



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE EL HADJ LAKHDAR - BATNA
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE



Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat en sciences
En aménagement du territoire

Thème :

**ETUDE DE LA VULNERABILITE A LA DESERTIFICATION
PAR DES METHODES QUANTITATIVES NUMERIQUES
DANS LE MASSIF DES AURES (ALGERIE).**

Présentée par :

Mr BENMESSAOUD Hassen

Thèse soutenue devant le jury composé de :

M.LAKHAL Abdelwaheb	Pr. Université de Constantine - Président
M. KALLA Mehdi	Pr. Université de Batna - Directeur de thèse
M. BENSALD Rabah	Pr. Université de Skikda - Examineur
M. GUITTOUCHE Med Said	M. C USTHB - Examineur
M. AMIRECHE Hamza	M. C Université de Constantine - Examineur
M. YAHIAOUI Abdelwaheb	M. C Université de Batna - Examineur
Mme. DRIDDI Hadda	M. C Université de Batna - Examineur

Année Universitaire : 2008 /2009.

Remerciements

A l'issue de ce travail de recherche, je tiens tout particulièrement à remercier

Mr. KALLA Mahdi, Professeur à l'Université de Batna, Département des sciences de la terre à la Faculté des Sciences, pour avoir accepté de diriger avec beaucoup d'attention et de soin cette thèse. Je lui suis très reconnaissant pour sa disponibilité, sa bienveillance et son soutien permanent, et d'avoir prêté un intérêt constant au sujet de la thèse.

Ma vive gratitude à **Mr. AUDA Yves**, Docteur chercheur à l'Université de Toulouse, d'avoir donné beaucoup d'intérêt à ma thèse. Il m'a accueilli au laboratoire du CESBIO, qu'il dirige, et m'a orienté.

Je remercie vivement **Mr LAKHAL Abdelwaheb**, Professeur à l'Université de Constantine, d'avoir accepté de participer comme président au jury de cette thèse.

Merci à tous les membres du jury qui ont accepté de juger mon travail : **Mr. BENSAID Rabah**, Professeur à l'université de Skikda ; **Mr. GUITTOUCHE Med Said**, Maître de conférences (U.ST.H.B) ; **Mr. AMIRECHE Hamza**, Maître de conférences à l'université de Constantine et **Mr. YAHIAOUI Abdelwaheb**, Maître de conférences à l'université de Batna.

Je remercie également **Mme DRIDI Hadda**, d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse.

J'adresse aussi ma profonde sympathie à tous les membres du Laboratoire LRNAT.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE :

1-La problématique de désertification.....	01
2-Etat actuel de la recherche	04
3-Objectifs du travail.....	05

CHAPITRE 01 : LE CONTEXTE GEOGRAPHIQUE DES AURES

1.1-Introduction	07
1.2- Limites géographiques	09
1.3- Les Reliefs	11
1.4- Le réseau hydrographie.....	15
1.5- Cadre géologique.....	19
1.6- Cadre géomorphologique.....	22
1.7-Cadre édaphique.....	26
1.8- Le Couvert végétale	28
1.8.1-Les formations forestières.....	28
1.8.2- Les formations para-forestières.....	31
1.8.3- Parcours.....	31
1.8.4- Les cultures.....	32
1.9- Les conditions Socio-économiques.....	33
1.9.1 Les habitats des Aurès.....	33
1.9.2- Agriculture et élevage.....	33
1.9.3Les principales communes de l'Aurès.....	33
1.9.4- L'impact des facteurs socioéconomiques.....	36

CHAPITRE 02 : CARACTERISTIQUES DU CLIMAT DES AURES

2.1- Introduction.....	37
2.2- Données climatiques.....	37
2.2.1-La température.....	38
2.2.2-Les précipitations.....	41
2.2.3-Données complémentaires	44
2.3-Synthèse climatique.....	48

2.3.1-Le diagramme Ombrothérmique de GAUSSEN.....	48
2.3.2- La localisation des stations dans le CLIMAGRAMME pluviométrique	50
2.3.3-Saisons sèches et saisons humides d'après l'étude des diagrammes	50
2.3.4- La végétation de l'Aurès en fonction des étages bioclimatiques.....	53
2.7- Intérêt régional de l'étude de l'évolution climatique	55
2.8- Conclusion	56

CHAPITRE 03 : L'AURES : UN MILIEU EN DEGRADATION ET VULNERABLE A LA DESERTIFICATION

3.1- Introduction	59
3.2- L'origine de L'évolution morphodynamique des Aurès.....	60
3. 2.1- Les Mouvements de soulèvement saccadent.....	60
3. 2.2- Le basculement Nord-Sud.....	61
3. 2.3- Formation de la Fosse Sud- Aurasienne	61
3. 2.4- Le réseau hydrographique.....	62
3.3- Les contraste des Aurès	63
3.3.1- Les contrastes Nord-Sud.....	63
3. 3.2- Les contrastes Ouest- Est.....	64
3.4- La dégradation du milieu des Aurès : Un phénomène ancien.....	65
3.4.1-Les causes historiques.....	65
3.4.2-Les causes récentes.....	73
3.5-Les conséquences de la dégradation dans les Aurès.....	80
3.5.1. Régression du couvert forestière.....	80
3. 5.2 Dégradation et régénération du sol.....	81
3. 5.3 L'érosion des reliefs.....	81
3.5.4. L'accroissement du ruissellement et la réduction de l'infiltration	82
3.5.5- Régression de la végétation : un facteur favorable à l'extension de l'érosion éolienne.....	83
3.5.6. Extension du sable et érosion éolienne : phénomènes en évolutions	83
3.5.7. Conséquences environnementales et économiques.....	83
3.5.8. Conséquences sur le plan socio-économique.....	84
3.6. Conclusion.....	85

CHAPITRE 04 : CADRE THEORIQUE DE RECHERCHE

4.1-Définitions et caractéristiques de la désertification.....	86
4.1.1- Introduction.....	86
4.1.2- Définitions.....	87
4.1.3-Les caractéristiques de sa manifestation	88
4.1.4-Quelles sont les principales causes de la désertification?.....	89
4.1.5-La vulnérabilité du milieu à la désertification.....	91
4.1.6- Comment mieux comprendre l'impact de la désertification?.....	92
4.1.7-Les principaux indicateurs de désertification.....	93
4.2- Les outils géomatique dans l'étude de la dégradation et de désertification des zones arides et semi-arides	94
4.2.1- La Télédétection	94
4.2.1.1. Introduction	94
4.2.1.2. Principes fondamentaux de la télédétection.....	95
4.2.1.3. Intérêt des images satellitaires dans l'étude du milieu naturel et le suivi des changements	96
4.2.1.4- Utilisation de la télédétection dans l'étude de la désertification	98
4.2.2- Les systèmes d'information géographique (SIG)	99
4.2.2.1- Introduction.....	99
4.2.2.2-Définitions et caractères	100
4.2.2.3- Conception.....	101
4.2.2.4-Fonctions.....	101
4.2.2.5 - Stockage et gestion des données	105
4.2.2.6-La base de données géographique.....	105
4.2.2.7-Modélisation des données géographiques.....	106
4.2.2.8-- Application des SIG a la recherche environnementale	106
4.3 - Le Global Positioning System (GPS).....	107

**CHAPITRE 05 : TELEDETECTION POUR LA CARTOGRAPHIE DE
L'OCCUPATION DU SOL ET LE SUIVI DIACHRONIQUE DE LA
DESERTIFICATION DANS LA REGION DES AURES**

5.1- Cartographie de l'occupation du sol de la région des Aurès a l'aide d'image Alsat1	110
5.1.1- Présentation du Micro satellite Alsat1 et l'image choisi de la région des Aurès....	110
5.1.2- Logiciel utilisé (ENVI).....	114
5.1.3- Les différentes phases d'analyse d'image Alsat1	116
5.1.3.1- La composition colorée	116
5.1.3.2-Correction géométrique	116
5.1.3.3- Classification de l'image	117
5.1.4- Missions d'échantillonnages et réalité de terrain	118
5.1.5-Validation de la classification.....	120
5.1.6-Résultats et interprétation	122
5.1.7- conclusion	124
5.2- Etude de deux cas représentatifs : Suivi diachronique de la désertification dans la région des Aurès.....	125
1 ^{ier} Cas : La zone centre du Sud des Aurès.....	125
5.2.1-Traitements de l'image.....	126
5.2.1.1-Correction radiométrique et atmosphérique.....	128
5.2.1.2-Critères de choix des images satellitaire et des canaux multi-spectraux.....	128
5.2.1.3-Composition colorée et amélioration de la qualité des images.....	129
5.2.2 -Missions de reconnaissance et données de terrain	130
5.2.3 -Validation de la classification.....	132
5.2.4 - Conception de la carte d'occupation du sol.....	135
5.2.5- Résultats obtenus et interprétation.....	135
5.2.6. Conclusion	139
2 ^{ème} Cas : La zone Sud- est des Aurès	140
5.2.1- Choix des canaux et échantillonnage.....	140
5.2.2- Correction géométrique.....	140
5.2.3-Travaux sur le terrain et traitements préliminaires.....	141
5.2.4- Choix de l'algorithme de classification.....	143

5.2.5- Choix de l’algorithme de classification.....	143
5.2.6- Réalisation de la classification supervisée.....	143
5.2.7- Résultats et interprétation.....	145
5.2.8- Conclusion	155

CHAPITRE 06 : MODELISATION DES DONNEES PAR LES SIG EN VUE DE REALISATION DE LA CARTE DE VULNERABILITE A LA DESERTIFICATION DU MASSIF DES AURES

6.1- Choix du logiciel.....	157
6.2- Fonctionnalités du MapInfo.7	158
6.2.1-La visualisation des entités raster et vecteur sur MapInfo.....	159
6.2.2-Visualisation de Model TIN (réseau triangulé irrégulier) sur MapInfo.....	160
6.3- Création de la base des données.....	161
6.3.1- Collecte des données.....	161
6.3.1.1-Données alphanumériques.....	161
6.3.1.2-Données cartographiques et numériques.....	162
- Le format raster.....	162
- Le format vectoriel.....	163
6.4- Réalités du terrain et correction des données collectes.....	164
6.4.1-Critères de sélection des stations.....	164
6.4.2- Les étapes du terrain	166
6.5- Structuration et traitement des données	167
6.6- L’organisation des données	167
6.6.1- Détermination de la qualité de sol	167
6.6.2- Détermination de la qualité de climat	170
6.6.3- Détermination de la qualité de végétation	171
6.6.4- Détermination de la qualité socioéconomique.....	173
6. 7. L’élaboration de la carte de sensibilité à la désertification	175
6.8- Conclusion	177
6.9- La réalisation des cartes thématiques.....	178
6.9.1- La carte de qualité des Sols	178
6.9.2- La carte de qualité de la végétation.....	179
6.9.3- la carte de qualité socioéconomique	181

6.9.4 -La carte de qualité du Climat	185
6.10- Analyse et interprétation de la carte de vulnérabilité a la désertification.....	187
6.11- Conclusion.....	190
CONCLUSION GENERALE.....	191
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	193
LES ANNEXES.....	207
Liste des figures.....	216
Liste des tableaux.....	218
Liste des photos.....	219
RESUME.....	220

INTRODUCTION GENERALE

1- LA PROBLEMATIQUE DE DESERTIFICATION :

La désertification est considérée au plan écologique comme l'une des problématiques environnementales les plus préoccupantes du XXI^e siècle. Par désertification, on entend les mécanismes de la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches sous l'action de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines (UNITED NATIONS, 1994).

La désertification représente à la fois un problème d'environnement et un problème de développement. Ce phénomène affecte l'environnement local et le mode de vie des populations, mais ses effets ont du fait de nombreuses interactions des retentissements plus globaux au niveau de la biodiversité, des changements climatiques et des ressources en eau. Etroitement liée à l'activité humaine, la dégradation des terres constitue à la fois une des conséquences du mal-développement et une entrave majeure au développement durable des zones sèches.

Suite au Sommet de la TERRE de RIO en 1992, la communauté internationale s'est dotée d'un instrument juridique pouvant apporter une réponse globale forte à cette problématique. C'est ainsi que, en 1994, la Convention des Nations Unies de Lutte contre la désertification (CNULD) a été institutionnalisée.

En général, la dégradation débute par une altération de la végétation, une modification de la composition floristique, les espèces les plus utilisées ou les plus appréciées se raréfient et disparaissent. Ensuite ou parallèlement, le couvert végétal s'éclaircit et la production de biomasse diminue. Les capacités de reproduction et de régénération de la végétation se réduisent de plus en plus. Le sol, moins protégé par la couverture végétale est soumis à l'action mécanique des précipitations qui provoquent une modification des états de surface (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

Que signifie la désertification pour nous ? Quels sont les causes et les facteurs aggravants en Algérie ?

L'Algérie fait partie d'une région bioclimatique où les zones sèches constituent la majeure partie du territoire (littoral : 2 % ; steppe : 11% ; Sahara et oasis : 87 %). Cette situation induit une grande précarité de la productivité biologique variant au gré d'une grande variabilité interannuelle du climat (D.G.F, 2004). La zone steppique est actuellement très menacée par le phénomène de désertification. La région ouest en

particulier est considérée comme zone en désertification au vu de la dégradation de la couverture végétale, de la faiblesse qualitative et quantitative des ressources en eau, de l'exacerbation des mécanismes physiques à la surface du sol, de l'érosion et de l'ensablement. Les causes immédiates sont nettement identifiées : il s'agit du surpâturage, de la mise en culture inappropriée et des prélèvements excessifs. Cet écosystème est de plus en plus fragilisé par l'accroissement de la pression humaine. Les causes fondamentales restent d'abord la croissance démographique, la pauvreté et la crise économique ainsi que le cadre institutionnel et le choix de développement. On comprend donc qu'un ensemble de facteurs agissent de manière combinée à différentes échelles spatiales et temporelles. Cette analyse implique que les actions de lutte doivent nécessairement s'appuyer sur un diagnostic fiable de l'état de l'environnement local en intégrant l'identification des responsabilités et des intérêts respectifs de tous les acteurs agissant.

Quels moyens et méthodes peut proposer la recherche pour évaluer et suivre la progression de la désertification ?

Le suivi de la progression de la désertification exige d'une part la description des conditions biophysiques et socioéconomiques des milieux subissant ces phénomènes, et d'autre part la compréhension des mécanismes et processus résultant de ces conditions.

Des indicateurs, sont traditionnellement employés dans l'évaluation, le suivi et dans la prévision. Ils peuvent être rattachés à deux grands groupes :

- Celui des causes de la désertification qui sont à la fois naturelles (indicateurs traduisant par exemple l'évolution de facteurs climatiques) ou induites (indicateurs mesurant la pression de l'homme sur le milieu);
- Celui des effets de la désertification sur les milieux biologiques (principalement la végétation et la faune), physiques (sols et ressources en eau) et socio-économiques (famines, migrations, changements des pratiques...).

Le développement de méthodes d'évaluation et de suivi de l'état de l'environnement et de l'impact des actions de lutte contre la dégradation des terres repose sur la mise en place de réseaux d'observation à long terme utilisant des méthodologies de collecte et de transfert de données compatibles (ROSELT /OSS, 2004).

L'intérêt de ces observatoires est de collecter les données nécessaires, sur une base harmonisée, de suivre dans le temps l'évolution de processus et de permettre la définition

de situations de références. Ils permettent de développer des indicateurs et de les tester, d'élaborer des outils d'aide à la décision intégrant ces indicateurs. Ils constituent également des sites privilégiés de recherche sur l'étude des mécanismes et des processus, ainsi que sur les facteurs déterminant les évolutions.

Ainsi ; la cartographie et le suivi de l'extension spatiale de la dégradation constituent une des bases de la connaissance du phénomène de désertification. Elle est indispensable à l'établissement de plans de lutte et de programmes d'utilisation durable des ressources naturelles en zones arides et semi-arides.

Les techniques d'observation, de mesure et d'échange d'informations sont aujourd'hui en évolution. Il existe de nombreuses sources d'évaluation et de suivi qui vont des enquêtes mondiales et de l'analyse de données par satellite, aux études des modifications de l'environnement au niveau local. Elles représentent de précieux outils d'aide à la décision. A cet égard, la télédétection semble être un outil à privilégier, car elle permet d'élaborer des cartes plus précises sur la progression de la désertification.

Comment apprécier objectivement l'impact de la désertification?

Plusieurs incertitudes limitent la compréhension de l'importance de la désertification. La collecte d'informations – télédétection et données biophysiques et socio-économiques infranationales, le tout sur de long terme doit permettre de développer une base de référence et des indicateurs de la désertification. Ce type d'informations aidera à réduire les incertitudes concernant les relations entre désertification, changement climatique, biodiversité, services des écosystèmes et le bien-être humain (WARREN et GNEW, 1988).

L'utilisation intégrée de la télédétection par satellite, de photographies aériennes et d'observations terrestres peut fournir des données cohérentes sur la couverture végétale, susceptibles d'être répétées, avec un rapport coût/résultat satisfaisant. Les zones sèches se prêtent facilement à la télédétection parce qu'elles bénéficient souvent sans nuage. Une large gamme d'images est donc disponible. La continuité des observations est nécessaire pour rendre compte de la grande variabilité interannuelle des services des écosystèmes en zones sèches. Une interprétation valable de l'imagerie fournie par la télédétection pour la désertification nécessite une calibration et une validation précises par rapport aux mesures terrestres (comme la couverture végétale, la productivité biologique, l'évapotranspiration,

la fertilité des sols et les taux de compaction et d'érosion). L'accès à une imagerie par satellite à un coût abordable, particulièrement dans les pays en développement, est crucial pour une utilisation intégrée efficace.

Pour notre cas et malgré les difficultés majeures à disposer d'imagerie satellitaires à des pas de temps raisonnable pour un suivi diachronique, nous avons utilisés des sources satellitaires différentes avec toutes les difficultés techniques que cela implique en l'occurrence les données de Landsat et Alsat1.

2. ETAT ACTUEL DE LA RECHERCHE :

Un nombre d'organismes et de chercheurs ont mené différentes études sur l'environnement aride et semi-arides. La télédétection est l'une des techniques les plus répandues dans leurs recherches pour l'analyse du changement (COUREL, 1985), la classification d'occupation du sol (TUCKER *et al.*, 1986), l'identification de la désertification (HELLDEN, 1988 ; TUCKER *et al.*, 1986, 1991 ; ZHU *et* WANG., 1993), le suivi des changements d'occupation du sol (LAMBIN *et al.*, 1997 et 2001), la cartographie de dunes de sable et la modélisation de l'érosion du sol (CALLOT *et al.*, 1996, 2000 ; SIMONIN *et* DUPERET, 1990 ; BENSAID, 2006). La télédétection est donc un outil pertinent pour la recherche en zones aride et semi-aride.

D'autres outils ont été plus récemment largement utilisés dans la recherche pour l'environnement, il s'agit des Systèmes d'Information Géographiques (SIG), capables de stocker et de gérer toutes sortes de données spatiales, de surveiller les dynamiques environnementales et de nous permettre d'effectuer l'analyse ou la modélisation spatiale. L'utilisation de cette technique serait certainement très efficace pour l'étude des zones arides. Une avancée scientifique importante est produite à la fin des années 1980 et au début de 1990, le Système de Positionnement Global (GPS), largement utilisé en navigation et en positionnement dans le monde entier. Cette technique serait d'une grande utilité lors de voyages de terrain pour vérifier et localiser l'apparition de changements et d'événements pertinents.

Ces trois techniques sont de nommées *méthodes numériques quantitatives* dans les années 1990. Actuellement, une nouvelle expression est utilisée : la géomatique ou géoinformatique, terme générique utilisé par les Canadiens ces dernières années pour

décrire le système de traitement des géoinformations et les techniques associées, dont les techniques sont les éléments centraux.

Une tendance durant ces dernières années est la modélisation de l'interaction homme environnement qui vise à comprendre les forces d'entraînement et le mécanisme des changements environnementaux en s'appuyant sur les SIG et les modèles statistiques (SERNEELS et al., 2001 ; VELDKAMP *et al.*, 2001 ; BROWN, 2000 ; PARKER *et MERETSK*, 2002 ; VERBURG *et al.*, 2002 ; WU *et al.*, 2002). Cette technique est progressivement devenue une démarche essentielle des recherches de l'environnement global puisqu'elle rend la prévision d'évolution possible.

Ainsi, le suivi et la modélisation par SIG ou, plutôt, les techniques de géomatique combinées avec l'analyse de l'interaction homme-environnement semble être une approche efficace pour l'étude de changement de l'environnement aride. C'est donc la méthode adoptée dans la recherche de cette thèse.

3. OBJECTIFS DU TRAVAIL :

L'objectif de ce travail de recherche est une évaluation quantitative numérique de l'état de vulnérabilité du massif des Aurès à la désertification.

Dans ce travail, il ne s'agit pas d'évaluer la désertification en soit mais beaucoup plus pour définir le niveau de vulnérabilité et son articulation spatiale à l'échelle du massif.

Ceci exige évidemment une approche systémique intégrant des paramètres objectifs pouvant influencer sur la vulnérabilité et appliqués dans un espace discrétisé dont les unités systématiques sont géoréférencées.

Le choix du massif des Aurès comme terrain de recherche type, se justifié à plus d'un titre : En effet, le massif des Aurès offrent les caractéristiques d'une unité physique distincte et individualisée intégrant deux grand piémonts d'orientation septentrionale et méridionale soumises à des influences climatique différentes et répondant aux effet de la désertification de manières différentes.

Pour une évaluation numérique précise et exhaustive de l'espace Aurasien, il a été nécessaire de faire appel aux outils de la géomatique en l'occurrence la télédétection et les systèmes d'informations géographiques (SIG).

La première nous a permis de caractériser quantitativement et qualitativement l'état des surfaces de la région à savoir l'occupation des sols grâce à l'analyse multispectrale des

images satellitaires, permettant d'identifier les différents objets au sol et appuyés par une validation sur terrain par GPS. L'analyse de plusieurs missions de Landsat et Alsat1 nous a permis un suivi diachronique des phénomènes de dégradation dans la région Aurasienne.

La seconde qui correspond à une mise en œuvre d'une base des données géoréférencées nous a amenés à une spatialisation de toute cette informations géographique à l'aide de logiciel MapInfo 7.0. Une spatialisation thématique d'abord et synthétique en suite par superposition de différentes couches d'informations.

L'évaluation numérique des paramètres de vulnérabilité sous la forme indicielle a permis en fin de compte de modéliser le niveau de vulnérabilité sur un plan spatio-temporelle en utilisant pour cela le model MEDALUS auquel il était nécessaire d'apporter des adaptations objectives pour répondre à la réalité locale de notre région.

La finalité est une nouvelle méthode d'évaluation de la désertification en tant que risques naturels majeur et un outil d'aide à la décision en terme de protection des ressources naturelles.

Cette étude s'articule autour des points suivants :

- Le contexte géographique des Aurès ;
- Les caractéristiques du climat des Aurès ;
- L'Aurès : Un milieu en dégradation et vulnérable à la désertification ;
- Cadre théorique de recherche ;
- Télédétection pour la cartographie l'occupation du sol et le suivi diachronique du milieu des Aurès ;
- Modélisation des données par SIG pour l'élaboration de la carte de vulnérabilité du massif des Aurès à la désertification.

CHAPITRE 01 :

LE CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

DES AURES

1. INTRODUCTION :

Tenons une carte d'Algérie, nous voyons deux lignes, brunes et sombres, représentant des reliefs montagneux. Ces deux lignes parallèles courent d'Ouest en Est pour se rejoindre en Tunisie, où elles forment l'équivalent d'une pointe de flèche qui vise Carthage.

- La ligne du Nord est appelée Atlas Tellien, est une chaîne de montagnes qui longe plus ou moins le littoral.

- La ligne du Sud, appelée Atlas Saharien, longe la limite nord du Sahara à qui elle semble servir de barrière.

Ces deux lignes constituent presque une sorte de longue muraille, l'une contre la mer et l'autre contre le désert et entre ces deux " murs " se développent de riches et vastes plaines ou plateaux, tels : la vallée du Chélif, la plaine de Sétif, la Mitidja, la vallée du Hodna, etc.... (CÔTE, 1974)

Au Sud- Est de l'Atlas Saharien, Un massif montagneux quelque peu curieux. Lorsqu'on vient de Constantine, il dresse avec une netteté rare au dessus des plaines une barrière haute, puissante et continue. IL prolonge les montagnes de la Tunisie centrale, égale en altitude de Djurdjura de Kabylie et présente un paysage de mise en valeur agricole dont on ne trouve la similarité que forte loin de la, dans le haut atlas Marocain. C'est le massif de l'Aurès (CÔTE, 2003).

On donne le nom général de massif de l'**AURES** au vaste pâtre montagneux qui s'étend à l'Est de la dépression dans laquelle coule l'Oued Kantara, dépression que suivent aussi la route nationale et le chemin de fer de Batna à Biskra.

La signification du mot Aurès ou Aoures comme le prononcent les autochtone n'a pu encore être déterminé ; c'est probablement un nom d'origine berbère, qu'on retrouve donné à d'autres montagnes, notamment au djebel Aoures près de Khenchela. Certains auteurs ont voulu faire dériver ce nom du mot hébreu "ARZOU " (cèdre), et les immenses forêts de cèdres qui ont recouvert autrefois et recouvrent encore une partie du massif prêteraient quelques vraisemblances à cette étymologie (DELARTIGUE, 1904 ; BALLAIS, 1981).

L'Aurès est compris dans le triangulaire Batna, Biskra et Khenchela (**Fig. 01**). Sa longueur de l'Est à l'Ouest est d'environ 100 Km; sa largeur du nord au Sud aussi est 100 Km. Il est précédé au nord d'une série d'avant-monts qui pour la hauteur rivalisent avec les sommets principaux de l'Algérie et qui sont habités tout comme lui par des populations d

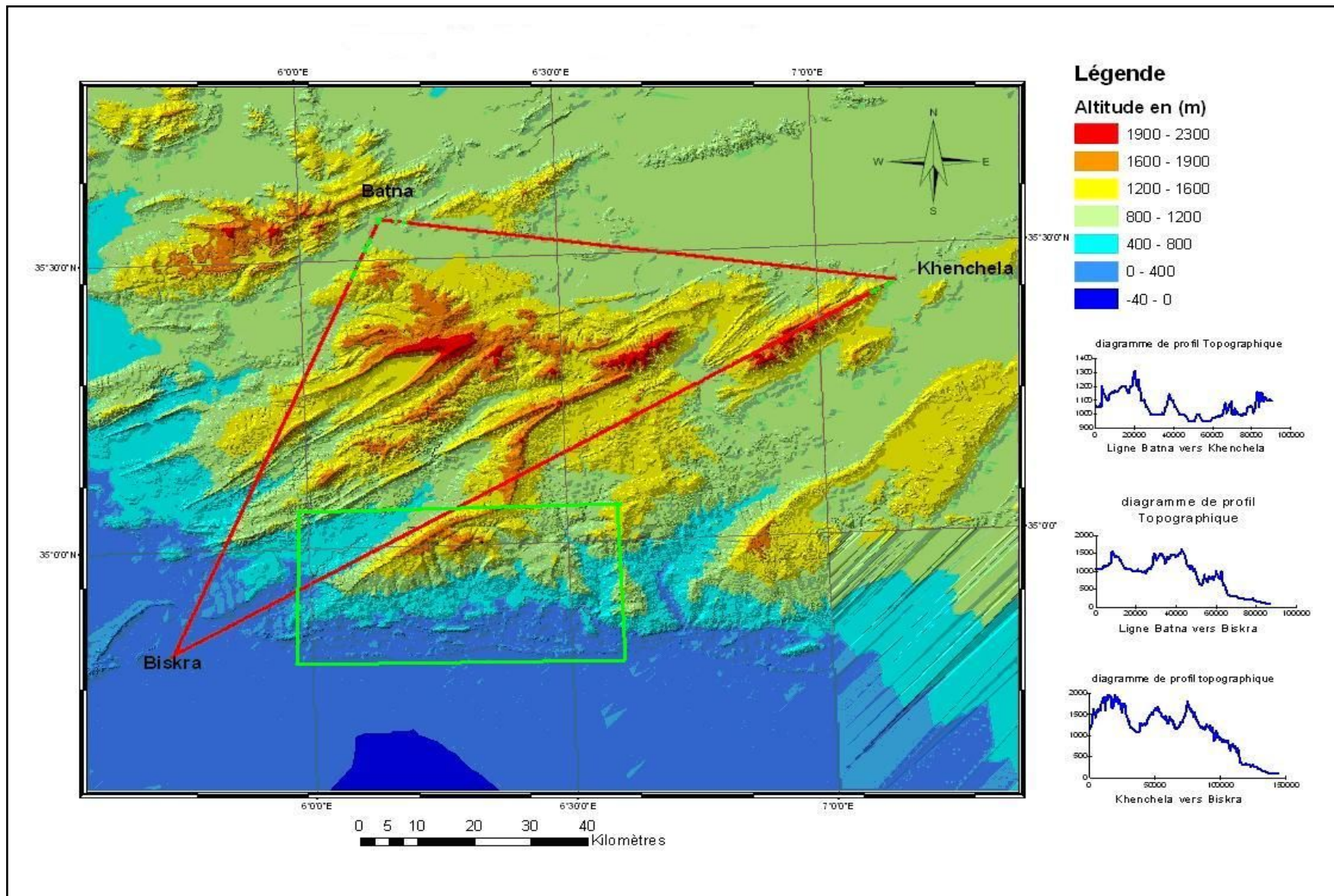


Fig. 01 : Carte d'un modèle numérique de terrain de la région des Aurès.

race berbère (CHAOUIA), tels sont le Djebel Gueriou à l'est d'Ain-M'lila, le massif de Nif-en- Ser (Bec d'aigle) entre la station d'Ain-M'lila et les Lacs, les monts de Belezma, Nord-ouest de la ville de Batna, dont le plus élevé le Djebel Touguert (2100 m) est couvert d'une belle forêt de cèdres.

2- LIMITES GEOGRAPHIQUES :

Les limites du massif de l'Aurès proprement dit sont marqués à l'Ouest par l'Oued Elkantara (le pont) et la voie romaine de Lambiridis (El-Biar) à Ad Miscinam (Biskra) qui la sépare des monts du Zab; au Sud par la steppe du Chott Melghir et la route de Biskra à Nègrine par Zéribet El Oued; à l'Est par l'Oued El Arab qui la sépare du Djebel Cherchar (Mont des cascades) ou Cherchar (Mont des cailloux) et qui est suivi par l'ancienne voie romaine de Badès (Ad Badias) à Khenchela; au Nord par la steppe de la Sebkha Djendli et de la Garaa El Tarf que suit en longeant parfois les premières pentes du massif Aurasien la route carrossable de Batna à Khenchela (DELARTIGUE, 1904 ; CÔTE, 1974) .

Au Nord et au Sud de l'Aurès, se trouvent donc deux dépressions remplies de bassins salins. Celle du Nord reçoit les eaux venant du versant septentrional de l'Aurès ; elle est connue sous le nom de plaine des Sbakh; son altitude moyenne est de 900 m. La dépression du Sud fait partie de la région des Chotts; toutes les eaux de l'Aurès méridional et central s'écoulent dans le Chott Melrhir dont l'altitude est à moins de 30 m au dessous du niveau de la mer.

La zone d'étude est partagée entre les trois wilayas de Batna, Biskra et Khenchela (**Fig.02.**), elle s'étend sur Quarante-deux (42) communes et occupe une superficie totale de 9886 Km²;

vingt-quatre (24) Communes dans la wilaya de Batna, onze (11) Communes dans la wilaya de Khenchela et sept (7) Communes dans la wilaya de Biskra, Le massif des Aurès proprement dit, est situé entre :

- La ligne Batna Khenchela, au Nord
- La ligne Khenchela Sidi-Naji, à l'Est
- La ligne Batna Biskra, à l'Ouest.

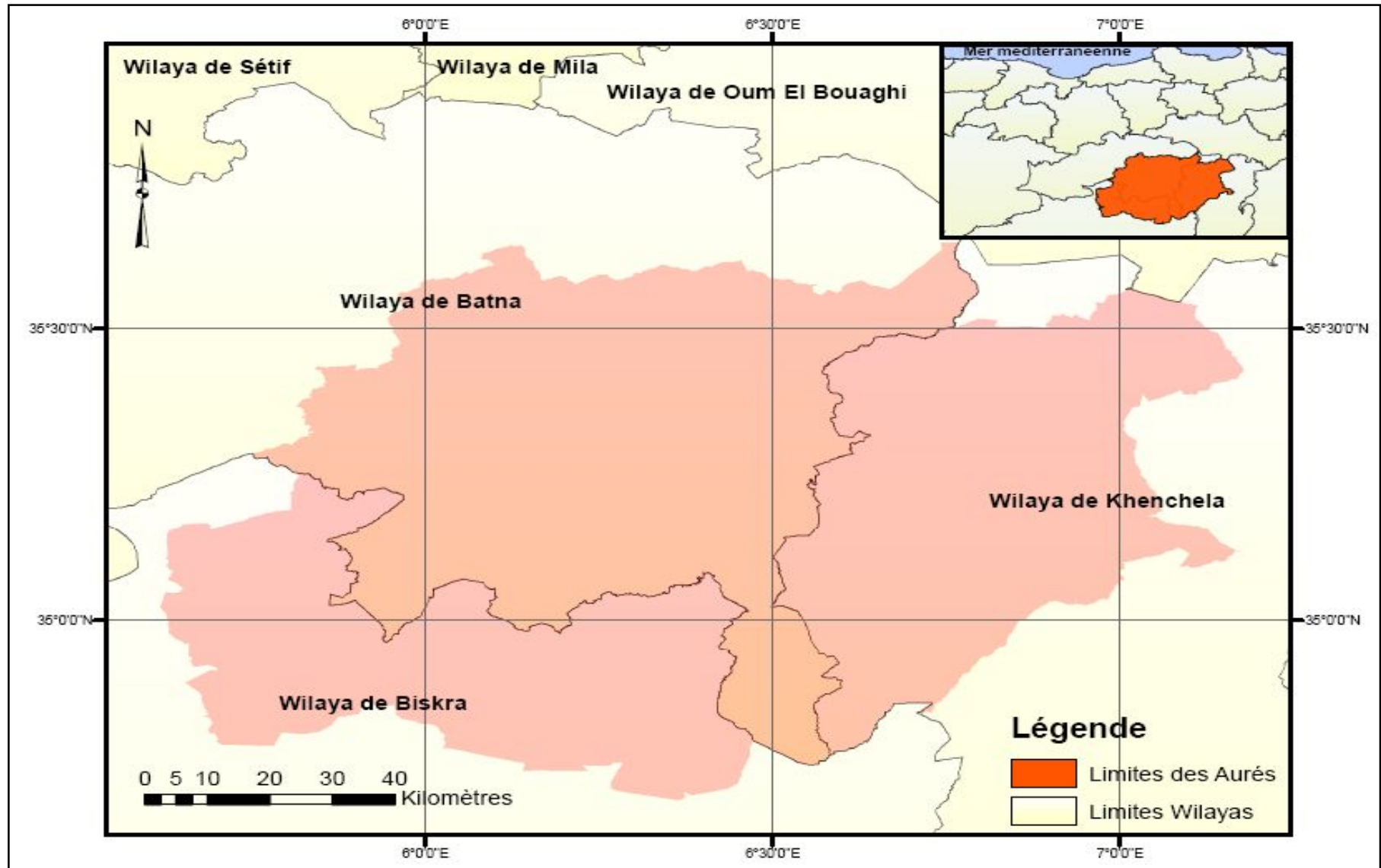


Fig.02 : Carte de Situation Administrative de la Région des Aurès.

3 -LE RELIEF :

Le massif est constitué d'une série de plis parallèles, orientés « Sud Ouest – Nord Est » qui s'étend sur une soixantaine de kilomètres (**Fig.03**). Le relief est généralement très lourd, les sommets sont constitués par des dômes arrondis, sauf pour les plis de l'Ahmar Khaddou et Dj.Azreg.

Vu dans son ensemble, le massif des Aurès se présente comme un puissant toit à double pente, dissymétrique, ride et parallèle. Cette série montagneuse orientée Nord- Est / Sud-Ouest (Orientation typique de la chaîne Atlasique), porte à 2200 - 2300 m ses crêtes sommitales (Mehmel, Chélia, Aidel). Au Nord de cette ligne de crête le retombé rapide en 10 ou 20 Km établit la jonction avec les hautes plaines situées à 900 m d'altitude entre Batna et Khenchela. Au Sud, un long versant mène en 50 ou 60 Km au piémont saharien, sis à 100 m d'altitude (COTE, 2003).

Ces plis serrés dessinent de longues arêtes rectilignes, faites de crêtes étroites et séparées par de profondes vallées.

La chaîne de partage des eaux entre le versant saharien et la plaine des Sbakhs : Cette chaîne est marquée de l'Ouest vers l'Est par :

- Le djebel Ich Ali (1810 m) dont le sommet est à environ 7 km au Sud de Batna, le djebel Assière (1835 m), le Drâa Ben Chibane (1944 m) et le Ras Tafsart (1981 m).
- La partie du djebel Mahmel située au Nord d'Aïounet El -Amar (2214 m) continue sous le nom de Kef Mahmel, le djebel Iddert (1901 m) et le Ras El Kriane (1948 m).
- Le Theniet Aïn Youb et le Theniet El Kadir (1645 m) sentiers venant de Foum Toub dans la plaine de Médina et le djebel Tedfedjir (1715m).
- Le djebel Chélich ou Chélia : Le soulèvement de ce massif important, le plus élevé de l'Algérie de Nord (2328 m) a eu lieu suivant un axe Ouest –Est. Son point le plus élevé est le Ras Kalthoum.

- La grande chaîne de partage se continue ensuite par : Le djebel Fournal (1700 m) et le djebel Taferoust (1592 m).

* Un col dont l'altitude ne dépasse pas 1250 m du Nord à Aïn Cheroui, celui du Sud à Henchir Etouan et fait communiquer la grande route de Batna à Khenchela avec Bou Hamama (vallée de Mellagou).

* Le Kef Gâam (1656 m).

* Le djebel Aourès (1551 m).

* Le Chorf Nourris et le Tizzi Nourris où passe la route de Khenchela au col de Tizougarine par Oued Tamza.

* Le djebel Pharaoun (2094 m).

* Le Kef Tifkressa (1947 m).

* Le Ras Chabor (1216 m) qui domine Khenchela.

Le versant Saharien : IL s'agit des différentes chaînes de montagnes qui se détachent de la chaîne de partage et séparent les unes des autres. Les différents cours d'eau du versant saharien (**Fig. 04**) :

- Entre la haute vallée de Oued El-Kantara et la haute vallée de Oued Fedhala ; les chaînes de Titouguelt (1583 m).
- Entre Oued Fedhala et Oued Larbâa : les monts des Ouled Fedhala.
- Entre Oued Larbâa et Bouzina massif de Malou.
- Entre Oued Bouzina et Oued Abdi le massif du Mahmel 2321 m.
- Chaîne séparative entre Oued Abdi et Oued El Abiod : Cette chaîne prend naissance au Theniet Gabel Ressisse par le djebel Boutelegmine (2178 m).
- Entre Oued El Abiod et la vallée de Oued Cheneoura : le massif du Zellatou.
- Entre Oued El Abiod et les affluents d'Oued El Arab le massif du djebel Ahmar Khaddou.
- Chaîne bordière d'El Guerguit. Cette chaîne porte le nom générique d'El Guerguit.

Versant de la plaine des Sbakhs, les principaux sommets sont :

- Sur la rive gauche de Oued Foum El Gueiss en partant du Theniet El Fedj : le Kef Mabrou, le Ras Ichouferratou (1470 m), le Ras Ifertassine (1303 m), le Ras Tourna, le Kef Achachoua (1176 m)
- Entre Oued Foum El Gueiss et Oued Mouskettou, le djebel Tiskatine orienté Ouest Est formant à l'Ouest le défilé de Foum El Gueiss et à l'Est celui de Foum Tizout.
- Le prolongement Nord du djebel Aourès.
- Le djebel Pharaoun qui se prolonge par le Kef El Abiod (1815m), le djebel Guelâa (1621 m) et le djebel Akar sur le Foum Tafist, dernier défilé à quelques kilomètres de Khenchela que traverse la route Batna- Khenchela. Il se prolonge de l'autre côté par la montagne isolée du djebel El Mennchar.

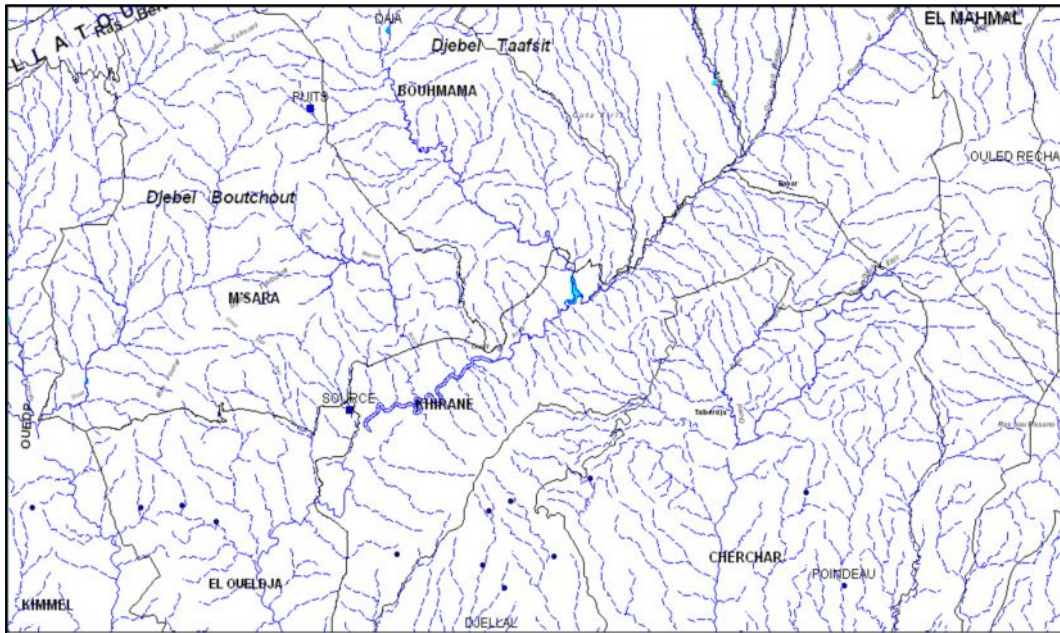
4- LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE:

Le réseau hydrographique est endoréique ou aréique pour l'ensemble du massif (**Fig.05**). Pour les oueds, certains sont sahariens, ils traversent le massif du Nord-est vers le sud ouest et constituent des compartimentages dans la structure géographique. Ils s'éteignent tous dans les chotts du sud et de l'ouest (DELARTIGUE, 1904 ; BALLAIS 1981 ; ABDESSEMED, 1984).

Quatre vallées creusent le massif de l'Aurès. Ce sont celles de l'Oued El-Kantara; l'Oued Abdi, affluent de l'Oued El Kantara; l'Oued El Abiod; l'Oued El Arab (**Fig. 06**).

- Oued El-Kantara et son affluent principal Oued Abdi : L'Oued El-Kantara descend du col du Chlalâ, qu'il ouvre au pied du Djebel Touguert, une des plus hautes montagnes de l'Algérie (2094m) située à quelques Kilomètres à l'ouest de Batna.
- Oued El Abiod : L'oued El Abiod prend sa source dans le Chélia, à Ras Keltoum (2.328 m) d'où il descend sous le nom d'oued Tiddart, puis un peu plus bas d'oued Tadjernit.
- Oued El Arab : L'oued El Arab prend sa source à quelques kilomètres de Khenchela au sud ouest, au djebel Tafrent, par 02 bras ayant 25 à 30 km de longueur et qui enserrant en l'isolant complètement du massif de l'Aurès.

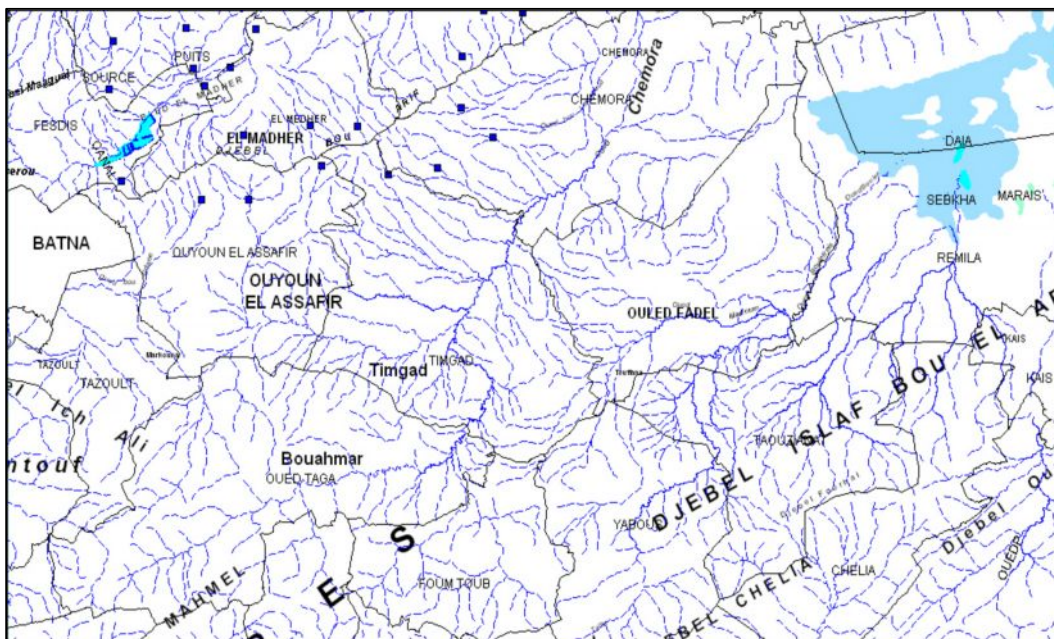
Fig. 06 : Réseau hydrographique Sud- Est des Aurès.



Les principaux cours d'eau en partant de l'Ouest en Est sont :

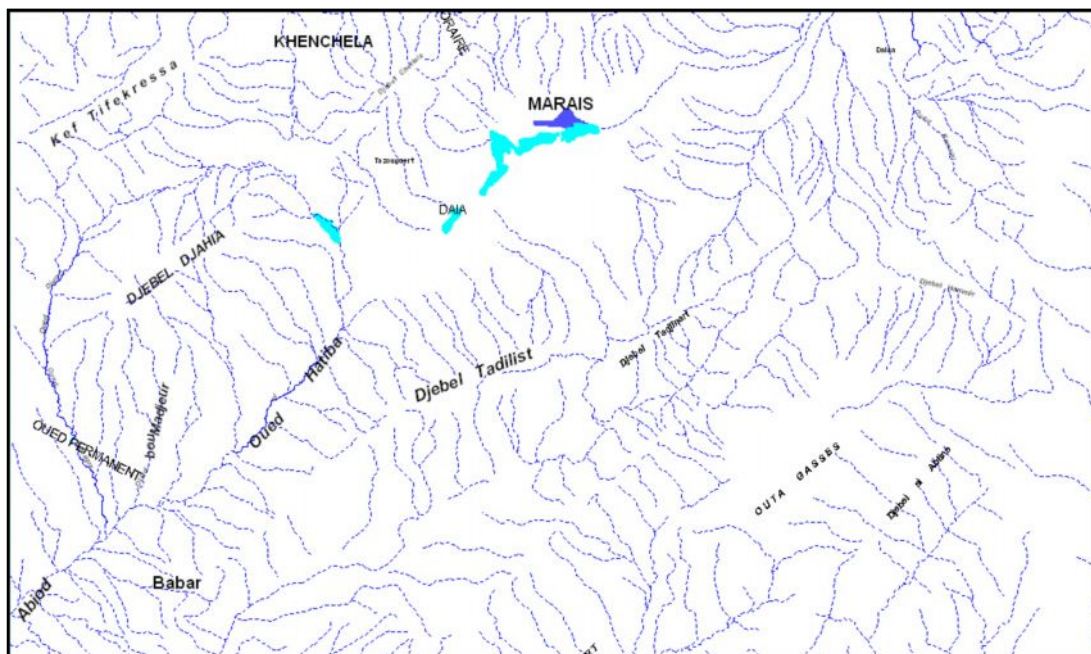
- Oued EL-Madher : Cet oued descend par plusieurs bras et de fort belles sources du versant nord du djebel Ech Ghaali et du djebel Assière.
- Oued Chemora. : Cette rivière est formée de 02 bras, le Chabet Ez Zoubia à l'ouest et l'oued Reddam à l'Est.

Fig. 07 : Réseau hydrographique Nord- Ouest des Aurès.



- Oued Bou El Freiss : Cette rivière est des plus importantes ; elle est formée par la source Aîn Tetoufzed et ouvre un long couloir au nord du Chélia en donnant passage à une assez bonne voie de communication avec la haute vallée de l'Oued El Abiod (Plaine de Médina).

Fig. 08 : Réseau hydrographique Nord Est des Aurès



- Oued Foug El Gueiss : Cet oued ouvre un long couloir dans l'Aurès ; il sort du Djebel Noughiss ou Nouriss. Sa source est opposée par le sommet à celle de l'oued Tamzat, affluent de l'oued Mellagou. L'oued traverse un massif montagneux très boisé et entre dans la plaine au défilé de Foug El Gueiss au moment où il est traversé par la route de Khenchela.

- Oued Menzel : Cet oued sort du massif boisé du djebel Akar et va se jeter dans la Gueraa El Tarf (chott El Mellah), presque à côté de l'oued Foug El Gueiss il reçoit à gauche l'oued Mouskettou qui sous le nom de Faid Iskouène ouvre le défilé de Foug Tizourit.

Le réseau hydrographique des Aurès éparpillé en toute direction mais son allure générale ne cesse d'être du Sud Ouest et Nord Est, souvent l'orientation générale du complexe montagneux et la géomorphologie caractérisent le réseau en phase de jeunesse dont la mesure ou les cours d'eau continuent toujours de creuser leurs lits. Ils sont secs en été en se transformant en torrent dès la moindre averse.

Cette situation montre à quel point l'érosion est forte dans cette région qui peut ronger et dégrader la région si on n'y parvient pas à y remédier par le reboisement. D'ailleurs le fléau de l'érosion dépasse en vitesse et en surface tous les efforts entrepris jusqu'ici.

5. CADRE GEOLOGIQUE :

Les données géologiques fournissent des indications précieuses sur la nature du substrat où se développe la végétation. Cette dernière répond d'une manière assez fidèle à la nature lithologique et aux formes géomorphologiques.

D'après les travaux géologiques effectués dans la région des Aurès et les régions voisines (LAFFIT, 1939 ; CORNET, 1951 ; BELLION, 1976 ; ALIMEN et al., 1979 ; BALLAIS et VOGT, 1980 ;) permettent de proposer une synthèse géologique et structurale de la région d'étude (**Fig. 09**).

Les terrains primitifs qui affleurent sur les côtes algériennes n'apparaissent pas dans la région de Batna et le massif de l'Aurès est entièrement formé de couches sédimentaires plissées et disloquées.

Les bossellements de la croûte primitive correspondant nécessairement aux zones où affluent les terrains stratifiés les plus anciens. Ceux-ci sont dans la région de Batna les terrains secondaires (Triasique, Jurassique) qui affleurent dans le Chellalah, dans le Tarbent, à l'Est de Nara et à El Outaya. Tous les autres terrains sont de formation plus récente et l'étage dominant est le crétacé auquel appartiennent en grande partie les formations de l'Aurès, le Chellalah, le Tarbent, le Kasserou, le Tafrent, le Metlili, le Chélia et le Fedjoug.

Selon LAFFIT, 1939, Les croupes et les contreforts de ces massifs sont de formation tertiaire, miocène inférieur et éocène inférieur, qui s'étendent en larges bandes, le premier à l'Est et à l'Ouest de Batna, le deuxième au Sud- Est de Batna (Versant sud de l'Aurès).

Enfin les plaines sont Quaternaires. Pour étudier ces différents terrains nous les énumérons en donnant pour chacun d'eux sa nature lithologique, ses principaux fossiles et enfin les principaux affleurements :

- **Secondaire** : Période jurassique : Trias (argiles bariolées couleur lie de vin, couches gypso-salines) pas de fossiles caractéristiques dans la région (région des lacs Mzouri, Tinslit, Metlili et El Outaya) ; Lias (schistes avec intercallations de calcaires feuilletés) ammonites, belemnites (djebel Touguert) Oxfordien (calcaires saccharoïdes, marnes) oursins

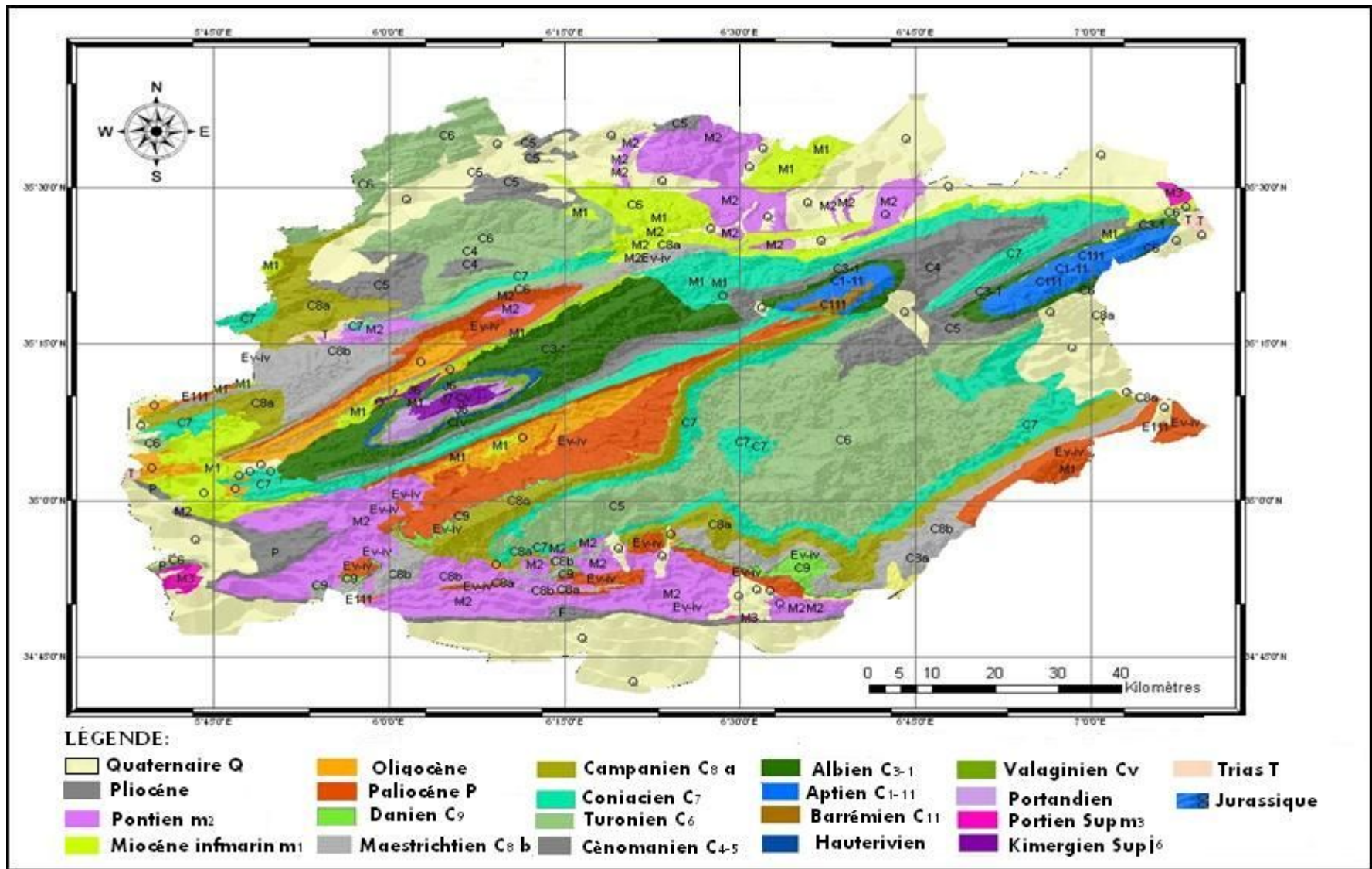


Fig.09 : Carte géologique des Aurès (D'après Laffitte, 1939)

(Djebel Tarbent) ; Corralien (calcaires bleux miliceux, dolomitiques) oursins (Chellalah).
Période supra-crétacé : Neocomien (marnes schisteuses avec grès) belemites plates (Ravin des Ruines) ; Aptien (marnes grès masses calcaires, calcaires à orbitolites (djebel Fedjouj) ; Albién (schistes et calcaires feuilletés) radiolites nicaisés (Aurès).

Période crétacé : Cenomadien (marnes et calcaires marneux) turrilites costatus (Aurès) ; Senomien (marnes blanches), craies blanches marnes bitumeuses, calcaires à inocérames, scaphites micraster (Aurès).

- **Tertiaire** : Eocène, Suessonien : (Schistes et calcaires marneux. Lits de siles. Calcaires ocreux, phosphates) ostrea multicostrat (environs de Khenchela) Nummulitique (calcaires marneux à nummulites) nummulites, planulata (environs de Khenchela) Oligocène (conglomérats gréseux, schistes marneux) marnes à huitres, cyrena convexa (environs de Chemora) ; Miocène Helvétien (marnes argiles près en couches minces calcaires jaunes) ostres crassissima (vallée d'El Kantara, poste optique de Selloum) ; Pliocène (marnes et grès lacustres avec gypses, poudingues calcaires) hélix tissoti (nord du hodna, Sahara).

- **Quaternaire** : (alluvions et encroûtements calcaires ou gypseux, dunes du Sahara, silex taillés épars) ossements (Sahara, sud de l'Aurès vallée d'El Kantara).

Le massif de l'Aurès est une très importante formation d'âge crétacé ayant subi des plissements dont l'axe est orienté du nord et au sud ouest (BALLAIS et VOGT, 1980). Des vallées parallèles à cette direction ont été creusées dans cette formation par des érosions puissantes qui ont donné à cette région l'aspect topographique qu'elle présente : une série de chaînes parallèles, le djebel Bouss, le Djebel Mahmel, le djebel Krouma et le djebel Ahmar Khaddou séparés par des vallées de l'oued Bou-Zina, l'oued Abdi, l'oued El Abiod. Les vallées formées par les érosions ont été comblées par des dépôts plus récents, éocène, oligocène. Ainsi s'explique l'apparence de la carte géologique de la région formée de bandes parallèles de direction nord est sud ouest de terrains tertiaires (oligocène, éocène) alternant avec des bandes crétacées.

Terrains crétacés. Une série de ces terrains s'observe dans le massif des Amamras Terrains jurassiques des environs de Batna. A leur partie inférieure ces terrains découverts avec discordance de stratification par couches néocomiennes nettement indiquées.

Particularités géologiques de la région ; montagne de sel d'El Outaya et lacs salés. On a vu dans l'énumération des terrains que le trias était composé d'argiles bariolées et de couches

gypso-salines. C'est un lambeau de ce terrain qui affleure à El Outaya et met à découvert la couche de sel gemme qui a donné le nom à cette montagne. Le sel repose sur des couches gypseuses. Des gisements similaires sont exploités à Cheshire (Angleterre) et Saint-Cassian, (Tyrol). Les lacs salés doivent sans aucun doute leur richesse en sel au voisinage d'une formation gypso-saline, formation qui affleure d'ailleurs entre les 02 lacs Mzouri et Tinsilt (trias) ; leur radier boueux très perméable permet la saturation par capillarité. – Dépression Sud Atlasique : le Sahara est un sol d'atterrissage d'origine détritique plus ou moins sablo-limoneux, dont la surface est plus ou moins endurcie en croûtes concrétionnées par un ciment calcaire comme une immense brique cuite au soleil. Ce vaste affaissement doit avoir une profondeur considérable parfois, à en juger par la hauteur des gours que de profondes dénudations ont laissé subsister. Tous ces immenses remblais détritiques proviennent croit-on en grande partie, de la dénudation de l'Atlas.

7. CADRE GEOMORPHOLOGIQUE :

La géomorphologie est l'un des éléments les plus précieux de l'analyse cartographique dans les études de reconnaissance. Ce paramètre régit un nombre considérable de processus physiques, en conjugaison avec la pédogenèse contrôlent le développement et l'évolution des sols (TRICART et CAILLEUX, 1968).

Vers 34° 35° de latitude Nord et 6° -7° de longitude Est, les Aurès se placent à la charnière des deux grands ensembles qui constituent l'Atlas saharien Algéro-Tunisien. A l'Ouest, l'Atlas et ses chaînons très lâches (Dj. Amour, Ouled Naïl) sont très nettement orientés SW-NE. A l'Est, dès Négrine, il se morcèle en chaînons étroits, le plus souvent orientés Ouest Est (Cherb, Bliji-Alima, Bou Hedma) même si, dans le détail, des directions différentes interviennent (GUIRAUD, 1975 ; BALAIS, 1975 ; BALLAIS, 1981). Au contact entre les deux, la plate-forme saharienne s'avance au maximum vers le Nord et les Hautes Plaines, bien développées à l'Ouest, se morcèlent avant de disparaître, remplacées à l'Est par la Dorsale tunisienne. Où se localisent les deux parties les plus massives de l'Atlas Saharien. Les Aurès dont les orientations majeures du relief restent SW-NE mais où les orientations Ouest-Est deviennent importantes, en particulier le long de leurs bordures (BALLAIS, 1975 ; COTE, 2003). C'est là aussi que l'Atlas Saharien Algéro-Tunisien atteint son point culminant (Dj. Chélia : 2 328 m. **(Fig.10)**).

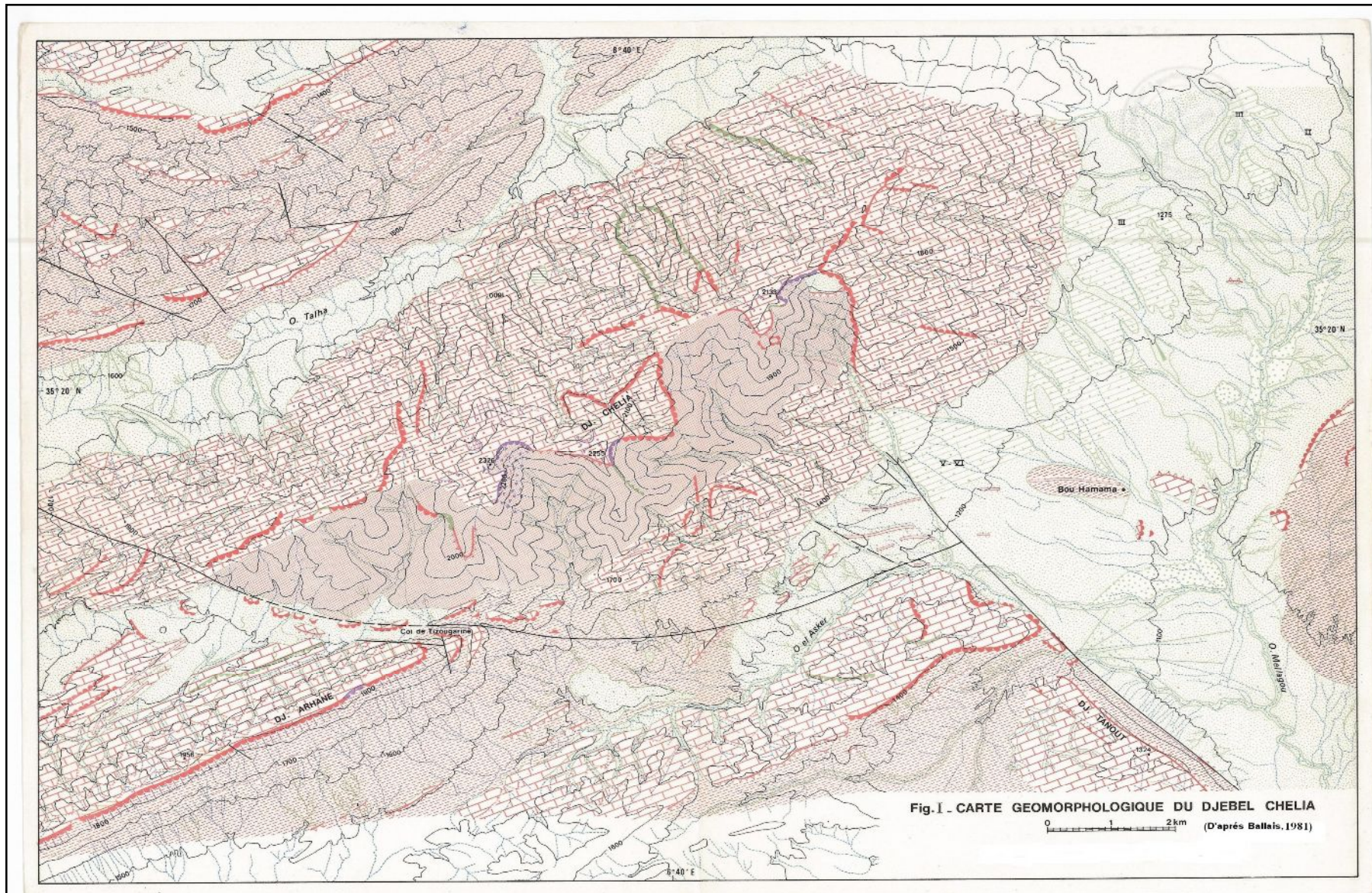


Fig. 10 : Carte géomorphologique du Djebel Chélia (D’après BALLAIS, 1981)

Les Aurès ne sont bien limités qu'au Sud où le monoclinale post-pliocène des Guerguitte domine brutalement, quoique par une dénivellation très faible, le Bas-Sahara, au niveau de la flexure Sud-atlasique orientée Ouest-Est. Constitue ici par un vaste plan incliné, il descend régulièrement en un long glacis topographique limoneux à steppe de plus en plus ouverte vers le Sud, jusqu'au chott Melhrir (-36 m) et ses dépendances. C'est le niveau de base de tous les oueds du versant Sud des Aurès qui ne l'atteignent, ainsi que l'Oued Djedi, qu'à l'occasion de leurs plus grandes crues. Il forme le sillon préafricain (GUREAUD, 1975).

Vers l'Ouest, de Drou à l'extrémité Sud du Dj. Metlili, un grand accident NW-SE sépare les Aurès des Monts du Zab ou ZIBANS. La dépression de Rhassira est fermée, au Sud-Ouest, par le Dj. Bou Rhezal et, de part et d'autre de l'Oued Biskra, les éléments du relief ne se répondent pas : le Dj. El Mohar, terminaison méridionale du Dj. el Azreg se dresse face à la grande plaine d'El Outaya, le Dj. Moddiane et le Dj. Melah, d'une part, le dj. Mekrizane et le dj. Haouidja d'autre part, le Dj. Ahmar et le Dj. Metlili, enfin, ne se correspondent pas et décalent les uns par rapport aux autres (Ces monts des Zibans, peu élevés (400 à 923 m) alternent avec des bassins déprimés (Bled Salahouine : 260 m, plaine d'El Outaya : 181 m) et ne forment qu'une esquisse de chaîne à l'Ouest de Tolga (**Fig.11**).

De la pointe Sud du Dj. Metlili à Batna, la limite Ouest des Aurès s'oriente du SW au NE, parallèlement aux chaînons. Elle correspond, au Sud, à la flexure probablement complexe (BUREAU, 1973), qui fait passer les terrains crétacés du Metlili sous le Bassin du Hodna, vaste dépression fermée dont le fond est occupé par une sebkha (altitude : 390 - 400 m). Par ses caractéristiques climatiques et sa position à l'Ouest du massif, cette dépression a joué un grand rôle lors des arides quaternaires.

Plus au Nord, le synclinal de Seggana, orienté Ouest-Est et le synclinal faille d'Ain Touta - Batna séparent les Aurès des Monts du Belezma. La cuvette du Hodna, ces derniers font partie du couloir pré-atlastique défini par GUIRAUD (1975). Ils constituent un massif, petit mais vigoureux (2 178 m au Dj. Refaa) et complexe, entre les Monts du Hodna au Nord-Ouest et les Aurès au Sud-Est.

Entre Batna et Khenchela, sur 100 km, la bordure Nord des Aurès se fixe sur des accidents importants : décrochement NW-SE de Batna Timgad, puis grande flexure Ouest-

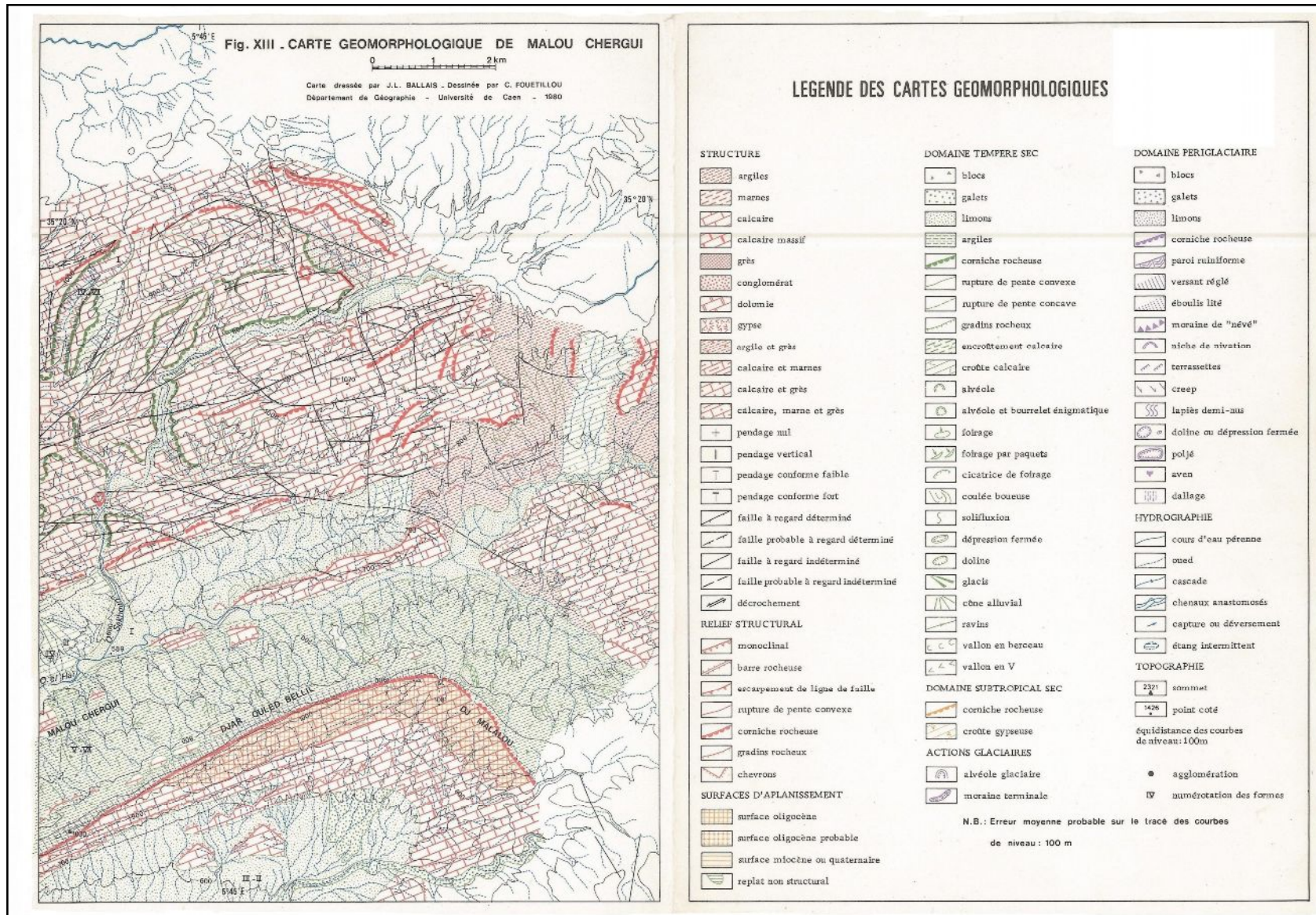


Fig.11 : Carte géomorphologique de Mallou CHERGUI (D'après BALLAIS, 1981)

Est jusqu'à Khenchela : cependant, à l'Ouest les chaînons des Hautes plaines constantinoises (le Dj Bou-Arif, en particulier) s'approchent très près et le bassin de Timgad lutinera est fortement tectonisé avec des anticlinaux Ouest-Est post-miocènes.

8. CADRE EDAPHIQUE :

La nature des sols et leur répartition sont en étroite relation avec les unités géomorphologiques (**Fig.12**). Les sols de la région des Aurès, restent dans leur ensemble insuffisamment connus des pédologues. Les différentes unités du sol sont décrites à partir de la carte des sols de l'Algérie de JASEIX-BELLON (1948) « feuille Biskra et Tébessa » et les études effectuées dans le cadre de la mise en œuvre du programme de développement rural de proximité par les bureaux d'études (BNEDER, 2001 ; MADR, 2003), Ces unités sont décrites ci-après :

1-Les sols alluviaux basiques: Ils se caractérisent par une profondeur importante, une charge caillouteuse moyenne (galets et cailloux), une texture équilibrée sablo-limono-argileuse, une CEC importante, un pH légèrement alcalin, même calcaire sans aucun effet sur les cultures.

2- Les sols insaturés humifères: Ils apparaissent eux aussi au niveau de la zone montagneuse ou le relief est accidenté, ils se caractérisent par une texture limono-sablo-argileuse, les carbonates y sont rares

3- Les sols salins (halomorphes) : Ils sont caractérisés par une texture lourde, une structure moins favorable, compacte et moins aérée ce qui les rend asphyxiant et une bonne profondeur, leur mise en valeur dépend essentiellement de la maîtrise de la salinité. L'idéal est l'implantation d'espèces tolérantes aux sels.

4 -Les sols calcaires humifères : Ces sols se situent au niveau des montagnes, sous couvert forestier. Ils se distinguent par une charge caillouteuse élevée (cailloux et pierres) rendant le travail du sol difficile, sous la forêt, ces contraintes sont partiellement compensées par la nature de l'horizon C, les racines des arbres pénètrent facilement.

5- Les sols éoliens d'ablation : Ils se caractérisent par une faible profondeur, une charge caillouteuse élevée et une structure moins favorable.

6 - Les sols éolien d'accumulation : Ce sont des sols peu évolués qui reposent sur substrats altérés et se localisent sur les formations sableuses fixées

7- Les sols calciques : Des sols assez profonds saturés à plus de 90% par du calcium, le PH est supérieur à 6,8 et leur structure est grenue ou finement polyédrique.

8- La roche mère : La roche mère apparait beaucoup plus dans la partie Sud de l'Aurès.

Compte tenu du caractère montagneux de la région, la zone d'étude est soumise à une érosion intense sur ces pentes, les matériaux des sols évoluent très peu, c'est pourquoi les sols des Aurès se caractérisent par l'importance des matériaux grossiers et de ce fait, évoluent lentement en sous des basses températures qui sévissent, donc nous avons affaire à des sols non maturés c'est-à-dire des sols jeunes.

Dans les endroits où le profil est très abrupt, les pentes sont en grande partie dénudées de sol proprement dit et les roches mères apparaissent de temps en temps à la surface.

Dans les endroits où les pentes sont faibles, les sols résident dans des poches d'érosion ou bien ils couvrent les bas fonds des Oueds.

Dans les piémonts et plaine où domine l'agriculture, les matériaux arrachés à la montagne sont déposés ; et sont organisés par ordre de grandeur :

Les plus gros là où la pente commence à diminuer et sur les piémonts parviennent les plus fins, là où la pente est faible sur la vallée ou la plaine.

Ce classement donne à la région un contraste frappant, contraste entre la montagne caractérisée par ses sols caillouteux ; contraste entre le piémont et la plaine où les sols sont graveleux ou sableux du type argileux ou limoneux de teintes grises ou noires réparties sur différents lieux.

Au point de vue physique et chimique, les sols des Aurès sont en général constitués de gros éléments ; cailloux, graviers de nature siliceuse, très faible en proportions de calcaire de phosphore et de chlore. Ces sols sont perméables malgré leur taux élevé en argile ; ils sont le plus souvent boueux en surface et durs après la sécheresse.

Les terres arables des piémonts sont généralement silico-argileux à éléments grossiers, durs à travailler en été et la composition est très pauvre en acide phosphorique.

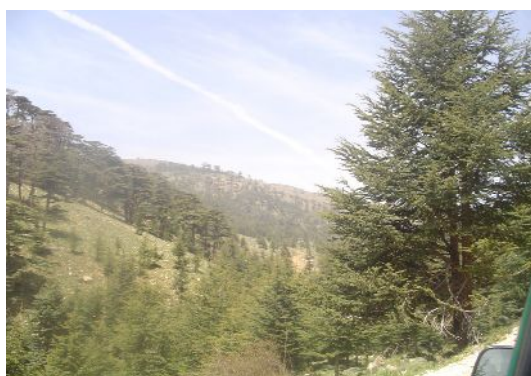
Dans les vallées et plaines, les sols sont argilo-calcaires sans éléments grossiers. Ils contiennent de l'humus en raison de leur destination culturale agricole, fourragère et même forestière.

8-LE COUVERT VEGETALE :

La région des Aurès fait partie des écosystèmes septentrionaux de l'Algérie du Nord. La couverture végétale (**Fig.13**) est fortement liée aux sols et au climat, la végétation de la zone d'étude présente des caractéristiques similaires à celle du milieu physique (BOUDY, 1955 ; SCHOENENBERGER, 1971 ; ABEDSSEMED, 1984, ANSER, 2002).

8-1. Les formations forestières : Les forêts de l'Aurès sont assez considérables. Avant de les énumérer nous dirons quelques mots des diverses essences qui les peuplent. Ce sont : Le genévrier commun (Taga), le genévrier de Phénicia (Arar), le genévrier oxycèdre (Tazenzéna ou Aïoual en langue chaoui), le chêne-vert (Kerrouch), le frêne (Touszelt), le pin d'Alep (Snouber), le cèdre (Begnoune), l'If (Tiffouzel).

Le cèdre commence à se montrer à la hauteur de 1.400 m sur les pentes abritées du siroco ; mais on n'en voit à aucune altitude sur les versants exposés au souffle du désert. Le pin est après le cèdre l'ornement naturel de l'Aurès et forme dans certains centres de belles forêts ; mais cèdre et pin ne résistent pas au Chéhili, le terrible vent Sud-ouest. Les chênes verts et les genévriers sont seuls assez robustes pour cela. Les premières semblent occuper la place des cèdres et les deuxièmes celles des pins en face de l'ennemi. Au contraire du côté nord non seulement à l'abri des hautes cimes mais même derrière les crêtes les plus basses la végétation se développe avec vigueur. Les cèdres se mêlent alors au pins et surtout à des chênes qui sont les plus beaux qui se puissent voir. Les genévriers chétifs dans le sud rivalisent avec les plus grands arbres. Dans certains endroits les forêts sont inextricables.



Photos, 01 et 02 : Des formations forestières au centre du massif des Aurès.

Tableau, 01: Répartition des superficies forestières par commune

(Source Circonscription de Bouhmama, 2007).

Nom de la forêt	Commune	Superficie (ha)
Forêt domaniale Aurès	Tighanimine	10141,78
	Ichemoul	3930,126
	Thniet El abed	4473,80
	Inoughissen	712,50
	Arris	4829,006
	Foum Toub	1913,20
Forêt domaniale Beni Oudjana	Inoughissen	372,100
Forêt domaniale Beni Bousslimane	T'kout	4699,07
Forêt domaniale Z'gag	Foum Toub	197,15
	Oued taga	9320,8790
Forêt domaniale Beni Fedhala	Tazoult	3637,23
Forêt domaniale Ich Ali	Tazoult	150,00
Forêt domaniale Bouarif	Timgad	1466,9650
	A alassafer	1449,4856

8.2. Les formations para-forestières : Occupent de grandes étendue sous formes d'îlots discontinus à base de chêne vert essentiellement. Les maquis sont dans un état de vieillissement très avancé et sont dégradés. Ils sont destinés à la protection du milieu.



Photo. 03 : Maquis de chêne vert sud de Beni Fedhala

8.3. Parcours : Cette unité est largement répandue dans la région Sud. Après les forêts et maquis, elle demeure la plus importante. Elle présente en générale sous forme de végétation très dégradée, où prédominent les espèces non potables dû à la surcharge des effectifs des ovins. Elle englobe toutes les superficies à couvert herbacé, parfois même ligneux bas. Les maquis très clairs, bas et très dégradés, présentent des signes de surpâturage très nets ont été également considérés comme terrain de parcours étant donné leur utilisation actuelle.

Du point de vue phytoécologique, la végétation dominante est celle de la steppe (nappes d'alfa, d'armoïse blanche, etc....). Les formations steppiques de cette zone sont des parcours (Moyennes étendues de végétation basse). Ces derniers sont d'une qualité inégale, très souvent dégradés. On distingue :

- Les steppes à graminées : Elles sont représentées essentiellement par l'alfa (*Stipa tenacissima* et *Stipa parviflora*), le sparte (*Lygeum spartum*) et le drin (*Aristida pungens*).

- Les steppes chamaphytes : Elles sont envahies par l'armoïse blanche (*Artémisia herba alba*) et remt (*Arthrophytum scoparium*) ou (*Hélianthenum hirtum*). Ces espèces sont les plus représentatives et n'occupent que de faibles superficies généralement en association avec les précédentes.



Photo.04: D'une zone steppique au Sud des Aurès (M'Zerea).

Les steppes crossulantes (halophytes) : Souvent indicatrices d'holomorphie .L'espèce floristique dominante est l'Atriplex (*Atriplex halimus*).A toutes ces steppes s'ajoute un cortège floristique d'espèces annuelles très important.

8.4- Les cultures: Le milieu agricole de la zone est caractérisé par une agriculture de montagne de subsistance axée essentiellement sur la combinaison d'élevage en association à, la céréaliculture, maraîchage et arboriculture fruitière.

D'autre part, il y a lieu de signaler la pratique du petit élevage qui est en plein extension après la mise en œuvre du programme PNDA, notamment, l'apiculture et l'aviculture.

Malgré cette situation très dégradée, des ressources végétales, la région offres de très belles formations végétales climaciques, les curiosités botaniques et surtout les peuplements endémiques en voie de disparition, telle le Genévrier Thurifère et le Frêne Dimorphe ou frêne des Aurès qu'il ya lieu de sauvegarder.

9. LES CONDITIONS SOCIO ECONOMIQUE :

9.1 Les habitats des Aurès :

L'Aurès est parmi les régions les plus anciennement peuplées du pays, il fait partie de ces ensembles montagneux atlasique peuplées de berbères de vieille racine de paléo montagnard c'est-à-dire ces populations en places depuis Huit millénaires environ.

L'Aurès est habité par trois populations différentes : les *Berbères*, les *Zénètes* et les *Chaouia*. Alors que ces trois appellations désignent et recouvrent la même population. C'est-à-dire que les Chaouias actuels font partie de la grande confédération des Zénètes qui, eux-mêmes, font partie de la grande nation amazighe. Car les Zénètes on en trouve de la Tunisie au Maroc, et les Imazighen de l'Egypte.

9.2- Agriculture et élevage :

Tel que nous venons de le voir, les Aurès bénéficiant de différences climatiques, c'est même grâce à cette succession de microclimats, qu'ils peuvent avoir deux récoltes par an. A l'arboriculture et à la céréaliculture auxquels s'ajoutent localement des cultures maraîchères au Nord, un élevage extensif et transhumant au sud se pratiquait depuis des siècles. Cette transhumance, et non pas semi-nomadisme comme certains l'avaient dit, se traduisait et se pratique encore de nos jours encore, par des déplacements d'hommes et de bêtes : l'hiver au sud, l'Été au Nord.

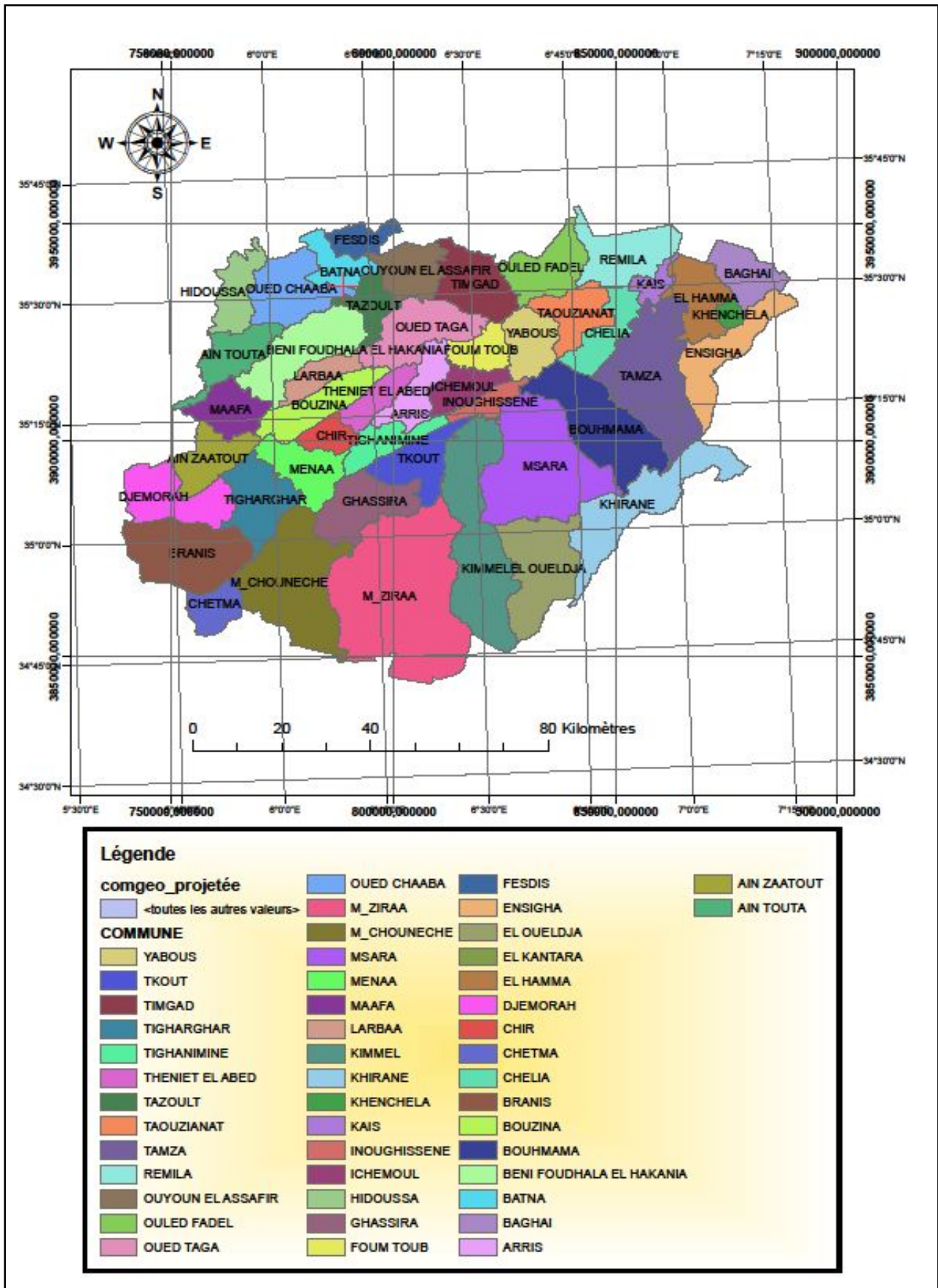
9.3-Les principales communes de l'Aurès :

Les principales communes qui fond partie de la zone d'étude sont récénces dans le tableau 02 ci-dessous et la **Fig.14**, présente la répartition de tous les communs couvrant la zone d'étude.

Tableau. 02: Nombre d'habitants pour quelques communes du massif de l'Aurès

communes	Superficie Km²	N°d'habitas
Khenchela	320	106.126
El Hamma	852	11.985
Tamza	385	8.625
Kais	466	32.678
Taouzianet	167	10.175
Remila	243	5.628
Bouhmama	1288	10.445
Yabous	157	10.050
Chelia	152	4.952
M'Sara.	570	4.085
Kheirane	400	5.792
El Ouldja	366	3.126
Elnsigha	163	9.219
T'Kout	185,37	457
Batna	116,41	300.012
Kimmel	556,58	3.612
Bouzina	194,47	16.755
Larbâa	99,04	0
Ichmoul	123,67	11.920
Foum el Toub	108,39	7020
Inoughissene	72,77	4.690
Menâa	187,88	14. 425
Tigharghar	229,87	7.380
Boulhilet	160,86	7.901
Timgad	222,26	13.158
Ghassira	234,53	7.856
Ouled Fadel	206,22	11.899

Fig. 14 : Carte des principales communes de l'Aurès.



9.4- L'impact des facteurs socioéconomiques :

La croissance démographique est responsable de besoins supplémentaires en nourriture et en terrains agricoles, qui ont conduit à déboiser les terres couvertes de forêts pour les cultiver. Le taux de croissance démographique particulièrement élevé dans les hautes plaines et les steppes a entraîné :

- La surexploitation des ressources naturelles ;
- La dégradation de l'environnement ;
- L'amplification du phénomène de déboisement ;
- La détérioration des conditions de vie et l'émigration rurale.

Cette situation a entraîné un déséquilibre entre le rythme de croissance biologique des pâturages et les besoins du pastoralisme. La steppe est exploitée « comme une mine », pour un troupeau pléthorique qui ne survit que grâce aux apports supplémentaires d'aliments subventionnés par l'état. Ce système spéculatif, considéré comme une activité hors sol, a contribué à la désertification des terres.

9.5- Les contraintes de développements de la région :

Les principales contraintes qui constituent en fait les facteurs limitant pour le développement de la zone se résument comme suit :

- Le relief est constitué dans sa majeure partie de haute montagne accidentée, constituant une contrainte pour la pratique de l'agriculture (les terres de cultures sont limitées) et pour la mise en valeur.
- Le climat de type semi-aride est peu favorable. Il est marqué par une faible pluviométrie, une longue sécheresse estivale et des gelées fréquentes surtout en altitude.
- La sécheresse qui sévit depuis longtemps, ce qui a provoqué le tarissement des points d'eau, l'échec des jeunes reboisements et la diminution considérable de la flore.
- L'érosion hydrique et éolienne du sol et l'ensablement dans les périodes sèche.
- L'utilisation de l'espace forestier comme pâturages pour le cheptel.

CHAPITRE 02 :

CARACTERISTIQUES DU CLIMAT

DES AURES

Dans ce chapitre, nous présentons les principales caractéristiques climatiques de la région d'étude et son évolution dans l'espace, d'une façon générale, on constate de forts contrastes de températures et une faiblesse de précipitations. Ce caractère est très marqué à l'intérieure de cette région en fonction du gradient Nord-Sud

Du nord au sud, le climat méditerranéen se dégrade en effet peu à peu dans le sens d'une aridité croissante, passant des régions sub-humides et semi-arides du Tell aux vastes espaces désertiques sahariens. Diminution et irrégularité accrue de la pluviosité, augmentation des températures et de la longueur des périodes de sécheresse estivale rendent encore plus difficiles, les conditions de vie, et de survie des plantes avec un bilan hydrique devenant de plus en plus déficitaire (COTE, 1974 ; POUGET, 1980 ; LE HOUEROU, 1993).

Le climat de l'Aurès varie suivant des lieux si élevés de cette contrée et cela se conçoit si l'on remarque que le massif se compose:

- Du versant septentrional formant la plaine des Sbakhs... ayant une altitude moyenne de 1.000 à 1.100 m ;
- De hautes montagnes ayant une altitude variant de 1800 à 2.238 m d'une série de vallées s'ouvrant sur le Sahara, tombant en quelques myriamètres d'une altitude de 1.800 m à celle du niveau de la mer ;
- D'une fraction de ce Sahara lui-même.

1- DONNEES CLIMATIQUES:

Pour caractériser le climat de la région, nous avons exploité les données climatiques émanant de 3 stations météorologiques : Ain Skhouna (Batna), Biskra et Foug El Gueiss (Khenchela), On a choisi ces trois stations puisque elles sont les seules qui fournissent les données de tous les éléments climatiques et localisés dans les extrémités de l'Aurès ce qui permet de mieux présenter la variation climatique.

La localisation exacte de ces trois stations est signalée dans le tableau.03.

Les stations	Altitude (m)	Coordonnées	Durée d'observation
Ain Skhouna (Batna),	825	35°44' Nord. 06°21' Est.	1970/2005
Biskra	100	34°51' Nord. 05°43' Est.	1970/2004
Foum El Gueiss (Khenchela)	965	6° 73' Nord. 35°29' Est.	1971/2005

Tableau.03 : Les stations météorologiques étudiées.

1.1 -La température :

Les températures est l'un des facteurs qui caractérisé le climat de la région. Les résultats enregistrés au niveau des stations montrent bien que l'année est divisée en deux périodes ou saisons, l'une chaude et l'autre froide.

Le tableau.04 et les figures (15, 16 et 17) représentent les minima, les maxima et les moyennes des températures mensuelles en degrés Celsius dans les trois régions :

- Ain Skhouna (Batna) : la période de 1970 /1987, la direction de l'hydraulique de Batna et pour la période de 1988 /2005 l'ONM.
- Biskra : la station météorologique (1970 /2004).
- Foum El Gueiss (Khenchela) : La station météorologique (1970 /2005).

	T° mi.	T° ma.	T° moy.	T° min.	T° max.	T° moy.	T° min.	T° max.	T° moy.
Janvier	1.1	9.8	5,45	5,1	16.7	10,9	0.5	13.01	6.8
Février	1.7	11.5	6,6	6,1	18.8	12,45	2.66	14.65	8.65
Mars	3.1	13.8	8,45	8,5	21.8	15,15	5.57	18.7	12.13
Avril	5.7	17.6	11,65	11,55	25.5	18,52	6.37	22.19	14.28
Mai	9.7	22.7	16,2	16,3	30.7	23,5	11.7	26.63	19.21
Juin	14. 2	29.3	21,75	21,55	36.1	28,82	16.3 7	31.86	24.11
Juillet	17. 3	32.9	25,1	24,7	39.4	32,05	18.4 7	35.95	27.21
Aout	17	32.8	24,9	24,75	38.7	31,72	18.8 2	35.10	26.29
Septembr e	13. 8	26.8	20,3	20,7	33.8	27,25	17.7 9	28.92	21.85
Octobre	8.9	20	14,45	15,05	27.2	21,12	11.7	25.85	18.64
Novembre	3.9	14.5	9,2	8,7	21.1	14,9	6.29	21.61	13.95
Décembre	1.9	10.9	6,4	5,55	16.9	11,22	3.56	9.1	6.33

Tableau. 04 : Les températures moyennes mensuelles des trois stations étudiées

Les faits les plus importants de fluctuation thermique sont reportés dans le tableau. 05.

Tableau.05 : les fluctuations thermiques dans les trois stations étudiées.

Station	Ain Skhoua	Biskra	Foum El Gueiss
Le mois le plus froid	Janvier	Janvier	Janvier
Températures Moy.	5.45°C	10.9°C	6.8 °C
Le mois le plus chaud	Juillet	Juillet	Juillet
Températures Moy.	25.1°C	32.05°C	27.21°C

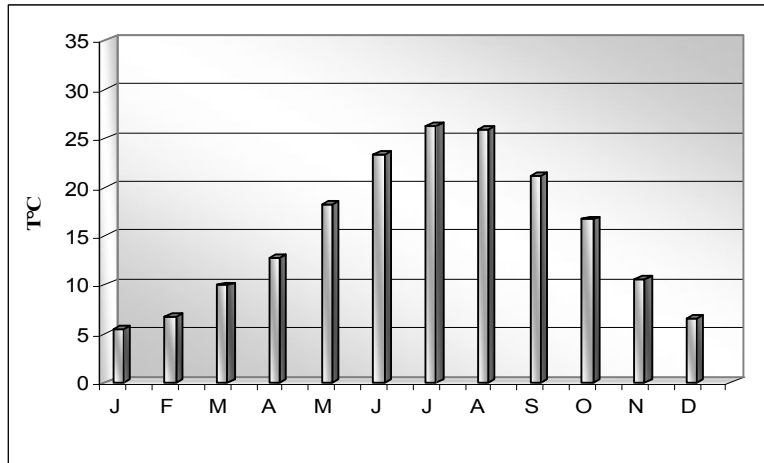


Fig. 15: La température moyenne mensuelle D'Ain Skhouna- (Batna).

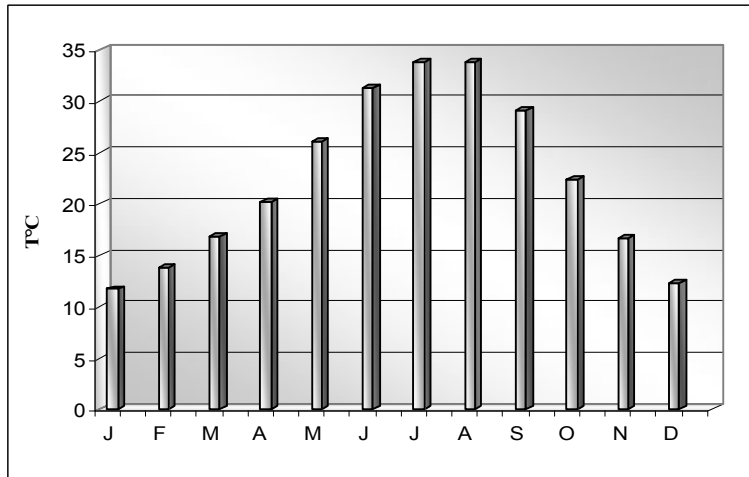


Fig. 16 : La température moyenne Mensuelle de Biskra.

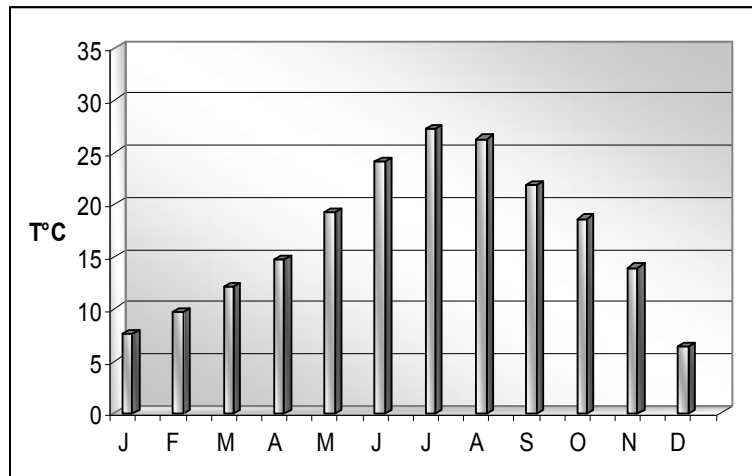


Fig.17 : La température moyenne Mensuelle Foug El Gueiss.

D'après les données de tableau. 05, nous relevons que dans notre zone d'étude; le mois de Janvier constitue le mois le plus froid avec une température moyenne variant entre 6.8 °C et 10.9°C. Le mois de juillet est le mois le plus chaud avec une Température moyenne variant entre 25.1°C et 32.05°C.

La chaleur caractérise en premier lieu cette région présaharienne : températures moyennes annuelles et températures estivales fortes. Mais les effets de la latitude et de la continentalité, déterminants pour la chaleur, sont contrariés et fortement nuancés par ceux de l'altitude. Ce dernier facteur, dont les effets se conjuguent aussi avec ceux de la continentalité, explique deux originalités du climat des Aurès (COTE, 1974, ANSER, 2002).

Des températures plus froides ou plus fraîches, selon les saisons, que dans les basses plaines de même latitude et des amplitudes accentuées. Ces traits généraux évoluent du Nord au Sud de la région étudiée, globalement vers une moindre rigueur du froid et une réduction des amplitudes.

1.2- Les précipitations : L'origine des pluies en Algérie est plutôt orographique (SELTZER, 1946). En effet les paramètres climatiques varient en fonction de l'altitude, de l'orientation des chaînes de montagnes et de l'exposition. La hauteur pluviométrique est donc déterminée par direction des axes montagneux par rapport à la mer et aux vents humides (COTE, 1974; KADIK, 1987). En Algérie, ce sont les versants nord, nord-ouest et leurs sommets qui reçoivent les précipitations les plus fortes; celles-ci diminuent vers le sud au fur et à mesure que les vents s'épuisent.

Les précipitations en Aurès varient selon quatre paramètres:

- La longitude : Selon laquelle on note une diminution des précipitations d'Est vers l'Ouest
- La latitude: la pluviosité diminue de Nord vers le Sud.
- L'Altitude : les précipitations augmentent avec l'altitude.
- L'exposition : les versants Nord reçoit des quantités des précipitations plus importantes que celle des versants Sud.

Cependant, il faut noter en Algérie que la hauteur pluviométrique est déterminée aussi par la direction des axes montagneux par rapport à la mer et aux vents humides du Nord et du Nord-Ouest.

Les valeurs de précipitation moyennes mensuelles et annuelles sont présentées dans le tableau n° 6 et les figures n° 18, 19 et 20.

Tableau. 06 : Les précipitations moyennes mensuelles (en mm) des trois stations

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Station d'Ain Skhouna. (Données de l'A.N.R.H.1971/2007).													
P	32	25,5	36	38,4	37,5	24,11	9,65	14,1	43,7	28	37,1	35,7	362.05
Station de Biskra. (station météorologique 1967/2000).													
P	12.1	8.6	12	10.4	12.7	5.9	1.9	6.4	23.9	15.5	18.1	7.6	135.1
Station de Foug El Gueiss (station météorologique1971/2007).													
P	37.2	38,1	40,8	32,9	33,7	26,2	15,1	19,9	35,2	29,3	44,1	37,2	389,7

étudiées

Les précipitations connaissent de grandes fluctuations d'un mois à l'autre et d'une année à une autre. Généralement, l'Aurès connaît une grande concentration des précipitations au cours des périodes printanières (Mars, Avril et Mai) et automnales (Septembre, Octobre et Novembre). Le mois le moins arrosé coïncide généralement avec le mois de juillet avec un été sec.

Avec la faiblesse de la pluviométrie et son irrégularité d'une année à l'autre, et d'un mois à l'autre, la deuxième caractéristique du climat de la région est la température très élevée durant la saison sèche estivale. Elle peut atteindre 43,5 au mois de juillet et descendre à - 4°C au mois de janvier.

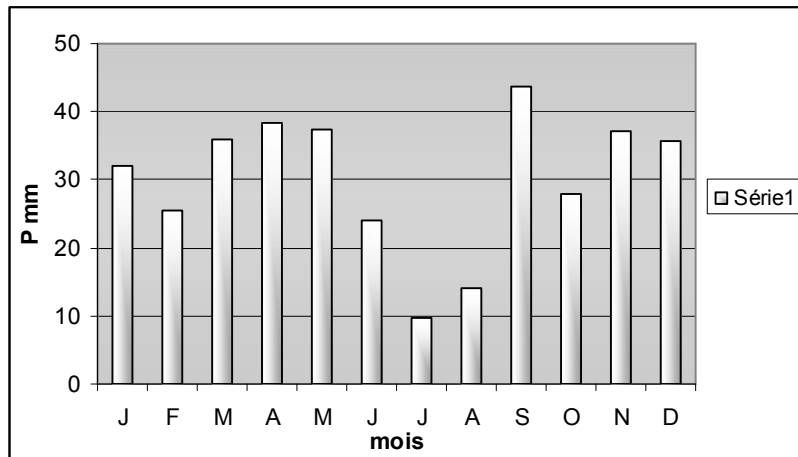


Fig.18: Les précipitations moyennes mensuelles d'Ain Skhouna (Batna).

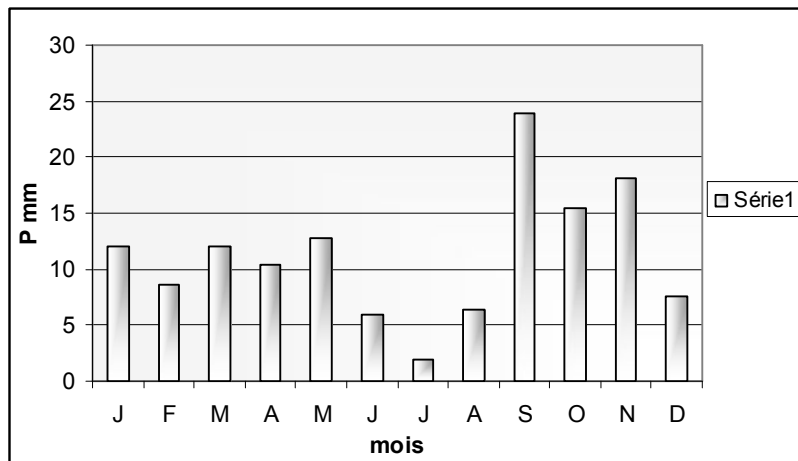


Fig. 19: Les précipitations moyennes mensuelles de Biskra.

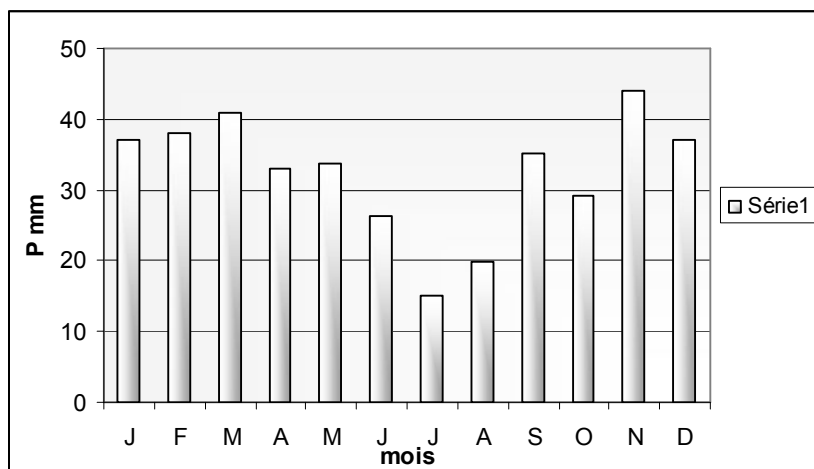


Fig. 20 : Les précipitations moyennes mensuelles d Foug El Guéiss-

On outre l'examen des données montre une saison chaude de mai à octobre, avec des températures supérieures à la moyenne annuelle et une saison froide ou fraîche de novembre à avril, au cours de laquelle les températures moyennes sont inférieures à la moyenne annuelle.

Ainsi le froid hivernal se marque moins au sud, mais aussi les froids des saisons intermédiaires. Ce dernier trait joue un rôle dans la reprise de la vie végétative au printemps, plus précoce au sud qu'au nord (FLORET et PANTNIER, 1982).

A 1700 mètres d'altitude, sur le sommet du massif forestier, les minima extrêmes peuvent sans doute tomber à -10°C , voire plus bas puis que Batna à enregistré un record de $-5,0^{\circ}\text{C}$.

Le froid constitue donc un facteur limitant pour la croissance des plantes pendant plusieurs mois (de fin novembre à fin février), cela aggrave les conditions de vie du cheptel et fait de l'hiver une saison très rigoureuse pour la population.

De même, toutes les saisons sont marquées par le froid, le gel est possible d'octobre à mai, et l'été enregistre des minima toujours plus faibles qu'au sud.

Ces états du climat ont profondément perturbé la vie des pasteurs de la région. Les mouvements des transhumances n'est qu'un aspect de cette variabilité en fonction de la latitude.

1.3. Données complémentaires :

1.3. 1. Les vents :

Généralement les vents chargés de pluies viennent de Nord-Ouest après avoir perdu une grande partie de l'humidité sur l'atlas tellien, il souffle pendant l'Automne et l'hiver et une partie de printemps.

Le sirocco : est un vent sec et chaud provoquant une augmentation notable de la température et une chute brutale de l'humidité atmosphérique (CÔTE, 1974 ; BENSALID, 2003). Il peut s'observer à toutes les époques de l'année cependant son maximum de fréquence se situe en juillet et son minimum en décembre et janvier. S'il survient assez tôt au printemps à la reprise de la végétation et surtout après une

période de sécheresse assez marquée. Il cause de grand ravage à la végétation d'une façon générale.

Certaines dispositions topographiques Nord-Sud telles les vallées de l'Aurès, le couloir de Batna ou les cluses comme celle d'El Kantara, ou Tighanimines, le rendent particulièrement agressif (ABDESSEMED, 1981).

Selon les données des stations, on peut extraire les remarques suivantes:

- Station d'Ain Skhouna :

La région de Batna subit des vents généralement faibles à dominance Sud-Ouest à l'Ouest avec le passage de sirocco en été qui peut souffler pendant 16 jours avec une fréquence maximale durant le mois de juillet. D'après le tableau N°07 La vitesse moyenne calculée sur 16 ans est de 3.38 m/s.

- Station de Biskra :

Les vents sont relativement fréquents dans cette région. On enregistre 59.7 jours de sirocco tableau N° 08 et 60 jours de vent de sable au cours de l'année. En période hivernal, souffle fréquemment les vents de Nord-Ouest qui sont relativement humides. Cependant, en fin du printemps et en été les vents deviennent très desséchant particulièrement le sirocco venant de Sud-ouest. Les vents de sable se manifeste notamment, en printemps et en été.

Station de Foum El Gueiss :

Les vents Sud- Ouest :

Sont sec et chaud (sirocco) survient fréquemment au mois de juillet, et parfois même assez tôt au printemps causant des dommages sur la végétation avec une vitesse moyenne de 1.71 m/s. (Tableau N° 07).

Les vents Nord-Ouest :

Sont fréquents au cours de l'Automne, de l'hiver et une partie de printemps, avec une vitesse qui peut atteindre jusqu'à 7.5 m/s. Les données de la vitesse moyenne de vents sont présentées dans le tableau N°08.

Tableau. 07 : La vitesse moyenne de vent : Station d'Ain Skhoua et Foum El

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy.
D'Ain Skhoua (O.N.M 1991/2005).													
V m/s	2.74	2.92	3.16	3.64	3.44	3.54	3.38	3.3	3.16	2.86	5.53	2.82	3.38
Khenchela source: (de Foum El Gueiss).													
V m/s	2.75	1.7	1.21	1.36	1.85	1.02	2.2	1.23	1.83	1.83	1.69	1.83	1.71

Gueiss.

Tableau. 08: Le nombre des jours de sirocco.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Batna source O.N.M 1991/2005													
N° de jours	0	0	0	0	0	0	9	3	4	0	0	0	16
Khenchela source: station de Foum El Gueiss 1970/2004													
N° de jours	1,0	1,0	4,0	7,0	6,0	8,0	10,0	8,0	6,0	3,0	2,0	1,0	57,0
Biskra source : station de Biskra 1967/2000.													
N° de jours	0,0	0,0	0,0	0,1	4.25	14.5	19,0	16,7	4.56	0.43	0,0	0,0	60,0

1.3.2. L'humidité relative de l'air :

Elle exprime le rapport en pourcentage de la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa) à la pression de la vapeur saturante (Pr) dans les mêmes conditions de mesure de température lue au thermomètre sec et de pression

Au cours de l'année l'humidité relative de l'air connaît d'énormes fluctuations passant de 40 % à plus de 80 %.(Tableau. 09).

Tableau. 09 : l'humidité relative des stations étudiées.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyen
D'Ain Skhouna (O.N.M 1974/2005).													
H%	73	70	65	63	59	50	40	43	58	65	72	75	61.1
Biskra (station de Biskra 1967/2000)													
H%	57,5	49,4	43	38,3	29,4	30,3	27,25	30,1	39,3	47,2	54,3	57,8	37,5
Khenchela. (station de Foum El Gueiss 1991 2004).													
H%	64.1	64.8	63.4	58.1	47.6	45.9	43.8	43.8	49.2	63.2	61.6	66	55.9

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées durant la période hivernale, correspondant aux mois de décembre, janvier et février. La sécheresse de l'aire s'établit en été; en particulier au cours des mois de juillet et août.

1.2.3. Température du sol :

La surface du sol, mal protégée par un couvert végétal d'autant plus lâche que l'aridité augmente, se trouve largement soumis aux grandes variations de températures saisonnières, les données bibliographiques, relatives surtout à la Tunisie BOURGES et al (1977), POUGET (1980) permettent d'apporter quelques précision :

En profondeur, sous les 10-20 premiers centimètres, les amplitudes thermiques journalières se trouvent considérablement tamponnées.

BOURGES et al (1977) par une série de mesures dans le sud-tunisien (précipitation à 200mm et température 19 c°), a constaté effectivement qu'à l'échelle de la journée et en se basant sur les moyennes annuelles, la courbe de variation de la température du sol s'amortit assez rapidement avec la profondeur en raison de la mauvaise conductivité thermique du sol.

2- SYNTHESE CLIMATIQUE :

De nombreux indices climatiques sont proposés. Les plus courants sont basés essentiellement sur la pluie et la température. C'est le cas du quotient pluviométrique D'emberger (EMBERGER, 1930, 1955 ; SAUVAGE, 1963) et de l'indice xérothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1957) qui sont les plus utilisés.

2. 1 : Le diagramme Ombrothermique de GAUSSEN :

Le diagramme Ombrothermique permet d'estimer les éléments de climat d'une région de points de vue précipitation et température pendant une période donnée et permet également de préciser les périodes sèches et humides (LE HOUEROU (1979, 1993)).

La sécheresse s'établit lorsque la pluviosité mensuelle (P) exprimée en mm est inférieure au double de température moyenne exprimée en degrés Celsius. A cet effet nous pouvons relever ce que suit.

➤ Station d'Ain Skhouna :

Elle est caractérisée par une période sèche de 4 mois qui s'étale de juin à Septembre; et une période humide de 8 mois qui s'étale d'Octobre à Mai. (Fig. 21).

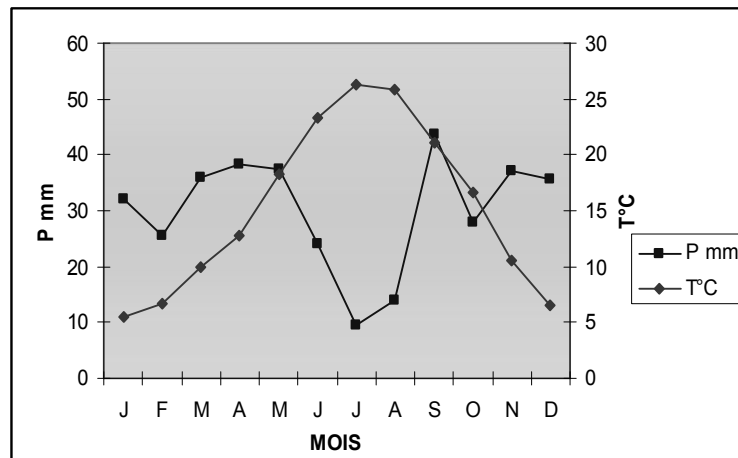


Fig. 21: Diagramme Ombrothermique d'Ain Skhouna

➤ Station de Biskra :

La période sèche s'étale presque pendant toute l'année (Fig.22)

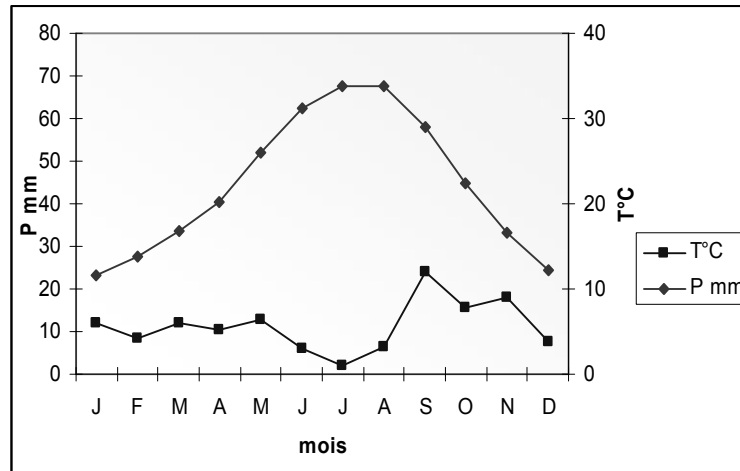


Fig. 22: Diagramme Ombrothermique de Biskra.

➤ **Station de Foug El Gueiss:**

La période sèche s'étale du mois de juin à octobre alors que la période humide dure 7 mois de Novembre à Mai. (Fig. 23).

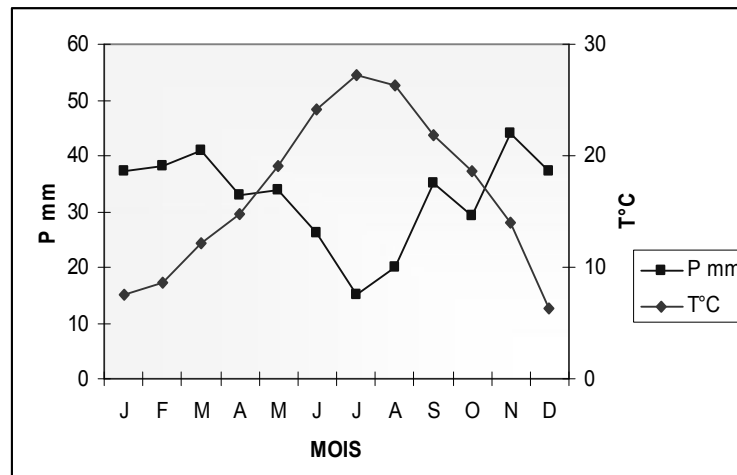


Fig. 23 : Diagramme Ombrothermique de Foug El Gueiss.

2.2 La localisation des stations dans le climagramme pluviométrique d'Emberger et étages bioclimatiques :

Pour caractériser le climat de la zone d'étude des trois stations étudiées on utilise le climagramme d'Emberger (**Figure, 24**) qui permet de définir l'étage bioclimatique de chaque station.

D'après la figure n° 24, on a mentionné les résultats dans le tableau.10.

Tableau. 10 : Les étages bioclimatiques (Ain Skhouna, Biskra, et Foug El Gueiss).

	m °C	P mm	Etage bioclimatique
Ain Skhouna	1.1	362.05	Semi-aride supérieure à hiver frais
Biskra	5.1	135.1	Aride inférieure à Hiver doux
Foug El Gueiss	0.5	389.7	Semi-aride supérieure à Hiver froid

2-3.Saisons sèches et saisons humides d'après l'étude des diagrammes Ombrothermiques :

D'après l'analyse des diagrammes par une relation qui apparaît assez systématiquement sur les courbes : Celle qui existe, d'une part, entre température supérieure à la moyenne et précipitation faible, et d'autre part, entre température inférieure et précipitation forte. Cette représentation vaut pour tous les mois et pour tous les types de séquences. Elle se traduit par une évolution en sens contraire des courbes, les températures accusent un creux quand les précipitations font une nette remontée, et inversement.

Il existe deux contrastes saisonniers, valables sur l'ensemble de la région : l'été est sec, le printemps est humide.

La sécheresse de l'été est éminemment méditerranéenne, elle constitue un des traits majeurs du climat : Juin, Juillet et Août sont les mois les plus secs de l'année, ceux au cours desquels coïncident les températures les plus élevées et les précipitations les plus faibles.

L'existence de précipitations orageuses ne comble évidemment pas le déficit pluviométrique. On doit toutefois discuter de l'influence de ces précipitations : leur

nature brutale et leur ruissellement intense qui s'ensuit et les rendent très peu efficaces pour la végétation et redoutables pour la nature et l'homme. Ravinement et érosion exacerbés, destructions de récoltes, voir mortalité dans les troupeaux et les populations sont les conséquences des orages les plus violents, elle constitue un risque naturel majeur.

Le HOUEROU (1969), note que ce régime à orage estivaux, a une influence sur la végétation et « peut être une des causes de la dégradation relativement peu intense de la végétation des zones steppiques continentales, comparativement aux zones plus littorales ».

L'humidité de printemps, est la seconde constante du climat, résultat des précipitations notables et de températures encore fraîches. Cette saison joue le rôle essentiel dans la mise en valeur du milieu par l'homme, car c'est la période de démarrage végétatif pour les plantes de pâturage et les cultures.

L'automne et l'hiver présentent des situations plus nuancées selon les zones, en raison de l'accentuation de la sécheresse vers le sud. Mais dans l'ensemble, sur les sommets des massifs, l'hiver est froid et sec comme la note LE HOUEROU (1969) dans les régions tunisiennes voisines dans les régions où les précipitations sont inférieures à 350mm et l'hiver relativement sec, c'est à dire là où il représente 20 à 30% des pluies annuelles. Il existe en moyenne un déficit d'eau en cette saison. En conséquence, les besoins en eau des plantes ne sont jamais satisfaits. Il n'y a pas possibilité de constitution de réserves dans le sol.

Toutefois, ce trait nécessite les précisions suivantes.

- En premier lieu, la sécheresse hivernale est moins accentuée que celle de l'été.
- En second lieu, le principal facteur limitant, le développement des plantes reste à cette saison le froid.

Le froid, plus marqué au nord, annule les effets positifs des précipitations, moins accentués au sud, il permet, en relation avec une sécheresse pas trop excessive, la survie des plantes Palatines.

Le cheptel est plus éprouvé par le premier, la végétation est plus affectée par le second, dans la mesure où les plantes steppiques sont plus sensibles au maintien de basses températures diurnes qu'à des gelées très fortes.

En conclusion : On constate un bilan annuel en quatre périodes successives :

Une saison sèche plus au moins longue à la période chaude qui commence plus tard au nord qu'au sud mais se termine à peu près pendant la fin d'octobre. Une courte phase humide et fraîche à la fin de l'automne (novembre). Une nouvelle période sèche au maximum des froids hivernaux avec des conséquences moins excessives au sud qu'au nord. En fin, une saison printanière humide et fraîche de trois mois au nord et d'un mois au sud (mars).

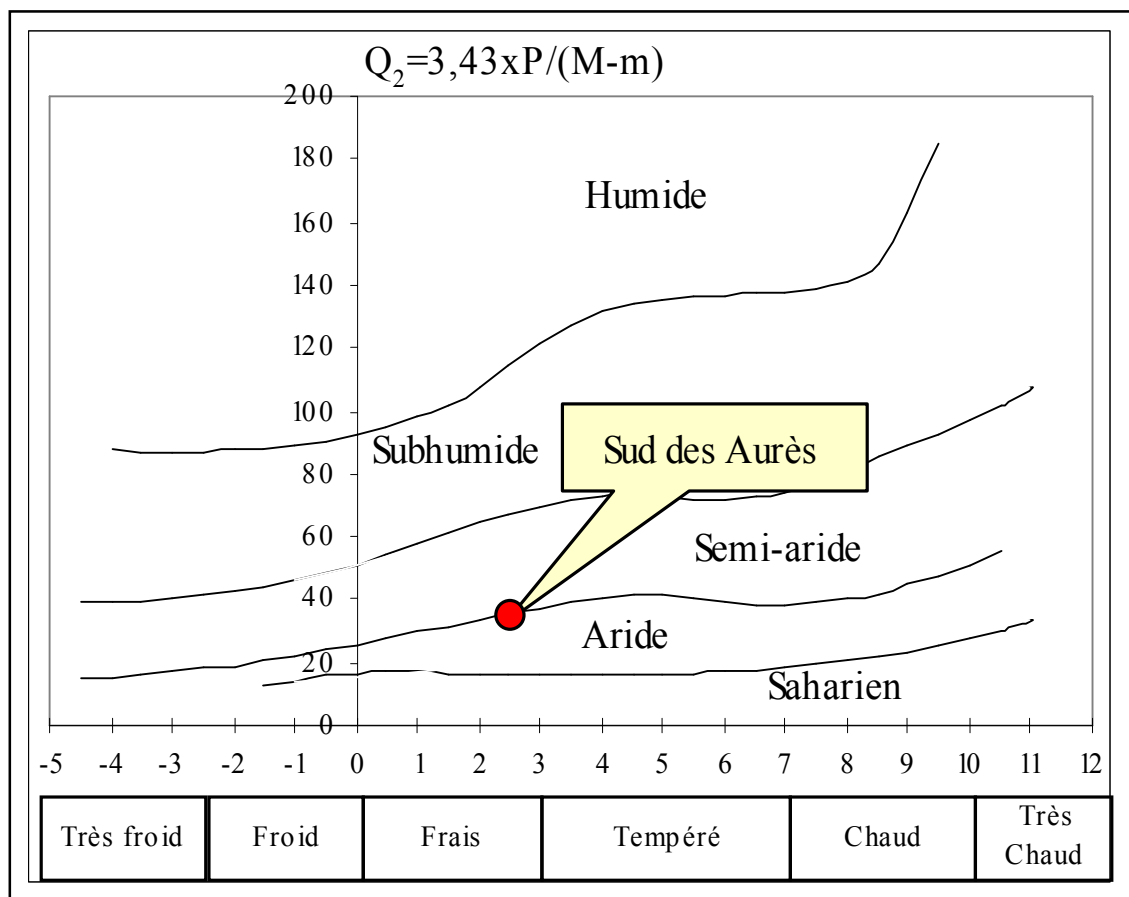


Fig.24 : Climagramme D'EMBERGER

3. La végétation de l'Aurès en fonction des étages bioclimatiques :

Le climat, en région méditerranéenne est un facteur déterminant en raison de son importance dans l'établissement, l'organisation et le maintien des écosystèmes. Ainsi, un des objets essentiels de l'écologie méditerranéenne a été de rechercher la

meilleure relation entre les différentes formations végétales et le climat vu sous l'angle biologique: le bioclimat. Selon (SCHÖNENBERGE, 1971 ; ABDESSEMED K. 1981 ; ANSER, 2002), la répartition des végétations en Aurès et fait de la manière suivants

3.1 Étage subhumide :

3.1.1 Étage subhumide de haute montagne : Le sommet de Chélia doit appartenir à cet étage car il est sylvatique. En effet la neige se maintient pendant plusieurs semaines ; les quelques espèces ligneuses qui arrivent à subsister prennent une forme typique en coussinet (*Juniperus communis*). En fin Juin, les espèces herbacées commencent seulement à fleurir dans les combes à neige.

3.1.2 Étage subhumide supérieure à hiver froid (2200 – 2000m) : La transition avec l'étage précédent est indiquée par la présence du Cèdre, ce dernier est court, tourmenté par les vents vers 2100 m, il devient meilleure et forme des peuplements fermés. De nombreuses espèces végétales appartiennent uniquement à cet étage sur les versants sud du Chélia telles que :

Rhamnus Alpina

Taxus Baccata

Potentilla Pensylvanicaetc.

Le chêne vert y fait totalement défaut.

3.1.3 Étage subhumide inférieure à hiver froid : La transition avec l'étage précédent est signalée par de nombreuses espèces dont l'air d'extension recouvre également une partie de l'étage subhumide supérieure.

C'est le cas : *Acer Monspessulanum*.

Crataegus laciniata.

Berberis hispanica.....etc.

L'apparition de chêne vert est accompagnée par :

Ampelodesal mauritanicum.

Juniperus oxycerus.

Le *Génévrier Thurifère* appartient également à cet étage mais occupe les stations les plus chaudes au détriment du cèdre.

3.1.4 Étage subhumide inférieure à hiver frais : Beaucoup d'espèces trouvées dans les étages précédents voient leur aire d'extension se limiter vers le sud par l'étage subhumide inférieure. Parmi celles-ci, on peut noter:

Catananche Caerulea.

Sideritis ochroleuca.

Bromus erectus.

Le Romarin, la Globulaire et l'Alfa commencent à devenir abondants surtout dans les stations chaudes.

3.2 Étage semi-aride:

3.2.1 Étage semi-aride supérieure à hiver frais : C'est l'étage le plus important du massif ; C'est le groupement climatique de Pin d'Alep qui le caractérise mieux. En effet, le Chêne vert toujours présent dans la pinède mais son recouvrement devient faible. Le *Génévrier oxycédre* également se trouve dans la pinède.

3.2.2 Étage semi-aride inférieur à hiver frais : La caractéristique essentielle de cet étage est le *Génévrier de phénicie* (*Juniperus phoenicea*) ; il s'infiltré déjà dans l'étage semi aride supérieure mais occupe des stations chaudes. Dans l'étage inférieure par contre il remplace le Chêne vert et s'associe au pin d'Alep lorsque ses peuplements sont suffisamment clairs.

3.2.3 Étage semi-aride inférieure à hiver tempéré : On peut trouver ici entre 1200 et 1100 m un bioclimat à variante tempérée, il s'agit probablement d'un adoucissement du climat dû à des inversions de température permettant la surveillance des espèces thermophiles dont voici les principales :

Pistacia aLentiscus.

Olea europaea.

Stira parviflora

Le chêne vert et le pin d'Alep disparaissent totalement de cet étage.

3.3- Étage aride :

3.3.1- Étage aride à hiver frais :

Caractérisé par une Junipéraie claire, cet étage bioclimatique recouvre les derniers versants jusqu'à les limites inférieures. Voici les espèces qui peuvent le définir

Launea acanthoclada

Diplotaxi sharra

Stira parviflora.

3.3.2- Étage aride inférieure : Les derniers Genévriers se trouvent jusque dans les bords immédiats de la palmeraie de Kheirane. La végétation recèle un certain nombre d'espèces fréquentes dans les steppes présahariennes; telle que:

Salsola vermiculata.

Zizyphos lotus.

Salvia aegytiaca.

Une végétation belle, mais en équilibre fragile. En effet, l'Aurès est plein fouet aux influences sahariennes, puisque la fosse creusée à ces pieds fait remonter loin vers le Nord l'aride proprement dit. Ainsi, ne faut-il pas s'étonner si le couvert forestier, qui au siècle dernier devait constituer 50% du massif, n'en occupe plus de 15% aujourd'hui (COTE, 2003).

4. Intérêt régional de l'étude de l'évolution climatique :

Elle permet de mieux comprendre la sensibilité différente des régions aux conditions climatiques. En effets, les fluctuations périodiques et annuelles se répercutent différemment, surtout en fonction de la latitude (**Fig.25**).

Les régions les plus marquées par les variations, donc les plus sensibles, se localisent au sud entre les isohyètes 200 et 300 mm.

Au nord au-dessous de 500 mm, la région méditerranéenne l'emporte plus fréquemment, condition plus favorable au développement économique, mais aussi à l'érosion par les eaux courantes.

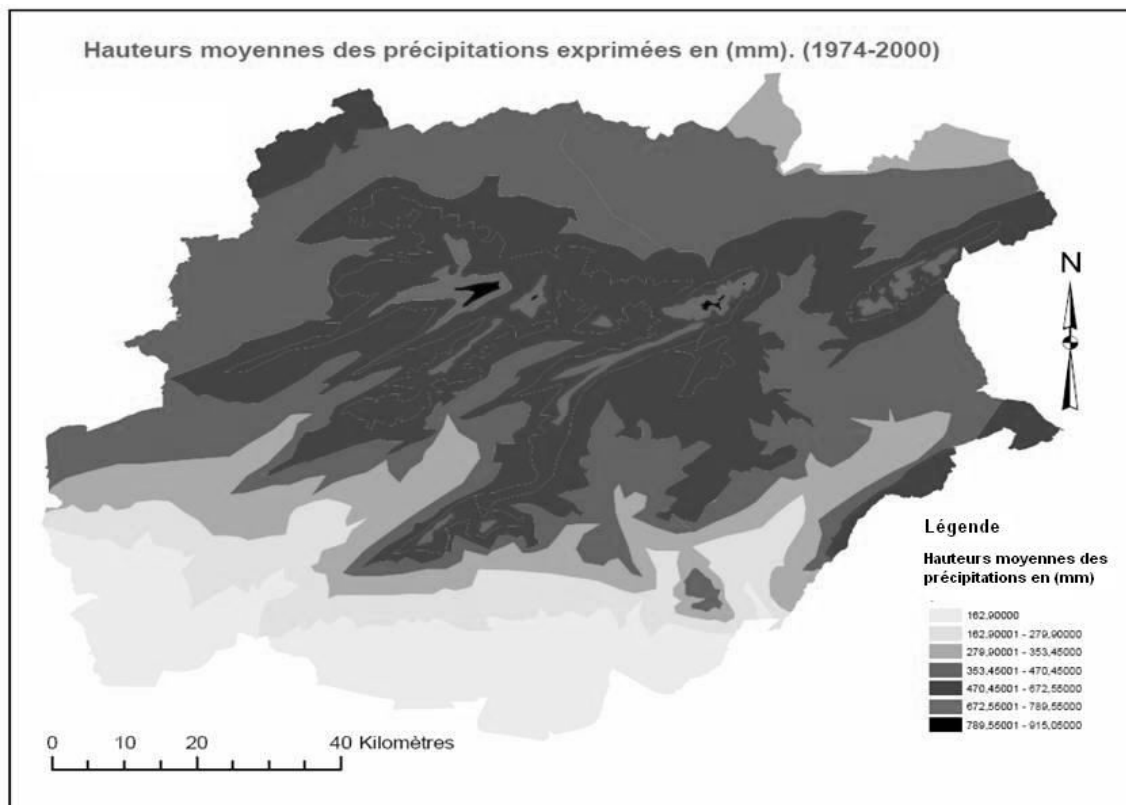


Fig.25: Hauteurs moyennes des précipitations exprimées en mm des trois stations

Conclusion :

Comme c'est le cas de nombreux pays méditerranéens, le climat des Aurès est caractérisé par une variabilité annuelle et inter-annuelle, avec des années très sèches, sèches, normales ou – rarement - humides, responsables d'une diminution importante de la production végétale. Les précipitations se produisent principalement d'octobre à avril, et les pluies sont souvent concentrées sur quelques jours ou quelques heures. La quantité annuelle de précipitations est généralement inférieure à 400 mm.

- Les températures en règle générale, sont relativement élevées, ce qui cause une évapotranspiration importante. Depuis 1970, les températures moyennes minimales et maximales sont en hausse sur l'ensemble de la région et cette tendance se poursuit (**Figure, 26 et 27**). Au cours des deux dernières décennies, les températures maximales augmentent plus rapidement que les températures minimales, et l'élévation de la température atteint 2°C environ. La conséquence de cette augmentation des températures se traduit clairement par la diminution du nombre de jours de neige, qui dans certaines régions, est passé de 26 jours par an en moyenne dans les années 1971-1980 à 6 jours au cours de la période 1981-1990.

Fig.26: Moyenne des températures mensuelles minimales des trois stations

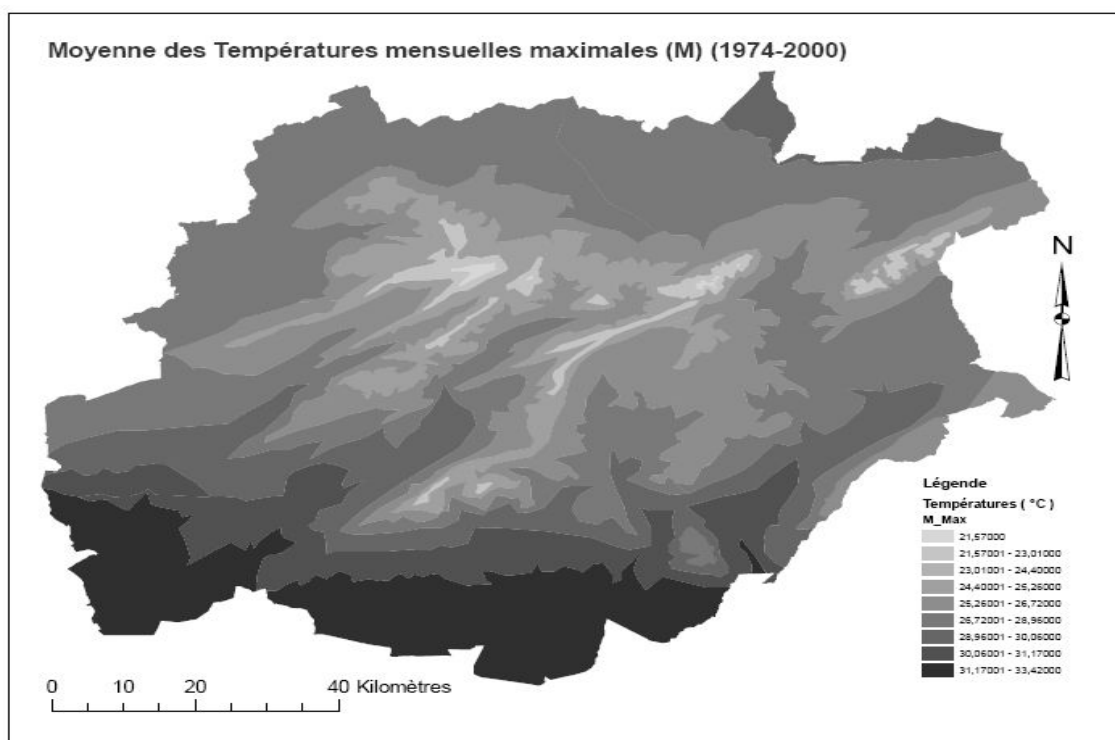
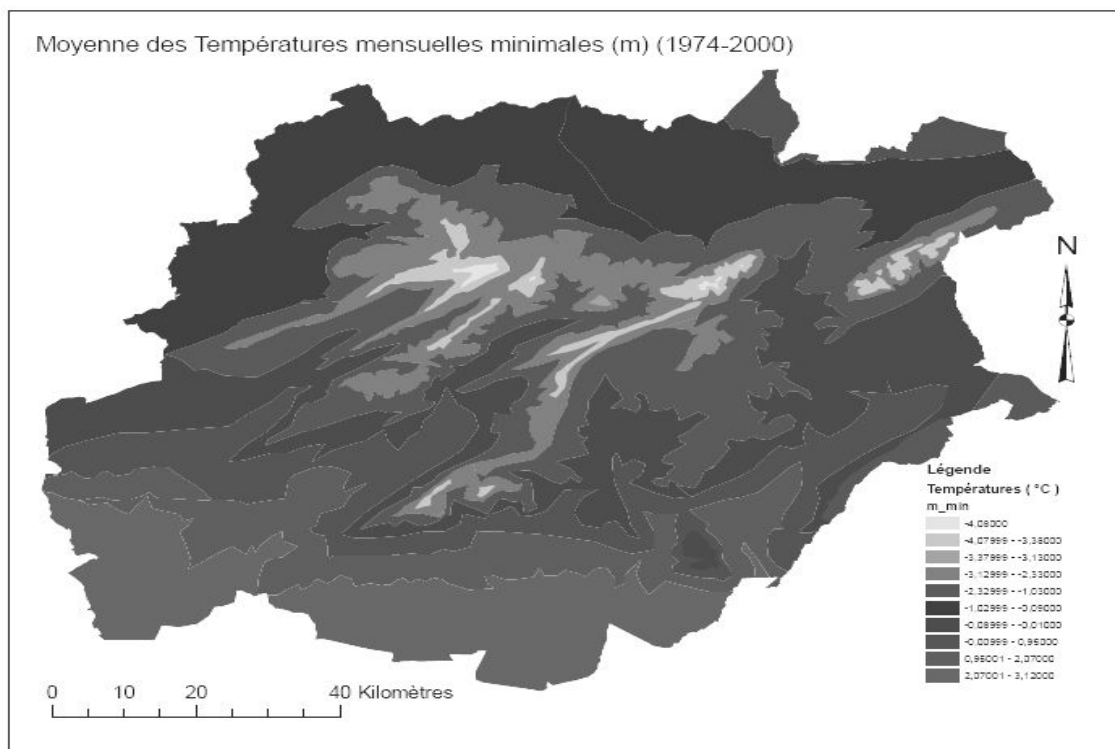


Fig. 27 : Moyenne des températures mensuelles maximales des trois stations

Les précipitations - Depuis les deux dernières décennies, la quantité annuelle de précipitations tend à diminuer, et ce phénomène est encore plus marqué dans la partie Sud (**Figure, 25**) que dans les autres régions. Les précipitations annuelles d'une année humide peuvent être 8 fois supérieures à celles d'une année sèche. La variabilité inter-annuelle des précipitations augmente avec l'aridité de la région concernée.

La variabilité du climat représente un stress permanent pour les écosystèmes en général et les cultures non irriguées en particulier. Elle augmente au fur et à mesure que l'on se déplace vers le Sud. Au cours des années sèches, les pâturages, les steppes et les forêts se dégradent à cause du surpâturage des troupeaux. Les pâturages et les steppes s'affaiblissent car leur couvert végétal ne peut pas se régénérer et que des incendies dévastent les forêts. Les récentes fluctuations climatiques et les sécheresses, plus fréquentes au cours des trois dernières décennies, ont accentué ce phénomène de dégradation des sols, engendrant ainsi la désertification des zones vulnérables comme les steppes et les hautes plaines.

CHAPITRE 03 :

L'AURES : UN MILIEU EN DEGRADATION

ET

VULNERABLE A LA DESERTIFICATION

1- INTRODUCTION :

Depuis les années 70, les zones arides et semi arides, en tant qu'une des écosystèmes les plus vulnérables, ont considérablement attiré l'attention. La discussion, et même

la polémique, sur la désertification du sol et l'étude des influences des variations de climat et des activités humaines en zones arides sont devenues, ces dernières décennies, des sujets brûlants dans le domaine de la recherche de l'environnement écologique (BAGNOLS et GAUSSIN, 1957 ; DJEBAILLI, 1978).

La particularité commune des environnements arides et semi-arides est l'aridité sérieuse, l'insuffisance en eau, les faibles précipitations, l'érosion du sol par le vent ou l'eau et leur vulnérabilité face à la dégradation. Ces caractéristiques sont présentes dans tous les environnements arides et semi-arides (HALITIM, 1975 ; POUGET et al, 1989 ; LE HOUEROU, 2003). En raison des différents milieux géographiques, conditions naturelles et activités humaines, ces caractéristiques ont, cependant, des différences dans leurs aspects et leur ampleur d'une région à l'autre.

La région des Aurès fait partie des régions semi-arides et arides de la rive méditerranéenne. De par le climat et la nature très fragile des sols, les terres agricoles et les parcours steppiques, base principale de l'alimentation des cheptels, sont constamment confrontés aux problèmes de dégradation du couvert végétal et de la vulnérabilité à la désertification.

Le phénomène de dégradation s'est amplifié avec le temps en raison des transformations socioéconomiques et des mutations des systèmes de production que connaît le monde pastoral. En effet, la conjonction de plusieurs facteurs a brisé l'équilibre : La croissance démographique et l'augmentation des besoins de la population, défrichements de la forêt au profit des cultures céréalières, augmentation du cheptel et gestion incontrôlée des ressources naturelles.

Cette situation est aggravée ces dernières années par la diminution de la pluviométrie, l'irrégularité des précipitations et l'augmentation de la probabilité des périodes de sécheresse (COTE, 1974 ; ABDESSEMED, 1985 ; NACER, 2002 ; BENSAID, 2006, BERKANE, 2007). Ces facteurs qui ont brisé l'équilibre du milieu, présentent des conditions favorables au déclenchement de désertification. Ce dernier provoque la stérilisation des terres par les processus de déflation et d'accumulation des édifices dunaires.

Selon plusieurs auteurs (LAFFIT, 1939 ; BALLAIS, 1975,1981 ; ABESSEMED, 1981,1984 ; NACER, 2002 ; BERKANE, 2007) ayant travaillé sur cette zone il s'agit bien d'une désertification progressive dont l'être humain est l'unique responsable à

cause d'une mauvaise gestion et utilisation des terres fragiles de l'écosystème. De même, dans son étude sur l'aménagement des pâturages LE HOUEROU H.N., (1981) affirme : «... si les modes d'aménagement ne sont pas adaptés, on risque dans certains cas de voir apparaître, en quelques décennies des déserts d'origine anthropique dont l'évolution sera difficilement réversible».

Il importe de noter que ce phénomène a connu une progression alarmante depuis les années 1980; mais en réalité il a commencé à se manifester depuis les années 1970.

Dans ce chapitre nous nous intéressons à l'étude des phénomènes anciens et actuels de dégradation dans la région des Aurès car il n'est pas possible pour nous d'étudier l'ensemble des facteurs qui interagissent dans le phénomène de désertification.

2- L'ORIGINE DE L'EVOLUTION MORPHODYNAMIQUE DES AURES:

La multiplicité des faciès et des discordances montre l'instabilité générale des Aurès au cours du Miocène (CORNET, 1951 ; BELLION, 1976 ; BALLAIS, 1978 ; BALLAIS et VOGT, 1980). C'est pendant cette période qu'ils commencent à prendre leur physionomie actuelle, à la suite de mouvements-orogéniques saccadés et du basculement Nord-Sud, entraînant la formation d'un nouveau réseau hydrographique et le déclenchement d'une nouvelle phase érosive. C'est aussi au cours de cette période que s'est formé la fosse Sud-Aurasienne, au contact avec le continent africain.

2.1- Les Mouvements de soulèvement saccadés : Ils commencent dès avant le Miocène 3, particulièrement au Sud-Ouest des Aurès, comme le montre GUIRAUD (1975). C'est le cas à l'Argoub El Brhel et surtout au Dj. El Mohar, où, à la terminaison occidentale, le Miocène 1 apparaît presque redressé à la verticale, tronqué par le Miocène 2 (discordant aussi sur le Turonien) et par le Miocène 3 régressif par rapport au Miocène 2.

Une partie du massif, le synclinal de Rhassira au moins, subit aussi ces mouvements, en particulier entre les Miocènes 2 et 3 comme vers Baniane. Sur le piémont Nord, principalement au Sud de Touffana, la discordance du Tritonien sur le Langhien-Serravalien indique un mouvement tectonique à la limite Serravalien-Tritonien (VILA, 1977) qui correspond à une phase importante dans l'Atlas algérien. Des déformations Ingères se produisent aussi pendant le Miocène 4.

Ces mouvements pouvaient être liés à une compression passagère où a un épisode de distension plus accentué (GUIRAUD, 1975). Les fortes épaisseurs de dépôts dans les petits bassins du Sud-Ouest des Aurès et dans le bassin de Timgad impliquent une subsidence compensatrice.

2.2- Le basculement Nord-Sud

Des mouvements importants se produisent dans les Aurès, après le Miocène 3 (GUIRAUD, 1975), mouvements que l'on rattache habituellement à la phase de la base du Quaternaire bien prouvée sur les bordures, faute de pouvoir préciser leur époque. En particulier, c'est au cours de cette phase que le Miocène 3 aurait été porté à près de 2000 m d'altitude (LAFFITTE, 1939)

Cependant, à y regarder de près, on peut se demander si le basculement du massif vers le Sud ne s'esquisse pas dès le début du Miocène. En effet, alors que le Miocène 3 ne se dépose que plusieurs centaines de mètres sous les restes de la surface oligocène dans le centre et le Nord du massif, cette dernière est retouchée par l'abrasion marine au moins sur le flanc Sud-Est de l'El Azreg, Ces faits indiquent une différence d'altitude entre les portions de cette surface incompréhensible sans une déformation de celle-ci de l'ordre de quelques centaines de mètres. Ainsi s'esquisserait un renversement fondamental de la configuration du relief des Aurès.

En effet, depuis le Lutétien moyen, les Aurès constituaient une avancée du continent africain vers le Nord, particulièrement au Miocène 2-3, comme le montre le tracé du rivage, le Sahara demeurait encore, globalement» émerge et l'ensemble du Sud-est du massif surélève. Mais, déjà, des portions de la surface oligocène étaient portées en altitude vers le Nord alors que d'autres plongeaient sous la mer au Sud-ouest.

Dorénavant, la tendance générale sera au relèvement du Nord du massif au-dessus des hautes plaines constantinoises et à son abaissement, au Sud, au contact du Bas-Sahara, ce que souligne la formation de la fosse sud-Aurasienne.

2.3- Formation de la Fosse Sud-Aurasienne : Jusqu'à la fin du Crétacé, l'emplacement du futur massif, en bordure Nord du craton africain, se caractérisait par une tendance générale à la subsidence responsable du dépôt d'épaisseurs considérables de sédiments (5 000 m de Crétacé), Ces sédiments, avec d'amples

variations de faciès et d'épaisseur, se déposaient souvent aussi sur la plate-forme du Bas-Sahara. A partir du Miocène 4, un changement important se produit au contact des deux domaines, avec l'accumulation, à la faveur d'une subsidence forte et rapide entre les Guerguitt et le Chott Melrhir actuels, de dépôts extrêmement épais, connus uniquement par sondages: 545 m à Sidi Okba ; 1003 m d'argile marneuse à Ain Naga, reposant sur des calcaires à silex et marnes vertes à gypse de l'Yprésien ; 1303 m d'argiles et de sables (161-m) à El Feidh, reposant sur des argiles schisteuses grises et noires à bancs d'anhydrite du Crétacé supérieur ; au moins 1303 m de marnes à passées sableuses à Zeribet El Oued. Il semble que les plus fortes épaisseurs se situent juste au Nord du Melrhir d'après (CORNET et al, 1959) à partir d'où elles diminuent rapidement vers le Sud (264 m à El Oued). La subsidence provoque des esquisses de transgression du Miocène 4 dans une région qui était restée émergée en général et au moment où, au contraire, la mer se retire des Aurès.

2.4- Le réseau hydrographique :

L'émersion généralisée du massif à la fin du Miocène 3 s'accompagne de la réinstallation d'un réseau hydrographique. Selon LAFFITTE (1939), dans l'ensemble, « les vallées s'installent à nouveau dans le centre massif sur l'emplacement des anciens talwegs ». C'est le cas, en particulier, des oueds Abdi et Bouzina. Pour les autres grands Oueds (El Abiod, El Arab, El Ksour-El Hai-Biskra), Il est réduit à des suppositions.

Les seules observations nouvelles (BALLAIS, 1981), sur ce problème concernant le réseau d'Oued El Abiod dans sa partie aval. Sur son versant Est, constitué par l'Ahmar Khaddou, la disposition des affleurements de Miocène 4 montre l'existence d'un paléo-réseau hydrographique, moins encaissé que l'actuel et coupe de son système amont par l'érosion régressive récente. Dans le centre même du synclinal de Rhassira, l'oued El Abiod s'encaisse actuellement dans une série de canyons profonds et étroits dont le plus célèbre est celui de Rhoufi (ANONYME, 1977)

En somme, le réseau hydrographique, au Miocène 4, préfigure très largement le réseau actuel, oriente vers le Sud par suite du début du basculement Nord-Sud et de la formation de la fosse Sud-Aurasienne. Pour l'essentiel, il s'agit d'un réseau inadapté s'encaissant par surimposition et antécédence de la surface structurale des dépôts du Miocène 3, entaillant déjà au moins partiellement les

principaux canyons, gorges, cluses et demi-cluses actuels. Sauf à Baniane où elle atteint une centaine de mètres, il ne paraît pas possible de préciser l'importance de cette entaille.

3- LES CONTRASTES DES AURES :

3.1- Les contrastes Nord-Sud :

Latitude et altitude variant dans le même sens : Biskra, vers 35° de latitude Nord, n'est qu'à 122 m d'altitude, le pied des Guerguitt, à la même latitude, ne dépasse guère 100 m ; au contraire, les sommets les plus élevés se groupent vers 35° 30' de latitude. Ainsi, tout oppose le Nord et le sud (BALAIS, 1975 ; BALLAIS, 1981).

Tous les chaînons dépassant 2 000 m (Chéla, Aidel, Bou Tlarmine, Ich Moul, Has Gueddelane) se regroupent au Nord où des "vairées étroites et élevées (Oued Abdi, Oued Fedhala), à l'exception du bassin de Médina, les séparent. Les grandes dépressions méridionales s'y réduisent à des plateaux étroits et élevés (Zellatou, Mahmel).

Les forêts de *Cedrus atlantica*. (Dj. Chéla., S'Gag, Dj. Aidel), au-dessus de 1400 m, et de *Quercus ilex* et *Pinus halepensis* en dessous, couvrent les chaînons. Les pentes restent encore souvent recouvertes de formations superficielles, en général héritées (brèches de pente, éboulis ordonnés coulées boueuses dépôts de solifluxion laminaire ...), et de sols. La roche à nu n'apparaît que sur les grandes corniches de calcaire ou dans les entailles des ravinements récents. Les glacis portent des croutes calcaires. Le réseau hydrographique comporte une proportion non négligeable de cours d'eau pérennes (Oued Taga, Oued Gueiss, Oued. El Hal, Oued Fedhala, Oued Abdi, Oued El Ablod, Oued El Hatiba ...), s'écoulant rapidement vers les Hautes Plaines ou constituant la tête des longs Oueds tributaires du bassin des chotts Algéro-Tunisiens.

Au Sud, à l'exception de l'El Azreg et de l'Ahmar Khaddou, l'altitude des chaînons diminue très vite. L'aération du relief s'accroît encore par l'arpenteur de plus en plus vaste que prennent les dépressions d'El Kantara et de Rhassira. Alors que le massif se dresse vigoureusement au-dessus des Hautes Plaines, il vient se raccorder de manière plus progressive au Bas-Sahara,

En général, une steppe couvre les chaînons. En altitude, elle peut passer à un matorral à *Juniperus phoenicea* (Dj. Metlili, Dj. Nador el Kolea) mais ce n'est que

sur les chaînons exceptionnellement élevés qu'une forêt se maintient : forêt de *Cedrus atlantica*, *Quercus ilex* et *Pinus halepensis* de l'El Azerg, Forêt claire de *Juniperus thurifera* de l'Ahmar Khaddou. La roche à nu apparaît le plus souvent, aussi bien sur les corniches que sur les versants, en particulier en raison de l'intensité du ravinement ; la moindre strate plus cohérente est mise en évidence. Le réseau hydrographique, plus dense qu'au Nord, se compose presque uniquement d'Oueds : Oueds locaux de petite taille ou encore partie aval des cours d'eau, issus du Nord mais asséchés par l'évaporation, l'infiltration et les prélèvements effectués par l'irrigation. Seul, l'oued el Abiod reste pérenne Jusqu'au piémont. Cependant le Sud montre encore des dépôts anciens, particulièrement de solifluxion, qui n'ont pas encore été emportés par l'intense ravinement actuel. Surtout, à côté des croutes calcaires, plus réduites qu'au Nord, les glacis portent des croutes gypseuses. Des placages sableux et des dunes fossiles témoignent de périodes arides anciennes. Il est donc légitime d'opposer les Aurès du Nord steppiques aux Aurès du Sud sahariens.

3.2- Les contrastes Ouest-Est :

Une opposition entre les Aurès occidentaux et les Aurès orientaux a été proposée très tôt, en particulier du point de vue linguistique (BALLAIS, 1981 in MASQUERAY, 1876), opposition contestée par MARCY (1942). Sur le plan topographique, par contre, le contraste est incontestable.

Au-delà de la retombée de l'Ahmar Khaddou, s'étend, vers l'Est, un ensemble massif où la belle régularité des alignements SW-NE disparaît, jusqu'au l'Oued El Arab. Certes, l'orientation majeure reste encore celle du Dj. Toubount (1559 m) ou du Dj. Toumour (1489 m), mais nombreuses sont les orientations WSW-ENE (Ras Oum Edjem : 1630 m). Les altitudes n'atteignent pas 1700 m, les grandes corniches calcaires disparaissent au profit des marno calcaires, les pentes s'adoucissent et la descente vers le Sahara s'effectue par des sortes de gigantesques chevrons (El Meksen, Dj. Borga : 1 290 m) jusqu'à une Dekla très réduite.

Une gigantesque forêt recouvre ce vaste ensemble, la forêt des Beni Imloul, qui s'étend du Dj. Chélia, au Nord, Tadjmout, au Sud, à moins de 800 m d'altitude. Elle se compose surtout de *Pinus halepensis* avec *Quercus ilex* et *Pistacia atlantica* dominante sous-bois avec un peu de *Rosmarinus officinalis* et *Stipa tenacissima*. Très peu peuplée encore très difficilement pénétrable actuellement en raison de l'état des

pistes malgré l'exploitation forestière elle reste très mal connue et constitue un problème biogéographique et humain. Sur-le plan topographique, elle apparaît globalisent comme une zone déprimée, de relief confus, entre les hautes crêtes de l'Ahmar Khaddou, l'Ouest et de l'Ich Merzou (1 832 m) à l'Est, terminaison occidentale des Nementchas. Vers le Nord, elle vient se fondre peu a peu dans les hautes plaines d'Outa Ziriz et d'Outa el Mroudj (1 000 a 1 100 m) façonnées en glacis par les oueds descendant du Dj. Aldel.

4. LA DEGRADATION DU MILIEU DES AURES : UN PHENOMENE ANCIEN.

L'action de l'homme dans la région remonte à plusieurs millénaires. Cette action commencerait à se faire sentir vers 12000ans B.P en méditerranéenne orientale (LE HOUEROU, 1980) et vers 7000 ans B.P en méditerranée occidentale (TRIAT-LAVAL, 1979).

LE HOUEROU (1980) estime que 50 à 60 % des zones méditerranéennes ont été mise en culture, à une époque ou une autre entre 3000 et 1500 ans avant le temps présent.

La dégradation s'est encore intensifiée au moyen âge avec l'essor de la marine (marchande et de guerre) et des développements commerciaux, (JULIN, 1951).

L'apparition des techniques préindustrielles grandes consommatrices de bois (fours divers, métallurgie, fabrication de verre) a largement contribué à la régression des formations forestières du bassin méditerranéen (QUEZEL, 1976).

Au niveau de l'Algérie, BOUDY (1949) évalue à 3,9 millions d'hectares la superficie détruite depuis la période historique et a 10 millions d'hectares pour l'ensemble de la Berbérie dont le taux de boisement serait passé de 30 à 14 %.

La dégradation profonde de la forêt algérienne date surtout de la période d'occupation française. BERCHICHE (1986) note qu'à partir de 1830 le processus de destruction et d'atteinte aux boisements fût sans doute la plus tragique et la plus néfaste qu'ait connu le milieu naturel algérien et son environnement. Ce fait historique donne la régression des boisements, ils furent de 5 millions d'hectares en 1830, et passèrent au bout d'un siècle (1930) à 3,2 millions d'hectares, soit une régression de (1/3) de la surface totale.

Selon la F.A.O (2000), le nord de l'Algérie a été fortement déboisé Entre 1935 et 1962, la moitié de la superficie forestière a été défrichée. Les forêts de hautes futaies, constituées de peuplements restants de Pinus, Quercus et Cedrus, recouvrent principalement les versants de l'Atlas tellien de l'Atlas saharien. Les autres boisements comprennent de grandes pièces de maquis.

4.1- Les causes historique : Comme pour le reste du bassin méditerranéen la dégradation de l'Aurès est liée a son histoire et ne saurait en être séparée. De par sa position stratégique, il a toujours; constitue un bastion de résistance et une menace permanente pour le Nord- Est du Maghreb (JULIEN, 1951). A travers les temps, il a connu plusieurs périodes dont: il porte encore des traces indélébiles. Ce sont ces invasions qui ont refoule les populations autochtones vers les zones les plus reculées et les moins favorisées, qui sont aussi celles ou la nature sauvage dédaignée des premiers agriculteurs s'est le plus long temps maintenue (PEYERIMHOFF, 1947).

Principales périodes :

- **La période romaine :** D'après BOUDY (1955), le mont Aucorarius, probablement l'Ouarsenis actuel, portait de belles forêts de Thuya de Barbarie, épuisées déjà du temps de Pline .Il est également souvent fait mention des forêts du Nord- Est de l'Algérie, contrées où les fauves pullulaient et d'où probablement provenait le bois expédié vers Rome, car les cèdres de la Numidie fournissaient un excellent bois de construction. A titre d'exemple, Il a été constaté que les poutres, dont parlait Pline, placées dans le temple d'Apollon à Utique (Tunisie), étaient encore en bon état 1200 ans plus tard ! Elles peuvent provenir des Aurès et avoir été acheminées par la vallée de l'Oued Mellagou.

L'examen de la carte des routes romaines par SALAMA (1947) montre un réseau routier dense reliant un nombre important de villes comme c'est le cas dans le massif des Aurès avec les villes de Lambèse, Thamugadi (Timgad), Mascula (Khenchela), Tubunae (Tobna), Vescera, Thabudeos (ANONYME, 1951). Les colonnes militaires sillonnant ces espaces devaient certainement exploiter les forêts pour leur besoin de chauffage et la construction de centres urbains. À cela il faut ajouter les défrichements pour l'extension de l'agriculture et des pâturages. L'exploitation concernait probablement toutes les essences. En témoignent le bas relief du temple de Saturne à Tébessa où un personnage présente des offrandes de

cônes de pin d'Alep ou encore du liège qui servait à la fabrication de bouées de sauvetage, de flotteurs pour filets de pêche et de chaussures d'hiver pour les femmes (BOUDY, 1955).

Elle s'est traduite par l'occupation des terres de piémonts Nord de l'Aurès et la fondation des villes et villages: Thamugadi (Timgad) en l'an 100, Lambaesi (Tazoult-Lambèse), Verecunda (Markouna), Casae (El Madher), Lamiggigaoni (Seriana), Diana Veteranorum (Zana), Bagai (Ksar-Baghai) etc.....

En plus du refoulement des populations, cette occupation s'est traduite par une pression très accrue sur les formations forestières comme le soulignait PEYERMIHOF (1947) : « la voie de l'invasion Est-Ouest est jalonnée par des montagnes déboisées et les ruines romaines sont environnées d'espace à peu près nus de tout ce que la « pax romana » a détruit pour organiser son confort.

- **La période Arabe** : On dispose de bien peu de documents sur la forêt durant cette période. Nous nous contenterons donc, des faits rapportés, ici ou là, par divers auteurs. Selon FERAUD (1869), les écrits ne remonteraient pas au delà du XVI^e siècle : "Nous devons observer nous même cette limite".

D'après NAWAIRI cité par El KAIRAOUANI (1681), l'Afrique du Nord offrait un ombrage continu de Tripoli jusqu'à Tanger. Avant le XI^e s. et, selon BOUDY (1955), l'Ifrikia n'était pas encore le théâtre de dévastation. Mais dès cette époque, et suite au déferlement, par vagues successives, des tribus arabes (les Hilaliens et les Souleim) et de leurs troupeaux, les forêts furent ruinées, pour des siècles, du fait des incendies et du surpâturage.

D'après El KAIRAOUANI (1681), la KAHINA, reine berbère des Aurès, ayant appris l'imminence de l'invasion des tribus arabes, ordonna, aux peuples qui lui étaient soumis, de détruire les champs et les jardins, de couper les arbres, afin que les envahisseurs ne trouvent aucune ressource qui puisse les attacher à ce pays. La conjugaison des incendies, du défrichage, du surpâturage a entraîné une déforestation massive, la plus importante de l'histoire, selon BOUDY (1955).

Elle a été marquée par trois phases principales : Le début de l'invasion; marqué par la politique de la « terre brûlée » de la KAHINA pour arrêter les envahisseurs vers 690. Elle saccagea le pays et ne laissa debout ni arbre, ni muraille (JULIEN, 1951).

La pénétration dans le massif vers 693 après une résistance farouche qui s'est soldée par la mort d'Kahina et le massacre de cent mille individus par Hassan-Ibn-Noaman (Ibn-Khaldoun). L'arrivées des Hilals vers 1052 qui « semblables une armée de sauterelles détruisaient tout sur leur passage » (IBN-KHALDOUN, 1402).

Mais le plus grave encore fut l'apport des mœurs pastorales. Avant leur arrivée il semble que les Berbère sédentaires et nomades avaient réussi tant bien que mal se repartir les terres qu'il leur fallait.

La venue des Hilaliens remit en cause cette harmonie des deux genres de vie qu'exigent le climat et le relief du Maghreb. Avec eux le nomadisme se fart envahissant, arrachant à la culture des céréales ou des vergers de terres qui étaient faites pour elles, ruinant par asphyxie: villages et villes secondaires (JULIEN, 1951).

• **La période ottomane** : Beaucoup d'auteurs s'accordent à dire que durant l'Empire ottoman, les forêts étaient, surtout, exploitées à des fins de constructions navales. Cela concerne, notamment, les forêts du Nord-est algérien: Bougie, Collo, Djidjelli et des environs de Cherchell, l'antique Césarée, près d'Alger (DELVOUX, 1869 ; GRECO, 1966). Les Turcs ne s'étaient pas réservé la propriété exclusive de telle ou telle forêt, mais un droit de jouissance leur était accordé, du fait de leur qualité de membres de la communauté musulmane, et ils prenaient, dans les forêts, les bois dont ils avaient besoin pour leur marine et pour leurs constructions, sans aucune obligation de gestion.

D'après FERAUD (1868), les bateaux endommagés étaient réparés avec des bois prélevés sur la «Karasta», nom d'origine turque, donné au bois d'œuvre en général et, par extension, à tout pays couvert de forêt (de "bois"). Afin d'étendre leur influence, les Turcs s'alliaient avec des religieux auxquels ils attribuaient un titre écrit de plein pouvoir sur la « Karasta» ».

L'exploitation était organisé selon le principe du jardinage (ou plutôt, de la coupe au diamètre): une personnalité turque qualifiée appelée « Ouzir el Karasta» » signifiant littéralement « Ministre de la Karasta» » ou (selon nos concepts) "ingénieur forestier", parcourait la forêt en compagnie de son « Khodja » (signifiant secrétaire ou "pointeur"), et le chef de la « Karasta» martelait lui-même les arbres à délivrer. La coupe se faisait hors sève, suite à un ordre écrit de l'Oukil (Chargé d'affaires ou "gestionnaire») de la «Karasta» (FERAUD ,1868).

En plus de l'exploitation des bois par les Turcs, les compagnies commerciales, à l'instar du Comptoir français établi à la Calle (El Kala), tiraient du bois pour les besoins des constructions navales (MARC, 1930). L'exploitation, durant cette période, a détruit près de 30 % des massifs forestiers d'après BERCHICHE (1989). En plus des exploitations pour la construction navale et les édifices, la fabrication de charbon de bois était fort répandue et servait à alimenter les villes. Dans la région de Djidjelli, l'une des régions les plus boisées d'Algérie, une petite crique porte le nom de Marsa el fehem, qui signifie "port au charbon". Selon BOUDY (1955), à la veille de la colonisation française, la forêt ne comptait plus que 5 millions d'hectares.

- La période coloniale :

En 1930, MARC (1930), à l'occasion du centenaire de la colonisation, réaffirme qu'en 1830, existait un domaine forestier assez beau, estimé à 5 millions d'hectares et que la sauvegarde de ce patrimoine est indispensable: « Il y va de notre avenir dans ce pays». D'après FILLIAS (1878), la forêt subira les premières coupes dès l'arrivée des militaires qui, pour leurs besoins et pour leur progression, durent abattre aussi bien les jeunes baliveaux que les arbres séculaires, comme ce fut le cas à Sidi Ferruch, lieu du débarquement, à l'Ouest d'Alger. Les ravages étaient si importants qu'un arrêté du 4 septembre 1831 (une année après le débarquement) avait interdit la coupe des arbres des hautes futaies mais... sans prévoir aucune peine. Néanmoins, un an et demi après, le 2 avril 1833, un arrêté, plus explicite et plus complet, interdit à tous les propriétaires, fermiers ou colons, européens ou indigènes, d'abattre ou d'arracher un arbre forestier ou fruitier sous peine d'amende, s'il ne disposait pas d'autorisation.

Suivant la loi musulmane, les forêts étaient la propriété du "Beylik", donc de l'État, et c'est en vertu de cette disposition que le "Senatus Consulte" du 22 avril 1863, intégra celles-ci dans le domaine de l'État. Selon SARI (1972), suite à l'instauration de cette loi, des soulèvements ont éclaté, suivis de mise à feu. À plusieurs reprises, des incendies de forêt éclatèrent, dont les principales dates sont 1872-1873, 1882, 1892, puis en 1902-1903, suite à la promulgation du Code Forestier et encore en 1913, 1935, 1948. Pour sa part, BOUDY (1955) estime qu'entre 1863 et 1865, les superficies sont d'environ 200.000 hectares parcourues par le feu.

COMBE (1889) rappelle qu'en date du 17 juillet 1874 fut promulguée une loi relative à la prévention des incendies dans les régions boisées de l'Algérie. Le déboisement progressif des montagnes inquiéta tant l'opinion publique que la question fut mise à l'étude par le Gouvernement Général en 1884, et la conclusion fut, sans conteste, l'urgence des travaux de reboisement. En 1888, la superficie forestière d'Algérie était de 3.247.692 hectares, soit une perte de 35 % en 40 ans.

- **La période post coloniale et actuelle.** La problématique de dégradation du milieu naturel reste toujours posée et, quarante ans après l'indépendance, le secteur forestier se débat encore dans un marasme politico-économique qui empêche la mise en place d'une politique efficace à même de relever le défi.

Les incendies et le surpâturage restent d'actualité et le patrimoine forestier se disloque au gré des situations conjoncturelles (ouverture du marché, adhésion de l'Algérie à l'O.M.C, injonctions du F.M.I, etc....).

A titre d'illustration, l'examen du (tableau, 02), qui présente les données des incendies de forêts de 1985 à 1994, montrent qu'un total de 489799 hectares ont été "*ravagé par le feu*», dont 301 780 hectares de futaies soit 63 %.

De 1962 à ce jour, 30 000 hectares par an en moyenne sont incendiés, dont la majorité restent d'origine inconnue (BENSAID, 1996). Cependant, deux pics importants ont été enregistrés: le premier lors des événements de Kabylie, vers les années 1980-1983, et le second à l'apogée du terrorisme en 1994. À elle seule, cette dernière année a vu la perte de près des 2/3 des futaies incendiées durant toute la décennie.

Par ailleurs, peu de forêts ont été aménagées, l'exploitation réglementée reste dérisoire, en dehors du projet "Aurès" avec la collaboration allemande (GTZ). Mais ce sont les délits, généralisés sur l'ensemble des massifs, qui restent les plus préjudiciables à la forêt. En ce qui concerne la reconstitution forestière, de 1962 à ce jour, seuls 972 517 hectares ont été plantés avec un taux de réussite de 40 %, seulement.

Les tentatives de reconstitution forestière restent vaines malgré les investissements colossaux engagés; L'expérience décevante du "barrage vert", en est un exemple édifiant.

Tableau. 11 : Superficies incendiées de 1985 à 1994 (Source D.G. F, 1996).

Année	Nombre feux	Forêts en ha	Maquis en ha	Broussaille en ha	Total
1985	747	1 396	805	2 453	4 654
1986	1 170	7 916	3 980	9 636	21 532
1987	1 321	10 438	4 431	7 621	22 490
1988	1 146	16 741	4 742	6 224	27 707
1989	595	2 010	436	790	3 236
1990	911	20 149	5 380	2 515	28 044
1991	1 189	6 091	3 434	3 564	13 089
1992	2 014	13 070	3 365	9 036	25 471
1993	2 322	31 117	13 975	13 527	58 619
1994	2 292	192 850	51 016	27 380	271 246
Total	13 707	301 778	91564	82 746	476088

Le tableau ci-dessous d'après les données statistiques nationales issues du Ministère de l'Agriculture (2004), fournissent des données sur les changements concernant les terres arables, zones agricoles utiles ; les étendues boisées ; les pâturages ; les terres plantées d'alfa.

Année	Terres arables	Surfaces boisées	Pâturages	Terres plantées d'alfa
1984	7.510.340	4.384.370	31.660.980	4.660.600
1985	7.510.080	4.384.370	31.661.240	4.660.600
1986	7.508.740	4.384.370	31.598.370	4.660.600
1987	7.231.350	4.579.000	32.050.910	4.720.000
1988	7.509.730	4.583.020	31.771.200	4.521.920
1989	7.510.350	4.586.150	31.540.250	4.568.950
1990	7.533.740	4.252.200	31.154.580	4.463.250
1991	7.623.670	4.217.150	31.104.800	4.203.560
1992	7.635.230	4.141.610	31.151.650	4.204.570

1993	7.675.500	4.084.860	31.053.430	4.166.150
1994	7.661.380	4.061.000	31.015.280	3.641.000
1995	7.840.990	3.982.000	30.780.870	3.525.500
1996	8.126.040	3.924.780	30.738.690	3.493.990
1997	8.095.670	3.970.610	30.765.230	3.493.990
1998	8.042.610	3.950.000	31.596.770	3.351.550
1999	8.069.230	3.900.000	31.620.110	3.100.000
2000	8.081.000	3.855.000	31.525.000	2.865.000
2001	8.201.720	3.835.500	31.531.470	2.830.000
2002	8.215.730	3.900.000	34.466.850	2.920.000
Moyenne sur la période 1984-02	7.767.532	4.156.631	31.515.141	3.893.856

Tableau. 12 - Les changements de superficie des terres arables, des forêts, des pâturages et des terres plantées d'alfa (ha).

Le tableau montre que la superficie des forêts et des terres plantées d'alfa a diminué au cours de la période 1984-2002. Les terres plantées d'alfa subissent d'importantes dégradations dues à un processus de désertification intense.

4.2-Les causes récentes :

4.2.1. Les facteurs naturels :

4.2.1.1. Climat : De nombreux auteurs appartenant à une dizaine de disciplines scientifiques, se sont penchés sur le problème de dégradation du climat depuis un demi-siècle.

Les spécialistes sont inanimés pour admettre l'absence de preuves ou même de sérieuses présomptions en faveur d'une péjoration climatique depuis les débuts des temps historiques (LE HOUEROU, 1980)

Les fluctuations du climat et les sécheresses périodiques, ne peuvent pas expliquer à elles seules les progrès de la dégradation. Il faut y associer l'action destructrice de l'homme, c'est l'option de SCHERBROOK et POYLORE (1973), LE Dû et SACCARDY (1948) in ABESSEMED (1981) en analysant les charbons des escargotières de Tébessa ont abouti à la conclusion que : "rien ou en tout cas peu de choses n'a varié dans le climat et le régime des eaux depuis les époques du caspien supérieur".

La conclusion des études de cas sur la désertification UNESCO (1986) ne prouve pas, que la désertification soit due, notamment, à une diminution progressive et générale des taux de précipitations au cours des siècles ; en revanche, plusieurs de ces études mettent l'accent sur l'importance du rôle joué par la sécheresse ou par de longues périodes de précipitations, inférieures à la moyenne. La sécheresse coïncide avec une période de perturbation qui peut déboucher sur une diminution de la productivité des écosystèmes exploités par l'homme et, compte tenu des contraintes de l'exploitation des terres, ses conséquences peuvent se prolonger bien au delà de la période correspondant à l'évènement climatique en cause.

RAPP(1974) ; LE HOUEROU(1980, 1993), conclurent que la végétation méditerranéenne est une régression générale depuis le néolithique, il y a eu des périodes d'intense dégradation au cours des époques de calme politique, de prospérité économique et d'expansion démographique, alternant avec des périodes de rémission, au cours des époques troublées consécutives aux guerres, famines, épidémies et parfois par le retour à la vie nomade des populations sédentaires. Cette dégradation est essentiellement le fait des activités humaines ; le climat ne constitue qu'une circonstance favorable, quoique constante.

4.2.1.2. Le dépérissement : Le dépérissement des forêts est un phénomène par fois naturel (sénescence des peuplements, concurrence intra et interspécifique des sylvés...), mais le plus souvent provoqué par un ou plusieurs facteurs biotiques ou abiotiques (MARTIN, 1992)

Le phénomène a pris de l'ampleur cette dernière décennie tant en Algérie que dans le monde si bien que les enjeux écologiques et économiques sont compromis. L'extension de ce phénomène est une sérieuse menace pour l'avenir des écosystèmes forestiers (CHAIBDRAA, 1996).

En Algérie le dépérissement affecte les peuplements forestiers (pineraies, cédraies, chênaies,...) dans l'ensemble des zones climatiques.



Photo.05 : Le dépérissement de cèdre dans la forêt d'Ouled Yaghoub (Aurès)

Par définition, le dépérissement est la résultante de l'interaction de plusieurs facteurs de nature biotique et abiotique. Ces facteurs agissent sur l'arbre et parfois même au delà de sa mort (LA FLAMME, 1992).

Les causes impliquées dans le processus du dépérissement d'après (MATHIEW et al, 1994 ; BARTHOD, 1995) peuvent être classés en trois types, hiérarchisés comme suit :

- Causes prédisposantes: Ce sont des causes toujours présentes agissent à long terme pour diminuer la vigueur de l'arbre, changements climatiques, station à faible réserve en eau, sol peu fertile, sénescence du peuplement, sites à exposition sud.
- Causes déclenchantes : Ce sont des facteurs qui favorisent l'apparition des symptômes. Ils peuvent être d'origine abiotique (accidents climatiques) ou d'origine biotique (insectes défoliateurs ou agents cryptogamiques primaires).
- Causes aggravantes: Ce sont des facteurs qui provoquent les symptômes relativement visibles et identifiables.

4.2.1.3. Insectes et maladies : (COUTROT et al 1979), Dans un milieu forestier naturellement en équilibre où les interventions entre les éléments vivants dictent les règles de la vie, les dégâts dus aux insectes et aux maladies résultent de l'action

antagoniste de leur développement et de la résistance que leur opposent des facteurs naturels.

BARTHOD (1995), note que les dégâts causés par les insectes ravageurs ou par les agents pathogènes dans la zone méditerranéenne illustrent la dimension du problème et justifient le bien composé de l'effort pour contenir ces fléaux naturels, les agressions dues à l'impact grandissant de l'urbanisation et de la fréquentation touristique, avec pour corollaire les risques accrus de dégradation et l'incendie contribuent à augmenter la vulnérabilité des formations boisées déjà fragiles et subissant des conditions climatiques défavorables.

La processionnaire du pin d'Alep est une défoliatrice bien connue dans la région circum-méditerranéenne. Les pinéairais méditerranéennes n'échappent évidemment pas à l'action de ce ravageur qui trouve là des conditions écologiques optimales pour son développement larvaire hivernal. Si l'impact des fortes attaques n'entraîne pratiquement des mortalités que dans la jeune plantation de pins, ce ravageur est responsable dans le peuplement adulte, d'importantes pertes d'accroissements annuels en bois, de surcroît, l'atteinte esthétique portée au paysage par les défeuillaisons et la nuisance que constituent les ultications de chenilles peuvent rendre inaccueillantes de vastes régions (MATHIEU et al, 1994).

4.2.2- Facteurs anthropiques : Il est difficile de parler en général des impacts de l'homme sur la forêt du fait de la diversité apportée par les facteurs climatiques, pédologiques et humains. En dehors des grandes catastrophes naturelles, c'est l'activité humaine qui détermine l'espace laissé à la forêt, celle-ci est un milieu de vie difficile pour l'homme et les premières sociétés humaines ont commencé par défricher le couvert forestier pour avoir un espace cultivable ou concédé au pâturage, les mêmes pratiques, s'observent encore aujourd'hui.

4.2.2.1-Le surpâturage : BENCHETRIT (1972), définit le surpâturage comme la concentration d'une densité trop forte des troupeaux domestiques sur un espace insuffisant, entraînant un excès de broutage et de piétinement qui dégrade le sol et sa couverture végétale.

D'après QUEZEL (1980), il constitue sans doute le facteur majeur de dégradation. En effet, le plus souvent incontrôlé et excessif, il empêche la régénération par semis au repousse et s'accompagne, en période de sécheresse, d'un ébranchage ou

émondage volontaire, qui surtout en zone semi-aride conduit à la destruction progressive de la forêt.

Le pâturage intensif est très nuisible à la forêt et provoque à la longue, sa dégradation. Il diminue, et arrive à supprimer même ses effets protecteurs NAHAL (1975). Le sol d'une forêt soumise au pâturage se tasse, devient plus compact, ce qui diminue sa porosité et sa perméabilité pour l'eau, favorisant ainsi le ruissellement, ce qui réduit les effets bénéfiques exercés par les forêts sur les terres situées en aval. En outre, le pâturage intensif peut empêcher la production des espèces intéressantes du fait que le bétail broute les jeunes semis de ces espèces et laisse les espèces peineuses, les grands arbres sont eux-mêmes touchés, leur croissance est ralentie, et ils deviennent plus sensibles à la sécheresse et aux attaques d'insectes. A la longue, des espèces épineuses, résistantes aux dents du bétail, et des espèces principales de la forêt primitive, en constituant des pelouses plus au moins clairsemées qui sont incapables de protéger le sol. La matière organique diminue de plus en plus et le sol devient sensible à l'érosion.

Ces multiples effets du surpâturage, résultants d'une manière générale d'un grave déséquilibre entre la dégradation par les herbivores et la pousse de la végétation, varient évidemment en fonction des multiples facteurs liés aux caractéristiques physiques et biologiques du milieu, ils dépendent également de la nature des animaux domestiques qui font l'objet de l'élevage (LE HOUEROU, 1980)

Dans le même ordre d'idées (BENABID, 1984), note que, la permanence d'une charge pastorale excessive et incontrôlée sous des conditions écologiques difficiles pour la végétation, constitue pour celle-ci une menace grandissante. Elle est aussi la principale cause de dégradation des écosystèmes forestiers, car le cheptel prélève, directement ou indirectement par émondage effectué par les berges, par le broutage ou le piétinement des semis, toutes régénérations naturelles des essences sylvatiques.

4. 2.2.2-Le défrichement : Le défrichement de la forêt a été très important à l'époque, car elle constituait la source essentielle de combustible pour les foyers domestiques et les immenses thermes des villes (UNESCO, 1986).

Le défrichement volontaire ou accidentel, par surexploitation ou surpâturage des terres fragiles a posé et continue de poser des problèmes de dégradation. D'après les données des deux tableaux ci-dessous BOUDY (1955) et BNER (2001) la

récolte de bois d'œuvre et de bois de chauffage ou d'usage domestique le plus souvent sous forme de délits forestiers du moins dans les périmètres soumis à l'administration forestière, reste une des raisons majeures de la régression des forêts dans le passé et aujourd'hui.

Produit	Quantité
Bois d'œuvre.	35.000 m ³
Bois de mine.	1.500 m ³
Bois de chauffage.	150.000 tonnes
Charbon.	31.000 quintaux.

Tableau .13 : Production du bois de Batna 1931-1952 (BOUDY, 1955).

Nature	Nombre de délits / Années						
	92	93	94	95	96	97	98
Coupe	01	15	13	28	14	07	21
Pacage	37	150	08	18	28	07	25
Déracinement souche	01	01	07	07	04	/	02
Extraction illicite d'agrégats	/	01	03	01	01	/	/

Tableau 14 : Nombre de délits entre 1992 et 1998 (BNEDER, 2001).

Selon QUEZEL(1980), dans beaucoup des pays, l'abattage des arbres morts étant permis ou toléré, divers procédés sont utilisés par les populations locales pour entraîner le dépérissement puis la mort de ces derniers, notamment les blessures de l'écorce et de l'aubier, ou encore le défrichage des racines.

Les défrichements illégaux, prennent leur ampleur, le plus souvent, dans les régions isolées, là où la surveillance des services forestiers est défailante. Ils portent généralement sur des formations préforestières en vue de la céréaliculture ou de l'arboriculture traditionnelle.



Photo.06 : Des coupes illégales des arbres dans le massif des Aurès.

4.2.2.3. Les incendie : L'homme brûle la forêt méditerranéenne "de puis plus de 4000 ans" à la recherche des meilleurs pâturages et des terres de culture. Il en brûle actuellement en moyenne 200.000 ha par an (VERNET, 1997)

Le feu constitue selon NAHAL (1975), l'ennemi numéro un de la forêt, les incendies répétés détériorent la forêt et provoquent sa dégradation jusqu'à la disparition totale du manteau forestier et du sol. Les risques d'incendies et les ravages du feu sont d'autant plus grands que la saison sèche est plus longue et que la végétation est plus sensible et inflammable.

Selon TRABAUD (1992), le feu reste paradoxalement, dans les régions semi-arides et arides, une cause relativement faible à la régression forestière bien que certains incendies manifestement volontaires pourraient avoir localement des conséquences dramatiques, c'est en fait dans les régions récemment affectées par un afflux humain estival.

4.2.2.4. Facteurs démographiques et sociaux : Ce sont les relations directes, à impact local immédiat ou différé, qui se sont établies et qui existent entre les populations riveraines et usagère, ou plus lointaines mes visiteurs ou utilisatrices, et les forêts. Ils se traduisent par des pressions chaque fois que leur résultante dépasse localement la capacité biologique de la forêt. Les variations dues à la natalité ou par suite de migration ainsi que les modifications dans les comportements des populations peuvent entraîner, directement ou indirectement, immédiatement ou à

terme, des changements considérables parfois irréversibles, dans la consistance des écosystèmes forestiers FLORET et PONTANIER (1982).

D'après CHABIN (1982), les facteurs démographiques et sociaux sont les plus difficiles à influencer, du moins dans le court terme, car on s'aperçoit du peu d'efficacité des mesures autoritaires en matière et de la lenteur d'évolution des croyances, traditions et mode de vie même lorsque le développement économique permet une modification de vie.

Les peuplements forestiers, préforestiers et prédesertiques de l'Algérie subissent depuis fort longtemps une pression anthropique plus ou moins importante selon les régions. Ce phénomène est suivi par une destruction inévitable et irréversible des sols qui interdit par conséquent la réinstallation ultérieure des essences forestières (BERCHICHE, 1986).

Les populations humaines des zones semi-arides d'après (F.A.O 1997) sont d'une manière générale pauvres et que les terres agricoles proprement dites sont très exiguës. Ceci les oblige à s'orienter vers l'élevage des ovins ou caprins en terrain forestier, et à pratiquer des défrichements et des déboisements des forêts pour satisfaire notamment les besoins croissants en bois de feu, en bois de construction, en branchages pour les troupeaux, en terres agricoles ou terrains de parcours, etc.....

4.2.2.5-Facteurs gestions et législatifs :

➤ Avant l'indépendance :

Les lois forestières sont l'élément principal de tout régime forestier. Le régime forestier en Algérie coloniale fonctionne selon le procédé du code forestier "Métropolitain" (BERCHICHE, 1986). Son caractère particulier a été une mesure de défense adaptée à une propriété très exposé à des délits, le plus souvent difficiles à constater. Ce qui explique sa sévérité et l'obligation de condamner souvent à tous les riverains, paysans algériens et population des villages les plus proche de la forêt, puisque ce n'est pas à l'accusation de prouver le fait délictueux dès l'instant qu'il est constaté par un procès verbal, difficilement attaquable. L'examen de quelques articles de cette loi forestière française nous permet d'évaluer le degré de répression et de mesurer à quel point les populations riveraines des forêts étaient dissociées du système environnant dans lequel elles vivaient.

En somme les codes forestiers ont été durant toute la période coloniale, de simples lois policières fondées sur le principe de la répression rigide.

➤ **Après l'indépendance :**

L'absence d'une législation forestière claire et applicable, tenant compte des intérêts des riverains et de la forêt, constitue un facteur de dégradation dans la mesure où les délits ne sont pas réprimés. Les structures de gestion ont fait une abstraction de la réalité des problèmes socio- économiques de chaque région, ceci a creusé davantage le " fossé "entre les populations riveraines locales et l'administration forestière.

5. LES CONSEQUENCES DE LA DEGRADATION DANS LES AURES:

Généralement la dégradation n'est pas le résultat d'un seul facteur mais le produit ou l'interaction de plusieurs facteurs.

5.1. Régression du couvert forestière : La dégradation du couvert forestière résulte de l'abattage, des incendies et d'autres facteurs techniques, l'une des conséquences directe est la réduction des surfaces de végétation.

BOUDY (1955), note que, les facteurs de destruction ont provoqué en Algérie en 120 ans une régression de 25 à 30 % de l'armature boisée surtout en montagne.

Le tableau suivant (F.A.O. 2004), nous donne la régression du couvert forestier de 1990 à 2000 dans trois régions différentes.

	Superficie	Couvert forestier	Changement de C.F 1990-2003		Distribution de la superficie selon l'utilisation du sol (% 2003)		
			000 ha	000 ha	000 ha	% année	Forêt (%)
Algérie	238,742	2,145	27	-1,33	0,8	0,7	98,4
Nord Afrique	3, 090,228	649,866	5,264	-0,78	21,8	15,5	62,6
Monde	13, 139,61	3, 869,453	9,319	-0,24	29,4	11,2	58,6

Tableau 15: Régression du couvert forestier entre 1990 et 2003 (FAO ,2004).

A partir des données de ce tableau, on remarque que le taux de régression du couvert forestier en Algérie est très élevé (-1,33 % de l'ensemble de la superficie forestière) par rapport aux autres pourcentages de régression (-0,78% et -0,24 %) du Nord de l'Afrique et dans le monde.

5.2 Dégradation et régénération du sol : Sous l'effet des principales causes de dégradation, les sols se dégradent et s'érodent rapidement ; cependant les produits des différentes formes d'érosion peuvent être transportés dans d'autres zones de la région et reconstituer d'autres sols plus jeunes et très souvent de fertilité et de propriété physico-hydrrique moins favorables que les précédents (FLORET C. et PANTNIER R. 1982).

La dégradation des sols est la phase qui prépare l'érosion (BENCHETRI, 1972). D'une façon générale elle est liée à la dégradation de la végétation naturelle.

Selon (AUBERT, 1951 ; NAHAL, 1975), la disparition progressive du couvert végétal conduit :

- A un appauvrissement en matière organique se traduisant, d'une part, par Une désorganisation de la structure et des propriétés physico-chimiques du sol et d'autre part, par un abaissement de la fertilité ;
- A une diminution de l'efficacité de la pluie dans la recharge des réserves en eau du sol ;
- A une augmentation du ruissellement qui entraîne les graines des espèces végétales loin de la zone ;
- A une mauvaise économie de l'eau du sol au cours de l'année (augmentation de l'évaporation, absence du mulch) ;
- A une érosion hydrique accrue ;

La dégradation des sols qui accompagne habituellement la dégradation du couvert végétal peut être de trois types différents (RIQUIER, 1978 in BAUMER, 1987) :

- Dégradation physique : perte de structure, encroûtement, colmatage réduction de la perméabilité, baisse de l'aération, limitation de l'enracinement ;
- Dégradation chimique : lessivage de bases et acidification, toxicité ;
- Dégradation biologique : perte de matière organique, décroissance de l'activité biologique.

5.3 L'érosion des reliefs : La liaison entre la dégradation de la végétation naturelle et l'érosion du sol est reconnue depuis très longtemps.

BENCHETRIT (1972), note que le développement considérable de l'érosion que nous constatons aujourd'hui en Algérie résulte de la destruction du couvert forestier de chaînes de l'atlas tellien par les indigènes qui y ont été refoulés il y a moins d'un siècle.

Toutes les études font état d'une dégradation des sols et signalent que l'érosion éolienne et hydrique augmente en fonction de la destruction de la végétation pérenne et des piétinements du sol (UNESCO, 1983, BERKANE, 2006). En Algérie, LE HOUEROU (1979), cité par OLDACHE (1988), estime que chaque année 100.000 hectares de terres fertiles sont perdus du fait de l'érosion éolienne. Ce chiffre traduit l'ampleur de la déforestation et l'impact des mauvaises techniques agricoles et de surpâturage.

5.4. L'accroissement du ruissellement et la réduction de l'infiltration :

Le ruissellement croit proportionnellement à la destruction du sol. **Le tableau (16)** d'après NAHAL (1975), illustre l'influence des forêts sur le ruissellement comparée à d'autres couvertures végétales.

Nature de la couverture végétale	Ruissellement		Infiltration en m3 d'eau (en 100 ha).
	%	En m3 d'eau a 100 ha.	
Forêt	2	1,000	49,000
Pâturage	5	2,500	47,500
Blé et avoine	25	12,500	37,500
Mais et coton	50	25,000	25,000

La nature du couvert végétal réduit donc corrélativement le ruissellement et augmente l'infiltration de l'eau.

L'accroissement du ruissellement et la réduction de l'infiltration après la disparition du couvert végétal perturbent le régime de l'alimentation des nappes phréatiques et de leur recharge. L'eau au lieu de s'infiltrer se perd dans les oueds et les chotts.

5.5- Régression de la végétation : un facteur favorable à l'extension de l'érosion éolienne :

Après régression de la végétation steppique la partie supérieure du sol est soumise à l'effet de l'érosion éolienne. Donc, les particules fines sont soulevées par le vent et s'accumulent en des endroits sous forme de voile sableux ou d'un édifice dunaire. Ainsi, le sol devient plus compact et on assiste à la formation de ce qu'on appelle reg. Sur ces zones glacées les plantes pérennes et annuelles ont du mal à germer et le ruissellement devient de plus en plus grand provoquant ainsi l'érosion hydrique (formations de rigoles et de ravines). Ainsi, à l'intérieur des zones investiguées l'alfa a complètement disparu et le sparte se trouve dans un état de dégradation très avancé favorisant ainsi la prolifération des espèces non palatables (harmala).

Ce phénomène est observé surtout dans la partie Sud centre et ouest (M'zéria, Khangat Sidi Nadjit, Ces endroits les qualifient comme des zones de déflation, et l'accumulation se fait plus loin dans la direction dominante des vents. D'une façon générale la disparition progressive du couvert végétal engendre :

- Une diminution de la matière organique qui provoque une destruction des propriétés physico-chimiques du sol et une réduction en fertilité;
- La disparition de la partie meuble qui empêche le glaçage du sol lors de fortes pluies;
- Une faible recharge en eau des réserves souterraines et une mauvaise économie en ressources hydriques.

5.6. Extension du sable et érosion éolienne : phénomènes en évolutions :

Le défrichement, l'agriculture extensive et itinérante, l'arrachage des espèces ligneuses, l'évolution de la population, la sédentarisation des nomades et le surpâturage sont autant de facteurs qui ont contribué à la création des conditions les plus propices pour que l'érosion éolienne prenne une telle ampleur. Cette dernière a comme point de départ les zones ayant un sol sablonneux dépourvu d'une couverture végétale. L'ampleur du phénomène réside dans sa vitesse de propagation amplifiée par les vents efficaces. Il gagne du terrain au fur et à mesure que la végétation avoisinante est détruite ou enterrée.

5.7. Conséquences environnementales et économiques :

Les conséquences environnementales et économiques de la dégradation ne se limitent pas aux pays qui en sont les victimes. Ses effets sur l'appauvrissement de la biodiversité et la réduction de la fixation de carbone peuvent être considérables. Elles constituent en fin un obstacle majeur pour le développement rural durable des zones sèches et contribuent à la paupérisation et au développement des migrations (KHARIN, 1997). STEWART (1968) a montré la relativité des bioclimats en montrant que ces derniers dépendent en grande partie du complexe sol-végétation. La pluviométrie ne conditionne la température, l'humidité de l'air, l'évaporation et la croissance des plantes que dans le cas où la pluie est retenue et évaporée sur place. D'après ABDESSEMED (1984), toute modification à grande échelle du sol et de la végétation entraîne une transformation du bioclimat dans la région affectée.

5.8. Conséquences sur le plan socio-économique :

L'accroissement de la pression démographique, dans les zones arides et semi-arides d'Afrique du Nord, s'est accompagné de la mise en œuvre de moyens mécaniques de travail du sol et des transports. Ces évolutions ont entraîné durant les dernières décennies des modifications profondes des pratiques sociales de gestion de l'espace rural et des ressources naturelles par les populations. La sédentarisation a satisfait le souhait d'une appropriation des terres. Il s'est ensuivi une accélération très forte de la mise en culture ainsi qu'un surpâturage généraliser (régression de la pratique de la transhumance) sur des espaces pastoraux de plus en plus restreints AIDOU (1994). L'insuccès de la céréaliculture sur certains milieux, suite en particulier à la dégradation progressive des sols, a en pour conséquences l'abandon de cette culture sur des surfaces aujourd'hui dégradées (LE HOUEROU, 1969; FLORET et al, 1973,1992).

6- CONCLUSION :

En conclusion, nous pouvons dire que depuis les temps immémoriaux et de par sa situation géographique, l'Algérie a été le théâtre d'invasions suivies d'insurrections ou de troubles politiques comme ce fut le cas cette dernière décennie, et que ce sera, une nouvelle fois et comme de coutume, la forêt, déjà si fragile, qui payera le plus lourd tribut.

On ne sait que peu de choses sur la mise en valeur de la forêt des Aurès depuis l'époque pré romaine jusqu'à ce jour. Par ailleurs, la focalisation de certains auteurs contemporains en fonction de leurs convictions politiques ou religieuses sur une si longue période de l'histoire de ce pays, nous incite à réfléchir à cette question, tout en étant persuadés que le peu d'écrits sur ce sujet constituerait pour nous, sans aucun doute, un véritable handicap. Les informations dont nous disposons proviennent, donc, pour l'essentiel : d'anciens fonds des archives nationales. Selon BERCHICHE, (1986), l'époque pré romaine a été marquée, dans nos forêts, par leur exploitation pour le développement de l'agriculture, tout particulièrement durant l'époque carthaginoise. D'après SARI (1972), en un siècle de colonisation française, la forêt est passée de 5 millions d'hectares à 3,2 millions d'hectares, soit la perte d'un tiers de sa surface. De la période post coloniale jusqu'à nos jours, la forêt n'a pas échappé, non plus, au déboisement massif, au surpâturage et aux incendies volontaires et involontaires

CHAPITRE 04:
CADRE THEORIQUE DE RECHERCHE

1- DEFINITIONS ET CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA DESERTIFICATION:

Depuis le milieu des années 1970, la désertification a bénéficié d'un intérêt considérable tant de la part des scientifiques, que des politiques et du public en général. Elle est actuellement reconnue comme étant une problématique environnementale majeure pour le 21^e siècle (WORLD BANK, 2002). Cependant, le terme désertification est souvent galvaudé et malheureusement confondu avec la sécheresse (THOMAS et MIDDLETON, 1994). La désertification est souvent réduite à l'image d'une avancée du désert avec des dunes vives recouvrant habitations, moyens de communication, oasis et terres fertiles.

Durant ces dernières décennies, la lutte contre la désertification n'a pas atteint son objectif et est considérée par un grand nombre d'observateurs comme étant un réel échec par manque, entre autres, d'indicateurs pertinents pour en assurer le suivi et d'une définition universelle de la problématique (HELLDEN, 1991). Ainsi, chaque discipline, chaque école, a sa propre définition de la désertification. Plus de 130 définitions de la désertification ont ainsi été recensées dans la littérature (MAINGUET, 1995).



Fig. 28 : L'aménagement de cordons en pierres sèches est un exemple des pratiques instaurées pour lutter contre l'érosion des sols.

Conscientes que la désertification devenait un problème majeur peu étudié et, interpellées par la première grande sécheresse sahélienne des années soixante-dix, les Nations Unies ont organisé la première Conférence sur la désertification et y ont adopté, en 1977, un Plan d'action de lutte contre la désertification (United Nations, 1978). Cependant, en dépit de cette initiative et de tant d'autres efforts, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement devait conclure, en 1991, que la dégradation des sols et la désertification s'étaient aggravés dans le monde. Ainsi, la problématique de la lutte contre la désertification était-elle à l'ordre du jour lors de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement mieux connue sous le nom de Conférence de Rio 1992. A la suite de cette Conférence, la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, en particulier en Afrique, a été établie et ratifiée en 1994 (PNUE / CCD 1995).

1.2- Définitions :

Le terme désertification fut utilisé pour la première fois par AUBREVILLE, en 1949, pour décrire le processus de changement de végétation menant à des sols dégradés et/ou dénudés en Afrique tropicale. Il fut ensuite repris par TRICART (1969) pour désigner la remise en mouvement des dunes dues à la dégradation anthropique suite au surpâturage et à l'extension inconsidérée d'une culture spéculative. Il écrit : « Le patrimoine naturel est gravement menacé, et, avec lui, le droit à la vie des générations futures ».

La Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification définit la désertification comme « la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines » (Article 1.a de la Convention). La désertification est un processus dynamique qui s'observe dans les écosystèmes secs fragiles. Elle concerne l'espace terrestre (sol, sous-sol, nappes phréatiques, écoulements de surface), les populations animales et végétales, les établissements humains et leurs équipements (terrasses et barrages, par exemple).

Dans un rapport récent du (UNITED NATIONS, 2005) sur la situation en ce qui concerne la désertification et la mise en œuvre du Plan d'action des Nations Unies pour la lutte contre la désertification, la définition suivante a été retenue : “On

entend par désertification la dégradation des terres des régions arides, semi-arides et subhumides sèches ayant principalement pour origine les conséquences néfastes de l'activité humaine".

Ainsi quelle que soit la définition que l'on retient à désertification apparaît comme un stade ultime de la dégradation du milieu naturel se traduisant d'une part par une disparition du couvert végétal et d'autre part par une accélération des processus d'érosion engendrant un accroissement de l'aridité de ce milieu et une baisse de la fertilité des sols. Le déclenchement de l'érosion résulte de la surexploitation du milieu et s'accompagne d'un ensemble d'autres processus dont les effets interactifs conduisent à la rupture de l'équilibre de l'écosystème initial.

Dans la plupart des cas il serait plus opportun de parler de dégradation des terres (*land Dégradation*) que de désertification. Cette dégradation ne se limite pas aux zones de parcours ou de cultures pluviales, mais elle s'étend également aux terres irriguées qui peuvent être complètement stérilisées par salinisation, alcalinisation.

1.3-Les caractéristiques de sa manifestation :

Les manifestations de la désertification sont visibles dans toutes les catégories de services des écosystèmes: services d'approvisionnement, de régulations, culturelles et de soutien. Certains de ces services sont régulièrement mesurés et quantifiés, comme la nourriture, le fourrage, le bois et l'eau douce ; d'autres peuvent être déduits ou prédits par une analyse qualitative (MAINGUET, 1991).

Dans les régions désertifiées, les populations ont réagi à la diminution de la productivité des sols et de leurs revenus en recouvrant davantage à des terres relativement marginales (pas encore dégradées mais ayant une productivité plus faible) ou en convertissant davantage de terres de parcours en terres cultivables. Sans des politiques encourageant des moyens d'existence alternatifs, rarement mises en place, une migration vers des zones non touchées s'ensuit. A l'origine, elle se produit des zones rurales vers les villes, puis vers des lieux à plus grand potentiel économique situés dans d'autres pays. Ces migrations aggravent parfois l'expansion urbaine et peuvent engendrer des dissensions internes et transfrontalières sur les plans social, ethnique et politique.

Selon (CORNET et al. 2002), cette notion correspond aux substances naturelles des écosystèmes cultivés ou non. Elles se composent de divers éléments : le sol, l'eau, la végétation, la faune, le microclimat et la physiographie. Les terres constituent la base de multiples emplois pour l'homme : l'agriculture, les forêts, les pâturages, le support d'infrastructures, etc. A côté de ces usages, appelés économiques, les terres jouent également le rôle de régulateur écologique et environnemental.

Lorsque cet équilibre est rompu, on parle de dégradation des terres. Il s'agit de la perte de certaines qualités propres des terres. Il y a alors une diminution dans leur capacité à assurer des fonctions essentielles : biologiques, économiques, voire sociales.

La sévérité de la dégradation est calculée grâce au degré de la dégradation des sols et au pourcentage de zones affectées.

D'une part, le degré de dégradation des sols est hiérarchisé en cinq niveaux de dégradation :

- Aucune : la terre est considérée comme stable ;
- Légère : le terrain convient pour l'utilisation d'un système agricole local avec une productivité réduite. La restauration de ce système est possible s'il y a des changements dans sa gestion. Les fonctions biotiques sont en grande partie intactes ;
- Modérée : le terrain convient toujours pour l'utilisation d'un système agricole local, mais avec une productivité fortement réduite. Des progrès majeurs sont nécessaires pour améliorer la productivité. Les fonctions biotiques sont partiellement détruites (dû à l'érosion ou à la salinisation) ;
- Forte : il n'est plus possible d'amender ce terrain au niveau des capacités d'une ferme. L'utilisation d'engins lourds est nécessaire pour restaurer le sol. Les fonctions biotiques sont grandement détruites.
- Extrême : il n'est plus possible d'amender le terrain et sa restauration est impossible.

Les fonctions biotiques sont totalement détruites (CCD, 1994). D'autre part, le pourcentage des zones affectées est ordonné en cinq catégories :

- Peu fréquent : jusqu'à 5 % de l'unité est affectée ;
- Commun : de 6 à 10 % de l'unité est affectée ;

- Fréquent : de 11 à 25 % de l'unité est affectée ;
- Très fréquent : de 26 à 50 % de l'unité est affectée ;
- Dominant : plus de 50 % de l'unité est affectée.

1.4--Quelles sont les principales causes de la désertification?

La désertification est causée par une combinaison de facteurs qui évoluent dans le temps et varient selon le lieu (FLORET et PANTNIER, 1982 ; CORNET, 2002). Ceux-ci comprennent des facteurs indirects, tels que les facteurs socio-économiques et politiques, la pression démographique, ainsi que des facteurs directs, comme les modèles et pratiques d'utilisation des sols et certains processus liés au climat.

La désertification se produit à cause de facteurs indirects menant à une utilisation non durable de ressources naturelles rares par les exploitants locaux des terres.

1.4.1- Facteurs sociaux, économiques et politiques :

Les principales causes de la dégradation des terres sont des politiques menant à une utilisation non durable des ressources et le manque d'infrastructures de soutien. Inversement, ceci souligne l'importance d'intervenir au niveau des politiques et des infrastructures publiques (MAINGUET M. 1995 ; BENSAID et SMAHI, 2003). L'agriculture peut donc jouer un rôle positif ou négatif, selon la façon dont elle est gérée. Ceci dépend à son tour des ressources socio-économiques disponibles, des politiques adoptées et de la qualité de la gouvernance. Les institutions locales, par exemple les réseaux sociaux et les instances décisionnelles locales en matière d'aménagement du territoire, peuvent contribuer à empêcher la désertification en permettant aux exploitants de gérer et d'utiliser les services des écosystèmes plus efficacement via un meilleur accès à la terre, au capital, au travail et à la technologie.

Les politiques de remplacement du pastoralisme par des cultures sédentaires dans les terres de parcours peuvent contribuer à la désertification. Les politiques et les infrastructures encourageant l'agriculture dans des terres de parcours qui ne peuvent pas supporter des systèmes cultureux viables contribuent à la désertification. La majorité des zones sèches (65 %) sont des terres de parcours plus adaptées au pastoralisme durable qu'à la production agricole (BENSAID et SMAHI, 2003). Par exemple, le pastoralisme nomade est une pratique de gestion des terres de parcours qui a démontré, au fil des siècles, qu'elle est durable et qu'elle convient à la capacité

de charge des écosystèmes. La sédentarisation des nomades dans des espaces naturels dont le sol a un faible rendement ainsi que les limitations à leurs mouvements transfrontaliers contribuent à la désertification, car elles restreignent la possibilité pour les gens d'ajuster leurs activités économiques aux pressions environnementales, comme les sécheresses.

1.4.2- Pratiques et modèles d'utilisation des terres :

Les changements dans l'exploitation des terres sont des réponses à des modifications des services fournis par les écosystèmes, et ils influencent à leur tour cette fourniture de services (HUBERT-MOY, 2004). Historiquement, les moyens d'existence dans les zones sèches ont toujours reposé sur un mélange de chasse, de cueillette, de culture et d'élevage animal, dans des proportions variées selon l'époque, l'endroit et la culture. Un climat rude et imprévisible, associé à des facteurs socio-économiques et politiques changeants, a forcé les habitants des zones sèches à être flexibles dans leur manière d'exploiter la terre. La pression démographique, cependant, a augmenté la tension entre deux grandes options d'exploitation de la terre : le pastoralisme en terres de parcours et l'agriculture.

L'irrigation à grande échelle a aussi débouché sur de nombreux problèmes environnementaux tels que la salinisation, l'étouffement des cultures par des apports d'eau trop importants, la pollution des eaux, l'eutrophisation et l'exploitation non durable des nappes phréatiques qui détériorent la fourniture de services des écosystèmes des zones sèches (LE HOUEROU H.N. 2005).

Des incendies fréquents et intenses peuvent être des causes importantes de désertification, alors que des incendies contrôlés jouent un rôle important dans la gestion des systèmes pastoraux et agricoles des zones sèches. Dans les deux cas, les incendies encouragent le cycle des éléments nutritifs et rend les nutriments stockés dans la végétation disponibles pour la production de fourrage et de cultures (NAHAL 1975 ; BENBRAHIM et al, 2004).

1.5 –La vulnérabilité du milieu à la désertification:

La vulnérabilité du milieu à la désertification dépend de la sensibilité propre des sols et la végétation aux différents facteurs de dégradation (FLORET et PONTANIER ,1982).

Rappelons toutefois que ce ne sont pas tous les processus de dégradation en cours qui ont un rapport étroit avec sensibilité. Il y'a des zones qui sont très sensibles à la désertification mais qui ne sont affectées que par un faible processus de déflation, d'après le projet MEDALUS (1999), les zones de sensibilité à la désertification sont classées comme suit :

- 1. Zone très vulnérable :** En général les milieux sableux sont les plus sensibles à la désertification, c'est-à-dire où les risques actuels de la désertification sont les plus élevés, Ils sont généralement formés par des steppes très dégradées, sensibles aux pâturages ou par des sols nus.
- 2. Zones vulnérables :** Ce sont En général des zones ayant un degré de sensibilité moins important que le précédent. Il s'agit en général d'une steppe peu dégradée sur un sol gypseux, dont le couvert végétal est sensible à la mise en culture et au surpâturage et le sol présente une forte sensibilité à la mise en valeur et aux labours.
- 3. Zones peu vulnérables :** Il s'agit En général là d'une steppe non dégradée ou des maquis sur Croûte calcaire ou des cultures arborée, la végétation des montagnes où le couvert végétal et le sol sont tous les deux sensibles à la mise en culture et moyennement sensibles au surpâturage.
- 4. Zones non vulnérables :** Se sont souvent des zone à végétation naturelles dans un climat favorable on peut déduire que la sensibilité des milieux résulte donc des sensibilités de la végétation et des sols modulés par leur attractivité soit pour la mise en culture soit pour le pâturage.

1.6- Comment mieux comprendre l'impact de la désertification?

Plusieurs incertitudes limitent la compréhension de l'importance de la désertification. La collecte d'informations de télédétection et données biophysiques et socio-économiques infranationales, le tout sur le long terme doit permettre de développer une base de référence et des indicateurs de la désertification. Ce type d'informations aidera à réduire les incertitudes concernant les relations entre désertification, changement climatique, biodiversité, services des écosystèmes et bien-être humain.

Suivi, développement d'une base de référence et évaluation : Sans une base de référence scientifiquement fiable et cohérente sur la désertification, l'identification des priorités et le suivi des conséquences de nos actions sont sérieusement limités.

L'évaluation la plus récente, celle de (JAUFFRET, 2001) a l'avantage de combiner plusieurs sources d'information. Mais elle ne dispose pas d'une couverture géographique complète et se limite à 62 % des zones sèches, dont certaines ne bénéficient que d'une seule série de données. Cette évaluation a été décrite comme «un exercice de compilation de données à partir d'une variété de sources ayant différentes échelles, légendes, définitions, etc. Si nous avons fait de notre mieux pour les standardiser, il reste cependant de nombreuses incohérences et lacunes.» Les défauts de ces seules évaluations disponibles soulignent la nécessité d'un programme de suivi mondial systématique, menant à la création d'une base de référence scientifiquement fiable et cohérente de l'état de la désertification.

L'utilisation intégrée de la télédétection par satellite, de photographies aériennes et d'observations terrestres peut fournir des données cohérentes sur la couverture végétale, susceptibles d'être répétées, avec un rapport coût/résultat satisfaisant. Les zones sèches se prêtent facilement à la télédétection parce qu'elles bénéficient la plupart du temps long sans nuage. Une large gamme d'images est donc disponible. La continuité des observations est nécessaire pour rendre compte de la grande variabilité interannuelle des services des écosystèmes en zone sèche (CORNET, 2002). Une interprétation valable de l'imagerie fournie par la télédétection pour la désertification nécessite une calibration et une validation précises par rapport aux mesures terrestres (comme la couverture végétale, la productivité biologique, l'évapotranspiration, la fertilité des sols et les taux de compaction et d'érosion). L'accès à une imagerie par satellite à un coût abordable, particulièrement dans les pays en développement, est crucial pour une utilisation intégrée efficace.

Un suivi à long terme est nécessaire pour distinguer le rôle des activités humaines de celui du climat dans la variabilité de la production végétale. Les conséquences des activités humaines (telles que le surpâturage ou la salinisation des sols) et des variables climatiques (telles que la variabilité interannuelle des précipitations et des épisodes de sécheresse) sur la production végétale sont difficiles à distinguer. Une illustration de cette difficulté concerne les sécheresses et les famines répétées dans la région du Sahel. La quantification de tels impacts nécessite une base de référence de la production végétale bien établie par rapport à laquelle les

changements peuvent être évalués. Cette base de référence n'est souvent pas disponible et est d'autant plus difficile à établir qu'il existe d'importantes fluctuations d'une année à l'autre et même d'une décennie à l'autre (ROSELT/OSS, 2005).

1.7-Les principaux indicateurs de désertification :

Plusieurs auteurs ont tenté de déterminer des indicateurs appropriés, simples et accessibles à tous, pour le suivi de l'état de la désertification (RAPP, 1974 ; OCDE, 1994; HABOUDANE et al. 1999 ; BRAHIMI, 2001; JAUFFRET, 2001 ; BELGHITH A. 2003 VINCENT et al. 2005 ; ROSELT/OSS, 2005). Un indicateur peut être défini comme une mesure de magnitude, fréquence, taux et tendance de processus environnemental qui peut être observé à la surface de la Terre, et qui est sujet à des variations significatives pour déterminer et comprendre les changements environnementaux à l'échelle humaine. Un indicateur doit permettre d'identifier le plus rapidement possible les tendances en cours et doit être facilement compréhensible par les autorités politiques compétentes ainsi que par les bailleurs de fonds pour que des actions puissent être prises rapidement pour ralentir ou stopper les processus en cours.

Un indicateur est un paramètre ou une valeur calculée à partir d'un ensemble de paramètres, qui fournit des informations sur un phénomène ou sur son état. L'indicateur a une signification dépassant celle directement liée à la valeur paramétrique (ROSELT /OSS. 2004) un indicateur peut être :

- Un étalon de mesure quantitatif (calculé à partir d'observation réalisé sur terrain en divers points, exprimé en proportion de la superficie totale d'un pays ou d'une région donnée).
- Une description qualitative.

Les divers types d'environnements sensibles à la désertification peuvent être distingués et tracer en employant certains indicateurs principaux pour évaluer les capacités du sol à résister davantage à la dégradation, ou la capacité du sol à supporter les types spécifiques de son utilisation, les principaux facteur pour définir les zones d'environnement sensibles à la désertification sont multiples et différent selon les auteurs, nous avons choisit les indicateurs retenus par MEDALUS qui sont

divisés en quatre catégories large définissant les qualité du sol, du climat, de la végétation et socioéconomique.

2- LES OUTILS GEOMATIQUE DANS L'ETUDE DE LA DEGRADATION ET DE DESERTIFICATION DES ZONES ARIDES ET SEMI-ARIDES :

2-1- La Télédétection :

2.1.1. Introduction :

Un nombre d'organismes et de chercheurs ont mené différentes études sur l'environnement aride et semi-arides. La télédétection est l'une des techniques les plus répandues dans leurs recherches pour l'analyse du changement et la classification d'occupation du sol (TUCKER *et al.*, 1986). La télédétection se définit comme « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contacts matériels avec ceux-ci » (FERDINAND. 1996). L'image satellite est une image numérique, c'est-à-dire un assemblage de pixels, ou surfaces élémentaires, référencés en ligne et colonnes formant un maillage régulier de la surface totale balayée par le capteur. Chaque pixel' contient une somme d'informations codées par les valeurs des comptes radiométriques et les coordonnées en pixels.

2.1.2. Principes fondamentaux de La Télédétection :

a- Origine : Le terme de "Télédétection" (*Remote sensing* en anglais) a été utilisé pour la première fois, en 1955, par Mme EVELYN PRUITT du bureau de la recherche navale des Etats-Unis, pour regrouper la photographie aérienne, l'obtention d'images par satellite, ainsi que d'autres formes de collecte de données à distance. Habituellement elle est définie comme la science, la technologie ou l'art d'obtenir à distance des informations sur des objets ou des phénomènes (Encyclopédie Microsoft ENCARTA, 2001).

La technique de la télédétection peut remonter au XIXème siècle. L'invention de la photographie en 1839 par un inventeur français, DAGUERRE (1787-1851) a donné naissance à la photogrammétrie.

En 1858, un autre français, FELIX TOURNACHON (sous le pseudonyme de Félix Nadar) (1820-1910), a pris la première photographie à partir d'un ballon et a déposé un brevet pour le nouveau système de la photographie aérostatique donnant un aperçu de la topographie, de l'hydrographie et des données cadastrales vues du ciel (CHEN et GAO, 2002). Le succès du vol des frères Wright en 1903 a donné le coup d'envoi à l'application de la photographie aéroportée.

En 1957, le lancement réussi des satellites en ex-Union Soviétique puis aux Etats-Unis en 1958, avec en particulier, le satellite Landsat de la NASA (Etats-Unis) en 1972, a ouvert une nouvelle ère d'utilisation paisible et d'application civile des techniques de télédétection. Depuis lors, divers capteurs optiques, des radars mais également une variété de plates-formes, telles que le ballon, l'avion et le satellite ont été développés pour différentes applications. La télédétection a été ensuite largement appliquée dans de nombreux domaines : cartographie géographique et géologique, inventaire des ressources naturelles, suivi de l'environnement, étude sur l'utilisation des sols, estimation de la productivité agricole, prévisions météorologiques, études sur l'atmosphère et l'océan, détection militaire, etc.

b- Principe : Le principe de la télédétection, tel qu'il est présenté dans sa définition ci-dessus, repose sur l'acquisition de signaux de radiation ou de réflexion de l'objet, par exemple, l'utilisation des sols, par un capteur à distance installé sur différentes plates-formes (telles que l'avion, le satellite) en utilisant les bandes visibles, infrarouge et micro-onde (ENCYCLOPEDIE MICROSOFT ENCARTA STANDARD, 2001). La perception et l'enregistrement du rayonnement naturel ou de la réflexion de l'énergie solaire des objets est appelée *télédétection passive*. La trace multibande visible et infrarouge de l'information de surface du sol en est un exemple. En revanche, lorsqu'il s'agit d'illuminer des objets précis puis de récolter l'information à partir de la réflexion de l'énergie émise par la plate-forme elle-même, le procédé s'appelle *télédétection active*. Le radar en est un exemple.

2.1.2. Intérêt des images satellitaires dans l'étude du milieu naturel et le suivi des changements :

La télédétection est basée sur des systèmes de capteurs optiques qui mesurent la quantité d'énergie solaire réfléchi par des types d'occupation du sol tel que des

surfaces agricoles, des forêts, des marais ou autres. La quantité de cette énergie réfléchiée se traduit par des variations de longueur d'onde qui résultent des propriétés physiques et chimiques des matériaux constituant la surface (DUBOIS et al. 1997). Dans le spectre couvert par l'ensemble des canaux d'un système de capteur, ces variations peuvent former des signatures typiques qui, lorsqu'elles sont identifiées, peuvent être utilisées pour délimiter et cartographier des zones aux caractéristiques de réflectivité similaire (FERDINAND, 1996). De larges types de couvertures peuvent parfois être cartographiés de façon satisfaisante à une échelle locale avec une seule date d'acquisition d'image, mais la similarité des propriétés du spectre de réflectance limite l'identification et la cartographie d'une plus grande gamme de classes d'occupation du sol telles que pour les communautés végétales naturelles. De plus, la confusion spectrale entre des types d'occupation du sol varient au cours des années : des classes qui apparaissent très similaires en été, peuvent devenir séparables à des stades antérieurs ou ultérieurs du cycle phénologique (BENSAID. et al. 2003).

On peut ainsi s'attendre à ce que les approches multi-temporelles fournissent les moyens d'obtenir des résultats de classification plus détaillés, particulièrement pour des variables environnementales telles que celles caractérisant les zones humides. Il faut reconnaître que l'utilisation d'une imagerie multi-temporelle peut impliquer des contraintes en termes d'exigences de procédés additionnels. L'augmentation de la résolution des satellites de seconde génération des méthodes de positionnement géométriques avancées afin de pouvoir exploiter complètement les détails spatiaux disponibles. Les approches multi-temporelles demandent également de s'affranchir des effets radiométriques avant d'entreprendre finalement les analyses de données (BARDINET. 1994).

L'approche multi-spectrale est également de plus en plus utilisée avec l'arrivée de ces capteurs de dernière génération. Elle se présente le plus souvent sous la forme d'indices multi-spectraux qui combinent, par le calcul, plusieurs données issues de différentes plages de longueurs d'onde définissant les canaux du satellite utilisé. Ces indices sont souvent nommés « indices de végétation » car les premiers, et plus nombreux, ont été élaborés afin de percevoir les changements de réflectance du couvert végétal causés par un déficit ou un surplus hydrique ou encore une maladie

(LILLESAND *et al.*, 2000). D'autres, les « indices de différence d'eau », permettent de mettre en évidence les zones d'eau libre ou d'évaluer le contenu en eau de la végétation. L'ensemble de ces indices offre des outils faciles à calculer, et applicables de manière instantanée à annuelle, et selon une large gamme d'échelles spatiales. Ces indices sont pour la plupart influencés à différents degrés par l'angle d'illumination et l'angle de vue. Ils subissent également les effets des changements de la couleur du sol ainsi que des conditions atmosphériques (GIRARD et GIRARD, 1999).

La télédétection satellitaire est montrée comme un outil supplémentaire facilitant les campagnes de terrain (GIRARD et GIRARD, 1999). Cependant, les méthodes basées sur ces campagnes souffrent de ne pas pouvoir être reproduites régulièrement, et de ne pas être applicables sur de grandes surfaces à long terme, car elles demandent des moyens financiers, humains et temporels lourds. Or, la télédétection peut apporter aujourd'hui, grâce à l'augmentation des possibilités d'acquisition des images, ces modes multitemporel et multispectral qui, associés à la capacité de couvrir de grandes surfaces, constituent une importante source de données numériques, archivables facilement. La combinaison de ces deux types de suivis doit permettre d'apporter une réponse à la demande d'outils reproductibles et fiables pour la conservation et la protection des zones humides. La télédétection offre ainsi une vision synoptique aux méthodes de l'écologie.

La détection de changement est le processus qui consiste à identifier des différences dans l'état d'un objet ou d'un phénomène en l'observant à différentes dates (HADDOUCHE, 2002). C'est donc une procédure essentielle pour le suivi de l'environnement.

Les types de changements qui pourraient être intéressants vont des phénomènes à court terme, tels que la couverture neigeuse ou les inondations, jusqu'aux phénomènes à long terme, tels que le développement de la frange urbaine ou la désertification. Dans le meilleur des cas, les procédures de détection de changement ne devraient intégrer que des données acquises par un même capteur (ou un capteur similaire) et être enregistrées en utilisant la même résolution spatiale, le même angle de vue, les mêmes bandes spectrales et le même horaire. Des dates anniversaires sont souvent employées pour minimiser l'influence de l'angle solaire et de la différence

saisonnaire (LILLESAND *et al.*, 2000). L'augmentation de la résolution et des capacités des nouveaux capteurs permet aujourd'hui d'aborder la biodiversité et la conservation des habitats selon des aspects de plus en plus diversifiés. La télédétection¹ offre la possibilité de considérer les espèces ou les communautés d'espèces végétales et apporte une information sur la diversité de celles-ci par la prise en compte de paramètres environnementaux comme la production primaire liée à la richesse spécifique, la distribution spatiale, ou encore la structure et la topographie (BENSAID. *et al.* 2003). La télédétection est ainsi un bon outil pour l'obtention de données reflétant les interactions entre l'homme et son environnement pour comprendre la relation entre l'occupation du sol et l'utilisation du milieu.

2.1.4- Utilisation de la télédétection dans l'étude de la désertification :

De nombreux travaux traitant le problème de la désertification, de l'évolution de la végétation, de l'ensablement des espaces steppiques ainsi que de la sécheresse dans les zones arides et semi-arides ont été publiés ces dernières années. Nous citerons le travail de MARIUS C., (1995) qui traite le problème évolutif du phénomène d'ensablement et ses impacts négatifs sur les mangroves du Sénégal. L'étude scientifique sur la sécheresse et l'aridité et leur impact sur la désertification (ROGNON P., 1996). De même, le travail de recherche sur le développement de l'agriculture dans les régions semi-arides marocaines. Dans les régions arides et semi-arides algériennes, nous citerons les travaux réalisés par CALLOT Y. *et al.* (1996). Ces dernières années ont introduit une nouvelle approche basée sur le principe de la morphologie mathématique. COUREL M. F., *et al.* (1988) ont travaillé sur la contribution de la télédétection à l'étude de la désertification en Afrique de l'ouest.

Quant à HABOUDANE D. *et al.* (1999) ils ont utilisé des indices pour l'évaluation de la dégradation des sols d'un milieu semi-aride au sud-est de l'Espagne. De même, l'étude pour le suivi de la désertification au Maroc à partir d'images AVHRR de NOAA LEMSANNI A. *et al* (1999). L'équipe de BENMOHAMMADI A. *et al.* (1999) a étudié l'analyse des interrelations anthropiques et naturels et leur impact sur la recrudescence des phénomènes d'ensablement et de désertification au sud-est du Maroc.

Nous citons également les travaux de (POUGET et al. 1989 ; BARDINET C. 1994 ; BENSAID A. 1997 ; BELGHITH A. 2003 ; WU W. 2003 ; BENSAID A. 2006) qui traitaient le problème de dégradation des terres dans les pays de l'Afrique du Nord. Ces auteurs ont utilisé des images civiles et militaires de très haute résolution spatiale afin de comprendre la dynamique de l'ensablement ainsi que des mesures sur la progression des édifices dunaires sur une période de quarante ans.

Il est à signaler que les travaux cités ci-dessus ont utilisé les données de télédétection pour la caractérisation du phénomène de désertification. Grâce à ces études l'outil de télédétection s'est révélé incontournable dans ce genre de recherche et d'investigation. Pour le suivi d'une manière judicieuse de la dynamique de l'écosystème steppique, il est recommandé d'utiliser des nouvelles approches et des outils performants en occurrence la télédétection, les SIRS et les ressources informationnelles. L'identification des unités constituant le paysage, en fonction de la résolution et de la fréquence temporelle des observations spatiales. Les capteurs à haute résolution spatiale (type LANDSAT, SPOT) permettent de caractériser la composition de l'occupation du sol. Mais la surveillance ne peut être envisagée en temps réel, en raison de la répétitivité peu élevée de ces satellites.

2-2-Les systèmes d'information géographique (SIG) :

2.2.1- Introduction :

L'évolution et la diffusion des SIG dans la science et l'aménagement du territoire est à mettre en lien avec les développements de la technologie informatique, de la conscience environnementale et des nouvelles approches scientifiques transdisciplinaires, intégratives. Depuis les années 70, et plus particulièrement depuis le sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992, a lieu une prise de conscience des problèmes environnementaux à toutes les échelles.

Le développement des SIG est étroitement lié à celui de l'informatique (MANIERE, 1987) distinguent trois périodes principales:

- Fin des années 1950 – milieu des années 1970 : début de l'informatique, premières applications de cartographie automatique,

- Milieu des années 1970 - début des années 1980 : diffusion des outils de cartographie automatique / SIG dans les organismes d'État (armée, cadastre, services topographiques, ...),
- Depuis les années quatre-vingts : croissance du marché des logiciels, développements des applications sur PC, mise en réseau (bases de données distribuées, applications sur Internet).

Un système d'information géographique (SIG) permet de gérer des données alphanumériques spatialement localisées. Ses usages couvrent les activités géométriques de traitement et diffusion de l'information géographique.

Le SIG, dans son acception courante, le terme fait référence aux outils logiciels. Cependant, le concept englobe l'ensemble constitué par les logiciels, les données, le matériel et les savoir-faire liés à l'utilisation de ces derniers. On peut aussi parler de système d'information à référence spatiale (SIRS) pour les données et leur structuration.

Le rôle du système d'information est de proposer une représentation plus ou moins réaliste de l'environnement spatial en se basant sur des primitives géographiques telles que des points, des arcs, des polygones (vecteurs) ou des maillages (raster). À ces primitives sont associées des informations qualitatives telles que la nature (route, voie ferrée, forêt...) ou toute autre information contextuelle.

2.2.2-Définitions et caractères :

Le terme de « SIG » est lui-même soumis à fluctuation : Geographic Information System aux USA, Geographical Information System en Europe, Système d'Information à Référence Spatiale au Canada, Georelational Information System en terminologie technologique et Système d'Information Géographique en France. Une constante est, ceci dit, présente dans tous ces systèmes : Le SIG traite d'informations localisées et apporte une dimension géométrique aux SI classiques. C'est donc un système de gestion et d'aide à la décision (GILLIOT, 2000). Selon la société française de photogrammétrie et de la télédétection (1989) il est définie comme étant un system informatique permettant d'analyser de diverses sources, de ressembler et d'organiser, de gérer, de combiner, d'élaborer et de représenter des informations localisées géographiquement contribuant a la gestion de l'espace.

Un SIG est par conséquent constitué d'une base de données mais, à la différence d'un fichier « classique », non repérable géographiquement, la base de données d'un SIG comporte une dimension spatiale et la possibilité de l'exploiter à l'aide d'un logiciel adapté.

2.2.3- Conception : La conception des SIG a été premièrement mise en œuvre par Dr ROGER Tomlinson et son équipe en 1962, afin d'établir un système d'information géographique du Canada (CGIS), le premier SIG du monde (HUBERT-MOY L. 2004). Dans les années 1970, une tentative d'application d'un tel système a été entreprise aux Etats-Unis. Depuis 1980, grâce au développement des techniques informatiques, les SIG ont évolué et ont été utilisés dans de nombreux domaines de recherches, tels que la cartographie, la gestion de territoire, la surveillance d'occupation des sols et l'analyse du changement de l'environnement (pollution, catastrophes naturelles, etc.), les analyses géologiques, agricoles et démographiques. Ainsi que LONGLEY *et al.* (1999) l'ont précisé à propos des SIG, un nouveau domaine de l'innovation et de l'application technologique change très rapidement.

2.2.4-Fonctions : Les SIG nous permettent d'établir les liens complexes entre ou, plutôt, de relier dans l'espace de multiples types d'informations issues de sources variées, comme la géographie, la géologie, la géomorphologie, la pédologie, la phytogéographie, la météorologie, l'analyse d'utilisation du sol, etc. Les informations sont organisées en couches de données qui peuvent être superposées, mises en interaction ou isolées (**figure.29**). Les données peuvent être organisées en raster (cellule de grille) ou en vecteur (polygone, polyligne et point).

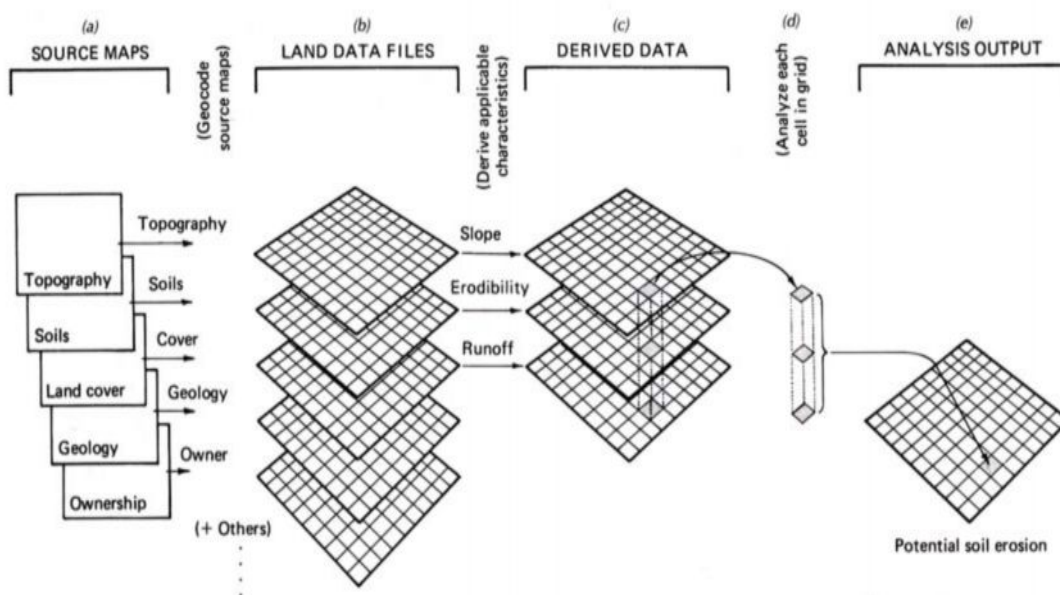


Fig. 29 : Un exemple de SIG et des procédures d'analyse (D'après LILLESAND ,1999).

Le feed-back (retour d'information) de l'analyse peut être présenté sous forme de diagrammes, de tableaux et de statistiques synthétisant les données. C'est l'autre principe fondamental des SIG. Concrètement, les applications des SIG peuvent être les suivantes :

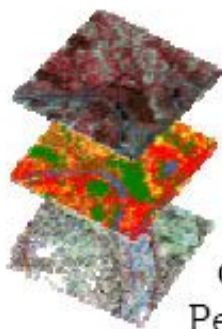
A- Organisations et gestion des données :

1. Les données

Les données sont des observations ou des mesures brutes, et de leur traitement, sortent des informations utiles aux décideurs. Ces dernières présentent une information et une utilité importante durant la conception d'une base de données. D'après (DUBOIS. et al. 1997 GILLIOT, 2000) ; un système d'information fonctionne grâce à l'interaction de trois composantes :

- Un ensemble d'outils matériels et logiciels qui supportent l'information et qui doit faciliter son exploitation;
- Un ensemble d'administrateurs, d'opérateurs et d'utilisateurs qui agissent sur le système en définissant, vérifiant ou demandant de l'information;
- Un ensemble de données dont les deux acteurs précédents doivent garantir la validité.

Un Système d'Informations Géographiques est :



Un ensemble de données numériques
Localisées géographiquement

Structurées à l'intérieur d'un système de
traitement informatique



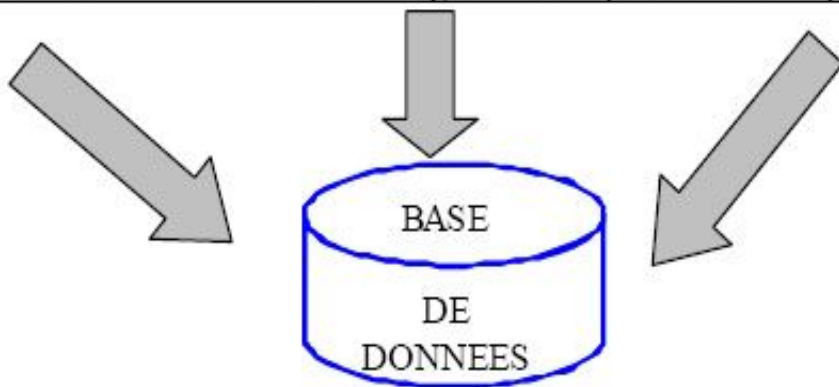
Comprenant des modules fonctionnels
Permettant de :



Créer et modifier

d'intérogier

de représenter cartographiquement



Selon des critères
Sémantiques et
spatiaux



Fig. 30 : Schéma d'un SIG (GILLIOT, 2000.).

2. Choix d'un système de projection et de l'échelle

a) Échelle : Actuellement, les SIG permettent de créer des documents à des échelles variables. A cet effet, il est important de noter que dans le cas de superpositions de plusieurs documents cartographiques de différentes échelles, cas le plus général, alors il est fort recommandé que l'échelle de restitution soit l'échelle la plus petite. Car, si l'utilisateur n'est pas vigilant ou n'a pas consulté les informations (Métadonnées) concernant les données de la base, il peut effectuer des traitements et restituer des documents avec une précision supérieure aux données de départ.

b) Système de projection : Le choix d'un système de projection est l'une des étapes fondamentales dans une étude où l'analyse spatiale et la cartographie tiendront une place prédominante. Cependant, Les données physiques et socio-économiques doivent être correctement géoréférencées dans un système de projection national (Projection Lambert sud Algérie, Projection Lambert sud VIU) ou international (Universal transverse Mercator UTM). Car les SIG exigent que ces données soient dans un même système de référence pour quelles puissent être assemblées et/ou superposées. Sous un SIG il n'est pas possible de faire superposer sur une image des fichiers vectoriels, si ces derniers ne sont pas référencés dans le même système de projection que celui de l'image. Ainsi, la difficulté et les contraintes concernant la comparaison de documents thématiques créés dans différents systèmes de projection, ont pu être levées grâce aux fonctionnalités que proposent les SIG pour passer d'un système de projection à un autre.

Toutefois, ces fonctionnalités doivent être manipulées avec une certaine rigueur, car un utilisateur non initié au domaine de la cartographie ne peut en aucun cas faire le bon choix sur les paramètres de projection (Datum, ellipsoïde de référence, etc.).

3-Analyse spatiale : L'analyse spatiale se compose de deux genres d'analyse : l'analyse de base et l'analyse avancée.

L'analyse de base inclut la logique, l'arithmétique, les opérations statistiques, la classification, la création de zones d'amortisseur (*buffer*) pour les caractéristiques des intracouches et l'analyse en superposition (*overlay*) pour les caractéristiques des intercouches, ce qui nous permet de manipuler, de calculer les dispositifs spatiaux pertinents dans ou entre les couches thématiques. La zone-tampon définissant la

proximité spatiale est créée grâce à la fonction de création d'amortisseur (*buffer*) autour du dispositif intéressé. L'analyse de couches en superposition peut être exécutée pour des données de vecteur et de raster (cellule de grille).

L'analyse avancée ou modélisation spatiale, vise à résoudre des problèmes d'ordre spatial, par exemple déterminer géologiquement les endroits d'éboulement potentiel ou les sections d'érosion de sol ou le choix du meilleur emplacement pour une nouvelle école ou une usine. Exécuter la modélisation spatiale sur un sujet intéressant en s'appuyant sur une base de données disponible est l'une des fonctionnalités les plus utiles des SIG.

2.2.5 - Stockage et gestion des données : Un stockage et une gestion efficaces sont les fonctions premières des SIG. L'échelle des SIG peut s'étendre d'un niveau local, régional jusqu'à un niveau global et leurs contextes de gestion varient de l'environnement à la sociologie et de l'administration civile à l'économie. Ainsi que nous l'avons démontré plus haut, n'importe quel type de sources de données pertinentes telles que les cartes géologiques et géographiques, l'information d'utilisation du sol, les images spatiales, les données démographiques, socio-économiques, etc., peuvent être intégrées dans les SIG pour le stockage, la gestion ou d'autres analyses.

2.2.6-La base de données géographique :

Les bases de données ont aujourd'hui pris une place essentielle dans les systèmes informatiques, tant du point de vue pratique que théorique. Ainsi, la plupart des systèmes, y compris les micros-systèmes d'informatique individuelle, offrent aujourd'hui un système de création de base de données (S.G.B.D). Une base de données peut être définie comme étant un ensemble structuré, exhaustif, et non redondant de données enregistrées sur des supports accessibles par ordinateur pour satisfaire simultanément plusieurs utilisateurs de façon sélective et en temps opportun (ASPINALL, 1999); ou bien comme une collection informatique de données opérationnelles stockées qui servent les besoins de multiples utilisateurs dans un ou plusieurs organismes.

Selon les deux définitions citées ci-dessus, une base de données est caractérisée par sa structure qui permet à la fois l'enregistrement et l'accès aux données correspondant

à des faits ou à des événements se rapportant à un organisme ou à un phénomène. Elle présente une masse d'informations brutes ou traitées permettant d'alimenter un système, leur synthèse apportant des connaissances plus exploitables.

Plus simplement, une base de données est tout ensemble de connaissances classées sous forme de fichiers et consultables à partir de critères précis. Elle est une ressource intégrée pouvant être exploitée par tous ceux qui ont besoin de l'information qui s'y trouve.

Les différentes applications ont conduit à une très grande quantité de données. Historiquement, chaque nouvelle application engendrait ses propres fichiers et ses propres programmes. Un programme d'application était écrit pour accéder à plusieurs fichiers particuliers, chacun utilisant son propre format. La création d'une base de données va à l'encontre de cette façon de faire : cette dernière n'est pas orientée vers un seul programme comme l'étaient les fichiers particuliers. De plus, les progrès technologiques permettent de stocker des masses de données de plus en plus importantes, et les utilisateurs ont besoin d'une connaissance de plus en plus fine de leur activité.

La conception d'une telle base de données à référence spatiale pour l'étude du phénomène de l'érosion éolienne s'avère très importante pour gérer une masse colossale de données multisources et multi-temporelles. Ce type de base de données présente les avantages suivants :

- Meilleure communication entre les différents utilisateurs potentiels;
- Meilleure cohérence entre l'ensemble des données de la base;
- Pérennité des données garantie;
- Mise à jour des données.

2.2.7-Modélisation des données géographiques.

La modélisation des données est une étape fondamentale indispensable à toute tentative de gestion globale des ressources. Elle constitue le fondement du développement d'une base de données (BD) dont la vocation s'oriente vers l'exploitation, l'appréhension du problème, la gestion et la préservation de systèmes, qu'ils s'agissent de systèmes dits naturels ou humains tels qu'une entreprise, un milieu physique (LAMBIN, 1997). La modélisation permet de clarifier un

environnement réel souvent complexe et confus en identifiant et en représentant les objets d'intérêt, tout en supprimant les détails inutiles.

2.2.8-- Application des SIG a la recherche environnementale :

Sur la base des fonctions présentées ci-dessus, les SIG ont été largement appliqués aux aspects suivants de la recherche pour l'environnement : Gestion, suivi et planification de l'environnement (NICOULLAUD *et al.*, 1992, BENHANIFIA, 2003) ; Cartographie (VIDAL *et* HUBSCHMAN., 1992) ; Analyse et modélisation spatiales (COUREL, 1985 ; COUREL, 1988 ; DUBOIS. *Et al.* 1997 ; HADDOUCHE I. 2002) ; Evaluation du risque naturel (BROUCHIER, 1998; WU *et al.*, 2003).

Cependant, une grande partie de l'utilité des SIG réside dans leur efficacité pour la gestion et la mise en œuvre des données spatiales (ASPINALL, 1999). La réflexion spatiale a pris peu de place dans la recherche écologique qui s'est plutôt orientée vers la compréhension des processus que vers l'analyse de mode. L'utilisation d'une analyse statistique spatiale avancée, intégrant d'une manière synthétique divers genres d'information spatiale, et permettant de traiter de nombreuses données spatiales à l'échelle régionale voire globale, pourrait être fort utile.

L'objectif final de l'application des SIG est de participer à la prise de décision des dirigeants, en s'appuyant sur une analyse synthétique. Par conséquent en intégrant la télédétection et les données géographiques, les SIG constituent un outil puissant pour surveiller et modéliser l'environnement aride.

3 - Le Global Positioning System (GPS):

Le GPS ou NAVSTAR (Navigation System by Timing And Ranging) est un système de radionavigation américain basé sur une constellation de satellites élaborés en 1970 et contrôlés par le département de la défense (DoD) des Etats-Unis. Utilisable librement par toute personne munie d'un récepteur GPS, il informe sur la position, le temps et la vitesse sur une large étendue mondiale quelques soient les conditions météorologiques ou le moment de la journée (jour et nuit). Le GPS est ainsi composé de trois parties : les satellites en orbite autour de la Terre, des stations de contrôle et de suivi sur la Terre et l'appareil de réception d'un nombre illimité d'utilisateurs (MANIERE R. 1987).

Le récepteur de chaque utilisateur capte les signaux diffusés par les satellites et produit ainsi une localisation selon trois dimensions (latitude, longitude, altitude). Il calcule sa position par triangulation, en mesurant la distance entre lui-même et au minimum trois satellites. La composante spatiale du système est basée sur une constellation de 24 satellites placés en orbite quasi-polaire à 20 200 km d'altitude.

Le GPS fournit une précision de l'ordre de 5 à 15 mètres (WU W, 2003). Le signal peut être perturbé par différents paramètres : la traversée de l'atmosphère, une densité forte des feuilles des arbres ou par un bâtiment en milieu urbain qui le cache ou répercute un écho, fournissant plusieurs signaux se traduisant par une localisation faussée. Afin de limiter l'influence de tels facteurs, nous avons immobilisé le GPS au centre du carré attaché à un piquet de 3 mètres de hauteur permettant de limiter la perturbation due au feuillage des phragmites par exemple. Le GPS restait ainsi immobilisé le temps du relevé botanique sur le site permettant d'obtenir la meilleure position possible de notre site d'échantillonnage. Nous avons alors la possibilité de positionner chaque carré par son point central sur les images satellitaires géoréférencées.

CHAPITRE 05 :

**TELEDETECTION POUR LA CARTOGRAPHIE
DE L'OCCUPATION DU SOL ET LE SUIVI
DIACHRONIQUE DE LA DESERTIFICATION
DANS LA REGION DES AURES.**

1 - CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL DE LA REGION DES AURES A L'AIDE D'IMAGE ALSAT1 :

Les changements d'occupation et d'utilisation des sols contribuent de façon significative aux interactions surface terrestre-atmosphère en influant notamment sur la circulation des éléments de l'atmosphère et la biogéochimie de l'eau (HUBERT-MOY, 2004). La dynamique de transfert des éléments dans les cycles superficiels joue un rôle important dans l'évolution des surfaces terrestres. Ces cycles sont contrôlés par les variations hydro climatiques régionales et globales mais aussi largement aujourd'hui par les activités anthropiques et en particulier par les modes d'usage des sols. Les changements d'utilisation des terres modifient également les caractéristiques et le fonctionnement de la couverture pédologique, entraînant des variations de la biodiversité en jouant un rôle sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes, la diversité des espèces ou encore la fragmentation des structures paysagères. Ils constituent en retour un élément essentiel de la réponse anthropique au changement global.

Dans cette étude, la réalisation de la carte d'occupation du sol représente une phase importante dans l'élaboration de la carte des risques de dégradations et de la vulnérabilité à la désertification. À ce titre, l'image la plus récente de scène Est de l'Algérie 2007, issue du satellite Algérien Alsat1 a été choisie.

1.1-Présentation du Micro satellite Alsat1 et l'image choisie de la région des Aurès :

Le satellite Algérien Alsat1 est la première expérience en orbite de l'Algérie. Lancé le 28 novembre 2002 à 6h07 GMT par le lanceur Russe COSMOS-3M depuis le cosmodrome de Plesetsk (à 800 km de Moscou), Alsat1 produit d'un partenariat avec Surrey Satellite Technology Limited (SSTL – Royaume Uni) est un maillon d'une constellation de micro satellites de 7 pays : Algérie, Chine, Nigeria, Royaume Uni, Thaïlande, Turquie, Vietnam (MISSOUMI, 2003).

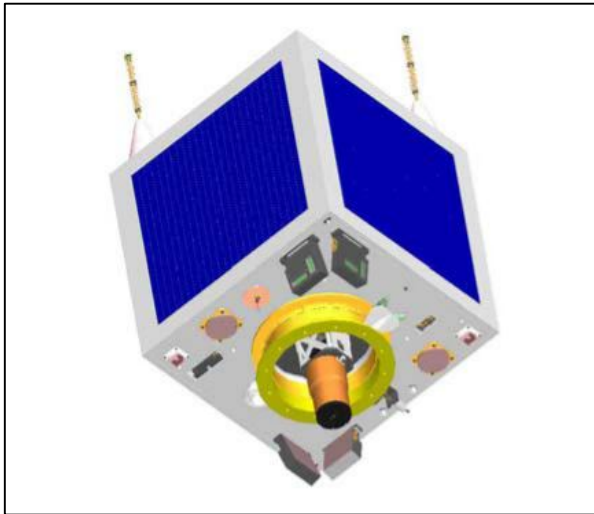


Fig. 31: Micro satellite Algérien (Alsat1).

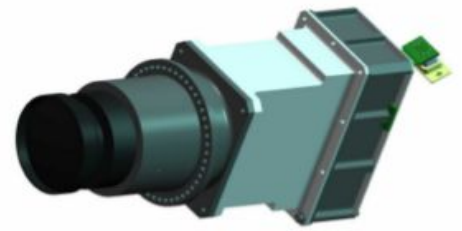


Fig.32: Tête de caméra

Il s'inscrit dans un programme international d'observation de la terre pour la prévention et la gestion des catastrophes (DMC – Disaster Monitoring Constellation). C'est l'Algérie qui a eu le privilège de lancer le premier satellite ALSAT1, dans le cadre de cette constellation qui permettra le suivi de certains phénomènes naturels et autres risques majeurs comme les inondations, les séismes et les feux de forêts. La constellation, une fois entièrement opérationnelle permettra aux membres du consortium DMC de récupérer des images de n'importe quel point sur la terre dans moins de 24 heures.

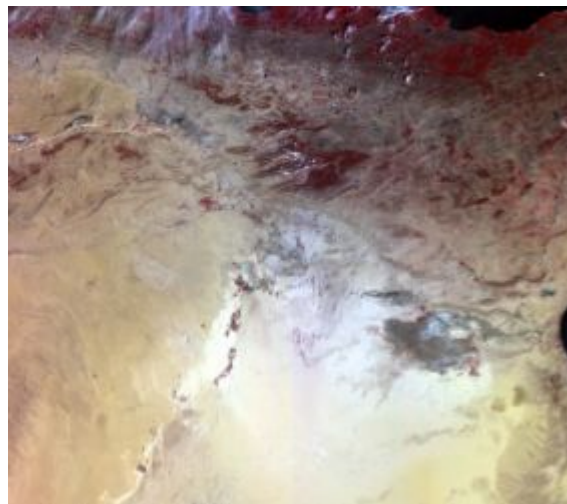


Fig.33: Alsat1 image de Chott Melrghir et de la région des Aurès
Prise en 28 Sep. 2003

Tableau .17: Caractéristique de Micro Satellite Alsat1.

Date lancement	28 novembre 2002	
Altitude	680 Km-98° inclinaison	
Dimensions	600x600x600 mm	
Poids	90 Kgs	
Système de prise de vues	Image mode	Pushbroom
	CCD Multispectrales imager	2 Banks overlapping @ 5%
	Spectral band	(NIR, R, G)
	Optics	150 mm focal length
	Résolution/ Swath width	32 m/ 600 Km
	Number of pixel	10000 pixels
Capacité de stockages	1 Go byte	
Bandes spectrales	Bandes 2 (vert) 0.52-0.62µm	
	Bandes 3 (rouge) 0.63-0.69 µm	
	Bandes 4 (PIR) 0.76-0.90 µm	
Résolution spatiale	32 m	
Dimension d'une scène	600x560 Km (max)	
Délai de repassage	5 jours	
vocation	Observation de la terre	

Les images du satellite Alsat1 présentent un certain nombre d'avantages, qui sont :

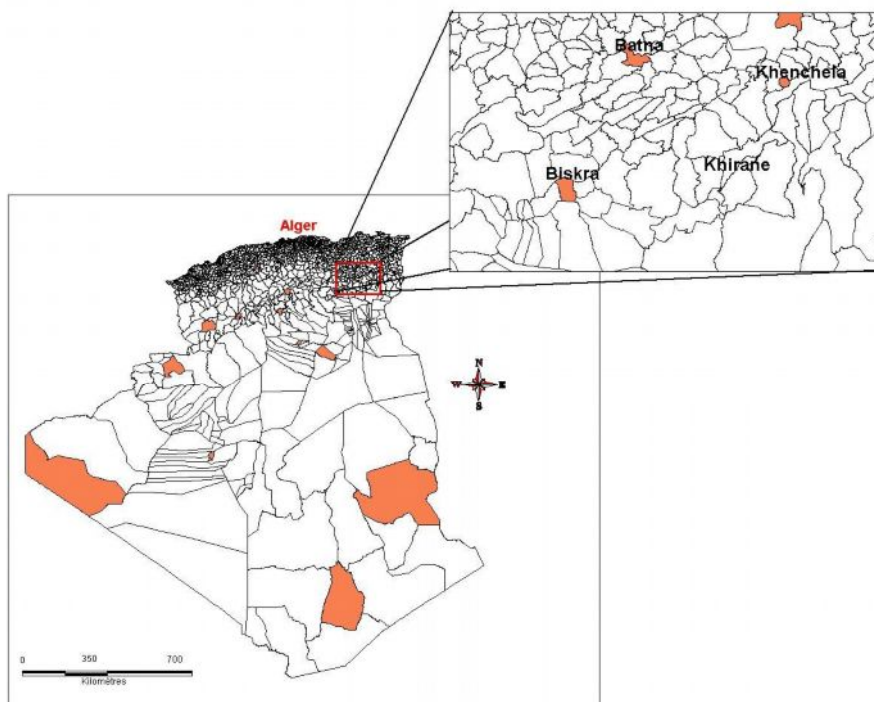
- La couverture d'une grandes superficie « 500 Km × 350 Km » et offre donc une vue synoptique du territoire d'étude.
- Ces images regroupent 03 bandes spectrales assez importantes (02 visibles et 01 proche infrarouge).
- L'information contenue dans l'image peut être cartographié à l'échelle du 1/50.000ème.

L'objectif de cette première partie est l'utilisation des images de satellite Algérien ALSAT 1 pour la réalisation d'une carte d'occupation du sol globale à l'échelle de toute la région des Aurès.

La région des Aurès, située à environ 500 Km au sud Est d'Alger constitue avec les NEMEMCHA l'extrémité orientale de l'Atlas saharien qui représente la limite physique entre le Nord et le Sud de l'Algérie.

Géographiquement, la zone d'étude se localise entre les méridiens ($5^{\circ} 40'$ et $7^{\circ}10'$) et les parallèles ($34^{\circ} 45'$ et $35^{\circ} 33'$) (Fig.34).

Fig. 34 : Carte de la zone choisie pour la réalisation la carte d'occupation du sol de la région des Aurès.



La méthodologie générale du travail est exprimée par l'organigramme ci-dessous dont découle différentes phases d'analyse.

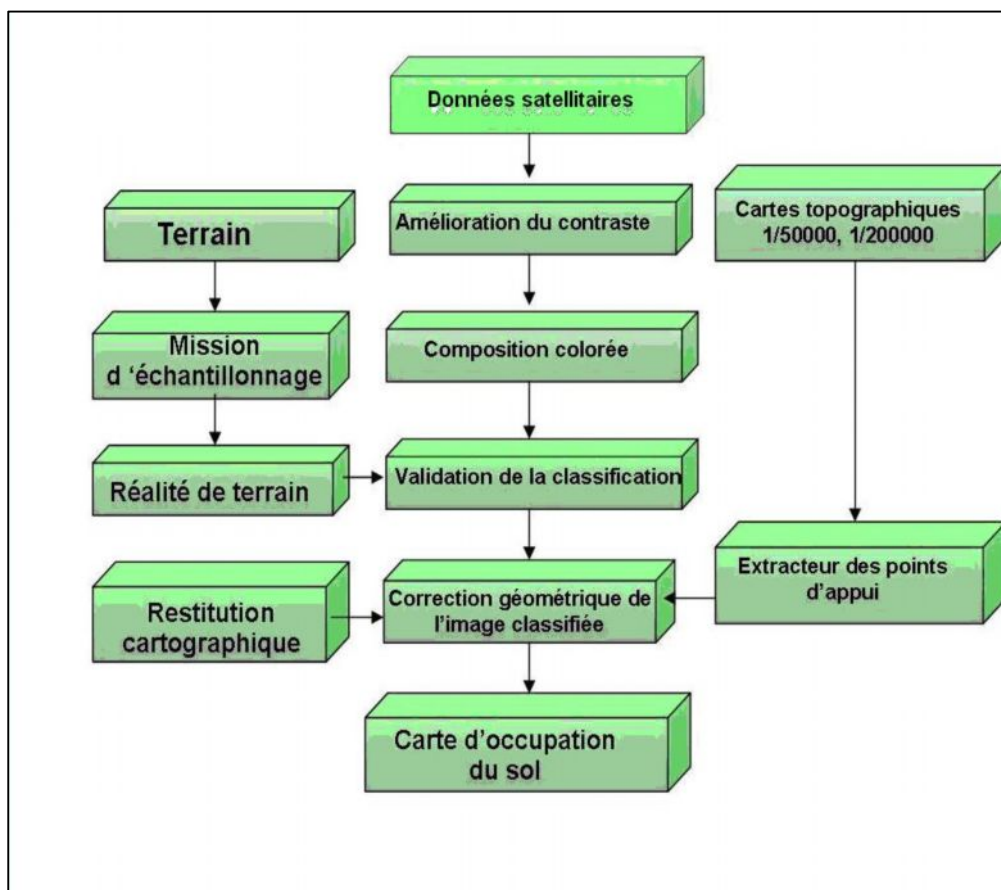


Fig.35 : Organigramme des différentes étapes de la réalisation d'une carte d'occupation du sol.

1.2. Logiciel utilisé (ENVI) :

Le logiciel ENVI offre une très bonne visualisation des données et l'analyse des images ayant des tailles et des formats différents et peut tourner sur les plates formes suivantes :

- Les plates formes UNIX (SUN, DEC, IBN, SGI et HP), LINUX.
- Microsoft Windows 95, 98 et Windows NT sur 80386 processeurs.

Les développeurs du logiciel ENVI sont des scientifiques qui participent actuellement aux recherches concernant la télédétection ; ce qui fait de lui un produit en développement perpétuel et qu'il soit ainsi enrichi par des fonctions multiples relatives à des problèmes et des thématiques variés.

La force du logiciel ENVI réside dans son approche de traitement d'image qui combine les techniques du (file-based) et (band-based) avec des fonctions interactives. Lorsqu'un fichier d'image est ouvert chaque bande est stockée dans une liste puis elle peut être manipulée par toutes les fonctions du système. Si plusieurs fichiers sont ouverts en même temps, on peut sélectionner les bandes qui vont être traitées.

ENVI affiche ces bandes en 8 ou 24 bit. Son groupe de fenêtres d'affichage consiste en 3 niveaux d'agrandissement (Normal image Windows, zoom Windows, et scroll Windows). Il permet de multiples superpositions facilitant ainsi la composition des images dans les différentes fenêtres d'affichage.

L'extraction et le lien (Link) spatial /spectral des données multi-bandes et hyper spectrales donnent à l'utilisateur une nouvelle façon de voir les données à haute résolution. ENVI offre aussi des outils interactifs pour visualiser et analyser des données vecteurs et des données attributives des SIG.

ENVI inclut toutes les fonctions de base pour le traitement d'image. Comme les outils de l'analyse spectrale, la transformation des données, le filtre, la classification, et la correction géométrique. ENVI ne limite pas le nombre de bandes spectrales à traiter c'est pourquoi ses outils sont utilisés pour les données multi-spectrales et hyper spectrales. Il inclut, également plusieurs fonctions permettant l'analyse des données radar.

En général, le logiciel dispose essentiellement de tous les outils nécessaires au traitement d'images dans différentes disciplines, et permet pour chacun d'implémenter sa propre stratégie d'analyse.

Ouverture d'une image sous ENVI :

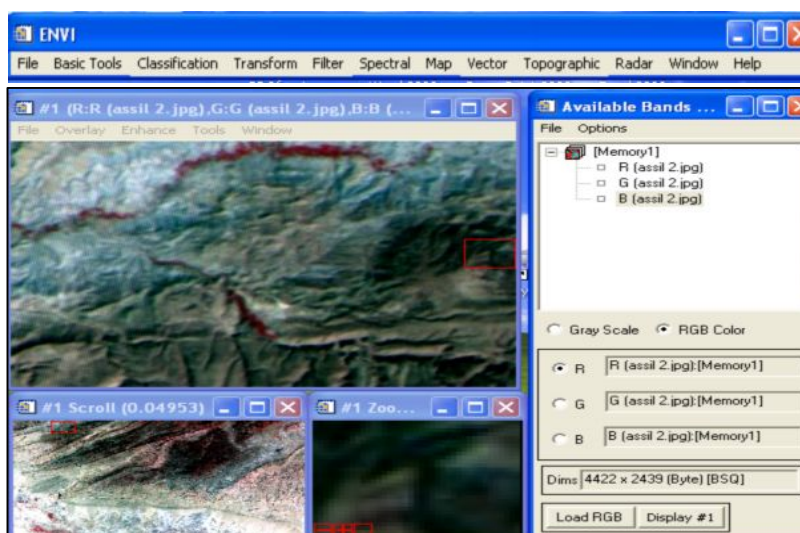


Fig. 36: Image satellitaire sous ENVI 4.0

La figure 36 représente la recopie d'écran de l'image ALSAT 1 lue à l'aide du logiciel ENVI. Le logiciel ENVI a l'avantage de présenter l'image avec trois agrandissements.

1.3-Les différentes phases d'analyse d'image Alsat1:

Le traitement d'image commence par l'extraction du secteur d'intérêt et la correction géométrique de l'image Landsat dans le système de référence UTM/WGS 84, fuseau 30. Les techniques d'amélioration de contraste permettent ensuite d'augmenter la qualité visuelle de l'image.

Avec les données restaurées, la classification automatique présente les données images en un certain nombre de domaines homogènes. Les compositions colorées, réalisées à partir de canaux bruts et la classification automatique servent de guide, lors de la campagne de reconnaissance du terrain.

a- La composition colorée : La composition colorée a été obtenue à partir d'une superposition de trois canaux (B₁, B₂ et B₃) de la scène (Fig. 37).

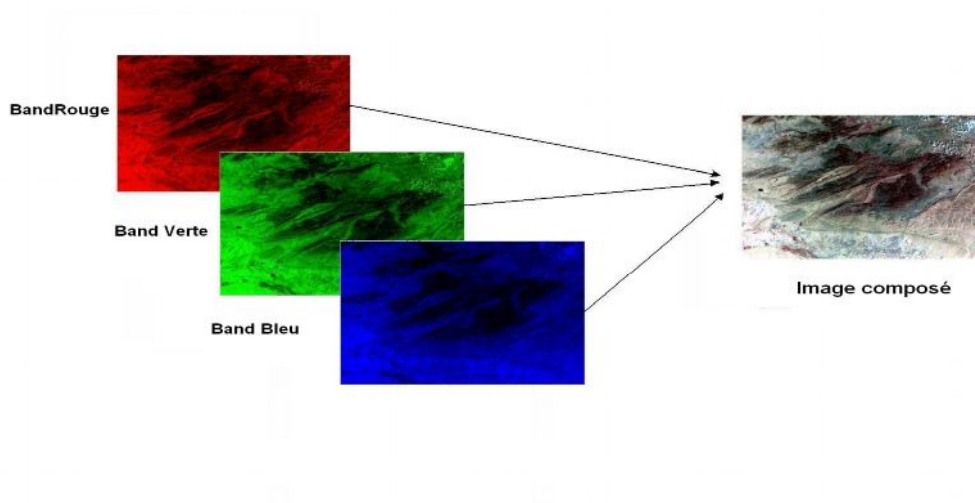


Fig. 37 : La composition colorée de l'image Alsat1

La composition colorée d'Alsat1 a été utilisée comme une image de départ afin de guider les traitements d'images, l'échantillonnage au sol et l'extraction des points d'appui pour une éventuelle correction géométrique.

b- Correction géométrique :

Les corrections géométriques permettent de compenser en totalité ou une partie ces déformations de distorsion. Pour rendre le résultat superposable à un système de

représentation cartographique, il est nécessaire d'appliquer une correction géométrique. Dans cette étude, la rectification est effectuée par l'acquisition des points amers figurant à la fois sur la composition colorée et sur les cartes topographiques (projection UTM fuseau 30). La méthode du plus proche voisin a été utilisée comme méthode d'interpolation pour conserver les classes obtenues (IFTENE et DJERRIRI ,2006). L'écart type moyen (RMS) obtenu à la fin du traitement est de l'ordre de 0,85.

Pour la correction géométrique de l'image (**Fig.38**), un modèle polynomial de déformation de degré (2) a été adopté en utilisant 11 points d'appui de référence.

C- Classification de l'image : Les méthodes de classement ont pour objectif commun la découverte d'un estimateur assurant l'affectation d'une classe parmi c classes disponibles à un individu inconnu sur la base de la connaissance d'un ensemble de m caractères le décrivant (appelés attributs descripteurs) (BROSTAU, 2005). La classification appliquée est de type dirigé, c'est-à-dire basée sur la connaissance de la zone d'entraînement, ou parcelles-test, à travers des données de terrain. La signature d'une classe d'objets n'étant pas unique, dans la réalité, mais composée d'un certain nombre de signatures plus ou moins fréquentes, il peut être opportun de traiter celles-ci à partir de lois probabilistes : cette approche permet d'effectuer alors une segmentation du spectre suivant des règles de décision où les risques d'erreur sont minimisés par calcul de probabilités. La méthode de maximum de vraisemblance (règle de BAYES) est ici utilisée pour classer notre image Alsat1 daté en 2007 en fonction de la nature de l'occupation du sol. Cette méthode est considérée comme une technique puissante de classification. La règle de décision de cette méthode est basée sur la probabilité qu'un pixel d'appartenir à une classe particulière.

1.4- Missions d'échantillonnages et réalité de terrain :

Pour la réalisation et la conception de la carte d'occupation du sol de la région des Aurès, nous nous sommes appuyés sur les données de contact de terrain qui ont été récoltées lors des missions d'échantillonnages (Printemps 2007). Ces missions ont été effectuées pour le repérage et la connaissance d'un certain nombre de parcelles représentatives des différents types d'occupation du sol que l'on rencontre dans la zone d'étude (figure.6) en relation avec leur signature spectrale.



Photo.07 : Forêt claire dégradée dans la région des Aurès.

Cependant, les relevés des parcelles d'entraînement de la classification supervisée in situ ont pu être menés. Ils ont porté sur cinquante parcelles suffisamment homogènes, avec reconnaissance de la nature de l'occupation des sols. L'usage d'un GPS (Global Positionnement System) a facilité la collecte des coordonnées des centres des parcelles.

Nous avons utilisé vingt parcelles d'entraînement, les autres ont servi au contrôle des résultats. Le choix des parcelles qui à été utilisé durant l'étape d'apprentissage de la classification est effectué à la suite d'essais réalisés suivant un sondage aléatoire simple (ASPINALL R. J., 1992) et une sélection des parcelles homogènes d'au moins 500 m de rayon, centré sur les points relevés sur le terrain à l'aide du GPS.

La matrice de confusion permet d'obtenir les précisions du traitement afin de valider le choix des parcelles d'entraînement. Après plusieurs essais, la meilleure classification (reflétant le mieux la réalité du terrain) est conservée et sa validation est obtenue par le calcul des précisions cartographiques, des précisions d'inventaire, de la précision globale et des erreurs d'omission et de commission.

Pour la validation de la classification, nous avons estimé le pourcentage des pixels correctement classés à l'intérieur de chaque polygone test.

L'analyse de cette validation nous a permis d'émettre quelques remarques, notamment : les parcelles tests très homogènes sont particulièrement bien classées quant aux autres parcelles dont le contenu taxonomique correspond en fait à une mosaïque, elles le sont

beaucoup moins. Toutefois, la performance moyenne de la classification est de 82 %. En plus, de l'utilisation de la matrice de confusion pour déterminer la pertinence et la qualité de l'image classée, nous avons essayé de faire un linkage entre l'image classée et la composition colorée. Cette opération est réalisée à l'aide du logiciel de traitement d'images (EN.V.I : *Environment for visualising image*).

1.5-Validation de la classification : Il est possible d'évaluer les performances de cette classification en évaluant le pourcentage et le nombre de pixels correctement classés à l'intérieur de chaque polygone test. La matrice de confusion illustre cette performance (**Tableau, 18**).

L'analyse de ce dernier montre la bonne performance de la classification. Le coefficient de Kappa est supérieur à 90 %.

En plus de la matrice de confusion, nous avons procédé aux calculs statistiques pour permettre la détermination des pourcentages et les surfaces de l'occupation et d'utilisation du sol de chacune des formations présentes dans le tableau suivant :

Unité d'occupation du sol	Superficies en (%)	Superficies en ha
Forêt dense	04,36	5.4151
Forêt Claire	04,85	60.275
Forêt très Claire	11,63	144.537
Cultures irriguées	03,04	37.781
Parcours des plaines	05,36	66.614
Parcours des steppes	08,44	104.892
Sol nu dominée par texture sableuse	14,69	182.567
Sol nu et terrain rocheux	27,53	342.142
Eau de barrage	00,58	6.835
Cours d'eau	06,29	78.172
Terres nu des affleurements marneux	06,24	77.550
Ombre	06,94	86.250
Total	100.00	1.242.800

Tableau.19 : Pourcentages et surfaces des unités d'occupation du sol

Thèmes d'occupation et d'utilisation du sol	Forêt dense	Forêt Claire	Forêt très Claire	Cultures irriguées	parcours des plaines	Parcours des steppes	sol nu dominée par texture sableuse	Sol nu et terrain rocheux	Eau de barrage	cours d'eau	Terres nu des affleurements marneux	Ombre	Total en Pixel
Forêt dense	6589	629	1295	0	0	0	0	1	42	0	0	123	8679
Forêt Claire	581	2258	1598	0	0	0	0	40	0	0	0	24	4501
Forêt très Claire	316	923	5939	85	46	0	0	108	3	0	0	76	7496
Cultures irriguées	0	70	1105	1179	0	0	2	40	0	0	0	0	2396
parcours des plaines	0	0	4	0	4724	31	0	332	3	0	234	32	5360
Parcours des steppes	0	0	0	0	38	5253	8	148	1	17	25	0	5490
sol nu dominée par texture sableuse	0	0	0	13	0	112	3892	457	0	1	20	0	4495
Sol nu et terrain rocheux	0	68	1391	32	113	75	136	4530	1	2	117	1	6466
Eau de barrage	68	14	29	0	0	0	0	31	612	0	0	38	792
Cours d'eau	0	0	0	0	0	195	33	1	0	332	17	0	578
Terres nu des affleurements marneux	0	0	67	0	77	43	0	207	18	0	2359	40	2811
Ombre	2943	456	996	0	3	0	0	107	488	0	3	4314	9310
Total en pixel	10497	4418	12424	1309	5001	5709	4071	6002	1168	352	2775	4648	58374

Tableau. 18 : Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image Alsat1 pour la période de 2007.

1.6-Résultats et interprétation :

Les résultats obtenus par la classification supervisée du maximum vraisemblance ont servi à dresser la carte d'occupation du sol géoréférencée après l'étape de correction géométrique.

La carte final (**Fig.39**) d'occupation du sol des Aurès représente des informations très importantes par l'identification et l'inventaire de l'espace, en général les formations forestières, les parcours, les cultures, les sols dépourvus de la végétation, les infrastructures ainsi que les cours d'eau sont bien identifiables.

La carte de l'état du couvert forestier dense et claire (**Fig.40**) montre que 20,84 % de la superficie totale de la région des Aurès (258.963 ha) est couverts de forêt à l'état de dégradation. Par contre, les forêts denses occupent 04,36 % et se trouvent en général sur les sommets.

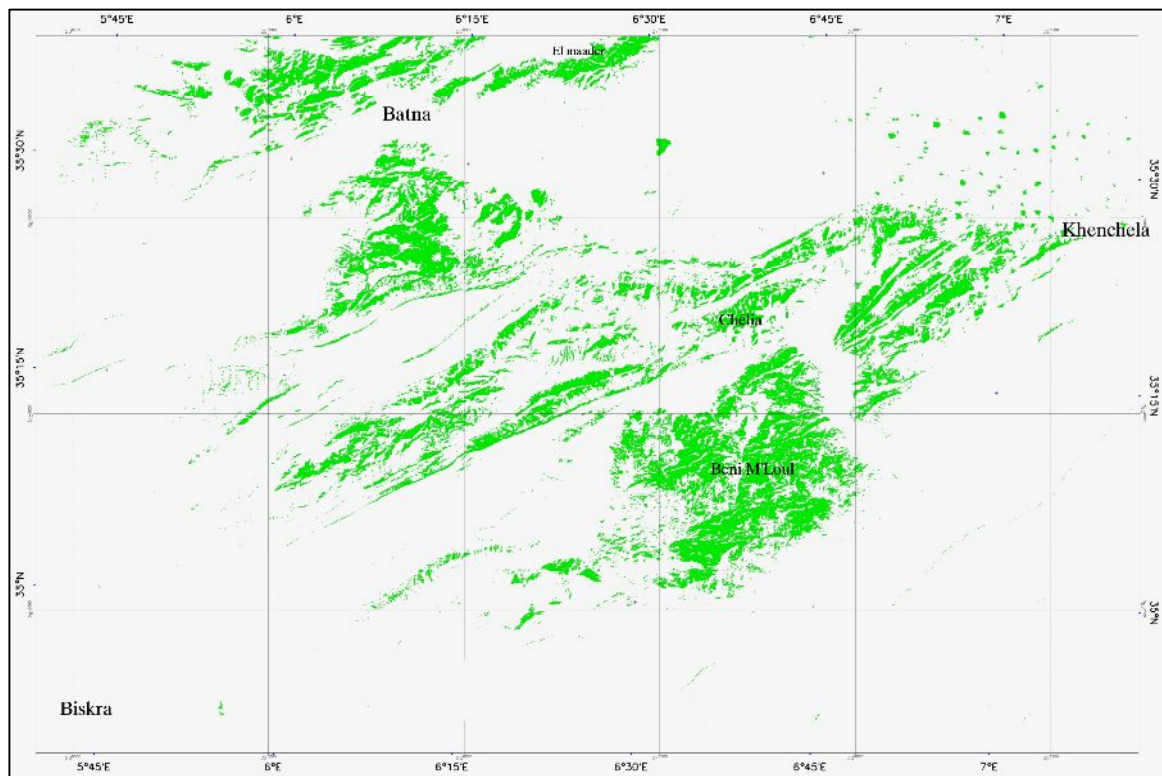


Fig.40 : Carte de l'état du couvert forestier dense et claire en 2007.

Les zones de cultures et les surfaces des cours d'eau couvrent 09,33 % de la surface totale de la zone d'étude, bien qu'ils soient par endroits sur le substratum rocheux. Les sols nus et

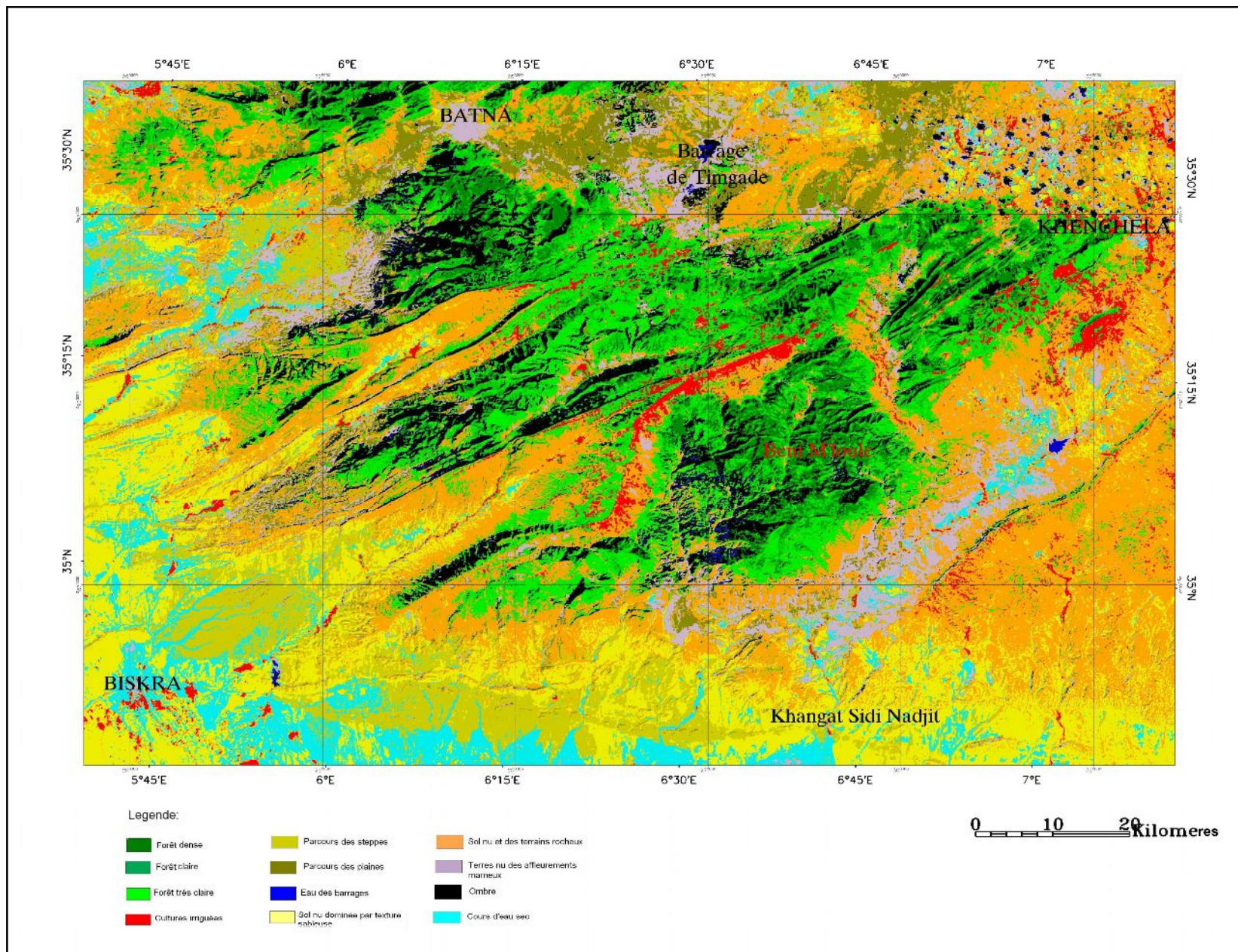


Fig. 39 : Carte d'occupation du sol de la région des Aurès.

les zones de cultures sont généralement contigus et principalement localisés sur les formations meubles siliceuses et sableuses.

Les zones de cultures occupent des endroits où la matrice argileuse et sableuse des sols l'emportent sur la porosité. Les sols nus dominés par la texture sableuse et les zones de cultures sont contigus à cause de la pratique agricole de rotation des cultures et de la répartition de la pluviosité. La surexploitation, qui s'explique par la rareté des zones cultivables due à la forte porosité, épuise les sols. Les sols nus peuvent aussi s'expliquer par la présence de sols labourés prêts à être cultivés.

En général, la région des Aurès présente un faible taux de couvert végétal. Ce taux s'explique d'abord par le climat semi-aride caractérisé par une faible pluviosité. Ensuite, les formations meubles sur lesquelles poussent les végétaux se ressentent généralement de façon excessive à cause de leur faible aptitude à la rétention d'eau. Enfin, les activités humaines (labours et coupes de bois de feu) contribuent à réduire la densité du couvert végétal. Les rares taux élevés de couvert végétal se rencontrent sur les sommets car ce sont généralement des endroits d'accès difficiles.

1.7- Conclusion :

L'utilisation de l'imagerie Alsat1 a permis d'obtenir les grandes classes d'occupation du sol en un temps réduit;

La possibilité de disposer périodiquement des images Alsat1 permettra le suivi de l'évolution des zones semi-arides à des grandes échelles.

La carte d'occupation du sol, pour une date donnée, reste un document nécessaire mais insuffisant pour le suivi de l'évolution du milieu naturel, notamment sur les deux décennies.

La carte d'occupation et d'utilisation du sol reste un document nécessaire et un complément pour une meilleure appréhension de l'évolution rapide du phénomène de dégradation et les conséquences qui en découlent. Pour cela, la surveillance régulière de ce phénomène sur de longues périodes en utilisant les imageries satellitaires de haute résolution pourrait mieux évaluer le mécanisme du phénomène d'évolution sur le terrain.

2- ETUDE DE DEUX CAS REPRESENTATIFS : SUIVI DIACHRONIQUE DE LA DESERTIFICATION DANS LA REGION DES AURES.

1^{er} CAS : LA ZONE CENTRE DU SUD DES AURES :

La détection et l'identification des changements, apparaissant à la surface de la terre, constituent l'une des préoccupations essentielles pour les scientifiques et les gestionnaires impliqués dans la compréhension et la gestion des écosystèmes naturels et artificiels (MANIERE, 1987). Ainsi, ces dernières années, on assiste à un véritable changement dynamique des zones semi-arides et arides avec l'avancée et l'extension de la désertification vers le nord du pays. En effet, les effets néfastes des périodes de sécheresses à partir des années 1970 conjugués avec l'accroissement de la population ainsi que la conjoncture qu'a connue le pays dans les années 1990 ont fortement bouleversé l'équilibre fragile des milieux arides.

La connaissance des transformations actuelles des surfaces terrestres représente un enjeu important pour l'évaluation des problèmes environnementaux. Ainsi, les dynamiques spatio-temporelles de l'occupation et de l'utilisation des sols constituent un des critères essentiels à prendre en compte dans la mise en œuvre de décisions fondées sur le concept de développement durable, tant à une échelle globale qu'à une échelle régionale et locale. En outre, l'observation des changements actuels et passés des modes d'usage des sols et la compréhension des facteurs qui les produisent permettent, dans le cadre d'études prédictives ou prospectives.

Nous essayerons par une approche spatiale reposant essentiellement sur des données de télédétection à mettre en évidence la présence de structures paysagères et les évolutions récentes des changements d'occupation et d'utilisation des sols à une échelle locale (Etude de cas) tout en envisageant leur détection à une échelle régionale, et à effectuer une modélisation diagnostique et pronostique de l'occupation et de l'utilisation des sols.

La dégradation des terres dans ces écosystèmes déjà fragilisés par les conditions climatiques et édaphiques, nécessite surtout et avant toute intervention, des recherches approfondies en amont : répertorier l'ensemble des facteurs impliqués de façon directe ou indirecte dans l'évolution du milieu et surtout, chercher à savoir comment ces facteurs se conjuguent et interagissent dans le temps et dans l'espace.

L'objectif de cette deuxième partie est de montrer d'une part, le potentiel de la télédétection pour la caractérisation de l'occupation du sol de la zone d'étude et d'autre part son évolution spatio-temporelle à partir des traitements effectués sur deux images satellitaires de Landsat de 2001 et de 1987.

Géographiquement, la zone choisie se localise dans la partie centre du sud des Aurès (**Figure 41**), entre les méridiens 6° 00' et 6°40' Est et les parallèles 35°00' et 34°45' Nord.

Du fait de la nature fragile des sols, de la topographie accentuée, de l'extension récente et rapide des terres agricoles (Programme National de Développement Agricole-Phase I - 2000-2004) et de la surexploitation des parcours (base principale de l'alimentation des cheptels), ces milieux sont constamment confrontés aux problèmes de dégradation et par conséquent à la modification du climat ainsi que la vulnérabilité de ces zones à la désertification.

Le phénomène de dégradation des sols s'est amplifié avec le temps en raison des transformations socioéconomiques et des mutations des systèmes de production que connaît le monde pastoral. En effet, la conjonction de plusieurs facteurs a favorisé l'installation d'un nouveau mode de vie : développement de la sédentarisation par rapport au semi-nomadisme, croissance démographique, augmentation des besoins de la population, défrichements des forêts et des meilleurs parcours au profit des cultures céréalières, augmentation du cheptel induisant une gestion incontrôlée des ressources naturelles. Cette situation est aggravée ces dernières années par la diminution de la pluviométrie, l'irrégularité des précipitations et l'augmentation de la probabilité des périodes de sécheresse. Ces facteurs qui ont modifié l'équilibre du milieu, constituent des conditions favorables au déclenchement de la désertification. Selon plusieurs chercheurs ayant travaillé sur cette zone (ABEDSSAMED, 1981,1984 ; NACER, 2002 ; BERKANE, 2007), il s'agit bien d'une désertification progressive dont l'être humain est le principal responsable et cela par ses mauvaises gestions et utilisations irrationnelles de ces écosystèmes très fragiles.

2.1-Traitements de l'image :

La démarche adoptée consiste à utiliser des images satellitaires brutes de satellite américain Landsat 5 et 7 à des dates différentes (27 avril 1987 et 10 avril 2001) et un travail d'échantillonnages pour la confrontation avec la réalité de terrain, afin d'effectuer

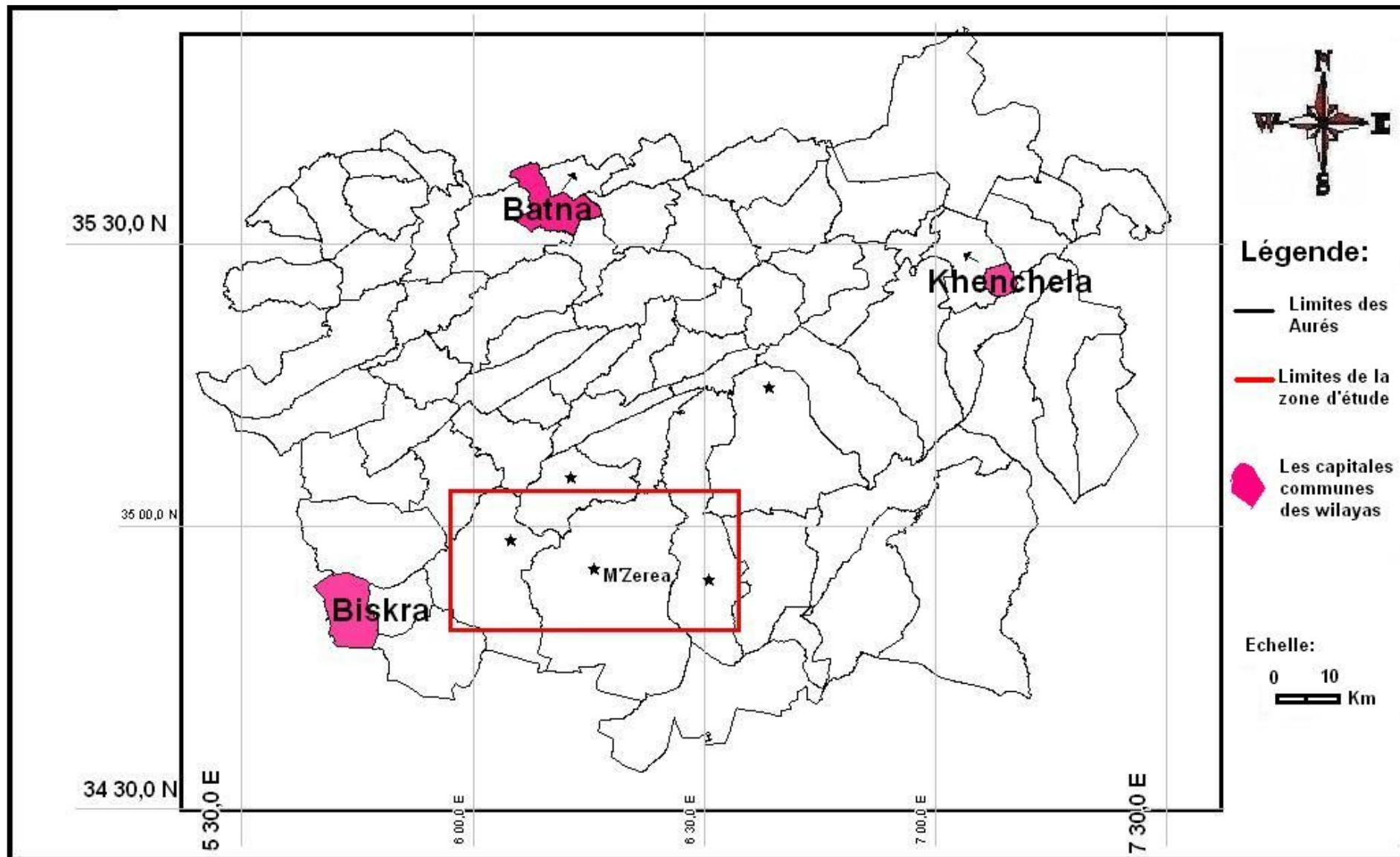


Fig. 41 : Carte des Aurès et limites de la zone d'étude.

une analyse thématique de ce milieu, et pour visualiser les changements globaux qui se sont produits dans cette zone.

2.1.1-Correction radiométrique et atmosphérique :

En télédétection, l'information concernant la surface de la terre est le rayonnement électromagnétique. Les mesures satellitaires, faites au niveau du capteur embarqué sur un satellite, sont généralement très difficiles à exploiter pour un processus d'interprétation des images, puisque les propriétés du rayonnement sont perturbées par l'atmosphère au cours du double trajet : soleil -terre et terre -capteur.

La propagation du signal dans l'atmosphère et les caractéristiques propres du capteur introduisent une distorsion dans la mesure radiométrique. La couverture nuageuse rend difficile en effet l'acquisition de mesures régulièrement réparties dans le temps. Dans une étude multi-dates ou un suivi dynamique régulier d'un phénomène par télédétection, il est opportun de corriger les images radiométriquement, car ces dernières sont prises dans des conditions de prise de vue très différentes (éclairage solaire, coefficient de calibration, angle zénithal, angle azimutal, etc.) qui changent au cours du temps (BELGHITH. 2003).

La correction radiométrique a pour but de minimiser ces perturbations causées par l'atmosphère, et de déterminer la vraie réponse spectrale, reçue par le satellite, de la cible visée. Pour cela, nous faisons appel à des modèles de correction radiométrique et atmosphérique pour :

- Une étude multitemporelle, afin de mettre les images dans un même référentiel radiométrique, ce qui rend facile la détection des changements réels qui ont eu lieu entre les différentes dates;
- Réaliser des mesures absolues dont le but est de suivre la dynamique d'un phénomène donné;
- Améliorer le processus de classification automatique.

2.1.2-Critères de choix des images satellitaire et des canaux multi-spectraux :

Le choix de type des images satellitaires dépend de plusieurs critères et plus particulièrement de la dimension spatiale de la zone d'étude et le nombre des scènes réduites (BENSAID et al, 2003)

Les images du satellite Landsat TM et ETM+ présentent l'avantage de couvrir par une seule scène une grande superficie «185 Km X 185 Km» et offrent donc une vue synoptique du territoire d'étude.

La zone pilote est couverte par les scènes TM et ETM+ 192/36 du date 1987 et 192/36 du 2001, à l'extraction d'images de dimensions égales (2400 x1200 pixels).

Chaque objet naturel est identifié par sa signature spectrale. Il ne réagit pas de la même façon le long du spectre électromagnétique.

L'analyse de la signature spectrale des différents objets de l'occupation du sol est une étape importante pour le choix des canaux ETM+ des scènes Landsat.

2.1.3-Composition colorée et amélioration de la qualité des images :

Dans cette étape, nous avons préféré travailler sur la combinaison des bandes 4, 2 et 1; car la sélection des trois meilleures bandes spectrales à une forte variance et une corrélation faible. Nous considérons que les trois bandes spectrales sélectionnées présentent le maximum d'information concernant l'occupation et l'utilisation du sol (**Tableau.20**).

D'après ce dernier, la combinaison des trois bandes représente le maximum d'information pour notre région d'étude. Toutefois, nous avons préféré travailler sur la combinaison des bandes 1, 2 et 4; car sur cette combinaison de canaux l'aspect visuel naturel des différentes unités paysagères est mieux représenté. En effet, les espaces nus sont facilement identifiables et apparaissent avec une couleur jaunâtre.

Tableau.20 : Caractéristiques et équivalences des canaux utilisés de Landsat 5 et 7.

Canaux	Longueur d'onde	Caractéristiques et équivalences
1	0,45 à 0,52 μm	<i>Bleu-vert : Maximum de pénétration d'eau, qui est utilisé pour la cartographie bathymétrique dans les eaux peu profondes et aussi à différencier le sol de la végétation.</i>
2	0,52 à 0,60 μm	<i>Vert. Présence des pics de réductances vertes de la végétation, utilisée pour la détermination des plantes vigoureuses.</i>
4	0,76 à 0,90 μm	<i>Proche Infrarouge : Utilisable pour déterminer la contenance de la biomasse et pour la cartographie littorale</i>

2.2. Missions de reconnaissance et données de terrain :

Plusieurs missions de reconnaissance de terrain ont été effectuées pour le repérage et la connaissance d'un certain nombre de parcelles représentatives des différents types d'occupation du sol que l'on rencontre dans la zone d'étude (**Figure.42**).

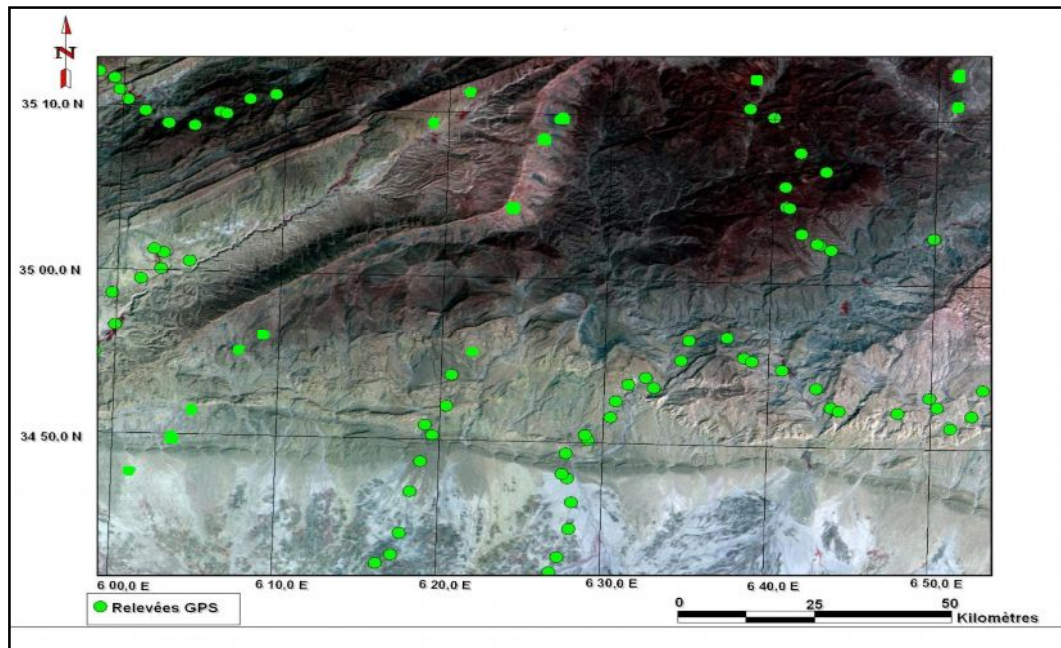


Fig. 42 : Carte des relevés GPS et échantillonnage sur image).

Avant d'entamer les missions de repérage des zones test à l'aide de GPS et des fiches descriptives (En annexe) des stations d'échantillonnage, nous étions amenés à faire un travail préliminaire de la classification supervisée.

Enfin, après confrontation de l'image à la réalité physique (composition colorée avec les informations récoltées sur terrain) une généralisation de l'analyse de l'image a été établie à partir des clés d'interprétation. Cette généralisation a par conséquent abouti à une typologie des principales occupations du sol retenues dans cette étude :

- Forêt dense;
- Forêt claire
- Cultures irriguées;
- Parcours ;
- Terrains rocheux

- Sols sableux;
- Sols nus;
- Cours d'eau et terrains humides
- Affleurements des marnes.

Les méthodes de classification (opérations sur les valeurs spectrales) permettent de faire correspondre des groupements de valeurs radiométriques dans les différents canaux à une thématique donnée. Le but est de rassembler en classe les points qui sont censés représenter les mêmes objets.

L'opération « classification » des images a nécessité de délimiter spatialement les parcelles test sur la composition colorée. Dès lors, en utilisant le logiciel ENVI 4.0, une véritable image de la réalité de terrain a été créée sur la trichromie dont les valeurs radiométriques qui les caractérisent serviront de référence pour l'ensemble des pixels non pris en compte dans cette image de vérité terrain. Cependant, la saisie de la réalité du terrain est réalisée sur des fenêtres de la scène totale représentant la région d'étude, afin de travailler à pleine résolution (**Figure, 43**).

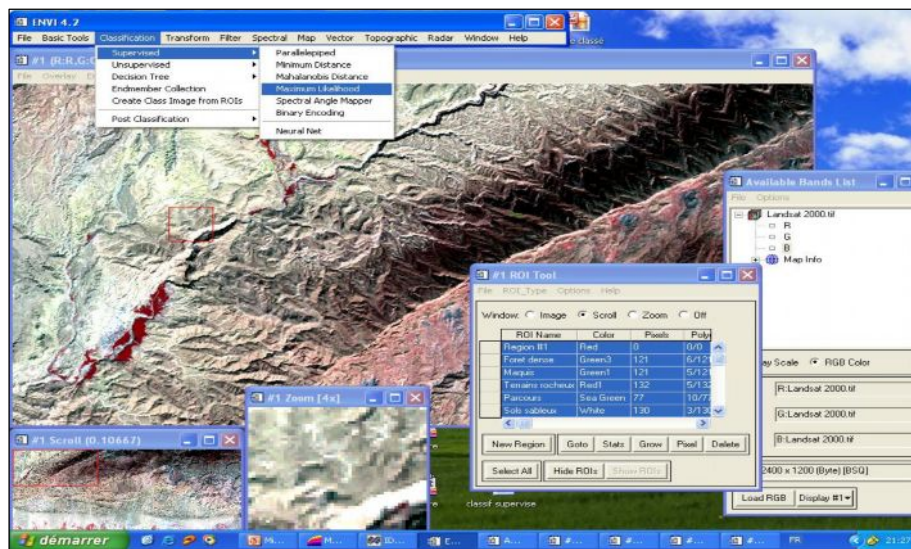


Fig.43 : Technique de la classification de la composition colorée.

Chaque réalité de terrain décrit une occupation du sol précise où sont associés un nom de classe et une couleur qui la différencie des autres thèmes. Les valeurs radiométriques

caractérisant cette réalité terrain résulteront de la moyenne des valeurs radiométriques prises par la totalité des pixels contenus dans l'ensemble des parcelles décrivant cette réalité de terrain. Un écart type moyen autour de cette valeur radiométrique est aussi calculé décrivant la variabilité de réponse radiométrique de la réalité considérée.

2.3-Validation de la classification : Il est possible d'évaluer les performances de cette classification en évaluant le pourcentage et le nombre de pixels correctement classés à l'intérieur de chaque polygone test. La matrice de confusion de l'estimation des images TM et ETM+ illustre cette performance. Cette évaluation a été complétée par des visites sur le terrain visant à valider la classification effectuée sur les images.

Grâce à cette interprétation nous avons pu extrapoler pour ces zones présentant des critères de similitudes (teinte de couleur, forme géométrique, signature spectrale) qui s'approchent des zones ayant subi une reconnaissance de terrain. **Les tableaux 21 et 22** illustrent cette performance.

De cette analyse il ressort que malgré les différents types d'images utilisées (TM et ETM+), nous arrivons à avoir une performance moyenne de la classification de l'ordre de 89.27%. Il est à noter que les confusions qui existent entre les différentes catégories de l'occupation et d'utilisation du sol de la région d'étude ont été levées grâce à une interprétation visuelle effectuée sur l'image classifiée.

Les parcelles test homogènes sont particulièrement bien classées, c'est le cas des classes : Parcours, les sols sableux, et les cultures irriguées dont le pourcentage de précision statistique (indice de HELLDEN2) est supérieur à 90%. Ces catégories d'occupation du sol sont bien appréhendées et bien restituées, leur précision cartographique est fidèle avec moins de 8 % d'imprécision;

Les parcelles test dont le contenu taxonomique correspond en fait à une mosaïque sont moins performants, citons par exemple les classes : Forêt dense, claire et les sols nus dont le pourcentage de précision statistique ne dépasse pas les 85 %. Cela est dû à une certaine confusion entre ces parcelles. En effet, sur les 2097 pixels affectés à la classe des forêts dense 1857 sont trouvés bien classées (**Tableau, 21**).

En plus de la matrice de confusion, nous avons procédé aux calculs statistiques pour permettre la détermination des pourcentages de l'occupation du sol de chacune des formations présentes dans la zone d'étude.

	Forêt dense	Forêt Claire	parcours	Cultures irriguées	Terrains rocheux	sols nus	sols sableux	Affleurements des marnes	cours d'eau.	Total en pixel
Forêt dense	1857	230	0	3	4	0	0	0	3	2097
Forêt Claire	128	2022	0	17	74	0	0	0	0	2321
parcours	0	4	757	13	27	45	5	2	0	869
Cultures irriguées	4	31	3	558	25	0	0	0	0	661
Terrains rocheux	3	62	38	25	1279	75	2	4	0	1488
sols nus	0	0	50	0	79	1159	87	0	6	1381
sols sableux	0	0	4	0	2	75	1129	4	15	1229
Affleurements des marnes	0	4	2	8	6	3	9	405	34	471
cours d'eau	0	0	41	2	0	4	42	19	261	396
Total en pixel	1972	2353	895	626	1496	1361	1274	434	335	10746

Tableau.21 : Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de Landsat pour la période de 1987.

	Forêt dense	Forêt Claire	parcours	Cultures irriguées	Terrains rocheux	sols nus	sols sableux	Affleurements des marneux	cours d'eau	Total en pixel
Forêt dense	1313	177	0	0	0	0	0	0	0	1490
Forêt Claire	165	2296	0	2	21	0	0	0	0	2484
parcours	0	0	1472	4	6	34	12	5	3	1536
Cultures irriguées	1	34	0	625	11	1	0	1	2	675
Terrains rocheux	3	65	24	8	1218	92	0	0	0	1410
sol nu	0	0	77	2	34	2041	32	8	47	2241
sols sableux	0	0	5	0	0	4	2125	0	2	2136
Affleurements des marnes	2	0	8	1	0	0	0	753	33	797
cours d'eau	0	0	34	24	1	18	43	42	346	508
Total en pixel	1484	2572	1620	666	1291	2190	2212	809	433	13277

Tableau.22 : Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de Landsat pour la période de 2001.

2.4- Conception de la carte d'occupation du sol:

La conception de la carte d'occupation du sol, de l'image corrigée jusqu'au produit fini, à nécessité deux étapes

- Correction géométrique de l'image classée ;
- Superposition des plans d'informations sur la carte d'occupation du sol

2.5 - Résultats obtenus et Interprétation:

Les résultats obtenus sont représentés sous forme de support cartographique (**Fig.43**) identifiant les diverses composantes de l'espace étudié, notamment l'évolution du couvert forestier, des parcours et les cultures irriguées afin de permettre une analyse du processus du phénomène de dégradation.

Dans le cadre de cette étude, l'accent a été mis sur le traitement de données de télédétection diachronique pour le suivi de l'évolution de la dégradation dans un milieu semi-aride.

Les différents traitements effectués sur les deux scènes des images pendant la période de 1987 et 2001 ont permis d'obtenir la carte du suivi de l'occupation et de l'utilisation des sols dans le sud des Aurès.

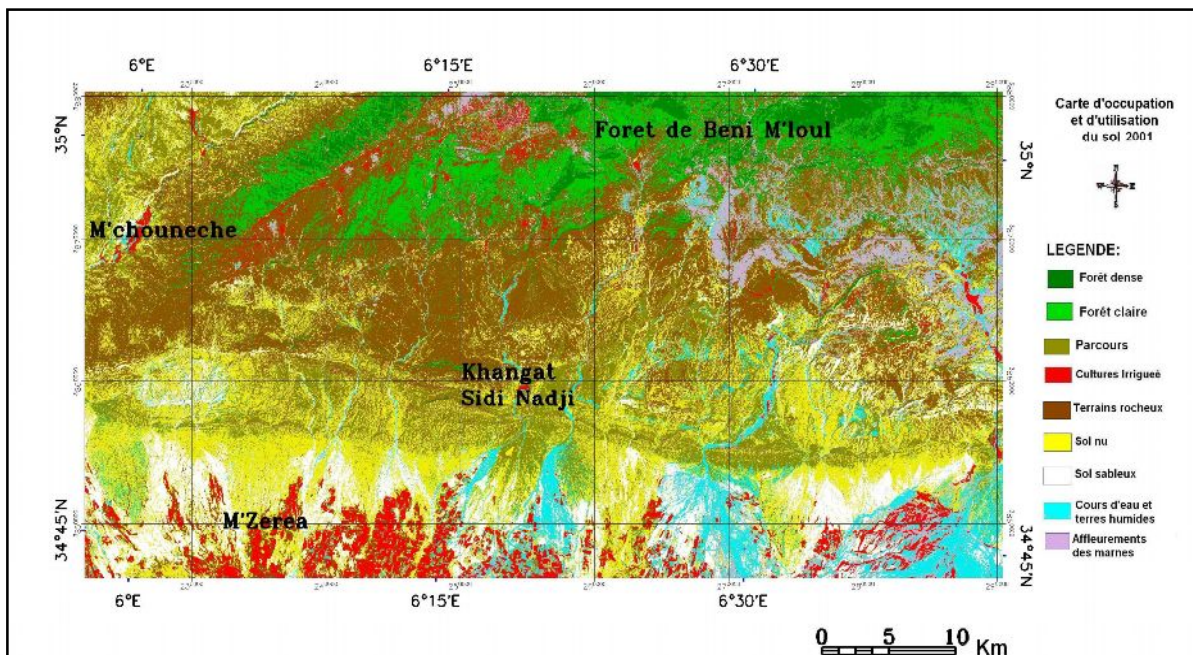
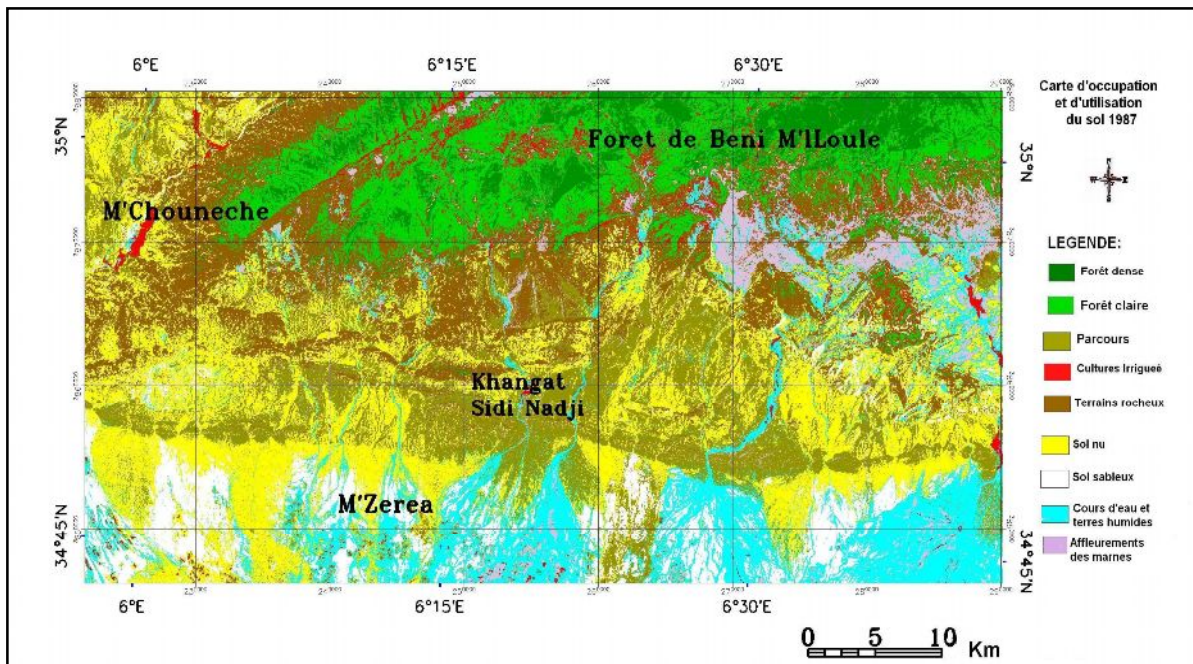


Fig. 44 : Carte de suivi de l'occupation et d'utilisation du sol entre 1987 et 2001 dans le Sud centre des Aurès.

L'utilisation des données de télédétection à travers le suivi de la couverture des sols et de la composition colorée diachronique nous a permis de mettre en évidence le bilan de l'occupation des sols entre 1987 et 2001.

Ces interactions des classes entre ces deux dates concernent les mutations des unités paysagères dans cette zone.

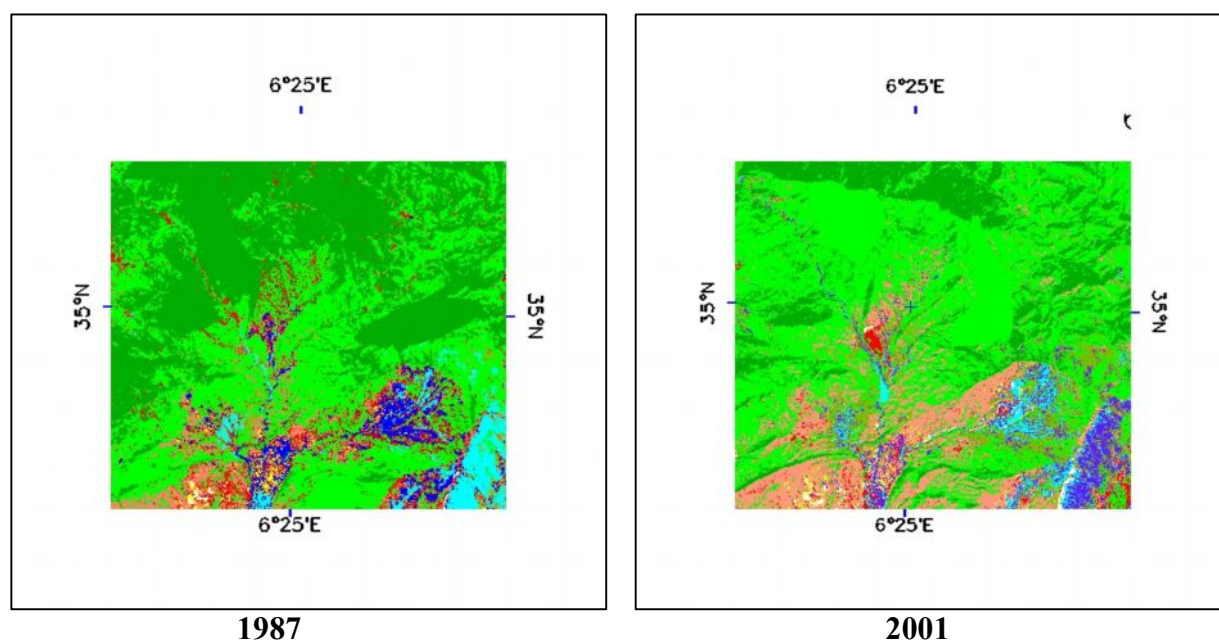


Fig.45 : Des fenêtres de détection des changements d'occupation du sol entre 1987 et 2001 de la zone d'étude de cas.

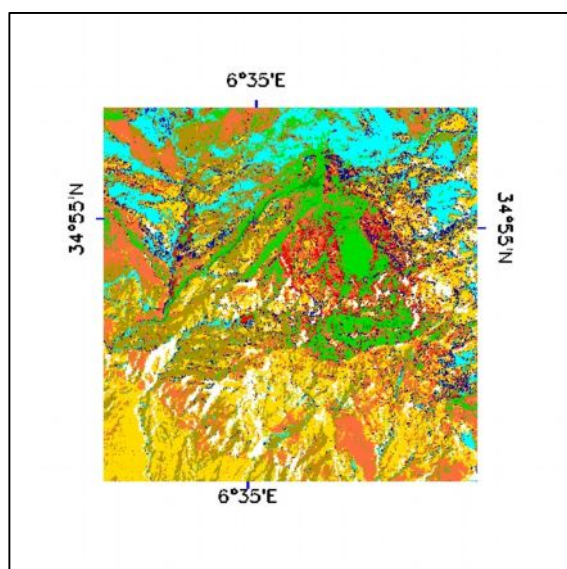
En effet, l'observation du tableau 3, qui représente les pourcentages et les surfaces en hectares d'occupation et d'utilisation du sol déduit de la matrice de confusion montre que :

Cette zone a subi des changements importants qui se manifestent par une réduction du couvert forestier dense et clair de l'ordre de 6 % qui semble être liée à des conditions climatiques sévères, notamment, à la sécheresse qui a sévit pendant le début des années 1990, ainsi qu'à des conditions anthropiques défavorables telles que les incendies et les exploitations abusives du bois.

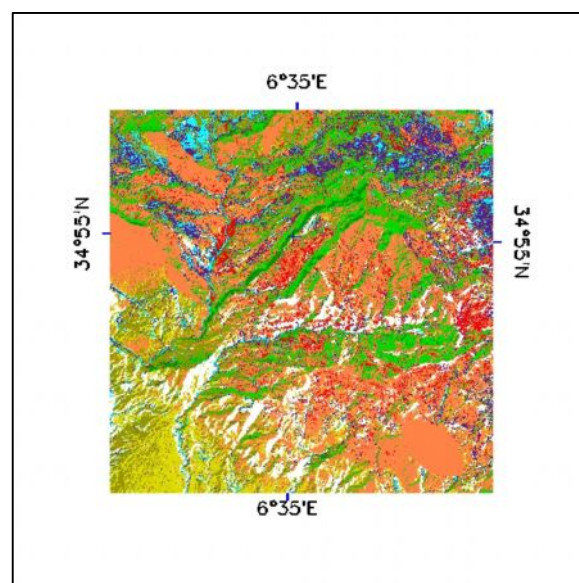
Unité d'occupation et d'utilisation du sol	Superficies en (%) 1987	Superficies en hectare 1987	Superficies en (%) 2001	Superficies en hectare 2001
Forêt dense	06,81	15930	03,70	8655
Forêt Claire	10,47	24492	07,70	18012
Parcours	15,64	36586	14,19	33194
Cultures irriguées	2,63	6152	05,08	11883
Terrains rocheux	18,73	43814	25,24	59043
Sols nus	22,67	53031	20,39	47697
Sols sableux	08,43	19720	10,35	24211
Affleurements des marnes	04 ,55	10643	06,88	16094
Cours d'eau et zones humides	10,04	23486	05,75	13450
Totale	100.00	233928	100.00	233928

Tableau.23 : Comparaison des surfaces des unités d'occupation du sol entre 1987 et 2001.

L'extension des terrains rocheux et les affleurements marneux sont liée à la régression du couvert forestier et des parcours : leurs pourcentages ont passés de 18,73 % à 25,24 % et de 4,55 % à 6,88 % respectivement.



1987



2001

Les superficies des cultures irriguées ont enregistré une augmentation de 02.63 % à 05.08 % au profit des sols nus et des terrains humides, liés à l'influence des cours d'eaux, ainsi qu'à l'apparition des cultures fourragères et maraichères du programme PNDA (2000-2004).

Les zones de cultures occupent des lits des cours d'eau et des zones humides (zones bordant les Oueds) où la matrice argileuse et sableuse favorisent, par sa porosité et sa rétention de l'eau cette installation. Les sols nus dominés par une texture sableuse sont localisés surtout à coté des zones de cultures à cause des pratiques agricoles axées sur l'intensification de l'agriculture aussi bien qu'à l'ensablement des sols justifié par une augmentation de 08,47 % à 10.35 %.

D'autre part, à la lecture globale des résultats issus de la carte de suivi, nous remarquons une dégradation du couvert forestier selon un gradient croissant du Nord au sud et d'Ouest en est. Enfin, les activités humaines (labours et coupes de bois de feu) contribuent à réduire la densité du couvert végétal. Les rares beaux peuplements forestiers se sont réfugiés sur les sommets car ce sont généralement des endroits d'accès difficiles.

2.6. Conclusion :

Les résultats obtenus à partir des classifications des images satellitaires et la vérification de terrain montrent l'existence d'une dégradation importante de la forêt, des parcours et des sols nus.

Cette étude multi-dates représente un diagnostic révélateur d'un phénomène de dégradation de ces régions aboutissant à une régression considérable du couvert végétal. Ce résultat constitue un indicateur de déclenchement du phénomène de désertification dans ces régions.

La connaissance des transformations actuelles des surfaces représente un enjeu important pour l'évaluation des problèmes environnementaux. Ainsi, les dynamiques spatio-temporelles de l'occupation et de l'utilisation des sols constituent un des critères essentiels à prendre en compte dans la mise en œuvre de décisions fondées sur le concept de développement durable, tant à une échelle globale qu'à une échelle régionale et locale. En outre, l'observation des changements actuels et passés des modes d'occupation des sols et la compréhension des facteurs qui les produisent permettent, dans le cadre

d'études prédictives ou prospectives, de simuler des changements et les scénarios futurs à travers des images prises sur de nombreuses dates et des approches intégrées.

2ème CAS : LA ZONE SUD- EST DES AURES :

Dans ce cas notre travail est basé sur l'utilisation de trois images de dates différentes : Deux de Landsat (1987, 2001), et une de ALSAT1 (2007). Le traitement a commencé par une amélioration de la qualité visuelle afin de pouvoir lui appliquer les corrections radiométriques et géométriques.

Pour traiter l'image, nous avons utilisé les logiciels ENVI 4.0, notamment pour la lecture, la classification et le géoréférencement de l'image.

Une fois l'image traitée, nous avons procédé à la classification pour extraire des informations thématiques contenues dans les données de télédétection. Parmi les nombreux algorithmes de classification, nous avons retenu celui de la classification supervisée.

2.1- Choix des canaux et échantillonnage :

L'information apportée par un seul canal ne permet pas toujours de donner un détail satisfaisant pouvant refléter de près ce qu'on espère faire ressortir à partir des données de télédétection. Pour se faire, on a recours à la combinaison de trois 03 canaux TM1, TM2 et TM4 de Landsat, et pour l'image Alsat1 les bandes (1, 2, 3) en donnant à chacune l'une des trois couleurs fondamentales : Bleu, Vert, ou Rouge ; c'est-à-dire en associant les couleurs primaires dans l'ordre de classement correspondant à leur longueur d'onde à s'avoir : Vert, Rouge, proche infrarouge.

Le résultat final correspond à une image trichrome appelée composition colorée dans laquelle les thèmes se distinguent par les différentes nuances des trois couleurs de base.

2.2. Correction géométrique :

Pour rendre le résultat superposable à un système de projection, il est nécessaire d'appliquer une correction géométrique. Elle consiste à faire une correction de type carte image. Nous avons choisi l'image ALSAT1 (2007), comme image de base, et cela pour la bonne qualité qu'elle présente par rapport aux avantages qu'offre le logiciel ENVI pour la création de nouvelles projections. Cela nous a permis de personnaliser la liste des types de

projections existantes, en introduisant les paramètres relatifs à l'Algérie, nous avons ainsi travaillé avec une projection dans l'UTM (30) de façon à pouvoir utiliser correctement les points d'appuis relevés à partir des cartes topographiques.

Les deux cartes, qui ont servi pour la correction géométrique, sont établies à l'échelle du 1/200.000, il s'agit de la carte de Biskra et celle de Khenchela.

Leurs équivalents sont identifiés sur les cartes topographiques permettant ainsi, d'en relever les valeurs correspondantes. Ensuite, ces points sont repérés sur l'image et leurs valeurs sont introduites manuellement (par saisie) et enregistrées sur un fichier point en même temps que leurs résidus (Fig.45).

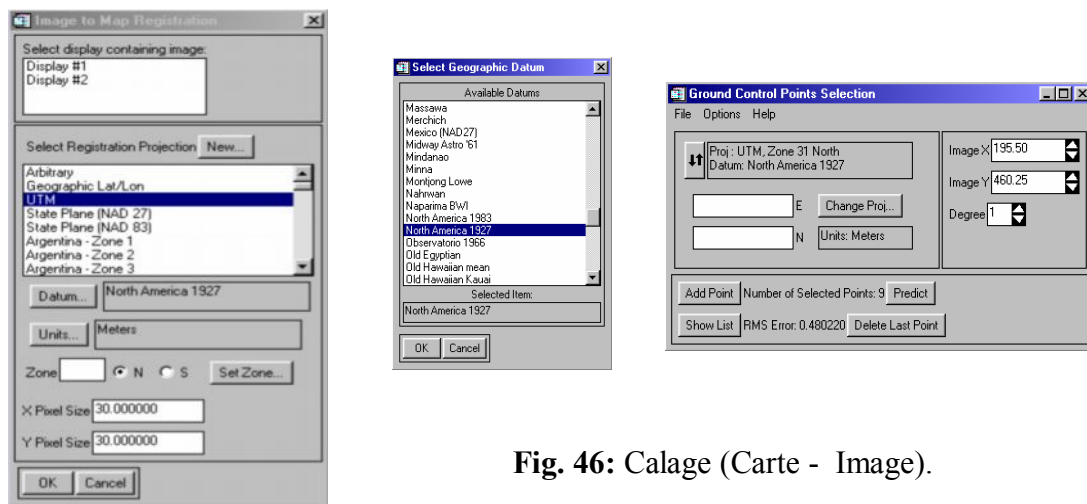


Fig. 46: Calage (Carte - Image).

Nous avons identifié et pointé 15 points, l'erreur enregistrée est acceptable et elle est égale à 0,48.

Enfin et pour arriver à effectuer notre correction géométrique, nous avons appliqué la méthode de rééchantillonnage du plus proche voisin (Nearest Neighbor) du fait qu'elle permet d'éviter l'altération des valeurs des pixels.

2.3- Travaux sur le terrain et traitements préliminaires :

Pour mener l'étude, nous avons entrepris des travaux sur le terrain, mais comme la zone d'étude est vaste pour être vérifiée intégralement, nous avons sélectionné des stations desquelles nous avons récolté des données concernant le changement.

A l'aide du GPS, on a vérifié la validité de nos images (Fig. 47) en réalisant 48 relevés GPS dans ce cas qui s'étalent sur la zone d'étude de manière à les plus représentatifs de cette région. La validation de l'information sur le terrain constitue une étape indispensable pour que notre travail soit fiable et objectif.

Les données récoltées sur le terrain sont notées dans le formulaire descriptif (Figure, 01, en annexe).

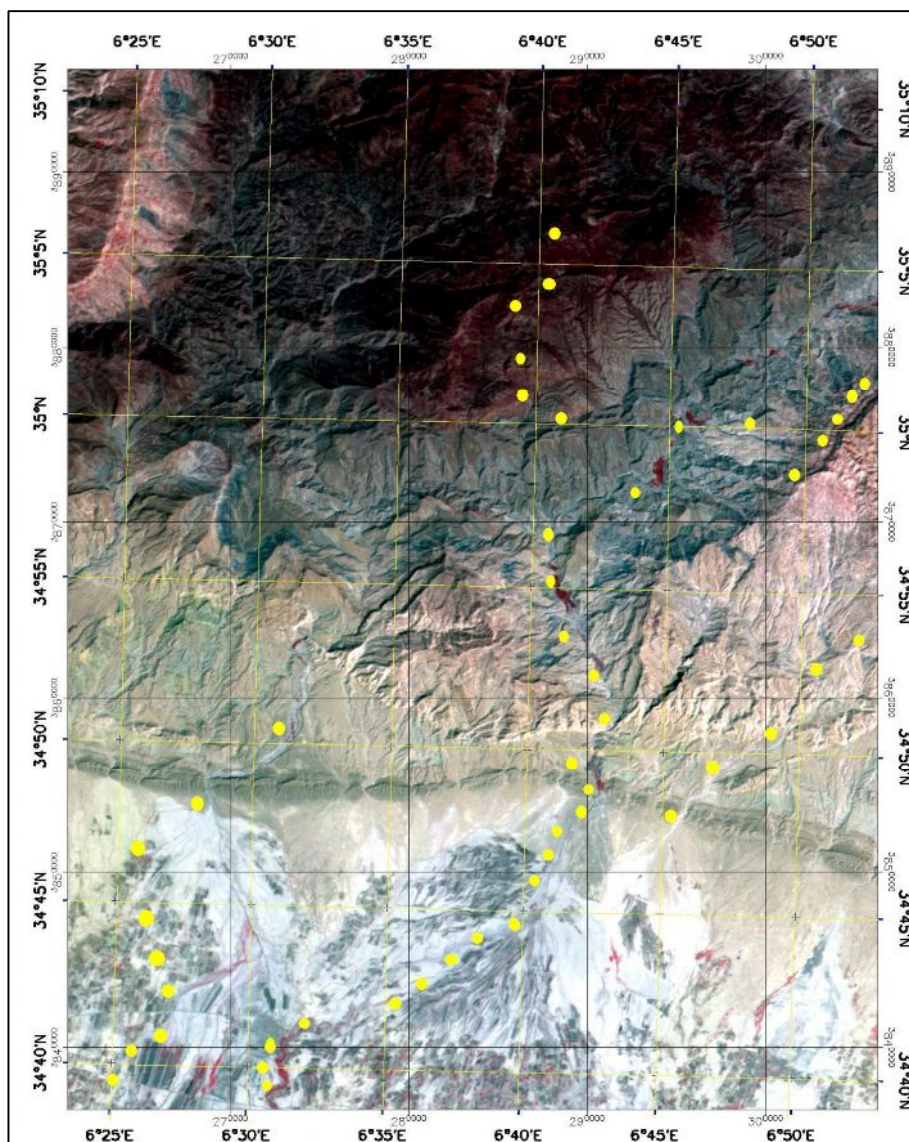


Fig.47 : Carte d'échantillonnage de notre cas d'étude.

1.4- Choix de l'algorithme de classification :

La méthode de classification par maximum de vraisemblance est l'algorithme le plus utilisé pour la classification d'images en télédétection (GIRARD et GIRARD 1999). Cette méthode est tout à fait satisfaisante mathématiquement car les pixels sont classés à partir d'une probabilité. On calcule pour chaque pixel de l'image sa probabilité d'être rattaché à telle ou telle classe plutôt qu'à une autre.

La probabilité, que les pixels appartiennent à une certaine classe, est calculée sur plusieurs étapes. La distance entre deux signatures est calculée, non seulement sur la base des moyennes, mais aussi sur la base de la distribution normale de ses niveaux de gris dans les différentes bandes. L'algorithme tient compte aussi de la marge d'erreur standard de la matrice de covariabilité des valeurs des pixels des différents sites d'entraînement. Ensuite une fonction de probabilité est calculée, avec laquelle un pixel appartient à une catégorie. Le pixel est ensuite classifié, d'après son niveau de gris dans une dimension multispectrale, dans la classe ayant la plus grande probabilité (Maximum de vraisemblance) (FERDINAND. 1996).

La fonction de vraisemblance est définie par la formule suivante :

$$h(X) = d(X/C_i) * p(C_i)$$

Où X : vecteur représentant un pixel

C_i : la i ème classe considérée

$p(C_i)$: la densité de probabilité à priori de la classe C_i

$d(X/C_i)$: la densité de probabilité pour une mesure X dans la classe C_i

La mesure de $d(X/C_i)$ est donnée par :

$$d(X/C_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}^n \sqrt{|Q_i|}} \exp\left[-\frac{1}{2}(X - M_i)^T Q_i^{-1}(X - M_i)\right]$$

Ceci suppose que la distribution des pixels dans chaque classe (C_i) suit une loi normale avec la matrice de covariance Q_i et les moyennes M_i .

1.5- Réalisation de la classification supervisée :

Dans notre étude du deuxième cas, nous avons choisi la classification supervisée appelée aussi classification par échantillonnage, cette opération consiste à définir au préalable des classes thématiques ou classes d'information, en identifiant des zones

d'intérêt (échantillons) à partir desquelles sont extraites les signatures spectrales pour chaque classe.

Ces classes sont appelées alors classes spectrales dans lesquelles, l'ordinateur regroupe tous les pixels présentant des propriétés spectrales similaires à celles des échantillons.

Pour la réalisation de notre classification, nous avons identifié un certain nombre de classes (09) pour chaque image, on distingue les forêts denses en vert foncé, les forêts claires en vert claire, les parcours en jaune foncé, les sols nu en jaune claire, les cultures irriguées en rouge, les cours d'eau et les terrains humides en bleu, les terres nu et des affleurements marneux en violet, les sols sableux en blanc, et les terrains rocheux en orange ; ensuite, nous avons procédé à l'échantillonnage et choisi une des méthodes permettant la classification selon le maximum de vraisemblance (Fig.47).

Les classifications réalisées à partir des traitements numériques appliqués aux différentes images satellitaires de 1987, 2001 et 2007 correspondent aux figures (49, 51 et 53).

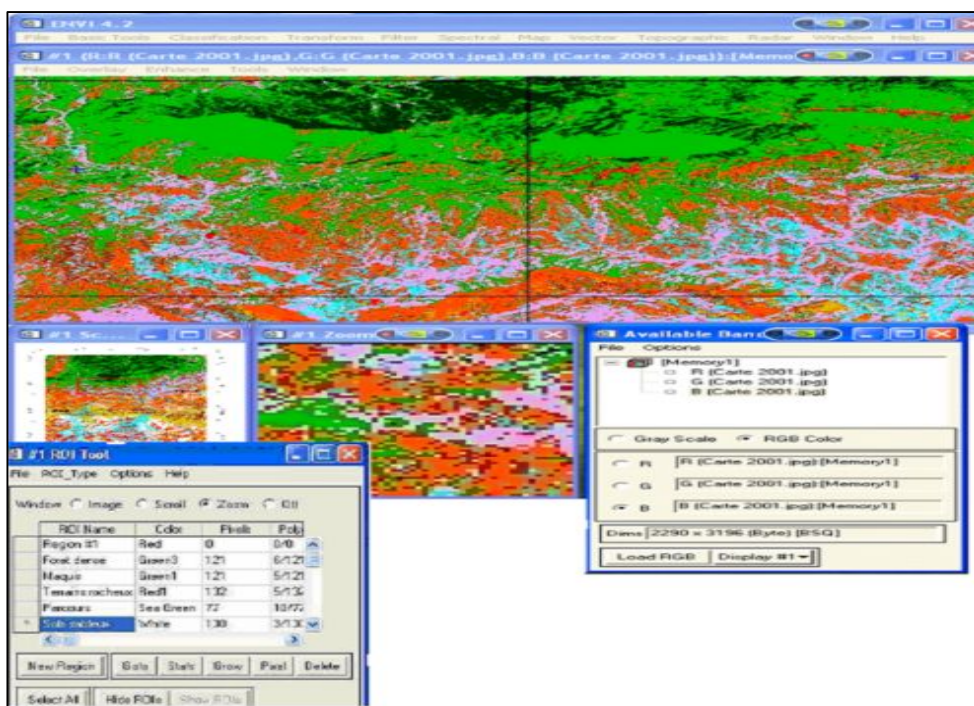


Fig.48 : La classification supervisée de l'image Satellitaire a l'aide ENVI 4.0

2.5- Résultats et interprétation :

Les différents traitements effectués sur les trois scènes des images de 1987, 2001 et 2007 ont abouti à la réalisation de cartes d'occupation des sols dans le Sud Est des Aurès, ce qui permet un suivi de la dégradation dans ce milieu semi-aride. Ces cartes (**Figures 50, 52 et 54**) permettent d'identifier les diverses composantes de l'espace étudié, de comparer l'état du couvert forestier et des cultures irriguées aux trois dates, et donc d'analyser le phénomène de dégradation des terres.

La classification et l'analyse des trois cartes d'occupation du sol de la région donnent les résultats suivants :

- **Pour l'année 1987** : l'observation des chiffres du tableau 21 et la figure 49 qui illustre les pourcentages des surfaces d'occupation du sol daté en 1987 déduit de la matrice de confusion montre que les aspects suivants :

La plus grande surface est constituée de sols nus et des affleurements marneux soit 23.05 % dans le centre, au niveau de Kimmel, de Khangat Sidi Nadji, et Khirane est occupée par les parcours avec une superficie de 55.320ha, les parcours sont définis généralement par les steppes (Alfa, Armoise, ...), ce taux est suivi par celui des terrains rocheux 13.15 %.

Le total de ces trois thèmes est de 38.20 % ; cette situation laisse penser que plus du 1/3 de la zone d'étude est fortement soumis à la dégradation principalement causée par les facteurs de l'érosion (eaux, vents, hommes)..

Le thème qui vient juste après est dominé par les formations forestières soit 22.32 %, ce taux indique la vocation naturelle de la zone d'étude qui est forestière. Parmi ces 22.32 % ; 8,63 % sont des forêts dense et 13,69 % sont des forêts claires, Ces types de thèmes sont occupés par la forêt de Beni M'loul avec une superficie de (53.568 ha) ; l'espèce domine est le pin d'Alep (*Pinus halepensis*).

Cependant, les cours d'eau et les terrains humides, occupent la partie sud de la région d'étude ; on les trouve dans le nord de la carte au niveau de Khirane, et à travers Khangat Sidi Nadji (Oued El Arabe). Les terrains humides occupent un pourcentage de 13.89 % de la zone d'étude.

D'autres formations ne couvrent qu'une petite superficie telles que ; Les sols sableux d'une superficie de 27.768 ha qu'occupent la partie sud de la région d'étude au niveau de Zeribet

El Oued ou le climat est plus chaud et les cultures irriguées sont réparties sur une surface importante de 4.032 ha, alors les cultures irriguées se trouvent sur les terrains des bordures des Oueds.

Tableau.24 : Des surfaces des unités d'occupation du sol pour l'année 1987.

Unités d'occupation du sol	Nombres des pixels	Superficie en (%)	Superficie en (ha)
Non classée	00	00	00
Forêt dense	267.251	08.63	20.712
Forêt claire	424.018	13.69	32.856
Parcours	444.402	14.34	34.416
Sols nus	523.769	16.91	40.584
Cultures irriguées	052.122	01.68	4.032
Cours d'eau	430.421	13.89	33.336
Terrains nus (marneux)	190.253	06.14	14.736
Sol sableux	358.408	11.57	27.768
Terrain rocheux	407.528	13.15	31.560
Total	3.098.172	100.00	240.000

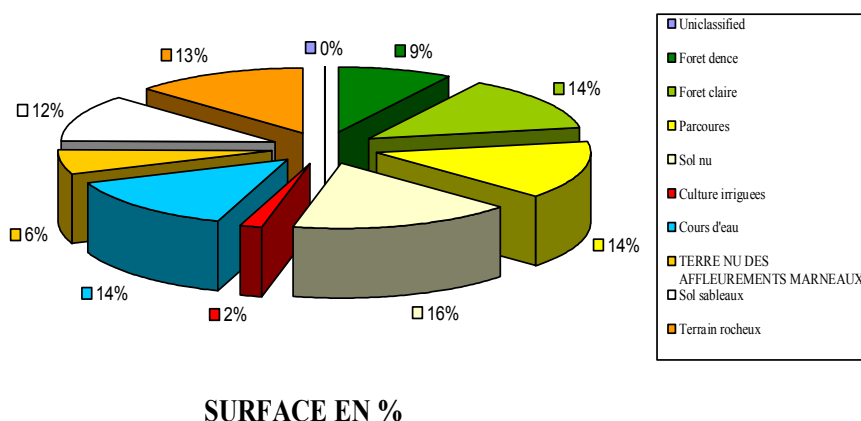


Fig.49 : La répartition spatiale de la surface des unités d'occupation du sol (1987).

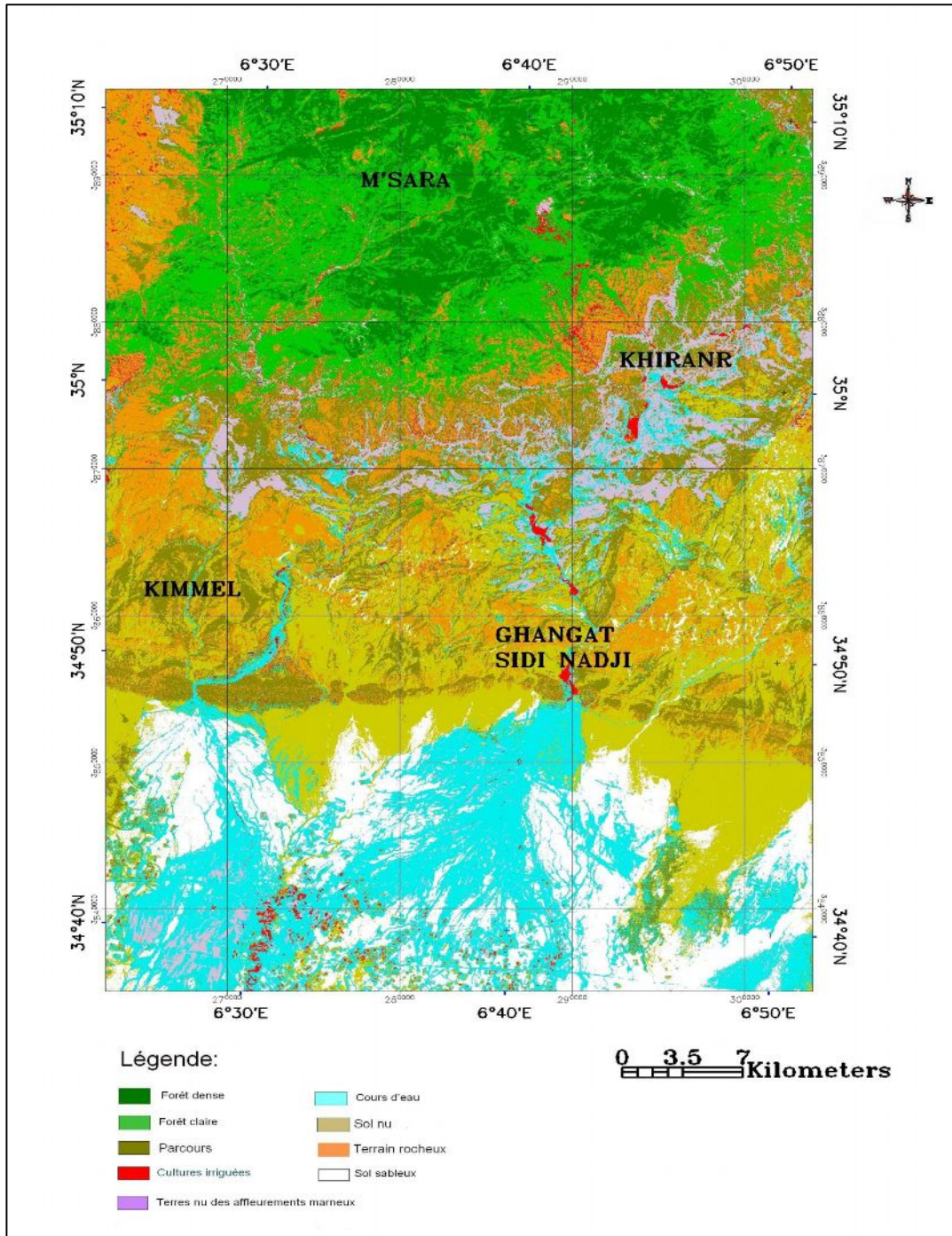


Fig. 50 : Carte d'occupation du sol de 1987 au Sud- Est des Aurès.

- Pour les années 2001 et 2007 :

Les deux cartes d'occupation du sol (2001 et 2007) et les chiffres des tableaux 22 et 23 présentent un grand changement au niveau des 09 classes par rapport à la carte d'occupation des sols de l'année 1987.

Les sols sableux connaissent une augmentation considérable de la surface occupée entre 1987 et 2007. La surface qu'ils occupaient a pratiquement triplé ; elle est passée de 11.57 % à 31.93 %. Quant à la classification de l'image de 2001, la comparaison des trois cartes montre une augmentation très importante des sables ; cette augmentation a eu lieu, notamment durant la période 2001-2007.

Les cultures irriguées occupent également une surface plus grande en 2007 (4.88 %) par rapport à celle qu'elles occupent en 1987 (1.68 %). Quant à la classification de l'image de 2001, elle marque une augmentation très importante de superficie des cultures irriguées entre 2001 et 2007 que celles notée durant la période 1987- 2001.

Les parcours présentent une régression considérable entre 1987 et 2007. Les parcours étaient réparties sur 14.34 % de la surface totale de la zone d'étude en 1987, nous les retrouvons seulement avec 8.65% en 2007, et dans quelques endroits bien particuliers à l'Ouest. Leur disparition est totale au Sud Est et la diminution est d'environ la moitié (1/2) durant ces 20 ans.

Les forêts denses sont caractérisées ainsi par une dégradation considérable : entre 1987 et 2007 la superficie totale recule de 08.63 % à 05.87 % de la surface totale de la zone d'étude. Quant à la classification de l'image de 2001, on observe une régression moins importante des forêts dense entre 1987 et 2001 qu'entre 2001 et 2007.

Les forêts claires ont connu une stabilité durant la période de 1987/ 2001 et une dégradation considérable de la surface entre la période 2001 et 2007 : 13.59 % contre 07.09 %.

Les cours d'eau et les terrains humides ont connu une instabilité durant les 20 ans (1987-2007). La surface qu'ils occupaient a diminué de 13.89 % à 07,16 % et elle a augmenté de 2001 à 2007 (07.49 %). Nous remarquons que les terres nues, et les affleurements marneux ne subissent pas un grand changement durant cette période. Mais après 2001 on remarque une augmentation importante de la superficie de 9.15 % en 2007.

Enfin, les sols nus ont diminué presque de tiers (1/3) entre 1987 (16.91%) et 2007 (6.36%). Durant la période allant de 2001 à 2007, les sols nus ont subi une dégradation remarquable de la surface occupée par rapport à celle qu'ils occupaient de 1987 à 2001.

Tableau.25 : Les surfaces des unités d'occupation du sol pour l'année 2001.

Unités d'occupation du sol	Nombres des pixels	Superficie en (%)	Superficie en (ha)
Non classée	00	00	00
Forêt dense	363375	07.47	17928
Forêt claire	625633	13.59	32616
Parcours	284631	08.64	20736
Sols nus	530629	12.37	29688
Cultures irriguées	140701	03.28	7872
Cours d'eau	546584	07.16	17184
Terre nu (marneux)	307108	06.67	16008
Sol sableux	1203918	28.07	67368
Terrain rocheux	286262	12.74	30576
Total	4288840	100	240.000

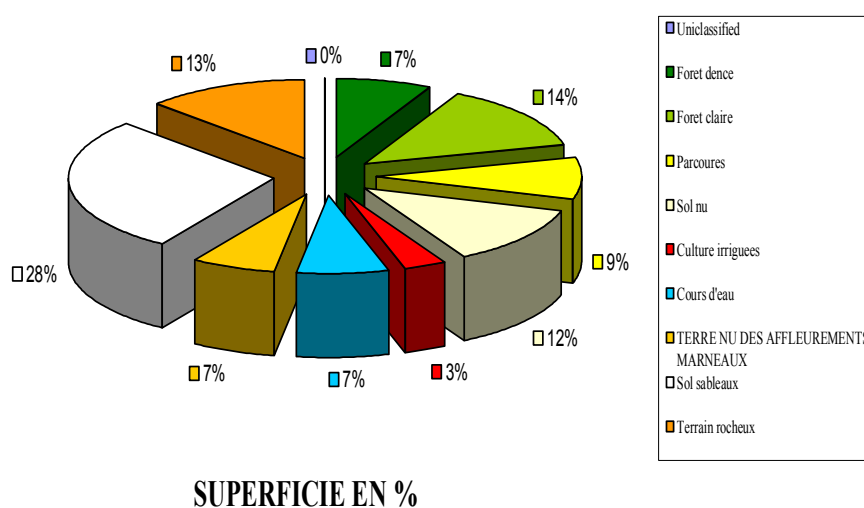


Fig.51 : La répartition spatiale de la surface des unités d'occupation du sol (2001).

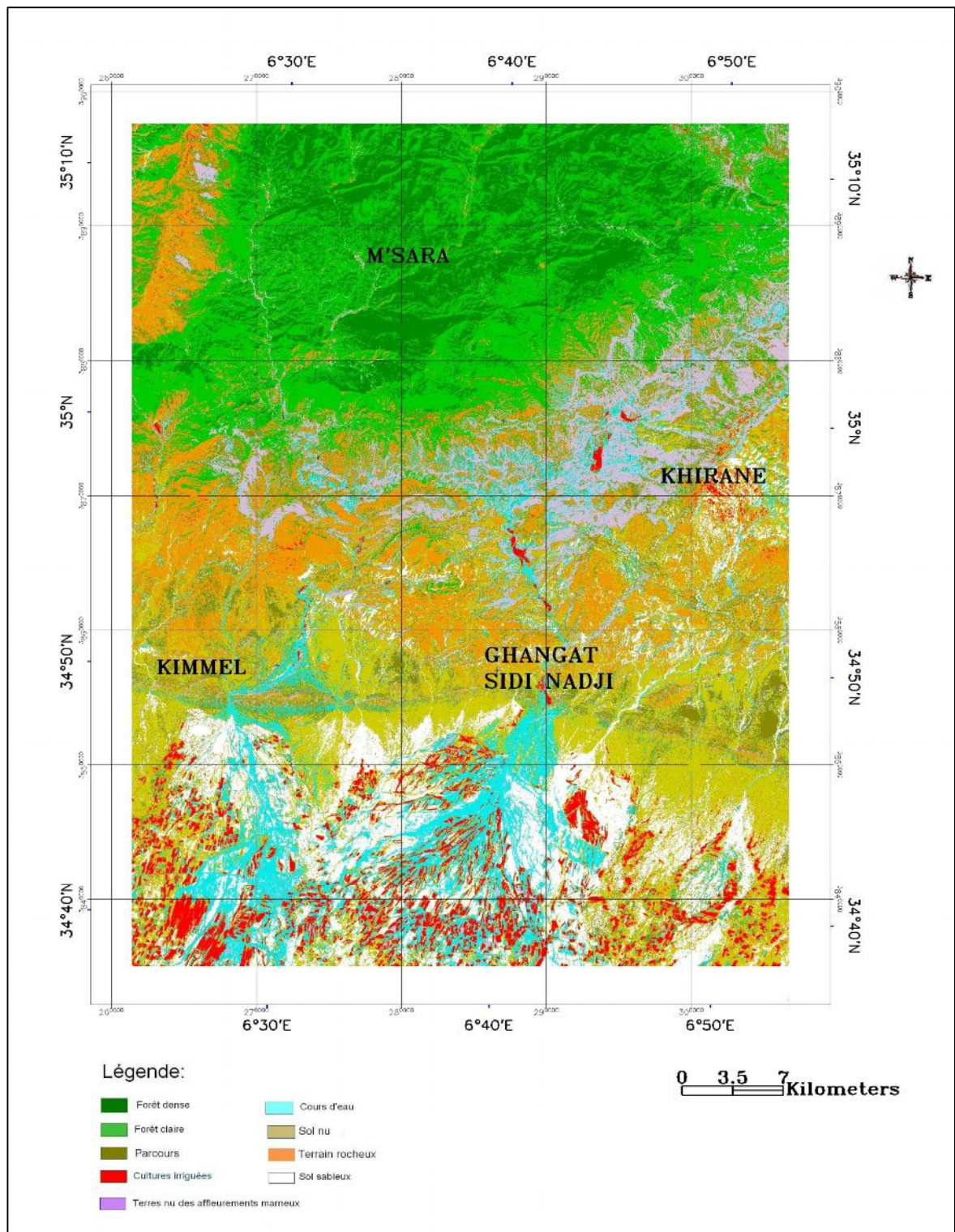


Fig. 52 : Carte d'occupation du sol durant l'année 2001 au Sud- Est des Aurès.

Tableau.26 : Les surfaces des unités d'occupation du sol pour l'année 2007.

Unités d'occupation du sol	Nombres des pixels	Superficie en (%)	Superficie en (ha)
	00	00	00
Forêt dense	186458	05.87	14088
Forêt claire	225389	07.09	17016
Parcours	155028	08.65	20760
Sols nus	238202	06.36	15264
Cultures irriguées	290791	04.88	11712
Cours d'eau	590153	07.49	17976
Terre nu (marneux)	274954	09.15	21960
Sol sableux	1014835	31.93	76632
Terrain rocheux	202115	18.57	44568
Total	3177925	100	240000

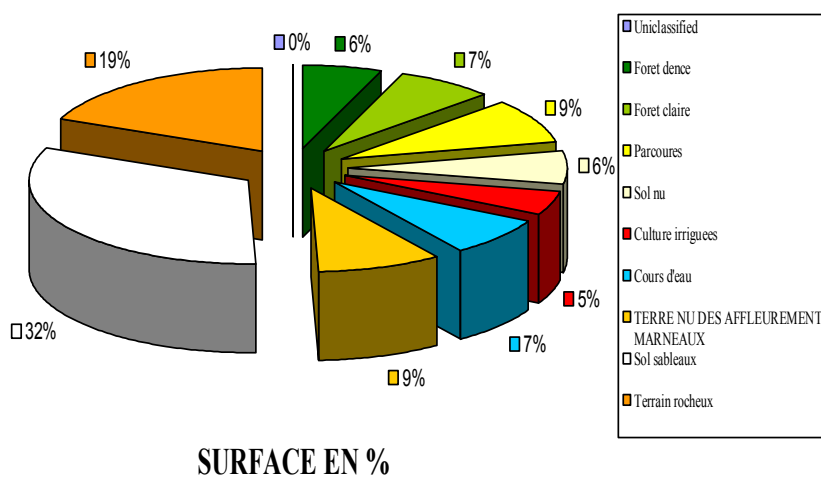


Fig.53 : La répartition spatiale des surfaces des unités d'occupation du sol au cours de l'année 2007.

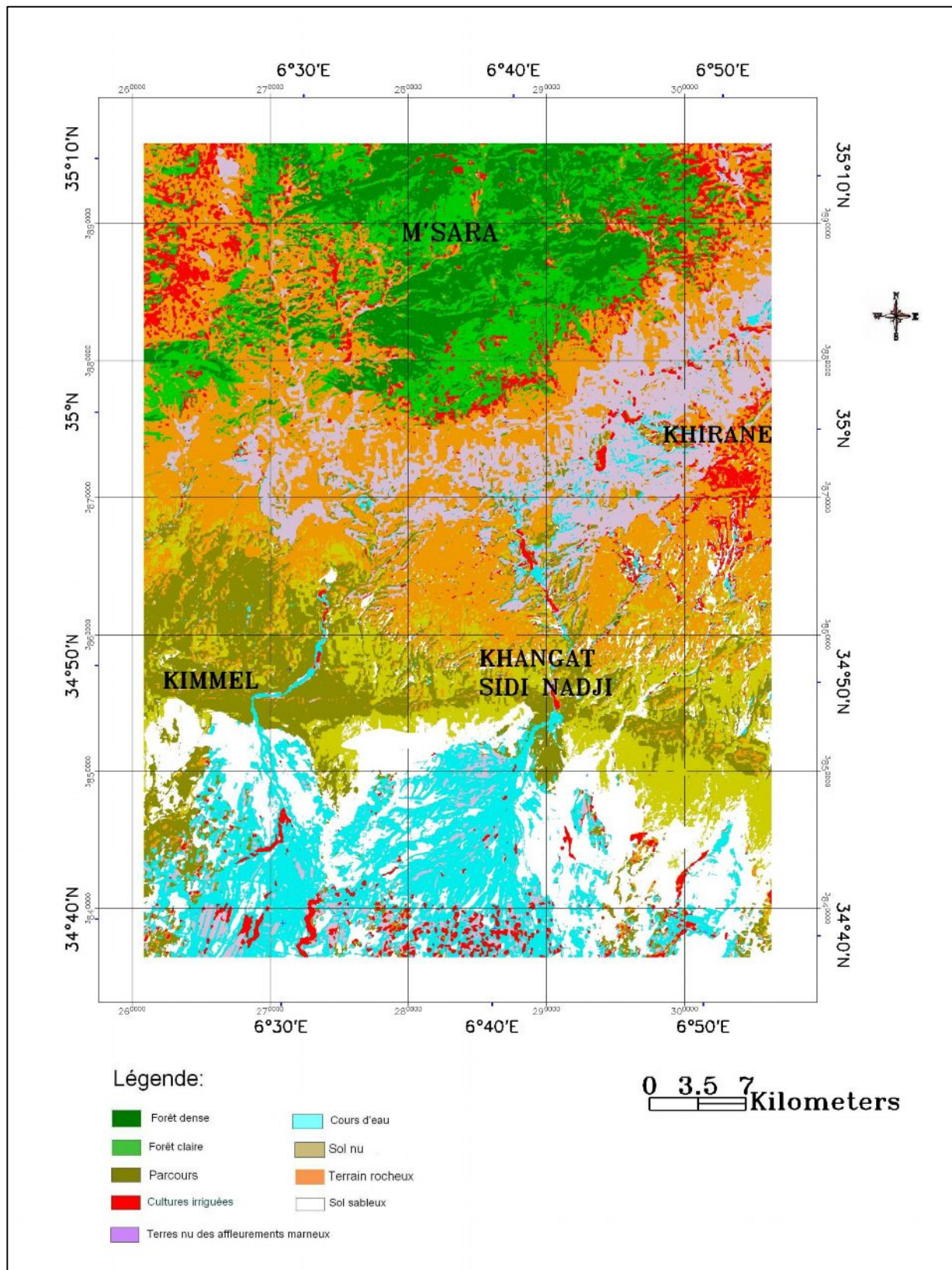


Fig. 54 : Carte d'occupation du sol au cours de l'année de 2007 au Sud- Est des Aurès.

L'analyse des cartes de suivi et d'occupation des sols pour toute la zone met en évidence l'impact de l'action anthropique représentée par l'extension des surfaces de cultures irriguées, la régression du couvert forestier et la réduction des zones de parcours.

En effet, l'observation du tableau 24, représentant l'évolution des surfaces des unités d'occupation de sol des Trois dates 1987, 2001, et 2007 révèle que :

- Cette zone a subi des changements importants qui se manifestent par une réduction du couvert forestier. Cette régression de la forêt dense a engendré l'extension d'une forêt claire et des parcours.
- La superficie des forêts claires a enregistré une stabilité durant les années 1987/ 2001 à cause de la régression des forêts denses. A partir de 2001, la superficie des forêts claires a connu une dégradation importante de la superficie causée par les incendies, les maladies, et les exploitations abusives du bois.
- Les superficies des cultures irriguées ont enregistré une augmentation allant de 01.68 % à 04.88 % au détriment des sols nus et des terrains humides liés à l'influence des cours d'eaux.
- La superficie des parcours a connu une réduction considérable de 14.34 % à 8.65 % ; la cause essentielle de la dégradation des parcours réside dans le surpâturage par les ovins.
- Les sols sableux occupent presque le tiers (1/3) de la surface totale de la zone d'étude en 2007, et cela est causé par le surpâturage, l'agriculture aléatoire et l'apparition des mouvements du sable surtout dans la partie sud de la région d'étude.

Unités d'occupation du sol	Surface en (ha) 1987		Surface en (ha) 2001		Surface en (ha) 2007		Évolution en (ha) de 1987 à 2007
Non classée	00%	00	00%	00	00%	00	00
Forêt dense	8.63%	20712	08.47%	20328	05.87%	14088	-06624
Forêt claire	13.69%	32856	13.59%	32616	07.09%	17016	-15840
Parcours	14.34%	34416	08.64%	20736	08.65%	20760	-13656
Sols nus	16.91%	40584	12.37%	29688	06.36%	15264	-25320
Cultures irriguées	01.68%	4032	03.28%	07872	04.88%	11712	+07680
Cours d'eau	13.89%	33336	07.16%	17184	07.49%	17976	-15360
Terre nu des affleurements marneux	06.14%	14736	06.67%	16008	09.15%	21960	+07224
Sol sableux	11.57%	27768	28.06%	67344	31.93%	76632	+48864
Terrain rocheux	13.15%	31560	12.74%	30576	18.57%	44568	-13008
Total	100%	240000	100%	240000	100%	240000	

Tableau. 27: Evolution des surfaces des unités d'occupation du sol pendant les trois dates 1987, 2001 et 2007.

2.8- Conclusion :

L'analyse des différentes cartes de suivi établies pendant les dates 1987, 2001, 2007 et relatives aux changements d'occupation du sol de la région Sud Est des Aurès fait ressortir (**Fig. 54**) une évolution régressive du tapis végétal d'une part et un important ensablement d'autre part. il faut noter aussi que les causes essentielles de la dégradation des couverts végétaux sont : la sécheresse, les incendies, l'exploitation abusive du bois et le surpâturage,

En résumé, si la région Sud des Aurès présente un faible taux de couvert végétal, dû tout d'abord a son climat aride et puis a la fragilité des formations lithologiques sur lesquelles poussent les végétaux (des terrains qui se ressuient de façon excessive à cause de leur faible aptitude à retenir l'eau), on constate que les activités humaines (labours et coupe de bois de feu) contribuent à réduire notablement la densité du couvert végétal. Les rares beaux peuplements forestiers sont présents uniquement sur les sommets, généralement d'accès difficile.

CHAPITRE 06 :

MODELISATION DES DONNEES PAR LES SIG

EN VUE DE LA REALISATION DE LA CARTE DE

VULNERABILITE A LA DESERTIFICATION

DU MASSIF DES AURES

L'appréhension du problème de la désertification à l'aide d'un SIG présente des avantages par rapport à celle basée sur un support papier (cartes, plans, etc.). Ainsi, la carte ne peut restituer au lecteur toute l'information recueillie par son auteur. Si un utilisateur souhaite retrouver la totalité de l'information, il doit non seulement étudier la carte et sa légende, mais aussi consulter la notice explicative. Par contre, dans un système d'information géographique, l'accès aux données est numérique de façon que l'utilisateur puisse accéder à tout moment aux données souhaitées. La mise à jour des données est réalisée à un intervalle de temps défini par le concepteur. Les archivages des plans thématiques et des cartes de synthèses sont planifiés ; ces documents peuvent être accessibles par l'utilisateur à tout moment s'il est bien sûr autorisé par l'administrateur du système.

La désertification est la conséquence d'un ensemble de processus importants qui sont en activité dans les environnements arides et semi arides. Notre méthodologie est inspirée du projet MEDALUS (1999), qui a pour objet l'étude de la vulnérabilité à la désertification à l'aide des SIG. Cette méthode est basée sur l'évaluation des facteurs écologiques comme le sol, la végétation, le climat et l'aspect socioéconomique. Ce sont les principaux facteurs utiles pour définir les zones d'environnement vulnérable à la désertification.

1- Choix du logiciel :

Le logiciel MapInfo offre la possibilité de travailler très facilement sur des entités vectoriels et rasters.

Il fournit une variété de fonctionnalités de visualisation et d'édition incluant parmi les :

- Ouvertures multiples de tables ;
- Gestion de l'affichage et de l'étiquetage des couches ;
- Création et modification d'analyses thématiques ;
- Manipulation des vues ;
- Recherche d'informations associées à une couche ;
- Gestion des unités et des projections ;

2- Fonctionnalités du logiciel MapInfo.7 :

MapInfo Version .7 offre la possibilité de travailler très facilement sur des entités vectoriels et rasters. Mapinfo travaille avec des couches et chaque couche contient les fichiers *.TAB, *.MAP, *.ID, *.DAT et *.IND. Pour ouvrir une couche, on sélectionne une table *.TAB. Pour travailler avec plusieurs couches, on doit ouvrir plusieurs tables et on peut ainsi combiner plusieurs couches différentes.

Après l'ouverture des couches, le style de représentation est standard. Pour différencier la représentation des couches, on choisit la couche, puis dans le menu contrôle des couches, on charge le style. On peut définir la couleur, la ligne et l'épaisseur. En plus, on a la possibilité d'ajouter des étiquettes aux noms d'objets. Après la fermeture des tables, toutes les informations de représentation sont perdues. Pour enregistrer ces informations, on doit enregistrer le document en *.WOR, ainsi le document contient les tables enregistrées et la représentation graphique définie.

Avec l'analyse thématique, on peut réaliser différentes représentations graphiques, par couleur, par tailles...etc.

Pour cela les objets concernés doivent être sur une seule couche. Dans cette étude, la représentation en couleurs est utilisée pour les polygones et la légende est créée automatiquement, il est toujours possible de charger quelques préférences.

La numérisation est la production à partir d'un document graphique d'un fichier informatique contenant des coordonnées, des informations de dessin, et des attributs définissant la représentation des entités géographique que l'on veut enregistrer.

On peut résumer les étapes de la numérisation comme suit :

2.1-Scannage des cartes et mécanismes de stockage des données d'imagerie : Elle consiste en la transformation des cartes en un fichier informatique pour qu'elles soient manipulées par l'ordinateur. L'appareil qui réalise cette opération est un scanner A0 en couleur relié à un ordinateur. Le résultat étant des images de type JPEG, qui sont utilisées par le logiciel MapInfo mode raster.

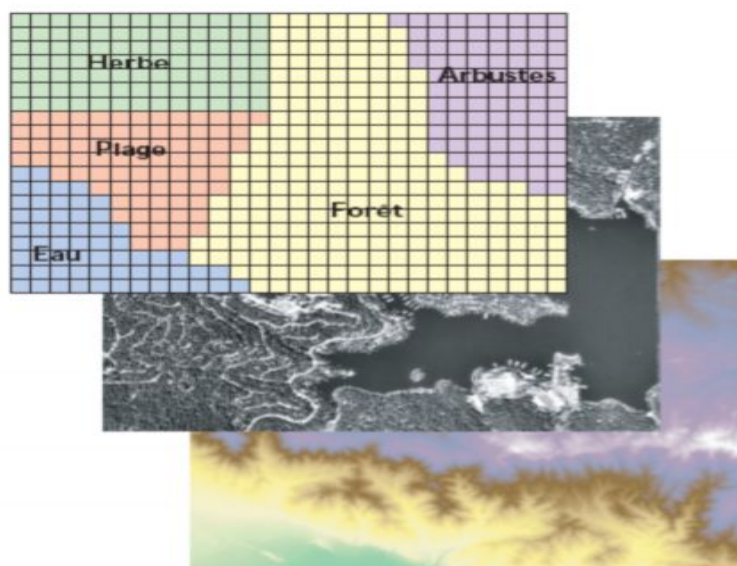


Fig. 56 : les jeux de données raster correspondent aux mécanismes de stockage des données d'imagerie

2.2- Le calage : Le calage est réalisé à l'aide de MapInfo et il consiste à choisir au moins trois points distincts, régulièrement distribués (non alignés) et de leurs coordonnées géographiques réelles dans la projection choisie. L'ensemble des autres points de la carte calée est déduit automatiquement par projection et interpolation.

La zone d'étude est située dans le fuseau 31 (Northern Hémisphère) du système de projection UTM (Universel Transverse Mercator, WGS84) ; par la suite, un fichier de calage de types * tab sera créé et qui conservera les paramètres de calage (Fig.5) .la marge d'erreur trouvée est 0 pixels pour toutes les cartes utilisées, ce qui confirme que le calage a bien réussi.

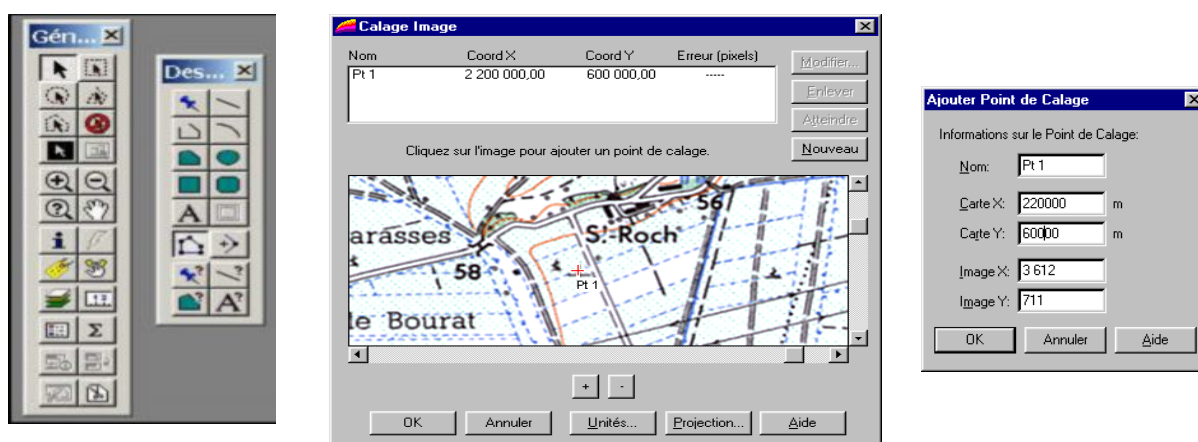


Fig. 57 : Les options de numérisation et de calage.

2.3- Digitalisation à la souris

Elle consiste en l'utilisation des outils 'dessins' qui permettent de faire des points, des lignes et des polygones. Chaque nouvel élément numérisé s'écrit à la suite des autres dans la table où il est possible d'ajouter des attributs. Les lignes peuvent toujours être converties en polygones. Il est recommandé de gérer les points, les lignes et les polygones dans des tables différentes.

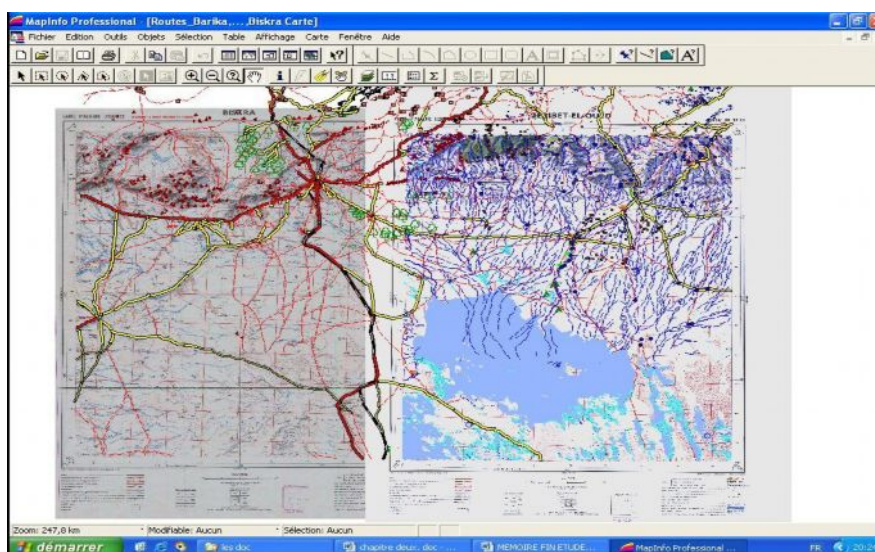
Pour travailler sur une couche, il faut qu'elle soit active. La fonction 'Fusion' permet de suivre les lignes déjà numérisées pour effectuer une sélection, par exemple. C'est pratique pour la gestion des polygones contigus, qui sont toujours dessinés avec deux traces.

La fonction 'Définir Cible' sert à supprimer l'extérieur ou l'intérieur d'une sélection.

2.4-La visualisation des entités raster et vecteur sur MapInfo :

Grâce au SIG MapInfo on peut superposer tous les types d'entités pour avoir le maximum d'information sur une zone géographique bien déterminée à partir des informations saisies dans notre base de données.

Fig. 58



Visualisation des entités raster et vecteur sur MapInfo.

2.5-Visualisation de Model TIN (réseau triangulé irrégulier) sur MapInfo :

Cette modélisation (TIN) par triangulation irrégulière permet de représenter la zone géographique sous forme de triangles reliés par des lignes à partir de points situés à différentes distances.

C'est une représentation de la topographie (altimétrie) d'une zone terrestre (ou d'une planète tellurique) sous une forme adaptée à son utilisation par un ordinateur numérique (ordinateur).

Ce modèle donne une description du terrain à l'aide d'une structure de points et de lignes en trois dimensions. Cette structure peut être un quadrillage régulier ou un réseau irrégulier de triangles.

3- Création de la base des données :

3.1- Collecte des données

Le problème de la collecte des données est un des points les plus importants dans les systèmes de banque de données du fait de la taille des fichiers et du degré de fiabilité que ces systèmes doivent présenter (DUBOIS. et al., 1997).

Cette première étape de travail est très importante car elle concerne la collecte de toutes les données numériques cartographiques (raster et vecteur) et alphanumériques.

3.1.1-Données alphanumériques

Les données alphanumériques représentent les statistiques des différents indicateurs collectés auprès des différents organismes tels que les communes (recensement de la population), la direction de l'agriculture (statistiques agricoles), la station météorologique (données climatique), la direction de forêt (Surfaces des forêts, des reboisements,...), et d'autres données obtenues dans différentes directions des wilayas de Batna, Khenchela et Biskra, de services communaux, organismes concernés (DPAT, DSA, HCDS...).

3.1.2-Données cartographiques et numériques :

Ces données cartographiques et numériques sont tirées des cartes ou d'autre support. Pour ce type de données, il existe deux formats.

a) Le format raster

Il utilise une description matricielle de l'espace géographique. La matrice est une image, chaque élément de l'image ou pixel a une valeur donnée. Ces images sont généralement issues de cartes scannées ou de photos aériennes ou d'images satellitaires (GILLIOT, 2000).

Tableau. 28 : Données raster utilisées pour la création de la base de données.

	Données	Mode de saisie	Source	Année
Cartes scannées	Carte topographique de Batna et Khenchela 1/200.000 et 1/50.000	Géoréférencement Digitalisation	INTC	1983
	Carte topographique Biskra et Zribet el Oued 1/200. 000		INTC	1983
	Carte topographique de l'Aurès 1/200.000	Géoréférencement Digitalisation	I.G.N	1932
	Carte géologique de l'Aurès 1/200.000	Géoréférencement	R. LAFFIT	1939
	Carte des sols de l'Algérie Feuille Tébessa, Biskra 1/50.0000	Géoréférencement Digitalisation	JASEIX BELLON	1948
	Carte d'occupation du sol (M'Zeria, Ain Zaatoute)		BNEDR	2004
Images satellites	Image Alsat1 (32m /Pixel/ 3bandes spectrales)	Géoréférencement Digitalisation	C.N.R.S	2007
	Image Landsat TM ,ETM+ (30m/Pixel/ 7 bandes spectrales)	Digitalisation Mosaïquée	Landsat satellite (USA)	1987 2001

b) Le format vectoriel

Dans ce cas, les objets apparaissent par les entités graphiques (point ligne, polygone...).

Toutes les données utilisées sont illustrées dans le (Tableau. 29) ci-dessous.

Tableau 29 : Les données Vectorielles utilisées pour la création de la base de données

	Données	Source	Année
Point	Hydrologie (Puits), Zribet El Oued 1/200000	A.N.R.H	2000
	Hydrologie (Puits) Batna 1/200000	A.N.R.H	2000
	Hydrologie (Puits), Biskra 1/200000	A.N.R.H	2000
Polyligne	Courbes de niveau (Zribet El Oued) 1/200000	I.N.C.T	2003
	Courbes de niveau (Biskra) 1/200000	I.N.C.T	2003
	Courbes de niveau (Batna) 1/200000	I.N.C.T	2003
	Hydrologie (Oued permanent, Oued temporaire, seguia) Batna 1/200000	A.N.R.H	2000
	Hydrologie (Oued permanent, oued temporaire, seguia) Biskra 1/200000	A.N.R.H	2000
	Hydrologie (Oued permanent, Oued temporaire, seguia) Zribet El Oued 1/200000	A.N.R.H	2000
polygones	Carte d'occupation du sol 1/200000 Nord de la wilaya de Batna	C.F. Batna	2001
	Limites administratives de l'Algérie	I.N.C.T	1987

4. 2. Réalités du terrain et correction des données collectes :

Les données récoltées, après être saisies sur la base de données, doivent être vérifiées avec des comparaisons avec le terrain. Il est nécessaire de sélectionner des stations qui sont choisies en tenant compte des indicateurs de la désertification.

4.2.1-Critères de sélection des stations :

Les stations ont été choisies relativement au hasard (**Fig.60**) en tenant compte des critères suivants :

- Accessibilité de la station : les stations choisies doivent être accessibles du point de vue routes et du point de vue sécuritaire

- Le nombre de station doit être suffisant pour garantir une certaine représentativité de la zone d'étude.
- La localisation des stations : c'est-à-dire que les stations doivent être réparties de manière à ce que tous les types de climat ou de formation végétales y soit représentées
- Les points choisis doivent couvrir l'ensemble des zones confuses ou floues dont l'identification sans vérification de terrain est impossible.

4. 2. 1. Les étapes du terrain :

Ce travail a été réalisé en utilisant un GPS. Le GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM) est un système de navigation et de positionnement par satellite, qui a été développé par les Etats-Unis pendant les 20 dernières années. Il fonctionne grâce à 24 satellites qui tournent autour du globe sur 6 orbites différentes, avec un récepteur GPS, les signaux des satellites peuvent être reçus partout, gratuitement et à tout moment pour déterminer une position.

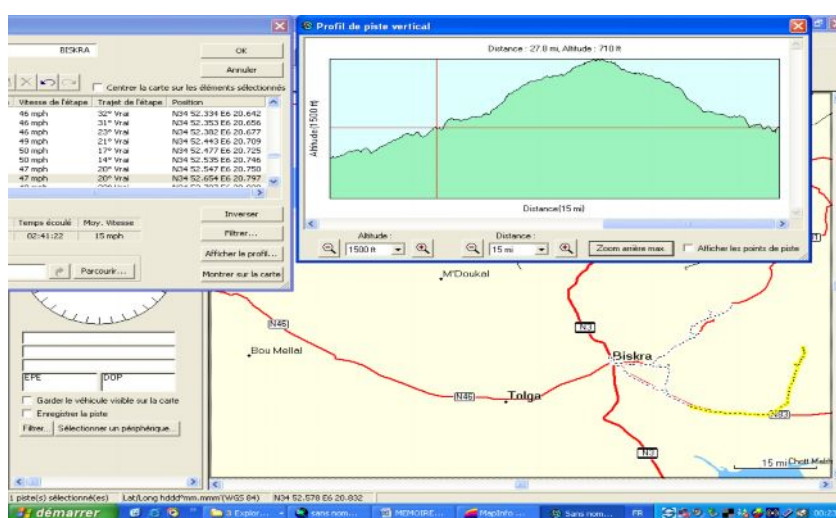


Fig.61: L'itinéraire et le profil des terrains suivis par GPS.

A l'aide du GPS, on a vérifié la validité de notre base de données en réalisant plus d'une centaine de relevés qui s'étalent sur la zone d'étude de manière à être représentatifs de cette région.

L'information fournie par le GPS (l'altitude, longitude, latitude, profil de terrain et l'itinéraire) a été d'abord notée sur les formulaires descriptives (Tableaux en annexe) puis elles sont saisies sur la base de données.

5- Structuration et traitement des données :

La méthodologie adoptée est celle définie par le projet MEDALUS, adaptée aux conditions du milieu méditerranéen méridional, et basée sur le choix de quatre facteurs : Sol – végétation – climat – socioéconomiques.

Ces facteurs sont évalués par des indices de qualité qui quantifient leur aptitude à résister à la désertification :

- IQS : indice de qualité du sol
- IQV : indice de qualité de la végétation
- IQC : indice de qualité du climat
- IQE : indice de qualité des socioéconomique

La vulnérabilité des terres à la désertification est évaluée par un indice de sensibilité ISD qui est la moyenne géométrique des indices des quatre facteurs. Nous nous sommes aussi inspirés des applications de la méthode MEDALLUS dans la région du Maghreb (SABIR et al. 2005)

6. L'organisation des données :

6. 1. Détermination de la qualité du sol

Le sol est un facteur dominant des écosystèmes terrestres dans les régions semi-arides et subhumides sèches, zones humides, en particulier grâce à son effet sur la production de biomasse.

L'indicateur de la qualité du sol pour la cartographie peut être associé à la disponibilité de l'eau, et à la résistance l'érosion.

Ces qualités peuvent être évaluées à l'aide de simples propriétés du sol où les caractéristiques indiquées dans les rapports réguliers des études des sols sont la texture, la profondeur, le matériau parental et la profondeur du sol, la pente, le drainage et la Roche fragmentée.

Ces propriétés sont utilisées par la cartographie pour la définition des classes distinctes en ce qui concerne le degré de protection des terres contre la désertification.

Les classes et les indices des paramètres liés aux qualités du sol sont consignés dans le

Tableau. 30 :

Tableau.30 : Classes et indices des paramètres liés aux qualités du sol

	Classe	Description	Caractéristique	indice
Texture	1	Bonne	L, SAL, SL, LS, LC	1
	2	Modéré	SC, SiL, SiCL	1.2
	3	Médiocre	Si, C, SiC	1.6
	4	Très insuffisant	S	2
Matériau parental	1	Cohérent	calcaires, dolomies, grès non friables, croûtes dures,	1
	2	Moyennement cohérent	grès friables, marnes, schistes, encroûtements	1.7
	3	Tendre à friable	argiles, formations sableuses, alluvions et colluvions non consolidés,...	2
Pente	1	Très doux à plat	<6%	1
	2	Douce	6-18%	1.2
	3	Peu rapide	18-35%	1.5
	4	Très rapide	>35%	2
Drainage	1	Bien drainé	-	1
	2	Imparfaitement drainés	-	1.2
	3	Mal drainés	-	2
Profondeur	1	Profond	>75	1
	2	Modérer	75-30	2
	3	Peu profond	15-30	3
	4	Très peu profond	<15	4

La structure de la couche qualité du sol sous Mapinfo se présente de la manière suivante (**Tableau. 31**) :

Tableau. 31 : La structure de la couche qualité du sol

Champs	valeur	Largeur	Exemple d'une entité largeur
ID	Entier	10	1
LITHOLOGIE	Caractère	50	calcaire
TEXTURE	Caractère	50	AL
PROFODEUR	Flottant	10	60
CLASSE DE PENTE	Flottant	20	1
DRAINAGE	Flottant	20	
IQS	Flottant	20	1.5
SUPERFICIE	Flottant	10	215070

L'indice de la qualité des sols (IQS) est alors calculé comme le produit des attributs ci-dessous, à savoir la texture du sol, matériau parental, fragment de roche, la profondeur du sol, la pente, et les conditions de drainage. La formule est la suivante :

$$SQI = (\text{texture} * \text{matériau parental} * \text{pente} * \text{drainage} * \text{Profondeur}) ^{1/5}$$

La qualité du sol est appréciée par les indices suivants (**Tableau. 32**) :

Tableau. 32 : Evaluation de l'indice de la qualité du sol

	Classe	Description	indice
Indice de qualité de sol (IQS)	1	Haute qualité	< 1.13
	2	Qualité modérer	1.13-1.45
	3	Mauvaise qualité	>1.46

6. 2. Détermination de la qualité de climat :

La qualité du climat est évaluée en utilisant les paramètres qui influent sur la disponibilité de l'eau aux plantes tels que la quantité de précipitations, la température et l'aridité, de même que tout aléas climatiques que le gel qui pourrait entraver ou même stopper la croissance des plantes. Les précipitations annuelles sont classées en trois catégories, compte tenu des précipitations annuelles de 280 mm comme une valeur essentielle pour l'érosion des sols et la croissance des plantes (MEDALUS 1999 et ROSELT /OSS, 2004) (Tableau.09).

Tableau .33 : Classes et indices des paramètres liés des valeurs des précipitations

Classe	Précipitations	Indices
1	>500	1
2	280-500	2
3	<280	4

Pour les étagements du climat en se basant sur la carte des étages bioclimatiques établis par la FAO (1972).

Tableau .34 : Classes et indices des paramètres liés à l'étagement du climat

Classe	ETAGES	INDICES
1	Subhumide	1.5
2	Semi aride	1.75
3	Subaride	2

La structure de la couche qualité du climat sous MapInfo se présente de la manière suivante (**Tableau. 35**) :

Tableau. 35: La structure de la couche qualité du climat

Champs	Valeur	Largeur	Exemple d'une entité largeur
ID	Entier	10	1
FORMATIONS	Caractère	30	Semi aride
IQC	Flottant	10	1.5
SUPERFICIE	Flottant	10	215070

L'indice de qualité de climat est calculé en prenant la valeur de chaque classe :

$$IQC = (\text{les valeurs des étages bioclimatique} * \text{précipitation}) ^{1/2}$$

La qualité du climat est appréciée par les indices suivants (**Tableau. 36**) :

Tableau.36 : Evaluation de l'indice de la qualité du climat.

	Classe	Description	indice
Indice de qualité de climat (IQC)	1	Haute qualité	1.5
	2	Qualité modérer	2.5
	3	Mauvaise qualité	3

6. 3. Détermination de la qualité de végétation :

La carte d'occupation du sol a été réalisée à partir des informations cartographiques et alphanumériques. Elle est complétée par plusieurs méthodes telles que l'utilisation de la composition colorée de l'image satellitaire Alsat1 2007, les statistiques agricoles de la zone sont complétés par des études de reconnaissances sur le terrain (Il s'agit de multiples vérifications sur terrain). On déduit finalement neuf classes : Forêt dense; Forêt claire, Cultures irriguées; Parcours ; Terrains rocheux ; Sols sableux; Sols nus ; Cours d'eau et terrains humides.

La qualité de la végétation est évaluée en termes de risque d'incendie, de protection contre l'érosion des sols, de résistance à la sécheresse de la couverture végétale. Ces quatre paramètres influencent sur la qualité de la végétation à résister à la désertification.

Dans la zone d'étude les principaux types de végétation sont regroupés en sept catégories en fonction du risque d'incendie. Sept catégories sont également utilisées pour la classification de la végétation en fonction de la protection du sol contre l'érosion. Six catégories sont utilisées pour la classification de la végétation à l'égard de la résistance à la sécheresse.

Enfin, le couvert végétal est reparti en trois classes (**Tableau .37**)

Tableau. 37 : Classes et indices des paramètres liés à la qualité de végétation

	classe	description	Type de végétation	indice
Risque de feu	1	Faible	Sable, Chott et sebkha	1
	2	Moyenne	Parcours, Collines, Culture,	1.3
	3	Elevée	Le massif Forestier.	1.5
Protection contre érosion	1	Elevée	Relief montagneux	1.6
	2	Moyenne	Parcours, Collines, Culture	1.8
	3	Faible	Sable, Chott et sebkha	2
Résistance à la sécheresse	1	Elevée	Chott et sebkha	1.2
	2	Moyenne	Culture, Parcours, Collines, Relief	1.3
	3	Faible	Le massif forestier	1.7
	4	Très faible	Sable	2
Taux de recouvrement	1	Elevée	Culture	1.3
	2	Moyenne	Relief montagneux du massif	1.6
	3	Faible	Parcours, Collines,	1.8
	4	Très faible	Sable, Chott et sebkha	2

La structure de la couche qualité de la végétation sous Mapinfo se présente à la manière suivante (**Tableau. 38**) :

Tableau. 38: La structure de la couche de végétation

champs	valeurs	largeur	Exemple d'une entité
ID	Entier	10	1
formations risque de feu	Caractère	30	parcours
protection contre l'érosion	Flottant	10	1
la sécheresse	Flottant	10	2
taux de recouvrement	Flottant	10	1.7
IQV	Flottant	10	1.6

superficie	Flottant	10	1.2
	Flottant	10	215070

L'indice de la qualité de la végétation évalue le produit de la végétation (déjà cité) et ces caractéristiques liées à la sensibilité à la désertification en utilisant la formule suivante :

$$IQV = (\text{Risque de feu} * \text{Protection contre érosion} * \text{Résistance a la sécheresse} * \text{Taux de recouvrement}) \frac{1}{4}$$

Par la suite, l'indice de la qualité de la végétation est classé en trois catégories définissant la qualité de la végétation face à la désertification (**Tableau. 39**).

Tableau. 39 : Indices de la qualité de la végétation

	classe	description	indice
Indice de qualité de végétation (IQV)	1	Haute qualité	<1.2
	2	Qualité modérer	1.2-1.8
	3	Mauvaise qualité	>1.8

6. 4. Détermination de la qualité socioéconomique :

Après avoir défini le type d'utilisation du sol dans certaines unités de terre, puis l'intensité de l'utilisation des terres, la politique sur la protection de l'environnement est évaluée pour le type particulier de l'utilisation des terres.

L'intensité d'utilisation des terres est classée selon les paramètres suivants : les Terres agricoles, le pâturage, les Zones naturelles, Zones minières, les Zone d'urbanisations.

Les politiques relatives à la protection de l'environnement sont classées en fonction de leur degré dans lequel ils sont appliqués pour chaque cas de l'utilisation des terres Trois classes ont été finalement définies (**Tableau. 40**)

Tableau. 40 : Classes et indices des paramètres liés à la qualité de socioéconomique

	classe	description	Caractéristique	indice
Terres agricoles	1	-	L'utilisation des terres à faible intensité(LLUI)	1
	2	-	Moyenne intensité d'utilisation des terres (MLUI)	1.5
	3	-	Forte intensité d'utilisation des terres (FLUI)	2
pâturage	1	faible		1
	2	Moyenne		1.5
	3	élevée		2
Zone naturelle	1	Faible		1
	2	Moyenne		1.2
	3	élevée		2
politique	1	Faible	Complet:> 75% de la superficie sous protégée	1
	2	Moyenne	Partielle: 25-75% de la superficie sous protégée	1.5
	3	élevée	Incomplète: <25% de la superficie sous protégée	2

L'indice de la qualité socioéconomique est évalué en fonction du produit de l'intensité d'utilisation des terres et l'application de la politique de protection de l'environnement.

$IQE = (\text{intensité de l'utilisation des terres pour l'application} * \text{la politique de protection de l'environnement})^{1/2}$. Le Tableau suivant (41) présente les classes et les indices de la qualité socio économique.

Tableau 41: Indices et classes de la qualité socio économique

	classe	description	indice
Indice de qualité socioéconomique (IQE)	1	Haute qualité	1-1.25
	2	Qualité modérer	1.26-1.50
	3	Mauvaise qualité	>1.51

7. L'élaboration de la carte de sensibilité à la désertification

Les quatre couches de la qualité des indicateurs de la désertification déjà citées ont été superposées par l'option « overlay.mbx » sur Mapinfo. L'élaboration de la carte de synthèse relative à la sensibilité susceptible de la désertification a été l'aboutissement de plusieurs combinaisons entre les différentes couches. La succession des différentes opérations s'est déroulée comme suit:

- Tout d'abord, la couche de qualité du sol a été obtenue par superposition des couches suivantes : textures, drainage, profondeur, pente et lithologie.
- Une fois, cette couche est réalisée, on a procédé à un premier croisement entre cette couche et celle de la qualité du climat (croisement 1).
- Par la suite, la couche de la qualité de la végétation a été superposée à celle de la qualité socio économique (croisement 2).
- La dernière étape était la superposition du croisement 1 et le croisement 2 pour l'élaboration de la carte de sensibilité à la désertification.

En dernier lieu, les quatre indices dérivés sont multipliés pour l'évaluation de l'indice de sensibilité à la désertification (**ISD**) comme suit :

$$(ISD) = (IQS * IQC * IQV * IQE) ^{1/4}$$

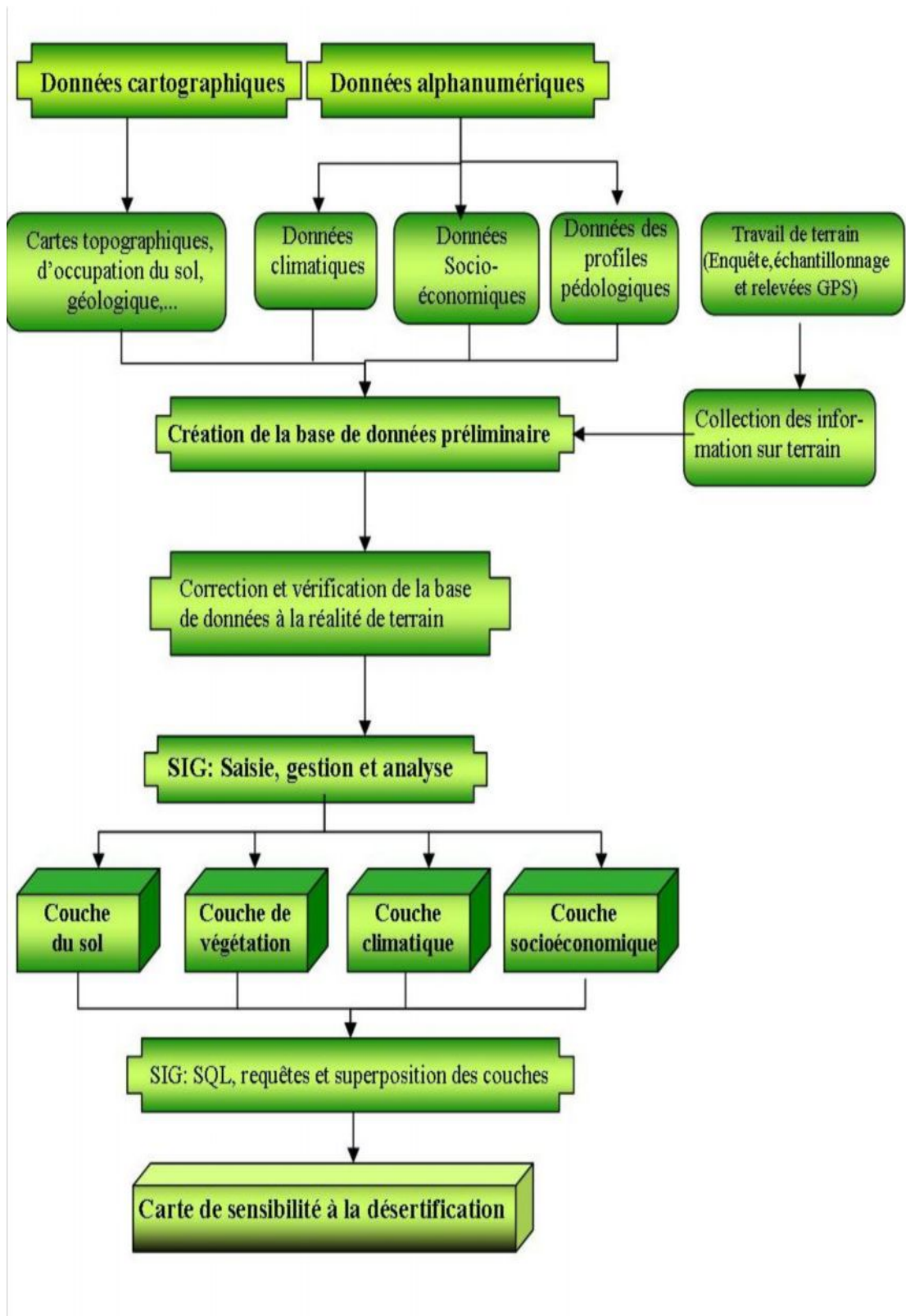
La vulnérabilité à la désertification est évaluée selon la valeur des indices suivants (**tableau .42**).

Tableau. 42 : Indices de la sensibilité à la désertification

ISD	Description	Indice
1	Non affectée	0 - 1,22
2	Peu sensible	1,23 - 1,30
3	Sensible	1,31 - 1,41
4	Très Sensible	1,41 - 2

Une fois, la classification achevée, il ne nous reste qu'à faire l'habillage de la carte selon les règles de base de la cartographie (flèche du nord, quadrillage, légende, barre d'échelle,....)

Fig.62 : Organigramme méthodologique



8-Conclusion :

La méthodologie adoptée n'est pas une simple application du concept MEDALUS mais elle a été modifiée de manière à être adaptée aux caractéristiques de la région des Aurès ; elle utilise les paramètres adéquats pour une évaluation concrète du phénomène de la désertification dans notre zone d'étude.

A cet égard, le SIG est un outil de grande fiabilité qui permet de réaliser des opérations de calcul et de cartographie des risques avec une grande précision ; Le logiciel utilisé est très performant et donne des résultats très satisfaisants car ses application surtout pour un « Thématicien » sont très précises et fiables, il est facile de manipulation et donne un bon produit tant sur le plan esthétique que sur le plan technique et scientifique.

Cependant, l'application de cette méthodologie sur une zone aussi vaste que les Aurès demande beaucoup de temps, d'effort et de moyen surtout le travail de terrain qui est la partie la plus importante, car sans vérification de terrain il est presque impossible d'obtenir des données fiables vu que notre étude se base beaucoup sur la végétation qui est un facteur dynamique et dont l'évolution change d'une année à une autre, mais aussi car les études fiables sont très rares et la plus part des études réalisées dans cette région ne sont très précises et seul le terrain peut le prouver.

9- La réalisation des cartes thématiques :

Finalement après récupération, analyse, gestion, validation et mise en forme des résultats, nous aborderons l'analyse de ces résultats obtenus par les différentes cartes de qualité ainsi que la carte synthétique de vulnérabilité à la désertification dans la zone d'étude.

9-1- La carte de qualité des sols :

On effectués des requêtes SQL et à chaque fois qu'on réalise une requête, on actualise la table requête obtenue jusqu'à l'obtention d'une mise à jour de toute la base de données ; ces résultats ont fait ressortir 3 types de qualité de sol sur une superficie totale de 990170 ha. (**Tableau. 43** et **figure .63**).

Tableau. 43 : superficie et pourcentage des classes de qualité des sols

IQS	Description	Superficie en ha	Superficie (%)
> 1,13	Bonne	316.854	32
1,13 à 1,81	Modérée	405.969	41
< 1,81	Mauvaise	267.346	27

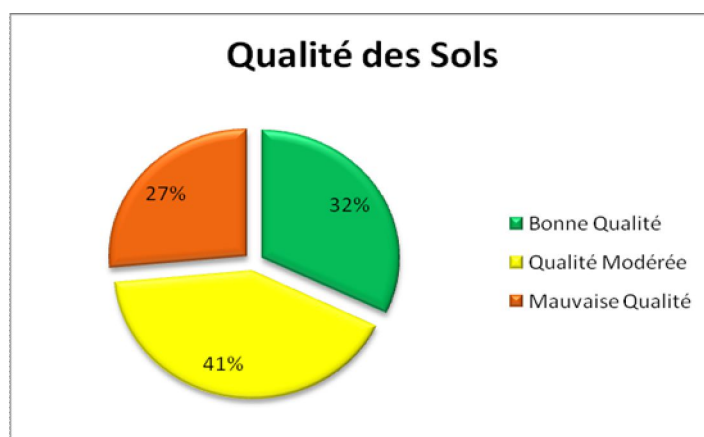


Fig. 63 : Répartition spatiale des types de qualité des sols

Les sols de bonne qualité occupent une superficie de 316.854 ha soit un taux de 32 % de la surface totale qui est de 99.0170 ha, avec un indice de qualité inférieure à 1,13 ; cette classe est occupée surtout par une végétation forestière et elle est moins soumise aux pressions entropiques que les autres classes ce qui explique la grande stabilité des sols. La classe de qualité modérée couvre une superficie de 405.969 ha soit un taux de 41 % et

un indice compris entre 1,13 et 1,45 elle est répartie sur l'ensemble de la région mis à part le sud de la zone d'étude.

La classe des sols à mauvaise qualité s'étend sur une superficie de 267.346 ha un taux de 27 % de la surface totale et avec un indice de qualité supérieure à 1,45 ; elle occupe pour sa majeure partie le sud des Aurès

La carte de la qualité du sol (**Fig.65**) est obtenue après superposition de six couches qui sont les suivantes :

- La couche « texture »
- La couche « drainage »
- La couche « pente »
- La couche « matériau parental »
- La couche « profondeur du sol »

9- 2- La carte de qualité de la végétation :

La carte obtenue après traitement par requête SQL permet de distinguer trois qualités de végétation sur une surface totale de 99.0170 ha, et qui sont réparties de la manière suivante ; **Tableau. 44** et **figure .64**:

Tableau. 44 : superficie et pourcentage des classes de la végétation

IQV	Description	Superficie en m2	Superficie (%)
> 1,13	Bonne	247.542	25
1,13 à 1,38	Modérée	198.034	20
< 1,38	Mauvaise	544.593	55

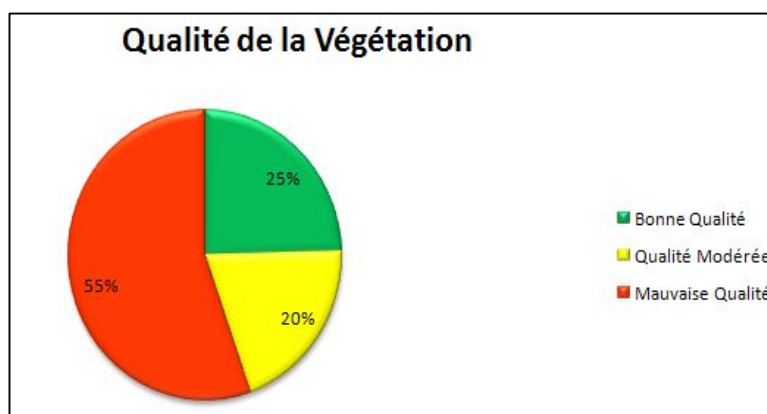


Figure.64 : Répartition spatiale des trois qualités de la végétation

La végétation de bonne qualité occupe une superficie de 247.542 ha soit un taux de 25 % de la surface totale qui est de 990.170 ha et avec un indice de qualité inférieur à 1,13, cette classe est majoritairement occupée par une végétation forestière, une véritable barrière contre l'érosion et la sécheresse, elle présente un recouvrement supérieur à 50 % La classe à qualité modérée couvre une superficie de 198.034 ha soit % et un indice compris entre 1,13 et 1,38 ; elle est répartie à la périphérie de la première classe ; elle est soit la résultante de la dégradation de la forêt ou elle correspond à des différents cultures. Cependant, la classe de mauvaise qualité s'étend sur une superficie de 544.593 soit un taux de 55 % de la surface totale et avec un indice de qualité supérieure à 1,38 ; elle occupe pour sa majeure partie le sud des Aurès

La carte de qualité de la végétation (**Fig. 66**) a été réalisée à partir des données relatives à quatre paramètres qui sont :

- Risque de feu
- Protection contre érosion
- Résistance à la sécheresse
- Taux de recouvrement

9- 3- La carte de qualité socioéconomique :

Les requêtes SQL utilisées dans cette carte aboutissent à l'apparition des différentes catégories de la qualité socioéconomique. Dans notre cas, et après affectation des indices aux différentes unités, il ressort que la zone d'étude est caractérisée par trois qualités socioéconomiques différentes (**Tableau .45 et la figure. 66**).

Tableau. 45 : superficie et pourcentage des classes de qualité socioéconomique

IQE	Description	Superficie en m2	Superficie (%)
> 1,25	Bonne	39.606	4
1,25 à 1,5	Modérée	386.166	39
< 1,5	Mauvaise	564.397	57

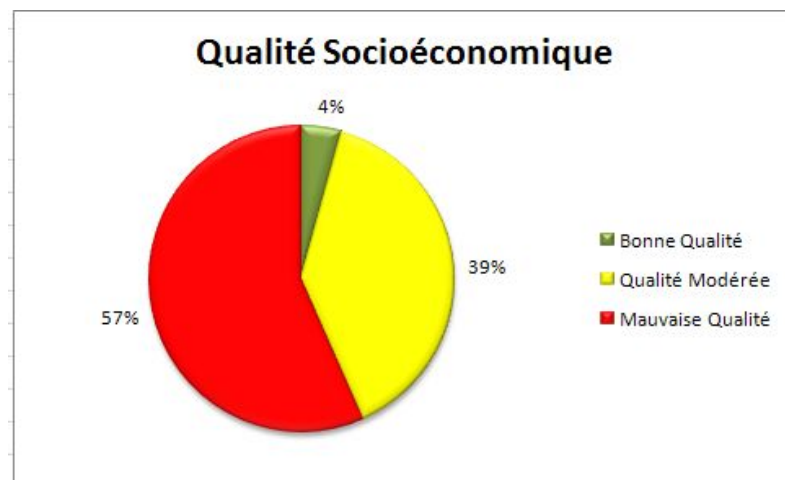


Figure .67: Répartition spatiale des trois qualités Socioéconomiques.

La classe de bonne qualité occupe une superficie de 39.606 ha soit un taux de 4 % de la surface totale qui est de 990.170 ha, avec un indice de qualité inférieur à 1,25 ; elle est répartie sur deux communes, celle de Ain-Touta et Ain Zatout ; pour la première on explique cette bonne qualité socioéconomique par le fait qu'elle soit orientée vers l'industrie et l'aviculture et pour la seconde, il s'agit d'une commune à faible population qui est majoritairement orientée vers l'arboriculture, ce qui fait que le phénomène de surpâturage y est faible.

La classe de qualité modérée occupe une superficie de 386.166 ha soit un taux de 39 % de la surface totale et avec un indice de qualité compris entre 1,25 et 1,5

La classe de mauvaise qualité se répartit sur une superficie de 564.397 ha soit un taux de 57 % de la surface totale et avec un indice de qualité supérieur à 1,5. Ce sont généralement des terres assez peuplées et soumises à un surpâturage intense.

Cette situation socioéconomique (**Figure. 68**) est liée notamment à différents facteurs :

- Une agriculture intensive avec surexploitation des ressources en eau et en sol
- Des pâturages à différents états de dégradation et la pratique d'un élevage extensif dans toute la zone entraînant la dégradation du milieu.
- L'existence des zones naturelles (Sebkha, chott et accumulations dunaires) très fragiles et très exposées à la dégradation.
- A l'absence de politiques de protection du milieu appréciable.

9- 4 -La carte de qualité du Climat :

Pour cette carte, on effectue les requêtes SQL simples de la même façon que pour la carte précédente, cela nous a fait ressortir trois qualités du climat qui sont : « Très favorable, Favorable, Défavorable » sur une superficie de 990.170 ha, elles se répartissent comme suit (Tableau.46, Figure.69 et 70) :

Tableau .46 : superficie et pourcentages des classes de qualité du climat

IQC	Description	Superficie en m2	Superficie (%)
> 1,15	Très favorable	198.034	2
1,15 à 1,81	Favorable	861.448	87
< 1,81	Défavorable	108.918	11

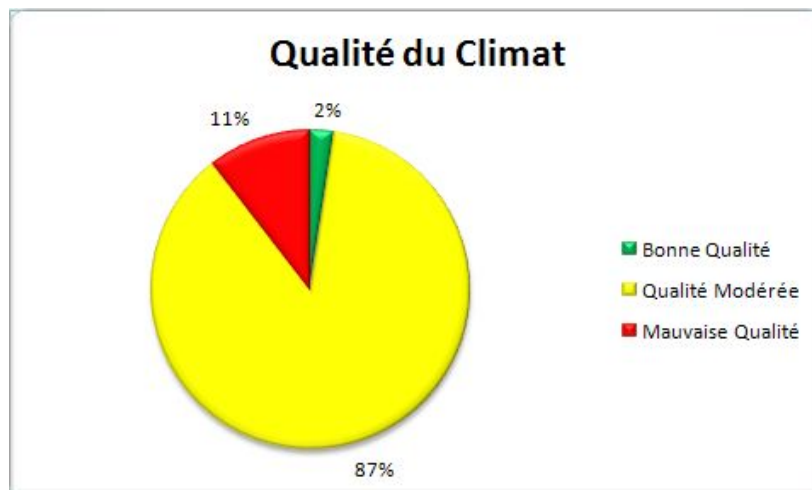


Fig. 69 : Répartition spatiale des trois qualités du climat

La classe du climat très favorable occupe une superficie de 19.803 ha soit un taux de 2 % de la surface totale qui est de 99.017 ha, avec un indice de qualité inférieur à 1,15 ; cette classe est située en haute altitude où les précipitations sont abondantes.

La classe de qualité favorable couvre une superficie de 861.448 ha soit un taux de 87% et un indice compris entre 1,25 et 1,81 elle est la plus représentée des trois catégories du fait que la région des Aurès est située dans le semi-aride au plan climatique.

La classe de défavorable qualité s'étend sur une superficie de 108.918 ha c.-à-d. un taux de 11% de la surface totale, avec un indice de qualité supérieure à 1,38 ; elle occupe

dans sa majeure partie le sud des Aurès. En général, la répartition des précipitations obéit en fait à un gradient altitudinal.

10- Analyse et interprétation de la carte de vulnérabilité à la désertification:

Le milieu des Aurès est un milieu déjà fragile et vulnérable à la désertification. La carte finale élaborée à partir de la combinaison on de la synthèse des cartes traitées précédemment nous permet de comprendre et de classier notre région en terme de sensibilité à la désertification afin d'élaborer des plans d'action et de lutte contre la désertification.

L'analyse de la carte de vulnérabilité à la désertification de la région d'étude du massif des Aurès (**Fig.71**) et de sa base de données et des différents documents existants font ressortir les principales zones de différents sensibilité à la désertification.

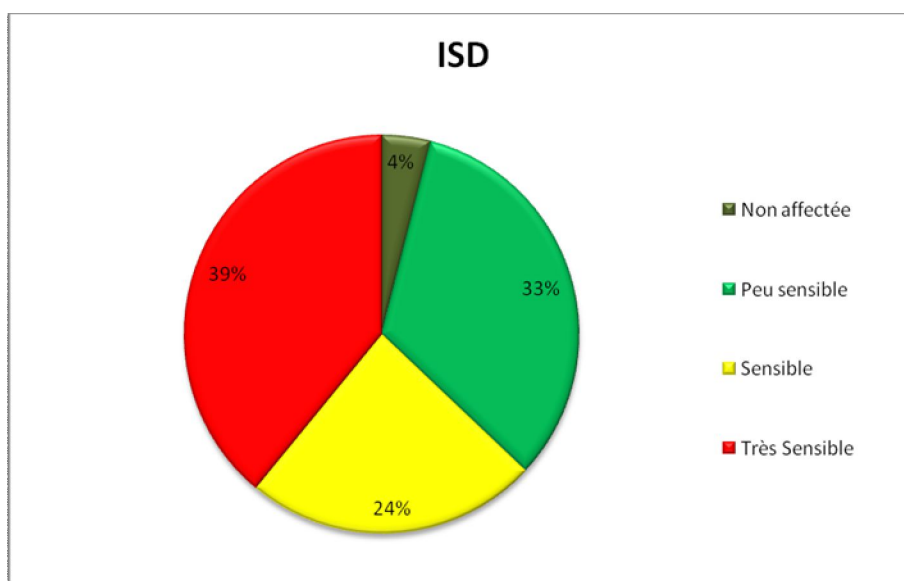
Tableau. 47 : superficie et pourcentage des classes de qualité du climat

ISD	Description	Superficie en Km2	Superficie (%)
> 1,22	Non affectée	39.607	4
1,22 à 1,30	Peu sensible	32.6756	33
1,31 à 1,40	Sensible	237.641	24
< 1,40	Très Sensible	386.166	39

A partir de ce qui précède, il a été possible de dégager les principaux types qui caractérisent les zones de sensibilité à la désertification:

- Type très sensible ;
- Type sensible ;
- Type peu sensible ;
- Type non affecté.

Figure .72 : Répartition spatial des Quatre classes de sensibilité à la désertification



La classe des terres non affectée par le phénomène de désertification représente un taux de 4% de la superficie totale ce qui veut dire que 96% des terres étudiées sont menacées de désertification soit une surface de 9505632 ha et qui seulement 396068 ha sont à l'abri et cela grâce à leur position géographique empêchant de toute contrainte anthropique et le fait qu'elle soient des terres occupées majoritairement par une végétation forestière. Cette zone n'est pas soumise à la désertification en raison du couvert végétal qui dépasse les 70 %, et du climat semi aride supérieur avec des précipitations relativement importantes (> 500mm par an).

Les secteurs des terres peu sensibles à la désertification occupent une superficie de 326.757ha soit 33 % de la surface totale qui est de 990.170 ha, avec un indice de sensibilité situé entre 1,22 et 1,30 ; ces terres sont moins soumises à la désertification que le reste des classes mais ne sont pas à l'abri de la dégradation du fait qu'elles soient mal gérées, dans quelque années, elles subiront les conséquences et se transformeront en terres désertes.

La classe des terres sensibles couvre une superficie de 237.641 ha soit un taux de 24 % et un indice compris entre 1,31 et 1,40.

La classe sensible est localisée dans le sud des communes de : M'Ziraa, de M'Chouneche et de Djemourah. Elle couvre une superficie de 237.641 ha, soit un taux de 24 % de la surface totale avec un indice variant entre 1.31 et 1.40. Cette sensibilité affecte

surtout les maquis et les zones de parcours et elle est due à la mauvaise qualité des sols, au climat défavorable et à l'extension des cultures et des pâturages.

Cependant, la classe des terres très sensibles s'étale sur une superficie de 386.166 ha soit un taux de 39 % avec un indice qualitatif supérieur à 1,40 ; la majeure partie de ces terres est située dans la région sud des Aurès et elles constituent une priorité pour toute action de lutte contre la désertification. Si le phénomène de dégradation est endigué à la source, le reste des terres sera naturellement protégé. Cette classe est considérée comme des terres désertiques car elle en globe toutes les mauvaises qualités des différents paramètres adaptés. Cette situation défavorable conduit vers une logique de désertification à caractère presque irréversible de cette région.

L'a un indice de vulnérabilité à la désertification est supérieur à 1.38 et le taux de 67 % de la zone d'étude est affecté, à la **classe critique** en termes de vulnérabilité à la désertification

Les principales contraintes qui constituent en fait les facteurs ayant généré une telle situation peuvent être résumés comme suit :

- **Des conditions climatiques sévères** : La caractéristique essentielle du climat des Aurès est l'extrême variabilité des précipitations dans l'espace et dans le temps ; les variations dans le temps se situent à la fois au niveau de la répartition saisonnière et à celui de la répartition interannuelle. D'une manière générale, le climat est marqué par une pluviosité moyenne à faible, des températures annuelles moyennes et élevées et des vents violents et desséchants. Dans la partie Sud, l'alfa ne forme que de très maigres peuplements comparés relativement aux hautes plaines Sud oranaises (SEBHI, 1988). Ce végétal l'alfa, est une espèce qui craint la sécheresse et qui exige un hiver froid ou frais ; son l'absence a conduit les botanistes et les écologistes à considérer la région sud comme un enclave du désert (domaine saharien septentrional et non domaine steppique).

- **Une population en évolution croissante** : L'examen des résultats de différents recensements permet de constater que la population du Sud des Aurès est en augmentation constante. La région a vu sa population se multiplier par 3 depuis 1977 malgré les phénomènes migratoires et l'exode rural.

La population, dans sa majorité rurale, exerce une pression sur l'environnement notamment par les changements qui se sont produits dans cette zone liés à l'utilisation des ressources en eau et en sols en relation avec les politiques agricoles qui se sont succédées

depuis l'indépendance. De plus, le pacage par les troupeaux est très destructeur. En effet, le surpâturage entraîne des déperditions irréversibles favorables aux entreprises des processus mécaniques.

- **Une érosion éolienne menaçante** : Dans le Sud des Aurès, au centre et à l'Ouest, les formes d'ensablement identifiées sont les suivantes :

L'ensablement sous forme de nebkas et Rebdous (formation dues à l'arrêt des particules sableuses par les buissons, notamment le jujubier. Les premières sont de taille moins importante que les secondes. Il s'agit d'un sable fin très faiblement calcaire et peu gypseux.

L'érosion éolienne se traduit dans l'espace par des accumulations dunaires qui ont été remises en mouvements par les hommes, suite à la destruction de la végétation naturelle.

Ainsi, le défrichage pour l'agriculture, l'élimination des espèces ligneuses pour le bois de feu et le surpâturage des parcours ont rompu l'équilibre Agro-sylvo-pastoral avec comme conséquence les phénomènes de stéppisation et de désertification. L'érosion éolienne pose des problèmes graves pour l'environnement et la mise en valeur tels que même les zones d'agglomération ne sont pas épargnées.

- **Une anthropisation inquiétante** : La mise en valeur du secteur Sud des Aurès a été entamée avec la révolution agraire. Depuis, la SAU a été multipliée par 30 environ (M.A.D.R, 2003). Les superficies irriguées ont enregistré une extension au début des années 80. Les risques de cette mise en valeur intensive sont la salinisation secondaire et les risques de pollution des nappes par les nitrates et les pesticides. Malgré les investissements très conséquents de l'état dans cette région (notamment à la suite des aides de l'état dans le cadre du plan national du développement agricole), le mode de gestion des terres et les pratiques culturelles traditionnelles n'ont subi que de faibles évolutions. Le niveau de formation très modeste des agriculteurs s'est répercuté sur les techniques de préparation de sols, de fertilisation, d'irrigation et de traitement phytosanitaire qui demeurent encore peu maîtrisables.

- **Des sols généralement pauvres** : D'après la carte pédologique de Tébessa 1/500.000 (JASEIX BELLON, 1948) on rencontre dans La zone Sud des Aurès un large glacis caillouteux, encroûté et ensablé et des collines rocheuses et différents types de sols appartenant aux classes des sols peu évolués, des sols minéraux bruts, des sols

halomorphes, des sols calcimagnésiques et des sols isohumiques. Ces sols sont dans la plupart du temps légers et présentant des accumulations calcaires ou gypseuses ou soumis à l'effet de la nappe superficielle ou à l'érosion éolienne.

D'une manière générale, le niveau de fertilité de ces sols est faible ; le recours à la fertilisation et à l'apport d'amendements organiques est indispensable pour assurer des rendements acceptables. Cependant, le manque de connaissances de base et des techniques de fertilisation ne permet pas une utilisation rationnelle de ces produits et leur cherté peut aussi limiter leurs utilisations.

9.11- Conclusion:

Au terme de ce travail, on peut souligner que l'élaboration de la carte de vulnérabilité à la désertification de la région d'étude a permis de faire ressortir clairement les grands traits de la répartition des zones sensibles à ce phénomène de dégradation.

L'analyse des résultats obtenus montre l'importance du phénomène de désertification lequel menace pratiquement toute la zone étudiée, En effet plus de 63 % de la superficie de cette zone a été classé sensible à très sensibles, alors que moins de 37 % est classés non affectés à peu sensible à la désertification.

Au plan méthodologique, le concept MEDALUS constitue est une démarche scientifique cohérente qui répond à une approche objective des indicateurs régionaux de la désertification. La nature de ces éléments données essentiellement une vue globale de leur impact sur la sensibilité à la désertification. Certains agissent plus que d'autres mais tous ont un rôle dans ce processus.

Ainsi, l'intérêt du SIG est de collecter les données nécessaires sur une base harmonisée qui permet, d'évaluer le risque de ce processus ; il permet d'utiliser des indicateurs et d'élaborer des outils d'aide à la décision en intégrant ces paramètres.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

A la lumière de ce travail de recherche qui a pour but principal de définir des indicateurs de dégradation ainsi que le suivi du processus de changement d'occupation des sols dans les régions arides et semi-arides, il ressort que :

- Au niveau de notre zone d'étude, les données de terrain concernant le phénomène de désertification sont rares. Toutefois, si elles existent, elles ne permettent pas de présenter les changements dans une vision synoptique. La plupart des études existants concernent uniquement des zones restreintes alors que le phénomène nécessite d'être étudié dans une approche multidimensionnelle (échelles supranationale, régionale et locale).

- Les résultats obtenus peuvent être directement utilisés et appliqués pour assurer une meilleure lutte et une protection contre la désertification et toutes formes de dégradation dans les zones semi-arides et arides et plus particulièrement dans la région des Aurès. A cet égard, le recours aux données de télédétection est primordial afin de dresser des bilans et des résultats fiables sur la dégradation du milieu et l'évolution de la désertification. Dans ce contexte les images des données satellitaires et multi-dates constituent une excellente source d'information pour appréhender l'étude d'un phénomène si complexe comme la désertification.

- La région des Aurès présente un faible taux de couvert végétal, lié avant tout à l'aridité du climat et à la fragilité des sols sur lesquelles poussent les végétaux (des terrains se ressuyant de façon excessive à cause de leur faible aptitude à retenir l'eau).

- Les résultats obtenus à partir des classifications des images satellitaires et la vérification de terrain montrent l'existence d'une dégradation importante de la forêt, des parcours et des sols nus ; Cette dégradation est la résultante des activités anthropiques (labours, pâturage et coupe de bois de feu) qui contribuent à réduire notablement la densité du couvert végétal. Les rares beaux peuplements forestiers sont présents uniquement sur les sommets du massif, généralement d'accès difficile.

- Ainsi, l'étude multi-dates des zones pilote en utilisant des scènes des images Landsat et Alsat1 représente un diagnostic révélateur du phénomène de dégradation de ces zones lequel est dû à une régression considérable du couvert végétal. En effet, ces résultats constituent un indicateur de l'importance du phénomène de désertification dans ces régions Aurasiennes.

- L'évaluation de la vulnérabilité des milieux à la désertification exige, d'une part la description des conditions biophysiques et socioéconomiques des zones subissant ces phénomènes, et d'autre part la compréhension des mécanismes et processus résultant de ces conditions. Cette estimation repose tout d'abord sur l'acquisition des paramètres de base permettant de décrire les états des lieux et leur dynamique aux échelles spatio-temporelles pertinentes, puis sur l'analyse et le cas échéant la modélisation des interactions entre les facteurs induisant des processus contribuant à la désertification.

- L'analyse des résultats obtenus à partir des différentes cartes thématiques montre l'importance du phénomène de désertification qui menace pratiquement toute la zone qui apparaît à travers les différentes classes de vulnérabilité à la désertification. En effet plus de 63 % de la superficie de cette zone a été classée sensibles à très sensibles, alors que moins de 37 % sont classés comme des terres non affectées à peu sensibles. Cette étude nous a permis également de collecter les données nécessaires dans un SIG, sur une base harmonisée qui permet d'évaluer le risque de ce phénomène. Le modèle trouvé utilise des indicateurs et élabore des moyens d'aide à la décision intégrant ces différents paramètres.

- A travers cette investigation, on a pu développer une nouvelle approche ainsi qu'une méthodologie d'étude du phénomène de désertification. Cette approche s'appuie sur l'outil géomatique (Télédétection, SIG et GPS). Pour cela, on a utilisé des données cartographiques numériques quantitatives et qualitatives combinées à la réalité de terrain. L'étude diachronique et synthétique de superposition des couches thématiques du milieu permet une meilleure estimation de la désertification au niveau régional par conséquent une meilleure décision et une planification régionaux contre les processus de désertification.

Enfin, la mise en évidence du problème de dégradation et de désertification à l'aide des données géomatiques présente des avantages par rapport à celle basée sur un support papier (cartes, plans, etc.). Grâce au système d'information géographique (SIG), l'accès aux données numériques à tout moment est aisé et plus rapide ; La mise à jour des données est réalisée à un intervalle de temps défini par le concepteur, les archives des données thématiques et des cartes de synthèses sont planifiées.

La connaissance des transformations actuelles des surfaces et les interactions entre les différents facteurs du milieu représentent un enjeu important pour l'évaluation des problèmes environnementaux. Ainsi, les dynamiques spatio-temporelles de l'occupation et

de l'utilisation des sols constituent un des critères essentiels à prendre en compte dans la mise en œuvre de décisions fondées sur le concept de développement durable, tant à une échelle globale qu'à une échelle régionale et locale.

En outre, l'observation des changements actuels et passés des modes d'occupation des sols et la compréhension des facteurs qui les produisent permettent, dans le cadre d'études prédictives ou prospectives, de simuler des changements et les scénarios futurs à travers des images prises sur de nombreuses dates et des approches intégrées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 01- **ABDESSEMED K. 1981**: Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif de l'Aurès et du Belezma - Etude phytosociologique, problème de conservation et d'aménagement. Thèse Doctorat, Université d'Aix-Marseille.
- 02- **ABDESSEMED K. 1984** : Les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie). Première partie : La dégradation, ses origines et ses conséquences. Forêt méditerranéenne, T VI, N°1, 1984, PP 19-26.
- 03- **ABDESSEMED K. 1985** : Les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie). Deuxième partie : Les mesures à prendre. Forêt méditerranéenne, T VII, N°1, 1985.
- 04- **ABDELGUERFI A. et LAOUAR M. 2000** : Conséquences des changements sur les ressources génétiques du Maghreb''. Option Méditerranéennes, série A, n° 39, pp. 77-87
- 05- **AIDOUD A. 1994** : Pâturage et désertification des steppes arides en Algérie. Cas de la steppe d'alfa (*Stipa tenacissima* L.). Paralelo 37° 16 : 33-42.
- 06- **ALIMEN H., BEIDA Z., et CASTA L. 1979** : Etude sédimentologique. Economie pastorale préagricole en Algérie orientale : Le Néolithique de tradition capsienne. Exemple : L'Aurès ». p 190-197, 4 fig., 4 tab.
- 07- **ANONYME, 1951** : L'Algérie par la gravure, l'Afrique Romaine, Les éditions syndicales, Alger, 16 pages.
- 08- **ANSER A. 2002** : L'Aurès Oriental : Un milieu en dégradation .Journal Algérienne des régions arides. Revue semestrielle N°01, Juin 2002.Ed : C.R.S.T.R.A Biskra (Algérie).
- 09- **AUBERT G. 1951** : Les sols des régions semi-arides d'Afrique et leur mise en valeur (France).
- 10- **AUBREVILLE A. 1949** : Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Société d'Editions Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris, 351 p. 14.
- 11- **ASPINALL R. J., 1992** : An inductive modeling procedure based on Bayes theorem for analysis of pattern in spatial data, International Journal of Geographic Information Systems, Vol.6, p.105-121, 1992.
- 12- **BAGNOULS F. et GAUSSEN H. 1957** : Les climats biologiques et leur classification. Ann. Géog. Fr., 355 : 193-220.

- 13- BAGNOULS F. ; et LEGRIS P. 1970 :** La notion d'aridité en Afrique du Nord et au Sahara. Trav. Lab. Forest., Toulouse, t. V, sec. 3, Sahara, art. III, 12p. 4 pl., 1 Carte.
- 14- BALLAIS J.L. 1975 :** Morphogenèse holocène dans la région de Chéria. Actes du symposium sur les versants en pays méditerranéens, centre d'études géographiques et de recherches méditerranéennes. Aix en Provence – Vol V, 1975.
- 15- BALLAIS J.L. 1975 :** Etude comparative des glaciers des piémonts Nord et Sud des Aurès. Coll. Géom. Glacis, Tours, 1974.
- 16- BALLAIS J.L. 1978 :** Gisements préhistoriques des Aurès et de leurs bordures. Libya. Alger.
- 17- BALLAIS J.L. VOGT T. 1980 :** Croûte calcaires quaternaires du piémont Nord des Aurès (Algérie). Rech. géogr. à Strasbourg.
- 18- BALLAIS J.L. 1981 :** Recherches géomorphologiques dans les Aurès (Algérie). Thèse doctorat- Université de Paris I, pp 572 + Annexes + Cartes.
- 19- BALLAIS J.L. 1994 :** Désertification et barrage vert en Algérie : Le cas des Zibans. Revue de géomorphologie dynamique, Paris, t. XLIII, no 1, pp. 01-08.
- 20- BARDINET C. 1994 :** "Télédétection de l'aridité et de l'environnement en Afrique du Sahara au Sahel". Revue de géomorphologie dynamique, Paris, t. XLIII, no 1, pp. 09-22.
- 21- BARTHODE CH. 1995 :** Biologie et forêts. Rev. Forest. Française F₂ X₂ VII.
- 22- BANABID A. 1984:** Problèmes posés par l'aménagement des peuplements forestiers, préforestiers et présteppiques du Maroc. Forêt méditerranéenne, T VI, N°1, P62-64.
- 23- BAUMER M. 1987:** Le rôle possible de l'agro-foresterie dans la lutte contre la désertification et la dégradation de l'environnement. Wagening – Pays bas – Centre technique de coopération agricole et rurale. 260 p.
- 24- BELGHITH A. 2003 :** "Les indicateurs radiométriques pour l'étude de la dynamique des écosystèmes arides (région de Zougrata, sud-est Tunisien)". *Sécheresse* (Paris), vol. 14, no 4, pp. 267-274.
- 25- BELLION Y. 1976 :** Etude géologique et hydrologique de la terminaison occidentale des Monts du Bellezma (Algérie). Thèse 3ème cycle, Paris VI, 221 p., 70 figures, 15 tableaux.
- 26- BENBRAHIM K.F. ; ISMALI M. ; BENBRAHIM S.F.; TRIBAK A., 2004 :** Problème de dégradation de l'environnement par la désertification et de déforestation : impact du phénomène au Maroc, Revue de sécheresse, Vol.15, Numéro, 4, pp.307-320.

- 27- BENCHETRIT M. 1972 :** L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie. Boulevard Saint – Germain, Paris.
- 28- BENHANIFIA K. 2003.** Etude comparative des données Alsat 1 et Landsat ETM+ pour l'évolution de l'état des Forêts dans la région Ouest- Oran - Actes des journées techniques Alsat 1 / Utilisateurs Asal, 14 et 15 juillet 2003-Algerie.
- 29- BENSAID S., 1996 :** Les incendies de forêts en zone méditerranéenne : analyse détaillée a travers le cas de l'Algérie. Cours séminaire Med Campus N°8, CEE, Université de Murcie (Espagne), pp : 213-233.
- 30- BENSAID A. 1997 :** Traitement des données multi sources et conception d'une base des données dans un SIG en vue de la caractérisation d'un milieu physique : application à une zone steppique au Nord de Laghouat. Thèse de Magister, 122 pages, CNTS, Arziew- Algérie.
- 31- BENSAID A. ; SMAHI Z. ; IFTENE T. et BENZINEH S. 2003 :** Utilisation de la télédétection et des SIG pour l'aide à la surveillance du risque de dégradation des parcours steppiques *Télédétection*, 2003, vol. 3, n° 5, p. 387–402.
- 32- BENSAID A. 2006 :** SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie). Thèse de doctorat en géographie, Université Es.Senia, Oran -Algérie-.325p.
- 33- B.N.E.D.E.R, 2001 :** l'étude d'inventaire des terres et forêts de l'Algérie du Nord.
- 34- BENTZ B. ; et JOUVE P. 2002 :** « Définitions et caractéristiques générales de la désertification », in Lutte contre la désertification dans les projets de développement, Jouve P., Corbier- Barthaux C., Cornet A. (Coord), CSFD/AFD, Montpellier, pp : 13-21
- 35- BERKANE A. et YAHIAOU A. 2007.** L'érosion dans les Aurès, Sécheresse vol. 18, n° 3, juillet-août-septembre 200.
- 36- BERCHICHE T. 1986 :** Contribution a l'étude socio-économique de la forêt algérienne. Thèse Mag. INA El Harrach (Alger).
- 37- BOUDY P. 1949 :** Les régions forestières nord africaines et le taux de boisement in travaux botaniques dédiés à R Maire. Ste. Hist. Nat. AFN. Alger, pp 29-37.
- 38- BOUDY P. 1955 :** Economie forestière nord africaine Tome IV. Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie, Larose- Paris.
- 39- BOURGES J. ; FLORET C. ; et PONTANIER R. 1977 :** Etude d'un milieu représentatif du Sud-Tunisien : "Citerne Telma" Dir. des ressources en eau et sol, Tunis, 147 p.

- 40- BRAHIMI Y., 2001** : Indicateurs d'impact et de mise en oeuvre des Programmes d'Action de Lutte contre la Désertification, Concepts et Expériences en Afrique, Asie et Amérique Latine, Rapport de suivi-évaluation pour la COP5, OSS / CILSS, 33 p.
- 41- BROUCHIER C. 1998** : Approche méthodologique et opérationnelle pour l'élaboration d'un SIG au sein de l'ONG Action contre la Faim. SILAT, France, Master, 31 p.
- 42- BROWN D.G.; PIJANOWSKI B. C.; et DUH J.D. 2000:** Modelling the relationship between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA, *Journal of Environmental Management*, Vol. 59.
- 43- BUREAU ,1973.** Conditions de sédimentation du valanginien inférieur au Nord de L'Aurès. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, Alger, Tome 64, fasc.3 et 4.
- 44- CALLOT Y., et OULEHRI T., 1996** : Géodynamique des sables éoliens dans le Nord-Ouest saharien : relations entre aérologie et géomorphologie, *Geodinamica Acta*, Vol. 9, p.1-12.
- 45- CALLOT Y. MARTICORENA B. et BERGAMETTI G. 2000:** Geomorphological approach for modelling the surface features of arid environments in a model of dust emissions: application to the Sahara desert, *Geodinamica Acta*, Vol. 13, p.245-270.
- 46- CCD, 1994** : Convention des Nations Unies sur la lutte contre la Désertification, dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, en particulier l'Afrique, texte avec annexes publié par le Secrétariat de la Convention, Bonn, Allemagne, 71 p.
- 47- CHABIN J.P. 1982** : L'homme et le milieu naturel à l'époque historique contemporaine (1850 – 1980) sur les confins sahariens de l'est algérien. Région de Nememcha. Thèse de 3eme cycle (T1, T2), Dijon.
- 48- CHAIBDRAA F. (1996)** : Problématiques des dépérissements des forêts en Algérie. Département de recherches en protection des forêts. I.N.R.F B p 37 Cheraga , Alger .
- 49- CHEN. J. AND GAO. S. J., 2002** : Root Causes, Development and Trend of Desertification in Yijinhuluo County, Inner Mongolia, China.
- 50- COMBE AD., 1889** : Les forêts de l'Algérie. Giralt imprimeur du Gouvernement général, Alger, 72 pages.
- 51- CORNET A. 1951** : Le problème géologique du chott Ech chergui. 70ème congrès A.F.A.S., Tunis, fasc.1, p. 115-131.
- 52- CORNET A. 1952** : Etude hydrogéologique du bassin fermé de Zahrez Gharbi Chergui. XIX Congrès géol. International d'Alger, II : 71-88.

- 53- CORNET A. ; GOUSKOV N. ; et PINARD C. 1959 :** Sur la fosse sud-aurasienne (Algérie), C.R. Somm. Soc. Géol. Fr., 7ème série, t. I, p.83-84.
- 54- CORNET A. ; LHOSTE P. ; et TOUTAIN B., 2002 :** «Evaluation et durabilité des actions de LCD, Impacts environnementaux, sociaux et économiques », *in Lutte contre la désertification dans les projets de développement*, Jouve P., Corbier-Barthaux C., Cornet A. (Coord), CSFD/AFD, Montpellier, pp. 139-147.
- 55- COUREL, M.F. 1985 :** Etude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites, Thèse d'état ès-lettres, Université de Paris 1, 1984, published by IBM Paris.
- 56- CÔTE M. 1974 :** Les régions bioclimatiques de l'Est algérien (CURER) Université de Constantine 1974.
- 57- CÔTE M. 1986 :** Aménagement de l'espace et les systèmes territoriaux en milieu steppique. Séminaire international sur la stratégie globale d'aménagement, de développement de la steppe et des zones arides. Organisé par la wilaya de Tébessa.
- 58- CÔTE M. 2003 :** Société d'étude et de recherche sur L'Aurès antique, revues annuelle N° 1 Paris. Page 100.
- 59- COUDÉ-GOUSSEN G. ; et ROGNON P. 1995 :** Désertification et aménagement au Maghreb. Paris, édition l'Harmattan, 313 p.
- 60- COUREL, M.-F., 1985 :** Etude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites, Thèse d'état ès-lettres, Université de Paris 1, 1984, published by IBM Paris.
- 61- COUREL, M.-F., RUDANT, J.P., TULLIEZ, G., 1988 :** Apport de l'imagerie ERS1 en milieu aride: cas de la région de Nouakchott en Mauritanie, Septième journée scientifique du Réseau Télédétection de l'AUPELF-UREF.
- 62- COUTROT M.; ABRAILL JF. ; et SOUTRENEN A. 1979:** La surveillance phytosanitaire de la forêt en région méditerranéenne. Forêt méditerranéenne. T1, N°1, PP 49-52.
- 63- DELARTIGUE L.T. 1904 :** Monographie de l'Aurès, Constantine ,1904.
- 64- DELVOUX A. 1869 :** La marine de la régence d'Alger, in Revue africaine, n° 77, Sept.1869.pp : 384-420
- 65- DREGNE H.E. et CHOU N.T., 1992.** Global Desertification: Dimensions and Costs; Degradation and restoration of arid lands. Texas Tech University, Lubbock, Texas, pp. 249-82.
- 66- DIRECTION GENERALE DES FORETS. 2004 :** Rapport national de l'Algérie sur la mise en œuvre de la Convention de Lutte Contre la Désertification Septembre.

- 67- DUBOIS J. M. ET AL 1997** : La réalité de terrain en télédétection : Pratiques et méthodes. Actes des journées scientifiques de Sainte-Foy- Agence Universitaire de la Francophonie- AUPELF-UREF, pp356.
- 68- EL KAIRAOUANI, 1681** : Histoire de l'Afrique. Imprimerie royale, Paris. 518 pages.
- 69- EMBERGER L. 1930** : La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. Revue gén. Bot. 42 : 641-662 et 705-721.
- 70- EMBERGER L. 1955** : Une classification biogéographique des climats. Trav. Inst. Bot. Montpellier, 7 : 3-43.
- 71- F.A.O. 1997**: Gestion des écosystèmes fragiles: lutte contre la désertification. Cahier F.A.O. Conservation 21.
- 72- F.A.O. 2004**: Système d'information des forêts. Profils des pays – Algérie – dernière mise a jour : 31 Déc. 2000.
- 73- FERAUD L. CH. 1869** : Exploitation des forêts de la Karasta dans la Kabylie orientale sous la domination turque Revue africaine, pp : 151-160
- 74- FERDINAND B. 1996** : Précis de télédétection, Volume2, Applications thématiques. Ed : Presse de l'Université Du Québec, pp 617.
- 75- FILLIAS A., 1878** : Notice sur les forêts de l'Algérie, imprimerie administrative Gojosso et Cie, 23 pages
- 76- FLORET C. et PANTNIER R. 1982** : L'aridité en Tunisie présaharienne. Travaux et documents de l'ORSTROM n° 150, 544 p.
- 77- FLORET C, LE FLOCHE et PONTANIER R. 1992** : Perturbation anthropiques et aridification en zones présahariennes. Actiques / ORSTOM. Ed, 1992.
- 78- FOJSTNG E. 1999**: Contribution de la Morphologie mathématique à la cartographie de l'occupation du sol a partir d'image SPOT (Région de l'extrême Nord-Cameroum).Rapport de doctoral en télédétection, Réseau télédétection, AUPELF- UREF, pp91.
- 79- CALLOT Y. ; et OULEHRI T. 1996** : Géodynamique des sables éoliens dans le Nord-Ouest saharien : relations entre aérologie et géomorphologie, *Geodinamica Acta*, Vol. 9, p.1-12.
- 80- GAROUANI A. et al 1993** : Cartographie de l'occupation du sol et des zones humides par télédétection dans la basse vallée de la Medjerda (Tunisie). Cinquième journées scientifiques du réseau de la télédétection d'AUPELF- UREF, Tunisie, 21-24 Septembre 1993 ; pp : 163-170.

- 81- GILLIOT, 2000.** Introduction aux SIG. Introduction & information spatiale. DAA AGER Département AGER. Institut National Agronomique Paris- Grignon Octobre 2000.
- 82- GIRARD M-C., GIRARD C. 1999 :** Traitement des données de télédétection, Dunod, Paris, 1999.
- 83- GLANTZ M. H.; et ORLOVSKY N. S. 1983:** Desertification: A review of the concept. *Desertification Control Bulletin*, Vol. 9, p.15-22
- 84- GRECO J. (1966) :** L'érosion, la défense et la restauration des sols. Le reboisement en Algérie – Pub M.A.R.A. Alger.
- 85- GUIROUD.R. 1975 :** L'évolution post triasique de l'avant pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après du bassin du Hodna et des régions voisines, *Rev. Geogr, Phus. Géol.dun. (02)*, Vol 17, f 4, N° 427-446.
- 86- HABOUDANE D.; BONN F.; ROYER A.; SOMMER S. et MEHL W. 1999 :** "Utilisation des indices décrivant la forme des spectres pour l'évaluation de la dégradation des sols d'un milieu semi-aride au sud-est de l'Espagne". in : *La télédétection en francophonie : analyse critique et perspectives, actualité scientifique (Actes des journées scientifiques de Lausanne, AUF, Lausanne, 1999)*, Lausanne, Agence Universitaire de la Francophonie, 2000, pp. 153-161.
- 87- HADDOUCHE I. 2002 :** Utilisation de la télédétection pour l'étude de la déforestation en milieu semi-aride- Cas de la région de Djelfa. Rapport de stage, 34
- 88- HALITIM O. 1975 :** Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes plaines steppiques de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôles des sels. Thèse Doctorat es. sciences. Univ. de Rennes.336 p + annexes.
- 89- HELLDEN U., 1988:** Desertification monitoring: is the desert encroaching? *Desertification Control Bulletin*, Vol.17, p.8-12.
- 90- HELLDEN, U., 1991:** Desertification--Time for an assessment, *Ambio*, Vol. 20, p.372-383.
- 91- HUBERT-MOY L. 2004 :** Occupation du sol et télédétection : De l'inventaire à la modélisation prédictive. Mémoire d'habilitation a dirigé des recherches. Université de Renne2- Haute Bretagne.
- 92- IBN KHALDOUN A., 1402 :** Discours sur l'histoire universelle (Almuqaddima) traduction de Vincent Monteil (1968), tome 1, éditions Sindbad, Paris, 467 pages.
- 93- IFTENE T. et DJERRIRI K. 2006 :** Evaluation de la méthode des histogrammes de la somme et de la différence par classification neuronale : application aux images de HRV (XS) de Spot, *Revue télédétection*, 2006, vol. 6, n° 4, p. 263-275
- 94- JASEIX B. 1948 :** Carte des sols de l'Algérie Feuille Tébessa, Biskra 1/50.0000.

- 95- JAUFFRET S., 2001 :** Validation et comparaison de divers indicateurs des changements à long terme dans les écosystèmes méditerranéens arides, application au suivi de la désertification dans le sud tunisien, Thèse d'écologie, Université d'Aix-Marseille, 328 p. + ann.
- 96- JULIEN CA. (1951)** .Histoire de l'Algérie du Nord. Tome II, Payot. Pairs.
- 97- KHARIN N. 1997 :** Dégradation des terres sèches en Mongolie. Sécheresse n° 3, Vol 08, septembre 1997.
- 98- LAFFIT R. 1939 :** Géologie des Aurès- Tome I et Tome II, Paris + carte.
- 99- LAFLAMME G. 1992 :** Diagnostic des cas de dépérissement : un premier pas vers le monitoring des forêt. 1ere partie pp189-193.Canada
- 100- LAMBIN E. F., 1997:** Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions, Progress in Physical Geography, Vol.21, No.3, p.375-393, 1997.
- 101- LAMBIN E. F.; TURNER B.L.; GEIST H. J.; et AGBOLA S.B. 2001:** The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths, *Global Environmental Change*, Vol. 11, p.261–269.
- 102- LAPIE G. 1909 :** Étude phyto-géographique de la Kabylie du Djurdjura, Delagrave, Paris. 156 pages + 12 figures + Carte.
- 103- LE HOUEROU H.N. (1968) :** La désertification du Sahara septentrional et des steppes limitrophes (Libye, Tunisie, Algérie) Annales algériennes de géographie 1968 juillet-Décembre N° 6.
- 104- LE HOUEROU H.N. (1969a) :** La végétation de la Tunisie steppique- Tunis Thèse doct d'état (Aix-Marseille).
- 105- LE HOUEROU H.N. (1969b) :** Principes-méthodes et techniques d'améliorations pastorales et fourragères en Tunisie – F.A.O Rome, 1969.
- 106- LE HOUEROU H. N. (1973) :** Ecologie, démographie et production agricole dans les pays méditerranéens du tiers-monde. Options Méditerranéenne- Février-N°17
- 107- LE HOUEROU H.N. (1979) :** Etude bioclimatique des steppes algériennes Bull.Soc.H.N.A.F.N. 68, Fasc, 3,4, pp 33-34
- 108- LE HOUEROU H.N. (1980) :** Impact de l'homme et des animaux sur la forêt méditerranéenne, vol II, N°1, pp 33-44.
- 109- LE HOUEROU H.N. (1981).** Long term dynamic- Land vegetation ecosystem of North Africa. Dans arid. Land ecosystems, vol 2, pp 479-493. Cambridge University Press, Cambridge. R.U.

- 110- LE HOUEROU H.N. (1993) :** Changements climatiques et désertification In Sécheresse n° 2, vol IV, pp 95 – 111.
- 111- LE HOUEROU H.N. 2005 :** “Problèmes écologiques du développement de l'élevage en région sèche”. *Sécheresse* (Paris), vol. 16, no 2, pp. 89-96.
- 112- LEMSANNI A.; AÏT BELAÏD M.; SMIEJ M.F. et EL YAMINE N. 1999 :** “Suivi de la désertification au Maroc à partir d'images AVHRR de NOAA”. in : La télédétection en 297 francophonie : analyse critique et perspectives, actualité scientifique (Actes des journées scientifiques de Lausanne, AUF, Lausanne, 1999), Lausanne, Agence Universitaire de la Francophonie, 2000, pp. 171-176.
- 113- LILLESAND T. M. et KIEFER R. W., 2000 :** Remote Sensing and Image Interpretation (4th ed.), John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- 114- LONGLEY P.A. ; GOODCHILD, M. F. ; et RHIND, D. W., 1999 :** Geographic Information System, 2nd ed. Vol.2, John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- 115- M.A.D.R, 2003 :** Projet de développement rural de la zone Aurès- Nememcha ‘Batna- Khenchela-Tébessa’.
- 116- MAINGUET M. 1991 :** Desertification : Natural background and human mismanagement. Springer-Verlag, Berlin. 306 p.
- 117- MAINGUET M. 1995 :** L'homme est la sécheresse. Edition Masson, Paris, 335 P.
- 118- MANIERE R. 1987 :** Télédétection spatiale et aéroportée et systèmes d'information géocodée sur l'environnement : principes généraux et étude de quelques domaines d'applications. Université d'Aix-Marseille III, Thèse de doctorat d'Etat.
- 119- MARC H. 1930 :** Note sur les forêts de l'Algérie, Collection du Centenaire de l'Algérie, 1830-1930, Larose, Paris 702 pages
- 120- MARTIN Y (1992) :** La recherche et les préoccupation du gestionnaire. Coll, recherche sur le dépérissement un premier pas vers le monitoring des forêts. pp 363-367 Canada.
- 121- MARIUS C., 1995 :** “Effets de la sécheresse sur l'évolution des mangroves du Sénégal et de la Gambie”. *Sécheresse* (Paris), vol.6, no 1, pp. 123-125.
- 122- MATHIEU Y. ; DEVILLERS E. ; et GERARD B. (1994) :** Protocole pour des observations du réseau de surveillance de l'état sanitaire des forêts C.N.F France. 38 p + annexes.

- 123- MERTENS, B., LAMBIN, E.F., 2000.** Land cover change trajectories in Southern Cameroon, *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 90, No.3, p.467-494.
- 124- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. 2005:** Ecosystems and human well-being: Desertification Synthesis. Washington, DC: World Resources Institute.
- 125- MISSOUMI A. et TADJEROUNI K. 2003 :** SIG et imagerie Alsat1 pour la cartographie du risque d'incendie de forêt ; 2nd FIG Régional Conférence Marrakech, Morocco, December 2-5, 2003
- 126- NAHAL I. 1975:** Principe de conservation du sol. Masson et C^{le}, éditeurs, Boulevard Saint – Germain. Paris VI.
- 127- NELSON, R., 1988:** Dryland management: the desertification problem: Environmental Department Working Paper No. 8, Washington, World Bank.
- 128- NICOULLAUD, B., COUTURIER, A., DAMMY, J. ET MACHET, J. M., 1992 :** Utilisation d'un SIG pour la gestion des parcelles d'une exploitation agricole, In: Gestion de l'Espace Rural et Système d'Information Géographique, éd. par Buche, P., King, D. et Lardon, S., INRA, France.
- 129- OCDE, 1994 :** Indicateurs d'environnement, Paris.
- 130- OLDACHE EL. 1988 :** Contribution à l'étude de la fixation des dunes dans la région d'El-Mesrane (W. de djelfa) et Bousâada (W de Msila). Thèse de magister en agronomie INA p 114 + annexes.
- 131- OLSSON, L., 1983.** Desertification or climate? Investigation regarding the relationship between land degradation and climate in the central Sudan, Lund series in Geography series A, 60, 1983.
- 132- OLSON, G. W., 1981:** ARCHAEOLOGY: Lessons on future soil use, *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 36, No. 5, p.261-264.
- 133- PARKER D. C.; MERETSKY V. 2002:** Measuring emergent properties of agent-based land-use models using spatial metrics, Review copy submitted to Agriculture, Ecosystem, and Environment.
- 134- PEYERIMHOFF P. 1947 :** Carte forestière de l'Algérie et de la Tunisie. Volume I, 70 p, Baconnier - Algérie.
- 135- POUGET M : (1980).** Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises. Travaux et documents de l'O.R.S.T.O.M. N° 116. Paris. Thèse. Doct. Univ Aix-Marseille 555.

- 136- POUGET M. ; CORNET A. ; LE FLOC'H E. et S.KAMAL S. 1989 :** Apports de la télédétection spatiale Spot à l'établissement des bases écologiques pour le développement rural intégré des zones arides et de la réserve de la Biosphère de Mapimi; Mexique Cas concrets de la région côtière du Nord-Ouest-EGYPTE
- 137- QUEZEL P. (1976) :** Les forêts du pourtour méditerranéen. Notes techniques M.A.B.2. UNESCO. Paris pp 09-34.
- 138- QUEZEL P. (1979) :** Matorrals « méditerranéens » et « Charparrals » Californiens. Quelques aspects comparatifs de leur dynamique, de leur structure et de leur signification écologique. Ann. Sci. Forest, 3, 6, 1 : 1-2.
- 139- QUEZEL P. (1980) :** L'homme et les dégradations récentes des forêts au Maghreb et sur le proche – orient. Fondation Emberger, Montpellier. Colloque du 9 au 10 avril 1980.
- 140- RAPP A. 1974:** A review of desertification in Africa: water, vegetation and man. Stockholm, Secretariat for international Ecology (S.I.E.S). 77p.
- 141- ROGNON P. 1996 :** “Sécheresse et aridité : leur impact sur la désertification au Maghreb”. *Sécheresse* (Paris), vol. 7, no 4, pp. 287-297.
- 142- ROSELT/OSS, 2004 :** Concepts, méthodes et mise en oeuvre du SIELROSELT/OSS. Système d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale. Collection ROSELT/OSS - DS number 3. 69 p.
- 143- ROSELT/OSS, 2004 :** Indicateurs écologiques ROSELT/OSS. Une première approche méthodologique pour la surveillance de la biodiversité et des changements environnementaux. Collection Roselt /OSS – DS number 4. 50p + annexes.
- 144- ROSELT/OSS, 2005 :** Guide ROSELT/OSS pour l'évaluation et le suivi des pratiques d'exploitation des ressources naturelles. Collection ROSELT/OSS – CT number 2. 133 p.
- 145- SABIR M., QARRO M., BADRAOUI M. ET ROCHDI M. 2005 :** Mapping Desertification Vulnerability in Morocco, First Global International Studies Conference at Bilgi University, Istanbul, Turkey, 24- 27 August 2005:
- 146- SALAMA P. 1947 :** Réseau routier de l'Afrique romaine, Service cartographique du Gouvernement général de l'Algérie, 1 feuille.
- 147- SAUVAGE Ch. 1963 :** Le quotient pluviométrique d'EMBERGER, son utilisation et représentation géographique de ses variations au Maroc. Ann. Serv. Phys. Du Globe et du Météo. l'Inst. Sci. Chérif., XX : 11-23 et 1 carte couleur.

- 148- SCHOENENBERGER A. 1971 :** Étude du couvert forestier de l'Aurès oriental et inventaire des espèces pastorales du massif des Beni Imloul, Projet Algérie 15, A.D.F, Constantine, Algérie.
- 149- SELTZER P. (1946):** Le climat de l'Algérie. Travaux de l'institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie. Université d'Algérie. 220 p.
- 150- SERNEELS S.; et LAMBIN E. F. 2001:** Proximate cause of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical model, *Agriculture, Ecosystem and Environment*, Vol.85, p.65-81.
- 151- SIMONIN A. ; et DUPERET A., 1990 :** Inventaire des phénomènes d'érosion dans le Tell oranais (Algérie) à partir de données SPOT stéréoscopiques, Actes du 115e Congrès national des Sociétés Savantes et Géologie Africaine, Avignon, France, p.225-234, 1990.
- 152- STEWART PH 1968:** Quotient pluviométrique et dégradation bio-sphérique, quelques réflexions, Bull, Soc. Hist. Na, A.F.N. Alger.
- 153- THOMAS, D.S.G.; N.J. MIDDLETON, 1994:** Desertification: Exploding the Myth, John Wiley, Chichester.
- 154- TRABOUD L. 1992 :** Les feux des forêts: Mécanismes, comportement et environnement. Ed. France.
- 155- TRICART J. ; CAILLEUX A., 1968 :** Introduction à la géomorphologie climatique, annales de géographie, Volume 77, Numéro 419, pp 86-91
- 156- TRICART J. 1969 :** Le modelé des régions sèches. Sedes, Paris, 472p.
- 157- TURNER II B.L.; SKOLE D.; SANDERSON S.; FICHER, G. 1995:** Land-Use and Land-Cover Change Science/Research Plan, IGBP Global Change Report No.35 and IHDP Report No.7, 1995.
- 158- TRIAT – LAVAL H. (1979) :** Histoire de la forêt provençale depuis 15.000 ans d'après l'analyse pollinique. Forêt méditerranéenne. Tome I, N°1, pp 19-24.
- 159- TUCKER C. J.; JUSTICE, C.O.; et PRINCE S.D., 1986:** Monitoring the grasslands in the Sahel 1984-1985, International Journal of Remote Sensing, Vol. 7, p.1571-1581.
- 160- TUCKER, C.J., DREGNE, H.E.AND NEWCOMB, W.W., 1991:** Expansion and contraction of Sahara Desert from 1980 to 1990, Science, 253, p.299-301.
- 161- UNCCD. 1997 :** Supplementary report on work on benchmarks and indicators. Committee on Science and Technology, Conference of the Parties. 5 p.

- 162- UNESCO, 1986 :** Problèmes d'érosion, transport solide et sédimentation dans les bassins versants. Projet 5.3 du Programme hydrologique international, rapport préparé sous la direction de A. Sundborg et de W.R. White. Paris, 161 p.
- 163- UNITED NATIONS, 1994.** Elaboration of an international convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. <http://www.unccd.int/>, Dernier accès le 23 Mai 2006.
- 164- UNITED NATIONS, 2005:** Convention sur la lutte contre la désertification; évaluation de la dégradation des terres arides. ICCD/COP (7)/CST/8, 22 juillet 2005 – Nairobi.
- 165- VELDKAMP A. ; VERBURG P.H. ; KOK, K. ; DE KONING G.H. J. ; PRIESS J. ; et BERGSMA A.R. 2001 :** The need for scale sensitive approaches in spatially explicit land use change modelling, *Environmental Modeling and Assessment*, Vol. 6, p.111-121.
- 166- VERBURG P. H.; et VELDKAMP W. S. A. 2002:** Modelling the spatial dynamics of regional land use: the CLUES model, *Environmental Management*, Vol.30, No.3, p.391-405.
- 167- VERNET J.L 1997 :** L'homme et la forêt méditerranéenne du préhistorique à nos jours. Ed : France.
- 168- WARREN A. AGNEW C., 1988:** An assessment of desertification and land degradation in arid and semi-arid area, International Institute for Environment and Development, Drylands Programme, Paper 2, London: IIED.
- 169- VIDAL, F. et HUBSCHMAN, J., 1992 :** Conception 'une base de données images pour la cartographie assistée par ordinateur, exploitation sous logiciel de traitement d'image de télédétection, In: *Gestion de l'Espace Rural et Système d'Information Géographique*, éd. par Buche, P., King, D. et Lardon, S., INRA, France.
- 170- VINCENT M. ; STEPHANIE P. ; et ANNABEL G. 2005 :** Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines en région nord-pas-de-calais. Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2004 - PSP04NPC35;
- 171- WORLD BANK. 2003:** World development report; Sustainable development in a dynamic world: transforming institutions, growth, and quality of life. Oxford University Press, New Delhi.
- 172- WU, W.; LAMBIN, E. F; et COUREL, M.F., 2002.** Land use and cover change detection and modeling for North Ningxia, China, *Proceedings of Map Asia 2002*, Bangkok, Thailand, Aug. 6-9.

- 173- WU W. 2003 :** Application de la géomatique au suivi de la dynamique environnementale en zones arides - exemple de la région de Nouakchott en Mauritanie, du Ningxia nord et du Shaanxi nord en Chine du nord-ouest, Thèse de doctorat en géographie, Université Paris1, France.
- 174- ZAFAR A. ; URIEL S. ; DAVID N. et ROBIN W. 2005:** Ecosystèmes et bien-être humain Synthèse sur la désertification, Un rapport de l'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire ; Island Press, Washington, DC.
- 175- ZHU Z., WANG T., 1993:** Trends in desertification and its rehabilitation in China, Desertification Control Bulletin Vol.22, p.27-30.

Les Annexes

Tableau .01: structure de la couche de qualité sol.

champs	Valeur	largeur	Exemple d'une entité (ligne)
FID	Réel simple	10	1
Symbole	Texte	50	Q
Géologie	Texte	50	Trias
Lithologie	Texte	50	Alluvios
Texture	Texte	50	SLA
Profondeur_cm	Entier_court	20	60
Fraic_cailloux	Réel simple	20	Faible
Class_pente	Réel simple	20	1
Ind_Litho	Réel simple	20	2
Ind_texture	Réel simple	20	1
Ind_prof	Réel simple	20	2
Ind_pent	Réel simple	20	2
Ind_drainage	Réel simple	20	1
IQS	Réel simple	20	1,6635
Shape Area	Réel simple	20	200,632 Km2

Tableau .02: structure de la couche de qualité du Climat

champs	Valeur	largeur	Exemple d'une entité (Polygones)
FID	Réel simple	10	1
Symbole	Texte	50	Q
Altitude	Texte	50	900-1200 m
Précipitation	Réel simple	30	470 mm
M max	Réel simple	30	33,42 °C
M min	Réel simple	30	3,12 °C
Q2	Réel simple	30	89,51
Etage bioclimatique	Texte	50	Semi-aride
IQC	Réel simple	30	1,82
Shape Area	Réel simple	30	1220,463 Km2

Tableau .03: structure de la couche de qualité de la végétation

champs	Valeur	largeur	Exemple d'une entité
FID	Réel simple	10	630
Formation végétale	Texte	50	Foret
I Recouvrement	Réel simple	50	1
I Protection érosion	Réel simple	30	1
I Résistance sécheresse	Réel simple	30	1
I Risque feu	Réel simple	30	1,6
IQV (qualité végétation)	Réel simple	30	1,12
Shape Area	Réel simple	50	225,841Km2

Tableau .04: structure de la couche de qualité du Climat

champs	Valeur	largeur	Exemple d'une entité (Polygones)
FID	Réel simple	10	1
Communes	Texte	50	Tazoult
Subdivision agricole	Texte	50	T'kout
Population	Réel simple	30	25000
Bovins	Réel simple	30	6771
Ovins	Réel simple	30	5701
Caprins	Réel simple	30	4758
Caméliens	Réel simple	30	41
Cheptel	Réel simple	50	35690

IQE	Réel simple	30	1,50
Shape Area	Réel simple	30	1220,463 Km2

Liste des Figures

Fig. 01 : Carte d'un modèle numérique de terrain de la région des Aurès.....	08
Fig.02 : Carte de Situation Administrative de la Région des Aurès.....	10
Fig. 03 : Carte orographique générale de situation de l'ensemble du massif des Aurès...	12
Fig. 04 : Carte orographique du massif des Aurès.....	14
Fig. 05 : Carte de réseau hydrographique d'ensemble des Aurès.....	16
Fig. 06 : Réseau hydrographique Sud- Est des Aurès.....	17
Fig. 07 : Réseau hydrographique Nord- Ouest des Aurès.....	18
Fig. 08 : Réseau hydrographique Nord Est des Aurès.....	19
Fig. 09 : Carte géologique des Aurès.....	20
Fig. 10: Carte géomorphologique du Djebel Clélia	23
Fig. 11 : Carte géomorphologique de MALLOU CHERGUI	25
Fig. 12 : Carte des sols des Aurès.....	28
Fig.13 : Carte du couvert végétal d'après le calcul de NDVI d'image Alsat1 (2007).....	30
Fig. 14 : Carte des principales communes de l'Aurès.....	36
Fig. 15: La température moyenne mensuelle D'Ain Skhouna- (Batna).....	40
Fig. 16 : La température moyenne Mensuelle de Biskra.....	40
Fig.17 : La température moyenne Mensuelle Foum El Gueiss.....	40
Fig. 18: Les précipitations moyennes mensuelles d'Ain Skhouna (Batna).....	43
Fig. 19: Les précipitations moyennes mensuelles de Biskra.....	46
Fig. 20 :Les précipitations moyennes mensuelles d Foum El Gueiss.....	46
Fig. 21: Diagramme Ombrothémique d'Ain Skhouna.....	48
Fig. 22: Diagramme Ombrothémique de Biskra.....	49
Fig. 23 : Diagramme Ombrothémique de Foum El Gueiss.....	49

Fig.24 : Climagramme D'EMBERGER.....	52
Fig.25: Hauteurs moyennes des précipitations exprimées en mm des trois stations.....	56
Fig.26: Moyenne des températures mensuelles minimales des trois stations.....	57
Fig. 27 : Moyenne des températures mensuelles maximales des trois stations.....	57
Fig. 28 : L'aménagement de cordons en pierres sèches est un exemple des pratiques instaurées pour lutter contre l'érosion des sols.....	86
Fig. 29 : Un exemple de SIG et des procédures d'analyse.....	101
Fig. 30 : Schema d'un SIG (GILLIOT, 2000.).....	103
Fig. 31: Micro satellite Algérien (Alsat1).....	111
Fig.32: Tête de caméra.....	111
Fig.33: Alsat1 image de Chott Melrghir et de la région des Aurès.....	111
Fig. 34 : Carte de la zone choisie pour la réalisation la carte d'occupation du sol de la région des Aurès.....	113
Fig.35 : Organigramme des différentes étapes de la réalisation d'une carte d'occupation du sol.....	114
Fig. 36: Image satellitaire sous ENVI 4.0.....	115
Fig. 37 : La composition colorée de l'image Alsat1.....	116
Fig. 38 : Image d'Alsat1 de la région des Aurès géoréférencié.....	118
Fig. 39 : Zone pilote Sud- Ouest des Aurès réalisée à partir d'image Alsat1 (2006).....	122
Fig. 40 : Carte d'occupation et d'utilisation du sol de la région des Aurès.....	123
Fig. 41 : Carte des Aurès et limites de la zone d'étude.....	127
Fig. 42 : Carte des relevés GPS et échantillonnage sur image).....	130
Fig.43 : Technique de la classification de la composition colorée.....	131
Fig. 44 : Carte de suivi de l'occupation et d'utilisation du sol entre 1987 et 2001 dans le Sud centre des Aurès.....	136

Fig. 45 : Des fenêtres de détection des changements d'occupation du sol entre 1987 et 2001 de la zone d'étude de cas.....	137
Fig. 46: Calage (Carte - Image).....	141
Fig. 47 : Carte d'échantillonnage de notre cas d'étude.....	142
Fig. 48 : La classification supervisée de l'image Satellitaire a l'aide ENVI 4.0.....	144
Fig. 49 : La répartition spatiale de la surface des unités d'occupation du sol (1987).....	146
Fig. 50 : Carte d'occupation du sol de 1987 au Sud- Est des Aurès.....	147
Fig. 51 : La répartition spatiale de la surface des unités d'occupation du sol (2001).....	149
Fig. 52 : Carte d'occupation du sol durant l'année 2001 au Sud- Est des Aurès.....	150
Fig.53 : La répartition spatiale des surfaces des unités d'occupation du sol au cours de l'année 2007.....	151
Fig. 54 : Carte d'occupation du sol au cours de l'année de 2007 au Sud- Est des Aurès...	152
Fig. 55 : Evolution des surfaces des unités d'occupation du sol des trois dates 1987, 2001 et 2007.....	156
Fig. 56 : les jeux de données raster correspondent aux mécanismes de stockage des données d'imagerie.....	159
Fig. 57 : Les options de numérisation et de calage.....	159
Fig. 58 : Visualisation des entités raster et vecteur sur MapInfo.....	160
Fig. 59 : Visualisation du modèle TIN sur MapInfo de la région Sud des Aurès.....	161
Fig. 60 : Carte d'échantillonnages par relevé GPS.....	165
Fig. 61: L'itinéraire et le profile des terrains suivis par GPS.....	166
Fig.62 : Organigramme méthodologique.....	176
Fig. 63 : Répartition spatiale des types de qualité des sols.....	178
Fig.64 : Répartition spatiale des trois qualités de la végétation.....	179
Fig. 65 : Carte de qualité du sol.....	180
Fig. 66 : Carte de qualité de la végétation.....	182

Fig. 67: Répartition spatiale des trois qualités Socioéconomiques.....	183
Fig. 68 : Carte de qualité socioéconomique.....	184
Fig. 69 : Répartition spatiale des trois qualités du climat.....	185
Fig. 70 : Carte de qualité du climat.....	186
Fig.71 : Carte de vulnérabilité à la désertification de la zone d'étude du massif des Aurès.....	188
Fig.72 : Répartition spatial des Quatre classes de sensibilité à la désertification.....	189

Liste des Tableaux

Tableau. 01 : Répartition des superficies forestières par commune	30
Tableau. 02 : Nombre d'habitants pour quelques communes du massif de l'Aurès.....	34
Tableau. 03 : Les stations météorologiques étudiées.....	38
Tableau. 04 : Les températures moyennes mensuelles des trois stations étudiées.....	39
Tableau. 05 : Les fluctuations thermiques dans les trois stations étudiées.....	39
Tableau. 06 : Les précipitations moyennes mensuelles (en mm) des trois stations étudiées.....	42
Tableau. 07 : La vitesse moyenne de vent : Station d'Ain Skhouna et Foug El Gueiss...	46
Tableau. 08: Le nombre des jours de sirocco.....	46
Tableau. 09 : l'humidité relative des stations étudiées.....	47
Tableau. 10 : Les étage bioclimatiques (Ain Skhouna, Biskra, et Foug El Gueiss).....	50
Tableau. 11 : Superficies incendiées de 1985 à 1994	71
Tableau. 12 : Les changements de superficie des terres arables, des forêts, des pâturages et des terres plantées d'alfa (ha).....	72
Tableau .13 : Production du bois de Batna 1931-1952	77
Tableau. 14 : Nombre de délits entre 1992 et 1998	77
Tableau. 15: Régression du couvert forestier entre 1990 et 2003	80
Tableau. 16 : L'accroissement du ruissellement et la réduction de l'infiltration.....	82
Tableau. 17: Caractéristique de Micro Satellite Alsat1.....	112
Tableau. 18 : Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image Alsat1 pour la période de 2006.....	119
Tableau. 19 : Pourcentages et surfaces des unités d'occupation du sol.....	120
Tableau. 20 : Caractéristiques et équivalences des canaux utilisés de Landsat 5 et 7.....	129

Tableau. 21 : Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de Landsat pour la période de 1987.....	133
Tableau. 22 : Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de Landsat pour la période de 2001.....	134
Tableau. 23 : Comparaison des surfaces des unités d'occupation du sol entre 1987 et 2001.....	138
Tableau. 24 : Des surfaces des unités d'occupation du sol pour l'année 1987.....	146
Tableau. 25 : Les surfaces des unités d'occupation du sol pour l'année 2001.....	149
Tableau. 26 : Les surfaces des unités d'occupation du sol pour l'année 2007.....	151
Tableau. 27 : Evolution des surfaces des unités d'occupation du sol pendant les trois dates 1987, 2001 et 2007.....	154
Tableau. 28 : Données raster utilisées pour la création de la base de données.....	163
Tableau. 29 : Les données Vectorielles utilisées pour la création de la base de données.....	168
Tableau.30 : Classes et indices des paramètres liés aux qualités du sol.....	169
Tableau. 31 : La structure de la couche qualité du sol.....	169
Tableau. 32 : Evaluation de l'indice de la qualité du sol.....	169
Tableau .33 : Classes et indices des paramètres lies des valeurs des précipitations.....	170
Tableau .34 : Classes et indices des paramètres lies à l'étagement du climat.....	170
Tableau. 35 : La structure de la couche qualité du climat.....	170
Tableau.36 : Evaluation de l'indice de la qualité du climat.....	171
Tableau. 37 : Classes et indices des paramètres lies à la qualité de végétation.....	172
Tableau. 38 : La structure de la couche de végétation.....	172
Tableau. 39 : Indices de la qualité de la végétation.....	173
Tableau. 40 : Classes et indices des paramètres lies à la qualité de socioéconomique....	174
Tableau. 41 : Indices et classes de la qualité socio économique.....	174

Tableau. 42 : Indices de la sensibilité à la désertification.....	175
Tableau. 43 : Superficie et pourcentage des classes de qualité des sols.....	178
Tableau. 44 : Superficie et pourcentage des classes de la végétation.....	179
Tableau. 45 : Superficie et pourcentage des classes de qualité socioéconomique.....	181
Tableau. 46 : Superficie et pourcentages des classes de qualité du climat.....	185
Tableau. 47 : Superficie et pourcentage des classes de qualité du climat.....	187

RESUME :

La région des Aurès présente une diversité floristique et faunistique indéniable, Cependant les conditions climatiques (précipitations < 300 mm /an et des températures annuelles varient entre 11,5 et 33°C) et la réalité anthropique défavorable, induisent une dégradation du milieu physique qui prend la forme d'une régression du couvert végétale.

L'objectif de cette étude est de montrer d'une part, l'apport des images satellitaires dans la détection des changements d'occupation du sol et l'évolution de la désertification dans la région des Aurès. Pour cela, nous avons utilisé des images satellitaires de différentes dates : Landsat ETM+ de l'année 2001, TM 1987 et des images de micro satellite Algérien Alsat 1 de 2007. La démarche adoptée consiste à traiter des images satellitaires multi-dates par la méthode de classification supervisée de Maximum vraisemblance pour visualiser les changements d'occupation du sol qui se sont produits dans cette zone.

Les résultats obtenus des traitements des images satellitaires montrent bien que le couvert forestier, la végétation clairsemée ainsi que les sols font l'objet d'une dégradation très avancée.

D'autre part, La réalisation de la carte de vulnérabilité à la désertification du massif des Aurès a été élaborée par le croisement de quatre couches thématiques susceptibles d'avoir un impact sur le processus de désertification.

Les informations cartographiques sur la végétation, le climat, le sol et l'état socioéconomique sont issues de données cartographiques de terrain transformées en données numériques puis saisies, structurées et gérées par un algorithme dédié aux systèmes d'informations géographiques (SIG).

En fonction des informations, chaque couche a fait l'objet de 3 à 4 classes, la moyenne géométrique des quatre couches utilisées a abouti à des classes de sensibilité (ISD) des différents milieux cartographiés.

Mots clés : Données géomatique, Evolution de l'occupation des sols et désertification; Couches thématiques, carte de vulnérabilité à la désertification, Aurès.

ملخص:

منطقة الأوراس الشبه الجافة تشكل تنوع نباتي وحيواني لا يمكن دحضه. لكن الأحوال الجوية الغير مساعدة (هواطل المطر > 300 مم/ سنة و درجات حرارة متوسطة تتراوح بين 11.5 و 33 درجة مئوية) وكذلك الحالة الاجتماعية والاقتصادية الصعبة لسكان المنطقة ساهموا في تدهور الوسط الطبيعي والذي ظهر بتراجع وانحصر الغطاء النباتي بالمنطقة.

هدف هذه الدراسة هو تحديد مدى مساهمة صور الأقمار الصناعية و نظام المعلوماتية الجغرافية في كشف و تتبع تغيرات استغلال مساحات الأرض بحسابات دقيقة وكشف ظاهرة التدهور و التراجع في الغطاء النباتي وانتشار ظاهرة التصحر بمنطقة الأوراس.

لسنوات 1987 و 2001 LANDSAT لساتل الأمريكي 5 و TM7 و ETM+ استعملنا في هذه الدراسة صور وكذلك صور الساتل الجزائري لسنة 2007 التي قامت بتغطية المناطق التي لحقتها التعرية بدرجة كبيرة وخاصة بالجنوب الوسط والجنوب الغربي هي غابة بني ملول، جبل مزبل و جبل أحمر خدو و كل هذه المناطق معروفة بالتنوع والأصناف النباتية المتوسطة.

.الطريقة المتبعة في هذه الدراسة تشمل تحليل صور الأقمار الصناعية ذات التواريخ المختلفة لنفس المنطقة بتحليلها ومعالجتها بالحاسوب المبرمج مع خرجات ميدانية لتأكيد التطابق وصحة المعلومات. النتائج أظهرت تدهور كبير على مستوى سطح الأرض وتغيرات كلية للاستعمال الأرضي إبان الفترة الممتدة بين 1987 إلى غاية 2007. وكذلك أنجزنا بنظام المعلوماتية الجغرافي خريطة التحسس وبينت لنا أن نسبة تحسس المنطقة للتصحر كانت كبيرة وتزداد كلما اتجهنا للجنوب والجنوب الشرقي