). L'indice de diversité de Shannon est donné par la formule :

$$H_j(a) = \sum_{i=1}^{n_j} - \left(\frac{a_{ij}}{a_j} \ln \frac{a_{ij}}{a_j} \right)$$

\ln représente le logarithme népérien

Cet indice mesure la diversité relative des taches au niveau de la classe. La valeur de $H_j(a)$ va dépendre du nombre de taches présentes (n_j), de leurs proportions relatives (a/a) et de la base du logarithme. Il est égal à 0 lorsque la classe n'est constituée que d'une seule tache et sa valeur va croître avec le nombre de taches et avec l'équitabilité entre les aires des taches de la classe (McGarigal & Marks, 1995).

IV.10.7. L'indice de forme

L'indice de forme de la classe j (IF_j) est donné par la formule:

$$IF_j = \frac{P^2_j}{a_j}$$

(5) où P_j était le périmètre total de la classe j .

L'indice des formes est basé sur un principe de rapport du périmètre sur l'aire. La forme est un élément difficile à quantifier et qui peut donner libre cours à différentes interprétations (Ducrot, 2005). Elle peut être liée à des degrés d'artificialisation et des pratiques culturelles (Krummel *et al.*, 1987). Par exemple, les terres agricoles sont très polygonales alors que les formations naturelles, telles les forêts ont souvent un contour plus complexe. Elle est également liée à l'hétérogénéité du paysage (Delcros, 1994).

Plus les taches ont des formes allongées ou irrégulières, plus la valeur de IF_j sera élevée et cette valeur décroîtra à mesure que les formes deviennent circulaires (Bogaert *et al.*, 2000).

Formation végétale	Agriculture					
années	n_i	$a_{ij}(\text{km}^2)$	$\bar{a}_i(\text{km}^2)$	D_i en %	IF_i	H_i
1987	4	16,95	4,2375	57,0501475	297,40413	1,11337005
2000	5	6,98	1,396	45,12893983	303,1518625	1,302061147
2008	4	11,04	2,76	38,49637681	509,5108696	1,281438586

Tab.26. Indices de structures spatiale des zones cultivées

Formation végétale	Zones désertisées					
années	n_i	$a_{ij}(\text{km}^2)$	$\bar{a}_i(\text{km}^2)$	D_i en %	IF_i	H_i
1987	2	2,46	1,23	65,8536585	68,699187	0,64200138
2000	4	6,22	1,555	38,74598071	154,5016077	1,193215235
2008	36	26,07	0,724166667	17,26121979	795,3970081	2,800481042

Tab.27. Indices de structures spatiales des zones désertisées

Formation végétale	Formation à Artemisia					
années	n_i	$a_{ij}(\text{km}^2)$	$\bar{a}_i(\text{km}^2)$	D_i en %	IF_i	H_i
1987	15	66,04	4,402666667	82,0411872	1095,71472	0,86360547
2000	22	47,44	2,156363636	18,06492411	965,3456998	2,566050459
2008	27	43,12	1,597037037	20,10667904	1437,871058	2,559278077

Tab.28. Indices de structures spatiales des formations à Artemisia

Formation végétale	Formation à Pistacia					
années	n_i	$a_{ij}(\text{km}^2)$	$\bar{a}_i(\text{km}^2)$	D_i en %	IF_i	H_i
1987	7	26,57	3,79571429	74,2566805	154,158826	0,88157162
2000	4	13,22	3,305	56,88350983	139,8638427	1,156564755
2008	9	22,85	2,538888889	52,60393873	287,1334792	1,534160022

Tab.29. Indices de structures spatiales des Formations à Pistacia

Formation végétale	Formation à Juniperus					
années	n_i	$a_{ij}(\text{km}^2)$	$\bar{a}_i(\text{km}^2)$	D_i en %	IF_i	H_i
1987	2	19,41	9,705	91,2931479	252,447192	0,29570247
2000	5	21,95	4,39	83,14350797	321,4578588	0,629243331
2008	10	29,68	2,968	57,91778976	660,3773585	1,461830671

Tab.30. Indices de structures spatiales des Formations à Juniperus

Formation végétale	Formation à Alfa					
années	n_i	$a_{ij}(\text{km}^2)$	$\bar{a}_i(\text{km}^2)$	D_i en %	IF_i	H_i
1987	37	32,73	0,884594595	25,3895509	2210,84632	2,60950866
2000	18	54,64	3,035555556	24,08491947	910,1207906	2,321118082
2008	20	34,59	1,7295	22,81006071	1476,611737	2,414412077

Tab.31. indices de structures spatiales des Formations à Alfa

Formation végétale	Formation à Salsola					
	années	n_i	$a_{ij}(km^2)$	$\bar{a}_i(km^2)$	D_i en %	IF_i
1987	4	8,29	2,0725	61,6405308	165,138721	0,9805962
2000	4	22	5,5	91	235,6363636	0,39817277
2008	5	5,1	1,02	74,50980392	103,7254902	0,866124678

Tab.32 . indices de structures spatiales des Formations à Salsola

Les tableaux 26, 27, 28, 29, 30, 31, et 32 récapitulent les différents indices de structures spatiales calculés pour chacune des classes de l'année 1987, 2000 et 2008. Ces indices ont permis de comparer la structure spatiale des formations végétales ainsi que celles des cultures et des classes de désertification.

On constate une variation dans les valeurs des indices, ce qui indique une dynamique du paysage végétale. Ces indices de structures spatiales ont révélé un certain nombre de transformations spatiales opérées au niveau des formations végétales de la réserve au cours de 21 ans. Pour l'ensemble des indices calculés, les processus de transformation sont beaucoup plus amplifiés dans la classe à couvert végétale (formations à base d'Armoise et d'Alfa) ainsi que dans les classes de cultures.

- **Le nombre de taches** (ou d'entités) « n_j » augmente de 1987 à 2008; cependant cette augmentation est de degré variable.

Pour la classe désert, le nombre de taches s'est multiplié par 18, la valeur de « n » passe de 2 à 36, néanmoins cette augmentation traduit l'apparition de nouvelles aires appartenant à cette classe.

Pour le Genévrier, l'Armoise et la classe à Pistachier, ce paramètre s'est multiplié par 5 ; passant de 2 à 10, de 15 à 25 et de 7 à 9 respectivement ceci indique une fragmentation avec un morcellement des taches initiales.

La fragmentation est définie comme une rupture dans la continuité des habitats entraînant la perte d'habitat, l'isolation des taches et l'effet de lisière (Bogaert, 2000), elle est caractérisée par une diminution de la surface totale d'un habitat et son éclatement en fragments, ou plus simplement par une rupture de continuité (Burel & Baudry, 2003). Les conséquences de la fragmentation sur la biodiversité ont largement été démontrées (Pereboom, 2006).

Cette tendance de fragmentation des aires d'occupation de l'espace par les unités écologiques est confirmée par la diminution des aires moyennes « \bar{a}_j » dans l'ensemble des classes. En effet entre 1987 et 2008, pour les classes Armoise et Genévrier, l'aire moyenne est divisée par 4 fois tandis qu'en 2000, l'aire moyenne des formations à base d'Alfa et de Salsola a augmenté ; passant de 0,8 à 3, et de 2 à 5 respectivement, ce qui concorde avec l'augmentation de son aire totale entre 1987 et 2000.

- Concernant **l'indice de dominance $D_j(a)$** ; l'examen des valeurs d'après les 3 dates, montre que les dominances étaient les plus fortes à l'état initial (données de 1987). Cependant cet indice est nettement plus élevé quand il s'agit des classes de végétation (formation à Pistacia, Armoise et Juniperus). Ces résultats traduisent deux processus de transformations spatiales qui sont la suppression et la fragmentation d'entités au niveau des classes.

A l'exception de la classe à Salsola où l'on note l'augmentation de cet indice (de 61% à 91 %), les valeurs de la dominance diminuent dans la plupart des classes, passe de 82 % à 20%.

Dans les formations à armoise, il passe de 75,25% à 52,6% dans les formations à pistachier, et de 25,64% à 22,95% dans les formations à Alfa, font aussi constater que ce sont ces deux classes qui sont les plus fragmentées.

En effet, cela signifie qu'en 21 ans, les taches qui dominaient ces classes par leurs tailles ont été morcelées plusieurs fois, il y a eu, ainsi formation ou agrégation de taches dans ces classes.

Cependant, la diminution de cet indice au niveau de la classe de désertisation, reflèterait probablement les tentatives de réhabilitation du milieu et la reconstitution des surfaces végétales grâce aux reboisements et probablement aux efforts de lutte contre la désertification, à la régénération naturelle, et la remontée biologique suite aux actions de mise en défens des zones dégradées.

- Un autre constat est l'évolution de l'**indice des formes If** avec les classes ; globalement pour toutes les classes où le taux d'occupation du sol augmente, la valeur de l'indice de forme a augmenté au niveau des formations arborées à Genévrier et la classe de pistachier en 2008.

Au niveau de zones désertisées cette valeur passe de 68 en 1987 à 797 en 2008, et de 297 à 509 dans les classes de cultures.

En 2000, pendant que la valeur de cet indice s'accroît dans les classes des cultures, les zones désertisées et la classe à Salsola, l'on note un recul dans les classes à alfa et celle du Pistachier. En effet l'Alfa qui représente la plus grande valeur d'indice de forme qui était de 2210, chute à une valeur de 910, de même il diminue de 154 à 139 dans la formation arborée à *Pistacia atlantica* au cours de la première décennie

Le même constat pour la classe à Armoise, celle-ci voit sa valeur diminuer de 1095 en 1987 à 955 en 2000, mais toutefois, cette dernière décennie en 2008 il atteindra une valeur de 1437. L'indice des formes permet de mesurer la compacité des formes des deux objets bidimensionnels afin d'évaluer l'effet des perturbations externes sur un habitat naturel (Bogaert et al, 2000), car deux taches de même taille par exemple, peuvent avoir des formes différentes. Par conséquent la superficie de chaque habitat devient une variable déterminante pour la présence et l'abondance de certaines espèces. L'indice de formes est aussi utile pour comprendre le comportement de telles espèces dans un paysage.

Cet indice augmente avec l'irrégularité de la forme des taches. Plus l'indice augmente et plus le paysage est désagrégé, (*i.e.* plus les éléments constituant le paysage sont fragmentés). La fragmentation de ce paysage conduit à la réduction de la taille d'un élément allant parfois jusqu'à sa disparition (Carsjens & van Lier, 2007). Lors de la fragmentation des éléments d'un paysage, la longueur des lisières augmente. Les espèces généralistes vont être favorisées car leur habitat se trouve plus généralement en bordure à l'inverse des espèces spécialistes qui sont situées plus généralement au centre des taches (Krauss, 2004).

La relation entre la taille et la forme des éléments influence un certain nombre de processus écologiques, entre autre l'intensité des flux biotiques et abiotiques.

- **Quant à l'indice de Shannon H_j** ; il nous renseigne sur l'homogénéité au sein des classes. Plus cet indice est élevé, plus il y a de taches et sa valeur décroît à mesure que les aires des taches sont disproportionnelles. Sa valeur est calculée à partir de données quantitatives ou semi-quantitatives de la végétation. A une valeur d'indice élevée correspond une diversité élevée.

La diversité est, maximale dans les peuplements où toutes les espèces ont le même nombre d'individus (Barbault, 1995). A l'inverse, un peuplement dont une espèce est majoritairement dominante affiche une valeur faible de son indice de diversité.

Au cours de la première décennie (1987-2000), on observe que l'indice de Shannon de la classe à Salsola décroît de 0,9 en 1987 à 0,4 en 2000, toutefois cette valeur se multiplie par 2 et atteindra 0,8 en 2008.

Concernant la classe à alfa, l'indice de Shannon a légèrement diminué de 2,6, à 2,4 ; cette classe elle correspond à la formation qui possède l'indice le plus élevé, d'où on estime que ce constat, serait lié à sa forte présence à travers le paysage du site, par contre l'indice le plus faible correspond à celui de Salsola (0,3 en 2000 et 0,8 en 2008) et celui du juniperus (0,2 en 1987) ce qui traduit la faible présence de la classe à travers leurs entités qui les représentent au niveau du territoire.

Entre 1987 et 2008, on constate que c'est également au niveau des formations végétales à armoise, pistachier, et Genévrier, que la valeur de l'indice augmente (environ 3 fois au niveau de l'armoise et environ 2 fois pour le pistachier et de 7 fois au niveau du Genévrier.

En effet, au cours de la deuxième décennie (2000-2008) les valeurs de l'indice de Shannon relatif à l'alfa et à l'armoise, restent plutôt constantes. La classe des cultures est caractérisée par un indice constant au cours de toute la période d'observation.

Cela confirme la tendance d'équitabilité entre les taches à Armoise, Pistacia et Alfa dans lesquelles beaucoup de petites taches ont remplacé les quelques grosses présentes en 1987 comme déjà montré par les valeurs de D_j (a).

Notons que des travaux (Fédoroff et al. (2005) ont mis en évidence l'impact d'un gradient d'hétérogénéité du paysage relié à un gradient d'intensification des pratiques agricoles sur la richesse en espèces végétales. Ils ont montré une perte de la diversité en espèces végétales en fonction de l'hétérogénéité du paysage.

Le calcul des indices de structure spatiale a permis de mettre en évidence la configuration spatiale des taches des classes dans le paysage du site. L'analyse cartographique, grâce à la matrice de transition, nous a révélé trois processus qui se sont déroulés entre 1987 et 2008.

Premièrement, la désertification matérialisée par l'augmentation de l'aire totale des classes de zones désertisées et la formation de nouvelles entités, ensuite la dégradation de la végétation des formations steppiques et surtout la régression des espèces arborées depuis 1987, et en fin une faible tendance d'évolution écologique vers un état climacique par un développement des formations arborées ; cas de l'augmentation de l'aire du Juniperus et la reprise des surfaces du pistachier à partir de la deuxième décennie en 2000.

En plus, les trois processus révélés par la cartographie sont confirmés par les indices de structure spatiale. La dégradation des formations végétales steppiques est matérialisée par une fragmentation plus forte au niveau de ses classes. Cela est illustré par une forte augmentation du nombre de taches « n » pour les formations à armoise ainsi que par une diminution aussi forte de l'aire moyenne des taches « \bar{a}_j ».

Cependant, les amplitudes de cette dynamique spatiale sont plus fortes dans les classes des formations à Armoise. En plus, les tendances observées entre les deux groupes de classes (groupe des formations végétales et le groupe des déserts, et cultures) évoluent en sens opposé.

Selon certains auteurs (Wilson et Willis (1975), la réduction de surfaces va de pair avec une réduction des effectifs mais surtout avec une perte de biodiversité.

IV.11. Dimension fractale des classes

La dimension fractale permet de quantifier le degré d'irrégularité et de fragmentation d'un objet. Elle est déterminée par la relation qui existe entre le périmètre et l'aire de l'ensemble des taches de la classe

La dimension fractale D_f utilise essentiellement le principe du ratio entre périmètre et la surface, et a été proposée par Mandelbrot (1977) dans le but de quantifier la forme d'objets complexes (Iorgulescu et Schlaepfer, 2002).

Au niveau de la classe j la dimension fractale s'obtient donc à partir de la régression $\log p_{ij}$ par rapport à $\log a_{ij}$.

Elle est basée sur l'analyse des taches de différentes tailles de la même échelle en tant que « substitut » d'un changement d'échelle (Frohn, 1998). Son application requiert des données suffisantes et l'auto-similarité entre les taches considérées (De Cola, 1989 ; Imre, 2006). Cette dernière condition est supposée remplie quand des taches sont issues du même processus (Imre & Bogaert, 2004).

La droite de régression donnant D (par l'intermédiaire de la pente qui équivaut à $D/2$) et k (par l'intermédiaire de l'interception) est une technique généralement citée en littérature d'écologie du paysage sous le nom de « la méthode de régression linéaire logarithmique ».

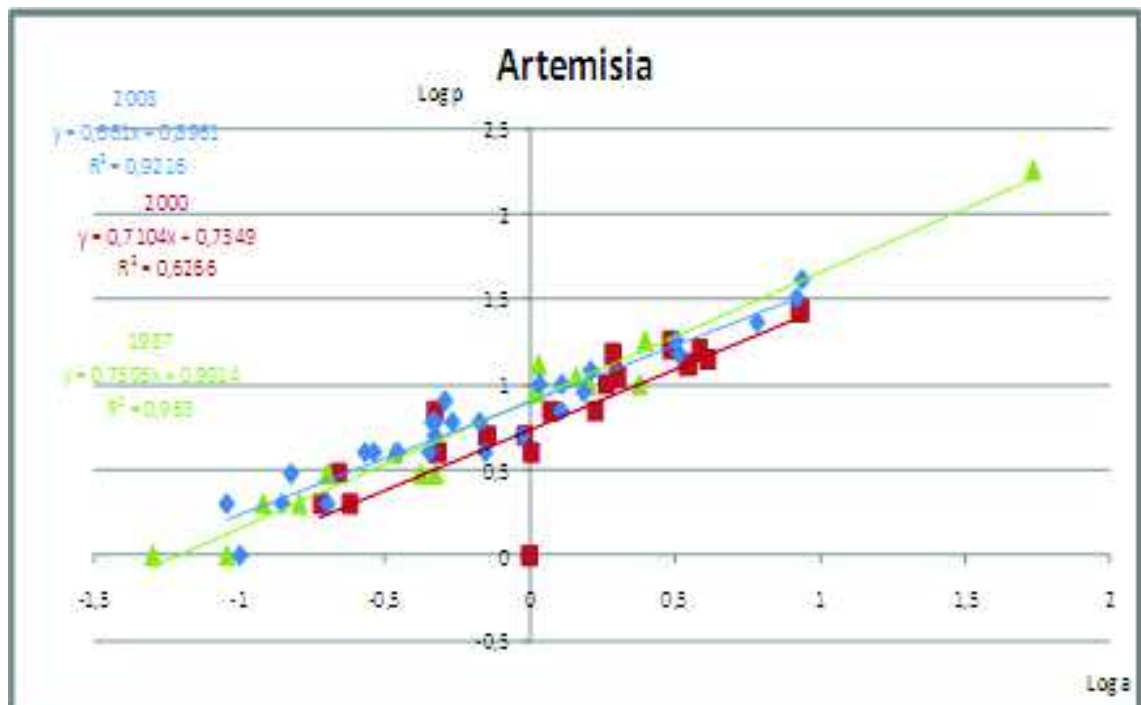
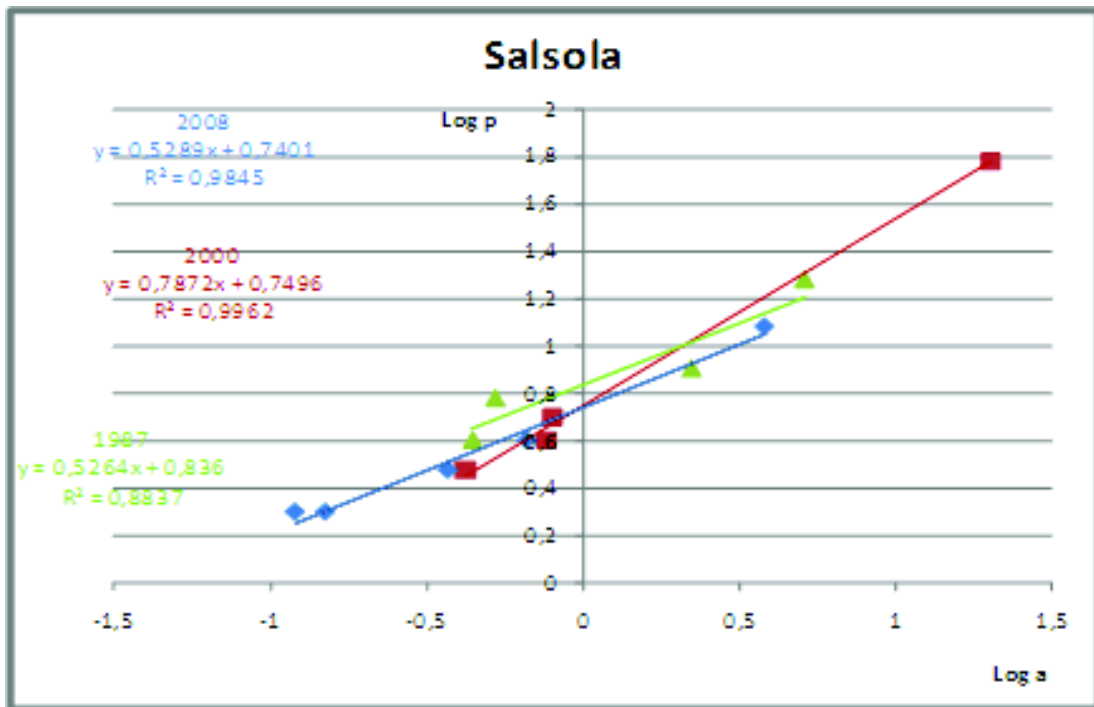


Fig.51. Droite de régression des logarithmes des périmètres en fonction des logarithmes des aires des taches pour la classe Artemisia



Fi

Fig.52. Droite de régression des logarithmes des périmètres en fonction des logarithmes des aires des taches pour la classe Salsola

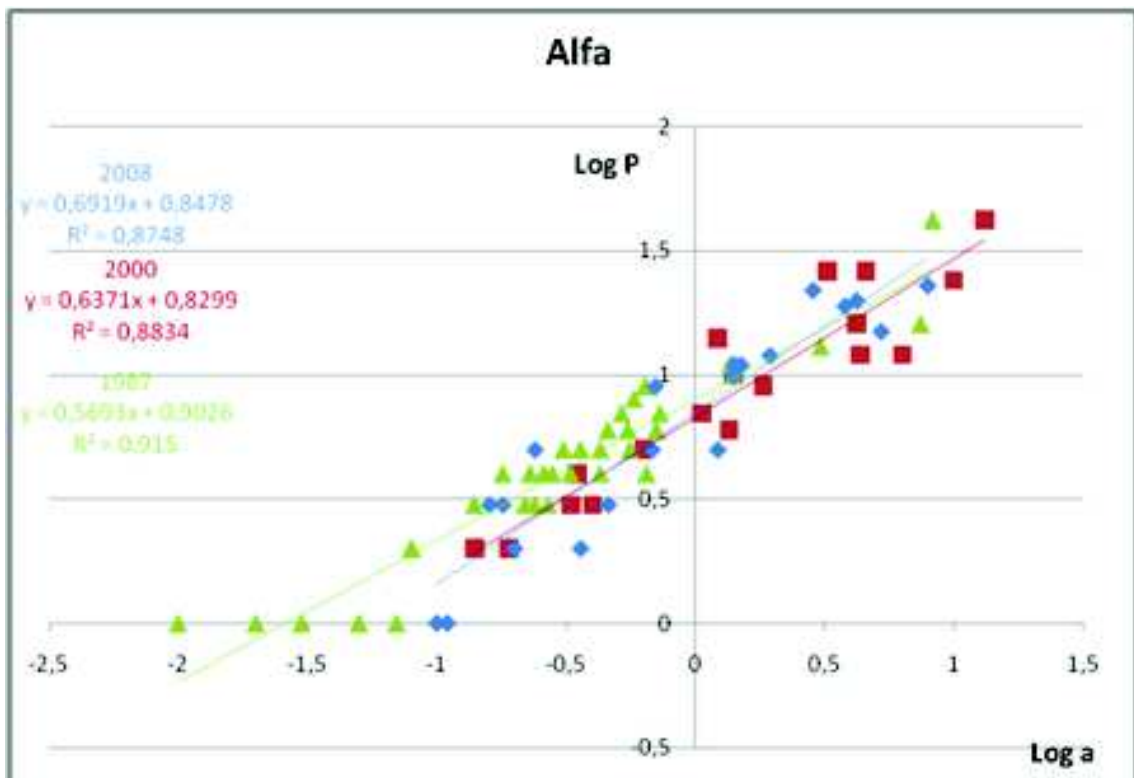


Fig.53. Droite de régression des logarithmes des périmètres en fonction des logarithmes des aires des taches pour la classe l'alfa

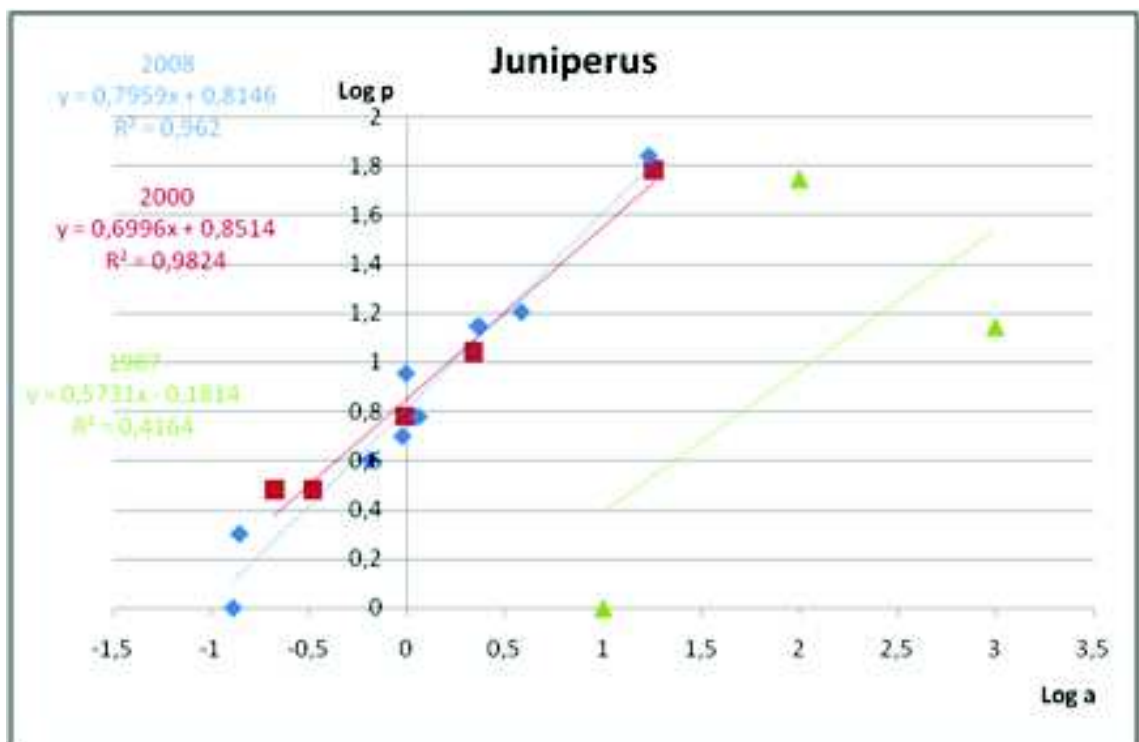


Fig.54. Droite de régression des logarithmes des périmètres en fonction des logarithmes des aires des taches pour la classe Juniperus

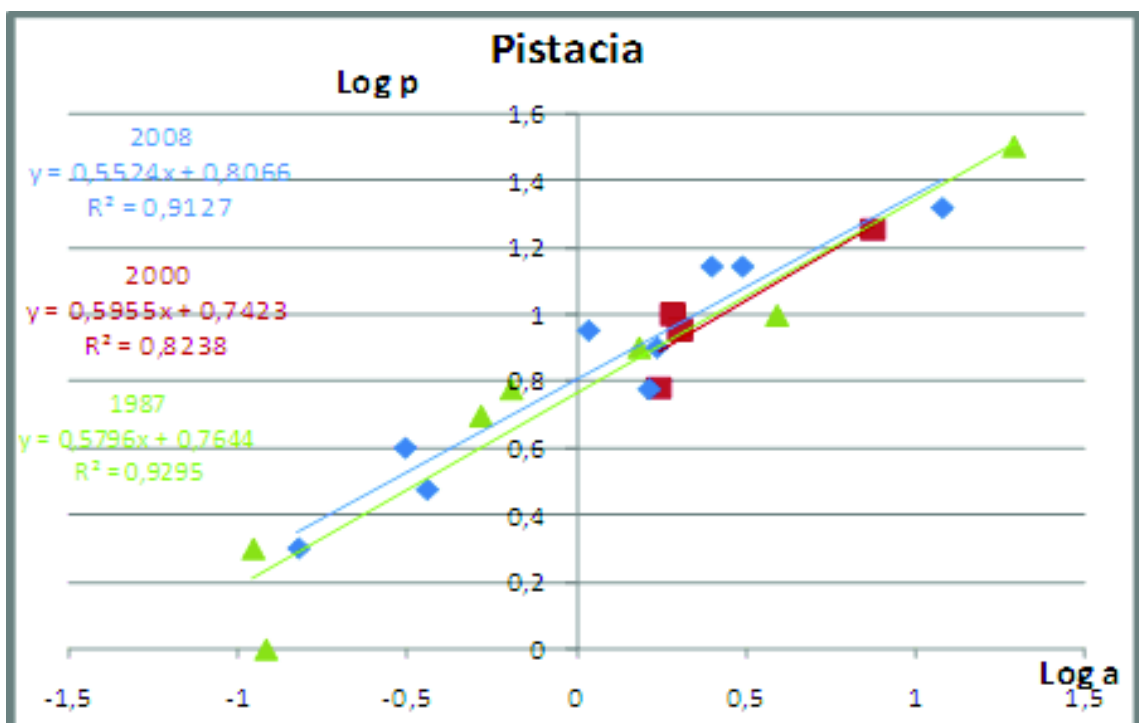


Fig.55. Droite de régression des logarithmes des périmètres en fonction des logarithmes des aires des taches pour la classe Pistacia

Les graphiques log-log (Figures 51, 52, 53, 54 et 55) donnent la pente de la régression qui est égale à $Df_j / 2$. Plus la valeur absolue de la pente de la droite de régression est forte, plus la dimension fractale est grande et voisine de 2 ($1 < D < 2$),

Lorsque Df_j tend vers 2 on a des formes à géométrie complexe, et des formes simples ou linéaires lorsque Df_j tend vers l'unité. Ces dernières formes sont souvent dues à l'impact humain.

Le logiciel et tableur Excel nous fournit cependant un paramètre important pour nous alerter sur la validité ou la non-validité des résultats : le coefficient de régression, noté « r^2 ». Ce coefficient est toujours compris entre 0 et 1. Plus r^2 est proche de 1, plus la probabilité que l'équation fournie reflète correctement la relation entre les données est bonne.

On observe une forte corrélation entre les aires des taches et les périmètres. Leurs périmètres sont d'autant plus importants que leurs surfaces (aires) sont plus grandes. La forme de la relation est linéaire, $y = ax + b$, car le nuage de points s'ajuste correctement à une droite.

Les mesures de la dimension fractale semblent être proches les unes les autres et proches de l'unité, ce qui expliquerait la dominance de formes moins complexe mais plus ou moins régulière. Cette dominance de la forme régulière dans toutes les classes peut être due, soit à la perte des informations lors des transformations cartographiques (digitalisation) soit tout simplement à l'anthropisation.

Pour les données spatiales de 1987, les valeurs de dimensions fractales étaient respectivement de 1,14 pour les formations à Alfa, de 1,05 pour la Salsola, de 1,15 pour les formations à Genévrier et de 1,16 pour le pistachier de l'atlas. Celle à armoise est la plus élevée elle est de 1,50.

Concernant les données spatiales de 2000, ces valeurs de droites ont augmenté pour toutes les espèces cependant c'est la classe à Salsola qui enregistre la valeur la plus élevée 1,57, celle de l'Alfa passe à 1,27 en 2000, ensuite à 1,38 en 2008.

En parallèle, le Genévrier passe à 1,40 puis augmente à 1,59, or la superficie de cette espèce ayant positivement évoluée, ce qui démontre un processus intermédiaire de réhabilitation naturelle, la diminution des pressions de dégradation vers la tendance aux actions de développement de l'espèce par reboisement.

En revanche l'on constate que la valeur fractale relative au pistachier a diminué à 1,19, et enregistre une valeur de 1,10 seulement; en effet c'est la valeur la plus représentative d'une forme régulière puisque c'est celle qui est la plus proche de l'unité, ce fait s'explique par les reboisements (limites artificielles), étant donné que sa surface s'est accrue depuis 2000, cette presque parfaite ajustement est lié aux effets d'artificialisation de la formation arborée qui prend une forme géométrique par l'intervention des activités anthropiques qui reflète un effort de repeuplement végétal.

Les valeurs relatives à l'armoise attestent du surpâturage exercé, au fur et à mesure des taux d'évolution négatifs enregistrés au niveau de ses superficies, sa dimension fractale « D » se rapprochent de plus en plus d'une forme régulière, en passant à 1,42 en 2000, et enfin à 1,32 en 2008

En effet, nous constatons que cette relation linéaire décroît de plus en plus en avançant dans le temps à partir de l'année 1987 en allant vers l'année 2000 jusqu'à 2008. Celles de l'année 1987 affichent un meilleur ajustement des nuages de points à une droite à

l'exception de l'armoise qui cependant enregistre la valeur de dimension fractale la plus élevée.

La valeur de la dimension fractale correspond au double de la valeur de la pente de la droite de régression obtenue, dénotent des formes géométriques les plus simples, plus ou moins carrées ou circulaires ces caractéristiques indiqueraient un état du milieu déjà anthropisé, qui cependant a tendance vers l'atténuation des impacts au niveau du site.

L'augmentation de cette valeur entre 1987, 2000 et 2008 pourrait démontrer d'une certaine tentative de protection et d'atténuation du phénomène de dégradation, notamment les fortes pressions liées aux pressions des pâturages au fil des temps, tel est le cas de presque toutes les classes à l'exception de celle concernant l'armoise qui exprimant une dégradation successive du milieu, cette tendance est observée également au niveau des formations à Salsola en 2008.

Dans l'ensemble, le paysage étudié occupe une position intermédiaire entre les paysages fortement anthropisés ($D \approx 1$) et les paysages tout à fait naturels, sans impact humain notable ($D \approx 2$). Ce qui est illustré par les valeurs moyennes de D comprises entre $D=1,32$ et $D=1,59$ en 2008. Le plus fort impact est observé dans la classe alfa(1,14-1,27) en 1987 et en 2000, le pistachier en l'an 2000 et 2008 dont les valeurs sont de l'ordre de 1,19-1,10, et la classe à Salsola en 2008 avec 1,06 qui est caractérisée par la valeur de D la plus faible, relativement les plus proches de 1.

En revanche, le genévrier semble le moins anthropisé, surtout en 2008, il possède la valeur d'indice « D » la plus élevée.

Par conséquent, les données de l'ensemble des unités écologiques exprimeraient donc, une tentative d'atténuation, de manière progressive, des perturbations anthropiques, plus accentués au fur et mesure pour atteindre le maximum dans les classes obtenues par les données les plus récentes celle de 2008.

Nous pouvons alors constater que le paysage du site Mergueb a évolué ces dernières années, à un rythme assez rapide. On peut nuancer étant donné qu'on observe encore une potentialité de fragmentation et aussi une potentialité pour la conservation.

Les steppes à *Stipa tenacissima* constituent le système dont sont issus par dégradation, la majorité des groupements steppiques (Le Houérou, 1969; Celles 1975 ; Le Houérou et al., 1975; Djébaïli, 1978 ; Aidoud-Lounis 1984, 1997). Cependant, ce système ne peut être retenu comme un « climax » steppique car, pour de nombreux auteurs, (Djébaïli, 1978 ; Quézel et al., 1990; Le Houérou, 1995), il représente l'ultime stade de régression des formations forestières. Selon une conception récente, les steppes à *Stipa tenacissima* correspondraient au « système historique indigène » (Aronson et al. 1995). Les steppes, comme celles à *Lygeum spartum* et à *Artemisia herba-alba*, qui en dérivent par dégradation, peuvent se maintenir durablement, et constituent des « stades alternatifs stables » (Westoby et al., 1989). in Aidoud, 2007.

Cette analyse vient confirmer le phénomène d'anthropisation, cependant les causes de la régression des espèces ne sont pas strictement d'ordre anthropique, car selon de nombreux auteurs, à l'heure actuelle, la sécheresse et les changements climatiques peuvent entraîner une dégradation des formations naturelles et le recul important des superficies correspondant aux variations concomitantes de la pluviométrie, en conséquence, suite à la destruction des habitats ; la faune serait donc menacée.

IV.12. Vulnérabilité aux variabilités climatiques et aux activités anthropiques

La vulnérabilité est définie comme : le degré auxquelles le système est susceptible ou incapable de faire face aux différentes adversités notamment, les pressions anthropiques conjuguées aux effets des changements climatiques, y compris les variabilités climatiques et ses extrêmes.

La vulnérabilité est fonction du caractère, de l'amplitude et du taux de la variabilité du climat auxquelles le système est exposé, ses sensibilités, et ses capacités adaptatives ICCP, 2007 (comité intergouvernementale pour le changement climatiques).

En fonction de la répartition de la végétation et des sensibilités identifiées, des aires de répartition, un zoning est établi en tenant compte des informations concernant les caractéristiques de la végétation, des espèces et des conditions du milieu.

Afin d'obtenir l'index global de vulnérabilité aux changements climatiques, nous avons calculé la moyenne normalisée de chacun des indicateurs de l'exposition (exposition à de multiple de risque de dégradation), de la sensibilité de la végétation aux changements, et de la capacité adaptative.

Pour définir les secteurs vulnérables, nous avons procédé à un classement des données spatiales selon un indice de risque ou de vulnérabilité, cet indice de risque a permis de diviser le territoire en quatre classes .

Les zones qui coïncident aux secteurs de changements spatiaux dits négatifs avec un degré de changement de forte amplitude ont été considérées des secteurs les plus vulnérables,

La hiérarchisation de la vulnérabilité repose sur un classement des zones en fonction du risque, nous distinguons alors 4 classes (figure56):

- Zone à vulnérabilité extrême
- Zone à vulnérabilité élevée
- Zone à vulnérabilité modérée
- Zone peu vulnérable.

Selon une échelle de vulnérabilité et de risque, nous avons dressé une carte thématique de vulnérabilité en délimitant les aires de même catégories de risques de dégradation.

IV.12.1. Zone à vulnérabilité extrême

Les territoires classés dans cette catégorie impliquent un besoin d'un plan de réhabilitation d'urgence, Cette catégorie occupe d'importantes surfaces, soit 24% (4186ha) de la totalité de la réserve de Mergueb. Cette proportion vient en 3^{ième} position par rapport à la répartition des autres catégories.

Ce sont des territoires dont l'état de dégradation est très avancé, des zones désertifiées atteignant une surface de 1947 ha; soit plus de 11 % de la surface totale de la réserve, en dépit de l'effort déployé pour faire face à la dégradation.

Nous distinguons la présence d'une espèce forestière endémique ; le pistachier de l'atlas (*Pistacia atlantica*) qui est une espèce menacée, présentant donc un haut risque d'extinction.

Cette espèce apparaît dans cette catégorie de vulnérabilité extrême en raison de son état et stade avancé de dégradation avec une surface de 2239 hectares, soit 13% est représentée.

Cet état de désertification est surtout générée par la perte considérable de matières organiques et au tassement du sol suite à la dégradation de la végétation naturelle sous l'effet des pressions anthropiques particulièrement le surpâturage, les labours et le développement des récoltes annuelles. Cette catégorie est considérée prioritaire pour les mesures de réhabilitation, de reconstitution des habitats et des communautés biologiques disparus ; nécessite la plantation d'espèces pionnières pouvant aider à la remontée biologique, ce sont des espèces adaptées aux sols dégradés, rustiques, peu exigeantes et résistantes à la sécheresse, permettant de reconstituer le couvert végétal et les sols dégradés.

La reconstitution est indispensable à l'équilibre écologique des communautés de la réserve, Ces territoires de sols nus expriment une perte de matières organique

IV.12.2. Haute vulnérabilité

Cette catégorie occupe la première position, caractérise la plus grande partie de la réserve avec une surface de 5. 279 ha soit plus de 30% du territoire totale de la réserve.

Le territoire classifié dans cette catégorie court un risque plus élevée de dégradation. La vulnérabilité aux pressions anthropiques et aux aléas climatiques (sécheresse), dépend considérablement du type de végétation, en fonction de leurs capacités d'adaptation et de résistance, les espèces répondent différemment aux conditions climatiques

Cette catégorie représente principalement les territoires à dominance de l'espèce graminéenne *l'Alfa tenacissima* intégrant une superficie de 3715 ha, soit 21.5% de la surface totale de son aire de développement sont touchés, ses limites se sont déplacées progressivement, ayant subis par ailleurs une fragmentation le territoire de cette espèce devient de plus en plus de restreint, très dégradé, engendré par les activités anthropiques, surexploitations, pâturages intensifs menant au sol nu, ainsi vulnérable à la désertification.

Une mise en défens de cette steppe dégradée permet, après un laps de temps plus ou moins long, la reconstitution des caractéristiques majeures (couvert, composition, production) de la végétation préexistante, favorise la régénération des pérennes qui en piégeant du sable et la matière organique et en permettant l'infiltration de l'eau de pluie, entraîne l'accroissement du couvert végétal et son maintien en période de risque d'érosion.

IV.12.3. Vulnérabilité modérée

Apparaît en seconde (2nd) position de par son importance, dans la majeure partie du secteur analysé, nous enregistrons une surface assez considérable ; **4439** ha soit **26%** du territoire sont classées moyennement vulnérables, on rencontre au niveau de cette zone des espèces plus résistantes et plus adaptée à la sécheresse, et aux augmentations de températures, ces caractéristiques lui confèrent une certaine adaptation aux conditions du milieu.

Le risque de dégradation est moins important relativement aux autres partie du territoire du site, néanmoins cette zone nécessite, la protection et la conservation

En particulier, les résultats prouvent qu'il y a des secteurs plus résistants que d'autres, en améliorant les techniques de gestion, de reboisement, la restauration des terres dégradées.

IV.12.4. Zone peu vulnérable

Cette catégorie se retrouve en 4^{ème} position renferme 3341 ha soit 19% du territoire, à dominance d'espèces arbustives Genévrier de *phenicea* et des surfaces à dominance de l'espèce *Salsola vermiculata* avec seulement 0.2%, en effet ces espèces sont caractérisés par une capacité d'adaptation plus élevée, peu de changement se sont produits en particulier concernant leur distribution à l'intérieur de la zone délimitée en aire protégée.

Ce secteur est le moins vulnérable aux pressions et aux aléas climatiques toutefois, le suivi et la sensibilisation sont nécessaires afin de permettre le maintien et la croissance de la végétation.

Les effets des activités anthropiques sur la couverture végétale, se répercutent sur les microclimats suite aux perturbations dans les cycles biogéochimiques, notamment la fonction d'absorption de carbone, la dégradation de la végétation réduit la quantité séquestrée d'oxyde de Carbone (CO₂) dans l'atmosphère qui est un gaz à effet de serre qui contribue considérablement au réchauffement global (IPCC, 1995). Par conséquent, la dégradation du couvert végétal est un facteur de changements climatiques, laquelle à son tour contribue à l'appauvrissement du couvert.

L'analyse multi-temporelle intégrée aux systèmes d'informations géographiques GIS permettent de mettre en évidence les différents phénomènes conjugués.

L'analyse des données montre que la quasi-totalité de la zone délimitée par l'aire protégée est vulnérable.

Ces aires sont caractérisées par une composante biotique (végétation) à l'état dégradé, plus de 60% de l'aire totale sont identifiées comme sévèrement et extrêmement vulnérable aux pressions anthropiques et surtout aux conditions climatiques peu favorables à savoir l'augmentation des températures et des précipitations de plus en plus faibles,

La végétation est soumise au déclin progressif et à une intense dégradation. Les conditions du milieu considérées en termes de phénomènes physiques en particulier les facteurs climatiques, jouent un rôle déterminant dans la dynamique, de développement de la végétation et surtout du changement de la biodiversité, ces facteurs doivent être conçus comme un complexe d'interaction de végétation et de facteurs biotiques et abiotiques.

Le facteur climat; exprimé par des échanges d'énergie, de l'humidité et d'énergie cinétique entre le sol et l'atmosphère. Les questions du changement, de la végétation et de la biodiversité, sont très liées, non seulement par des effets de changements climatiques sur la biodiversité, mais également par les changements de la biodiversité qui affectent les variables climatiques.

La régénération de la végétation et des parcours constitue le défi à relever pour de nombreuses actions d'aménagement comme pour des travaux de recherche expérimentale sur la restauration des milieux.

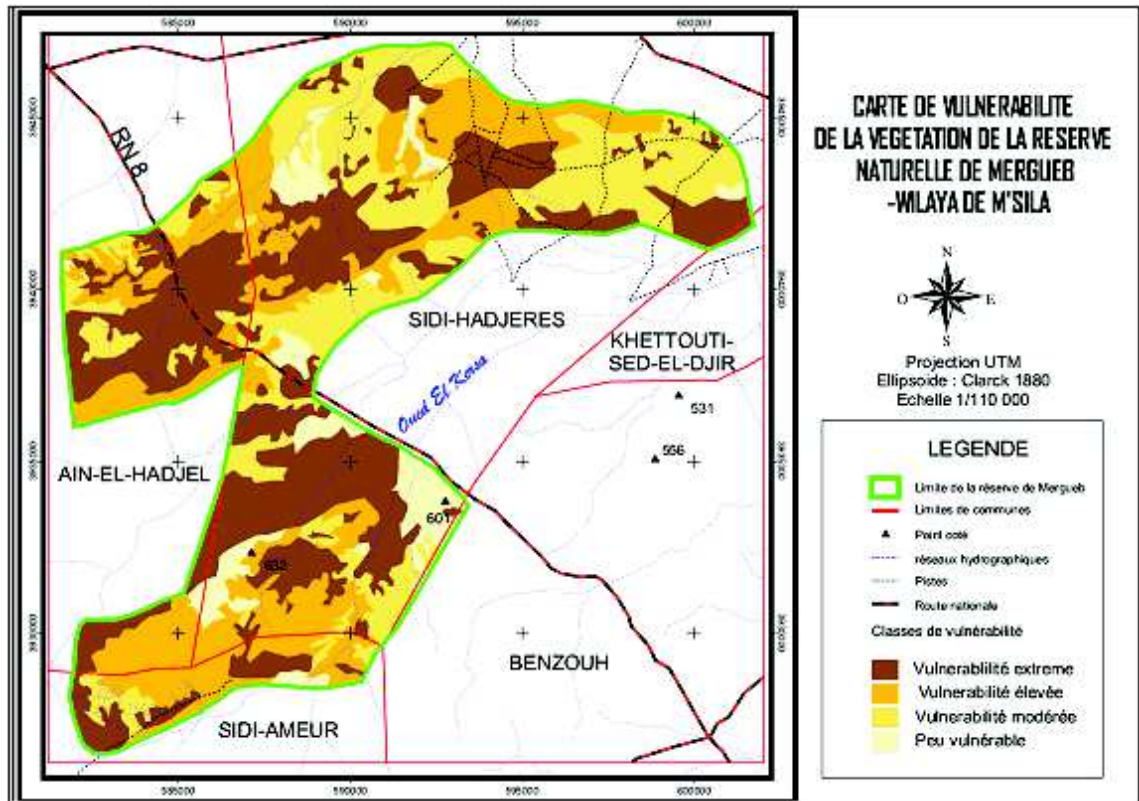


Fig.56. Modélisation du scénario de vulnérabilité de la végétation aux changements dans la réserve naturelle d'El Mergueb.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Un écosystème dégradé et fragile tels que les zones arides et semi arides, est très vulnérable aux aléas climatiques accrus par les activités anthropiques.

Les tendances d'évolution mises en évidence par cartographie diachronique permettent de confirmer que l'écosystème steppique est très sensible au processus désertification. En effet, les divers facteurs de la dégradation sont combinés pour créer un déséquilibre écologique.

Des facteurs naturels, favorisent les variations de la couverture végétale (Thompson et al. 1999). Néanmoins, pendant les dernières décennies, les activités humaines sont le principal déclencheur de la transformation des écosystèmes (Vitousek et al. 1997).

Les données de télédétection intégrées aux SIG offrent une possibilité de compréhension, de mise en évidence et d'analyse de situations environnementales complexes. L'utilisation des données multi-spectrales à haute résolution spatiale apporte, par leur qualité de perception des écosystèmes méditerranéens steppiques, une aide précieuse aux problèmes de connaissance, de gestion et d'aménagement qui se posent actuellement en ces régions. Néanmoins, l'hétérogénéité fréquente des phytocénoses en milieux steppiques ainsi que la forte influence du sol sur les signatures spectrales obligent les utilisateurs à « calibrer » de façon précise les données dont ils disposent.

La recherche de combinaisons de canaux les plus pertinentes et les mieux adaptées aux objectifs poursuivis, l'extraction de divers indices constituent par ailleurs de toute évidence une étape nécessaire.

Il est apparu de cette analyse que l'indice de végétation ; présente, pour toutes les unités, une dynamique spatiotemporelle importante. La diminution de la valeur du NDVI au cours de la période entre 1987 et 2008 est en accord avec les modèles historiques des anomalies de précipitations dans cette région.

L'étude comparative entreprise, de télédétection pour plus de vingt et un ans (21) des années 1987, 2000 et 2008 sur la détection de changements au niveau du couvert végétal dans la région montre une forte corrélation entre l'évolution de biomasse et les paramètres climatiques à travers les indices de végétation normalisés NDVI.

Les changements observés dans la région d'El Mergueb au niveau des formations, de la densité de végétation, et sa composition sont les conséquences des pressions anthropiques conjuguées aux augmentations des températures et au prolongement de la période de végétation.

La détection permanente et précise des changements fournit la base d'une meilleure compréhension des interactions entre l'anthropisme et les phénomènes naturels.

La végétation est un bio indicateur très sensible aux perturbations ; sa disparition, ou sa dégradation peut à son tour affecter le climat. La diminution du couvert végétal est l'une des causes principales induisant l'accroissement de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ce qui entraîne un cycle de changements cruciaux significatifs.

Les études de modèle de l'interaction entre le couvert végétal et le climat, (Franchito et Rao (1992) et Varejao-Silva et autres (1998) indiquent que le climat est sensible

aux changements de la végétation, laquelle joue un rôle dans le cycle de carbone, par atténuation efficace des températures.

Ainsi, la rapidité des transformations et l'ampleur des changements induit par interactions de plusieurs facteurs, requièrent de nos jours une plus grande maîtrise de l'information. La procédure la plus efficace pour mesurer le degré de changement de l'environnement est l'étude multi-temporelle de la couverture végétale (Lambin et al. 2001; Vågen, 2006).

Le suivi et la modélisation précise de cette composante biotique ; la "végétation " aide à la compréhension de l'impact climatique et anthropique, ce qui mène aux solutions des problèmes potentiels pour une meilleure prise de décision.

L'éventail des possibilités offertes par la télédétection dans ce domaine est extrêmement riche, notamment grâce à la périodicité de l'acquisition des données. La géomatique permet de réaliser un outil de surveillance continu des habitats naturels et, concevoir des scénarios de lutte et de conservation en se basant sur une série d'indicateurs spatiaux, de dégradation du milieu combinée aux données de terrain, aux condition du milieu et aux informations socio-économiques intégrés dans un SIG.

L'analyse de la dynamique du couvert végétal de la réserve de Mergueb a permis de rendre compte de l'évolution des superficies des différents milieux écologiques dans le temps et dans l'espace, et donc de l'état de conservation de la végétation. Elle représente un diagnostic révélateur d'un phénomène de dégradation de ces régions aboutissant à une régression considérable du couvert végétal qui a constitué un indicateur de déclenchement du phénomène de désertification dans ces régions aride et semi aride.

Cette analyse de la couverture spatiale et de la dynamique de la végétation permettrait de combler les besoins de nombreux gestionnaires du territoire, scientifiques, et autres utilisateurs quant à l'information actualisée sur l'occupation du sol et des habitats Elle pourra également être utilisée afin de prédire les changements susceptibles de survenir à moyen terme dans ces paysages dans le but d'orienter les actions de recherche et de conservation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AIDOUD A., 2007_** Fonctionnement des écosystèmes méditerranéens. Conférences, Laboratoire d'Écologie Végétale, Université de Rennes1, Complexe Scientifique de Beaulieu, Renne, 50p.
- AIDOUD A., LE FLOCH É., LE HOUÉROU H.N., 2006_** Les steppes arides du nord de l'Afrique. Revue « Sécheresse » vol. 17, n° 1-2, 30p.
- AIDOUD A. , 2003_** Changements de végétation et changement d'usage dans les parcours steppiques d'Algérie. Dept. d'Écologie Végétale, 11p.
- AIT BENAMER W., 1996_** Élaboration d'un SIG pour l'analyse de l'évolution de la végétation steppique dans la région de Djelfa. Mém. Ing. Agr. INA, Alger, 95p.
- ALG/98/G31., 2001_** Projet national « Élaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques ». Communication nationale initiale du Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement direction générale de l'environnement Algérie, 131p.
- AMAN A., ABE OCHOU D.É., N'GUESSAN B.K., KONÉ M., 2006_** Variation saisonnière de la végétation de savane : cas du parc national de la Comoé en côte d'Ivoire. Revue « Télédétection », vol. 6, n° 2, p. 87-101, Université de Cocody, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de Structures et de la Matière (UFR SSMT), contemporary publishing international Éditions Scientifiques GB, Côte d'Ivoire.15p.
- ANDRIEU J., ALEXANDRE F., MERING C., 2008_** De la dynamique de la végétation à la dynamique des paysages. Analyse rétro-prospective de la végétation ouest-Africaine en relation avec les transformations du milieu et des pratiques. L'exemple de l'île de Diamniadio (Delta du Saloum, Sénégal). Annales Littéraires; Série « Environnement, sociétés et archéologie ») Presses universitaires de Franche-Comté, 13p
- APF., 2009_** Enhanced Actions on Adaptation to Climate Change. Special Session/06 the Africa Partnership Forum on Climate Change, Addis Ababa, Ethiopia.6p.
- ARIEF ANSHORY Y. et HERMINIA F., 2009_** Climate Change Vulnerability Mapping for Southeast Asia. Economy and environment program for South Asia, Singapour. 29p.
- BANNARI A., HED C., MORIN D., ANYS H., 1998_** Analyse de l'apport de deux indices de végétation à la classification dans les milieux hétérogènes. Conférence: Géomatique dans l'ère de RADARSAT (GER'97). vol. 24, no 3 (111 p.) (21 ref.), [Notes: 2nd Part], pp. 233-239, Canadian journal of remote sensing. ISSN, Ottawa, ON, CANADA 6p.
- BANNARI A., TEILL P.M. et LANDRY B. , 2004_** Comparaison des réflectances de surfaces naturelles dans les bandes spectrales homologues des capteurs Tm
-

de Landsat-5 Et Etm+ De Landsat-7. Article, Télédétection, vol. 4, n°3, p.263–275, Contemporary Publishing International. Publié sous l'enseigne Éditions scientifiques GB, 13p.

BAZI A., 1997_ Écologie trophique d'une population de perdrix gabra dans la réserve de Mergueb. Thèse. Magister INA. Alger 120p.

BEAUDOIN A., 2006_ Le projet national : Observation de la terre pour le développement durable des forêts. Résultats de recherche et applications au Québec, Service canadien des forêts, les colloques du SCF-CFL, 48p.

BELKHEIRI O., 2003_ Utilisation des images satellites pour le suivi de l'état des territoires steppiques en Algérie : région de Djelfa. Actes du colloque international Umr Sagert, 25-27, Montpellier, France, 8p.

BENKADDOUR M., 2002_ Intégration des données radar et optiques dans un processus classification. Th. Mag. Centre National des Techniques Spatiales, 98p.

BEN MESSAOUD H., KALLA M., DRIDDI H., ARAR A. /K., 2008_ Utilisation des données satellitaires pour le suivi des processus de la dégradation des ressources naturelles dans les zones semi-arides. Cas de la région Sud des Aurès (Algérie). (Communication) Faculté des sciences -Université El Hadj Lakhdar, Batna- Algérie, 29p.

BENSEFIA N., 1999_ Utilisation de l'espace et des ressources trophiques par la gazelle de cuvier (*Gazella cuvieri*, Ogilby 1841) dans la réserve d'El mergueb. Mem. Ing. INA, 170p.

BENSEGHIR L., 2008_ Impact de la sécheresse et de l'anthropisme sur la biodiversité et le sol dans la station de Taadmit (Djelfa), Thèse. Magister Ecologie et Env., Usthb., 107p.

BENVENUTI M., 1996_ Projet d'évaluation des interventions de conservation et récupération de l'environnement, analyses de télédétection, PEICRE (rt7), Academia dei georgo fili, Florence, (Italie) et Direction de l'environnement de Niamey , Niger, 119p.

BERGES J.-C., LACAZE B., SMIEJ M. F., 2005_ Vers un suivi en temps réel de la sécheresse au Maroc à partir des données Météosat Seconde Génération(MSG), Article. Colloque international de Fès «Aménagement du territoire et risques environnementaux »,CNRS, UMR8586 – Université Panthéon-Sorbonne - Paris I., 7p.

BOGDAN M., et IONUT S., 2007_ Change detection analysis 81986-2002) of vegetation cover in Romania, Mountain Research and Development Vol 27 No 3 (Aug 2007: 250–258 doi:10.1659/mred.0645), 8p.

BOIVIN J., SENEAL G., HAMEL P. J. et GUERPILLON L., 2002_ Évolution des surfaces boisées et des espaces verts dans la région métropolitaine de Montréal. INRS-Urbanisation, culture et société et Intellect Géomatique Inc. Canada, 16p.

BONIN C. et LOISEL R., 1996_ Anthropisme et analyse écologique en milieu méditerranéen. Impact de l'Homme sur le milieu naturel. URA.11521/CNRS, FST, Marseille, ISBN, ed. Bergier, 11p.

BORDON A., 2008_ Dynamique de la végétation et variations climatiques dans les Balkans au cours du dernier cycle climatique à partir des séquences polliniques des

lacs Maliq et Ochrid (Albanie), Résumé Th. Doct. Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement/IPSL, UMR 6249, Université de Franche-Comté CEA-CNRS-Université de Versailles. 1p.

- BOUCHELILT F., 1999_** Suivi du régime alimentaire du lièvre *Lepus capzensis* Linée (1758) par l'analyse corpologique dans la réserve naturelle de Mergueb., th. Mag. INA, 154p.
- BROVKIN V., 2003_** Climate-vegetation interaction. Potsdam Institute for Climate impact research, Germany. 16p.
- BOYOSSORO KOUADIO H., 2006_** Apport de la télédétection et d'un système d'information géographique (SIG) à la gestion intégrée et participative des aires protégées en côte d'ivoire : application au parc national de Comoé (réserve de biosphère). Rapport d'étude, UNESCO/MAB, 60p.
- CHAUCHARD S., 2007_** Dynamique d'une forêt de montagne méditerranéenne dans un monde changeant. Th. doctorat en biologie des populations et écologie université Montpellier II, 145p.
- CHEBOUTI M., 2001_** Bio-écologie des orthoptères des 3 stations de la réserve Mergueb, th. Mag. INA, El Harrach, 105p.
- CHELABI., 2000_** contribution à l'étude des teneurs azotées et énergétiques des végétaux consommées par la gazelle de cuvier *gazella ogilby* 1841 dans la réserve d'El mergueb, Th. Mag. INA, El Harrach, 150p.
- CAYROL P., 2000_** Assimilation de données satellitaires dans un modèle de croissance de la végétation et de bilan d'énergie. Application a des zones semi-arides. Th. Doctorat, 'Institut National Polytechnique de Toulouse, Spécialité : Télédétection spatiale, Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère (CESBIO, CNRS-CNES-UPS, UMR 5639), France, 244p.
- CALOZ R. et F. Golay., 2007_** Télédétection et images numériques Notes de cours rassemblées, laboratoire de systèmes d'information géographique (La SIG), Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), France, 12p.
- CALOZ R., 2006_** Télédétection satellitale. Notes de cours. Section des Sciences et Ingénierie de l'Environnement, 3ème année, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Laboratoire de systèmes d'information géographique (LaSIG), France, 67p.
- COMBEAU A.CH.R., 1983_** Évolution saisonnière comparé des signatures spectrales de divers milieux pérennes, forêts, prairies, sol nues à partir de documents Landsat. Édition ORSTROM, 49p.
- CORGNE S., 2004_** Modélisation prédictive de l'occupation des sols en contexte agricole intensif : application à la couverture hivernale des sols en Bretagne. Thèse de doctorat de l'université de rennes 2- haute-Bretagne, 226p.
- CORNET A., 2004_** La désertification à la croisée de l'environnement et du développement, groupil/ ouvrage. Doc, 32p.
- CSFD., 2006_** Combattre l'érosion éolienne : un volet de la lutte contre la désertification, Comité Scientifique Français de la Désertification Agropolis, Les dossiers thématiques Numéro 3, ISSN, 48p.

- DAJOZ R., 2006_** précis d'écologie, DUNOD, 631p.
- DAOUD N., 2005_** Étude diachronique de la végétation des bēni abbés, cartographie par images satellitaires Th. Magister Eco. Végétal, désertification, USTHB, 128p.
- DEBAINE F., 2007_** Milieux et sociétés sur les marges arides du croissant fertile: la télédétection et les S.I.G. au service d'une recherche géo-archéologique, *Cybergeo*, Actes des Journées de Télédétection en Sciences humaines, article 174p.
- DGF, FEM et PNUD., 2005_** Conservation de la biodiversité et gestion durable des ressources naturelles. Bulletin d'information N°1, 15p.
- DUCROT D., 2005_** Méthodes d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multi-sources, extraction des caractéristiques du paysage, Mémoire de recherches, habilitation à diriger des recherches, INP Toulouse, 240p.
- EERENS H., QINGHAN D., OZER P., et XIUFENL I., 2003_** A field-based crop and land use map over Sanjiang plain in Heilongjiang derived from multi-temporal imagery of Landsat7-ETM+ , *Cybergeo*, Cartographie, Imagerie, SIG, article 247.
- EL MOUDDEN S., 2004_** Impact du prélèvement du bois de feu sur les parcours steppiques cas d'Ighil n'Mgoun, Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, royaume du Maroc, Mémoire de troisième cycle. 125p.
- EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA), 2006 _** The changing earth. Netherland, 85p.
- FAO, C.W. THORNTHWAITE et KENNETH HARE F., 1955 _** Classification Climatologique Et Foresterie. Unasyuva.Vol.9 N°2. Version numérique, 1p.
- FAO., 1957_**Région climatique, article Unasylvavol.11.N°1,1p.
- GARCÍA-HARO F. J., MORENO A., PEREZ-HOYOS A., GILABERT J. MELIÁ M.A., BELDA F., POQUET D., MARTINEZ B., VERGER A., 2008_** Monitoring of vegetation dynamics and assessing vegetation response to drought conditions using moderate and coarse resolution satellite data in the Iberian peninsula. Proc. of the '2nd MERIS / (A) ATSR User Workshop', Frascati, Italy, 7p.
- GERVAIS W., TABOPDA J.-M., FOTSING, D. HUAMAN, ANAÏS XII., 2005_** Évolution du couvert végétal dans la réserve forestière de Laf-Madjam (extrême nord du Cameroun) de 1976 à 2003, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Université d'Orléans, Centre IRD d'Orléans, Goiânia, Brasil, 8p.
- GIRARD M.C. et GIRARD C.M., 1999_** Traitement des données de télédétection. dunod. Paris, 529p.
- GODRON M. , 1984_** Ecologie de la végétation terrestre, ed. Masson, paris, 196p.
- HADDOUCH I., 1998_** cartographie pédopaysagère de synthèse par télédétection cas de la région de Ghassoul, El Bayadh. Th. Magister INA, 140p.
- HADEID M., 2008_** Approche anthropique du phénomène de désertification dans un espace steppique : le cas des hautes plaines occidentales algériennes. Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 8 Numéro 1 | avril 2008, (mis en ligne le 07 novembre 2008).
- HIRCH A., 1995_** Contribution à l'étude de l'imagerie satellitaire à l'inventaire cartographie d'une zone présaharienne cas d'Ouled Djellal. Th. Magister écologie 221p.

-
- HOUNTONDJI Y.-C., OZER1 P. et NICOLAS J., 2004_** Mise en évidence des zones touchées par la désertification par télédétection à basse résolution au Niger. *Revue européenne de géographie*, N° 291, 18p.
- IAO (INSTITUTO AGRONOMO PER L'OLTREMARE), 2007_** Land evaluation in Essaouira province (moroco), 27ieme course master's degree, geomatics and natural resources evaluation, Florence, 129p +annexe
- ICHII K., KAWABATA A. et YAMAGUCHI Y., 2002_** Global correlation analysis for NDVI and climatic variables and NDVI trends: 1982–1990; †Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8602, ‡Hydrospheric Atmospheric Research Center, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8601, Japan, 6p
- INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL, 2004 _** La diversité floristique de la forêt française, n°3, février
- IFTENE N., 1997_** Structure et dynamique spatiales. Étude des évolutions, dynamique d'une unité paysagère de la CRAU sur trois dates différentes dans le but d'une évaluation du patrimoine. Mém. DEA, laboratoire de télédétection université d'Avignon, 36p.
- IHAB J., 2008_** Analyse diachronique de la fragmentation des forêts du Liban, th. Doctorat en télédétection, Université Toulouse III, 320p + annexes
- INRA., 1990_** Application de la télédétection à l'agriculture, CIHEAM, 96p.
- IOUALALEN G., 1999_** Contribution à l'élaboration d'un système d'information géographique (S.I.G) pour le parc national du Djurdjura, Mém. Ing. Ecol. Forest. ISN. USTHB, 118p + annexes.
- IOUALALEN G., 2010_** Climate change effect on land cover, case study of Mergueb natural reserve, Individual project report of Advanced International Training program « Climate Change- Mitigation and Adaptation » course, SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute, et le Swedish International Development Cooperation Agency, Norrkoping, Suede, 45p+annex.
- ISSOUF B. ET AL., 2008_** Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas-Congo (R.D. Congo). *Sciences & Nature*, Vol. 5 N°1: 49 - 60, 60p.
- JAFARI R., 2007_** Arid Land condition assessment and monitoring using multispectral and hyperspectral imagery, Th. PhD on soil and land system, school of earth and environment sciences , university of Adelaide, Australia ,151p.
- JOBIN B., et All., 2007_** Changements de l'occupation du sol dans le sud du Québec pour la période 1993-2001, Série de rapports techniques du service canadien de la faune numéro 483, 128p.
- JUPITER S. et ALL., 2006_** Changing a mangrove distribution evaluating a technique for monitoring mangrove health, department of ecology and evolutionary biology, university of California, USA, center for remote sensing and spatial information sciences, center of marine studies, Australia, preceeding of 10th international coral reef Symposium 1727-1731,5p.
-

- KAABECHE M., 2003_** Étude sur la réhabilitation de la flore locale au niveau de la réserve « El Mergueb, Msila. Projet Alg/00/g35/a/1g/99, 42p.
- KAABECHE M., 2003_** Conservation de la biodiversité et gestion durable des ressources naturelles: étude sur la réhabilitation de la flore locale au niveau de la réserve « el - mergueb.
Projet Alg/00/g35/A/1g/99, M'sila. 45p
- KAABECHE M. 1990_** Les groupements végétaux de la région de Boussaâda (Algérie), th. Doctorat en sciences, université de Paris sud, centre d'Orsay, 132p.
- KEMMOUCHE A., C. MERING et B. SENSAL., 2008_** Cartographie de la densité du couvert ligneux dans les zones arides et semi-arides à l'aide de l'imagerie satellitaire ;Article Sécheresse vol19.n°129-35, 135p.
- KERGOMARD C., 2004_** La télédétection aérospatiale : une introduction, École Normale Supérieure, Paris, France, 74p.
- KERGOMARD C., 2009_** Cours de télédétection, professeur école normale supérieure paris
- KONE M., AMAN A., CONSTANT Y. ADOU YAO LL. COULIBALY et KOUAKOU ED. N'GUESSAN., 2007_** Suivi diachronique par télédétection spatiale de la couverture ligneuse en milieu de savane soudanienne en côte d'ivoire, Revue Télédétection, 2007, vol. 7, n° 1-2-3-4, p. 433-446, Côte d'Ivoire, 14p.
- LAKHDARI H., 2009 _** Les conséquences du changement climatique sur le Développement de l'agriculture en Algérie: quelles stratégies D'adaptation face à la rareté de l'eau ? *Cinquième* colloque international: Énergie, Changements Climatiques et Développement Durable, Hammamet, Tunisie, 15p.
- LEMLEM A., 2007_** Assessing the impact of land use and land cover change on groundwater recharge using Remote sensing and GIS; a case of A wassa catchement, southern ethiopia, Master of Science in Remote Sensing and Geographical Information Systems (GIS) Addis Ababa University; Ethiopia, 91p.
- LEVIEN L. M., C. S. FISCHER, P. D. ROFFERS AND B. A. MAURIZI, 1998_** Statewide Change Detection Using Multitemporal Remote Sensing Data* Us Forest Department, Presented at the First International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Lake Buena, Vista, Florida, 1-3 June 1998., 8p
- LYON J. G., DING Y., ROSS S. LUNETTA, et ELVIDGE C.D., 1998_** A Change Detection Experiment Using Vegetation Indices, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 64, No. 2, February 1998, pp. 143-150. 0099 112/98/6402-143\$3.00/0 O 1998 American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 8p.
- MELZI S., MANIERE R., BASSISTY E., J.-C. CELLES ., 1993_** Utilisation de la télédétection spatiale (données XS de Spot) pour la cartographie de l'occupation du sol en zones arides méditerranéennes exemple d'Ain Oussera (Algérie, Cah. Orstomsér. Pédol vol. XXVIII, n° 1: 67-80,13p.
- MADR (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural), 1987_** Statistiques agricoles, superficies et productions.

- MADR (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural), 2000_** Statistiques agricoles, superficies et productions.
- MADR (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural), 2006/2007_** Statistiques agricoles, superficies et productions.
- M. Tabet-Aoul, 2003_** Les changements d'utilisation et de couvert des sols et les ressources en eau, Association pour la Recherche sur le Climat et l'Environnement (aRCE), Oran (Algérie), 14p.
- MARAGE D., 2004_** Déterminisme, dynamique et modélisation spatiale de la diversité floristique dans un contexte de déprise pastorale, Th. Doct., École Nationale du Génie Rural, Des Eaux et des Forêts, Cemagref, INRA. France, 307p.
- MAZARS J., 1996_** Typologie et dynamique forestières : un exemple en barousse (hautes-pyrénées, CNRS, Laboratoire de botanique et de Biogéographie, Cedex, 30p
- MOQUET A., 2003_** Apports de la télédétection pour la cartographie d'habitats terrestres en zones humides méditerranéennes, Application aux habitats de la Réserve Nationale de Camargue, Mémoire d'Ingénieur Agronome de l'École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, Nancy, Cemagref-ENGREF., 52p
- MORADI ZÜRICH H., 2009_** Biodiversity, Climate Change And Environmental Impact Assessment, Th. Doct. Universität Zürich, 164p.
- MAYAUX P., V. GOND, M. MASSART, M. PAIN-ORCET, F. ACHARD, 2003_** Evolution du couvert forestier du bassin du Congo mesurée par télédétection spatiale, Article., « Télédétection/le point sur...bois et forêts des tropiques, focus / remote sensing » n° 277 (3) p, Centre commun de recherche, Commission européenne, France, 8p.
- MIN KOOK KIM, ANDREA J. EDNIE, JOHN J. DAIGLE., 2003_** Detecting vegetation change using multi-temporal aerial photographs at Cadillac mountain in Acadia national park, Maine, Department of Forest Management, Proceedings of the 2006 Northeastern Recreation Research Symposium GTR-NRS. 306p.
- MISSOUMI A. et TADJEROUNI K., 2003_** SIG et imagerie Alsat1 pour la cartographie du risque d'incendie de forêt, 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco, 14p.
- MOMARFALL, 2005. -** Etude Télédétection et SIG : Étude méthodologique sur la détection automatique des changements du couvert forestier à partir d'images satellites SPOT : Application à la Corrèze pour la détection des surfaces Afforestation / Reforestation, Mastère SILAT, Cemagref, 46p.
- MURTHY M. S. R., PUJAR G. S. et GIRIRAJ A., 2006_** Geoinformatics-based management of biodiversity from landscape to species scale – An Indian perspective, general articles, current science, vol. 91, no. 11, 10 December 1477p-1485p, 9p.
- MUSAMPA KAMUNGANDU C. 2009_** Études de cas sur l'évaluation de la dégradation des forêts la dégradation des forêts en république démocratique du Congo, FAO, 23p.
- NAIZOT T., Y. AUDA, A. DERVIEUX, J. THIOULOUSE, ET M. F. BELLAN, 2004_** Une nouvelle analyse multi-temporelle d'images satellitaires, les résidus de l'Analyse

en Composantes Principales. Un cas d'étude: une série d'images Landsat Thematic Mapper de la Camargue, France, {Laboratoire de Télé-analyse espace et société, CAMS, EHES, international journal of remote sensing, ISSN, Toulouse, Cedex, France, 14p.

NASA., 2008_ Landsat7 sciences data users handbook.

NEDJIMI B. ET HOMIDA M., 2006_ Problématique des zones steppiques Algériennes et perspectives d'avenir, Centre Universitaire de Djelfa, revue du chercheur n°4, 7p.

NEDJRAOUI D., 2004_ Évaluation des ressources pastorales des régions steppiques algériennes et définition des indicateurs de dégradation, Unité de Recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres URBT, 243p

NEMOUR H., 2003_ Méthode de détection des changements dans les images optique de télédétection, th. Magister électronique, USTHB, 125p.

NERRIERE A. , 2008_ Rapport de stage, Étude de la relation entre la dynamique paysagère et la diversité végétale prairiale, INRA – SAD « ASTER » Master 2 recherche FAGE option AFFE, INPL (ENSAIA) Nancy university, France, 27p.

NOYOLA-MEDRANO C., ROJAS B., ANTONIOM., 2009_ Evaluation du changement de l'occupation du sol à l'aide des images landsat et spot : champ volcanique de la sierra chichinautzin (Mexique).U. de Guanajuato, División de Ingenierías, Departamento de Ingeniería en Geomática e Hidráulica, Guanajuato, Gto., México, Mering, Catherine Université Paris 7, 12p.

NSW., 2002_ Planning for biodiversity management, National Parks and Wildlife Service 121p.

OBSERVATOIRE DU SAHARA ET DU SAHEL (OSS), 2008_ Réseaux d'observation et de surveillance écologique à long terme / observatoire du Sahara et du sahel, Guide méthodologique pour l'étude et le suivi de la flore et de la végétation,ROSELT/ collection n°1, ISBN, 171p.

ONED, GTZ. et MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, 2003_ Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement en Algérie ; 465p.

OUGRINE M., 2003_ Contribution des images ETM+ de Landsat7 à la mise à jour Cartographique à 1/200 000; Cas de la feuille de M'SILA (Hauts plateaux, Algérie). projet Master, INCT, 80 p.

OUBOUSSAD S., 2008_ Utilisation des photographies aériennes, ortho photographies et images satellites pour la cartographie de l'occupation du sol du parc national de gouraya Bejaia Th Magister Ecobiologie, Centre universitaire Mustapha stambouli, Mascara, 55p.

ORSTOM., 1977_ Les satellites d'observation de la terre landsat, office de la recherche scientifique et technique outremer. 42p.

OZENDA P., 1982_ Les végétaux dans la biosphère, édition doin, 430p.

PASCAL M., VIVIERS F. D., LE PART J., LARRERE R., 2005_ Biodiversité, objet, théorie, pratique. CNRS, 261p.

PNUD, FEM et DGF., 2005_ Conservation de la biodiversité et gestion durable des ressources naturelles des sites de mergueb (Msila), Oglet Daira (Naama), Taghit

(Bechar) : Plan de Gestion du site de Mergueb Msila, Algérie, projet AIG /G35, DGF/ GEF/PNUD, 224p

- POLIDORI L., 2002_** Introduction à la télédétection spatiale, École Supérieure Des Géomètres Et Topographes, 60p
- PUY D. et MOAT J., 1999_** Vegetation mapping and biodiversity conservation in Madagascar Geographical Information Systems. In: Timberlake, J. & Kativu, S. (eds.), African Plants: Biodiversity Taxonomy and Uses, pp. 245-251. Royal Botanique Gardens, Kew. UK, 6p.
- QUEZEL P. et SANTA S., 1962-1963_** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques Méridionales. CNRS. Paris, 2vol, 1170p.
- RANGZAN K., BEHMAN S., SARSANGI A.R. et ABSHIRINI A., 2008_** Change Detection, Mineralogy, Desertification Mapping in East and Northeast of Ahvaz City, SW Iran Using Combination of Remote Sensing Methods, GIS And ESAs Model, , Global Journal of Environmental Research 2 (1): 42-52, 2008, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran, ISSN 1990-925X, © IDOSI Publications, 11p.
- RONZON B., 2006_** Biodiversité et lutte biologique, Comprendre quelques fonctionnements écologiques dans une parcelle cultivée, pour prévenir contre le puceron de la salade. Extrait de mémoire, Certificat d'Etude Supérieures en Agriculture Biologique, ENITA de Clermont Ferrand, France, 25p.
- SAHELO-SAHARAN INTEREST GROUP MEETING, 2002_** The Climate Change Mitigation and Adaptation Information Kit, the Congress Center of Smolenicethird annual, Zámocká, Slovakia, 58p.
- SALIM H.A., XIAOLING C. et JIANYA G. , 2008_** Analysis of Sudan Vegetation Dynamics Using NOAA-AVHRR NDVI Data from 1982-1993. State key laboratory of information engineering in surveying, mapping and remote sensing wuhan university, china
Asian journal of earth sciences, ISSN, 15p.
- SARR M. A. et LACAZE B., 2007_** Caractérisation de la dynamique de la végétation en Afrique de l'Ouest: Comparaison des indices NDVI de MSG-SEVIRI et SPOT-VEGETATION (cas du Ferlo, Sénégal), Colloque MSG (meteo second generation) Dijon, 13-14 septembre, CNRS, 8p.
- SECRETARIAT D'ETAT CHARGE DE L'ENVIRONNEMENT, 1997_** Élaboration de la stratégie nationale pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique, rapport intérimaire, Algérie, 27p.
- SEKOU M., 2002_** Relation trophique entre quelques espèces de la réserve d'El Mergueb. Mémoire d'ingénieur, INA, 183p.
- SEKOUR M., 2005_** Insectes, Oiseaux et Rongeurs, proies des rapaces nocturnes dans la réserve naturelle de Mergueb (M'Sila). Thèse de Magister, INA, El Harrach, 256 p.
- SELLAMI M. et BELKACEMI H., 1989_** Le régime alimentaire du hibou grand-duc *Bubo bubo ascalaphus* dans une réserve naturelle d'Algérie : le Mergueb. L'oiseau et la R.F.O, vol.59n°4 : 329-332.

- SELLAMI M., 1999_** La Gazelle de cuvier *Gazella cuvieri* (Ogilby, 1841) en Algérie. Statut et premiers éléments d'écologie, données sur le régime alimentaire dans la réserve naturelle de Mergueb. Th. Doct. d'état, INA, Alger, 212p.
- SELLAMI M., BAZI A. et KLAA K. 1992_** Le peuplement avien de la réserve naturelle de Mergueb (M'Sila). L'oiseau et la R.F.O., vol.62, n°3 :279-286.
- SELLAMI M., BELKACEMI H. et SELLAMI S., 1989_** Premier inventaire des mammifères de la réserve naturelle de Mergueb (M'Sila, Algérie). *Mammalia*, t.53, n°1 :116-119.
- SELTZER, 1946_** Le climat de l'Algérie. Trav. Inst. Météo. Phy. globe de l'Algérie, Alger, 219p.
- SENINET ML., 1996_** Données préliminaires sur l'alimentation du hérisson du désert *paraechinus aethiopicus* en milieu steppique Th. Mag. INA, 71p.
- SKOURI M., 2002_** La désertification dans le bassin méditerranéen : état actuel et tendance, division of ecological studies, UNESCO, CIHEAM, paris, France 37p.
- SLIMANI H., 1998_** Effet du pâturage sur la végétation et le sol et désertification de la steppe à alfa de Rogassa dans les hautes plaines occidental Algérie Th. Mag. Biologie, USTHB, 123p.
- SOUDANI K., 2005_** Introduction générale à la télédétection, faculté des sciences d'Orsay – Cnrs-université Paris, 26p.
- TAÏBI AUDE-NUSCIA et EL HANNANI M., 2004_** Identification et suivi des processus de la dégradation du milieu dans le bassin de l'oued dadès (Maroc) par télédétection satellitaire et aérienne. *Télédétection*, vol. 4, n° 1, p. 63–73 CNRS, Contemporary Publishing International, 73p.
- TARHOUNI M., A.OULED BELGACEM, NEFFATI M., CHAIEB M., 2007_** Dynamique des groupements végétaux dans une aire protégée de Tunisie méridion, *Cahiers Agricultures* vol. 16, n° 1, janvier-février 2007, 29p.
- THE DAKAR WORKSHOP, 2003_** Carbon sequestration, Land cover monitoring and desertification in the Sahel, 10-15 March, Senegal, 42p.
- THE UNITED NATIONS UNIVERSITY, 1978_** Conservation and development in northern Thailand; Proceedings of a Programmatic Workshop on Agro-Forestry and Highland-Lowland Interactive Systems, Held at Chiang Mai, 13-17 November, Thailand, UN, ISBN, 92-1-101122-1, New York, 105p.
- TOULOUSE B., A. LEONARD, MERING C., 2005_** Suivi de l'état du couvert végétal au Sahel à partir du produit NDVI issu de MSG: un nouvel instrument de suivi de l'environnement Colloque Météosat seconde génération, université paris diderot, CNRS, 25p.
- WAFO GERVAIS T., FOTSING J.M., HUAMAN D., 2005_** Évolution du couvert végétal dans la réserve forestière de Laf-Madjam (extrême nord du Cameroun) de 1976 à 2003. Université d'Orléans - Unité S140 ESPACE IRD (Pôle géomatique d'Orléans), France, Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3379-3386, 8p.

WALTER J.M.N. et FOURNIER R.A., 2003_ Measurement and use of leaf area index in monitoring vegetated ecosystems, Richard A. Fournier, Centre d'Applications et de Recherche en Télédétection Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Québec) Canada, Institut de Botanique Université Louis-Pasteur, Strasbourg, France.2p.

WEBER J.L., 2009_ European Environment Agency, Land Cover Classification for Land Cover Accounting 14th Meeting of the London Group on Environmental Accounting Canberra, 27 – 30 April, 19p.

YAW A., TWUMASI T.L., COLEMAN, MANU A., 2005_ Biodiversity Management Using Remotely Sensed Data and GIS Technologies: The Case of Digya National Park, Ghana. Center for Hydrology, Soil Climatology, and Remote Sensing. Department of Plant and Soil Science. Alabama A&M University, Ames.4p.

Liens internet

URL: <http://vertigo.revues.org/5368>).

ftp://imagery:imagery@35.8.163.34/TM/021/35/etp021r35_5t19910926.tar.gz.

[http:// halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/12/65/05/annex/lacaze_fes_.ppt](http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/12/65/05/annex/lacaze_fes_.ppt),

<http://www.cybergegeo.eu/index640.html>.

www.fao.org/docrep/x5382f/x5382f05.htm - 42k

www.reserves-naturelles.org/.

www.ifn.fr.

<http://www.cybergegeo.eu/index4020.html>.

Owl-ge.ch., 2007 - Satellites Géostationnaires et Satellites à Défilement

www.bibliotheque.refer.org/livre70/l7001.pdf,_caractérisation de l'environnement urbain à l'aide des indices de végétations.

<http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00126505/fr/>.

URL: <http://www.usgs.gov/aboutusgs/default.asp>

Annexes

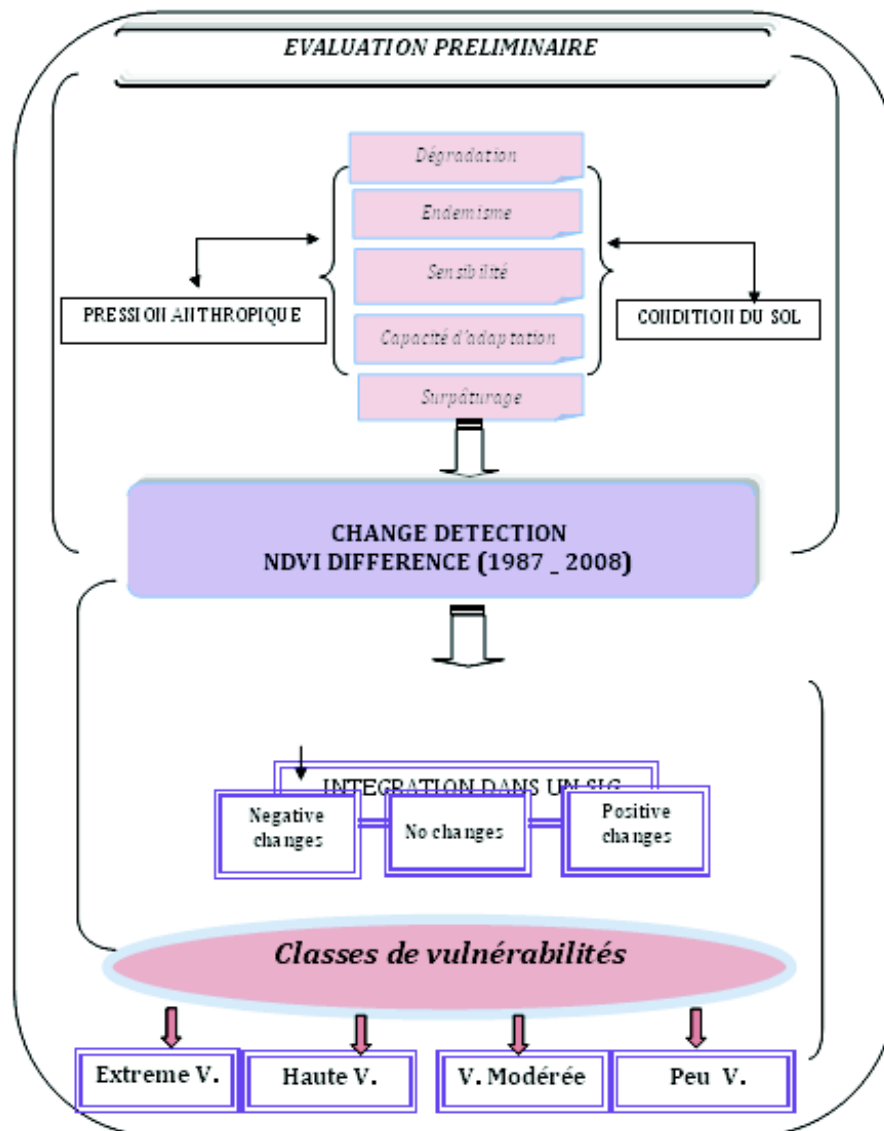


Fig.57. Schéma de détermination des zones de vulnérabilités

Tab.33. Espèces végétales rares, (source : DGF, Conservation des forêts de la wilaya de M'sia)

N°	Espèce	Degré de rareté	observation
1	<i>Adonis aestivalis</i>	R	
2	<i>Aizoon hispanicus</i>	R	
3	<i>Ajuga iva</i>	AR	Plante médicinale
4	<i>Alyssum pourflorum</i>	R	
5	<i>Alyssum scutigerum</i>	R	
6	<i>Anacyclus cyrtolepidioides</i>	AR	
7	<i>Aristida obtusa</i>	RRR	
8	<i>Avena ventricosa</i>	RR	
9	<i>Bromus madritensis</i>	AR	
10	<i>Carthamus pectinatus</i>	RRR	
11	<i>Chrysanthemum fuscatum</i>	RR	
12	<i>Crupina vulgaris</i>	RRR	
13	<i>Delphenium pentagyneum</i>	RR	
14	<i>Echiumpycnanthum ssp humile</i>	R	
15	<i>Erysimum incanum</i>	R	
16	<i>Festuca algeriensis</i>	R	
17	<i>Génital tricuspidata ssp eutricuspidata</i>	RR	
18	<i>Helianthemum papillare</i>	R	
19	<i>Helianthemum sessiliflorum</i>	R	
20	<i>Hordeum murinum ssp eumurinum</i>	AR	
21	<i>Leotodon hispidulus ssp milleri</i>	R-RRR	
22	<i>Medicago denticulata</i>	RR	Plante médicinale
23	<i>Medicago truncatula</i>	R	Plante médicinale
24	<i>Olea europeo var oleaster</i>	R	Plante médicinale
25	<i>Orinthogalum tenuifolium</i>	RR	
26	<i>Plantago loefflingii ssp intermedia</i>	RR	
27	<i>poa bulbosa</i>	R	
28	<i>polygonum aviculare</i>	R	Plante médicinale
29	<i>Rhus tripartitum</i>	AR	
30	<i>Thymelea nitida</i>	AR	
31	<i>Thymus algeriensis</i>	R	
32	<i>Vicia lathyroides</i>	AR	

Tab.34. Les espèces endémiques

Analyse multi-temporelle de la végétation de la réserve naturelle d'El Mergueb (M'sila) par application des techniques géomatiques

N°	Noms d'espèces	Niveau d'endémisme	observation
1	<i>Anabasis orpodiorum</i>	End Sah	
2	<i>Anacyclus cyrtolepidioides</i>	End N-A	
3	<i>Astragalus armatus</i>	End N-A	
4	<i>Echuim pycnanthum ssp humile</i>	End Hd	
5	<i>Fagonia microphylla</i>	End pâturage désertique	Plante médicinale
6	<i>Festuca algeriensis</i>	End pâturage Ht. Mont	
7	<i>Fredolia ericoides</i>	End AT-Sah	
8	<i>Herniaria mauritanica</i>	End Hd	
9	<i>Hypocoum geslini</i>	End N-A	
10	<i>Muricaria prostrata</i>	End N-A	
11	<i>Nardurus cynosuroides</i>	End N-A	
12	<i>Ononis incisa</i>	End steppe	
13	<i>Pistacia atlantica</i>	End N-A	Plante médicinale
14	<i>Pituranthos scoparius</i>	End N-A	Plante médicinale
15	<i>Thymelea hursita</i>	End N-A	Plante médicinale
16	<i>Thymelea microphylla</i>	End N-A	Plante médicinale
17	<i>Thymus algeriensis</i>	End N-A	Plante médicinale
18	<i>Vicia biflora</i>	End Mergueb	

Tab.36. Les mammifères de la réserve

N°	Nom commun	Nom Scientifique
1	Gazelle Cuvier*	<i>Gazella cuvieri</i>
2	Chat sauvage*	<i>Felis lybica</i>
3	Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>
4	Renard famélique*	<i>Vulpes rueppelli</i>
5	Sanglier	<i>Sus scrofa</i>
6	Lièvre brun	<i>Lepus capensis</i>
7	Hérisson d'Afrique du nord*	<i>Atelerix algirus</i>
8	Lérot *	<i>Eliomys quercinus</i>
9	Porc - épic*	<i>Hystirix cristata</i>
10	Hyène rayé *	<i>Hyena hyena</i>
11	Rat Noir	<i>Rattus rattus</i>
12	Rat des sables *	<i>Pasammomys obesus</i>
13	Gerbille champêtre	<i>Gerbillus campestris</i>
14	Grande Gerboise	<i>Jacullus orientalis</i>
15	Petite Gerbille à queue	<i>Dipodillus simoni</i>
16	Gerbille pygmée	<i>Gerbillus henleyi</i>
17	Merione de Shaw	<i>Meriones shawi</i>
18	Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>
19	Pipistrelle de khull	<i>Pipistrellus kuhlii</i>
20	Pipistrelle de savi	<i>Pipistrellus savii</i>
21	Souris grise	<i>Mus musculus</i>
22	Le Chacal commun	<i>Canis aureus</i>

* : espèce protégée

Tab.35. Les oiseaux de la réserve de Mergueb

Analyse multi-temporelle de la végétation de la réserve naturelle d'El Mergueb (M'sila) par application des techniques géomatiques

N°	Espèces	Nom scientifique	Statut	Région	Rareté
1	Milan noir*	Milus migrans	m	Tout	c
2	Vautour percnoptère	Néophron percnopterus	m	Tout	c
3	Circaète jean le blanc	Circaetus gallicus	m	h-sh-sa	ar
4	Busard des Roseaux*	Circus aeruginosus	m-s	h-sh	c
5	Buse féroce*	Buteo rufinus	sédentaire	h-sh-sa	c
6	Aigle royal *	Aquila chrysaetos	sédentaire	Tout	r
7	Aigle botté *	Hieraetus pennatus	m	h-sh-sa	ar
8	Aigrette garzette*	Egretta garzetta	m	h-sh-sa	ar
9	Ammomane élégante *	Ammomanes cincturnus	sédentaire	Sa	c
10	Faucon crécerelle*	Falco tinnunculus	m-s	Tout	c
11	Faucon lanier*	Falco biarmicus	sédentaire	sa-a	ar
12	Faucon pèlerin*	Falco peregrinus	m	Tout	ar
13	Hibou des marais*	Asio flammeus	m	Tout	r
14	Chouette effraie *	Tyto alba	sédentaire	h-sh-sa	ar
15	Hibou grand duc*	Bubo ascalaphus	sédentaire	sh-sa-a	r
16	Chouette chevêche *	Athene noctua	sédentaire	Tout	c
17	Guêpier d'Europe*	Merops apiaster	m	Tout	c
18	Rollier d'Europe*	Caracias garrulus	m	sh-sa	ar
19	Héron cendré*	Ardea cinerea	m	Tout	c
20	Grue cendré*	Grus grus	m	h-sh-sa	ar
21	Caille des blés *	Coturinx coturinx	m-s	Tout	c
22	Perdrix gabra*	Alectorix barbara	sédentaire	Tout	c
23	Outarde houbara*	Clamedotis undulata	sédentaire	sa-a	r
24	Oedicnème criard*	Burhinus oedicnemus	m	sa-a	r
25	Courvite isabelle *	Cursorius cursor	m	sa-a	c
26	Glaréole à collier*	Glareola paratincolai	m	sa-a	ar
27	Petit gravélo*	Charadrius dubius	m	Tout	ar
28	Pluvier guignard*	Eudromias morincllus	m	Sa	ar
29	Ganga uni bande*	Pterocles orientalis	sédentaire	sa-a	c
30	Ganga cata*	Pterocles alchata	m	sa-a	c
31	Pigeon biset*	Columbia livia	sédentaire	Tout	c
32	Tourterelle des bois*	Streptopelia turtur	m	Tout	c
33	Coucou gris*	Cuculu canorus	m	Tout	c
34	Martinet alpin*	Apus melba	m	h-sh-sa	ar
35	Martinet noir*	Apus apus	m	Tout	c
36	Martinet pale*	Apus palidus	m	Tout	c
37	Huppé fasciée*	Upupa epos	m	Tout	c
38	Ammomane élégante	Ammomanes cincturnus	sédentaire	Sa	c
39	Sir lit de Dupont*	Chersophilus duponti	sédentaire	Sa	ar
40	Alouette calandre*	Melanocoripha calandra	sédentaire	sh-sa	c
41	Alouette calandreur*	Calandrella cinerea	m	sh-sa	c
42	Cochevis de thekla*	Galerida theklae	sédentaire	h-sh-sa	c
43	Alouette des champs*	Alouda arvensis	sédentaire	h-sh-sa	c
44	Alouette bilophe *	Eremophila bilopha	sédentaire	sa-a	ar
45	Hirondelle de rivage*	Riparia riparia	m	Tout	c
46	Hirondelle de cheminée*	Hirundo rustica	m	Tout	c
47	Hirondelle de fenêtre*	Delichon urbica	m	Tout	c
48	Pie grièche grise*	Lanius excubitor	sédentaire	Tout	ar
49	Bergeronnette printanière*	Motacilla flava	m	Tout	c
50	Bergeronnette de ruisseau*	Motacilla cinera	m	h-sh-sa	ar
51	Bergeronnette grise*	Motacilla alba	m	Tout	c
52	Pipit rousseline*	Anthus campestris	m	h-sh-sa	c
53	Pipit des prés*	Anthus paratensis	m	h-sh-sa	c
54	Pipit spioncelle*	Anthus spinoletta	m	h-sh-sa	ar
55	Rouge queue noir*	Phoenicurus ochruros	m-s	h-sh-sa	c
56	Rubiette de mussier*	Phoenicurus moussieri	sédentaire	h-sh-sa	c

* : espèce protégée

N°	Nom commun	Nom Scientifique	Statut	Région	Rareté
1	Agame de biberon *	Agama bibrani	s	ar-sa	C
2	Agame variable *	Agama mustabilis	s	ar-sa	C
3	Caméléon commun*	Chamaelops namaeleo	s	ar-sa	R
4	Couleuvre de Montpellier	Malpolon mampessulanum	s	ar	A
5	Fouette queue*	Uromastix acanthinurus	s	ar-ar	C
6	Tortue grecque*	Testuco graeca	s	ar-sa	C
7	Tortue clemmyde *	Clemmys leprosa caspica	s	h-sh	R
8	Lézard	Lacetus sp	s	ar-sa	C
9	Varan du désert *	Varanus griscus	s	ar-sa	C
10	Vipère à corne	Vipera sp	s	ar-sa	C

Tab.37. Les reptiles de la réserve de Mergueb

* : espèce protégée