

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE EL HADJ LAKHDAR- BATNA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DES SCIENCE DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



THESE

Présentée par :

BOUZEKRI Abdelhafid

Pour l'obtention du diplôme de doctorat 3^{ème} cycle

En Aménagement du territoire et gestion des risques majeurs

Thème :

**EVALUATION MULTICRITERE DES SITUATIONS
CRITIQUES AU RISQUE DE LA DESERTIFICATION
DANS LES AURES (ALGERIE).**

Thèse soutenue devant le Jury composé de :

Président du jury	M.KALLA Mehdi	Professeur	Université Hadj Lakhdar- Batna -
Directeur de thèse	M. BENMESSAOUD Hassen	M.C.A	Université Hadj Lakhdar- Batna-
Examineur 1	M. GUITTOUCHE Med Said	Professeur	USTHB. Alger.
Examineur 2	M. BENSALD Rabah	Professeur	Université de Skikda.
Examineur 3	Mme. DRIDDI Hadda	Professeur	Université Hadj Lakhdar- Batna -

Année Universitaire : 2014-2015.

Remerciements

Il m'est agréable de remercier toutes les personnes qui m'ont aidée et soutenue durant ces années et qui ont contribué à la réalisation de ce travail :

Je remercie d'abord **Monsieur BENMESSAOUD Hassen**, Maître de conférences à l'université de Batna, malgré ses multiples charges pour avoir accepté de diriger avec beaucoup d'attention et de soin cette thèse, Leur suggestions, conseils et critiques, m'ont aidé à élaborer ma thèse.

Je remercie vivement **Mr KALLA Mahdi**, Professeur à l'université de Batna d'avoir accepté de participer comme président au jury de cette thèse.

Je Tiens ainsi à remercier les membres de jury : **Mr. GUITTOUCHE Med Said**, Professeur à (USTHB); **Mr BENSAID Rabah**, Professeur à l'université de Skikda et **Mme DRIDI Hadda** pour avoir accepté avec beaucoup de gentillesse de juger ce travail malgré leurs nombreuses activités de professeur.

Mes sincères remerciements s'adressent à Monsieur le conservateur des forêts de la wilaya de Khenchela pour sa collaboration et sa gentillesse.

Je tiens à remercier au terme de cette étude, tous ceux qui ont coopéré de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Liste des Abréviations

AHP : Analyse Hiérarchique des Processus.

AMC : Analyse Multi. Critère.

ANAT : Agence Nationale d'Aménagement du Territoire.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

CNTS : Centre National des Techniques Spatiales.

CSFD : Comité Scientifique Français de Désertification.

DSA : Direction des Services Agricoles.

ETM : Enhanced Thematic Mapper.

FAO: Food and Agriculture Organization.

FEM : Font pour l'Environnement Mondial.

GPS : Global Positioning System.

IB : Indice de Brillance.

IR : Indice de Rougeur.

MNT : Model Numérique de Terrain.

MSI: Moisture Stress Index.

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

NDWI: Normalized Difference Water Index.

OLI: Operational Land Imager.

ONM : Office National de Météorologie.

OSS : Observation du Sahel et du Sahara.

PAN : Plan d'Action Nationale.

ROSELT : Réseau d'Observation pour la Surveillance Écologique à Long Terme.

SAU : Surface Agricole Utile.

SIG : Système d'Information Géographique.

SNAT : Schéma National d'Aménagement du Territoire.

TM : Thematic Mapper.

Table des Matières

INTRODUCTION GENERALE	1
CAPITRE 01 : Description générale de la zone d'étude	
Introduction	7
1- Les critères de choix de la zone d'étude	7
2- Cadre géographique	8
3. Cadre géologique	9
3.1. Evolution tectonique	10
3.2. Tectonique régionale	10
3.3. L'anticlinal de Khenchela	11
3.4. Le Synclinal d'Ouled Rechaich	13
3.5. La série stratigraphique	13
4. Réseau hydrographique	17
5. Cadre géomorphologique	19
6. Cadre édaphique	22
7. Le couvert végétal	26
7.1. la végétation forestière.....	26
7.2. La végétation steppique.....	28
8. Cadre Socio-économique.....	29
8.1. La répartition spatiale de la population	29
8.2. Les activités économiques (Agriculture)	32
Conclusion	34
CHAPITRE 02 : Climat et Bioclimat de la zone d'étude.	
Introduction	36
1. Les stations climatologiques	36
2. Étude des paramètres climatiques	37
2.1. Précipitation	37
2.1.1. Répartition annuelle des précipitations	37
2.1.2. Répartition mensuelle des précipitations.....	38
2.1.3. Répartition saisonnière des précipitations	42
2.2. Les températures	45
3. Synthèse climatique	51
3.1. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN	52
3.2. L'indice d'aridité de DEMARTONNE	55
3.3. Climagramme d'EMBERGER	56
Conclusion	58

CHAPITRE 03 : Cadre théorique de notre recherche

1. Connaissance de base sur la désertification	60
1.1. Définition de la désertification	60
1.2. Les causes principales de la désertification	61
1.2.1. Les activités humaines	61
1.1.2. Les variétés climatiques	63
1.3. Évaluation et suivi de la désertification	63
1.3.1. Les indicateurs	64
1.3.2. Les observations	66
1.4. Les programmes de lutte contre la désertification en Algérie	67
2. Système d'information géographique.....	68
2.1. Définition des Système d'information géographique	68
2.2. Capacités analytiques des SIG	68
2.3. Limites du SIG en aide à la décision spatiale	69
3. Analyse multicritère pour l'aide à la décision	70
3.1. Aide à la décision	70
3.2. Action ou alternative	71
3.3. Action spatiale	72
3.4. Représentation des actions spatiales	72
3.5. Critère.....	73
3.6. Performance des actions	73
3.7. Les différentes méthodes en analyse multicritère	74
3.7.1. Agrégation complète	74
3.7.2. Agrégation partielle	75
3.7.3. Agrégation locale	75
4. La démarche multicritère AHP de Saaty	76
5. L'intégration SIG-AMC, une nécessité	76
6. Intégration des SIG et de l'analyse multicritère	77
6.1. Schéma conceptuel d'intégration	78
6.2. Mode d'intégration des SIG.....	78
6.2.1. Mode d'intégration SIG et AMC indirecte	79
6.2.2. Mode d'intégration SIG et AMC encadré	79
6.2.3. Mode d'intégration SIG et AMC complet	80
6.3. Les limites des travaux d'intégration SIG -AMC	81
6.4. Les domaines d'application	81
Conclusion	83

CHAPITRE 04 : Étude et analyse spatio-temporelle des changements du milieu et de processus de désertification

Introduction	85
1. Données utilisées	85
2. Méthodologie de travail	87

2.1. Prétraitement des données images	87
2.2. La composition colorée et le choix des canaux multi-spectraux	88
2.3. Missions de reconnaissance et données de terrain	89
2.4. Validation de la classification	91
3. Résultats et discussion	93
3.1. État de l'occupation du sol en 1987.....	93
3.2. État de l'occupation du sol en 2000.....	96
3.3. État de l'occupation du sol en 2013.....	100
3.4. Changements détecté entre 1987 et 2000	103
3.5. Changement détecté entre 2000 et 2013	104
3.6. Changement détecté entre 1987 et 2013	105
3.7. Analyse de changement de chaque unité d'occupation du sol entre 1987 2013	106
Conclusion	113
CHAPITRE 05 : Utilisation des indices de télédétection dans le suivi quantitatif de la désertification	
Introduction.....	115
1. Les indices de végétation	115
1.1. L'indice normalisé de végétation (NDVI)	116
1.2. L'indice de stresse en humidité (MSI)	124
1.3. L'indice normalisé de différence en eau (NDWI).....	130
2. Les indices du sol	135
2.1. L'indice de Rougeur (IR).....	135
2.2. L'indice de brillance (IB)	142
Conclusion	146
CHAPITRE 06 : Intégration SIG-AMC pour l'évaluation des situations critiques au risque de la désertification dans la région des Aurès.	
Introduction	148
1. Données utilisées	149
2. Méthodologie de travail.....	150
2.1. Hiérarchisation des critères	152
2.2. Standardisation des critères d'appréciation	154
2.2.1. Critère du couvert végétal.....	154
2.2.2. Critère du sol	157
2.2.3. Critère du climat.....	160
2.2.4. Critère des enjeux socio-économiques	163
2.3. Critère d'exclusion ou contraintes	166
2.4. Évaluation multicritère	166
2.4.1. Pondération des critères d'appréciation	166
2.4.2. Agrégation complète des critères :.....	169
3. Résultats et discussions	171

4. Impact de la désertification sur l'environnement et la population	176
5. Proposition des techniques d'aménagement pour lutter contre le risque de ladésertification :	179
Conclusion	182
CONCLUSION GENERALE.....	183
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	187
LES ANNEXES	199
LISTE DES ABREVIATION.....	205
LISTE DES TABLEAUX	206
LISTE DES FIGURES.....	208
LISTE DES PHOTOS	211
RESUME.....	212

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le risque de la désertification est aujourd'hui un problème de dimension planétaire, les continents sont affectés par la désertification, Cependant les ampleurs sont différentes d'un continent à l'autre (REYNOLDS et al; .2007). Le terme de la désertification a été utilisée pour la première fois en 1927 par Louis Lavauden et publié scientifiquement par le forestier français AUBERVILLE en 1949 dans le cadre de l'étude de la dégradation de la végétation des forêts tropicales dans l'Afrique centrale,

Selon le chapitre 12 de l'Agenda 21 du sommet de Rio de Janeiro en 1992 et l'article 1 de la convention des nations unies sur la désertification, la désertification est définie comme une " 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". Cette définition montre que la désertification ne signifie pas l'avancement des déserts mais plutôt la dégradation des terres. Elle se traduit par la détérioration de la couverture végétale et les ressources en eau, Ces différentes formes de dégradation peuvent avoir lieu à l'extérieur des zones désertiques dans des zones arides, semi-arides et subhumides sèches.

À travers la définition de la désertification par les organismes internationaux, on distingue deux causes principales, Les variations climatiques et les activités humaines qui aggravent le risque de la désertification. Les longues périodes de sécheresse et l'augmentation dans les températures provoquent l'accroissement des conditions d'aridité qui empêchent la végétation de se développer. Ainsi l'accroissement de la population et l'urbanisation entraînent l'accroissement dans les besoins alimentaires des populations, qui sont assurées par l'augmentation des activités humaines sur les milieux qui sont principalement liées à l'agriculture comme le surpâturage et le déboisement qui détruit le couvert végétal.

L'Algérie comme tous les pays de la méditerranéen et surtout l'Afrique du Nord est menacée par le risque de la désertification. Le bilan établi par le ministère de l'Agriculture (2011) montre que 14 millions d'hectares de zones de montagne au nord sont touchés par l'érosion hydrique, 32 millions d'hectares en zones steppiques sont affectés ou menacés par la désertification et 4,1 millions d'hectares de forêts soumis aux menaces des effets des changements climatiques. Les travaux réalisés par le CNTS (Centre National des Techniques Spatiales) en 1996 confirment que l'évolution de ce fléau naturel durant ces 20 dernières années s'accélère selon un rythme d'environ 40.000 ha/ an. Ces chiffres alarmants nécessitent des décideurs une intervention rapide pour lutter contre ce risque.

Le risque de la désertification touche principalement le Sud du pays qui peut être gravement affecté et le ruban des steppes qui fait partie des régions arides et semi-arides qui ont toujours

été l'espace privilégié de l'élevage ovin extensif à cause de sa valeur fourragères, Ces parcours pastoraux et agricoles, qui jouent un rôle important dans l'économie du pays, ont connu une dégradation de toute les composantes de l'écosystème surtout depuis quelques années en raison d'une sécheresse climatique persistante couplée avec une pression socio-économique (LE HOUEROU. 1985, AIDOU. 1996 et BEDRANI. 1999, BENMESSAOUD, 2009).

L'ensablement présent dans l'érosion éolienne et ses effets surtout dans les régions arides constitue un problème dans le développement et l'environnement qui conduit à une perte permanente de la productivité biologique et économique.

Notre zone d'étude et ses périphéries vers l'Est et le Sud, fait partie des régions arides et semi-arides, Les Aurès est une région fortement touchée par le risque de la désertification (BENMESSAOUD, 2010), malgré sa diversité édaphique, géomorphologique, topographique et écologique, qui allant des écosystèmes désertiques fragiles au Sud à des écosystèmes montagneux et forestiers au Nord.

Les monts des Aurès par sa caractéristique orographique et floristique sont séparé entre deux zones fragiles ; les steppes au Sud et les Hautes plateaux au Nord. La question qui se pose est-ce que la zone montagneuse des Aurès sera transformée en zone désertique comme la partie Sud des Monts des Nemamecha qui était auparavant des zones non désertiques.

Du point de vue méthodologique l'utilisation de systèmes d'information géographique est limitée surtout dans la superposition des couches pour l'obtention de la carte synthèse. Les travaux réalisés en termes de l'intégration des systèmes d'information géographiques par sa capacité analytiques et d'affichage et de stocker et gérer les données et les méthodes mathématiques multicritères considérées comme un outil adéquat pour appréhender les problèmes de décision à référence spatiale.

Les principales méthodes d'évaluation multicritère sont :

- La construction des couches critères à l'aide de la base de données géographique.
- La standardisation des valeurs attributs des critères.
- La pondération des cartes critères
- L'agrégation des cartes critères pondérées afin d'obtenir la carte de décision.

La pondération des critères donne à chaque critère son poids indiqué par son importance relative par rapport à tous les autres. La comparaison par paire selon l'approche Saaty des critères par une matrice de comparaison facilite l'agrégation des critères par la méthode de la somme pondérée.

Les méthodes d'agrégation des critères sont divisées en deux types : partielles et complètes. L'agrégation complète est utilisée pour inclure toutes les performances dans un critère unique qui se distingue par la transitivité entre les critères étudiés.

Objectifs du travail :

L'objectif principal de notre travail de recherche est une évaluation multicritère des situations critiques au risque de la désertification dans la région des Aurès.

L'utilisation des techniques de la télédétection permet de mieux comprendre l'occupation du sol de notre zone d'étude et son évolution spatio-temporelle à partir d'une série d'images satellitaires de Landsat (1987, 2000 et 2013).

Cette occupation du sol représente la plateforme pour la création d'une base de données validée par une connaissance de terrain à travers plusieurs missions de GPS. Cette base de données est utilisée dans la construction des couches thématiques à l'aide des logiciels des systèmes d'information géographique.

L'évolution des systèmes d'information géographique permet une intégration des méthodes mathématiques, qui remplacent la superposition des couches par une évaluation multicritère. Cette dernière utilise les couches thématiques comme des cartes critères et donne à chaque critère une valeur de pondération qui intervient dans l'agrégation complète en produisant une carte de synthèse qui localise les différentes situations de la désertification.

La présente thèse comporte six chapitres qui traitent respectivement :

Chapitre 1 : *Description générale de la zone d'étude.* Dans ce premier chapitre nous commençons par la localisation géographique et ensuite une présentation des principaux caractères physiques et socio-économiques pour une bonne connaissance du territoire.

Chapitre 2 : *Climat et bioclimat de la zone d'étude.* Le deuxième chapitre est consacré à l'analyse du climat et bioclimat qui regroupe une étude des paramètres climatiques (précipitations et des températures), et le type de climats par des approches classiques d'Emberger et de Martonne. Les données exploitées pour ce chapitre ont été récoltées auprès de l'ONM d'El Hamma et l'ANRH de Constantine.

Chapitre 3 : *Cadre théorique de notre recherche.* Dans ce chapitre nous exposons une synthèse bibliographique sur les connaissances de base sur le risque de la désertification, en introduisant les deux outils : les systèmes d'information géographique et l'analyse multicritère ; nous présentons par la suite les travaux d'intégrations SIG-AMC et ses limites.

Chapitre 4 : *Étude et analyse spatio-temporelle des changements du milieu et de processus de désertification.* Dans ce chapitre nous commençons par l'analyse diachronique de

l'occupation du sol en utilisant les données de la télédétection à travers les trois dates 1987, 2000 et 2013. Nous étudions ensuite les changements spatiaux entre les différentes unités d'occupation du sol entre 1987 et 2013.

Chapitre 5 : *Utilisation des indices de télédétection dans le suivi quantitatif de la désertification.* Après la connaissance détaillée des unités d'occupation du sol, dans ce chapitre nous utilisons les caractéristiques spectrales des végétaux et des sols pour calculer les indices des végétations et de sols tels que l'NDVI et IR de 2007 et 2013 dans le suivi de la désertification.

Chapitre 6 : *Intégration des SIG-AMC pour l'évaluation des situations critique au risque de la désertification.* Dans ce dernier chapitre et le plus important dans notre étude, nous élaborons les différentes cartes critères qui influent sur la désertification, ensuite nous pondérons ces critères par la méthode AHP et nous agréger complètement.

Enfin, une conclusion générale faisant sortir les résultats de l'étude et l'importance des méthodes appliquées sera suivie suivi par des perspectives.

CHAPITRE 01

DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA ZONE D'ÉTUDE

Introduction :

La signification du mot AURES ou AOURES comme le prononcent les populations locales n'a pu encore être déterminé, c'est probablement un nom d'origine Amazighe, 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 "Arzoun"(cèdre), et les immenses forêts de cèdre qui ont recouvert autrefois et recouvrent encore une partie du massif prêteraient quelques vraisemblances à cette étymologie (DELARTIGUE 1904). On peut encore considérer la grande dépression synclinale des Ouled Rechach et les Morts des Nemamcha comme une partie de l'Aurès.

Les Aurès par sa position géographique entre les domaines atlasiques au Nord et les plateaux désertiques au Sud, et sa vocation agrosylvopastorale donne une diversité dans les paramètres biophysiques et socio-économiques.

Dans ce chapitre nous allons traiter les caractéristiques physiques de la région des Aurès et ses attaches orientales comme le cadre édaphique, géologique d'une part et recenser la population de cette région et leurs activités socio-économiques.

1- Les critères de choix de la zone d'étude :

Le choix de la région des Aurès comme une zone d'étude pour l'évaluation de risque de la désertification est justifié par plusieurs critères qui donnent une position singulière dans le domaine Atlasique, ces critères sont comme suit :

- la zone d'étude se distingue par ses milieux physiques et naturels très diversifiés allant entre les paysages des hautes plaines, montagneux et steppiques.
- la zone d'étude se distingue par un couvert végétal varié : les forêts denses et claires, puis la végétation steppique et au sud l'absence totale de la végétation.
- les étages bioclimatiques de végétation allant de l'étage aride, semi-arides et subhumide.
- la sécheresse récente qui touche la région des Aurès.
- la zone a fait l'objet de nombreuses études sur l'aspect géomorphologiques (BALAIS 1981), et les formations géologiques (LAFFITE 1939) et la cartographie des sols (JASEIX-BELLONO 1948).

2- Cadre géographique:

La zone que nous nous proposons d'étudier se situe dans le Nord- Est de l'Algérie, à 120 Km au Sud-est du constantinois et au contrefort du mont des Aurès. Elle s'étend jusqu'à la zone du Chott Melghir au Sud-est, et se rattache administrativement aux deux wilayas de Khenchela et Tébessa (Figure.01). Ces dernières sont issues du dernier découpage administratif de 1984, elle se compose de 28 communes regroupant les 21 communes de la Wilaya de Khenchela et 8 communes dans le territoire de Tébessa, elle est limitée géographiquement au:

- Nord : par la wilaya d'Oum EL Boauaghi.
- Sud : par la wilaya d'EL Oued.
- Ouest : par la wilaya de Batna.
- Est : par les communes de Guorriguer, Bir MokkaDEM, OglA Melha, Bir El Ater et Negrine.
- Sud-ouest : par la wilaya de Biskra.

La zone d'étude appartient à l'ensemble naturel des Hauts Plateaux, un ensemble occupant la partie médiane du territoire national et bien individualisé géographiquement par les deux chaînes montagneuses de l'Atlas : l'Atlas tellien au Nord et l'Atlas saharien au Sud, qui est une aire de transition entre le domaine Atlasique car est abritée des influences méditerranéennes par l'Atlas tellien et elle est en contact direct avec les influences sahariennes par la présence de certaines passages qu'offre l'Atlas saharien.

La partie des Aurès se distingue par trois zones géographiques alliant entre :

- Paysages Telliens : zones de haute montagne bien arrosées et bien boisées, localisées dans la région Ouest, il s'agit d'une partie orientale des Monts des Aurès

- Paysages des Hautes plateaux : localisés dans la partie Nord de la zone d'étude, il s'agit des hautes plaines céralières semi-arides.

- Paysages Steppiques : ils sont caractérisés par la prédominance de l'activité pastorale, il s'agit des monts totalement dénudés et érodés localisés sur des monts des Némemcha à l'est.

-Paysages Présaharien : localisées dans la région Sud, il s'agit des oasis (Siar, Khirane, EL Ouldja), des piémonts de l'Atlas Saharien, et les basses plaines d'El Meita et Ouazerne.

Elle est caractérisée par sa vocation agro-sylvo-pastorale où la superficie agricole représente 23%, les forêts représentent 8%, et la steppe représente 22%.

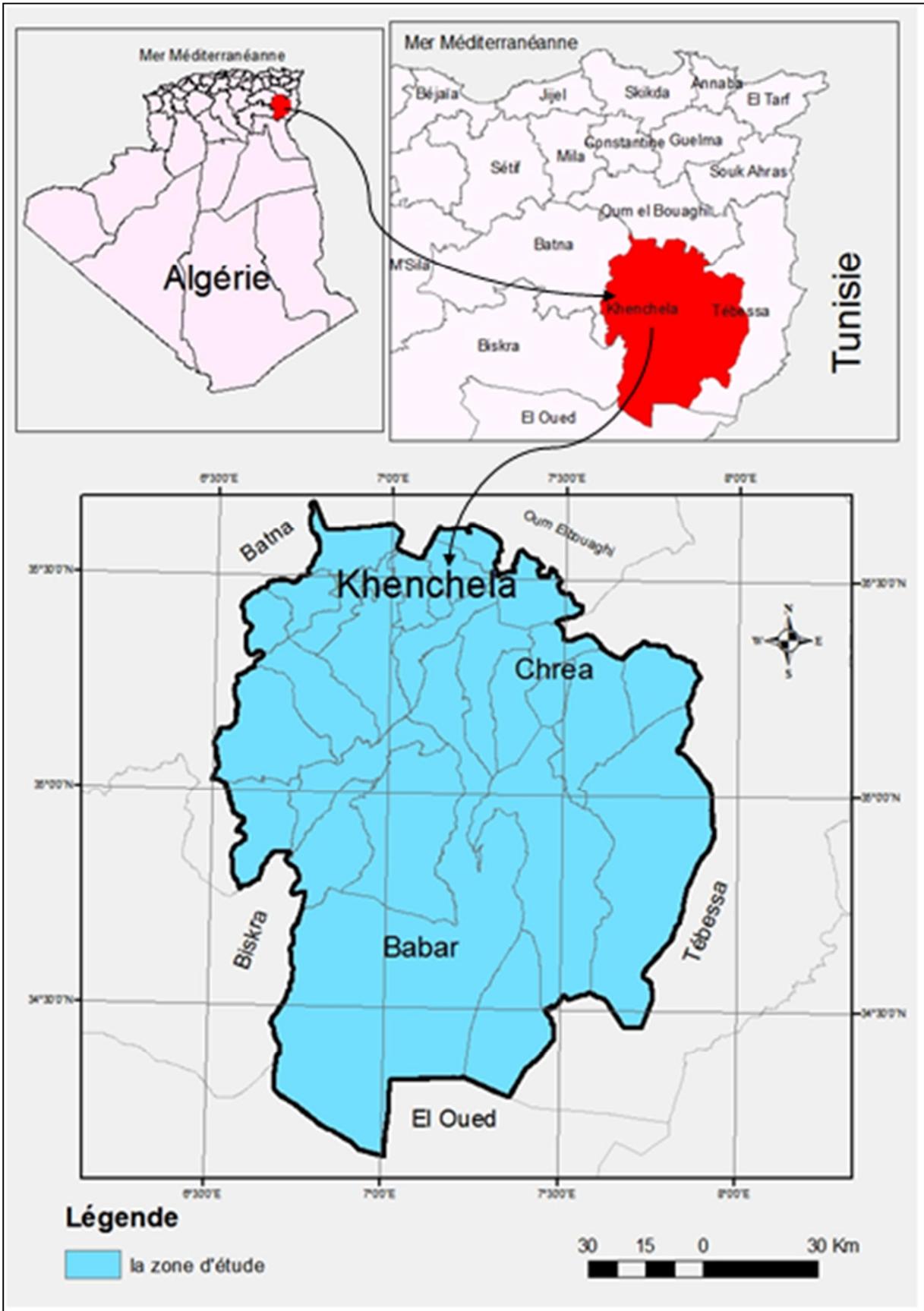


Figure 1 : Situation géographique et limites administratives de la zone d'étude.

3. Cadre géologique :

Les données géologiques fournissent des indications précieuses sur la nature du substrat où se développe la végétation. La région des Aurès a fait l'objet de plusieurs études géologiques qui constituent les références de bases utilisées dans la synthèse géologique des Aurès dont celle de :

- En 1860 **Coquand** parcourut le Sud de la province constantinoise et le massif de l'Aurès. **Tissot** en tant qu'ingénieur des mines établit les levés géologiques au 1/800.000°.
- En 1939, **R.Laffite** publia sa thèse sur le massif de l'Aurès.
- En 1968 **Chadrin** et **Jarrikov** menèrent des travaux de prospection dans la région des Aurès.
- En 1977 **J.M.Vila** publia les cartes géologiques au 1/50 000 de Khenchela, Dalaa, Tazoult et Touffana.
- En 1986, **D. Bureau**. Publia sa thèse sur l'évolution du mésozoïque et son orogénèse dans les monts de Belezma.

3.1. Evolution tectonique :

La chaîne de l'Atlas, qui englobe la région des Aurès, occupe une grande partie du nord de l'Algérie et se prolonge au-delà de ses frontières. Elle est encadrée au nord par la chaîne du Tell et au sud par le bouclier saharien. Les reliefs de l'Atlas sont l'expression morphologique d'une série de plissements et de chevauchements de direction NE-SO approximativement.

Depuis le Trias jusqu'à l'actuel, l'Atlas saharien a subi plusieurs épisodes successifs de subsidence et de soulèvement en relation avec les mouvements relatifs des plaques tectoniques. Ainsi, l'Atlas a enregistré successivement :

- ✓ Le rifting associé à l'ouverture des océans Téthysien et centrale atlantique (fracture de la Pangée) du Trias supérieur au Lias (. Mattauer et al. 1977 ; Andrieux et al. 1989),
- ✓ L'ouverture de la Téthys à partir du Dogger,
- ✓ Puis son inversion et sa fermeture de l'Oligocène à l'actuel (Guiraud et Bosworth, 1997).

3.2. Tectonique régionale

Le massif de l'Aurès, étant un ensemble du domaine atlasique, qui se caractérise par une direction générale NE-SW.

Il présente un style tectonique souple essentiellement constitué de plis vastes assez réguliers. Cependant, il faut remarquer qu'il existe, dans divers points du massif, des étranglements ou des dilatations brusques des plis. Ce phénomène significatif de certaines anomalies, traduit au niveau de la couverture post-triasique des reueux d'accidents profonds

L'architecture actuelle des plis est engendrée par un certain nombre de facteurs.

- ✓ La disharmonie.
- ✓ Les reueux successifs d'accidents cassants.
- ✓ La superposition des phases tectoniques (souples).
- ✓ La position du panneau de socle sous-jacents.
- ✓ La nature du matériel mis en œuvre.

Les structures anticlinales présentent plusieurs formes :

- ✓ Anticlinaux à flancs pentes fortes mais non verticaux.
- ✓ Anticlinaux coffrés- Anticlinaux semi coffrés.
- ✓ Anticlinaux à déversement sur un seul flanc.
- ✓ Anticlinaux à double déversement.

• **Les paroxysmes orogéniques principaux**

Sont au nombre de Quatre, se situent au tertiaire (Alpines, moyenne et tardive)

- ✓ Une phase post lutétienne dite (Atlasique) phase de serrage majeure.
- ✓ Une phase finie –Oligocène.
- ✓ Une phase miocène.
- ✓ Une phase Pliocène.
- ✓ Enfin, (Laffite, 1939 et Guiraud 1990) notent une phase récente qu'ils situent à la limite du tertiaire et du Quaternaire, C'est elle qui provoque un rehaussement atlasique et un rajeunissement très marqué du relief.

3.3. L'anticlinal de Khenchela :

L'anticlinal de Khenchela occupe la partie extrême Est du massif Aurésien. Il s'étend en direction Nord Est – Sud-Ouest (NE-SW), sur environ 35 km et 7 km de large. Il se présente sous forme d'un pli coffré en voute subhorizontale de 10° et naît dans les terrains nummulitiques aux environs de T'kout.

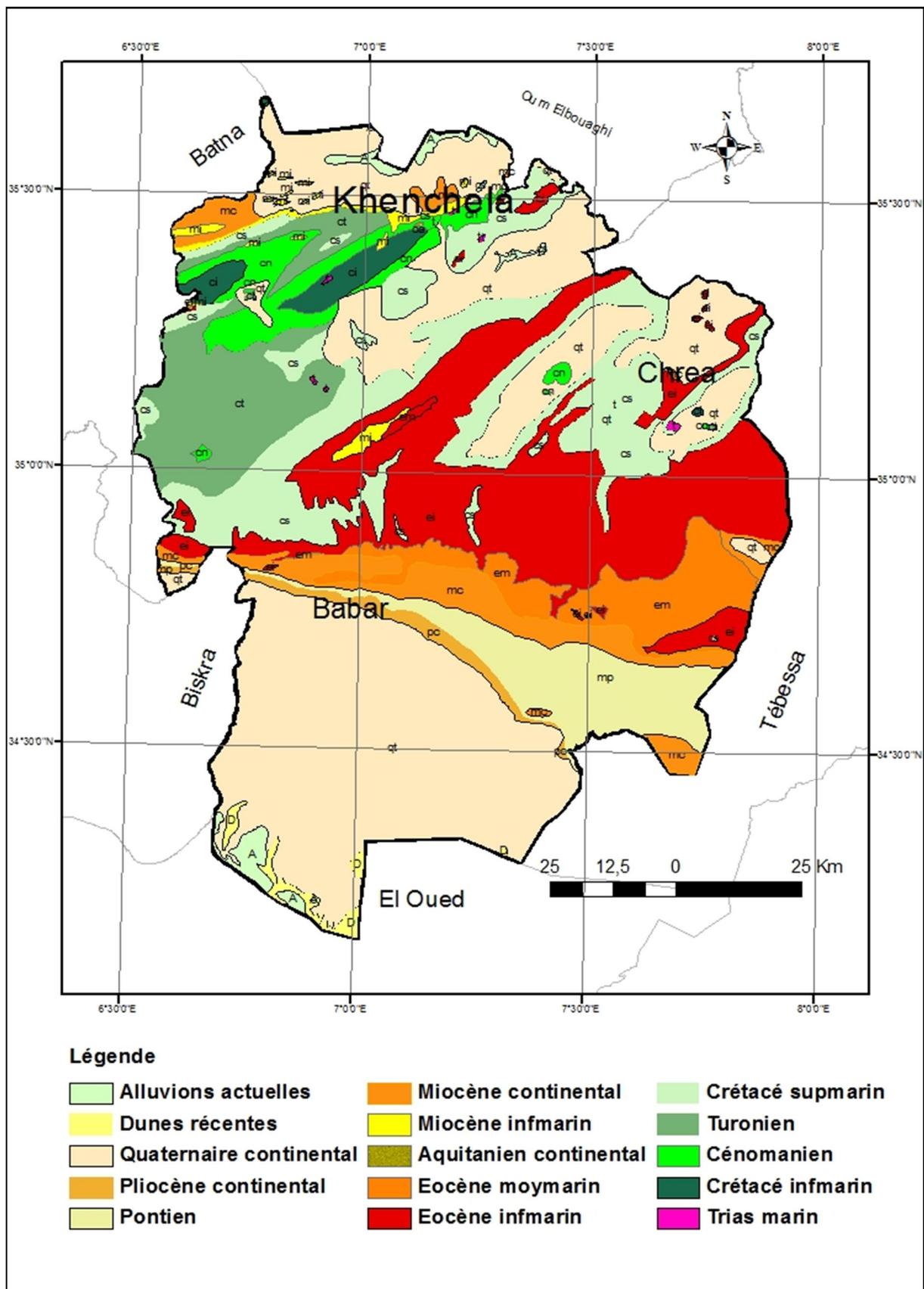


Figure.02 : Carte géologique de la zone d'étude (Source: Laffite.1939)

Vers le Nord Est l'anticlinal subit un abaissement d'axe, ce qui cause la disparition des terrains du Crétacé inférieur aux environs de la ville de Khenchela.

Dans cette région, il faut noter aussi la présence de failles longitudinales qui ont fait disparaître les terrains du Crétacé inférieur sur le flanc Nord de l'anticlinal. Sur terrain (flanc Nord de l'anticlinal), le gisement filonien barytique d'Ain Mimoun est caractérisé par un réseau de failles dense et désorganisé, formé essentiellement de nombreux accidents cassants et décrochants ou d'un mouvement combiné (DOUIHASNI, 1975).

Au Sud-Ouest, l'axe de l'anticlinal s'élève en gradins et la disposition spatiale des couches se complique par des cassures transversales de flexures.

Ces accidents transversaux sont intensivement développés en créant des zones d'élévation aussi bien à l'Est qu'à l'Ouest.

3.4. Le Synclinal d'Ouled Rechaich :

Cette structure est visible sur la carte géologique de l'Aurès établie par Laffitte (1939), ce synclinal prend naissance à la bordure Saharienne sous forme d'un petit synclinal appelé aussi Synclinal de Tarhlicia, occupé par l'éocène inférieur, après une surélévation d'axe importante, il forme entre deux lignes, l'une allant de Ich Merzou à Djellel, et l'autre très loin en direction de Tébessa, une cuvette de terrain éocènes allongée sur près de 100Km.

Les calcaires durs de l'éocène inférieur jouent le rôle orographique par les calcaires maastrichtiens dans l'Aurès central.

L'abaissement de la région à la fin de l'oligocène a permis au miocène d'occuper le centre du synclinal, où se formèrent les couches lagunaires que l'on observe aux environs de Fridjou, ce synclinal est donc de formation ante miocène et orienté Sud-ouest / Nord-est.

Les mouvements post-pliocène ont porté ce synclinal à son altitude actuelle et provoqué le creusement de gorges qui entament profondément son bord Sud, notamment les méandres encaissés de Oued Taberdga et Oued Oundrhal.

3.5. La série stratigraphique :

3.5.1. Les formations de Secondaire :

3.5.1.1. Le Trias :

Est représenté par des argiles bariolées gypsifères, cette formation elle apparaît au niveau des affleurements près de Khenchela, plus loin vers l'Est, le Trias réapparaît dans la vallée d'un affluent de la rive gauche de l'Oued El Arab, sous forme des marnes étroitement associées à des lentilles de gypse fibreux.

3.5.1.2. Le crétacé :

- **Le crétacé inférieur :**

○ **Le Barrémien:**

Se représente sous son faciès quartziteux qui ne monte certainement pas dans l'Aptien, car il est recouvert par des couches marneuses à fossile de l'Aptien inférieur, l'épaisseur de ces quartzites est d'environ 400 mètres, il apparaît entre le Djebel Aidel et djebel Pharaoun, représenté par des calcaires à grain fin.

• **L'Aptien :**

○ **L'Aptien inférieur :**

Il s'agit d'alternance de marne et de calcaire, les termes inférieurs affleurent très largement en Ain Taga, car là ce sont eux qui forment la terminaison préclinale de l'anticlinal de Khenchela.

○ **L'Aptien moyen:**

Calcaires gris foncé alternant avec des marnes, de 120m d'épaisseur.

○ **L'Aptien supérieur :**

Est observable sur le flanc Nord du Pharaoun, se présente sous un faciès de calcaire à Orbitolines avec des intercalations marneuses.

○ **La Albien:**

Est localisé aux environs de Ain Guigel à la terminaison S.W de l'anticlinal, est présenté par d'alternance de marnes noires et de grès sans fossiles, sur le versant sud de l'anticlinal à Ichentgouma l'Albien est représenté par les faciès marno-gréseux se charge de grès, sur le versant Nord de l'anticlinal à Ain Mimoun au contraire le faciès devient plus marneux.

• **Crétacé supérieur :**

○ **Le Cénomaniens :**

Il est caractérisé par une absence totale de sédimentation détritique. Son épaisseur peut atteindre 1000m, le cénomaniens forme une ceinture à peu près continue sur tout le pourtour de l'anticlinal, interrompue seulement aux environs de Khenchela par un pointement triasique, il existe aussi au sud de massif de Chélia, Il est représenté par un faciès marneux sur 300m, renfermant des passages de petits bancs de calcaires marneux.

○ **Le Turonien :**

Le turonien est celui des étages crétacés qui occupe en affleurement les aires les plus considérables dans les Aurès, est représenté par les marnes et les calcaires marneux du Djebel de Tebak à Khenchela avec les mêmes caractères marneux avec des assises calcaires au sommet, l'épaisseur semble légèrement plus faible de l'ordre de 400 à 500 mètres.

○ **Le Sénonien :**

il existe dans le synclinal de Ouled Rechach très épais 2000 mètres en moyenne, il occupe en affleurement des surfaces considérables, formée généralement de calcaire massifs, donne des

crêtes immenses, continues, qui sont un des caractéristiques de l'orographie de la région, les assises crétacées et nummulitiques qui affleure sur le Sud -est du massif dans la localité de Djellal inclinées vers le Sahara représentées par les marnes avec les calcaires crayeux.

3.5.2. Les formations de Tertiaire :

3.5.2.1. Le Nummulitique :

•Éocène inférieur et moyen :

Ils apparaissent dans le Sud-est de l'Aurès, au niveau de synclinal d'Ouled Rechach, dans la région de Djebel Chechar, Djellal, représentés par l'alternance de calcaires et de marnes marneux, et sur la flexure saharienne au niveau de l'oasis de Séiar sur les bords de l'Oued Beni Barbar, sont représentés par les calcaires massifs, marnes, calcaire marneux et gypse.

•Éocène supérieur :

Au niveau de la localité de Siéar est représenté des grès, des sables et des poudingues, et aux environs de Khenchela il existe de couches rouges il s'agit essentiellement de poudingues à gros éléments passant à leur sommet aux poudingues de base à ciment calcaire.

3.5.2.2. Le Néogène :

•Le Miocène inférieur :

Est représenté par alternance de sables et de marnes vertes et rouges, et il apparaît seulement au niveau de Fridjou, c'est un massif de l'Aquitaniens.

•Le Miocène supérieur et Pliocène :

Représenté par des dépôts continentaux : conglomérats, poudingues, grès, argiles ; reposant en discordance oblique sur le Crétacé ; leur épaisseur varie de 250 à 300m, sont apparaît sur le Sud de synclinal de Ouled Rechach.

3.5.3. Les formations de Quaternaires :

Les formations de quaternaire récentes sont largement répandues à la périphérie des Aurès qu'ils sont rares dans le centre du massif, ils sont représentés uniquement par des éboulis et des terrasses.

Les dépôts quaternaire recouvrent le majeure partie des plaines ce sont des éboulis à bloc, alluviaux récentes ou actuelle, terrasses arables, alluviaux anciennes, glacis polygénique nappant les reliefs et des croutes calcaires.

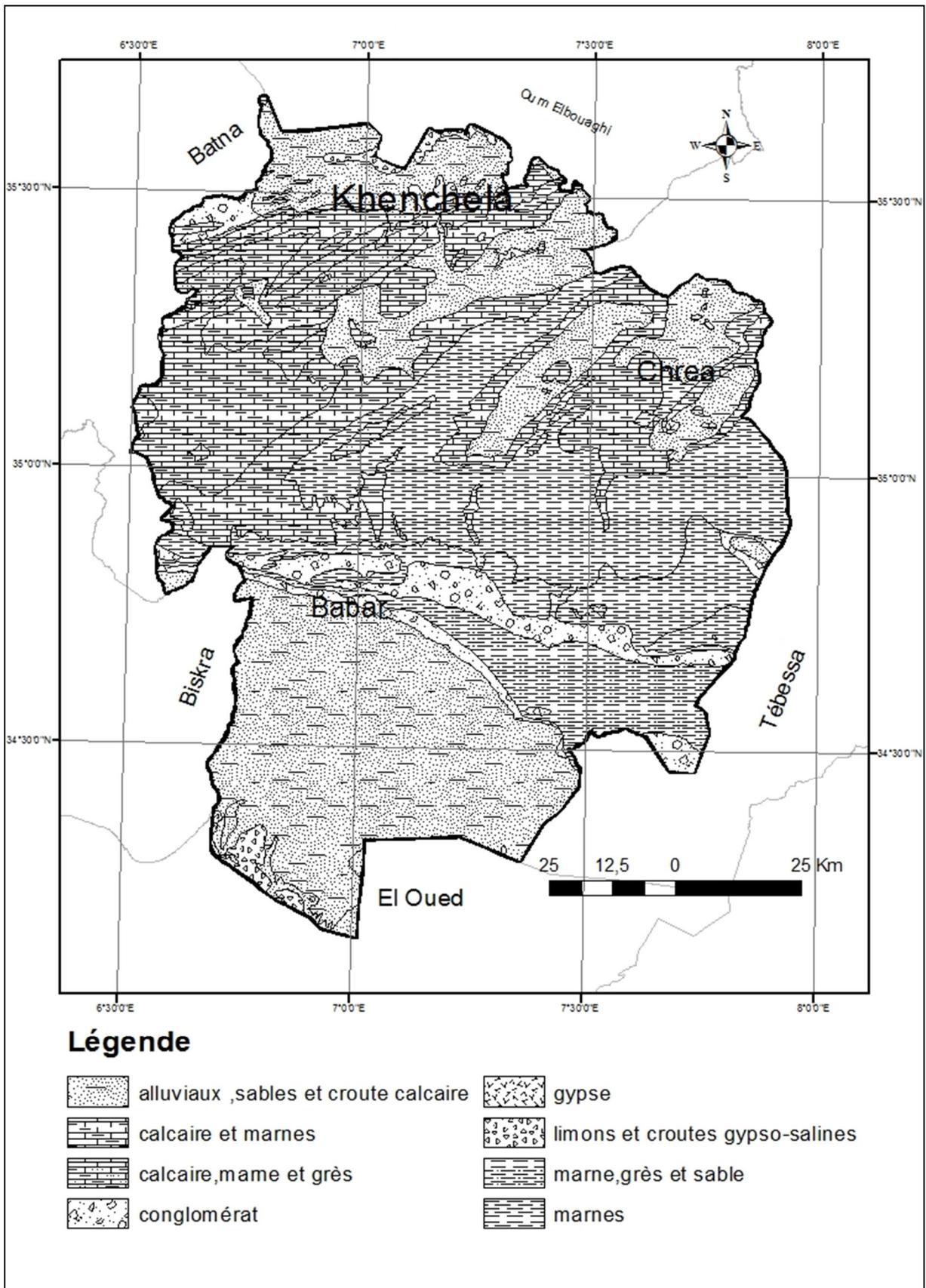


Figure.0 3 : Carte lithologique de la zone d'étude (Source : carte géologique).

4. Réseau hydrographique :

Comme sa tectonique l'hydrographie des steppes est toute récente, on y trouve principalement une hydrographie du bassin fermé, présentant une indiscutable adaptation à sa tectonique (DJBAILI, 1984.).

La zone d'étude est drainée par trois principaux Oueds, constituent un large réseau hydrographique endoréique, les uns se dirige vers le Nord pour se déverser généralement dans la dépression du Guerrat Taref, les autres se dirige vers le Sud pour se déverser dans Chott Melrhir.

4.1. Versant de la plaine des Sebkhass :

Les principaux cours d'eaux qui traversent le versant Nord des Aurès et se jeter dans la dépression de Guerrat Taref sont :

- ✓ **Oued Foum El Gueiss** : il sort du djebel Noughiss, sa source est opposée par le sommet à celle de Oued Tamzat, affluent de l'Oued Mellagou, l'oued traverse un massif montagneux très boisé, il va se jeter dans la Gaarte El Tarf.
- ✓ **Oued Menzel** : cet oued sort du massif boiser du Djebel Akar et va se jeter dans Gaart Eltarf
- ✓ **Oued El Hamma** : cet oued sort du Kef El Biod (1815m), par une étroite vallée sous le nom oued El Kissane, reçoit à quelques kilomètres de Khenchela la source chaude d'Ain El Hamam.
- ✓ **Oued Boughagal** : il sort du djebel Chellalaia, montagne isolée au Sud-est de Khenchela, et va se jeter dans Garte El Tarf, il reçoit à gauche de petit affluents utilisées par la ville de Khenchela et qui sourdent du djebel Chabor (1246m).

4.2. Versant Saharien :

- ✓ **Oued El Arab** : prend sa source à quelques kilomètres de Khenchela au Sud-ouest, au Djebel Tafrent, par deux bras oriental Oued El Agrour et l'occidental Oued Hatiba, et se jeter dans le Chott Melghir, il reçoit des affluents de gauche, Oued Taghit et Oued Mellagou.
- ✓ **Oued Chérea** : nait au Nord de la grande pleine de Chéria et se jeter dans le Chott Rarsa.
- ✓ **Oued Guentis** : nait au Nord de la pleine d'Hamimat Guerra, sort par une échancrure située au Sud à Téniet Relilai entre Dj Oussif et Djebel El Kifène.

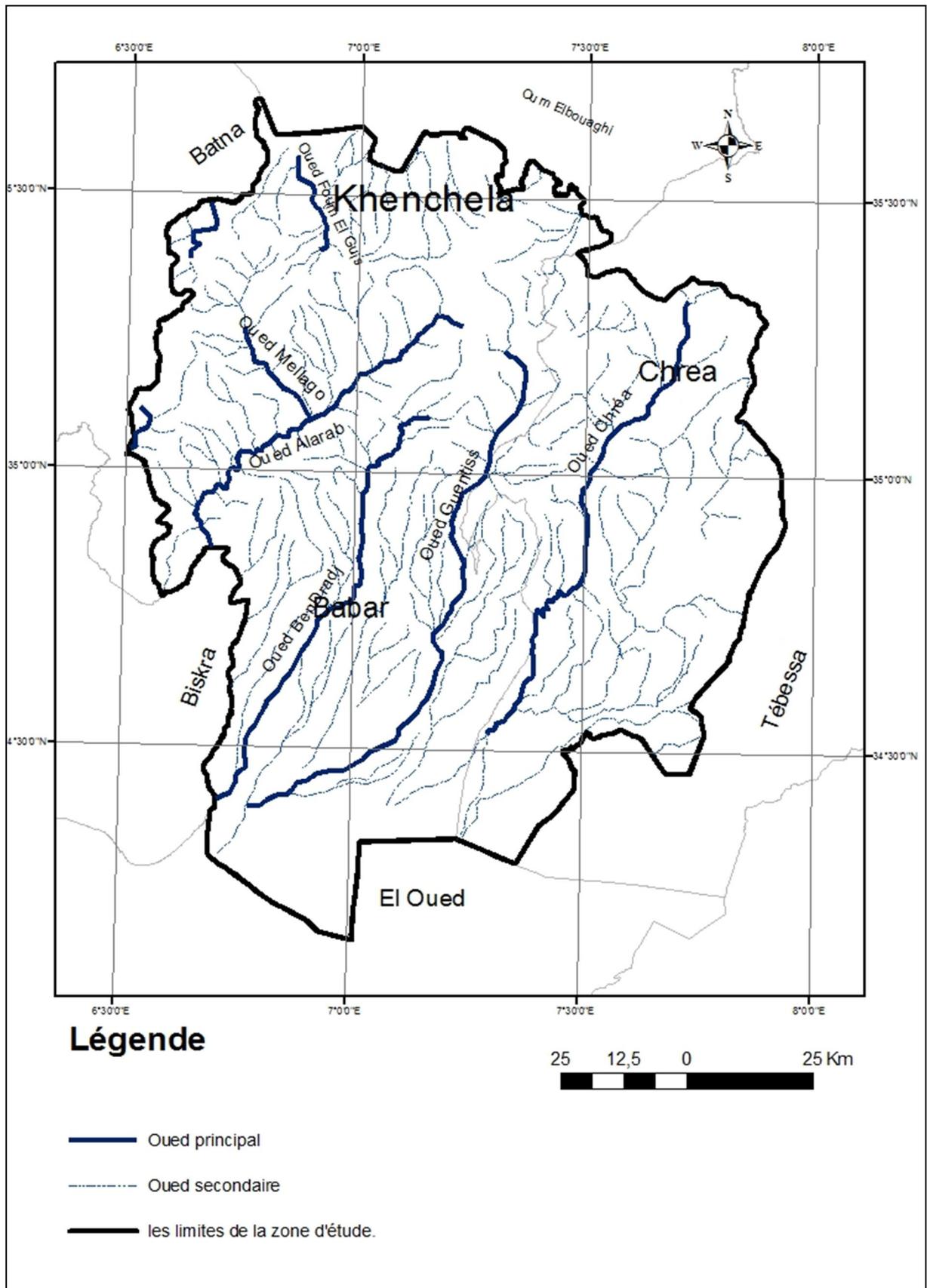


Figure 4 : Réseaux hydrographique de la zone d'étude.

5. Cadre géomorphologique :

Le territoire de la zone d'étude est situé dans une zone de transition entre le domaine atlasique, assez plissé au Nord et la plate-forme saharienne au Sud.

Le contact entre ces deux domaines, Nord et Sud atlasique est très brutal ; et est marqué par un grand accident tectonique, appelé « Flexure Sud-atlasique ». Cet accident tectonique prend naissance au golfe de Gabes (Tunisie) pour aboutir à Agadir (Maroc) en traversant notre pays et en affectant le Sud de la commune de Chechar.

Trois formes physiographiques importantes se dégagent en liaison avec la structure géologique et la nature des roches qui constituent le substrat géologique.

5.1. Les reliefs :

Les reliefs on les rencontre essentiellement dans la zone Ouest représentant dans le massif des Aurès et dans la zone Est représenté les Monts des Nememchas.

Les principaux Djebels des Aurès sont : Dj, Tiskatine, Dj, Aoures, Dj Pharaoun(1815), Dj Akar, Dj ElMenchar, Dj aidal, Dj Chaouia et Dj Djahfa.

Les principaux Djebels des Monts des Nememcha sont : Dj Bou Djellal, Dj Boudakhan, Dj Ong, Dj Sidi Abid, Dj Abiod, Dj Zora, Dj Ich Merzoue, Dj Guetar, Dj Bou Kammech.

5.2. Les Hautes plateaux :

Représentent dans les plateaux des Nememcha, et s'étendent sur les commune de El Mahmal, Ouled Rechach, Chéria et Thlidjane, ainsi représentent dans les plaines situées au nord de la zone, elles comprennent les pleines des Remila, M'toussa et Bouhmama.

5.3. Les dépressions :

Dans la partie méridionale, Les eaux de ruissellent empruntent les lits d'oueds à plat largement encaissé pour s'accumuler finalement dans des dépressions endoréiques, dans cette zone nous distinguons les dépressions salées (Chott Mellghir et Chott Rasra), au Nord de la zone d'étude on retrouve les Sebkha situées dans la commune de El Mahmal et sebkha de Gaarte El Tarf, cette dernière constitue les point de convergence exutoire des Oueds drainant le versant Nord des Aurès.

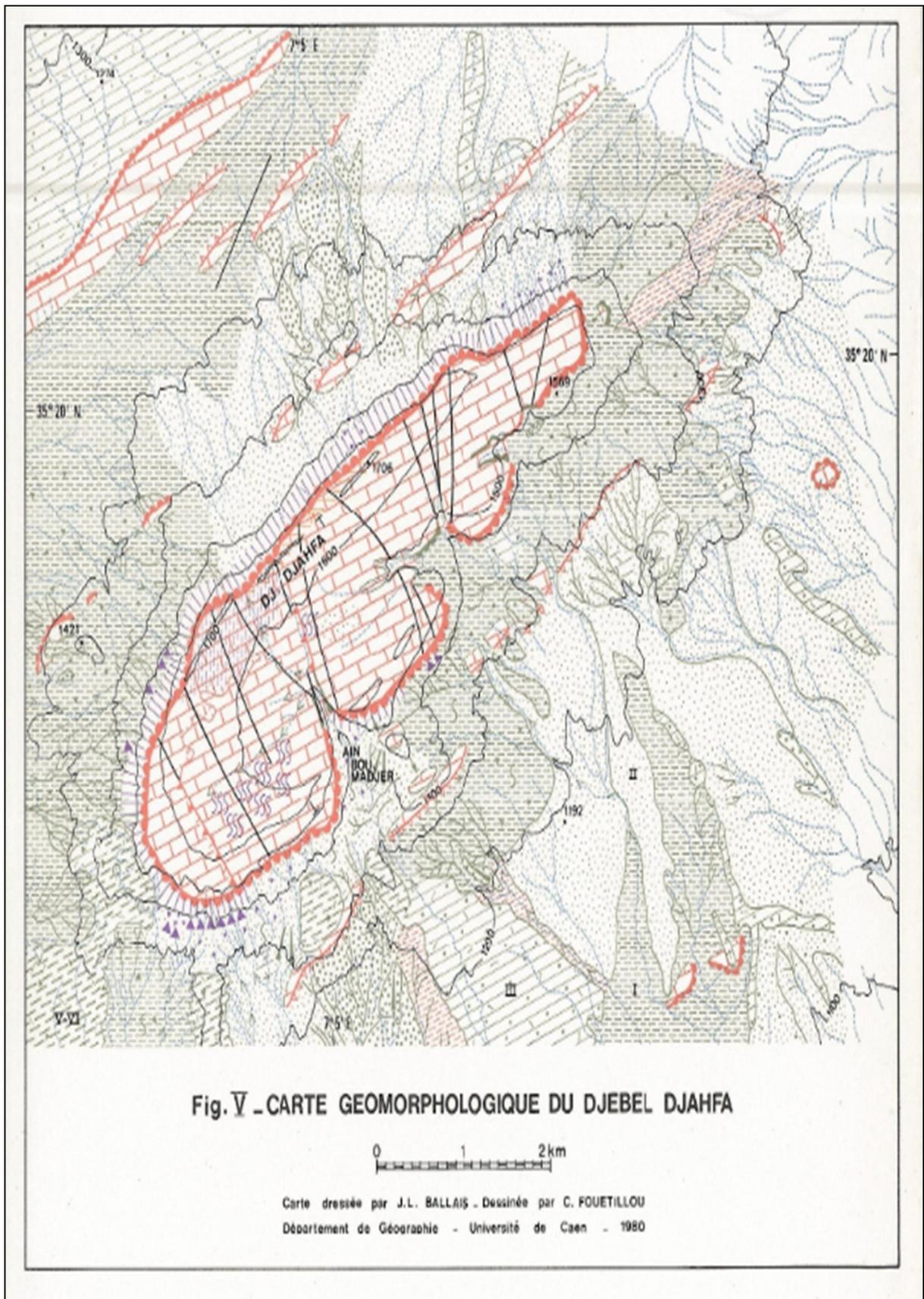


Figure 5 : Carte géomorphologique du Djebel Djaifa. (Source, BALLAIS, 1981).

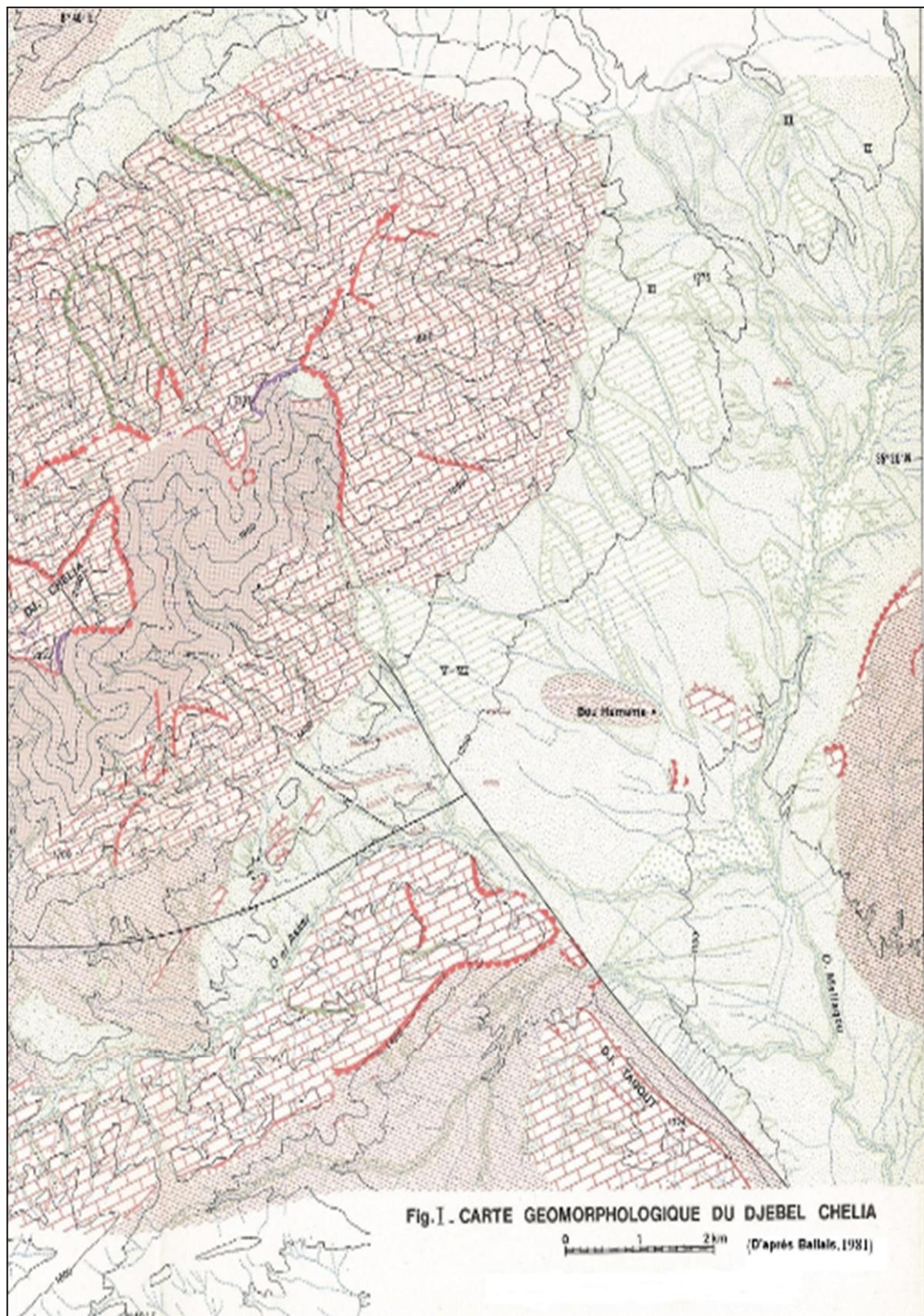


Figure 6 : Carte géomorphologique du Djebel Chélia (Source, BALLAIS, 1981).

LEGENDE DES CARTES GEOMORPHOLOGIQUES HORS-TEXTE

STRUCTURE	DOMAINE TEMPERE SEC	DOMAINE PERIGLACIAIRE
argiles	blocs	blocs
marnes	galets	galets
calcaire	limons	limons
calcaire massif	argiles	corniche rocheuse
grès	corniche rocheuse	paroi rainurée
conglomérats	rupture de pente convexe	versant réglé
dolomie	rupture de pente concave	éboulis lité
kyssé	gradins rocheux	moraine de "nival"
argile et grès	accroissement calcaire	niche de nivation
calcaire et marnes	croûte calcaire	terrasettes
calcaire et grès	alvéole	crasp
calcaire, marne et grès	alvéole et bouzelolet éigmatique	lapôts demi-ras
pendage nul	foirage	doline ou dépression fermée
pendage vertical	foirage par paquets	peljs
pendage conforme faible	cicatrice de foirage	avan
pendage conforme fort	coule boueuse	dallage
faille à regard déterminé	solifluxion	HYDROGRAPHIE
faille probable à regard déterminé	dépression fermée	cours d'eau pérenne
faille à regard indéterminé	doline	orze
faille probable à regard indéterminé	glacis	cascade
décrochement	cote alluvial	chenaux anastomoses
RELIEF STRUCTURAL	ravins	capture ou déversement
monoclinal	vallois en bateau	étang intermittent
barre rocheuse	vallois en V	TOPOGRAPHIE
encarpement de ligne de faille	DOMAINE SUBTROPICAL SEC	sommet
rupture de pente convexe	corniche rocheuse	point coté
corniche rocheuse	croûte gypsifère	<small>équidistance des courbes de niveau : 100m</small>
gradins rocheux	ACTIONS GLACIAIRES	agglomération
chavrons	alvéole glaciaire	numérotation des formes
SURFACES D'APLANISSEMENT	moraine terminale	
surface oligocène		
surface oligocène probable		
surface miocène ou quaternaire		
replat non structural		

N.B. : Erreur moyenne probable sur le tracé des courbes de niveau : 100 m

Figure 7 : La légende des Cartes géomorphologiques.

6. Cadre édaphique :

Le sol est développé suivant la nature de la roche mère, la topographie du lieu, les unités géomorphologiques et les caractères du climat (DUCHAUFOR ,1977). Selon HALITIM (1988), les principaux types de sol peuvent être définis par unité géologique et géomorphologique

D'une manière générale la région prospectée n'ont pas bénéficié d'une étude complète des sols et les travaux les plus connus sont ceux de la carte des sols de l'Algérie de JASEIX-BELLONO (1948) (feuille Biskra et Tébessa) qui définis les principaux types de sols:

6.1. Les sols insaturés (humifère):

Ils se localisent au niveau des zones montagneuses où les reliefs est accidentés sur le Djebel Faraoune et Chélia, ils résultent de la décomposition superficielle de roche non calcaire, donnant des éléments grossiers en bases (les granites), et les éléments argileux imperméables, ces sols sont formés par les schistes et les micaschistes ainsi que sur les alluviaux argileux.

6.2. Les sols calcaires (humifère) :

Les sols calcaires repose sur le massif des Aurès couvert par la végétation, caractérisent par l'accumulation de calcaire au sommet de profile, et la charge caillouteuse.

6.3. Les sols calciques:

La classes des sols calciques occupe les plateaux des Nemamecha est utilisé dans l'agriculture, formé par la décomposition de la roche mère calcaire, reposante sur une croute calcaire pulvérulente aux racine, fixée par la végétation steppique (Alfa et armoise blanche), ces sols sont riche en calcaire et de gypse, saturé par l'ion de Calcium, leur PH est toujours comprise entre 7 et 8, ils contiennent des doses appréciables de matière organique entre (0,3 et 1%), ne contient pas des sels solubles, ils caractérisés par une texture légère et une bonne perméabilité.

6.4. Les sols éoliens d'ablation :

Sols éoliens d'ablation est formé par les conditions climatiques surtout l'effet du vent, et la roche mère ne joue aucun rôle, caractérisés par l'absence des terres fines, dont les éléments sont finement vermiculés: Sol siliceux, gypseux, présentant une proportion élevée d'éléments grossiers, une forte charge caillouteuse, faible profondeur et un faible taux de matière organique, reposant sur une épaisseur très variable d'alluviaux.

6.5. Les sols éoliens d'accumulation :

Les sols éoliens d'accumulation est formé par les particules de sable entraîné par le vent, qui accumulent dans les zones abrites formant des dépôts de sable peu évolué sous forme des dunes et nebkha localisées au sud de la commune de Babar, et la roche mère ne joue aucun rôle dans la genèse du sol formé par l'action du vent, cette classe des sols caractérisée par l'absence de la végétation et de la culture, son épaisseur est de 4 à 5 mètre, le sable roux qui la constitue ne contient pas de sels solubles.

6.6. Sols alluviaux :

Ce type de sol formé sur les formations marines (fluviales ou lacustres), constitué des dépôts alluviaux récents, par les matériaux fins argile, limons et sable, situé dans les endroits bas dans les paysages, les vallées et les lits des Oueds.

6.7. Sols des marais :

Sont des sols azonaux retrouvent au niveau de la plaine de Chéria.

6.8. Sols salins solontchak :

Ce type de sol est fréquent en région aride dans le Sud de la zone d'étude, où la salinité des sols est le principal problème, où les chlorures de sodium sont en quantité plus de 0,2 %, que la végétation naturelle de la région laisse place à une végétation halophile qui disparaît elle-même lorsque la proportion des sels augmente trop.

6.9. Roche mère:

La roche mère apparaît beaucoup plus dans la partie Sud de l'Aurès et au niveau de Djebel Djahfa.

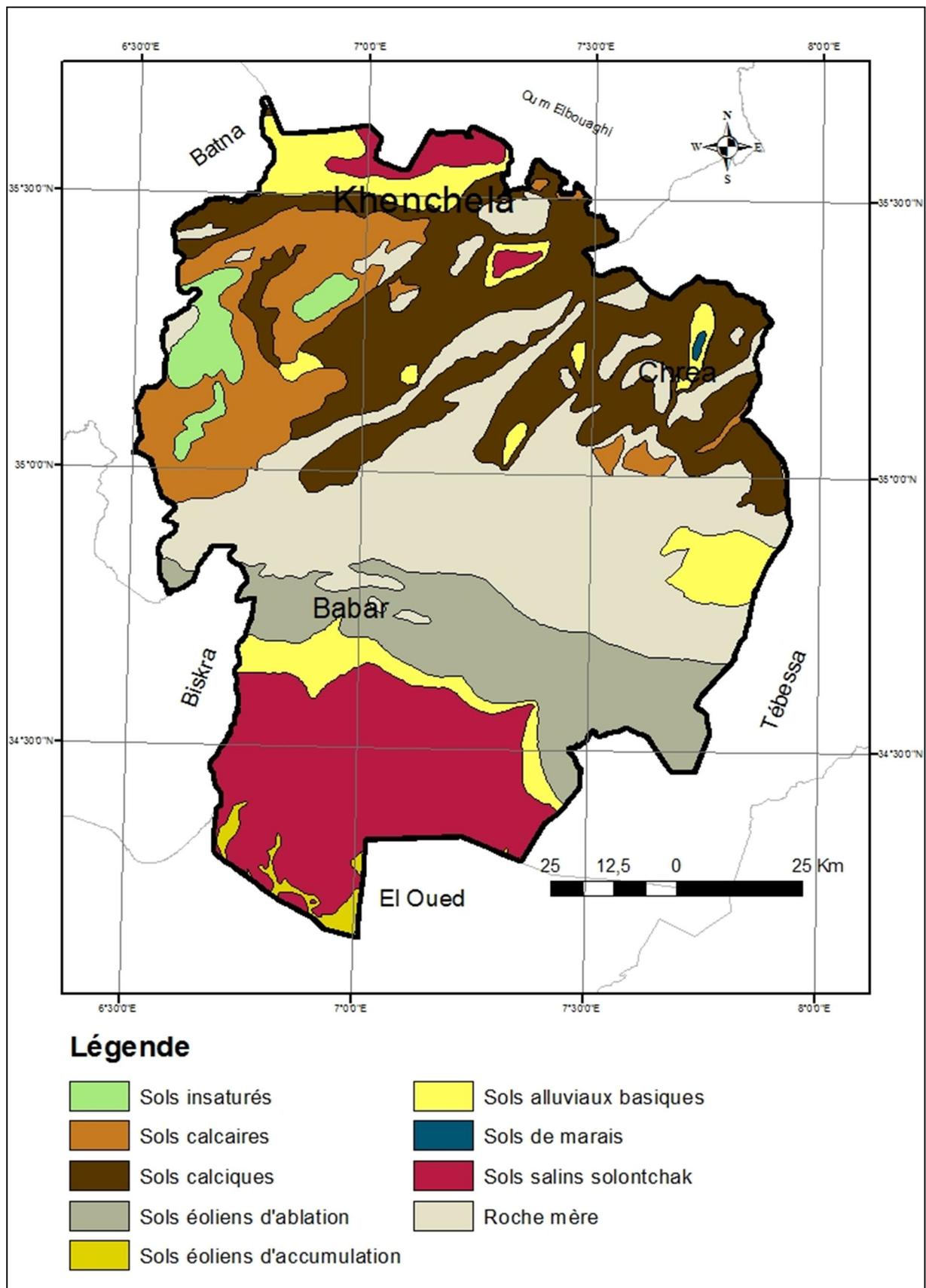


Figure 8: Carte des sols de la zone d'étude (Source : Jaseix Bellonon.1948).

7. Le couvert végétal :

La végétation dans la zone d'étude est fortement liée à la géomorphologie, nous avons distingué deux types de végétation forestière et steppique.

7.1. la végétation forestière :

Les forêts de l'Aurès sont assez considérables, avant de les énumérer les principaux forêts de la zone d'étude, nous citons les divers essences peuplées dans ces forêts :

Le cèdre : Ces limites altitudinales minimales et maximales sont respectivement comprennent entre 1400 et 2200 m sur les pentes abritées du siroco, mais on n'en voit à aucune altitude sur les versants exposés au souffle du désert, la surface occupée par le cèdre représente 10.027 ha(BAHRI.2006), le cèdre a une prédilection pour les sols meubles et caillouteux, ce qui permet aux semis de résister aux premiers saisons estivales, sa reproduction n'est bien assurée sur des sols facilement perméables: grès, schistes délités et calcaires caillouteux(BOUDY, 1952).

Le pin d'Alep : Espèce dominant dans le thermo et méso-méditerranéen et son optimum altitudinal se situe au méso-méditerranéens, le pin d'Alep supporte des substrats marneux et calcaire-marneux, pour les précipitations le pin d'Alep présente son développement optimal entre 350 et 700 mm, au-dessous est concurrencé par l'Alfa et au-dessus par le Chêne vert.

Le Chêne vert : Le chêne vert, s'il est en générale indifférent à la nature du sol, il semble dépendre des facteurs climatiques, le chêne vert trouve son optimum de développement à une altitude de 1000 m, où la température moyenne oscille entre 9 et 14 et les précipitations sont de l'ordre 600 mm, il se développe dans les étages bioclimatique semi-aride à humide.

7.1.1. Forêt domaniale des Beni Oudjana :

Elle se située sur le territoire des communes Taouzient, Yabous, Chélia de la tribu des Beni Oudjana, elle renferme 44.000 ha et 315 enclaves d'une contenance de 3.000 ha, les altitude sont très divers depuis 1000 jusqu'à 2328 m, elle s'étende sur une longueur de 40 Km et une largeur maxima de 32 Km et minima de 10 Km, la partie Nord de cette forêt est peuplée de chênes verts et de pin D'Alep et sur les sommets de Montagnes sont comprend des cèdres, le versant sud est comprend des bouquets de cèdre en voie de disparition, et la partie sud forme le versant saharien composé de pins d'Alep (DELARTIGUE, 1904).

7.1.2. Forêt domaniale des Ouled Yacoub :

Elle est située sur le territoire de commune de Tamza de la tribu des Amamars, elle renferme 21.000 ha d'un seul tenant, les altitudes varient de 1100 à 2200 m, sa longueur est de 30Km et sa largeur est de 15 Km, reparti sur une superficie de 109.000 ha de forêts dextrement précieuses aux limites du Sahara, où le cèdre existe dans la région de Ain Mimoun sur le massif de Djebel Pharaoun,

7.1.3. Forêt domaniale des Amamras :

Elle située sur le territoire des communes d'El Hamma, Nsigha et Khenchela de la tribu des Amamras, représentées au niveau de la forêt de Ouled Bou Derhem et Djebel Aoures et Djebel Djahfa, elle renferme 55.000 ha, son altitude varie de 1100 à 2.000m, elle est peuplée de pin d'Alep sur 500 ha environ, de chênes verts, de genévriers et de bouquets de pin d'Alep (DELARTIGUE, 1904).

7.1.4. Forêt domaniale des Beni Imloul :

Elle située sur le territoire de la commune de M'sara de la tribu du Djebel Cherchar, elle comprend 67.655 ha, qui font suite à la forêt des Beni Oudjana, son altitude varie entre 11.00 et 1.700 m à Ras Begnoute, elle s'étend au Sud jusqu'à les limites de Oued Alarab, elle constituée une pinède classée la première au niveau Africain.

Tableau.01 : Répartition de la superficie forestière par commune (Source : C.F 2013).

Communes	Superficies forestières en ha	Essences principales	Total superficie du patrimoine forestier
Khenchela	780	Pin d'Alep + Chêne vert	980
Babar	4.019	Pin d'Alep	12.919
El-Hamma	3.488	Pin d'Alep + Chêne vert	5.288
Ensigna	1.176	Pin d'Alep	4.856
Baghai	235	Pin d'Alep	735
Tamza	22.101	Pin d'Alep+ Chêne vert+Cèdre	22.621
Ain-Toila	1.353	Pin d'Alep	6.353
M'Toussa	-----	-----	-----
Kais	792	Pin d'Alep	792
Taouzient	4.460	Pin d'Alep+ Chêne vert	4.460
Rémila	172	Pin d'Alep+ Chêne vert	172
Bouhmama	26.194	Pin d'Alep+ Chêne vert	27.321
Yabous	7.349	Pin d'Alep+ Chêne vert+Cèdre	7.349
Chélia	7.305	Pin d'Alep+Chêne vert+Cèdre	7.305
M'Sara	44.230	Pin d'Alep+ Chêne vert	44.230
Cherchare	7.027	Pin d'Alep	26.277
Djellal	100	Pin d'Alep	6.900
Kheirane	8.313	Pin d'Alep	18.913
Ouldja	-	-	4.000

Ouled Rechache	4.755	Pin d'Alep	6.755
Mahmal	2.454	Pin d'Alep	7.654
Cheria	3.636	Pin d'Alep	6636
Stah Guentis	7.820	Pin d'Alep	9920
El Ogla	1.930	Pin d'Alep	6430
Tlidjane	6.250	Pin d'Alep	13850
Ferkane	-----	-----	-----
Bedjane	1.250	Pin d'Alep	3350
El Mezraa	2.632	Pin d'Alep	4982

7.2. La végétation steppique :

En Afrique du Nord les steppes sont à base de graminées (*Stipa tenacissima*) ou de chaméphytes (*Artémisia herba alba*) (POUGET, 1980). Le paysage steppique change avec le gradient pluviométrique et la nature de sol est dominé par les formations végétales à base de :

- Steppe à alfa (*Stipa tenacissima*).
- Steppe à armoise (*Artemisia Herba Alba*).
- Steppe à sparte (*Lygeum spartum*).
- Steppe à Halophytes.
- Steppe à psamophytes.

7.2.1. Steppe à Alfa (*Stipa tenacissima*):

L'alfa représente la formation végétale la plus fréquente et la plus importante dans les steppes algériens, l'alfa est une plante pérenne qui est capable de résister aux aléa climatiques et aux conditions sévères de sécheresse (AIDOUD et al., 1996). Cette steppe est fréquente au sein du bioclimat aride avec des précipitations comprise entre 200 et 400 mm par an, mais l'alfa peut vivre avec des précipitations s'abaissent à 150mm (BOUDY 1952), l'alfa résiste à -15⁰ C au-dessous de 1 à 3⁰ C (BENSTITI, 1974). Sur le plan édaphique les steppes à alfa se développent sur des sols squelettiques secs à texture limono-sableuse (KAABECHE, 1990) et cantonnés sur les collines et glacis à croute calcaire et se trouve sur les sols peu profonds de 10 à 15 m.

7.2.2. Steppe à Armoise blanche (*Artemisia herba alba*):

L'armoïse est très commune dans les endroits incultes et les terrains destinés au pâturage en association avec l'alfa et d'autres plantes steppiques, les groupements à armoïse colonisent les dépressions non salées et les sols limoneux à argileux-limoneux encroutés ou non, ils présentent des variations saisonnières exprimant par le changement dans sa composition floristique.

Selon DJEBAILI (1987), les conditions écologiques générales dans la répartition de l'armoïse blanche sont les suivants :

- Pluviosité : Comprise entre 100 et 300 mm.
- Altitude : Comprise entre 400 et 1300m.
- Profondeur du sol : Variable de 5 à 40cm.

7.2.3. Steppe à Spart (*Lygeum Spartum*) :

Les steppes à spart ou le faux alfa, occupent un stade dynamique intermédiaire entre les steppes à alfa et les steppes à armoïse blanche, ils colonisent les bordures des bas-fonds ainsi que les sols plus humides des plateaux riches en éléments fins, et les bordures des chotts et sebkhas, où le sparte supporte les surfaces gypso-calcaires avec un sol profond plus de 100 cm, à texture limono-argileuse.

7.2.4. Steppe à halophyte :

Les steppes à halophytes occupent les terrains salés à proximité des chotts, les dépressions gypso-saline et les sols halomorphes, elles supportent parfaitement la sécheresse, sont constituées principalement l'*Atriplex halimus*, *Atriplex glauca* et *Salsola vermiculata*.

7.2.5. Steppe à psammophytes :

Ce type de steppe représenté sous forme de petites plages très dispersées, se développe sur des terrains à textures sablonneuse et aux apports d'origine éolienne, il colonise les glacis d'érosion encroutés et recouvert d'un voile éolien, les accumulations profondes plus de 1 m de sable, cordons dunaires, et également les dépressions salées.

8. Cadre Socio-économique:

8.1. La répartition spatiale de la population :

La présence de l'homme dans la zone d'étude est plus ancienne se confond avec les origines de la Berbère, qui commence par la colonisation Phénicienne, à travers cette période historique, les populations de cette zone conservent la répartition spatiale des tribus de la zone d'étude, notre zone d'étude réparties sur trois axes principales selon les tribus, l'espace et le

mode de vie, les Monts des Nememcha où leur population partagent deux mode de vie différents entre le Tell et le Sahara, les Monts des Aurès occupés par les Ammamras, de l'autre côté Djebel Chechar où leur populations utilisent les vallées.

Les villages traditionnels sont localisés dans les zones de piedmont à proximité des sources, cependant depuis quelques années on assiste à un déplacement des populations rurales d'une part vers les axes circulation avec création de nouveaux villages, d'autre part vers les chefs-lieux, comme les villes de Khenchela et Chéria qui connut une grande extension.

Tableau 2 : la densité de la population par commune (Source : DPAT 2012).

Communes	Superficie en Km ²	La population totale	La densité (Hab. /Km ²)
Khenchela	32	120.710	3772,2
Babar	3935	36.784	9,3
El-Hamma	168	13.258	78,9
Ensigna	163	10.160	62,3
Baghai	136	7.340	54
Tamza	385	9.185	23
Ain-Toila	302	18.360	60,8
M'Toussa	118	6.474	54,9
Kais	56	37.832	675,6
Taouzient	167	11.648	69,7
Rémila	243	6.060	24,9
Bouhmama	409	11.660	28,5
Yabous	157	11.346	72,3
Chélia	152	5.422	35,7
M'Sara	570	4.495	7,9
Cherchare	922	30.075	32,6
Djellal	378	3.290	8,7
Kheirane	400	6.290	15,7
Ouldja	366	3.246	8,8
Ouled Rechache	285	27.365	96
Mahmal	371	41.500	111,9
Cheria	267	75.344	282,2
Stah Guentis	1.124	3.689	3,2
El Ogla	255	17.797	69,8
Tlidjane	1.825	10.286	5,6
Ferkane	903	5.370	5,9
Bedjane	132	4.505	34,1
El Mezraa	430	4.251	9,8

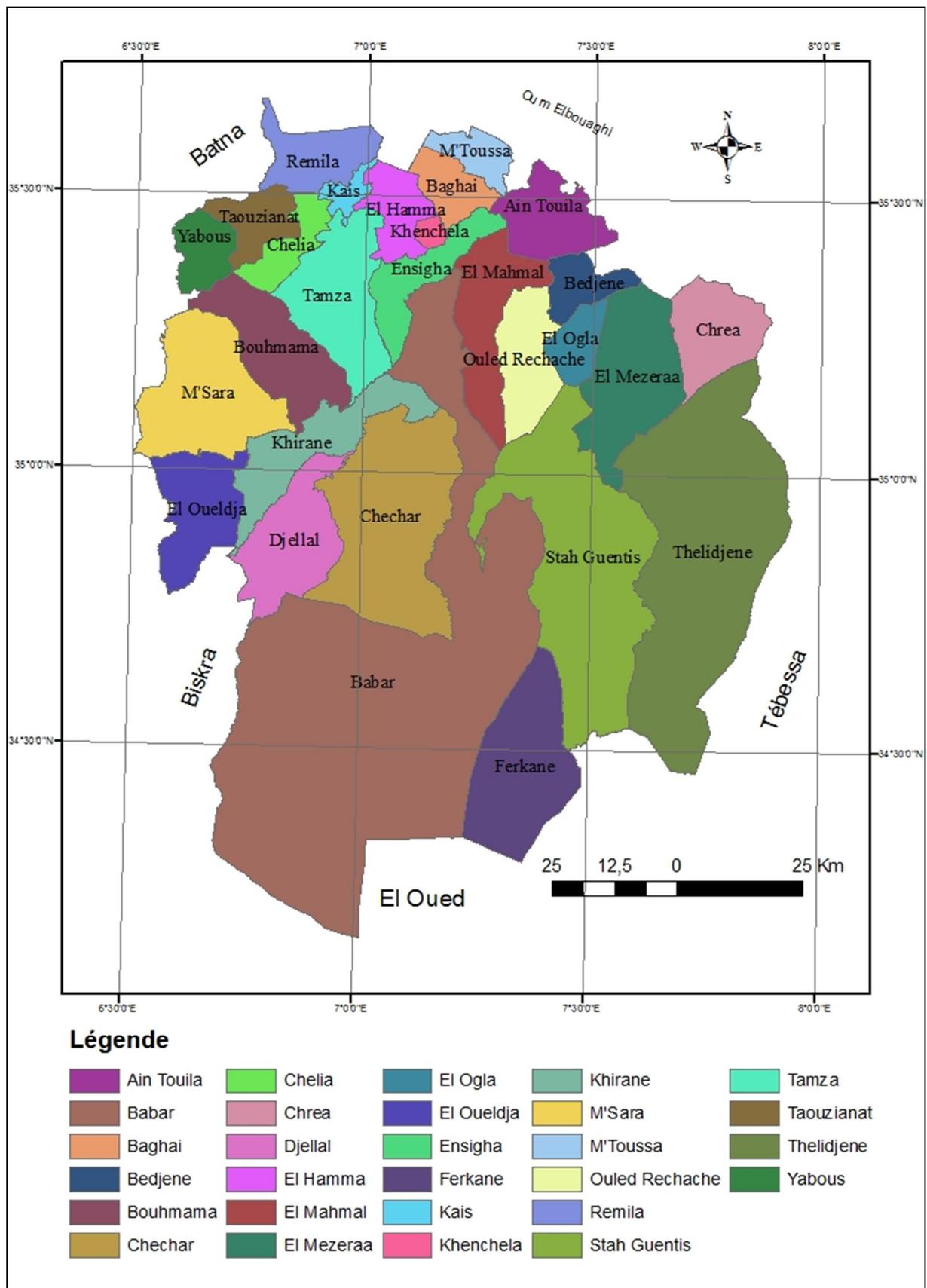


Figure.09 : Carte des communes de la zone d'étude.

La densité de la population est variée au niveau de la zone d'étude, cependant certaines zones sont plus fortement marquées par la présence humaine extensive tels que Kais, Khenchela, El Mahmal et Chéria, tandis que d'autres ont au contraire une densité faible à cause de la géomorphologie de reliefs montagneux et désertique tels que Djellal, Kheirane, Ferkane et le sud de la commune de Babar.

8.2. Les activités économiques (Agriculture) :

Le déclenchement démographique et le développement de la culture mécanisée ont favorisé l'augmentation de la surface agricole aux dépens de la surface forestière et steppique.

L'agriculture est la principale activité économique de la zone d'étude constituant la source de revenus de la population rurale.

Selon la direction des services agricoles de la wilaya de Khenchela : la surface agricole de la wilaya s'élève à près de 963961 ha, où la surface agricole utile représente 232.534 ha soit 0,23 de la surface totale de la wilaya et 24% de la surface agricole totale, ce rapport au niveau national est de (20%), la SAU par habitant est de 0,58 ha/ habitant, ce qui est un bon rapport comparativement au niveau national (0,20ha / habitant).

La céréaliculture qui occupe près de 45 % de la SAU, domine le système de production et l'arboriculture reste prédominante dans la zone des hautes plateaux et des plaines.

Tableau.03: Répartition de la SAU (Source : DSA 2010).

Spéculation	Superficie en (ha)	Superficie en (%)
Jachère	97.165	41,8
Céréales	101.602	43,7
Arboricultures	17.148	7,4
Fourrages	13.557	5,8
Maraichages	12.340	1,01
Phoeniciculture	719	0,31
Plasticulture	3	0,01
Totale	232.534	100

Les surfaces agricoles irriguées ont atteint au cours des dernières années 37.519 ha soit 16 % de la SAU, pour la seule période de 1999 -2008 les surfaces irriguées ont augmenté de 27.515 ha.

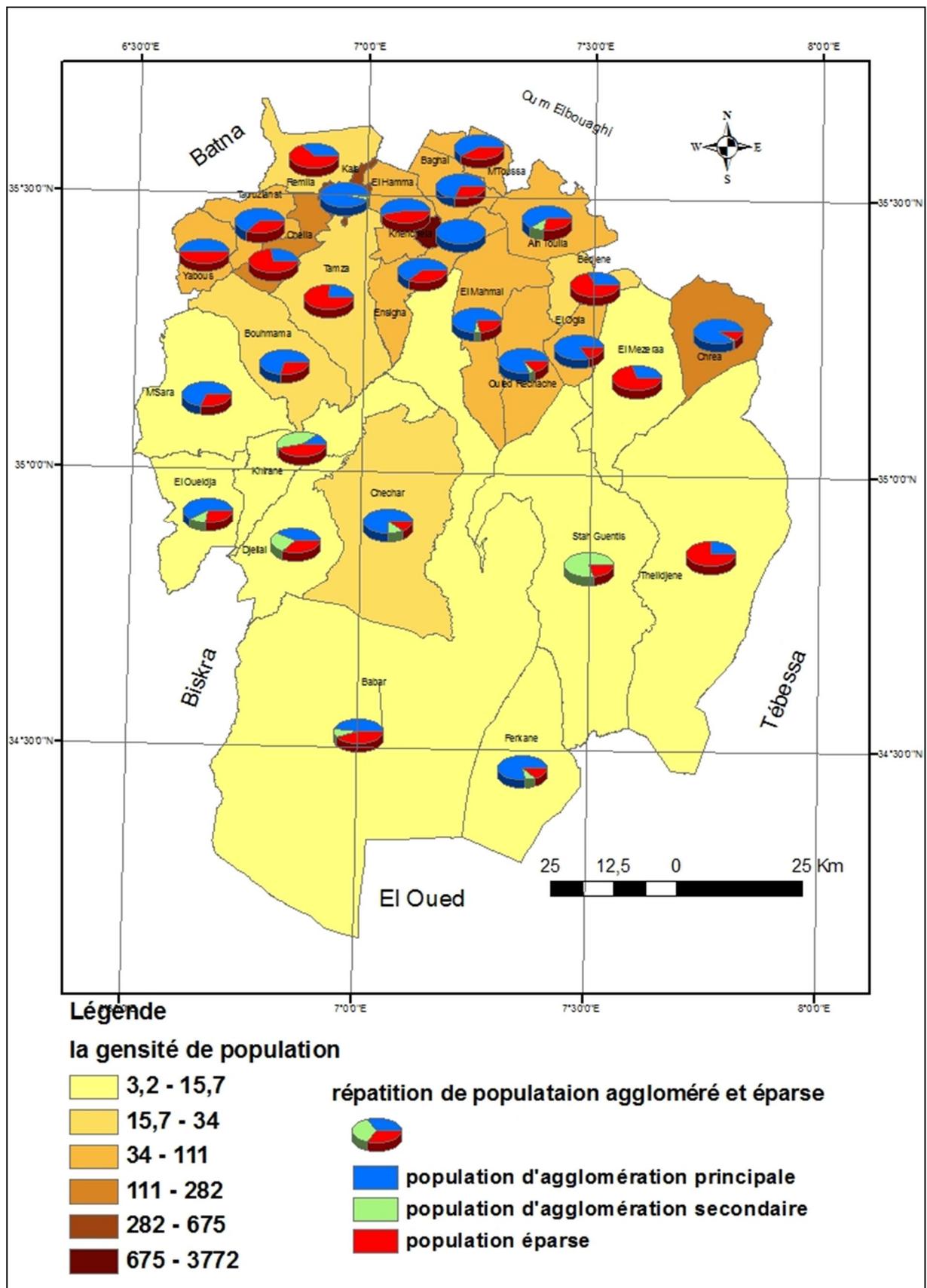


Figure 10 : Carte de la densité et de dispersion de la population.

Tableau4 : SAU irriguée par spéculation (Source : DSA 2010).

Spéculation	Superficie en (ha)	Superficie en (%)
Céréales	16.792	44,1
Arboricultures	17.148	45,2
Fourrages	1000	02,6
Maraichages	2.340	06,2
Phoeniculture	719	01,9
Totale	38.035	100

Auparavant les surfaces agricoles irriguées représente 3 à 4 % de la SAU, concentrée sur les plaines du Nord, les cause de cette situation sont attribuées à la faible mobilisation des eaux de surface, l'insuffisance de l'exploitation des eaux de surface et au manque d'équipement d'irrigation.

Tableau.05: Les ressources en eau destinée à l'irrigation (Source : DSA 2010).

Ressources	Nombres	Volume /début
Barrages	2	43,5hm ³ dont 1 en vase à 100%.
Puits	4441	3109 l/s
Forages	2616	18312 l/s
Sources	212	4244 l/s

Conclusion :

Par sa position géographique, et son étendu la zone que nous étudions caractérisée par la diversité dans les différentes unités géologique, géomorphologique et pédologique

À travers de l'étude du milieu physique de la région on peut diviser notre zone à trois types de Nord vers le Sud : une zone montagneuse distingue par des formations cohérentes et recouvert par la végétation forestière, une zone pleines steppique très peuplée et une zone désertique sablonneuse à végétation faible.

A l'issus de l'étude des aspects humaine et socio-économique, nous constatons que la zone d'étude distingue par l'inégalité dans la répartition de population et la mauvaise exploitation des ressources naturelles et la forte anthropisation.

CHAPITRE :02

CLIMAT DE LA ZONE D'ÉTUDE

Introduction :

Dans les zones arides et semi arides les facteurs climatiques jouent un rôle prépondérant dans l'évolution des processus désertiques (HAUREAU.1993), Le climat algérien est un climat de transition. Il varie de type méditerranéen dans le nord au type désertique dans le Sahara.

Le climat des hautes plaines steppiques est marqué par un conflit entre les influences de la méditerranée, caractérisé par des hivers doux et une longue période estivale chaude, tempérée par des brises de mer et celles du Sahara, avec un vent chaud et secs le sirocco soufflant au nord du Sahara durant la saison estivale, amène des orages de poussière et sable vers les régions côtières. Dans les deux cas une dépression nordique vient au contact de l'air chaud venant du sud (Sahara) ; les masses d'air deviennent alors instables et engendrent des orages au printemps et en automne, Les pluies sont généralement insuffisantes, irrégulières et inégalement réparties dans l'espace et dans le temps, Elles sont nulles en été et maximales au printemps (ANAT. 1992).

Selon DELARTIGUE le climat de l'Aurès varie suivant les altitudes des lieux qui se partage à :

- 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 2.238 à 1.800m.
- D'une fraction de ce Sahara lui-même.

1. Les stations climatologiques :

Pour l'étude climatique de notre zone d'étude, nous avons récolté les données de six stations météorologiques, Bouhmama, El Hamma, Babar, Guentiss, El Mita et Zribet Hammade. La localisation et les caractéristiques de ces stations utilisées dans cette étude sont représentées dans le tableau.06. Ces stations sont satisfaisantes, puisque elles sont implantées régulièrement sur l'ensemble de la région des Aurès ; cinq se trouvent à l'intérieur de la zone d'étude et une se trouve à l'extérieur de la zone d'étude.

Tableau.06: Les caractéristiques des stations climatiques.

Station	Latitude	Longitude	Altitude(m)	Période d'observation
Bouhmama	35°29'	6°44'	1150	1969 - 2011
El Hamma	35°28'	7°50'	983	1994 - 2013
Babar	35°13'	7°00'	1100	1974 - 2012
Guentis	35°00'	7°18'	993	1980 - 2012
El Mita	34°28'	7°03'	100	1990 - 2012
Zribet Hammad	34°38'	5°41'	43	1974 - 2012

2. Étude des paramètres climatiques :

2.1. Précipitation :

La pluviométrie est définie selon Djebaili (1984), comme le facteur primordial qui permet de déterminer le type du climat. Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat.

L'origine des pluies en Algérie est orographique (SELTZER, 1946), en plus divers facteurs qui déterminent les zones de précipitations en Algérie, en particulier l'orientation des chaînes de montagnes et de l'exposition par rapport à la mer et la direction des vents dominants porteurs d'humidité (DELANNY et al 1980, LABORDE 2003) in (MEDDOUR 2010).

Les facteurs topographiques cités ci-dessus, ont conduit à une irrégularité dans les précipitations à travers toute la région, à une augmentation des pluies en altitude et une diminution de leur taux du Nord vers le Sud (HALIMI, 1981).

2.1.1. Répartition annuelle des précipitations :

Dans la zone des Aurès la répartition des précipitations annuelles épouse parfaitement les variations des modèles orographiques, l'augmentation de la moyenne des précipitations est observée avec chaque élévation de l'altitude comme le cas des chaînes montagneuses, les sommets des monts, versant Nord de massif des Aurès où les reliefs impliquent une extrême diversité des aspects climatiques sur les djebels Farouane, Aidel et Chélia qui reçoit entre 700 1200 mm de pluie par an. Par contre la diminution de la moyenne des précipitations est sensible dans les parcours steppiques, les vallées comme la vallée de Oued Alarab et les dépressions. Les moyennes pluviométriques annuelles varient d'une station à une autre.

La station d'El Hamma distant de 3 kilomètre de la ville de Khenchela, à une altitude de 983 m, elle fonctionne depuis 1994, sous la gestion de l'ONM, a enregistré une moyenne pluviométrique annuelle allant à 472 mm par an pour la période de 1994 à 2013.

La station de Bouhmama est située à l'Ouest de Khenchela à une altitude de 1150 m, la moyenne annuelle de la pluviométrie pour la période de 1969 à 2011 est de 476 mm par an.

La station de Babar est implantée au niveau de barrage de Babar, à une altitude de 1100 m, pour période de 1974 à 2012, sous la direction de l'ANRH, où la moyenne annuelle est de 394mm par an.

La station de Guentiiss est située sur le territoire de la wilaya de Tébessa au cours des Monts des Nememcha, à une altitude de 993 m, la moyenne pluviométrique annuelle de cette station est de 227 mm par an pour la période de 1980 à 2012.

La station d'El Mita est située au sud de la zone d'étude près de Mirabeau de Sidi Nadji, à une altitude de 100 m, et une absence presque totale des reliefs, la moyenne annuelle pluviométrique pour la station d'El Mita est de 159 mm par an, pour une période de 1990 à 2012.

Pour la station de Zribet El Oued qui située au niveau du territoire de la wilaya de Biskra, à une altitude de 43 m et avec une moyenne pluviométrique annuelle de 123 mm par an pour une période de 40 ans.

2.1.2. Répartition mensuelle des précipitations

En générale la plupart des précipitations tombent en Algérie entre le mois d'octobre et d'avril, comme dans tous les pays des Maghreb, mais d'importante variation ont été observée, non seulement dans la hauteur moyenne mensuelle des chute de pluie, mais également dans la période durant laquelle elles se produisent (MEDDOUR, 2010).

Le tableau n° 7, montre que, pour les six stations de référence, les précipitations sont irrégulières durant les mois de l'année. Elles varient d'une station à l'autre.

Tableau.07 : Précipitations moyennes mensuelles des stations étudiées.

Station	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jeui	Aou
Bouhmama	56,29	42,1	40,6	43,5	34,5	40,4	33,1	58,25	52,25	32,5	21,1	21,1
El Hamma	54,55	40,34	37,04	40,50	38,58	25,39	37,43	49,48	68,1	27,25	16,55	36,49
Babar	53,56	41,74	58,43	24,63	25,96	23,18	41,1	33,38	26,8	30	21,26	13,73
Guentis	27	23	26,56	29,55	35,56	39	32,5	29,4	19	12	15	11,27
El Mita	14,5	13,65	22,80	21,1	25,36	16,2	13,6	18,54	9,78	3	0,56	0,1
Zribet Hammad	12,22	7,37	18,92	13,13	20,43	6,44	12,89	18,21	7,18	4,05	0,46	2,06

Les figures (7, 8, 9, 10, 11,12) montrent les variations des précipitations mensuelles respectivement pour les stations de Bouhmama, El Hamma, Babar, Guentis, El Mita et Zribet Hammad.

La station de Bouhmama est la plus pluvieuse, ceci est dû à sa position au niveau du massif des Aurès, par rapport aux autres stations et son altitude qui arrive à 1150 m, la répartition des pluies mensuelles au niveau de cette station passe de 58 mm au mois de d'Avril à 21,1 mm pour les deux mois Juin et Août.

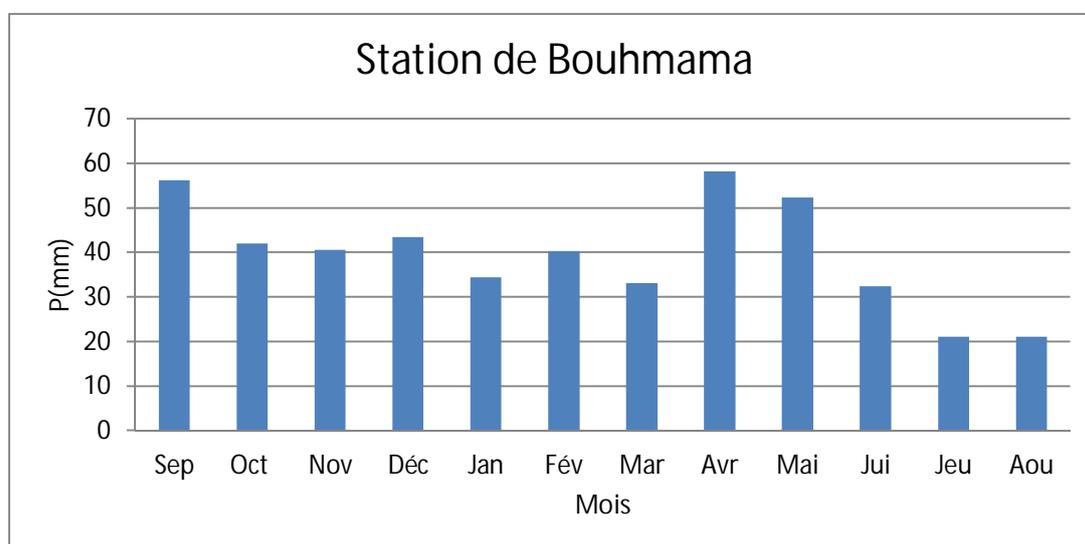


Figure 11 : Variations mensuelles des précipitations à station de Bouhmama.

Pour la station d'El Hamma la pluviosité mensuelle chute de 68, 1, en Mai, comme le mois le plus pluvieux ou le maximum des précipitations et de 16,55 en Juillet comme le minimum des précipitations durant la période d'observation.

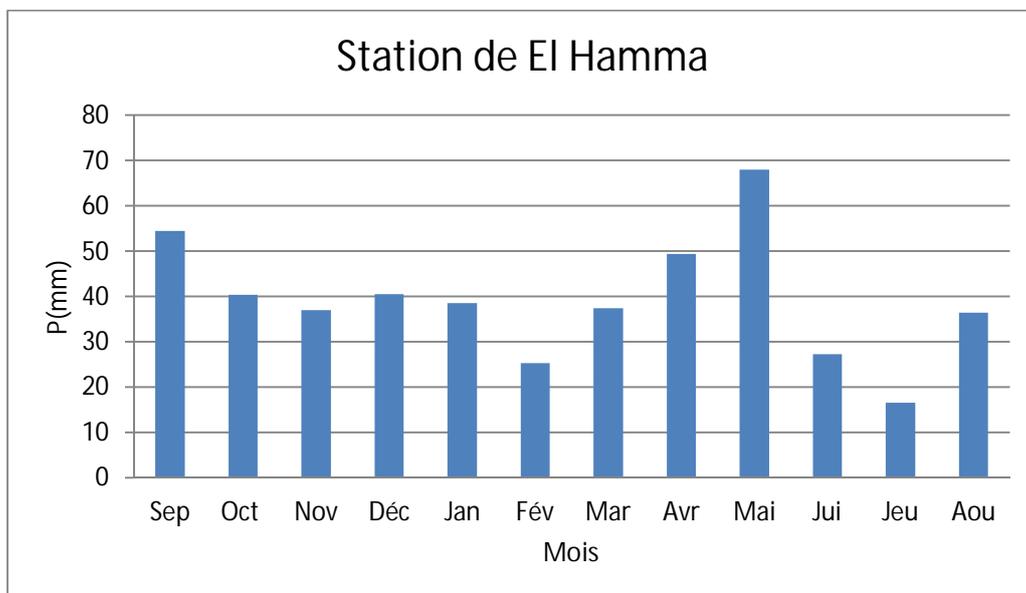


Figure 12 : Variations mensuelles des précipitations à station d'El Hamma.

Station de Babar : le mois de Novembre est le mois le plus pluvieux avec une moyenne de 58,43 mm, et le mois d'Aout est le mois le plus sec avec une moyenne de 13,73mm.

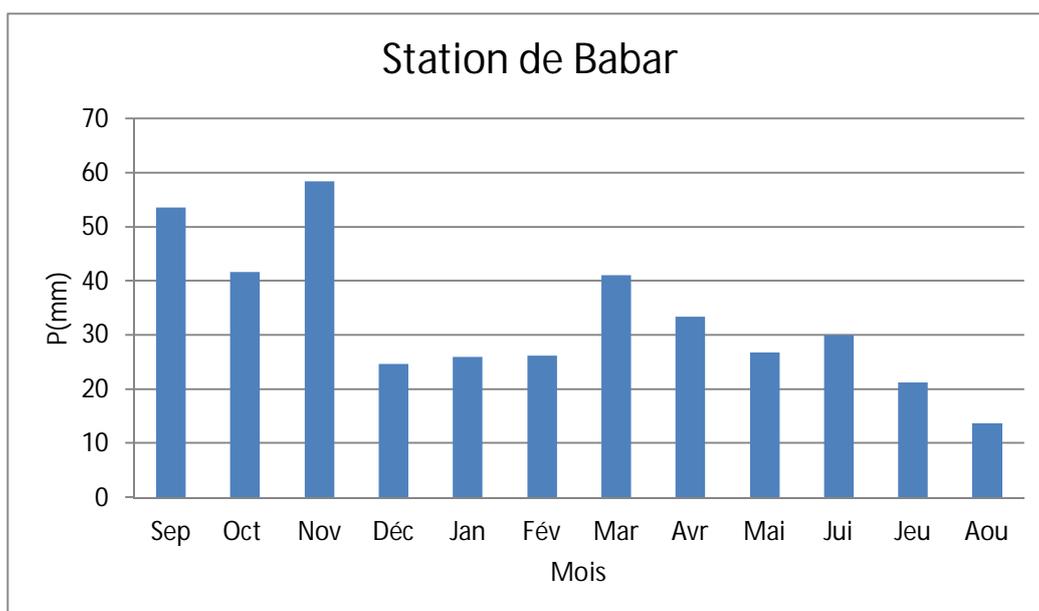


Figure 13: Variations mensuelles des précipitations à station de Babar.

Pour la station de Guentis les pluies mensuelles diminuent par rapport aux stations précédentes, elles passent de 39 mm en Février comme le mois le plus pluvieux, à 11,27 mm en Aout comme le mois le plus sec.

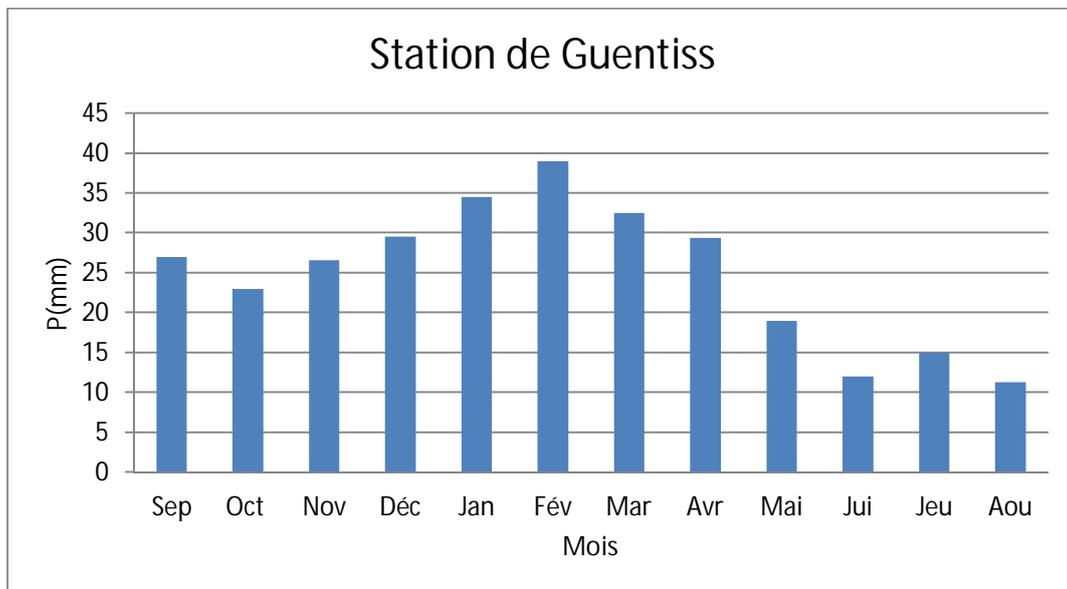


Figure 14: Variations mensuelles des précipitations à station de Guentiss.

La station d'El Mita par sa position au Sud de La zone d'étude, leur moyenne maximale ne dépasse pas 25,36 mm, elle s'observe au mois de Janvier, par contre la moyenne minimum caractérise le mois d'Août de 0.1mm.

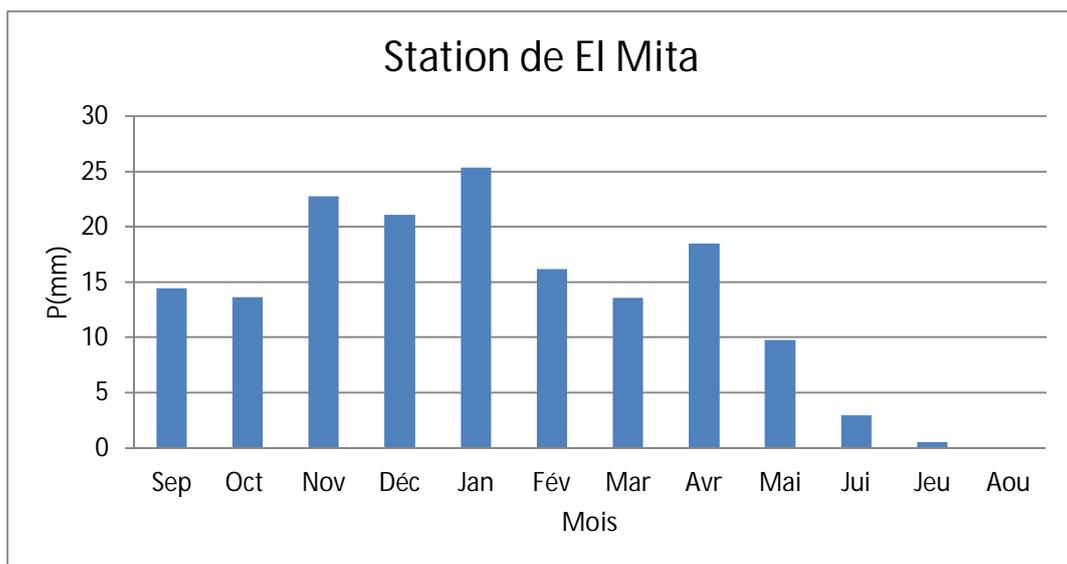


Figure 15: Variations mensuelles des précipitations à station d'El Mita.

La station de Zribet Hammad est le moins arrosée, le mois de Janvier est le mois le plus pluvieux avec une moyenne maximale ne dépasse pas 20,43 mm, et le mois le plus sec représente dans le mois de Juillet avec une moyenne minimale ne dépasse guère 0,46 mm, où les autre mois ont des moyennes généralement semblable à la station d'El Mita.

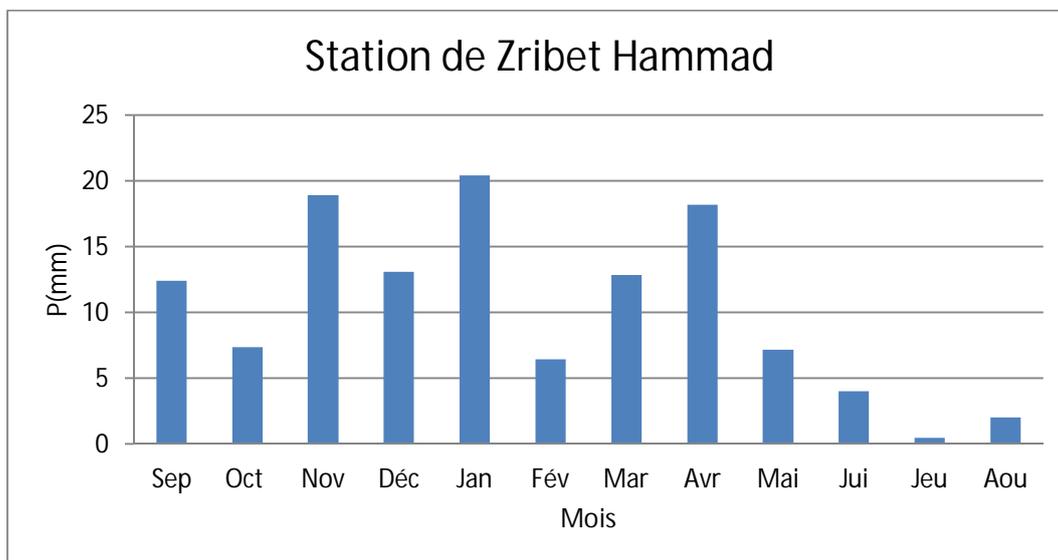


Figure 16: Variations mensuelles des précipitations à station de Zribet Hammad.

D'après l'analyse des moyennes mensuelles, on observe que les mois les plus pluvieux diffèrent d'une station à l'autre, mais en générale ils se situent en hiver (Janvier, Février), ou au printemps pendant le mois de Mai, et les mois les plus secs sont les mois d'Aout et Juillet pendant la saison d'été.

2.1.3. Répartition saisonnière des précipitations :

Les précipitations saisonnières pour les différentes stations sont reportées dans le tableau 08.

Tableau 8 : Précipitations moyennes saisonnières des Stations étudiées.

Saisons des stations	Automne	Hiver	Printemps	Été	Total annuel
Bouhmama	139	118,46	143,8	74,7	475,96
	29,20 %	24,88 %	30,21 %	15,69%	100 %
El Hamma	132,29	104,46	155,01	80,29	472,05
	28,08 %	22,12 %	32,83 %	17 %	100%
Babar	153,73	73,78	101,28	64,99	393,78
	39,03 %	18,73 %	25,39 %	16,33 %	100 %
Guentis	76,56	103,11	80,9	38,2	226,77
	33,76 %	45,46 %	35,67 %	16,84 %	100 %
El Mita	50,95	62,66	41,92	3,66	159,19
	32 %	39,36 %	26,33 %	2,29 %	100 %
Zribet Hammad	38,71	40	38,28	6,57	123,56
	31,32 %	32,37 %	31 %	5,31 %	100 %

Les valeurs des précipitations n'est pas homogène pour les différentes stations, où les stations de Bouhmama et El Hamma et Guentis se partagent le maximum des précipitations au printemps avec des proportions de 30,21 et 32,83 et 35,67 respectivement.

La répartition saisonnière des pluies montre que le niveau des pluies qui tombent est accumulée dans la saison automne, printemps et au l'hiver, par contre l'été est la saison la moins arrosée, pour les six stations.

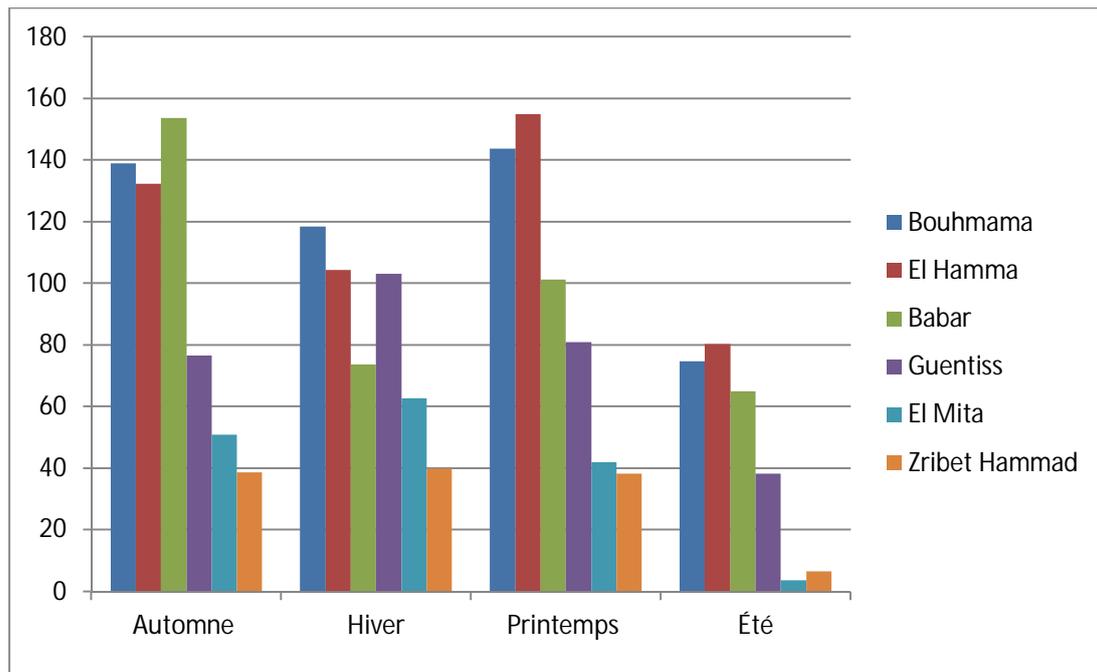


Figure 17 : Variations saisonnières des précipitations pour les stations étudiées.

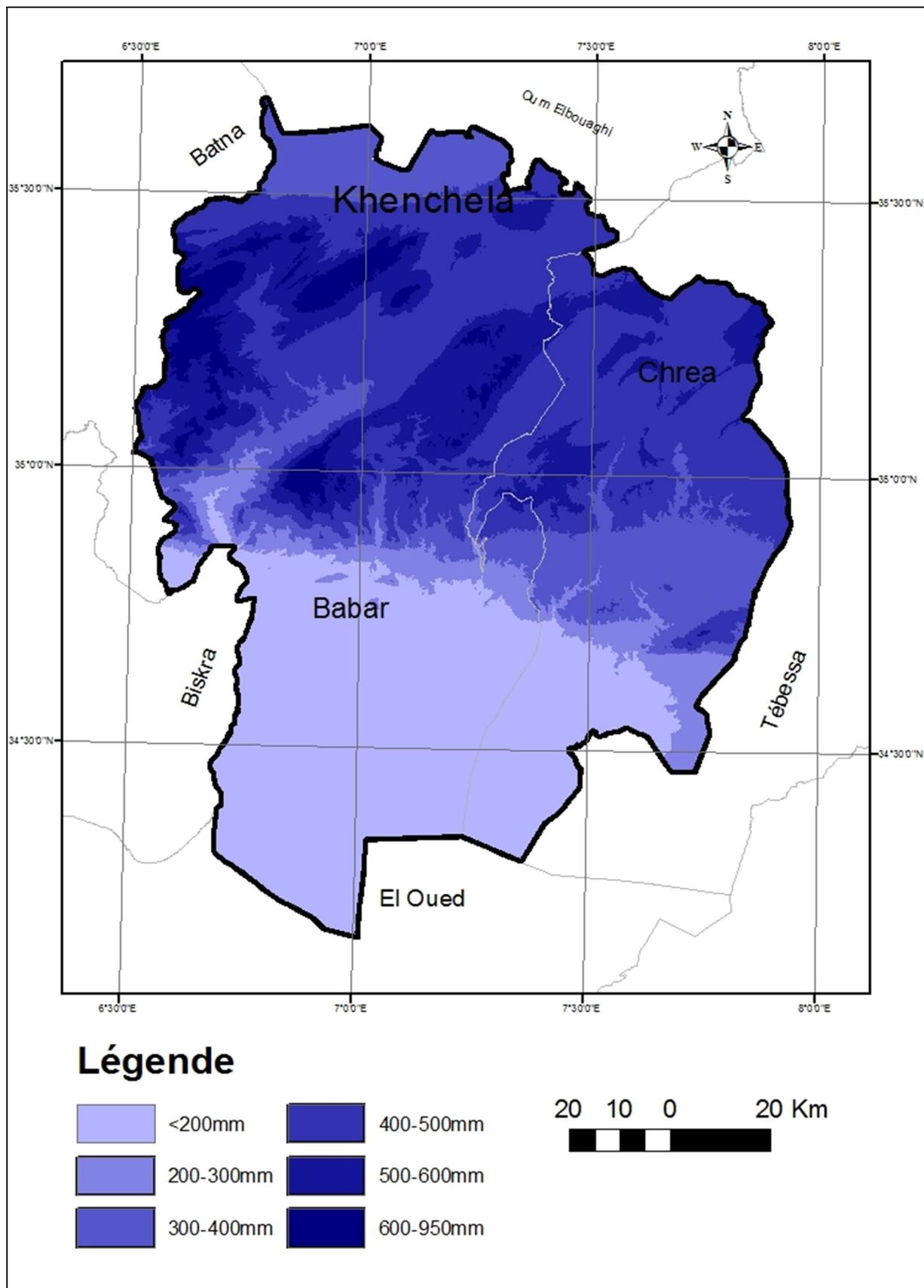


Figure 18 : Carte des précipitations moyennes annuelles de la zone d'étude (Source : MNT Réalisé par CNTS).

2.2. Les températures :

La température est un facteur qui varie dans le temps et dans l'espace. L'effet de cette variation est marqué au niveau des températures minimales et même maximales.

Pour caractériser le paramètre de température, il faut déterminer plusieurs variables:

M: la moyenne mensuelle des maxima,

m : la moyenne mensuelle des minima.

$M+m/2$: la moyenne mensuelle.

Tableau 9 : Températures moyennes mensuelles pour les stations étudiées.

		Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil.	Août
Bouhama	Max	27.90	20.50	14.43	10.11	9.41	9.49	13.74	17.94	24.11	28.57	32.14	32.87
	Min	13.28	8.42	3.53	1.41	0.99	0.40	1.43	5.02	9.53	12.88	15.28	17.17
	Moy	20,59	14,46	8,98	5,76	5,2	4,95	7,59	11,26	16,82	20,73	23,71	25,02
El Hamma	Max	28,63	23,54	14,94	11,03	9,97	10,23	16,61	19,57	23,81	31,77	39,61	38,83
	Min	14,05	11,36	6,96	3,31	2,59	3,23	4,65	8,17	12,69	15,29	14,51	13,83
	Moy	21,34	17,45	10,95	7,17	6,28	6,73	10,63	13,87	18,25	23,53	27,06	26,33
Babar	Max	27	24,2	16,4	11,3	11,3	9,4	14,6	19,2	25,4	32	36,5	34,12
	Min	15,5	14,7	6,9	2,7	4	1,2	5,8	9	13,1	17,8	21,9	21,7
	Moy	21,7	16,2	15,6	5,7	9,4	5,7	9,6	16,7	22,6	26,9	28,1	27,3
Guentis	Max	28,3	23,5	17,6	11,6	11,3	10,1	13,51	19,5	29,5	33,6	37	36,2
	Min	15,6	13,89	7	3,5	5,4	5,6	7,45	10	15,56	18,85	21,9	23
	Moy	21,95	18,69	12,3	7,55	8,35	7,85	10,48	14,75	22,53	26,22	29,45	29,6
El Mita	Max	31,5	27	20,21	14,82	12,30	13,40	20,9	24,2	29,5	36,1	39,8	39,2
	Min	20,1	15,6	9,5	6,80	5,1	6,3	10,8	13,6	20,6	23,5	26,2	26,5
	Moy	25,8	21,3	14,85	10,81	8,7	9,85	15,85	18,9	25,05	29,8	33	32,85
Zr Hammad	Max	34,1	28,62	21,56	17,56	16,72	19,11	22,61	26,09	31	36,74	40,15	39,39
	Min	23,1	17,9	12	10,1	6,9	8,5	11,3	14,6	19,4	24,2	27,3	27,3
	Muy	28,7	23,14	16,58	13,83	11,6	13,58	17,32	21,02	26,65	31,62	34,46	33,99

- **Pour la station de Bouhmama :**

À l'examen de tableau (11), plusieurs remarques s'imposent :

- Le mois le plus chaud est le mois de d'Aout avec une moyenne de 25,02°C.
- Le mois le plus froide est le mois de Janvier avec une moyenne de 5,2° C.
- La température moyenne annuelle est de 13° C.

On remarque aussi un écart important entre les températures de l'air entre une saison et une autre où la température moyenne de l'été est de l'été 23,15° C et celle de l'hiver 5,3 °C.

Il y aussi une large variation entre les moyennes maximale et minimale des températures dont l'écart est de 20,07 °C.

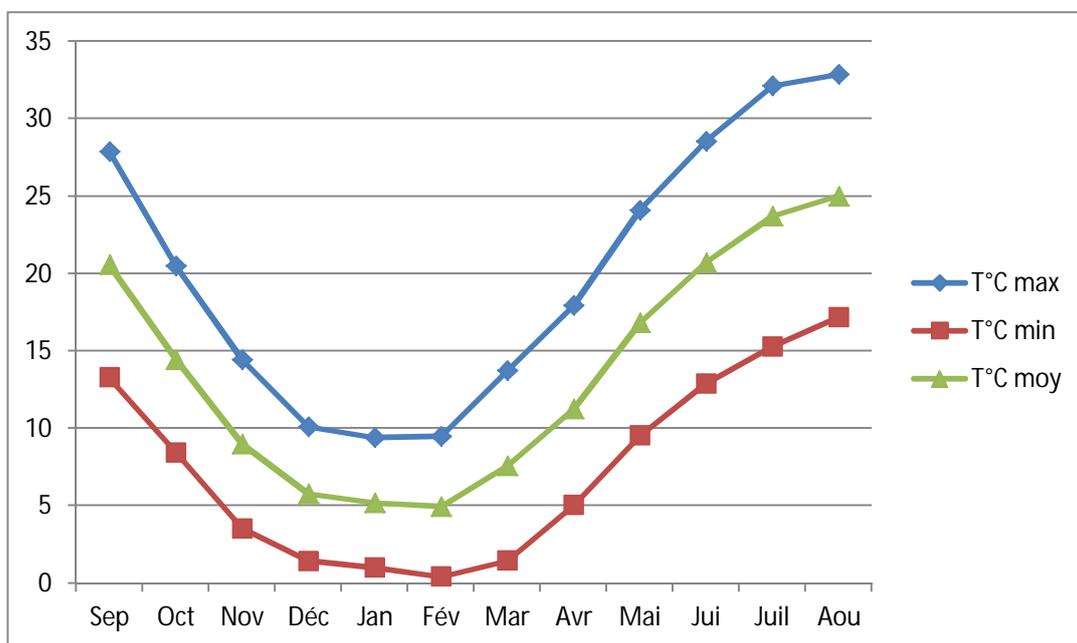


Figure 19 : variation des températures mensuelles de Bouhmama.

- **Pour la station d'El Hamma :**

Le mois de Janvier constitué le mois le plus chaud avec une moyenne de 6,28 °C.

Le mois d'Aout constitué le mois le plus froid avec une moyenne de 26,33 °C.

La température moyenne de l'été est de 23,07 °C, celle de l'hiver est de 6,72 °C.

L'écart entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid est 20,02 °C.

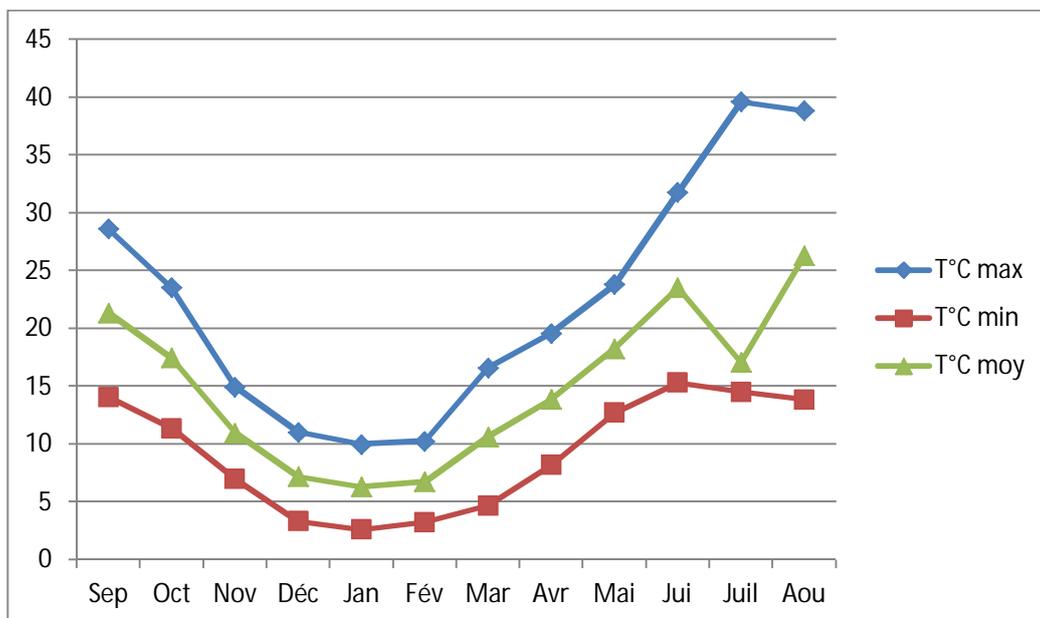


Figure 20 : variation des températures mensuelles d'El Hamma.

- **Pour la station de Babar :**

Les températures moyennes mensuelles lors de la période d'observation sont de 5,7 °C pour les mois de Janvier et Février et augmentent pour atteindre 27,3 °C en Août, dont l'écart entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid est de 21 °C.

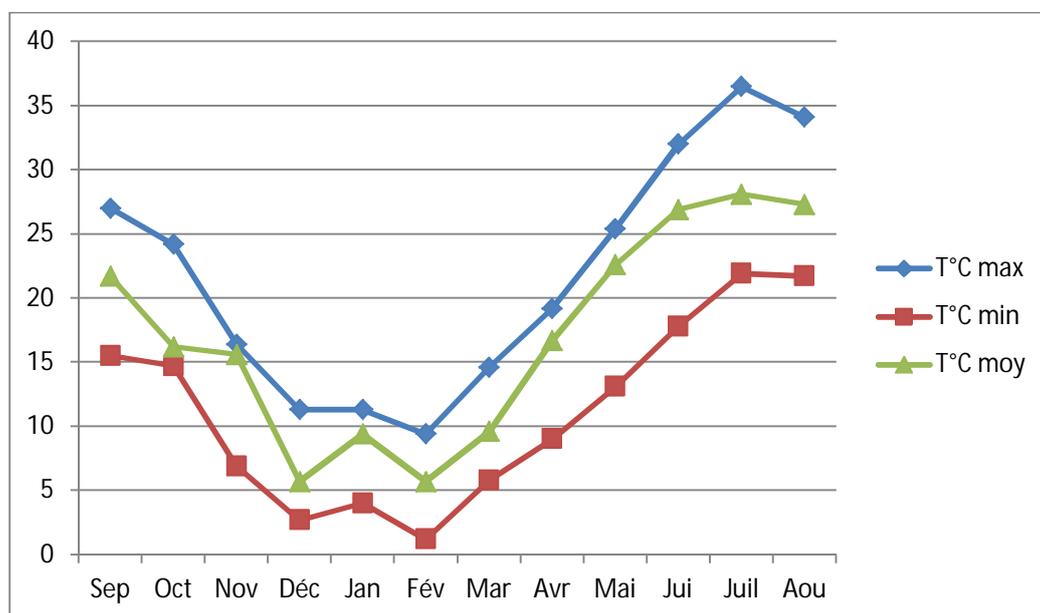


Figure 21 : variation des températures mensuelles d'de station de Babar.

- **Pour la station de Guentis :**

Au niveau de cette station on retrouve une situation analogue à la station de Babar, cependant la station de Guentis est plus chaud dans les mois de l'hiver par rapport à la station de Babar, dont la moyenne des températures de l'été à cette station est de 28,42 °C, et la moyenne des températures pendant la saison de l'hiver ne dépasse pas 7,91 °C.

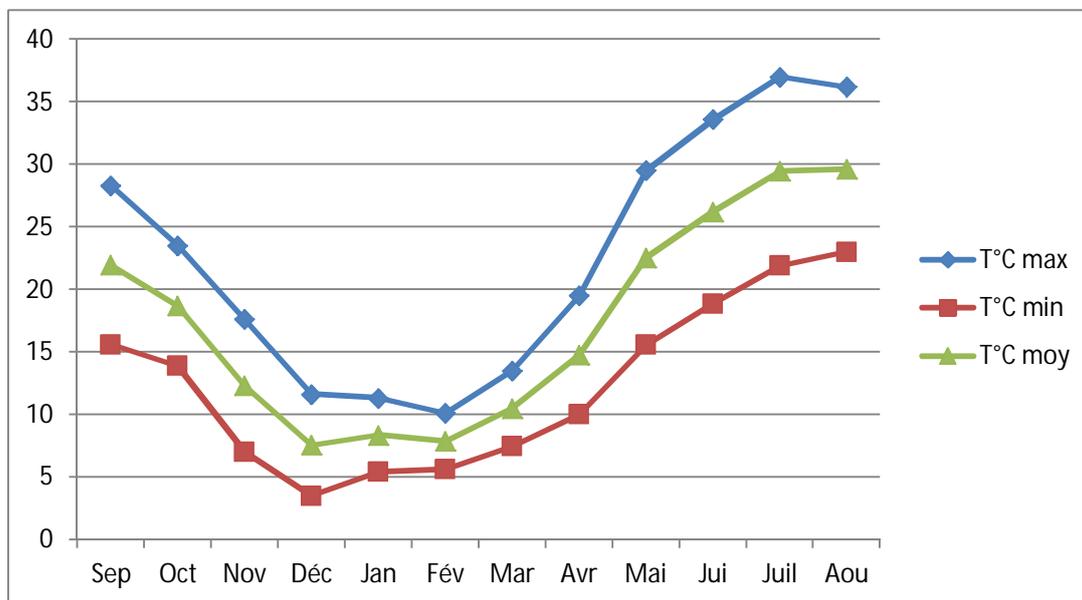


Figure 22 : Variations des températures mensuelles de la station de Guentis.

- **Pour la station d'El Mita :**

Le mois le plus chaud est le mois d'Août avec une moyenne de 32,85 °C.

Le mois le plus froid est le mois de janvier avec une moyenne de 8,7 °C.

L'amplitude annuelle thermique de cette station est de 24, 15 °C qui caractérise son climat continental.

La température moyenne annuelle est de 20,66 °C.

Par sa position géographique au Sud de la zone d'étude la station d'El Mita connu une grande variation des températures entre les saisons, où la saison hivernale est plus faible que la saison estivale, la température moyenne de l'été est de 31,88 °C, et pour l'hiver est de 10,12 °C, c'est -à-dire la température de l'été est trois fois que l'hiver.

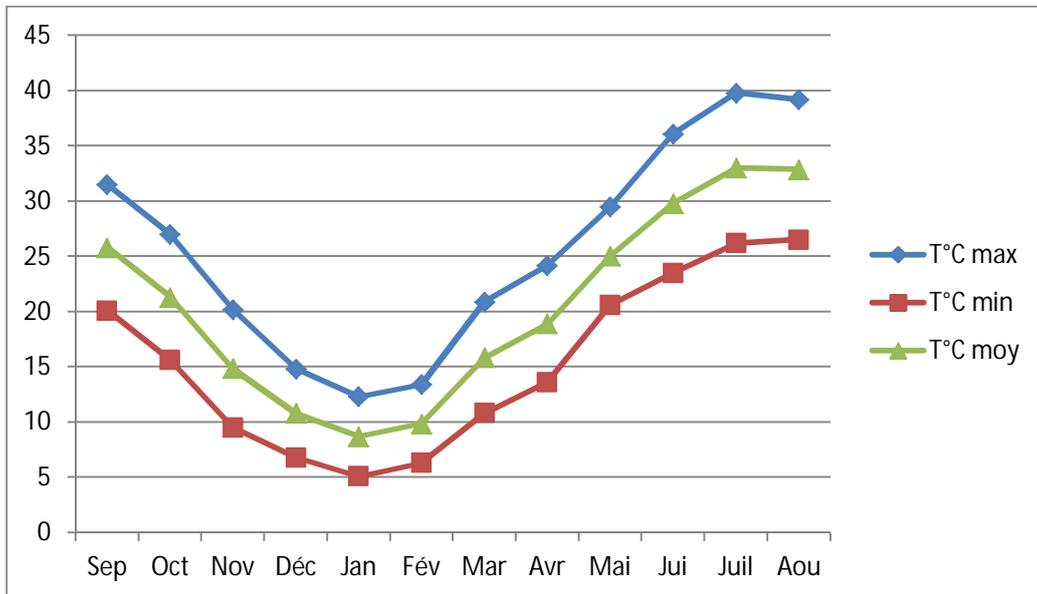


Figure 23 : variation des températures mensuelles d'de station d'El Mita.

- *Pour la station de Zribet Hammad :*

La baisse des températures commence à partir du mois d'octobre et se prolonge jusqu'au mois de janvier où arrive à 11, 6 °C, à partir du mois du février les températures reprend et atteint son maximum au mois d'aout avec une moyenne de 33,99 °C.

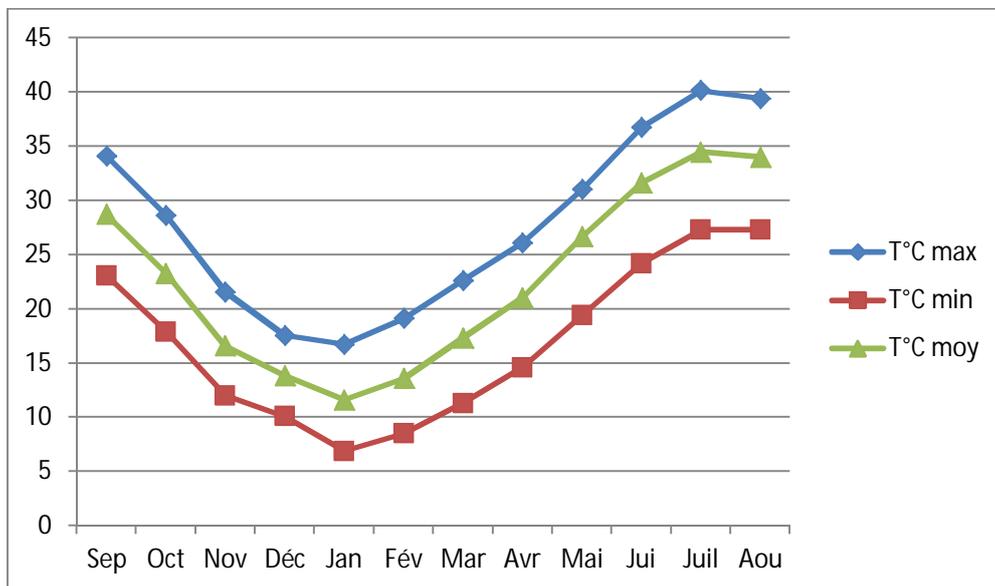


Figure 24 : Variations des températures mensuelles de station de Zribet Hammad.

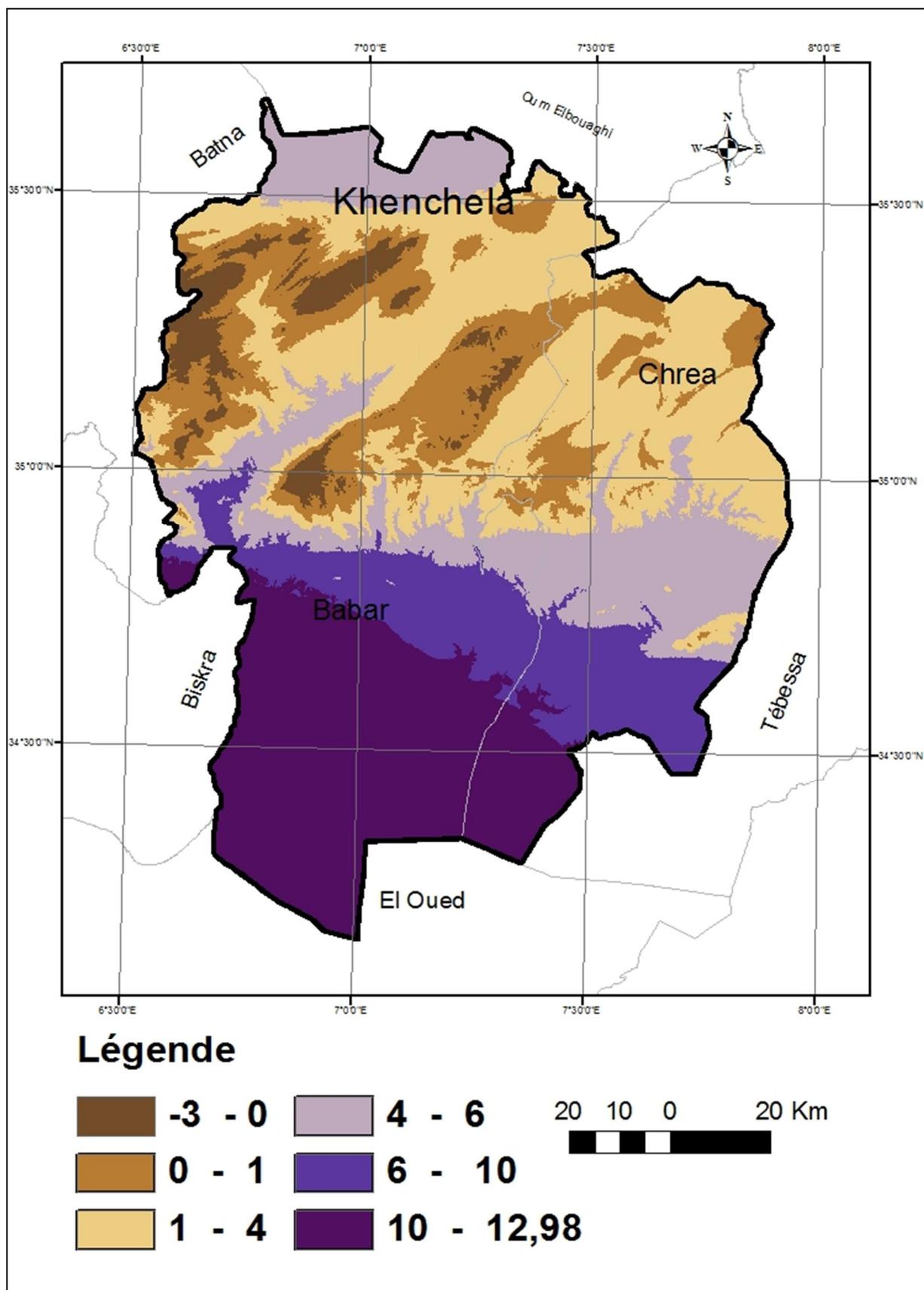


Figure 25 : Carte des températures mensuelles minimales de la zone d'étude.

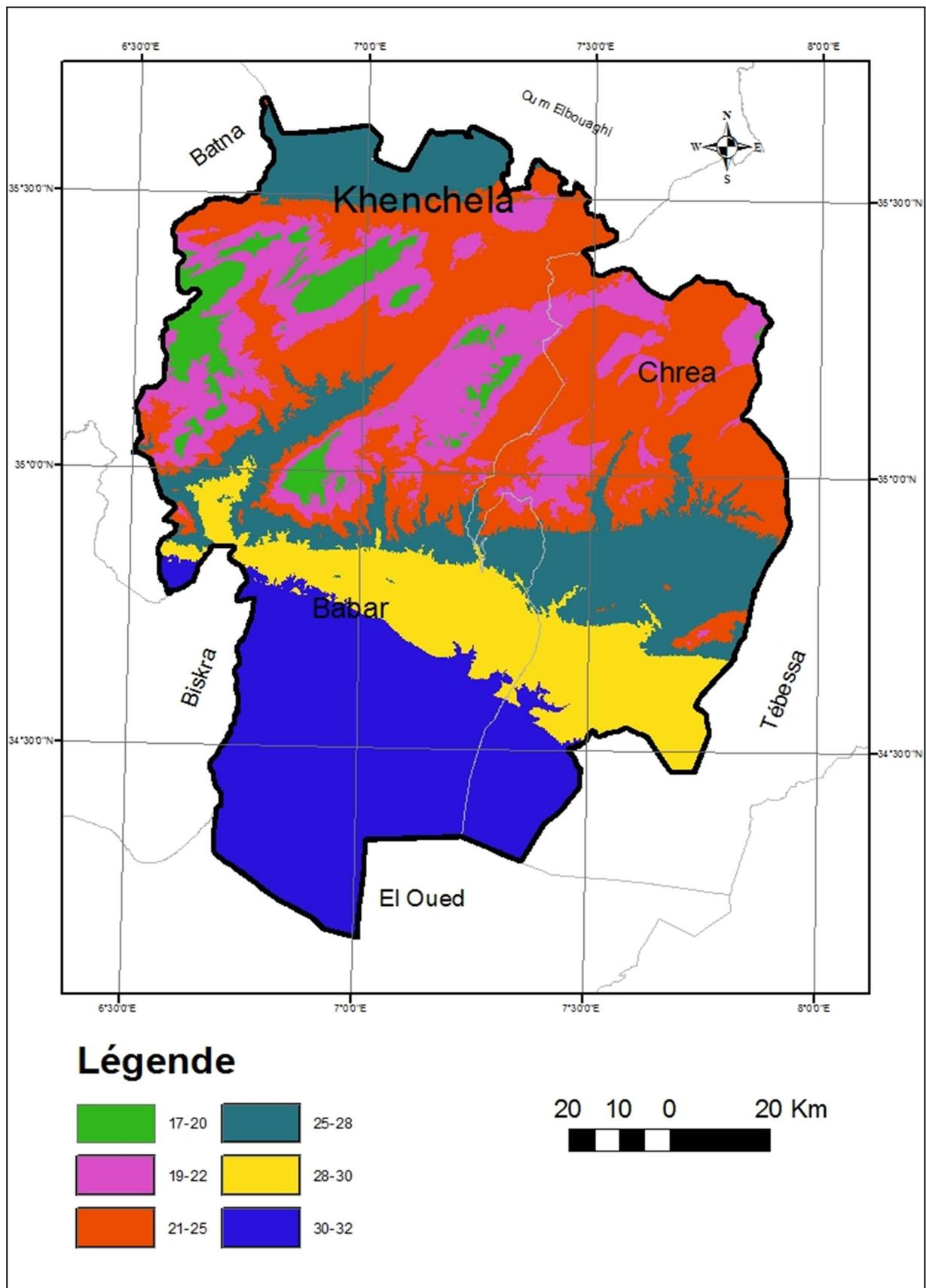


Figure 26 : Carte des températures mensuelles maximales de la zone d'étude.

3. Synthèse climatique :

3.1. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN :

Cet indice à été proposé par GAUSSEN en 1952, il est largement utilisé pour sa simplicité et son efficacité.

La représentation sur un même graphique des précipitations moyennes mensuelles exprimées en mm, et des températures moyennes mensuelles exprimées en °C, avec en abscisse les mois permet d'obtenir le diagramme ombrothermique amélioré par WALTER et LIETH.

Le diagramme Ombrothermique de GAUSSEN peut calculer la période sèche en fonction des moyennes mensuelles des précipitations et des températures où les températures sont portées à l'échelle double des précipitations ($2T=P$). .

Cette représentation met en évidence les périodes sèches et les périodes pluvieuses, on souligne une période sèche, chaque fois que la courbe des précipitations passe au-dessous de la courbe des températures.

L'analyse du diagramme Ombro-thermique la station de Bouhmama nous permet de distinguer deux saisons d'inégales durées :

- L'une humide plus longue, d'une période de neuf mois et qui commence de du mi-aout et se prolonge jusqu' à le mi- mai, elle est caractérisée par une précipitation de l'ordre de 58,25 mm pendant le mois d'avril.
- Une période de sécheresse de trois mois, allant du mi- mai jusqu' à mi-aout, elle coïncide avec la période la plus chaude de l'été.

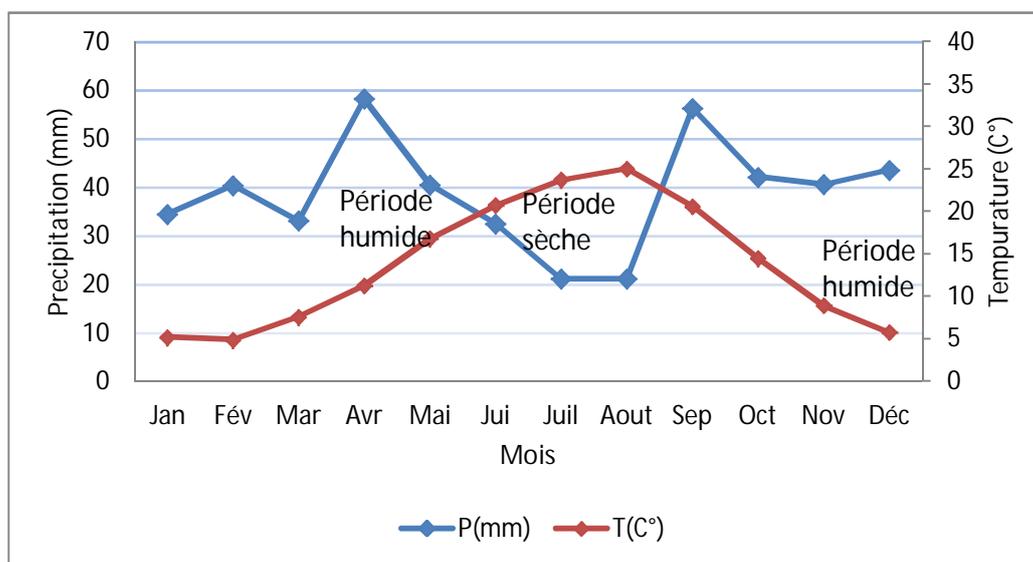


Figure 27 : Diagramme Ombrothermique de station de Bouhmama.

Pour la station d'El Hamma son diagramme ombrothermique est semblable à celle-ci de Bouhmama, qui connut deux période :

- la période humide allant du mi-août jusqu' à mi-mai est les précipitations qui caractérisent cette période sont en mois de Mai de l'ordre 68,1mm.

- la période sèche débute du mi- mai jusqu' à juillet puis mi-août.

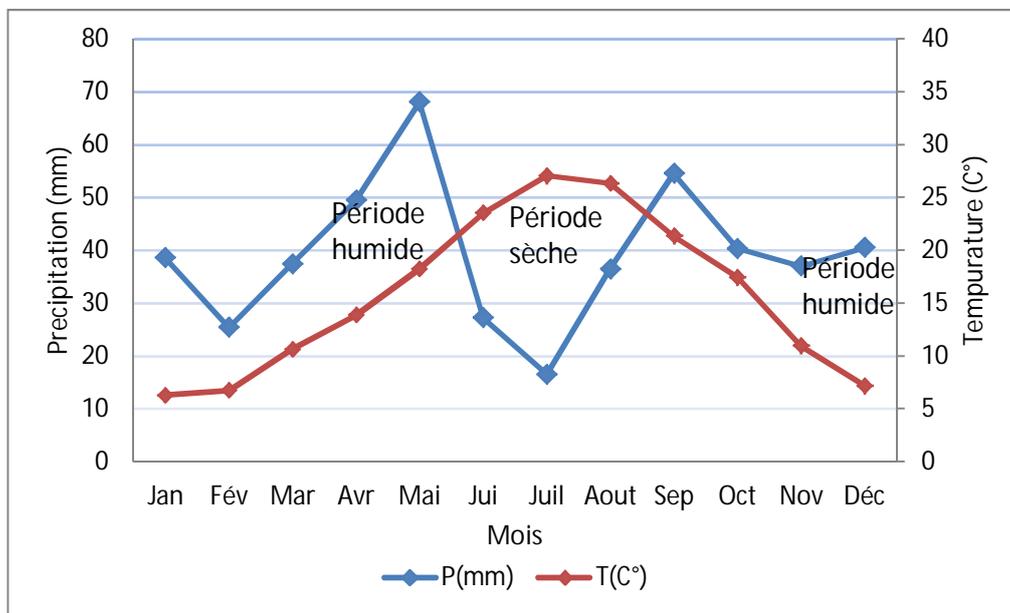


Figure 28 : Diagramme Ombrothermique de station d'El Hamma.

La lecture de la courbe ombrothermique de Babar montre que la période sèche débute du mois d'avril jusqu' à mi- août et la période humide couvre les mois de septembre jusqu'à mai.

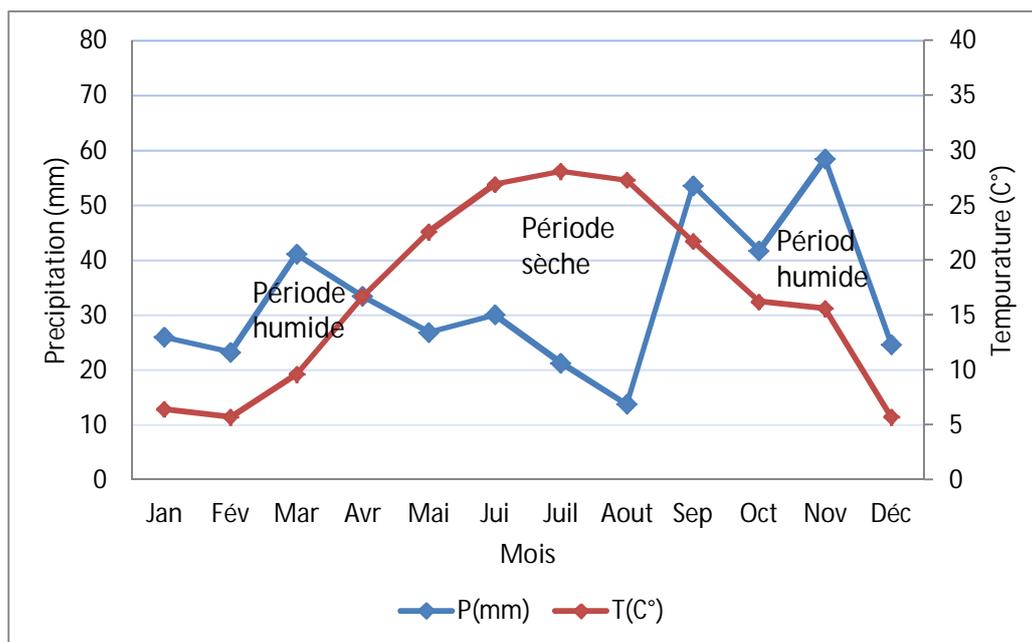


Figure 29 : Diagramme Ombrothermique de station de Babar.

La station de Guentis a une période sèche s'étale sur sept mois du avril à novembre, et la période humide couvre la saison de l'hiver et le premier mois de le printemps.

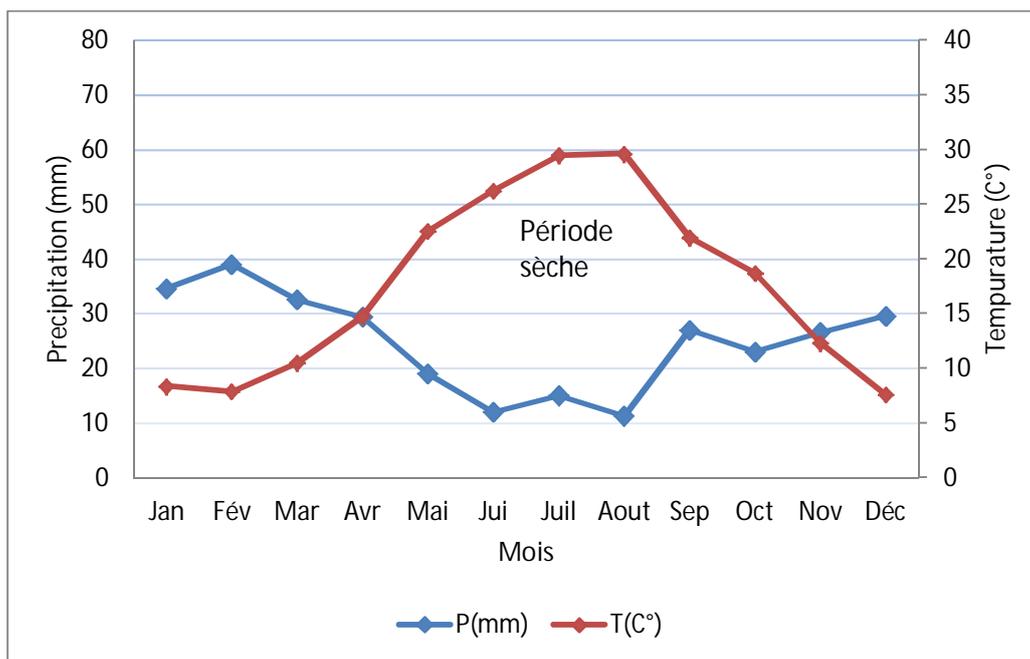


Figure 30 : Diagramme Ombrothermique de station de Guentis.

Pour la station d'El Mita la période humide s'étale sur deux mois décembre et janvier et la période sèche s'étale sur le reste de l'année.

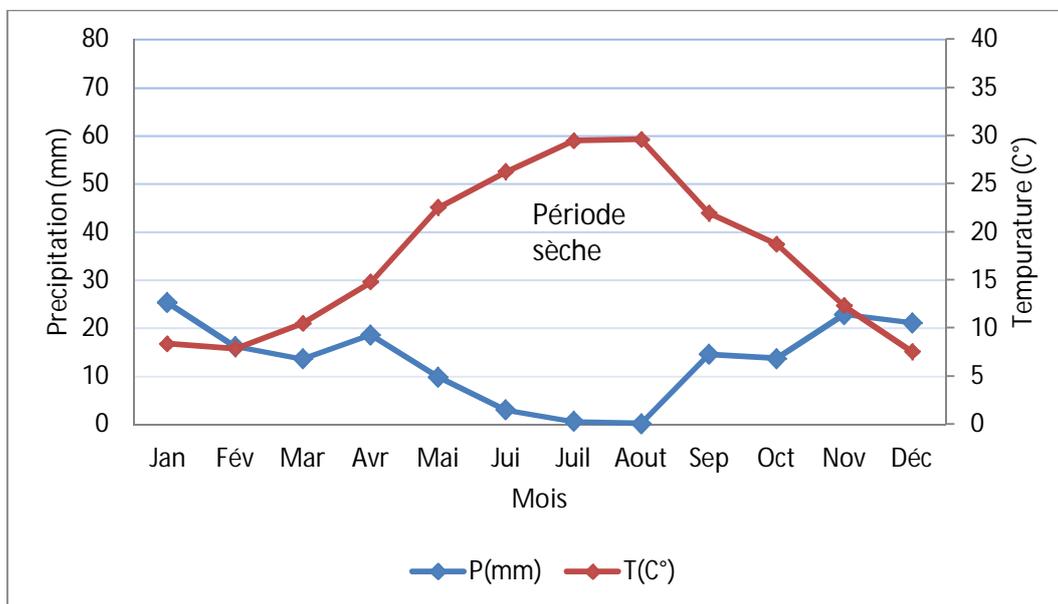


Figure 31 : Diagramme Ombrothermique de station d'El Mita.

À La station de Zribet Hammad on observe l'absence totale de la période humide où la période sèche s'étalant sur toute l'année.

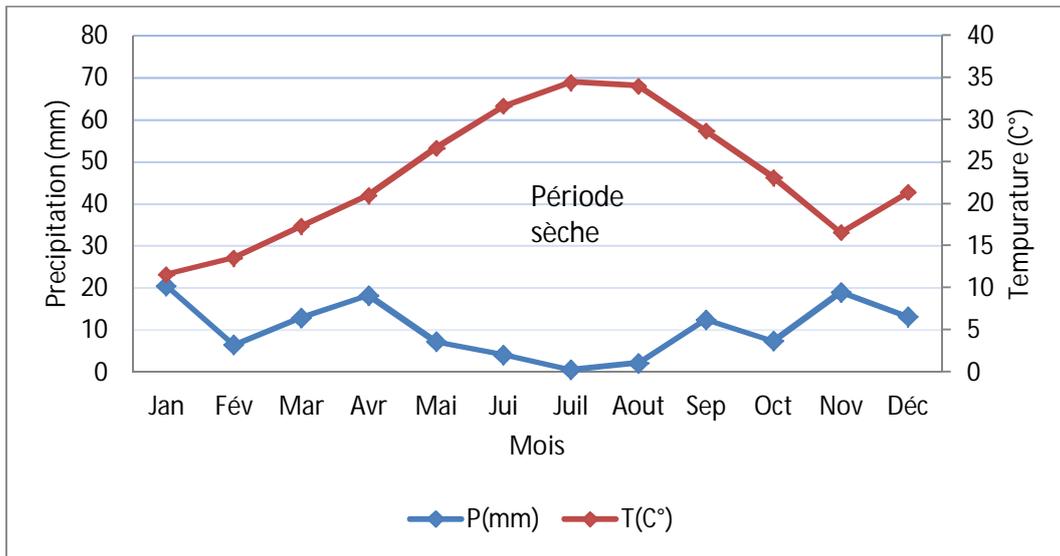


Figure 32 : Diagramme Ombrothermique de station de Zribet Hammad.

3.2. L'indice d'aridité de DEMARTONNE :

L'indice d'aridité d'Emmanuel DeMartonne (1923), se base sur le régime des précipitations et des températures pour caractériser le climat d'une région selon la formule suivante :

$$I_{DM} = \frac{P}{T + 10}$$

Où : I_{DM} : indice d'aridité annuelle.

P : les hauteurs annuelles des précipitations en mm.

T : les températures moyennes annuelles en °C.

10 : constante: utilisée pour éviter les valeurs négatives lorsque la température moyenne de l'air est inférieure à 0 °C.

Cet indice prend des valeurs plus faibles que le climat est sec et des valeurs plus élevées que le climat est plus humide. De Martonne a proposé la classification des climats en fonction des valeurs de cet indice, sont représentées sur le tableau suivant

Tableau 10 : Classification du climat selon l'indice de DeMartonne.

Valeur d'indice	Type de climat
$0 < I_{DM} < 5$	Hyper aride
$5 < I_{DM} < 10$	Aride
$10 < I_{DM} < 20$	Semi-aride
$20 < I_{DM} < 30$	Semi humide
$30 < I_{DM} < 50$	Humide

L'application de la formule de l'indice de DeMartonne sur les données climatique disponible pour les six stations, donne les résultats récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Valeurs de l'indice d'aridité annuel de DeMartonne pour les stations étudiées.

Station	P (mm)	T (°C)	I _{DM}	Types du climat
Bouhmama	475,96	13,71	20,07	Climat semi-humide
El Hamma	472,05	15,76	18,32	Climat semi-aride
Babar	393,78	16,86	14,66	Climat semi-aride
Guentis	226,77	17,12	13,24	Climat semi-aride
El Mita	159,19	20,56	7,74	Climat aride
Zribet Hammad	123,56	22,70	5,44	Climat aride

3.3. Climagramme d'EMBERGER :

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER c'est le plus connu et le plus utilise en région méditerranéenne, ce quotient a été amélioré par STEWART en 1969 dans une formule plus

adaptée en Algérie : $Q_2 = \frac{3,43 * P}{M - m}$

Q₂ : Coefficient pluviométrique d'Emberger.

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

M : Température moyenne des maxima du mois le plus chaud.

m : Température moyenne des minima du mois le plus froid.

Le climagramme d'EMBERGER permet de classer les stations méditerranéennes en cinq domaines: humide, subhumide, semi-aride, aride et désertique, avec des hivers : froid, frais, tempéré et chaud et considère qu'une région est d'autant plus sèche que le quotient est petit.

Le quotient pluviométrique de six stations a été calculé par la formule améliorée par STEWART, et les résultats obtenus sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Valeurs du Quotient pluviométrique D'EMBERGER.

Station	T (min) (°C)	T (max) (°C)	P (mm)	Q ₂	Étage bioclimatique
Bouhmama	0,40	32,87	475,96	50,70	Subhumide
El Hamma	2,59	35,61	472,05	49,03	Semi-aride
Babar	1,2	36,5	393,78	38,59	Semi-aride
Guentis	3,5	37	226,77	23,21	Aride
El Mita	5,1	39	153,19	15,49	Saharien
Zribet Hammad	6,9	40,15	123,56	12,74	Saharien

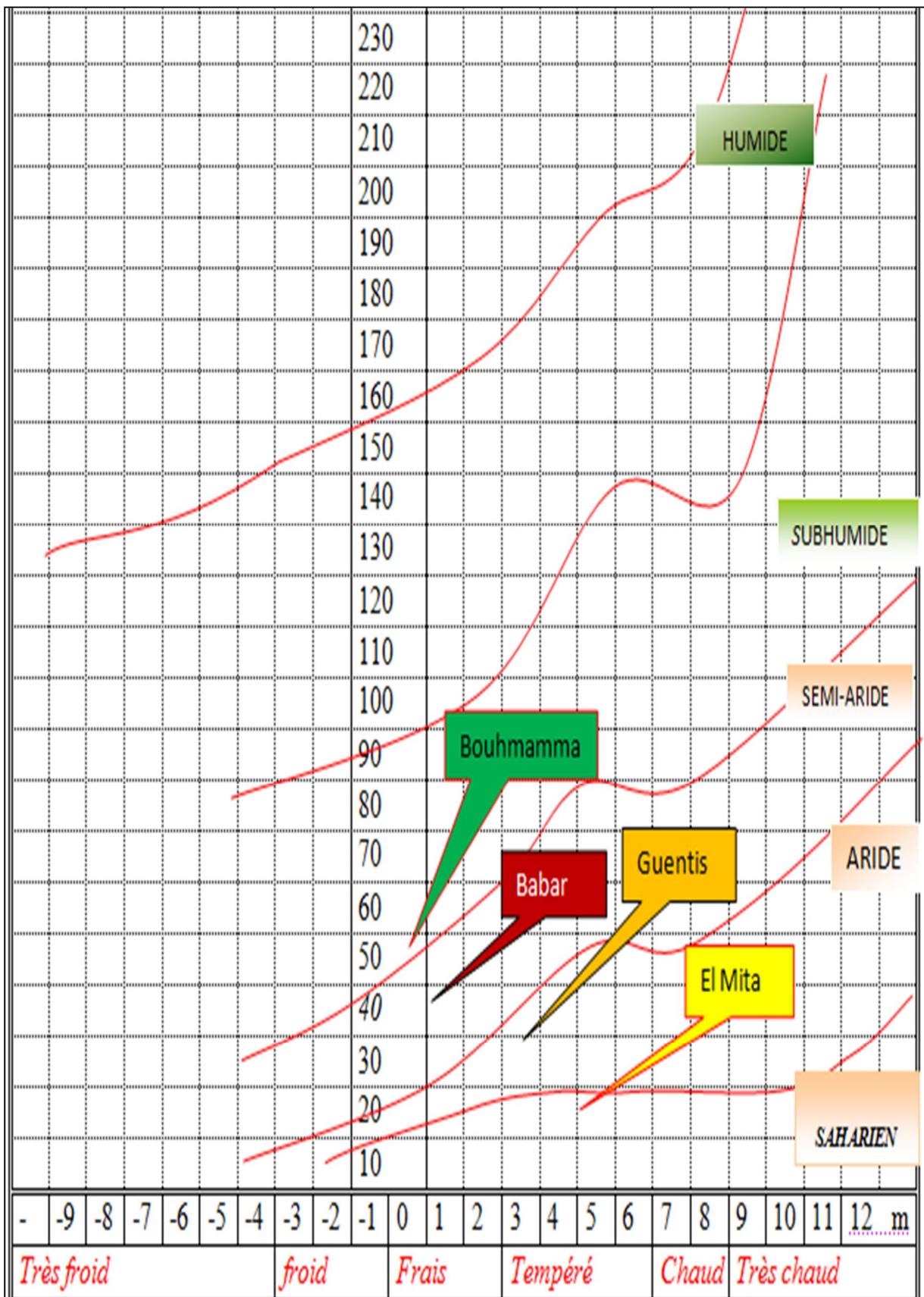


Figure 33 : Projection des stations étudiées sur le climagramme d'Emberger.

Conclusion :

L'hétérogénéité des reliefs de la zone d'étude implique une grande diversité des aspects climatique, l'étude bioclimatique que nous avons réalisée confirme que le climat de la région d'étude relève une irrégularité très importante entre ses différentes zones allant du subhumide au Nord, semi-aride et aride vers le Sud.

D'après l'analyse des paramètres climatique et la réalisation des cartes climatiques (précipitation et températures minimales et maximales) on constate que :

La répartition des précipitations est irrégulière et décroissante du Nord vers le Sud et de l'Ouest vers l'Est, forte précipitation au Nord 475mm, 393mm à Babar et une faible précipitation au Sud 159mm.

Dans le Sud les températures moyennes sont assez élevées et distingue par une période de sécheresse très longue, mais au Nord de la zone d'étude la saison des pluies dure en moyenne six mois.

CHAPITRE :03

CADRE THEORIQUE DE NOTRE RECHERCHE

1. Connaissance de base sur la désertification :

1.1. Définition de la désertification :

La désertification a connu de nombreuses définitions, plus de 130 définitions(MAIGNUET.1990). Chaque auteur a défini ce phénomène selon sa spatialité. Ces définitions ont évolué durant le siècle passé par les scientifiques et les organismes nationaux et internationaux, et prennent des sens différents.

LOUIS LAVAUDEN (1927), est le premier qui a donné à la désertification un sens scientifique pour décrire la dégradation du couvert végétal au sud tunisien « c'est que dans toute la zone dont nous venons de parler, la désertification, si j'ose dire' est purement artificielle, elle est uniquement le fait de l'homme, elle est d'ailleurs relativement récente et pourrait être combattue et enrayée. »

Le terme de la désertification a été utilisé en 1949 par le scientifique français AUBERVILLE, dans son rapport "Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale", pour décrire la dynamique de changement du couvert végétal « ce sont des vrais déserts qui naissent sous nos yeux, dans des pays où il tombe annuellement de 700 à plus de 1500 mm de pluie ».

LE HOUEROU (1968), définit la désertification comme étant un ensemble d'action qui se traduisent pour une réduction plus au moins irréversible du couvert végétal, aboutissent à l'extension des paysages désertiques nouveaux, ces paysages sont caractérisés par la présence de regs, de hamadas et de d'ensemble dunaire.

Dans les années quatre-vingt RAZANOV a donné une définition nouvelle à la désertification. Pour lui c'est le changement irréversible du sol et de la végétation, avec une diminution de la productivité biologique pouvant conduire, dans les cas extrêmes, à la transformation des terres en désert.

Le terme avancement des déserts ne peut non plus être accepté pour décrire ce phénomène de dégradation poussée des écosystèmes, car il reflète plutôt le résultat de cette dégradation qui aboutit à l'extension des conditions désertiques. En outre, ce ne sont pas les désert qui s'étendent sur les zones limitrophes, mais plutôt les zones arides et semi-arides et même subhumide qui les entourent qui s'altèrent et s'aridifient de plus en plus pour être confondues, sur le plan potentiel, avec les déserts, ce ne sont pas de vrais déserts, mais des zones désertifiées ou faux déserts (NAHAL,2004).

Les manifestations des organismes internationaux, représentant dans la conférence des nations unies sur la désertification à Nairobi (Kenya) en 1977 et la conférence internationale sur l'environnement et le développement en 1992 à Rio (Chapitre 12 de l'Agenda 21), sont approuvées sur les deux définitions suivantes successivement :

« La désertification est la diminution ou la destruction du potentiel biologique de la terre et peut conduire finalement à l'apparition de conditions désertiques, Elle est un des aspects de la dégradation généralisée des écosystèmes ».

« Le terme désertification désigne la dégradation des terres dans les zones arides, semi-aride et subhumides sèches et est due à des facteurs divers parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines ».

Les deux définitions concernant les deux sommets internationaux sont les plus connues et s'accordent sur le fait que, la définition du sommet de Rio est la plus utilisée et fait la référence entre le terme de l'avancement des déserts et le terme de la désertification et s'accorde avec tous les auteurs sur le fait que la désertification est principalement causée par l'intervention humaine.

À partir des définitions précédentes nous pouvons conclure une définition synthèse sur le risque de la désertification qui représente l'ensemble des phénomènes qui concernent la dégradation du sol et sa végétation des écosystèmes fragiles, résultant des facteurs climatiques et humains.

1.2. Les causes principales de la désertification :

1.2.1. Les activités humaines :

L'homme a créé le désert dans le cas de la Tunisie méridionale, le climat n'étant qu'une coïncidence favorable, la désertification est une conséquence directe de la forte poussée démographique, qui entraîne: un surpâturage généralisé, le défrichement des pâturages naturels pour la production des céréales, et une surexploitation des sols sablonneux, la destruction d'espèces ligneuses pour le chauffage et une extension de la culture mécanisée (LE HOUEROU, 1959 in NAHAL, 2004).

➤ La croissance démographique

Au cours des siècles passés, le taux d'augmentation de la superficie arable était lié bien que à la croissance de la population, (l'augmentation relative des terres arables était de 103 % entre 1700 et 1850, et seulement 28 % de 1950 à 1980). Toutefois, la croissance de la population poursuivie sans relâche, dans le neuf fois envolée de la population de 1700(0.7 milliards) et

1999(6 milliards) et la superficie arable est évoluée environ de cinq fois (RICHARDS, 1990) in (JAGDIS et al, 2000).

Avec la nécessité de l'humanité pour la nourriture de plus en plus, la baisse de la disponibilité des terres cultivées par habitant à conduire à une utilisation intense des ressources dans les pays en voie de développement, qui comprennent plus de 80 % des pays touchés par la désertification (DREGNE et al.1992), d'après THOMAS et MIDDLETON (1996), ces pays sont situés généralement en Afrique et l'Asie.

➤ **Le surpâturage :**

Le surpâturage correspond à un trop long séjour du cheptel se traduisant par un prélèvement annuel d'une qualité d'unité fourragère supérieure à la population des parcours (HADID.1992). Les animaux détruisent naturellement la végétation, il faut ajouter aussi que les sols piétinés et remués en raison sèche sont très sensibles à l'érosion éolienne, donc une croissance importante du cheptel est une forte cause de dégradation du sol(BONFLIS.1987).

➤ **La mauvaise gestion des terres irriguées :**

L'importance de l'irrigation dans les zones arides et semi arides tient notamment à la productivité remarquable qu'elle permet, l'irrigation dans ces zones est appelée à jouer un rôle essentiel dans la satisfaction des besoin alimentaires dans le monde et, en particulier dans les zones sèches. Cependant l'irrigation a introduit dans les écosystèmes arides et semi arides des changements de régime : sol, eau, atmosphère, qui risquent d'avoir des effets défavorables, générateurs de désertification, si la gestion de l'eau n'est pas adéquate(NAHAL.2004).

➤ **Le déboisement :**

Le déboisement est le facteur principal de désertification, en particulier dans les zones de montagne, des régions arides, semi-aride et subhumide, l'utilisation du bois de feu est l'une des causes principales de désertification. Le bois est la principale source d'énergie domestique dans les zones pauvres pour la population rurales dans les zones arides. La restauration des forêts est très lente à cause de la rareté de l'eau, qui réduit la dynamique de croissance de la végétation.

1.2.2. Les variétés climatiques :

Si l'action de l'homme est indéniable et largement démontrée, l'impact des conditions climatiques existe également et leurs rôles respectifs sont amplement discutés. Les sécheresses ont été les révélateurs de la désertification.

La pluviosité moindre et sa variabilité plus grande ont accru la vulnérabilité des ressources naturelles à la dégradation, et il est devenu moins facile aux systèmes écologiques et sociaux de résister. Cependant, on a observé que l'impact de ces sécheresses est faible ou négligeable là où l'impact humain et animal est faible ou nul. En effet, la végétation et les sols des régions arides se sont adaptés à des conditions de sécheresses récurrentes au cours des siècles et des millénaires passés acquérant une capacité à récupérer leurs caractéristiques après perturbation (c'est la résilience) (CORNET, 2002).

Pour l'ensemble des auteurs, l'accentuation des phénomènes de sécheresse n'est pas à l'origine de la désertification, mais elle constitue un facteur important d'aggravation de l'effet anthropique sur la dégradation des terres en zones sèches.

D'après NEHAL (2004), on peut déterminer les caractéristiques des climats des zones privilégiées de la dégradation des sols et végétation :

- Une période de sécheresse longue et intense dépassant généralement six mois de l'année sous climat méditerranéen.
- Une grande variabilité des pluies d'une année à l'autre pouvant atteindre 80 % dans l'étage saharien du climat méditerranéen.
- Une intensité élevée des pluies tombent, le plus souvent sous forme d'averses de courte durée et concentrées sur un nombre restreint de jours dans l'année, cette forme de précipitation montre une agressivité élevée pour les sols en pente non ou peu couverts par la végétation, ce qui diminue l'effet des pluies par rapport à la végétation et accentue leur impact sur l'érosion hydrique du sol.

1.3. Évaluation et suivi de la désertification :

L'extension croissante des phénomènes de dégradation des terres et l'inquiétude tant des pays concernés que de la communauté internationale ont créé le besoin de mettre au point des outils d'évaluation de surveillance, l'établissement des classes et de taux de dégradation des terres (WARREN et al.1988), représente un certain nombre de problème liée :

- à la nature des critères à retenir pour l'état de dégradation.
- à l'évaluation de la résilience et des capacités de récupération.
- à la prise en compte des fluctuations interannuelles et de la variabilité.
- à la disponibilité des données nécessaires.
- au lien existant entre les données et les critères utilisés et la capacité de maintien des systèmes locaux d'utilisation des terres.

1.3.1. Les indicateurs :

Les indicateurs sont traditionnellement employés dans l'évaluation, le suivi et la prévision car ils traduisent de façon synthétique une action, une situation et leur évolution(CORNET, 2002).

Ils ont selon l'OCDE (1993) deux fonction principales :

- Réduire le nombre de mesure et de paramètre qui seraient normalement nécessaires pour rendre compte d'une situation avec exactitude.
- Simplifier le processus de communication, des résultats des mesures aux utilisateurs.

Leur objet consiste à condenser un grand nombre d'information en quelques mesures compréhensibles, puis à nous aider à décider quelle action déclencher, pour ce faire les indicateurs doivent être corrélés aux buts et objectifs et exprimés en termes compatibles avec ces buts et objectifs, un bon indicateur doit être pertinent par rapport au problème, fondé sur des données et analyse fiables et répondre aux besoins de l'utilisateur, il doit être suffisamment sensible pour donner précocement des indications sur le changement(RUBIO et al.1998).

Parmi les principales indicatrices connus au niveau mondial ou régional LEN BERRY en 2009 a recensé les indicateurs suivant:

➤ *Le font pour l'environnement mondial (FEM):*

En anglais the globale environment facility (GEF), a développé un ensemble d'impact d'indicateur pour enregistrer les changements dans un certain paramètres de la dégradation des terres, en particulier au niveau mondial, ces processus ne sera pas finalisée, mais beaucoup d'information utiles est déjà disponibles.

➤ **Comité scientifique français de désertification (CSFD) :**

Le groupe d'expert informel(IGE) a la possibilités d'avoir la première liste de travail des indicateurs établis par le comité scientifique français et soumis au réseau européen de désert, cette liste a été établie en tenant compte des indicateurs existants dans la littérature ainsi que les statistiques et les bases de données sur les sites internet des organisations internationales, cette liste d'indicateurs a été comparée aux indicateurs énumérés par les pays les questionnaires reçus, à identifier les indicateurs existants dans la littérature(liste CFSD) utilisés actuellement.

➤ **LADA :**

En anglais The land degradation assesment, a été créé en 2006, pour l'évaluation de la dégradation des terres dans les zones arides à différentes échèles spatiales et temporelles, et la création d'un référence au niveau mondial pour la surveillance future et recueillir des informations à jour sur le statut des terres au niveau local, national et mondial, le projet LADA en collaboration avec les partenaires nationaux fourni une évaluation de tendance mondiale de la dégradation des terres, en utilisant une série d'indicateurs recueillis par le traitement des données satellitaires et la base de données existante, les principaux indicateurs sont :

- Tendance de la productivité primaire nette : peut être déterminé par l'analyse de l'NDVI.
- Efficacité d'utilisation des précipitations.
- L'indice d'aridité (indice bioclimatique).
- Le risque d'érosion : donne des informations sur la vulnérabilité de la terre (couverture de la végétation, type de sol, les pentes, émotivité des pluies).

➤ **Observation du sahel et du Sahara (OSS) :**

Depuis la convention es nation unis sur la lutte contre la désertification a été adopté en 1994, l'indicateur de l'OSS au niveau des pays du Sahel et les pays du l'Union du Maghreb Arabe, dans le partenariat avec les pays membres et les organisations et les partenaires du développement sous régionale a lancé des efforts pour définir et identifier des indicateurs de mise en œuvre de processus et puis les indicateurs d'impact des actions de lutte contre la désertification.

L'expérience de suivi-évaluation du PAN (plan d'action nationale) de l'OSS a demandé des informations pertinentes en Afrique qui pourraient servir à calculer les indicateurs au niveau local et sous national.

➤ **Critères d'évaluation du millénaire de sélection des indicateurs :**

Les critères d'évaluation du millénaire de sélection des indicateurs est utile, elles sont liées à la compréhension des décideurs:

- Est que l'indicateur fournir des informations sur le changement dans les processus importants?

- l'indicateur est suffisamment sensible pour détecter des changements importants, mais pas si sensibles que signaux sont masqués par la variabilité naturelle. ?
- l'indicateur peut détecter des changements à l'échelle spatiale et temporelle appropriée et ne peut pas submergé par la variabilité?
- est que l'indicateur basé sur le bien-compris et accepté de modèles conceptuels du système auquel est appliquée ?
- les données fiables sont disponibles pour évaluer les tendances et la collecte de données.
- sont des systèmes de surveillance en place pour les données sous-jacentes nécessaires pour calculer l'indicateur.
- les décideurs peuvent facilement comprendre l'indicateur.

➤ **LUCID :**

Ce projet d'utilisation des terres du changement en Afrique orientale à également fourni des orientations importants pour les indicateurs de changement associées à la dégradation des sols,

1.3.2. Les observations :

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 désertification des terres repose sur la mise en place de réseaux d'observation à long terme utilisant des méthodologie de collecte et de transfert de données compatibles, l'intérêt de ces observations 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 situation de référence, ils permettent de développer des indicateurs et de les tester, d'élaborer des outils d'aide à la décision intégrant ces indicateurs, ils constituent des sites privilégiés de recherche sur l'étude des mécanismes et des processus ainsi sur les facteurs déterminant les évolutions(CORNET, 2002).

L'observation du Sahara et du sahel a mis en place un Réseau d'Observation pour la Surveillance Écologique à Long Terme (ROSELT/OSS, 1995), ce dispositif a été conçu avec et au service des pays africains pour assurer le suivi à long terme de la désertification et développer les activités de recherche associées, il est constitué par un ensemble d'observations fonctionne en réseau à l'échèle régionale de la zone géographique de l'OSS sur le continent africain, le projet ROSELT a été bâti sur une démarche ascendante partant de la demande des États qui ont proposé des sites candidates et des équipes de recherche et de suivi, un mécanisme d'expertise et de labellisation a été mené conduisant à la sélection de 23

observations labellisés ROSELT, un ensemble restreint de 12 sites pilotes a été sélectionner pour la phase du projet.

1.4. Les programmes de lutte contre la désertification en Algérie:

Par sa position géographique et la nature climatique, la répartition déséquilibrée de sa population, la pauvreté relative en ressources hydriques, sols et couvert végétal, l'Algérie se trouve être particulièrement sensible à la désertification, et la lutte contre ce fléau naturel nécessite beaucoup d'efforts et de coordination entre les différents secteurs et institutions pour la mise en place des actions en matière de lutte contre la dégradation des terres.

En effet de 1962 à 1981 l'action majeure de lutte contre la désertification en Algérie a été le barrage vert, dans son concept de barrière d'arbres contre l'avancée du désert par un reboisement systématique d'Est en Ouest basé principalement sur la monoculture du pin d'Alep dans une zone écologiquement fragile (entre les isohyètes 300mm et 200mm), les résultats furent en deca de ce qui était attendu du fait du manque d'études préalables aux opérations de reboisement et la non prise en compte des réalités socio-économiques de la région et en particulier de l'homme en tant que facteur important dans la dégradation des sols et des parcours.

L'élaboration du plan d'Action national PAN et sa validation le 14 décembre 2003 représentent pour l'Algérie la mesure institutionnelle principale réalisée depuis la publication du rapport national d'avril 2002, qui cite les programmes, les actions, plans et les projets menés par l'Algérie pour lutter contre la désertification et ébauche les modalités de mise en œuvre d'institutionnalisation et de financement du PAN.

Les actions des PAN s'intègrent dans la politique générale de l'aménagement du territoire et se doivent être en conformité avec d'une part la loi sur l'aménagement du territoire et d'autre part la SNAT (schéma national d'aménagement du territoire (elles intéressent les trois écosystèmes sensibles, la steppe, les ensembles montagneux et le Sahara avec une vigilance particulière quant à la préservation de la diversité biologique.

2. Système d'information géographique:

2.1. Définition des Système d'information géographique :

Un SIG est un système informatique permettant à partir de divers sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations

localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace (société française de photogrammétrie et télédétection, 1989).

Les SIG sont définie récemment par WALSER et al (2011), cette définition qui ajoute un sens supplémentaire à les définitions anciennes (Les systèmes d'information géographique (SIG) sont des outils d'observation des territoires et d'analyse spatiale puissante, combinant les informations géographiques et statistiques, ils permettent un suivi cartographié et quantifié des dynamique territoriales).

2.2. Capacités analytiques des SIG :

➤ Techniques de superposition des couches :

La capacité de superposer plusieurs couches de données dans un mode vertical est la technique la plus nécessaire et commun du traitement des données géographiques. En fait, l'utilisation d'une structure de données topologique peut être retracée à la nécessité de couches superposées de données vectorielles. Avec l'avènement des notions de mathématique superposition topologie de polygone est devenu l'outil de géo-traitement plus populaire, et la base de ne importe quel logiciel de SIG fonctionnel.

➤ Opération sur les attributs descriptifs :

Les opérations les plus simples sont celles qui portent sur les attributs des entités spatiales sans impliquer la composante spatiale. Il s'agit d'opérateurs mathématiques ou ensemblistes qui transforment les valeurs existantes en de nouvelles valeurs comme: la classification, agrégation = changement d'échelle, etc.

➤ Opération de transformation :

Un SIG comprend des outils de transformation des informations qui produisent des informations nouvelles à partir des données géographiques existantes, pour le besoin de l'analyse. Il est parfois nécessaire de transformer un mode des données vecteur en mode raster comme le cas de calculatrice raster par ARC GIS, ou la transformation des courbe de niveau n modèle numérique de terrain (MNT).

2.3. Limites du SIG en aide à la décision spatiale :

Malgré les avantages analytique des SIG, dans la superposition et la transformation, les SIG ont plusieurs lacunes qui minimisent la fiabilité des résultats obtenus par l'application des fonctionnalités analytiques des SIG. Ces lacunes qui influent sur le domaine de l'aide à la décision sont justifiées par (LAARBI, 2000 ; MALCZEWSKI, 2004 et CHAKAR, 2006).

- Manque de fonctionnalités analytiques :
 - Les logiciels SIG souffrent de manque de traitement des données par la notion du temps, n'est pas possible de faire une interpolation entre deux cartes à des dates différentes.
 - et souffrent de manque de la multidimensionnalité (pas de véritables 3D-image aérienne souvent drapée sur un MNT).
 - et le peu de performance dans le traitement des aspects multi-échelle (difficulté à travailler sur des petites échelles-étude de cas locales, à moyenne ou à grande échelle).
- Les limites des techniques de superposition des couches : ces limites représentent dans:
 - Les résultats de l'opération de superposition devient rapidement inextricables et donc difficiles à comprendre quand le nombre de facteurs impliqués dépasse quatre ou cinq.
 - La plupart des procédures Overlay dans les SIG ne tiennent pas compte du fait que les variables peuvent être d'inégale importance, c'est -à dire que l'on pourrait leur attribuer des poids différents afin de pondérer les informations entre elles.
 - Un problème se pose lorsqu' on saisit des variables pour des analyses en overlay, comment furent définies les valeurs de seuil qui ont été alors utilisées.
 - Utilisation des valeurs des seuils pour cartographier des variables continues, comme par exemple la densité de la population, va inévitablement mener à une perte substantielle de la qualité de l'information.
- Des critères d'admissibilité et non des critères d'évaluation: l'analyse spatiale des SIG utilise plusieurs critères, qui sont des critères d'admissibilités non des critères d'évaluations en matière d'aide à la décision pour les raisons suivants:
 - Les critères qui sont pris en compte pour l'analyse ne sont pas considérées comme conflictuels.
 - Les critères sont généralement considérés d'égale importance
 - La solution obtenue doit répondre à tous les critères.
- Une situation riche de données et pauvre en théorie.
- Discrétisation de l'espace.
- Difficultés d'intégration de l'analyse spatiale aux SIG.

3. Analyse multicritère pour l'aide à la décision :

3.1. Aide à la décision :

ROY (1985) définit l'aide à la décision comme :« l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part ».

Donc pour le processus d'aide à la décision, l'information spatiale est très importante, car si t'elle qui permet aux décideurs et aux acteurs de construire leurs préférences et de faire leurs choix.

Le chercheur doit fournir une information de qualité pour aider les décideurs dans leurs choix.

Le modèle de cette approche étant qu'il y a plusieurs solutions (actions) et qu'aucune solution ne surclasse toutes les autres de tous les points de vue (critères)

L'aide multicritère à la décision vise à «fournir à un décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution d'un problème de décision où plusieurs points de vue, souvent contradictoires, doivent être pris en compte» (VINCKE, 1989).

L'aide à la décision est donc un processus qui utilise un ensemble d'informations disponibles, afin de formuler un problème et aboutir à une décision sur un objet précis, dans le cadre de la décision multicritère, l'objet de la décision est formé par un ensemble d'actions ou alternatives.

ROY (1985), distingue quatre problématiques de décision, résumées dans le tableau (13) de base et pour lui, tout problème de décision multicritère devrait se ramener nécessairement à l'une d'entre elles.

Tableau 13 : Les différentes problématiques de décision selon ROY (1985).

Problématique	Objectif	Procédure d'investigation	Prescription
$P.\alpha$	Sélectionner un sous ensemble aussi restreint que possible de A contenant les meilleures actions.	Sélection	Sous ensemble $A^0 \subset A$
$P.\beta$	Affecter chaque action de A à une et une seule des catégories définies selon de normes préétablies.	Segmentation	Partition de A
$P.\gamma$		Classement	Ordre partiel sur A
$P.\delta$		Cognitive	Aucune prescription

Selon BEN MENA (2004), la méthodologie poursuivi dans l'analyse multicritère peuvent être opérer en grandes quatre étapes :

- Dresser la liste des actions potentielles.
- Dresser la liste des critères à prendre en considération.
- Établir le tableau des performances.
- Agréger les performances.

3.2. Action ou alternative :

Bernard Roy (1985), définit ainsi la notion d'action : « Une action est la représentation d'une éventuelle contribution à la décision globale susceptible, eu égard à l'état d'avancement du processus de décision, d'être envisagée de façon autonome et de servir de point d'application à l'aide à la décision».

En analyse multicritère, et notamment au sein de l'école francophone, le terme "action " est utilisé dans le sens de proposition et non dans son sens traditionnel de réalisation (LAARBI.2000), les auteurs anglophones utilisent assez souvent le terme "alternative " pur désigne des solutions possibles, des variantes, ou des actions potentielles.

Bernard Roy définit également la notion d'action potentielle: « Une action potentielle est une action réelle ou fictive provisoirement jugée réaliste par un acteur au moins présumé telle par l'homme d'étude en vue de l'aide à la décision ».

3.3. Action spatiale :

Si l'action est définie par sa localisation géographique sa forme et/ou ses relations spatiales, on parlera d'action spatiale.

Une action spatiale est définie à travers au moins deux élément(MALCZEWSKI.1999):

- L'action elle-même (quoi faire).
- La localisation géographique (où faire).

La cardinalité de l'ensemble des actions spatiales est une caractéristique importante permettant de distinguer s'il est représenté sous une vue discrète ou continue :

- **Cardinalité discrète :**

Dans des problèmes à référence spatiale, on peut se trouver en présence d'un ensemble discret d'actions connues a priori et très souvent sujettes à débat, ce sont des problèmes de nature discrète: choix de 05 sites pour la gestion des déchets.

- **Cardinalité continue :**

Le nombre d'actions est très grand voire infini, ces actions ne sont généralement pas explicitées d'avance et sont plutôt exprimées à partir de contraintes : par exemple la localisation dans la région de Khenchela des zones les plus vulnérables à la désertification.

Cette dichotomie correspond bien à la représentation actuelle des problèmes décisionnels à référence spatiale : la représentation vectorielle qui est appropriée à un ensemble discret d'actions potentielles et la représentation matricielle (raster) qui est plus appropriée à un ensemble d'actions très grand.

3.4. Représentation des actions spatiales :

Les actions spatiales représentent des visions particulières de l'espace géographique, elles peuvent donc être représentées par des entités spatiales, la manière dont ces actions sont représentées est dépendante du modèle de données utilisé dans les SIG (MALCZEWSKI,1999), les données géographiques sont généralement organisées en structures en tessellation (régulière : raster ou irrégulière) ou en structures vectorielles (points, lignes, polygones), dans le premier cas chaque pixel représente une action potentielle, il est

également possible d'utiliser une combinaison de plusieurs pixels pour représenter une action, dans une représentation vectorielle, les actions spatiales sont modélisées par des entités ponctuelles, linéaires ou polygonales.

- Actions ponctuelles : Ce type d'action est souvent utilisé dans les problèmes de localisation.
- Actions linéaires : les entités linéaires sont utilisées pour l'implémentation et la gestion des infrastructures linéaires.
- Actions polygonales ou surfaciques : Les polygones, qui décrivent les propriétés des entités spatiales en termes de leur forme voisinage et hiérarchie sont souvent utilisés pour modéliser les actions potentielles dans les problèmes de planification urbaine et régionales, et en plusieurs problèmes liés à l'utilisation du sol.

3.5. Critère:

Un critère est un facteur de jugement sur la base duquel on mesure et on évalue une action ; il diffère de la notion de variable dans la mesure où un critère est relié aux préférences du décideur alors qu'une variable ne l'est pas nécessairement.

VINCKE (1992), définit le concept de critère ainsi : « Un critère est une fonction g , définie sur A , qui prend ses valeurs dans un ensemble totalement ordonné, et qui représente les préférences du décideur selon un point de vue».

La famille des critères doit assurer un certain nombre de conditions:

- Exhaustive.
- Opérationnelle.
- Décomposable.
- Non-redondante ou indépendante.
- Cohérente.
- Minimale.

3.6. Performance des actions :

Lorsque l'analyse des actions a conduit à la construction d'un seul critère, on peut réaliser une optimisation sur ce critère, ce qui peut être simple lorsque le nombre d'action est faible, si non il faut avoir recours à des outils plus ou moins compliqués (AMIR et al.2009).

Dans le cas fréquent où l'analyse des conséquences des actions potentielles a conduit à construire plusieurs critères, c'est l'analyse multicritère qui permet de donner des réponses au problème posé, pour chaque action considérée et pour chaque critère un seuil de préférence

(p), d'indifférence (q) et un seuil de veto (v) sont estimés, chaque critère se voit attribuer un poids (k) traduisant sa contribution dans la décision finale.

Le résultat de l'analyse des conséquences est présenté dans un tableau de performance, également appelé matrice d'évaluation ou matrice de jugements ou encore matrice de décision

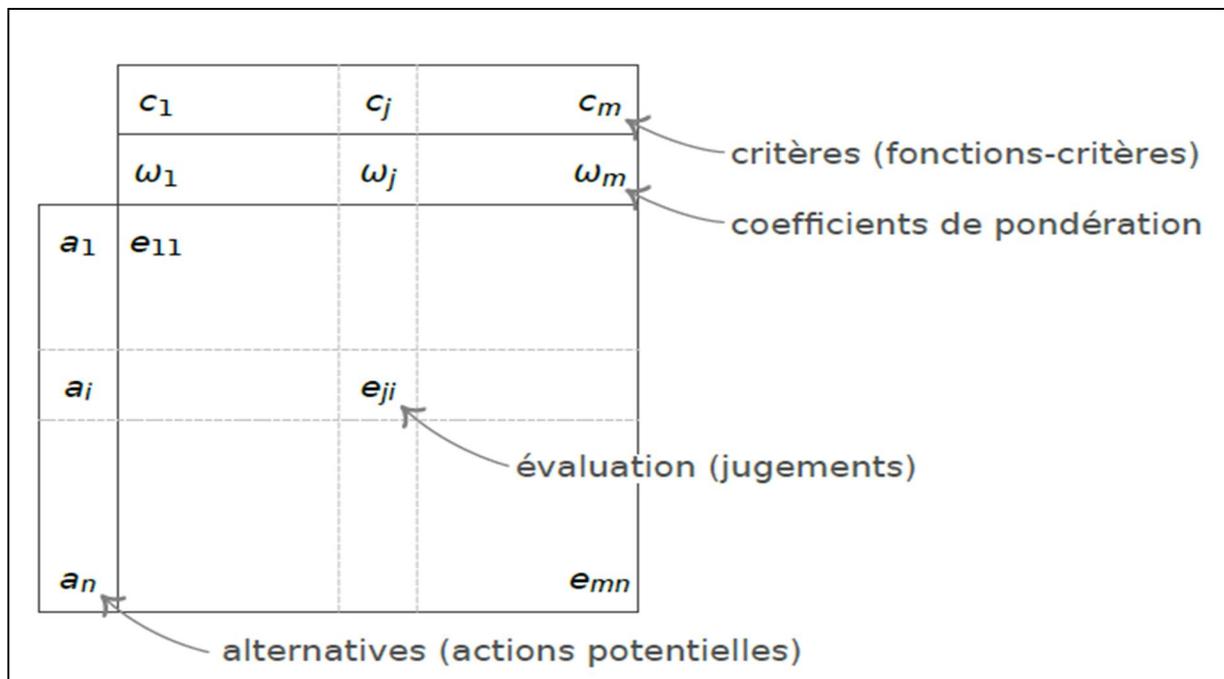


Figure 34 : Représentation schématique du tableau de performance.

3.7. Les différentes méthodes en analyse multicritère (Agrégation des performances):

Nous présentons dans ce qui suit trois méthodes d'agrégation multicritère en fonction de la problématique considérée, selon BEN MENA (2004) :

3.7.1. Agrégation complète :

la première attitude serait d'inclure toute les performance dans ce qu'on appellerait en mathématique une fonction d'utilité ou d'agrégation (ROY, 1985), en leur attribuant d'éventuels poids, cela suppose que tous les jugement sont commensurables alors qu'une des justifications de l'approche multicritère est la non commensurabilité de ces jugements, comme on l'a dit ci-avant, on cède sur une exigence : la commensurabilité, il est à noter que cette technique suppose en outre que les jugements soient transitifs, d'où l'appellation "agrégation complète transitive". En outre on notera que Roy (1985) et MAYSTER et al (1994) l'appellent encore "approche du critère unique de synthèse évacuant toute incomparabilité " et que VINCKE (1989) nomme cette approche " théorie de l'utilité multicritères ", ce critère unique risque évidemment de passer toutes les nuances à la moulinette, toutefois, les méthodes

d'agrégation complète peuvent s'avérer intéressantes ou tout simplement les seules utilisables (SCHARLING, 1985).

Principales méthodes d'agrégation complète :

- Méthode somme pondérée;
- Moyenne pondérée;
- Combinaison linéaire pondérée (WLC : Weighted Linear Combination).
- La méthode AHP (Analytical Hierarchy Process) de Saaty.
- Moyenne par pondération contrôlée (OWA : Ordred Weighted Averaging).

3.7.2. Agrégation partielle :

Une seconde attitude est de respecter l'incomparabilité et l'intransitivité au prix de la clarté des résultats, en effet, cette technique ne permet pas d'obtenir un résultat indiscutable comme on s'y attend en général, pour tout ce qui est à base de mathématique (SCHARLING,1985), ici on cède donc sur la clarté, comme on se contente dans ce cas d'appréhender partiellement les conséquences des divers jugements, cette attitude est dite d'agrégation partielle, d'autre (ROY.1985, MAYSTRE et al.1994) l'appellent encore " approche du surclassement de synthèse acceptant l'incomparabilité " ou " méthode de surclassement " (VINCKE.1989).

Dans cette approche, la technique consiste à comparer les actions deux à deux et à vérifier si, selon certaines conditions préétablies l'une des deux actions surclasse l'autre ou pas et ce, de façon claire et nette à partir de toutes ces comparaisons, on tente ensuite de réaliser une synthèse des méthodes d'agrégation partielle vont donc se différencier par leur façon de réaliser ces deux étapes.

3.7.3. Agrégation locale :

Les deux types de méthodes d'agrégation qui précèdent supposent que A (action) soit de dimensions raisonnables, or A peut être très grand , voire infini lorsque les actions varient en fonction continu, la technique est alors de partir d'une solution de départ (aussi bonne que possible) et de voir "auteur" de cette solution s'il n'y en a pas de meilleure, on pratique donc une exploration locale et répétitives de A, d'où son nom de technique d'agrégation locale itérative" (SCHARLIG.1985). Ces méthodes sont en outre souvent interactives entre la personne qui fait d'étude et le demandeur, c'est pourquoi on les nomme aussi "approche du jugement local interactif avec itérations essais-erreur (ROY.1985 et MAYSTRE et al.1994).

4. La démarche multicritère AHP de Saaty :

Le choix de la méthode d'aide à la décision est, lui-même, un problème multicritère, il n'y aura jamais de méthode idéale, ce choix dépend de la nature de problème, du contexte culturel et de la personnalité des décideurs ou du chercheurs et de l'environnement scientifique dans lequel il mène sa démarche (LAARBI, 1995, 2000 ; CHAKAR, 2006).

L'analyse hiérarchique des processus (SAATY,1980,1992) est une procédure pondérée basée sur différent niveau d'agrégation de la hiérarchie en suivant la structure du processus de prise de décision de la composante des actions alternatives à leur classement finale.

La méthode AHP est plus utilisé pour la résolution des problèmes multicritère, a été appliqué à des problèmes de décision dans les des domaines tels que l'économie, planification de l'environnement, la sélection des projets et l'allocation budgétaire et de prévision, la méthode AHP peut être considéré comme une méthode d'agrégation complète.

Cette méthode présente l'avantage de décomposer le problème de discussion en ses parties constituantes par des hiérarchies de base de critères et alternatives (MACHARIS et al.2004).

Pour une utilisation correcte SAATY(1986) a composé quatre étapes :

- Définir la problématique et l'objectif cible à atteindre.
- Décomposer le problème complexe en une structure hiérarchique (définir les critères de décision à partir de l'objectif cible, ainsi que les sous-critères dont les différentes combinaisons conduiraient aux alternatives.
- Mesurer les poids relatifs des critères en effectuant les combinaisons binaires et en déterminant les priorités par le calcul de l'importance relative de chacun des éléments de la hiérarchie.
- Synthétiser les priorités par le calcul des poids globaux exprimé par le vecteur propre issu de la matrice de comparaison, analyser la cohérence des jugements, évaluer les résultats.

5. L'intégration SIG-AMC, une nécessité :

L'intégration des SIG et de l'AMC est la meilleure solution pour combler les lacunes respectives de ces deux concepts, elle constitue une voie privilégiée et incontournable pour faire évoluer les SIG vers des véritables systèmes d'aide à la décision (LAARBI, 2000, JOERIN, 1997 ; PAEGELOW, 2004 ; CHAKAR.2006 ; MOLINES, 2007) et l'AMC vers une démarche d'aide à la décision spatialisée.

Tableau 14 : Analyse comparée des SIG et de l'AMC, Source (MOLINES, 2007).

SIG	AMC
<p>Avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> • gestion et traitement des données (accès à l'information, cohérente, maintenance) • fonctions d'analyse spatiale (localisation, distribution, répartition, modélisation....) • vision globale du problème (améliorer le processus de description du contexte) 	<p>Avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> • hiérarchisation des solutions • hétérogénéité acceptée • notion de préférence • analyse de robustesse et de sensibilité • automatisation des agrégations • amélioration des processus décisionnel
<p>Mais</p> <ul style="list-style-type: none"> • environnement statique • ne hiérarchise pas les solutions étudiées 	<p>Mais</p> <ul style="list-style-type: none"> • pas de spatialisation des données • évaluation d'un nombre restreint d'action • méthodes complexes

6. Intégration des SIG et de l'analyse multicritère :

Les SIG sont des outils de gestion, de traitement, d'analyse des données, mais ses fonctions analytiques sont limitées pour éviter les limites des SIG en aide à la décision spatiale, exige une nécessité d'intégration les capacités analytique des SIG dans une méthode mathématique multicritère pour compléter les lacune des SIG, l'intégration des SIG et de L'analyse multicritère constitue une privilégiée et incontrôlable pour faire évoluer les SIG vers de véritable système d'aide à la décision, l'intégration SIG et analyse multicritère met à la portée de non-spécialistes les concepts d'aide à la décision à référence spatiale, plusieurs chercheurs supportent l'idée d'intégration les SIG avec les méthodes d'analyse multicritère, car cette intégration nous donne des résultats plus fiables que l'utilisation des outils SIG.

6.1. Schéma conceptuel d'intégration :

Selon Chakhar (2006), l'idée conceptuel généré d'intégration se base sur la préparation des plates-formes adéquate des méthodes multicritère couplées avec les SIG pour compléter les manques dans les capacités analytiques des SIG, sur le plan opérationnel dans cette intégration SIG-AMC, nous avons profité l'avantage de ces capacité analytiques des SIG pour définir l'ensemble des alternatives possibles et l'ensemble des critère, et l'outil de Overlay utilisé afin de réduire un ensemble très grands des actions changé dans un petit nombre d'alternatives évaluer en utilisant une méthode multicritère et profiter les capacités de dessin et de représentation des SIG pour présenter les résultats obtenus.

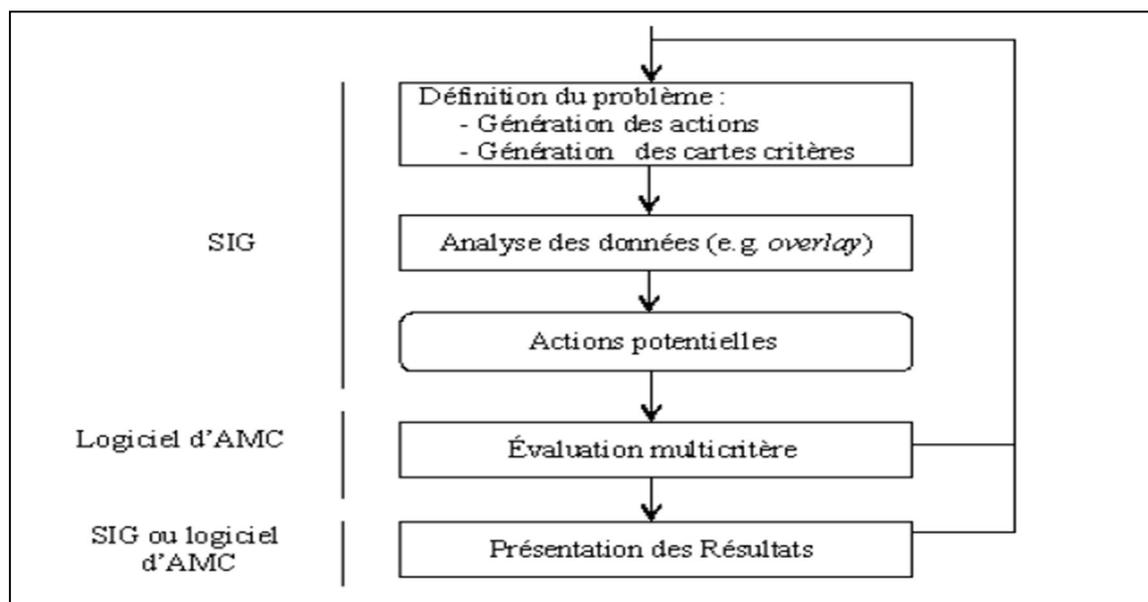


Figure 35 : Schéma conceptuel d'intégration des SIG et AMC (Source Chakhar 2006).

6.2. Mode d'intégration des SIG :

Nous nous inspirons les auteurs qui utilisent les différents modes d'intégration SIG-AMC, (GOODCHILD 1991 ; GOOD-CHILD et al 1992 ; NYERGES 1992, LAARBI et al 1993, JANKOWSKI 1995, KARIMI et al 1996 ; MALCZEWSKI 1999, JUN 2000 ; CHAKAR 2001, COMES et al 2002, CHAKAR et al 2003,2004, MALCZEWSKI 2006, YOUNSI et al 2009, MITCHÉBON, 2011).

Physiquement il y a trois types d'intégration des SIG-AMC (CHAKAR.2006), ils distinguent par la relation entre les logiciels SIS et AMC et les canaux de communication entre eux.

6.2.1. Mode d'intégration SIG et AMC indirecte :

Chaque logiciel SIG et AMC a sa propre fonctionnalité, et a sa propre base de donnée et son propre interface, ce qui fait l'interactivité entre eux une opération non-conviviale, l'intégration entre eux, elle est effectuée par un système intermédiaire, le système intermédiaire permet de reformuler et structurer les données obtenues à partir des outils d'Overlay des SIG, en une forme qui convient à le logiciel AMC, les logiciels de l'AMC compléter les opérations de l'analyse, également le système intermédiaire utilise les capacités de représentation des SIG pour visualiser les résultats de l'analyse effectuée par les logiciels AMC.

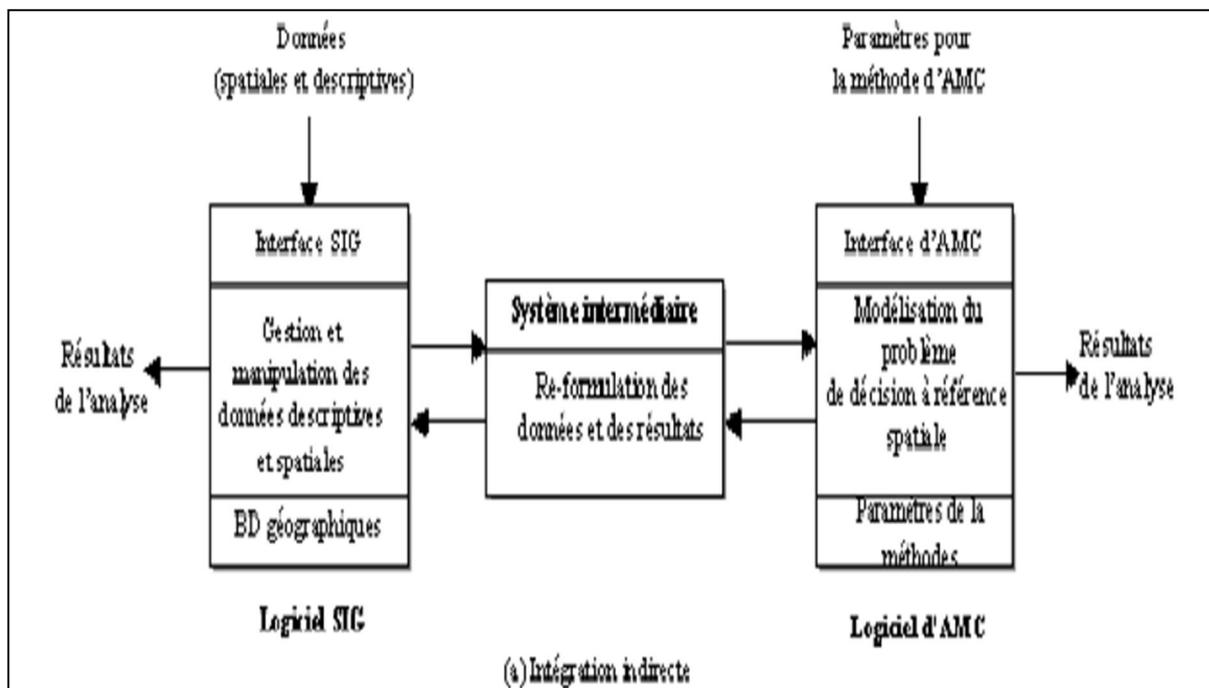


Figure 36 : Mode indirecte d'intégration SIG et AMC (Source : CHAKAR, 2006).

6.2.2. Mode d'intégration SIG et AMC encastré :

l'intégration SIG et AMC encastrée est adopté par BENNETT et al 1999 et RIEDL et al 2000, dans ce mode d'intégration le logiciel AMC est directement ajouté au logiciel SIG, les deux logiciels restent indépendants car chaque logiciel a sa propre base de donnée, mais une interface du SIG unique pour les deux logiciel, qui augmente l'interactivité entre eux, cette intégration n'a pas besoin d'un système intermédiaire car le Logiciel AMC est reformulé les données et l'analyse des résultats entre les deux logiciels est effectuée directement.

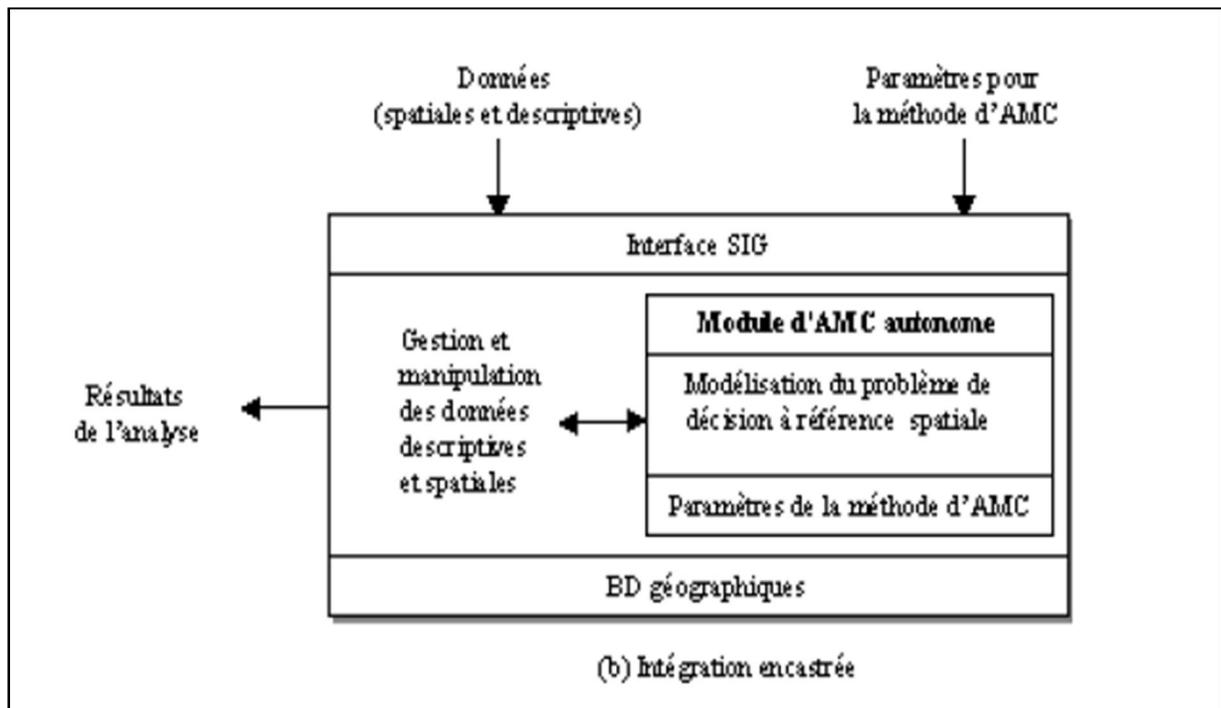


Figure 37 : Mode encastré d'intégration SIG et AMC (Source : CHAKAR, 2006).

6.2.3. Mode d'intégration SIG et AMC complet :

Le troisième mode d'intégration SIG-AMC représentant dans l'intégration complète pour les deux logiciel SIG et analyse multicritère dans un seule logiciel porte les fonctionnalités analytiques des SIG et les fonctionnalités d'analyse multicritère, ce logiciel n'a pas besoin d'un système intermédiaire car il a une interface unique et une base de donnée commune, l'analyse multicritère est activée directement à partie dd l'interface SIG comme une fonction de base donnée SIG, la base de donnée est étendue de manière à supporter à la fois les données géographiques et descriptives, d'une part et les paramètres nécessaires pour l'application des technique d'analyse multicritère, ces caractéristiques qui donnent une interactivité totale entre les deux fonctions.

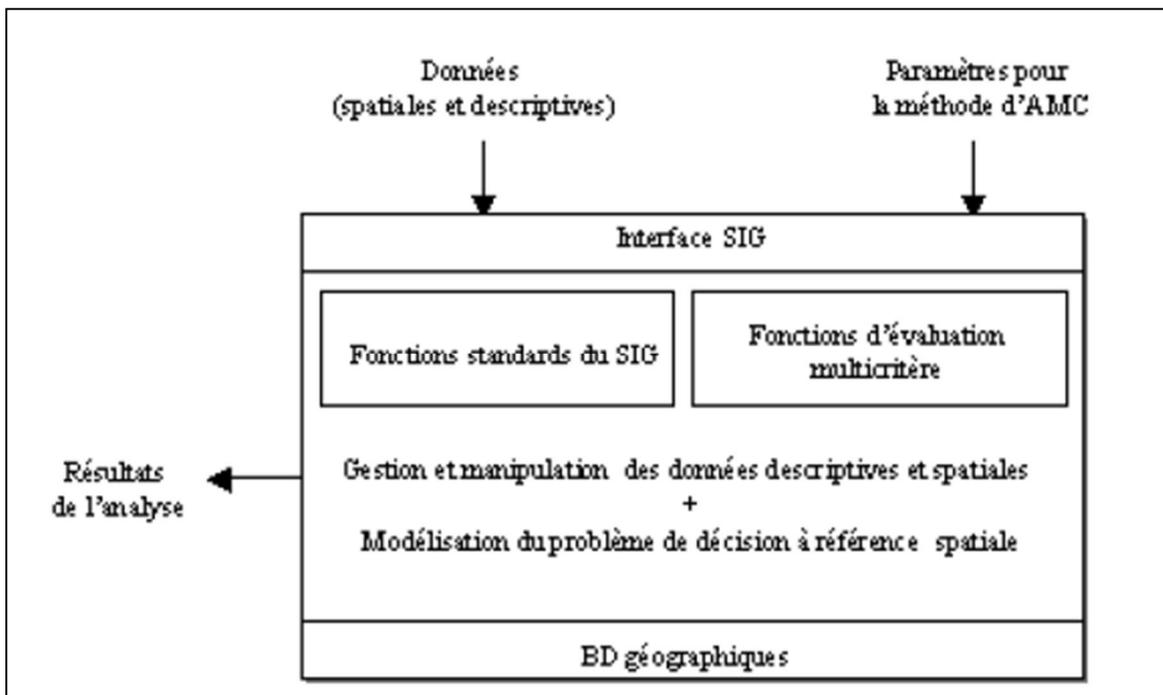


Figure 38 : Mode encastré d'intégration SIG et AMC (Source Chakhar 2006).

Parmi les trois modes cités précédemment d'intégration des systèmes d'information géographique et les méthodes d'analyse multicritère, le troisième mode par l'intégration complète est le plus efficace pour une meilleur intégration, car le décideur manipuler sur une seule interface comprend deux fonction variées, par conséquent il est le mode qui a été suivi par la plupart des chercheur dans tous les domaines qui ont besoin d'une nécessité de cette intégration.

6.3. Les limites des travaux d'intégration SIG -AMC :

Malgré les travaux dense depuis les années quatre-vingt jusqu'aux aujourd'hui pour perfectionner la qualité d'intégration SIG-AMC du mode indirecte au mode complet, l'utilisation d'outils d'analyse multicritère (AMC) dans les Systèmes d'Information Géographique (SIG) est assez peu répandue et limitée,

6.4. Les domaines d'application :

Selon MALCZEWSKI(2006), l'une des caractéristiques plus remarquables de l'approche SIG-AMC est la grande gamme des problèmes décisionnels, et intervenir dans les domaines d'application majeurs, les travaux trouvés et recensé par MALCZEWSKI, 2006 sont :

- ***Gestion des risques naturels:***

Par exemple : RASHED et al.2003, et AYALEW et al.2004.

- ***Gestion territoriale et environnement :***

Par exemple PEREIRA et al1993, VILLA et al 1996, BOJORQUER et al 2001, QURESHI et al 2001, NOSS et al 2002, SEPPELT et al2002, et CHURCH et al 2003.

- ***Le transport :***

Par exemple CHURCH et al.1992, JANKOWSKI et al.1994 ; BOWERMAN et al.1995 ; WEIGEL et al.1999 et JHA et al.2001.

- ***La planification urbaine et régionale :***

Par exemple WU.1999, FENG et al.1999, GOMES et al.2002, et WARD et al.2003.

- ***La gestion des déchets :***

Par exemple : CARVER.1991, KAO.1996, KAO et al.1996, MAC.1996, CHAMPRAATHEEP et al1997, et LEAO et al.2004.

- ***L'hydrologie et les ressources d'eau :***

Par exemple : LANGEVIN et al.1991 ; REISTIMA et al.1997 ; TKACH et al.1997, GIUPPONI et al.1999, LEE et al.2000 ; MAKROPOULOS et al.2003 ; MARTIN et al.2003.

- ***L'agriculture :***

Par exemple : MATTHEWS et al.1999, KACHELE et al.2002, CEBALLOS et al.2003, et MORARI et al.2004.

- ***La foresterie :***

Par exemple : VERTINSKY et al.1994 ; KANGAS et al.2000 ; RIEDLT et al.2000, SCHLAEPFER et al.2000, et KYEM.2004.

- ***La gestion des loisirs et tourisme :***

Par exemple : FEICK et al.1999.et 2004.

- **Logement et immobilier :**

Par exemple : CAN.1992 et JOHNSON.2001.

- *La géologie et la géomorphologie :*

Par exemple : ARAU'JI et al.2002 ; et BURTON et al.2003.

- *La gestion des installations industrielles :*

Par exemple : JUIN.2000 et VLACHOPOULOU et al.2001.

- *La cartographie :*

Par exemple : HUFFMAN et al.2002, et ARMSTRONG et al.2003.

L'enquête réalisée par MALCZEWSKI (2006), a montré que les approches SIG-AMC étaient le plus souvent afin de traiter les problèmes décisionnels selon les axes suivants :

- Analyse de l'aptitude des terres (30 %).
- évaluation des scénarios (ressources hydrique, 15,4 %).
- problème de recherche ou de sélection des sites (14,5 %).
- Problème d'allocation des ressources (11 %).

Conclusion :

En conclusion à travers cette synthèse bibliographique, on se rend compte que le risque de la désertification dans les régions arides et semi arides a été largement étudié et prend en considération par les organismes internationaux et régionaux.

Pour l'Algérie la désertification s'est un sujet dynamique et depuis l'indépendance les institutions algériennes engagent par divers travaux à face de la désertification tels que le barrage vert et les plans d'actions nationaux.

Les différentes littératures soit anglophones et soit francophones disent que les SIG ont des lacunes incapables pour l'aide à la décision, ce qui dirigent les chercheurs vers des nouvelles méthodes pour perfectionner les lacunes des SIG, ces méthodes représentent dans les travaux de l'intégration des SIG-AMC.

CHAPITRE :04

*ETUDE ET ANALYSE SPATIO-
TEMPORELLE DES CHANGEMENTS DU
MILIEU ET DE PROCESSUS DE
DESERTIFICATION*

Introduction :

L'Algérie constitue une entité écologique exceptionnelle dans la biosphère. La croissance démographique ordinaire, les conditions climatiques difficiles, la surexploitation des ressources naturelles ont généré des problèmes de dégradation (BENDERRADJI et al.2006).

L'Aurès oriental est constitué par un écosystème montagneux de l'Atlas Saharien et l'écosystème steppique au sud. Les agro-écosystèmes montagneux sont quasiment tous dans un état de dégradation avancé, du fait de la pression humaine : déforestation, labours inadaptés sur pentes fortes, surpâturage, surexploitation des nappes phréatiques (BENABDELI, 1993; BOUIADJRA, 2011). Les Hautes plaines steppiques algériennes sont des régions à vocation essentiellement pastorale. Elles connaissent aujourd'hui une forte tendance à la dégradation qui se traduit par la réduction du potentiel biologique et la rupture des équilibres écologiques (NEDJRAOUI, 2004)

Les études sur le changement d'occupation du sol sont d'une grande importance car ils permettent de connaître les tendances actuelles dans les processus de déforestation, dégradation, désertification et de perte de la biodiversité d'une région déterminée (LANBIEN et al. 2001; CRISTINA et al .2009).

La télédétection permet de surveiller notre environnement sur de larges étendues et de faire des comparaisons dans le temps et dans l'espace afin de mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes (TIDJANI et al. 2009).

Au cours des dernières décennies, bon nombre de travaux ont été réalisés sur l'évaluation de l'occupation du sol en Algérie parmi lesquels on peut citer MANIERE, 1993; ANSER, 2002; BENSAID, 2006; LABANI, 2006; BENMESSAOUD, 2009; BOUIADJRA, 2011.

Le présent chapitre s'est donné pour objectif principal de réaliser des cartes d'occupation du sol dans la région des Aurès orientales pour les années 1987, 2000 et 2013, afin de comprendre et d'analyser les changements d'occupation du sol sur deux périodes de 13 ans (1987-2000),(2000-2013) et une période de 26 ans (1987-2013) à partir des traitements effectués sur les images satellitaires de Landsat.

1. Données utilisées :

Notre démarche repose sur l'utilisation des données de la télédétection pour réaliser une étude d'analyse diachronique, nous avons choisi six images satellitaires de Landsat prises le 09 mai 1988 et 16 juin 1987 (*Capteur Thematic Mapper TM*), le 07 mars 2000 et le 24 avril 2000 (*Capteur Enhanced Thematic Mapper ETM+*), le 17 avril 2013 et le 15 juin 2013 (*Capteur Operational Land Imager OLI*), elle sont toutes acquises en saison sèche, où l'on peut distinguer les différents types de l'occupation du sol.

Le tableau ci-dessous montre les caractéristiques des images utilisées dans cette étude diachronique.

Tableau 15: Caractéristiques des images satellitaires de Landsat. (www.landsat.com).

Path	Row	Date d'acquisition	Capteur	Mode	Bandes spectrales		
					Bande spectrale	La longueur d'onde	Résolution spatiale
193	35	16-mai-1987	TM	Multi spectral	1(Bleu)	0,45 – 0,52	30
					2(Vert)	0,52 – 0,60	30
					3(Rouge)	0,63 – 0,69	30
					4(Infrarouge)	0,76 – 0,90	30
					5(Infrarouge)	1,55-1,75	30
					6(Infrarouge thermique)	10,42-12,50	60
					7(Infrarouge)	2,08-2,35	30
193	36	09-mai-1987					
193	35	24-avril-2000	ETM+	Multi spectral	1(Bleu)	0,45 – 0,515	30
					2(Vert)	0,52 – 0,605	30
					3(Rouge)	0,63 – 0,69	30
					4(Infrarouge)	0,76 – 0,90	30
					5(Infrarouge)	1,55 – 1,75	30
193	36	07-mars-2000		Multi spectral	6(Infrarouge thermique)	10,42– 12,50	60
					7(Infrarouge)	2,09 – 2,35	30
					8(Panchromatique)	0,50 – 0,90	15
193	35	Mai-2013	OLI	Multi spectral	1Aérosols	0,433-0,453	30m
					2(Bleu)	0,450-0,515	30m
					3(Vert)	0,525-0,600	30m
					4(Rouge)	0,630-0,680	30m
193	36	Juin-2013		Multi spectral	5(Infrarouge)	0,845-0,885	30m
					6(Infrarouge)	1,560-1,660	30m
					7(Infrarouge)	2,100-2,300	30m
					8(Panchromatique)	0,500-0,680	15m
					9(Cirrus)	1,360-1,390	30m

2. Méthodologie de travail :

Pour l'utilisation des images de télédétection dans le traitement et l'analyse diachronique de l'occupation du sol, nous avons poursuivi trois principales étapes: les prétraitements des images, la classification supervisée et la mise en évidence des changements d'occupation du sol, cette démarche est schématisée par la figure.40.

2.1. Prétraitement des données images

Les données satellitaires acquises sous forme brute, se caractérisent par des distorsions géométriques et radiométriques qui empêchent toute exploitation dans un système cartographique. Une série de prétraitements ont permis d'améliorer la visualisation des images et leur lecture, et aboutir à une première photo-interprétation des grands ensembles et thèmes de la région. L'étape de rectification géométrique des images a été nécessaire en tant que prétraitement ; c'est une étape qui consiste à corriger géométriquement les images à partir de points remarquables (point d'appuis). Ce prétraitement est effectué en vue de rendre les images satellitaires superposables à tout référentiel cartographique

2.1.1. La correction géométrique

Elle consiste à rectifier les images satellites de manière à les rendre superposables à d'autres images ou à des documents cartographiques de référence.

La méthode utilisée est basée sur une approche globale des déformations de l'image Méthode d'approximation polynomiale

Pour perfectionner nos résultats, nous avons utilisé plus de points que le nombre minimum.

2.1.2. Mosaïquage

Les images sont acquises avec une certaine largeur de bande sur l'orbite du satellite. Cette largeur dépend du capteur du satellite.

Dans notre cas, la zone d'étude est plus large. Cependant, on doit procéder à un assemblage d'images afin de recouvrir toute la zone faisant objet de l'étude. On a réalisé le mosaïquage grâce à l'outil Mosaïque de ENVI.

2.1.3. Réalisation d'un masque de notre zone d'étude :

A partir des limites administratives de la zone des Aurès orientales on a appliqué sur les images satellitaires un masque pour l'extraction de notre zone d'étude, cette opération est réalisée à l'aide de logiciel ENVI 4.7.

2.1.4. Amélioration d'images :

L'augmentation du contraste permet une meilleure visualisation des images originales, pour optimiser le choix des échantillons (zones tests), ce traitement est réalisé par des méthodes de

transformation locales, qui constituent un ensemble de techniques rehaussant la qualité de visualisation des images et permettant l'identification des thèmes.

2.2. La composition colorée et le choix des canaux multi-spectraux :

En télédétection 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 (BENSAID.2006).

Une image couleur en mode RVB (Rouge, Vert, Bleu) contient trois plans de couleurs. En 8 bits, chaque plan de couleur correspond à des teintes variant de 0 à 255. 0 étant du noir et 255 est la couleur pure. La combinaison de trois valeurs 0 pour chaque plan produit une teinte noire. Au contraire, une teinte blanche est produite par combinaison de trois valeurs identiques de 255 pour les trois plans rouge, vert et bleu. Les images satellites peuvent contenir de nombreux plans. Chaque plan image correspond à une bande spectrale précise, c'est-à-dire à une longueur d'onde dans laquelle l'image a été acquise.

La composition colorée résulte de la superposition des trois bandes spectrales, dont chacune est affectée de l'une des trois couleurs fondamentales (Rouge, Vert, Bleu) Par convention, on attribue la couleur rouge à la bande spectrale proche infrarouge, la couleur verte à la bande verte et la couleur bleue à la bande bleue.

Tableau 16 : Caractéristiques des bandes spectrales ETM+ de Landsat.

Canaux	Longueur d'onde	Caractéristiques et équivalences
1	<i>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.
2	<i>0,52 à 0,60 μm</i>	Vert, Présence des pics de réflectances vertes de la végétation, utilisé pour la détermination des plantes vigoureuses.
4	<i>0,76 à 0,90 μm</i>	Proche Infrarouge, Utilisable pour déterminer la contenance de la biomasse et pour la cartographie littorale.

La composition colorée permet de faire ressortir d'une façon nette les différentes unités d'occupation des sols, ainsi considérée comme un document de base pour le choix des échantillons servant aux traitements des images.

2.3. 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 sur la zone d'étude (Figure.39).

La mission de terrain a été effectuée en printemps 2013 (Avril et mai 2013). Elle comprend un ensemble des points collectés sur le terrain par positionnement GPS. Ces points sont géoréférencés en longitude, latitude et donnent une information d'occupation du sol répartie en 10 classes, pertinente par rapport à nos objectifs d'étude : forêt dense, forêt claire, steppe à alfa, steppe à armoise, céréaliculture, cultures maraichage, sol nu, sol sableux, plan d'eau et finalement chotts et sebkhas.

On utilise le programme Google Earth afin de compléter notre connaissance de terrain, pour les endroits difficiles d'accès par causes d'insécurité. Les points complémentaires d'échantillonnages de Google Earth et les points GPS relevés, sont représentés sous forme d'une carte d'échantillonnage sur la figure (39).

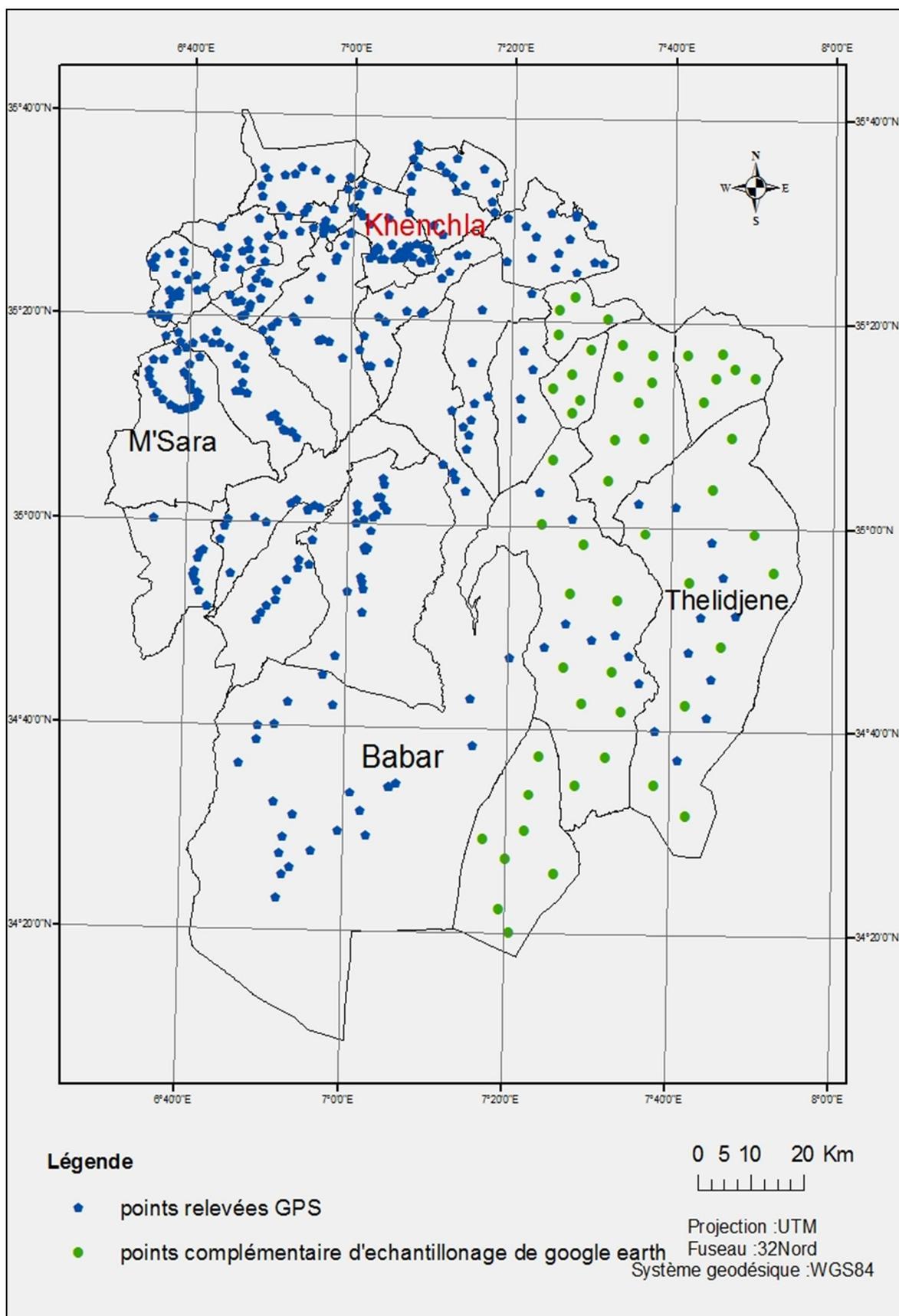


Figure 39 : Carte d'échantillonnage

2.4. Validation de la classification

Une classification a été opérée sur une composition colorée, il s'agit de la classification supervisée assistée par maximum de vraisemblance. Cette classification consiste à classer les pixels en fonction de leur ressemblance avec les comptes numériques d'objets géographiques de référence préalablement déterminées sur l'image (parcelles d'entraînement) et valides par des relevés de terrain.

Les matrices de confusion montrent que pour chacune des classes les principales confusions faites lors de la classification supervisée des images.

Ces tableaux affichent dans la diagonale le nombre de pixels bien classés et hors diagonale le nombre de pixels mal classés, mais avec les indices de kappa (0.733, 0.82 et 0.832) que nous avons eu respectivement pour les dates 1987, 2000 et 2013 nous permettent de conclure que les résultats de ces classifications sont statiquement acceptables.

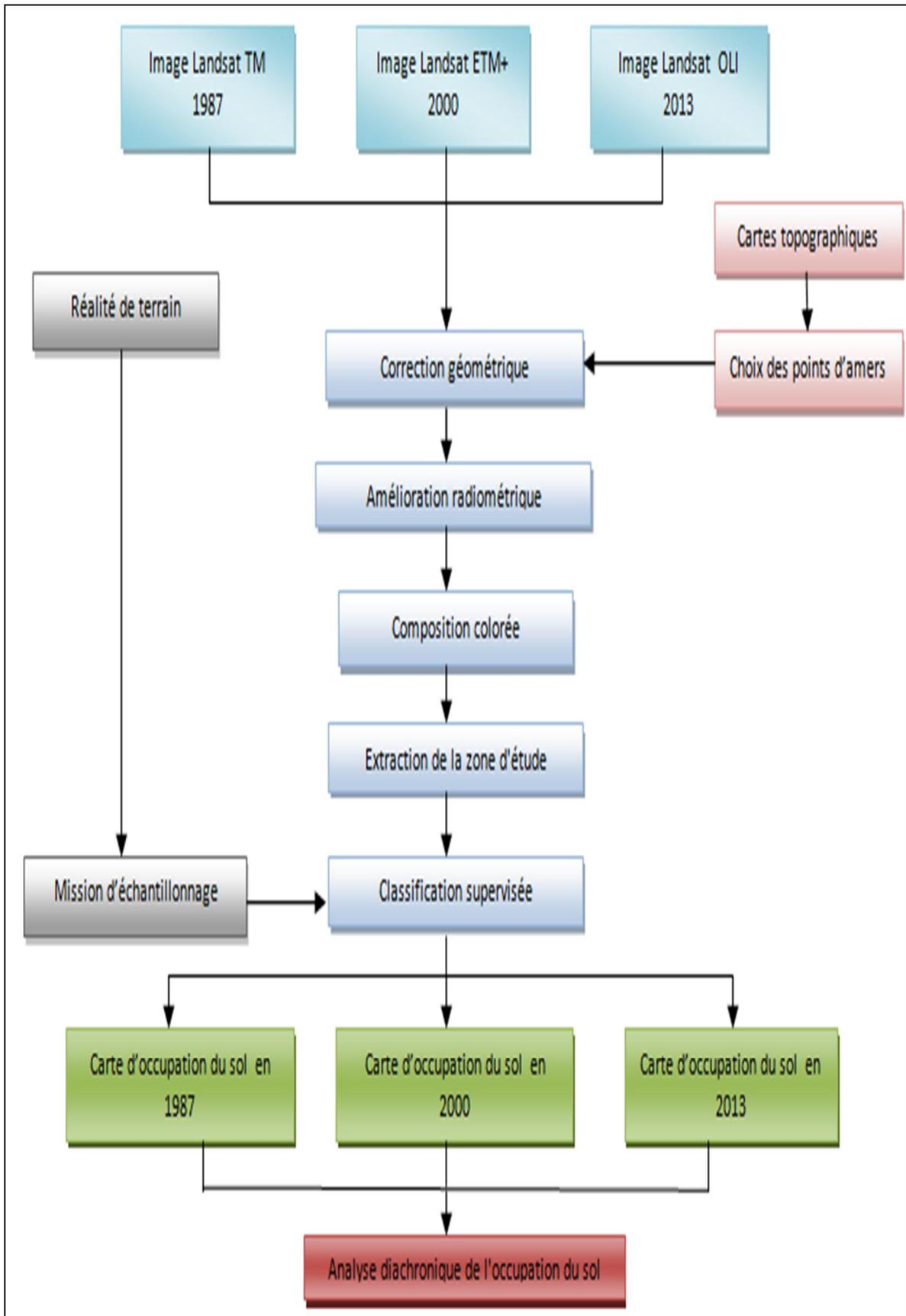


Figure 40 : Organigramme méthodologique.

3. Résultats et discussion :

À l'aide des données de télédétection, on a fait ressortir trois cartes d'occupation du sol (Figure 41, 43 et 45) respectivement en 1987, 2000 et 2013, ainsi que les statistiques respectives de toutes les classes d'occupation du sol pour les trois dates (Tableau 17).

Ces résultats issus des trois classifications ont permis de faire une analyse diachronique afin de comprendre l'évolution de l'occupation du sol entre les différentes dates étudiées.

Tableau 17 : Pourcentage et Superficie des Unités de l'Occupation du Sol

Type d'occupation du sol	Superficie en 1987		Superficie en 2000		Superficie en 2013	
	En hectares	En %	En hectares	En %	En hectares	En %
Forêt dense	44.681,31	03,14	22.956,3	01,61	13.612,50	00,96
Forêt claire	106.904,52	07,52	94.931,46	06,68	78.843,51	05,54
Steppe à Alfa	164.753,46	11,59	184.488,12	12,98	126.659,34	08,91
Steppe à armoise	463.259,7	32,58	253.113,3	17,80	179.760,60	12,64
Céréaliculture	247.849,02	17,43	174.541,86	12,28	276.372,45	19,44
Maraichage	18.161,1	01,28	71.730,63	05,04	47.760,21	03,36
Sol nu	222.489,36	15,65	328.562,82	22,92	380.006,55	26,73
Sol sableux	108.577,89	07,64	267.725,16	18,83	289.068,57	20,33
Plan d'eau	45,45	0,003	262,62	00,02	245,43	00,02
Chott et Sebkh	45.046,71	03,17	26.120,61	01,84	2.9397,69	02,07
Total	1.421.768,52	100,00	1.421.732,88	100,00	1.421.726,85	100,00

3.1. État de l'occupation du sol en 1987

A cette date, l'occupation du sol est dominée par la steppe à armoise qui couvre une superficie de 463.259,7 hectares, soit 32,58% de la surface totale, les formations à base d'armoise colonisent les zones d'épandages, les dayas et les lits d'oued, localisées sur les monts de Nnamecha.

La céréaliculture occupe une superficie de 247.849,02 hectares, soit 17,43% et concerne la mise en culture des plaines et des sols fertiles et meubles cette zone est concentrée surtout au nord de la zone d'étude.

Le sol nu occupe une superficie de 222.489,36 hectares, soit 15,65 % se trouve au sud des monts de Nnamecha, les sols sableux s'étendent sur 108.613,53 hectares de superficie.

estimée à 7,64% du territoire total, il se localise au sud de la carte dans les régions de Ferkane , Negrine et dans le sud de la commune de Babar.

Les conditions bioclimatiques sont favorables à l'installation des faciès d'Alfa qui couvrent une superficie égale à 164.753,46 hectares soit un pourcentage de 11,59% par rapport à la superficie totale et apparaît dans les glacis encroutés et les piémonts des djebels, l'alfa à l'état dégradé se localise principalement au piémont des djebels Abiod et Kemakem.

Les zones semi-arides supérieur et subhumide sont favorables à l'installation des formations forestières. Les forêts de massif Chélia et de djebel Feraoun au sud-ouest de la ville de Khenchela sont des forêts denses qui occupent 44.681,31 hectares, soit 3,14% de la surface totale, par ailleurs il existe des forêts claires à base de pin d'Alep sous forme dégradée couvre une superficie de 106904,52 hectares soit 7,52%, localisées essentiellement sur le djebel Mellagou.

Les formations Chott et Sebkha réparties sur une surface de 45.046,71 hectares ces formations font leur apparition dans la commune de Mahmal et le sud de la commune de Babar.

L'unité des cultures maraichage représente 1, 28% de la surface totale ce type de culture nous retrouvons sous forme des vergers au niveau des Oueds, le plan d'eau pratiquement inexistant à l'exception de petit barrage dans la commune de Kais qui occupe 0.003 de la surface totale.

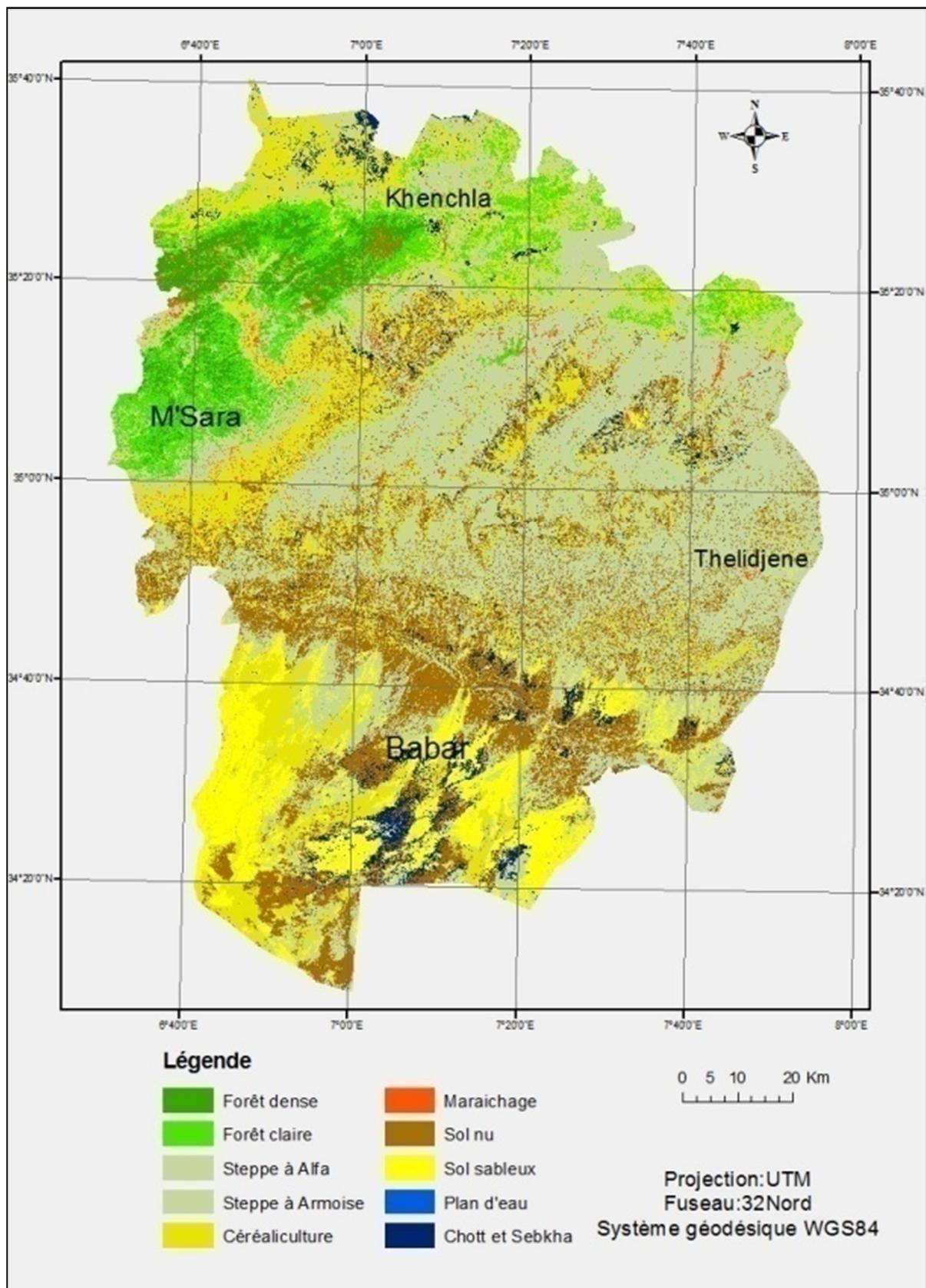


Figure 41 : Carte d'occupation du sol en 1987.

Unité d'occupation du sol	Nombre des pixels	Superficie en%	Superficie en (ha)
Non classée	00.00	00,00	00.00
Forêt dense	496.459	3,14	44.681,31
Forêt claire	1.187.828	07,52	106.904,52
Steppe à Alfa	1.830.594	11,59	164.753,46
Steppe à armoise	5.147.330	32,58	463.259,7
Céréaliculture	2.753.878	17,43	247.849,02
Maraichage	201.790	01,28	18.161,1
Sol nu	2.472.104	15,65	222.489,36
Sol sableux	1.206.421	07,64	108.577,89
Plan d'eau	505	0,003	45,45
Chott et Sebkha	500519	03,17	45046,71
Total	1.579.7428	100	1.421.768,52

Tableau 18: Superficie des unités d'occupation des sols en 1987.

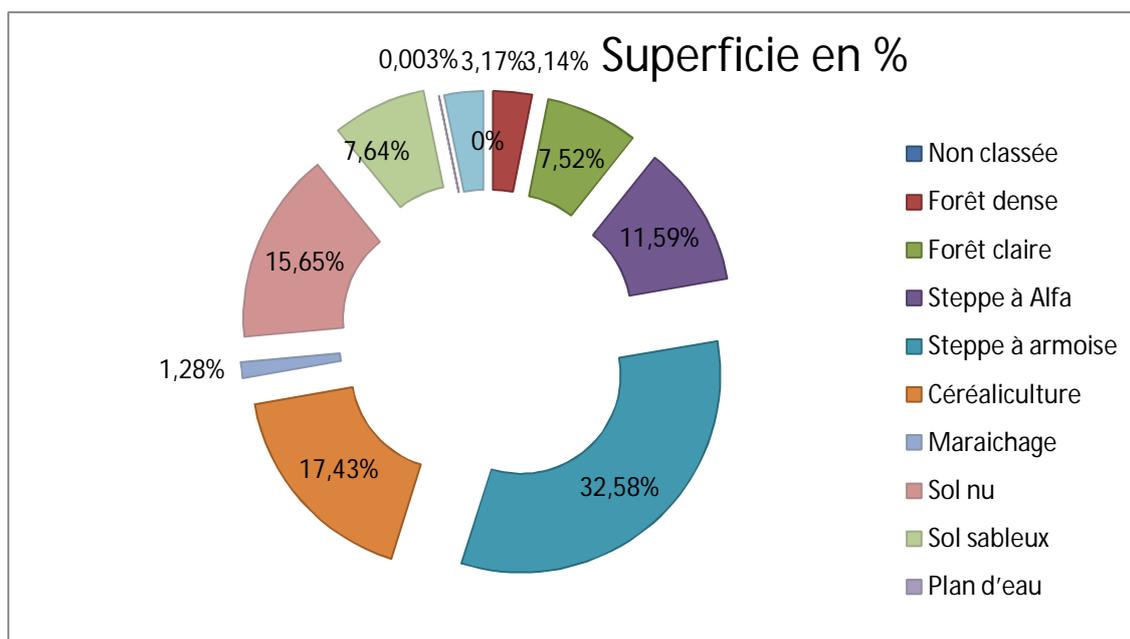


Figure 42 : Occupation du sol de l'année 1987

3.2. État de l'occupation du sol en 2000

La cartographie de l'occupation du sol en 2000, montre que l'occupation du sol est dominée par les sols nus, 22,92% de la surface totale, les sols sableux représentent 18,83% de la surface totale.

L'armoise et l'alfa occupent respectivement 17,80% et 12,98% de la surface totale.

La céréaliculture s'étend sur une superficie de 174.541,86 hectares, soit 12,28% de la surface totale.

Le couvert forestier couvre 6,68% pour les forêts claires et 1,61% pour les forêts denses.

Les cultures maraichages s'étalent sur 71.730,63 hectares soit 5,04% de la région d'étude.

Les autres unités représentent 1,84% pour le thème Chott et Sebka et 0,02% pour le plan d'eau.

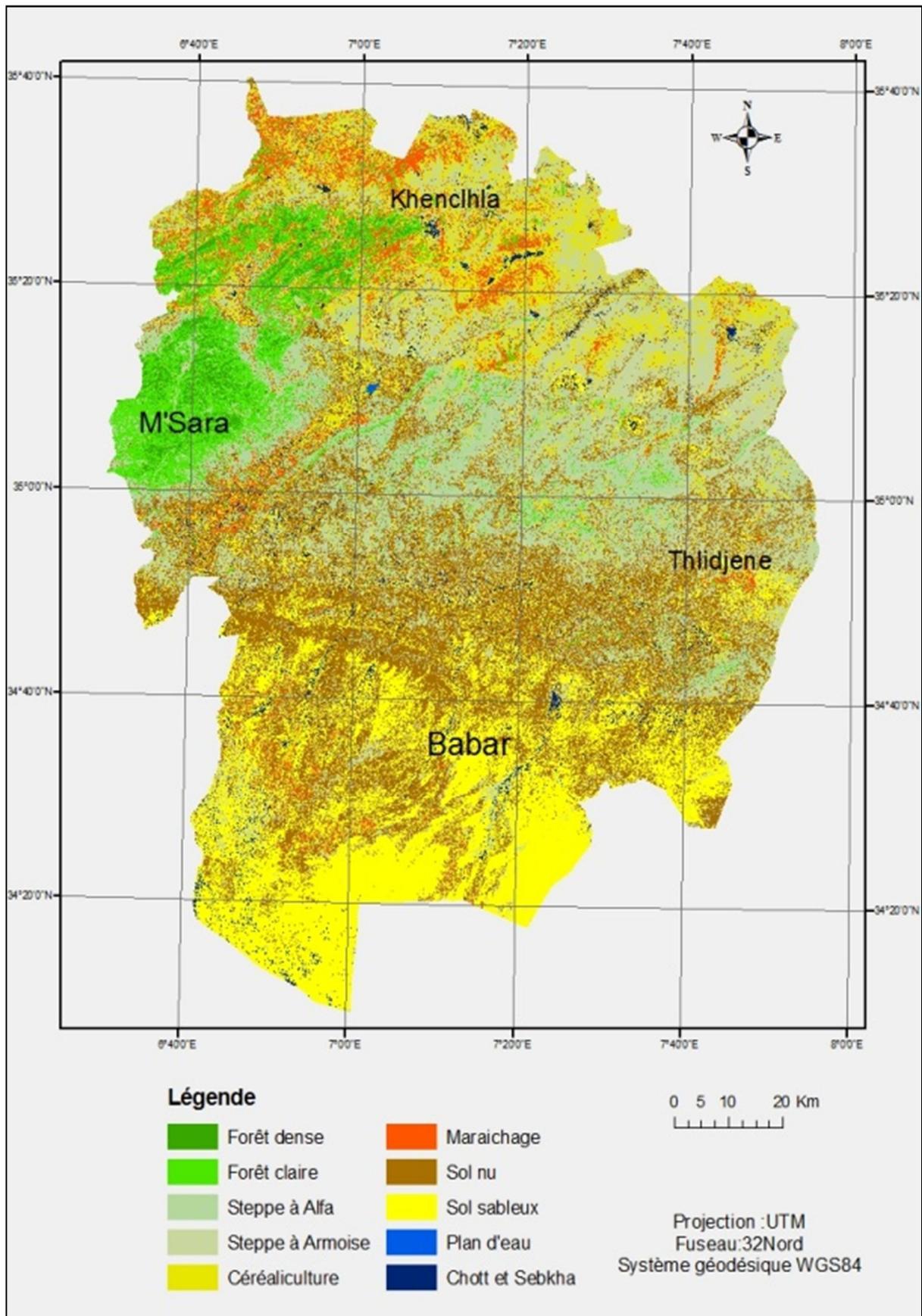


Figure 43 : Carte d'occupation du sol en 2000.

Tableau19 : Superficies des unités d'occupation des sols en 2000.

Unité d'occupation du sol	Nombre des pixels	Superficie en%	Superficie en (ha)
Non classée	00	00	00
Forêt dense	255.070	01,61	22.956,3
Forêt claire	1.054.794	06,68	94.931,46
Steppe à Alfa	2.049.868	12,98	184.488,12
Steppe à armoise	2.812.370	17,80	253.113,3
Céréaliculture	1.939.354	12,28	174.541,86
Maraichage	797.007	05,04	71.730,63
Sol nu	3.620.698	22,92	328.562,82
Sol sableux	2.974.724	18,83	267.725,16
Plan d'eau	2.918	0,02	262,62
Chott et Sebkha	290.229	01,84	26.120,61
Total	15.797.032	100	1.421.732,88

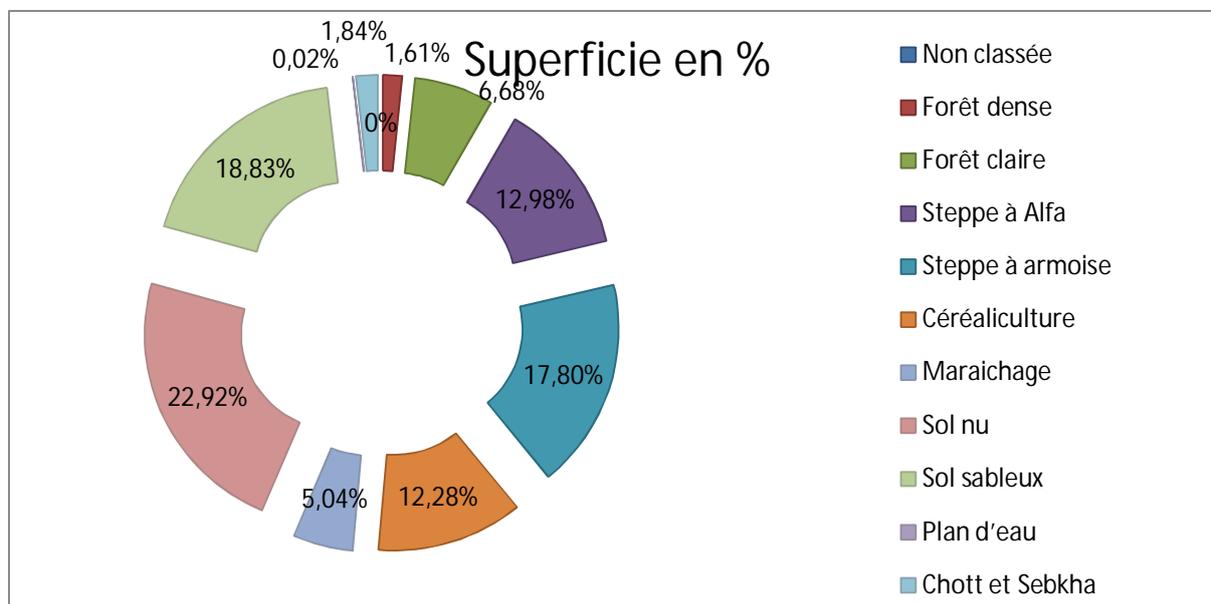


Figure 44 : Occupation du sol de l'année 2000 en pourcentage

3.3. État de l'occupation du sol en 2013

En ce qui concerne l'état de l'occupation du sol en 2013 la figure.46 montre que :

Les sols nus couvrent la plus grande partie de la région soit 26,73%. Les sols sableux ont une proportion de 20,33% de la superficie totale de la zone.

La céréaliculture en 2013 a connu une superficie de 276372,45 hectares soit environ 19,44% de la surface totale. Les formations forestières couvrent 5,54% pour les forêts claires et 0,96% pour les forêts denses.

La steppe à armoise occupe 12,64% de la zone totale avec 8,91% pour l'Alfa. Les cultures maraichages représentent 3,36% de la surface totale.

Finalement, on a une proportion de 2,07% pour les Chott et Sebka et 0,02% pour le plan d'eau.

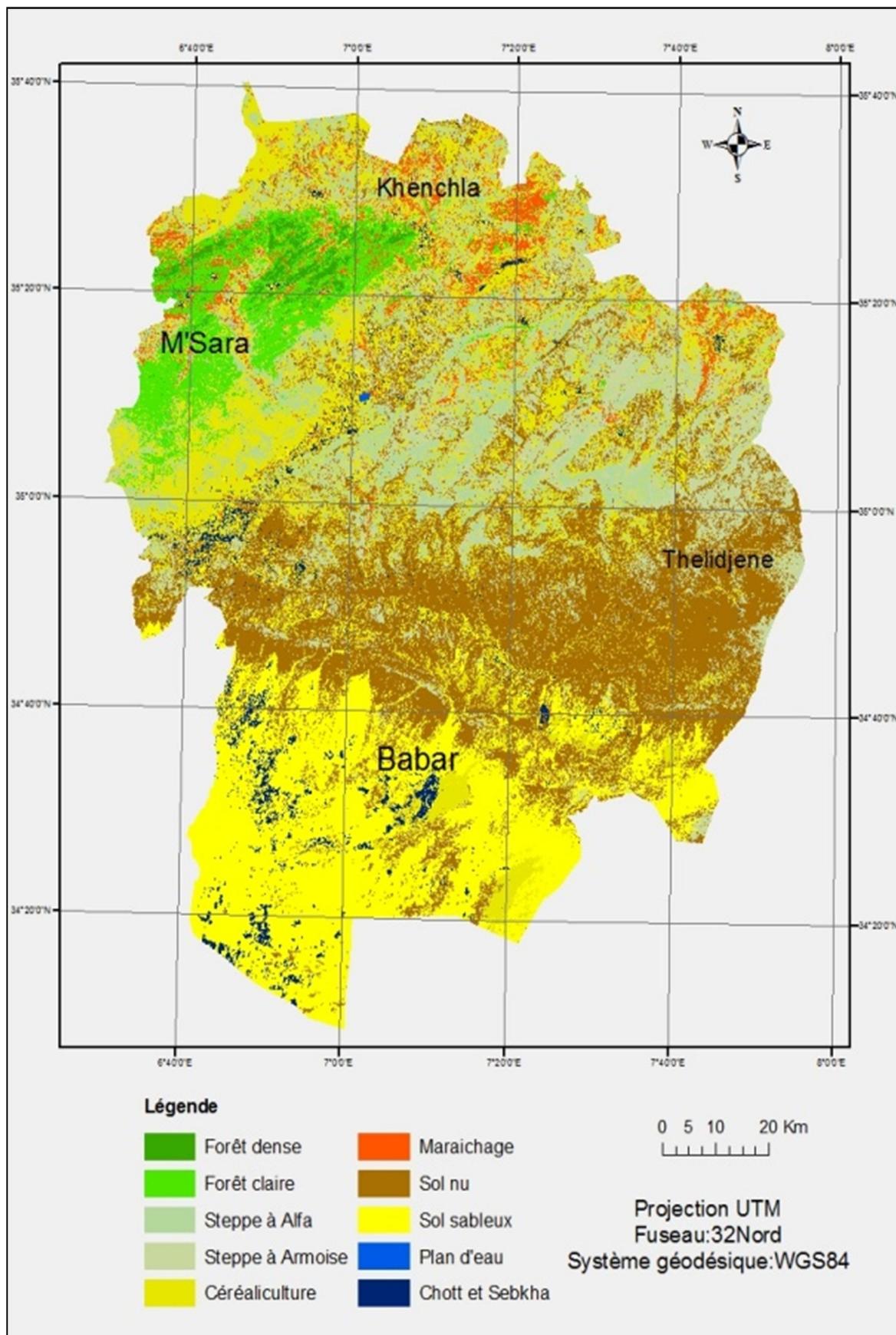


Figure 45 : Carte d'occupation du sol en 2013.

Tableau 20: Superficie des unités d'occupation des sols en 2013.

Unité d'occupation du sol	Nombre des pixels	Superficie en%	Superficie en (ha)
Non classée	00	00	00
Forêt dense	151250	0,96	13612,5
Forêt claire	876039	5,54	78843,51
Steppe à Alfa	1407326	8,91	126659,34
Steppe à armoise	1997340	12,64	179760,6
Céréaliculture	3070805	19,44	276372,45
Maraichage	530669	3,36	47760,21
Sol nu	4222295	26,73	380006,55
Sol sableux	3211873	20,33	289068,57
Plan d'eau	2727	0,02	245,43
Chott et Sebkh	326641	2,07	29397,69
Total	1579695	100	1421726,85

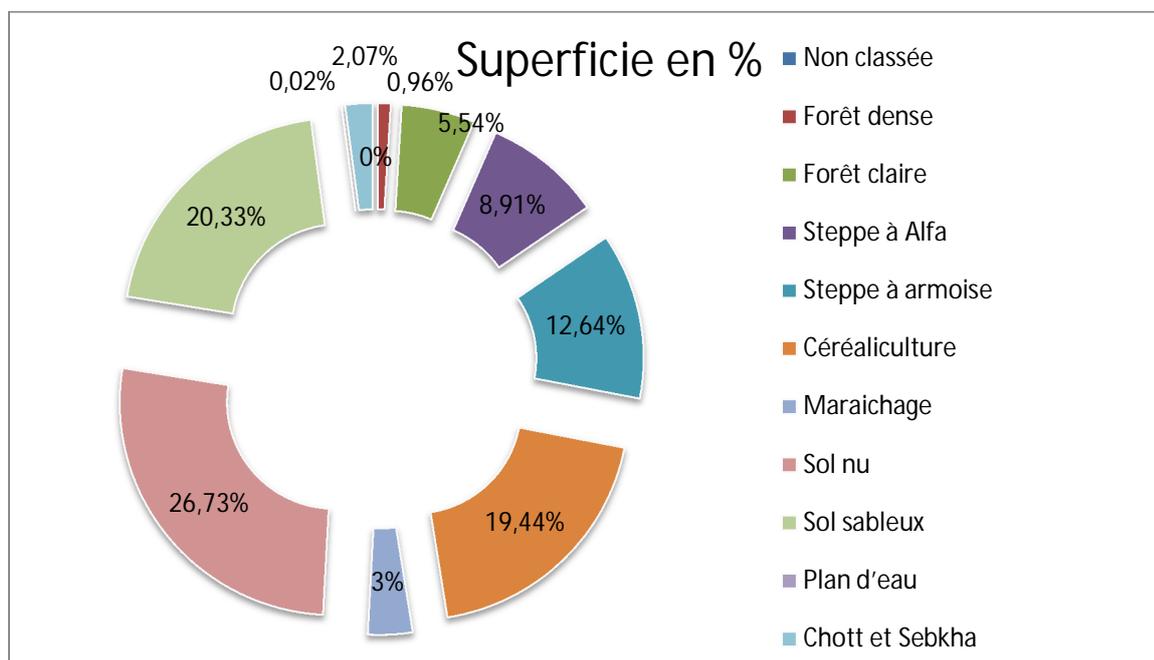


Figure 46 : Occupation du sol de l'année 2013

3.4. Changements détecté entre 1987 et 2000 :

Les changements de l'occupation du sol entre 1987 et 2000 pour les 10 classes sont présentés sous forme graphique (Figure. 47) qui montre que la région d'étude ont subi de changements observables ce qui correspond à :

- Une régression des forêts denses et claires leurs diminutions sont passées de 3,14%, 7,52% à 1,61%, 6,68% respectivement.
- Une légère augmentation de la steppe à alfa est passée de 11,59% à 12,98%.
- Une réduction considérable pour les surfaces de la steppe à une armoise, nous pouvons dire que la réduction de cette classe a diminué de 14,78% pour les deux dates.
- Une diminution des surfaces de la céréaliculture est passée de 17,43% à 12,28%.
- Une augmentation pour la classe maraichage est passée de 1,28% à 5,04%.
- Une extension pour les sols nus et les sols sableux sont passées de 15,65%, 7,64 à 22,92%, 18,83% respectivement.
- Une augmentation des plans d'eau est passée de 0,003% à 0,02%.
- Une diminution pour le thème Chott et sebkha est passée de 3,17% à 1,84%.

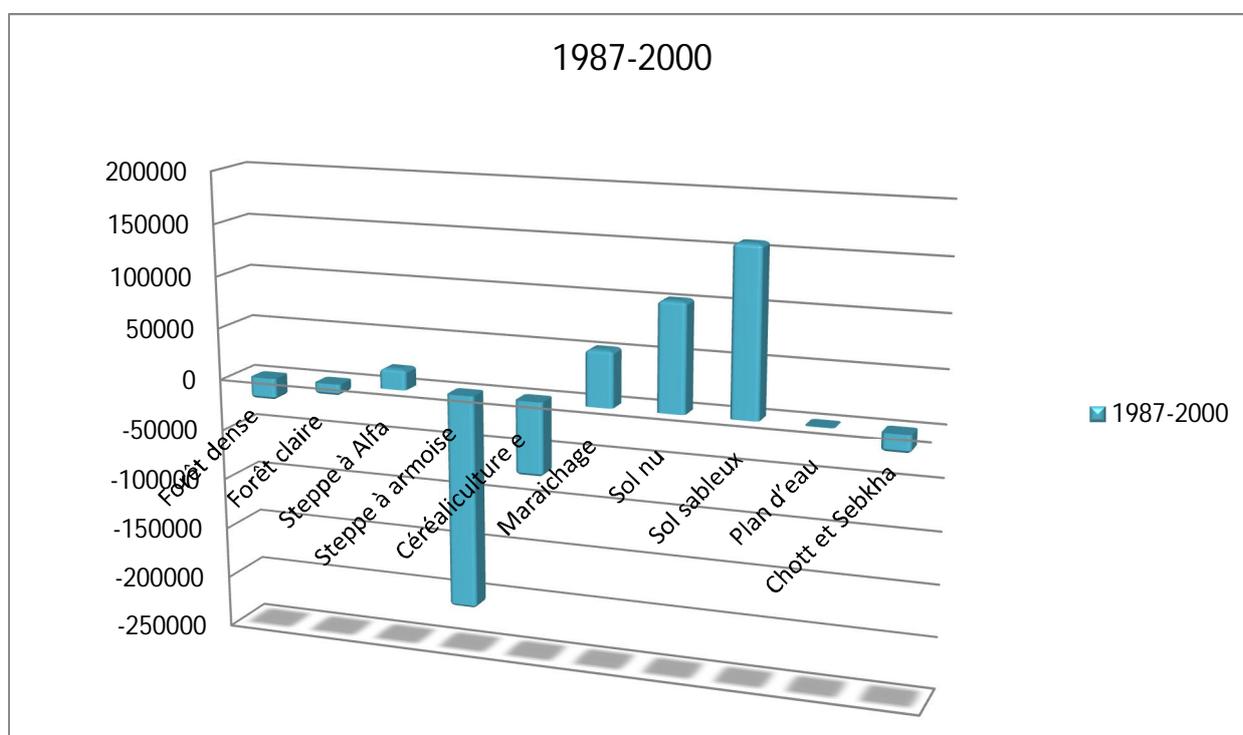


Figure 47 : Graphique des résultats des changements entre la période 1987-2000.

3.5. Changement détecté entre 2000 et 2013 :

En ce qui concerne le changement d'occupation du sol entre 2000 et 2013, la figure 48 montre que la zone a subi des changements se manifeste par :

- Une baisse des surfaces couvertes par les forêts denses est passée de 1,61% à 0,96%.
- Une réduction des surfaces couvertes par les forêts claires est passée de 6,68% à 5,54%.
- Une diminution de la steppe à alfa est passée de 12,98% à 8,91%.
- Une diminution de la steppe à armoise est passée de 17,80% à 12,64%.
- Une augmentation des céréalicultures est passée de 12,28% à 19,44%.
- Une régression pour le thème maraichage est passée de 5,04% à 3,36%.
- Une augmentation des surfaces qui se caractérise par les sols nus est passée de 22,92% à 26,73%.
- Une extension des sols sableux est passée de 18,83% à 20,33% de la surface totale.
- Pendant cette période la classe plane d'eau présente une grande stabilité entre les deux dates.
- Une augmentation pour la classe Chott et sebkha est passée de 1,84% à 2,07%.

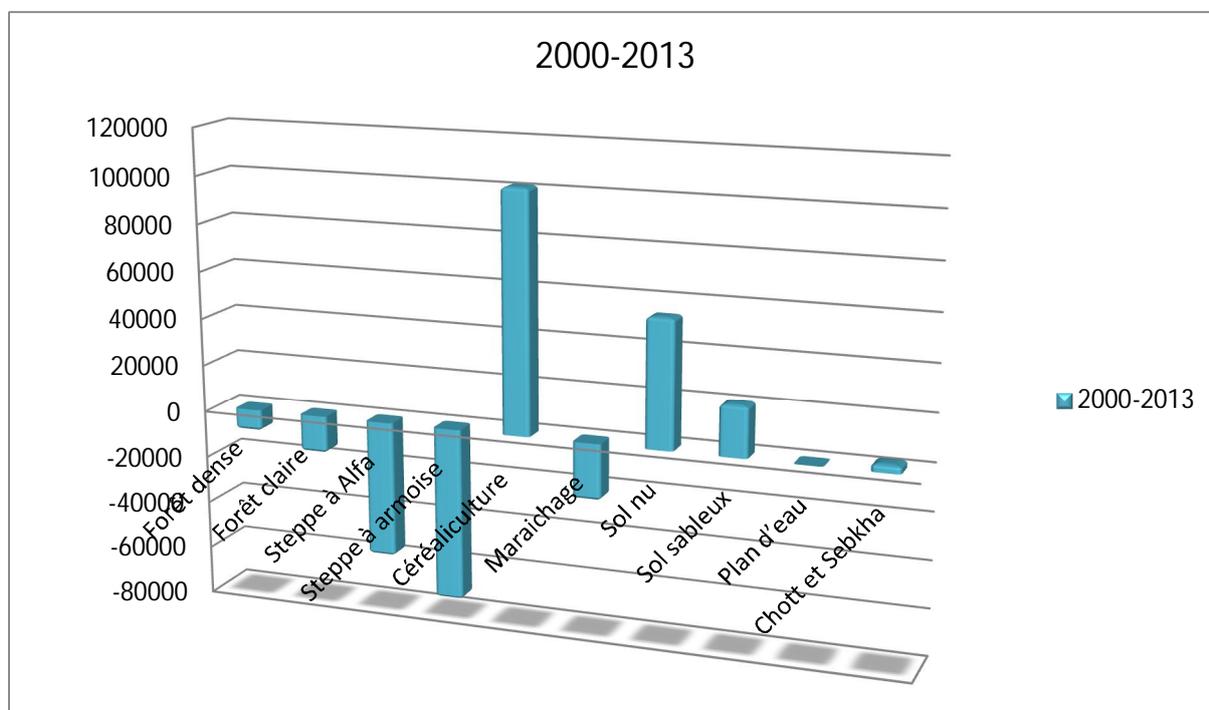


Figure 48 : Graphique des résultats des changements entre la période 2000-2013.

3.6. Changement détecté entre 1987 et 2013 :

L'analyse des données de télédétection à travers l'analyse diachronique de deux cartes d'occupation du sol nous a permis de mettre en évidence les différents changements au niveau de 10 classes entre les dates 1987-2013, soit à 26 ans d'intervalle, ces changements sont présentés sur la figure 49 qui montre :

Les forêts denses ont subi une régression très importante, elle sont passée de 44681,31ha à 13612 ha (2,18 % de moins), les forêts claires ont régressé de 1,98 %, cette dégradation du couvert forestier est due d'une part au dépérissement très important du cèdre et d'autre part aux incendies répétés qu'a connu la forêt de Beni-Imloul.

La superficie de steppe à alfa a enregistré une baisse est passée de 11,59% en 1987 à 8,91% en 2013, soit une baisse 2,68%, aussi la superficie couverte par la steppe à armoise a connu une régression considérable environ de deux fois. Cette classe occupée 463.259,7 ha au cours de l'année 1978 est passée à 179.760,6 ha au cours de l'année 2013, soit une différence de 28.349,46 ha. Cette régression causée par les facteurs climatiques comme la sécheresse, et les facteurs anthropiques jouent un rôle majeur dans cette dégradation comme le surpâturage et les travaux de défrichements ; une grande superficie de la végétation steppique a été transformée en sol nu ou en champs de céréalicultures.

Les céréalicultures représentent une augmentation entre la période 1987 et 2013 est passée de 17,43% à 19,44%, soit une augmentation de 2% liée à l'orientation des habitants de cette zone vers les céréalicultures pour assurer leurs alimentation.

L'occupation par le maraichage a subi à un changement et est passée de 1,28% à 3,36%. Cette augmentation (2,08%) est due principalement aux efforts déployés par les services agricoles qui encouragent l'investissement pour les cultures arborées.

Le sol nu est enregistré une extension importante et est passée de 15,65% en 1987 à 26,73% en 2013. Cette extension engendrée par la dégradation des végétations steppiques (alfa, armoise).

Les sols sableux qui ont connu une augmentation considérable dont le plus touché par ce changement. Nous pouvons dire que l'étendue de cette classe a augmenté de 12,69% entre la période 1987 et 2013, un taux de recouvrement faible de la végétation et un sol peu profond, produire à l'extension d'ensablement qui justifie l'augmentation des sols sableux.

Les plans d'eaux ont connu une légère augmentation et sont passée de 0,003% à 0,02% à cause de la réalisation d'un barrage dans la commune de Babar.

La superficie de chott et sebkha a enregistré une réduction allant de 3,17% à 2,07% à cause des mouvements de sables qui occupent ces superficies.

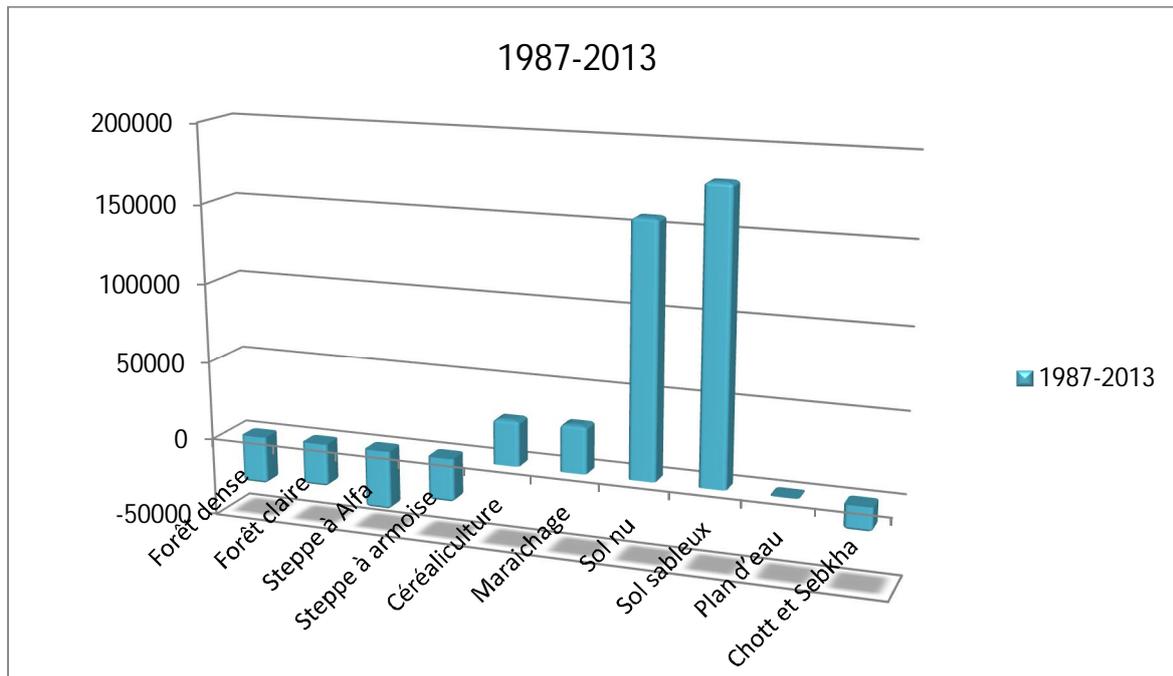


Figure 49 : Graphique des résultats des changements entre la période 1987-2013.

3.7. Analyse de changement de chaque unité d'occupation du sol entre 1987 2013 :

L'analyse des données statistiques extraite de la carte de changement de l'occupation du sol entre 1987 et 2013, illustre l'évolution de chaque unité dans le temps et dans l'espace par rapport aux autres unités, et donne la dynamique paysagère de chaque unité de l'occupation du sol, qui permis de déterminer le changement dans le temps et dans l'espace de toutes les unités d'occupation du sol,

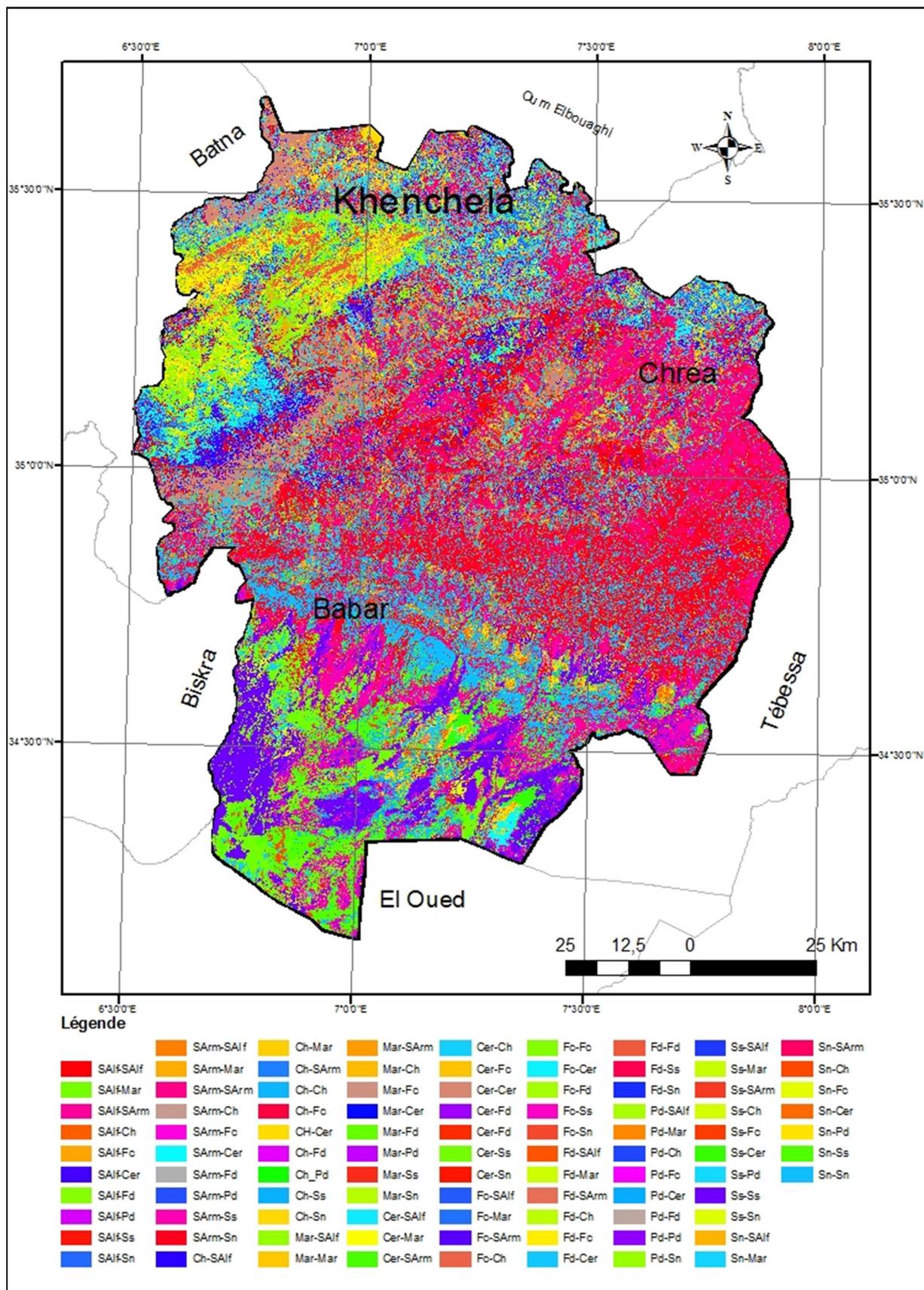


Figure 50 : Carte de changement des unités d'occupation du sol entre 1987-2013.

3.7.1. Unités des forêts :

3.7.1.1. Forêts denses :

Les forêts denses ont subi d'importants changements, elles sont passées de 44681,31 ha en 1987 à 13612,5 ha en 2013, 11637 ha de cette surface a conservé sa classe comme des forêts denses et 27669 ha a dégradé à des forêts claires sous les effets climatiques, et l'intervention humaines au niveau des forêts denses par les travaux de défrichement il se perdu 3483 ha dans les céréalicultures et 1276 ha comme des vergers.

3.7.1.2. Forêts claires:

Les surfaces occupées par les forêts claires ont enregistré une régression très significative sous l'effet de la pression humaine de plus en plus, qui dégrade ces surfaces vers Steppe à Alfa, Steppe à Armoise, Maraichage, céréaliculture, sol nu et sol sableux en successif de 12.624ha, 2608ha, 3.3642ha, 15.172ha, 574ha et 174ha, et pour la surface constante représente dans 39.995ha.

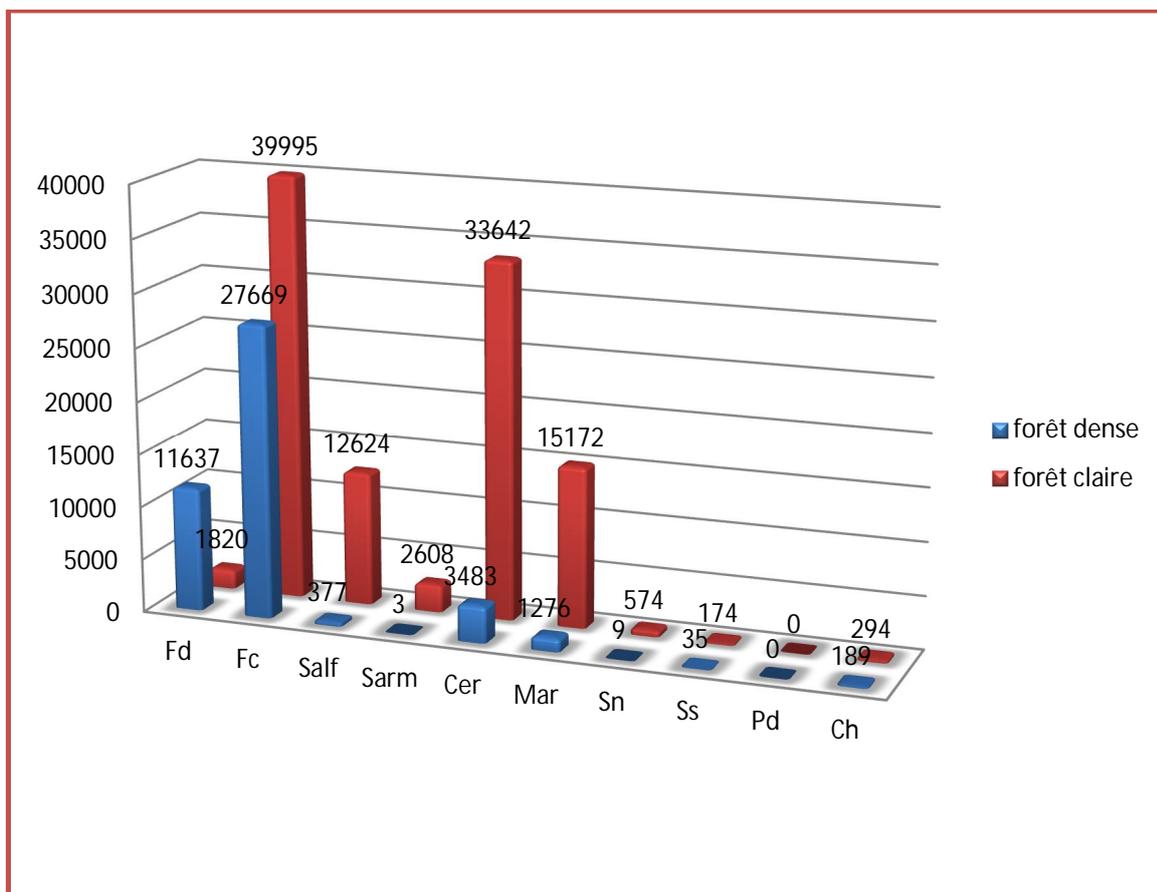


Figure 51 : présentation de dynamique des changements des forêts claires et denses entre 1987-2013.

3.7.2. Unités des Steppes:

3.7.2.1. Steppe à Alfa :

la zone steppique à des regroupements d'Alfa a enregistré une baisse est passée de 11,59% en 1987 à 8,91% en 2013, soit une baisse 2,68%, cette zone dégradée est partagée à toutes les unités d'occupation de sol, où l'unité des céréalicultures représente l'unité les plus important qui apparaitre par cette dégradation par une superficie de 57652ha, et 18612ha, 9942ha, 6565ha dégradées successivement vers Sarm, Mar et sol nus, et 66292 ha reste constantes sans changement, et 5082 ha changées à des forêts claires à travers les reboisements récents réalisé par les agents des forêts et pour les surfaces changées vers les forêts denses représentes les anciens reboisements.

3.7.2.2. Steppe à Armoise :

La superficie couverte par la steppe à armoise a connu une régression considérable environ de deux fois, une superficie de 124.180 ha reste sans changement, une superficie 4.108 ha dans le Nord de la zone d'étude transformé à des Chott et Sebkhha, une superficie de 12455 ha améliorée à des steppe à Alfa, et une disparition des superficie de 38.254 ha, 4.112 ha, 192.803 ha, 87.224 ha qui transforment successivement en céréaliculture, maraichage, sol nu, sol sableux.

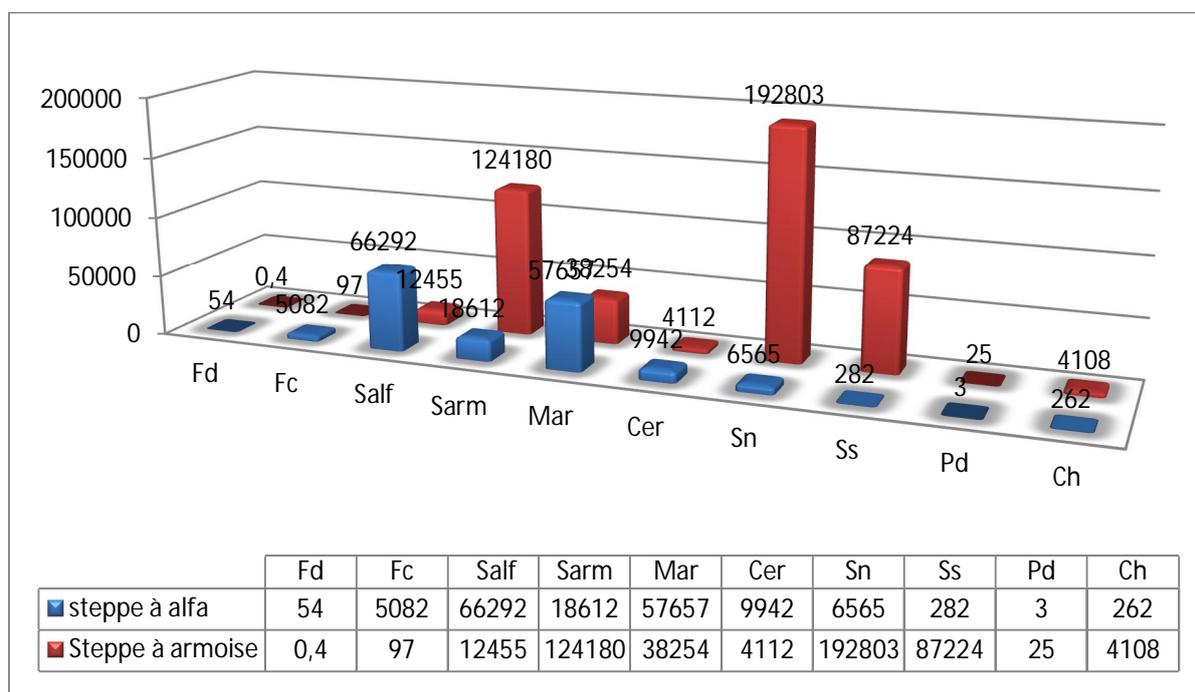


Figure 52 : Présentation de dynamique des changements de la steppe à alfa et armoise entre 1987-2013.

3.7.3. Unités des Sols nus et Sols sableux :

3.7.3.1. Sols nus :

Le sol nu a enregistré une extension importante est passée de 15,65% en 1987 à 26,73% en 2013, cette extension s'ajoute par la dégradation de la végétation forestière et la végétation steppique, des superficies de 583 ha en forêts 48.265ha en céréaliculture, 6.565 ha en alfa, 87.224 ha en armoise blanche additionnées à l'unité des sols nus, une superficie 129.311 ha n'ont pas subi à des changement, une superficie de 3.225 ha transformé en Chott et Sebkha, et une superficie de 16.950 ha et 278 ha a changé à des terres cultivables, et 50.400 ha des terres nu devient des zones ensablées qui touche la zone Sud de la commune de Babar.

3.7.3.2. Sols Sableux :

L'unité des sols sableux connu une augmentation importante de 12,69%, des superficies de 48.265 ha en Céréalicultures, 12.786 ha en Chott et 87.224 ha en armoise sont ajoutées pendant cette période à des sols sableux, et une superficie de 98.797 ha des terres sableux reste sans changement, et des superficie de 6.074 ha et 4.278 ha sont disparues successivement en céréaliculture et Chott et Sebkha.

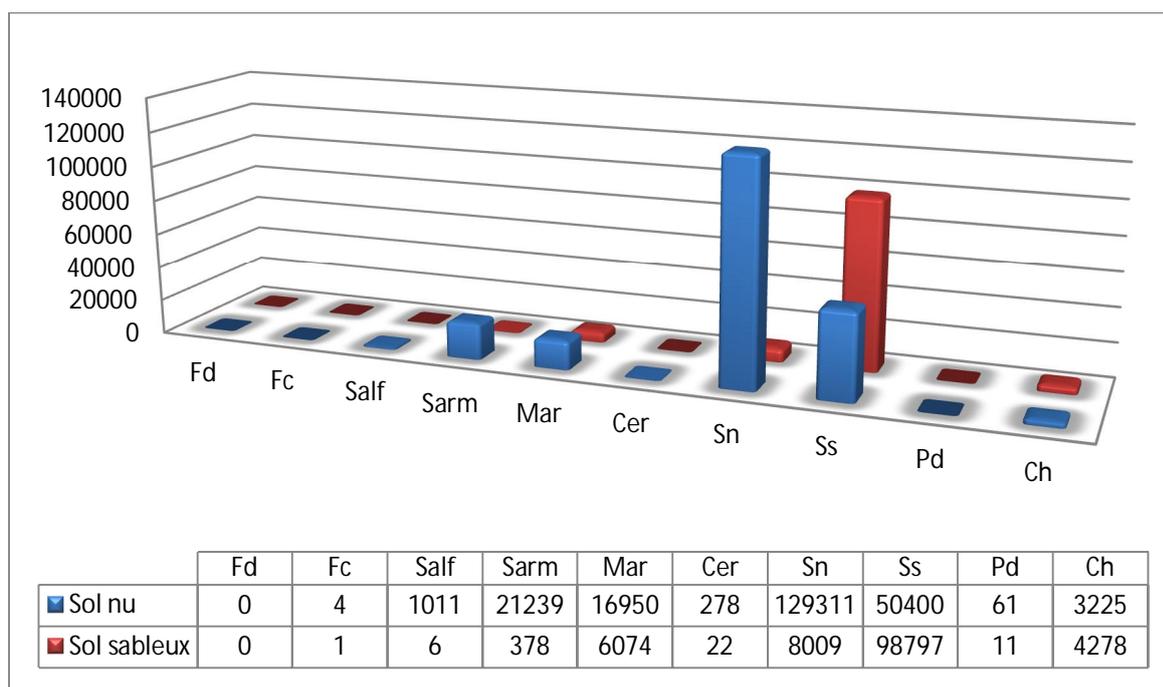


Figure 53: présentation de dynamique des changements des sols nue et sols sableux entre 1987-2013.

3.7.4. Unités de Maraichage et de céréaliculture :

3.7.4.1. Unité du Maraichage :

La surface de maraichage a subi à un changement de 2% d'augmentation entre 1987 et 2013, une surface de 5.328 ha ce change pas, une disparition des surfaces transformées en forêts claires (3.425 ha), en steppe à alfa (1.383 ha), en steppe à armoise (663ha), en céréaliculture (5.777 ha) et en chott et sebkha (431 ha), et des surfaces ajouté par l'unité de céréaliculture (11.174 ha), forêts dense (1.276ha), forêts claires (15.172ha).

3.7.4.2. Unité de Céréaliculture :

Cette unité est exposé à des changements spatiale par le principe de jachère, d'un coté et d'autre coté les nouvelle terres exploitées dans le Sud de la commune de Babar, l'augmentation de cette unité ajouté par les de sols nus(16.950 ha), la steppe à armoise(38.254 ha), steppe à alfa(57657 ha), sols sableux(6074 ha) et les forêts denses(3483 ha) et claires(33642 ha), Une surface de 97183 ha ne change pas de la surface antérieure des céréalicultures, et une disparition des superficies qui transforme en 2.527 ha en forêts claires sous formes des reboisements, 31.729 ha en steppe à alfa sous forme des steppes protégées, 11.174 ha en maraichage, 32.048 ha en sol nu, 48.265 ha en sol sableux et 14.923 ha en Chott et Sebkha.

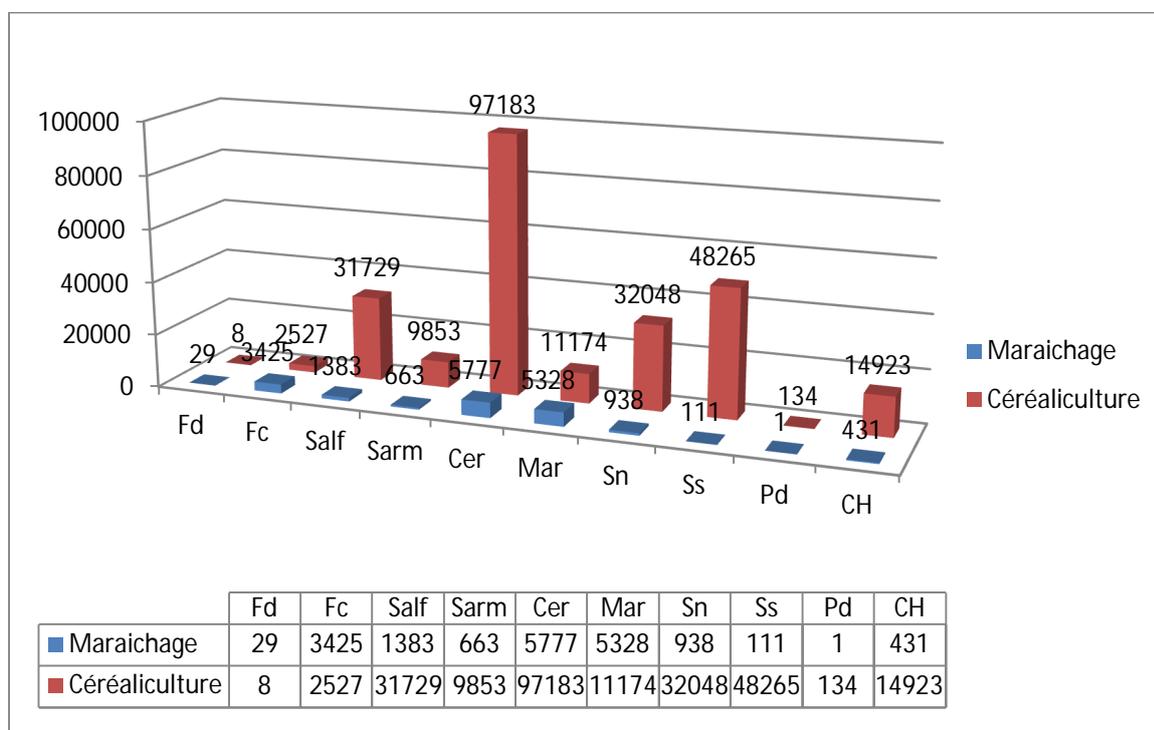


Figure 54 : Présentation de dynamique des changements de maraichage et de céréaliculture entre 1987-2013.

3.7.5. Unités des plans d'eau :

Une surface de 2 ha reste sans changement, une disparition des surface en forêt claire (18 ha), en steppe à alfa (1 ha), en céréaliculture (2 ha), en maraichage (19 ha) et en chott et sebkha (1 ha), des surface sont ajoutées de 61 ha en sol nu, 25 ha en steppe) armoise, 3 ha en steppe à alfa et de 134 ha en céréaliculture.

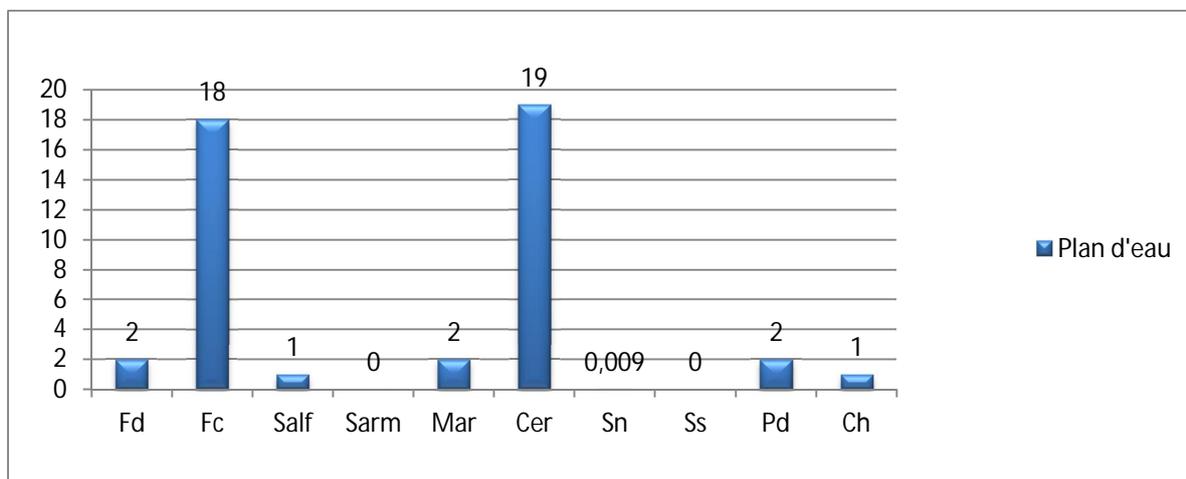


Figure 55 : Présentation de dynamique des changements de plans d'eau entre 1987-2013.

3.7.6. Unité de Chott et Sebkha :

L'unité de chott et sebkha connu une superficie de 1.685 ha sans changement et céder la place 12.786 ha pour les sols sableux et gagné une superficie de 14.923 ha de l'unité de céréaliculture

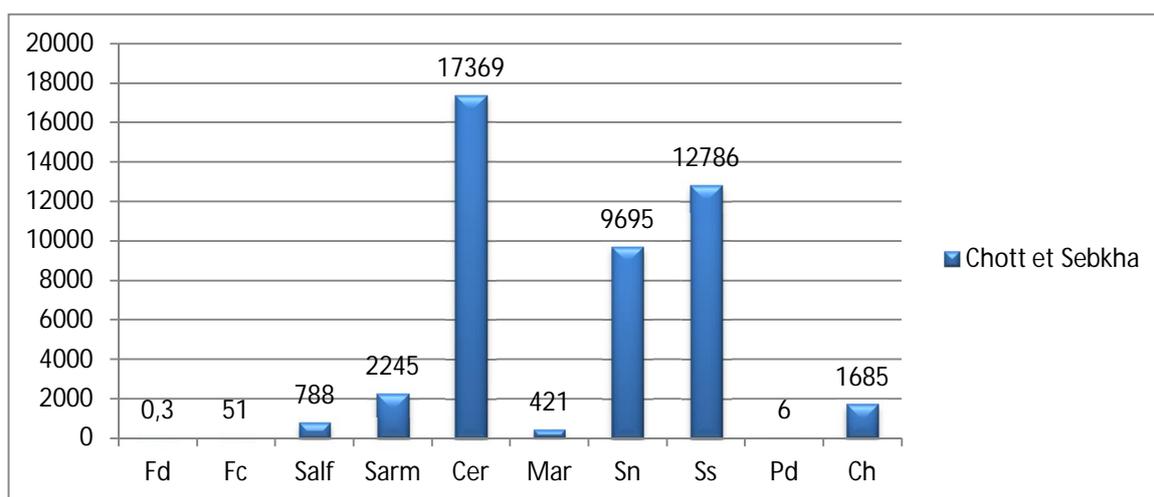


Figure 56 : présentation de dynamique des changements d'unité de chott et sebkha entre 1987-2013.

CONCLUSION :

L'analyse spatio-temporelle de l'occupation du sol entre les trois dates 1987,2000 et 2013 met en lumière les profondes transformations de notre environnement au cours du temps, cette analyse basée sur les résultats obtenus à partir de la classification supervisée des images satellitaires Landsat et l'extractions des changements détectés, nous avons constaté que les changements les plus importantes ont eu lieu dans la deuxième période entre (2000 – 2013), et qu'ils concernent essentiellement la régression de couvert forestier et les végétations steppiques et l'extension des terrains sableux et les sols nus. On constate aussi que la végétation steppique se développe à partir d'une végétation forestière par dégradation,

La dégradation qui touche la région des Aurès orientales est engendrée par les sécheresses successives et généralisées dans tout l'Algérie pendant les dernières années, et la surexploitation des terres par les interventions humaines.

Les issus des satellites d'observation de la terre par les caractéristiques radiométriques des terrains détectés dans les zones arides et semi-arides ont une grande importance dans le suivi quantitatif de la désertification par la quantification des zones dégradées et en voie de dégradation.

CHAPITRE :05

*UTILISATION DES INDICES DE
TÉLÉDÉTECTION DANS LE SUIVI
QUANTITIF DE LA DÉSERTIFICATION.*

L'une des principales applications de la télédétection dans la gestion de ressources de l'environnement et la prise de décision est la détection et l'évaluation quantitative de la végétation verte. Plusieurs auteurs ont utilisé les indices de la végétation et du sol pour analyser le changement de l'environnement en particulier dans le contexte de la sécheresse et de l'évaluation des risques de dégradation des terres.

L'objectif principal de ce chapitre est le suivi de la désertification lié à la dégradation des formations de la végétation et du sol dans une zone de transition entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas saharien au Sud. A travers les indices de végétation et du sol calculés par des opérations arithmétiques (soustraction, division, addition..) sur les différentes bandes spectrales.

Il existe de nombreux indices de végétation faisant intervenir les canaux rouge (R) et le proche infrarouge (PIR) ; les différents indices ont pour effet d'augmenter les contrastes au niveau du thème de la végétation chlorophyllienne et de réduire ceux des autres thèmes.

Les indices de végétation permettent d'évaluer certains paramètres du couvert végétal comme la biomasse, la capacité de photosynthèse des végétaux ou la teneur en eau, pour notre chapitre nous avons utilisé trois indices sont:

- L'indice normalisé de végétation (NDVI).
- L'indice de stress en humidité (MSI).
- L'indice normalisé de différence en eau (NDWI).

Le sol nu est bien plus complexe à analyser et plusieurs indices peuvent être élaborés selon la rugosité, la couleur, la composition, la brillance, parmi les différents indices de sol on utilise :

- L'indice de rougeur (IR).
- L'indice de brillance (IB).

1. Les indices de végétation :

1.1. L'indice normalisé de végétation (NDVI) :

Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est proposé pour la première fois par ROUSE et al. en 1973, le NDVI est l'indice le plus connu et le plus utilisé car il est simple, normalisé et ne requiert pas d'informations sur les paramètres du sol; il est efficace comme un indicateur du comportement de la végétation par sa relation avec l'activité chlorophyllienne.

Le NDVI est calculé à partir de la soustraction au canal Proche Infrarouge (la végétation a des fortes réflectance) le canal Rouge (les surfaces minérales ont des forte réflectance) selon la formule suivante:

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

Où :

PIR : Réflectance spectrale dans le canal Proche Infrarouge.

R : Réflectance spectrale dans le canal Rouge.

Comme NDVI est normalisé, les effets de l'angle d'illumination et de l'angle de vue sont réduits. La normalisation permet aussi de diminuer l'effet de la dégradation de la calibration des capteurs et de minimiser l'effet de la topographie (BANNARI *et al.* ,1995).

Le NDVI reste sensible à la géométrie de vue et d'illumination, plus spécialement dans les régions où la densité de végétation est faible et où la présence de sol est importante (BANNARI *et al.* ,1995). Le NDVI souffre aussi d'une rapide saturation en milieu de végétation dense et la contribution du sol en région de faible densité de végétation rend son interprétation douteuse. Son interprétation peut donc être biaisée dans les régions arides ou sujettes aux sécheresses.

Les valeurs de l'NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces occupées par les nuages, l'eau et la neige pour lesquelles a une réflectance plus élevée dans le rouge que dans le proche infrarouge, pour les roches et les sols nus les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proche de zéro (influence des minéraux par apport à l'activité chlorophyllienne).

Dans les surfaces occupées par les formations végétales, le NDVI ont des valeurs positives, généralement comprises entre 0,1 et 1, les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus dense où la réflectance est forte dans le proche infrarouge à cause de l'activité chlorophyllienne très forte des zones de forte densité de feuillage des plantes, et la réflectance des formations végétales dense est faible dans la longueur d'onde rouge, cette réflectance est représenté dans la figure suivante:

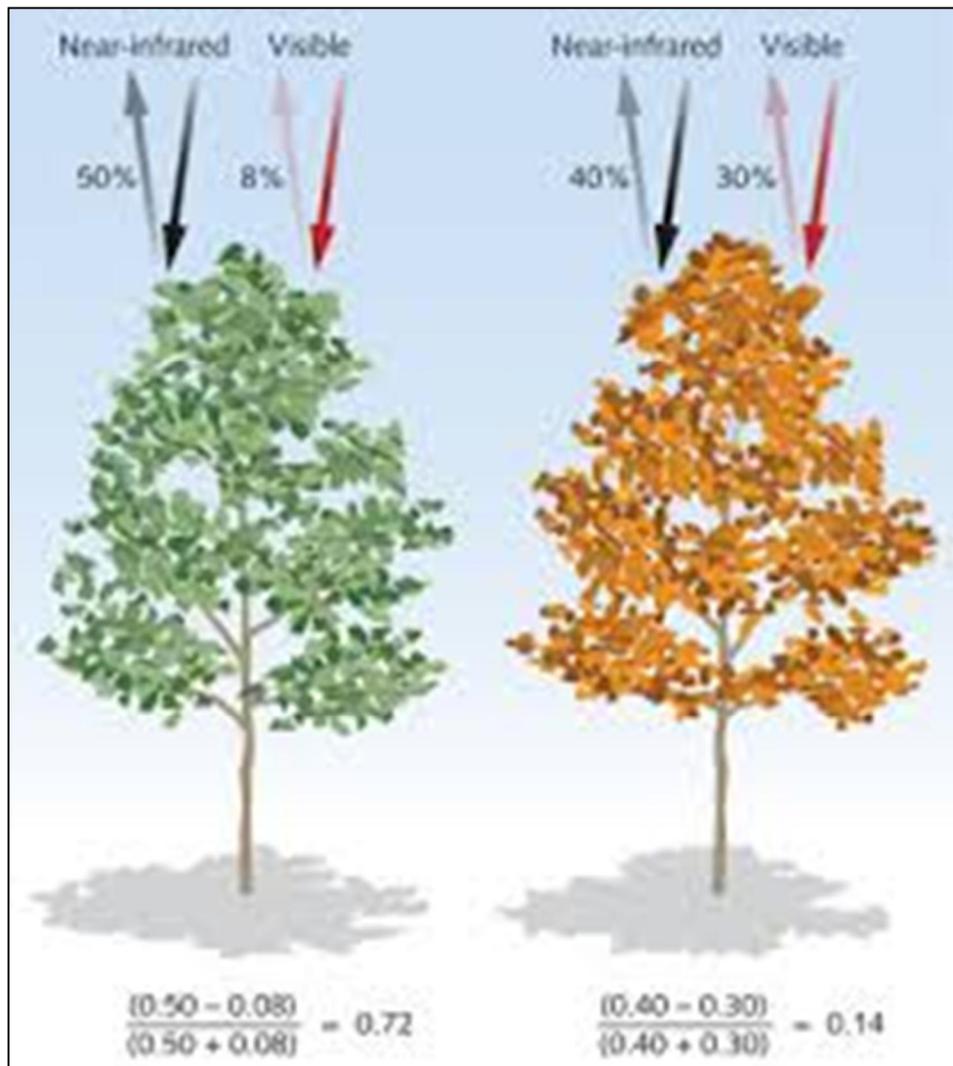


Figure 57 : Comportement de l'NDVI avec les feuilles vertes (Source : <http://www.encrypted-tbn2.gstatic.com>).

1.1.1. État d'indice de végétation pour l'année 2007 :

L'élaboration d'un indice de végétation pour l'année 2007 a permis de détecter des valeurs variables allant de -0,62 comme valeur minimale à 0,78 comme valeur maximale.

La reclassification de ces valeurs a permis de distinguer quatre classes allant de la classe très faible jusqu'à la classe forte, représentées sur le tableau 21.

Tableau 21: Classification des valeurs de l'NDVI 2007.

Les valeurs de l'NDVI	Les classes de l'NDVI	La superficie en ha	La superficie en %
-0,62 à 0	Très Faible	625.577 ha	44%
0 à 0,2	Faible	497.618 ha	35%
0,2 à 0,35	Moyenne	199.047 ha	14%
0,35 à 0,779	Forte	99.523 ha	7%

Le choix de cette classification permet de faire ressortir les principales formations végétales dans la zone d'étude, ainsi la classe forte correspond aux forêts denses

La classe moyenne correspond aux forêts claires.

La classe faible correspond aux végétations steppiques.

La classe très faible correspond aux végétations sahariennes.

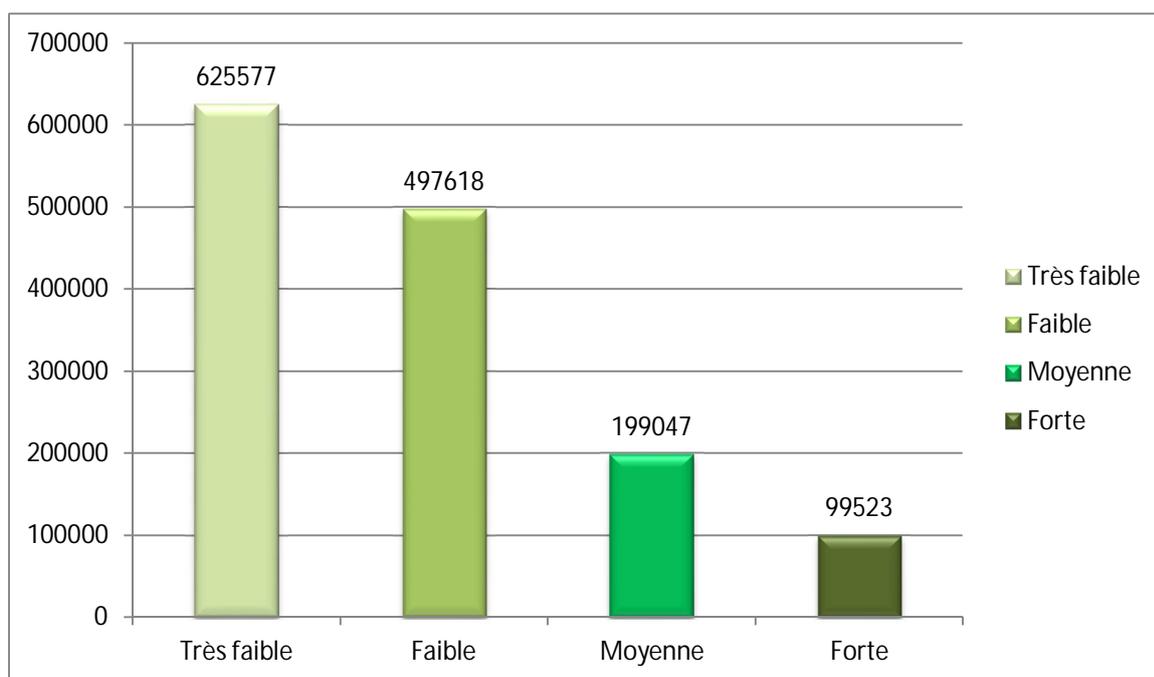


Figure 58: Histogramme représente les superficies des classes de l'NDVI par hectare pour l'année 2007.

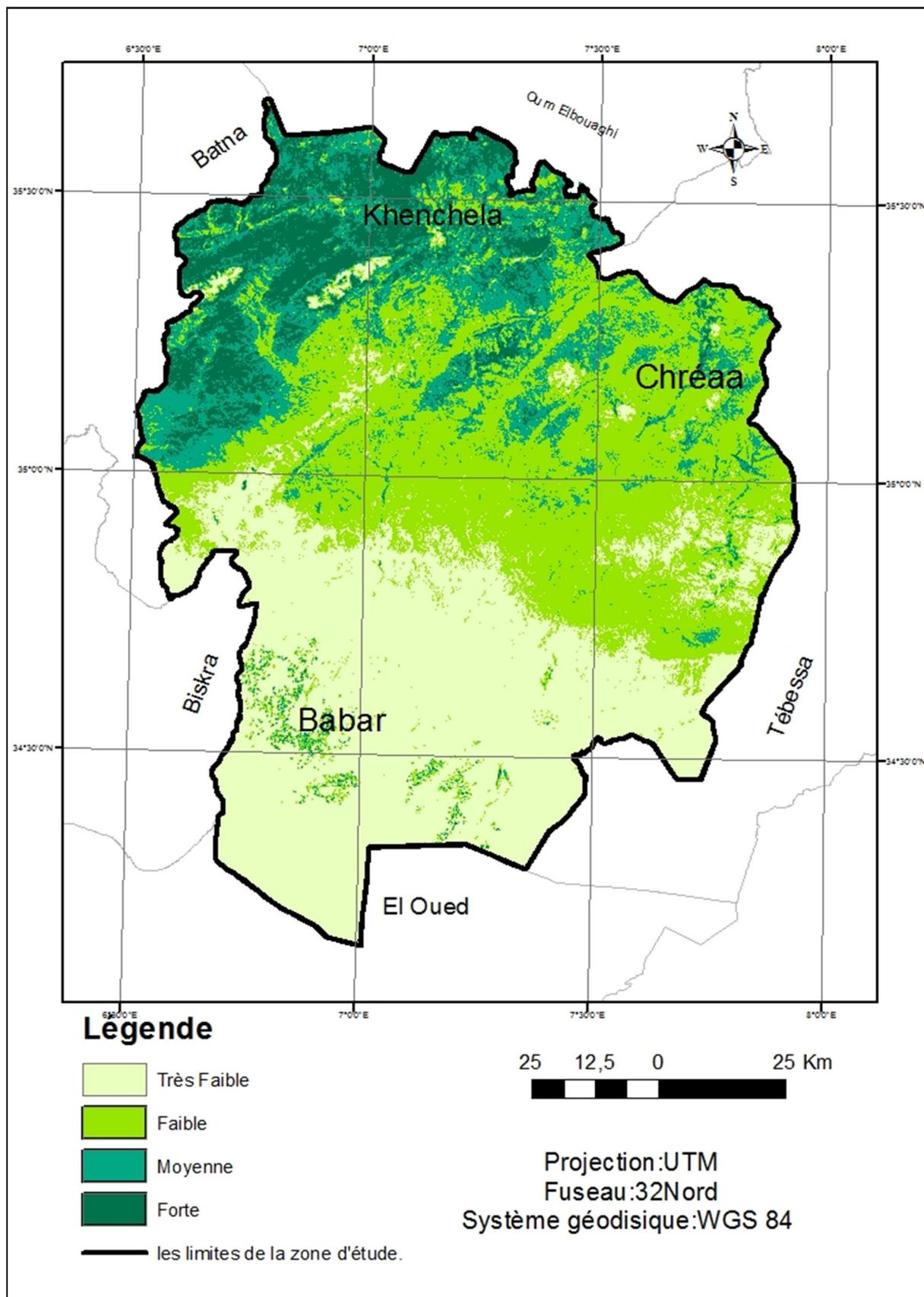


Figure 59 : Carte de l'NDVI pour l'année 2007

Les valeurs de l'NDVI réparties sur quatre classes dominées par la classe très faible qui représente 625.577 ha soit 44 % de la surface totale de la zone d'étude occupe le Sud de la zone d'étude distingue par l'absence total de la végétation, la classe faible s'étale sur une surface de 497.618 ha soit 35 % de la surface totale de la zone d'étude distingue par la présence d'une végétation steppique tels que l'Alfa et l'Armoise, la classe moyenne occupe une superficie de 199.047 ha soit 14% de la surface totale de la zone d'étude et la classe forte n'occupe que 7 % de la surface totale regroupe les pinèdes et les forêts dense de cèdre sur le massif des Aurès.

1.1.2. État d'indice de végétation pour l'année 2013:

L'indice de végétation établi pour l'année 2013 a enregistré des valeurs différentes de celle détectées pour l'année 2007, a savoir, la valeur minimale a enregistré une forte diminution jusqu'a -1 et la valeur maximale a enregistré une diminution insignifiante allant à 0,76.

Tableau 22 : Classification des valeurs de l'NDVI 2013.

Les valeurs de l'NDVI	Les classes de l'NDVI	La superficie en ha	La superficie en %
-1 à 0	Très Faible	952.584 ha	67%
0 à 0,2	Faible	270.135ha	19%
0,2 à 0,35	Moyenne	113.741 ha	08%
0,35 à 0,76	Forte	85.306ha	06%

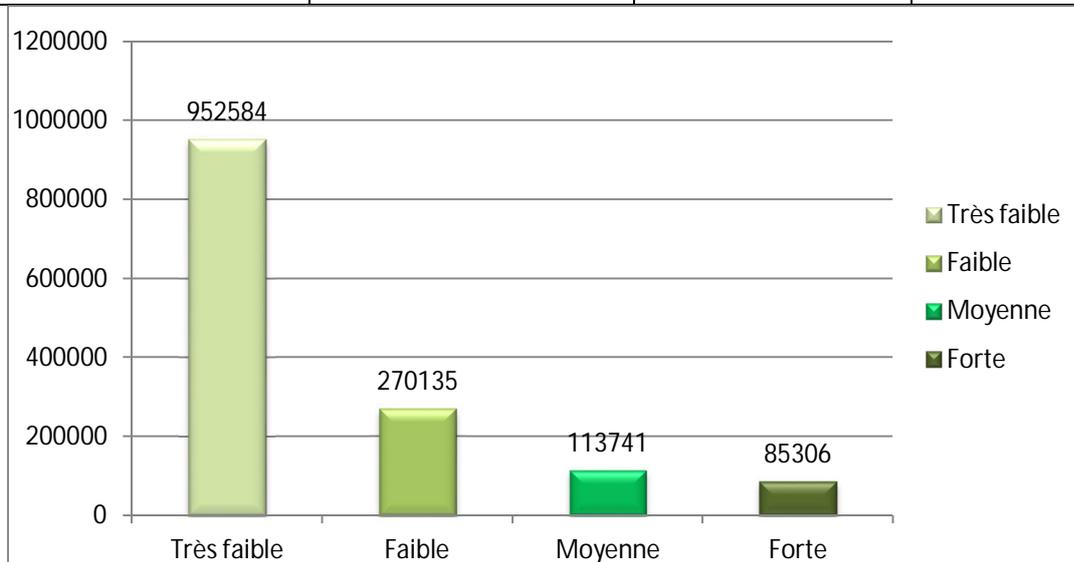


Figure 60: Histogramme représente la superficie des classes de l'NDVI par hectare pour l'année 2013.

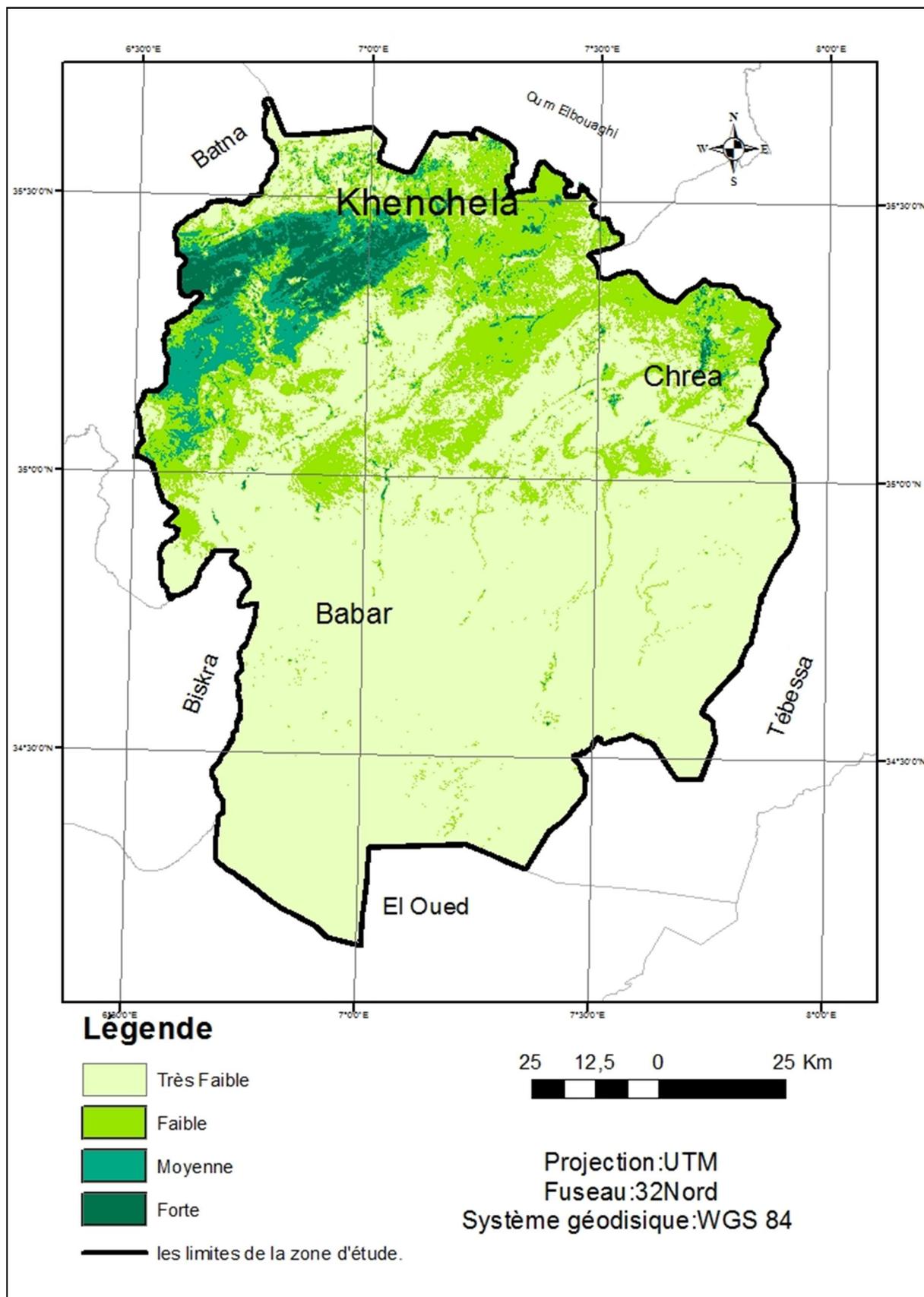


Figure 61 : Carte de l'NDVI pour l'année 2013.

De la première observation de la reclassification de l'NDVI de 2013, nous avons remarqué que les classe forte et moyenne a connu une diminution par rapport à l'NDVI de 2007, pendant les classes Faible et très faible a connu une augmentation considérable, la classe très faible augmente de 44 % en 2007 à 67 % en 2013 soit par une proportion de 23 % d'augmentation concernant la classe faible, cette augmentation touche la végétation steppique de Djebel Chachar et les Monts des Nemamecha, la classe faible connu une diminution de allant de 35 % en 2007 à 19 % à 2013 soit une superficie de 227483 ha remplacé par la classe très faible qui colonisent les surfaces steppiques touchées par les sécheresses récentes, la classe moyenne a subi à des diminution remarquables arrive à la moitié entre les deux dates, et la végétation forestière dense dans la classe forte connu une légère régression qui céder la place à la classe moyenne, la diminution de la classe forte revient à des cause climatique et les incendie qui touche la forêts de Beni Milloul en 2011.

1.1.3. Détection des changements entre 2007 et 2013 :

La détection de changement entre les deux carte de l'NDVI 2007 et 2013 a été établie par ARC GIS dans l'analyse spatiale qui nous donne une carte comporte des valeurs positives représente la diminution des valeurs de l'NDVI et des valeurs négatives concernant les surface qui ils ont des valeurs de l'NDVI augmentées, et la valeur 0 pour des surface reste sans changement.

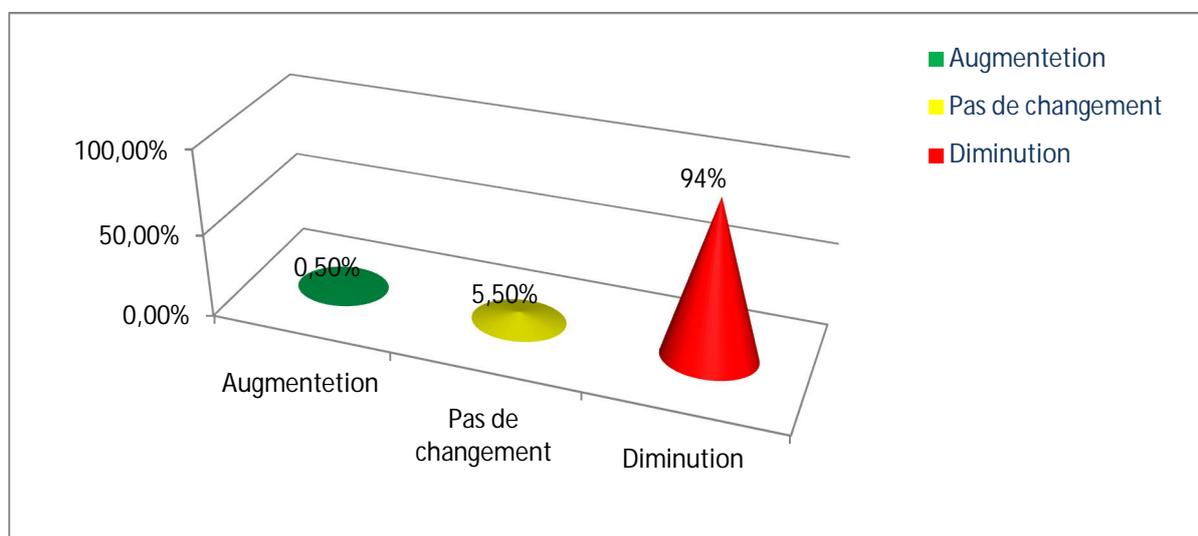


Figure 62 : Le changement de l'NDVI entre 2007 et 2013.

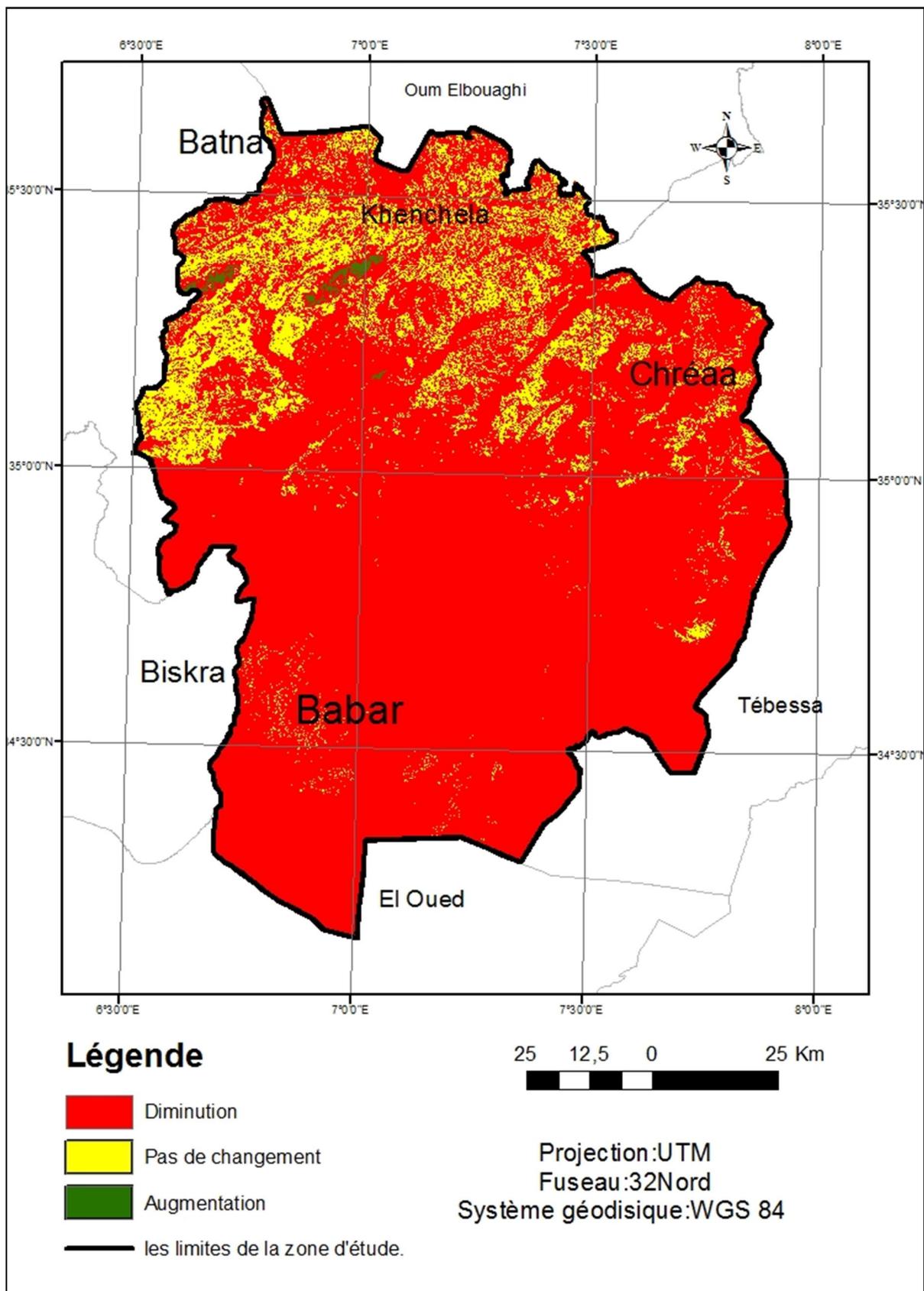


Figure 63 : Carte des changements détectés entre 2007 et 2013.

Le NDVI nous a permis de suivre l'évolution de la couverture végétale, l'image de détection de changement de l'NDVI entre 2007 et 2013 peuvent être visualisée en trois couleurs verte, jaune et rouge.

En verte : la couleur verte représente les zones où le NDVI a enregistré une évolution positive du couvert végétal (augmentation radiométrique), cette augmentation est bien représenté au niveau des reboisements de pin d'Alep.

En jaune : la couleur jaune indique l'espace où la dynamique de la végétation est restée constante sans changement (radiométrie constante), est représentée au niveau des forêts claires du massif des Aurès, d'un pourcentage de 5,5% de la surface totale.

En rouge : la couleur rouge est dominée sur 94 % de la surface totale de la zone d'étude, ces zones sont marquées par une dégradation de la couverture végétale (diminution de la radiométrie), cette régression des valeurs de l'NDVI entre les deux dates expliquées par les changements négatifs dans les précipitations et l'influence humaines au niveau des forêts et des parcours steppiques comme le pâturage et le défrichage.

1.2. L'indice de stresse en humidité (MSI) :

L'indice de stresses en humidité ou hydrique (MSI: Moisture stress index) utilisé par HUNT (1989), c'est une simple ration de l'infrarouge moyen et le proche infrarouge:

$$MSI = \frac{MIR}{PIR}$$

MIR: Réflectance spectrale dans le canal moyen Infrarouge.

PIR : Réflectance spectrale dans le canal proche infrarouge.

1.2.1.l'indice de stresse en humidité en 2007:

Les valeurs de l'indice de stresse en humidité pour Mars 2007 reclassées en trois classes faible, moyenne et forte, représenté sur le tableau suivant:

Tableau 23: Les différentes classes de l'MSI en 2007.

Type de classe	La superficie en hectare	la superficie en %
classe Forte	56.870 ha	04 %
Classe Moyenne	327.006 ha	23 %
Classe Faible	1.037.890 ha	73 %

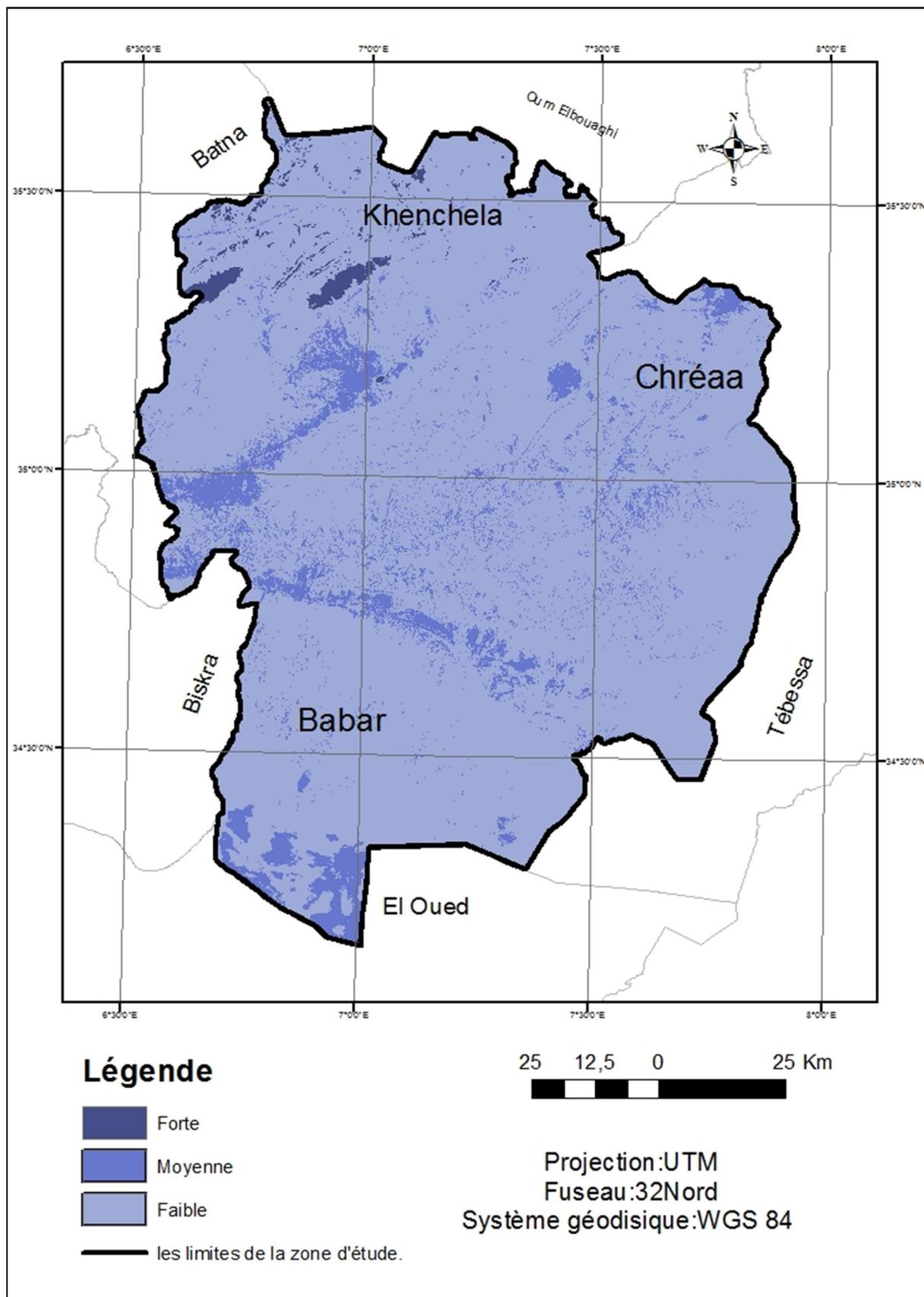


Figure 64 : Carte de l'MSI pour l'année 2007.

Le MSI est hautement corrélé au contenu en eau de la végétation et des sols et donc aux conditions de sécheresse. Le MSI est aussi fortement lié au NDVI (HUNT et al, 1987). Il est par contre peu sensible au changement hydrique. Un couvert végétal pleinement hydraté doit perdre 50% de son contenu relatif en eau pour que le MSI détecte cette différence. De la première observation de la carte de l'MSI en 2007 nous pouvons dire sans équivoque que la classe faible était la plus dominante dans la zone d'étude par 1037890 ha soit un pourcentage de 73 % et la classe forte occupe 56870 ha soit 4 % de la surface totale de la zone d'étude localisée sur les sommets de massif des Aurès.

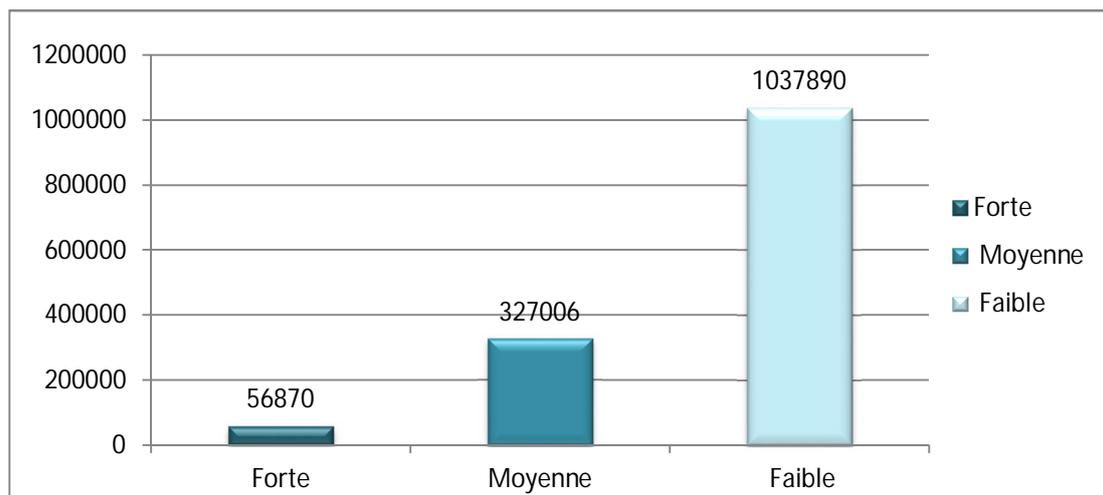


Figure 65: Histogramme représente les classes de l'MSI pour l'année 2007.

1.2.2. indice de stress en humidité en 2013 :

L'indice de stress en humidité pour l'année 2013 reclassé aussi en trois classes, repartis sur les mêmes intervalles de valeurs de l'MSI que les classes de 2007.

Tableau 24: les différentes classes de l'MSI pour l'année 2013.

Type de classe	La superficie en hectare	la superficie en %
Classe Forte	170.612 ha	12%
Classe Moyenne	19.904 ha	01 %
Classe Faible	1.231.251 ha	87 %

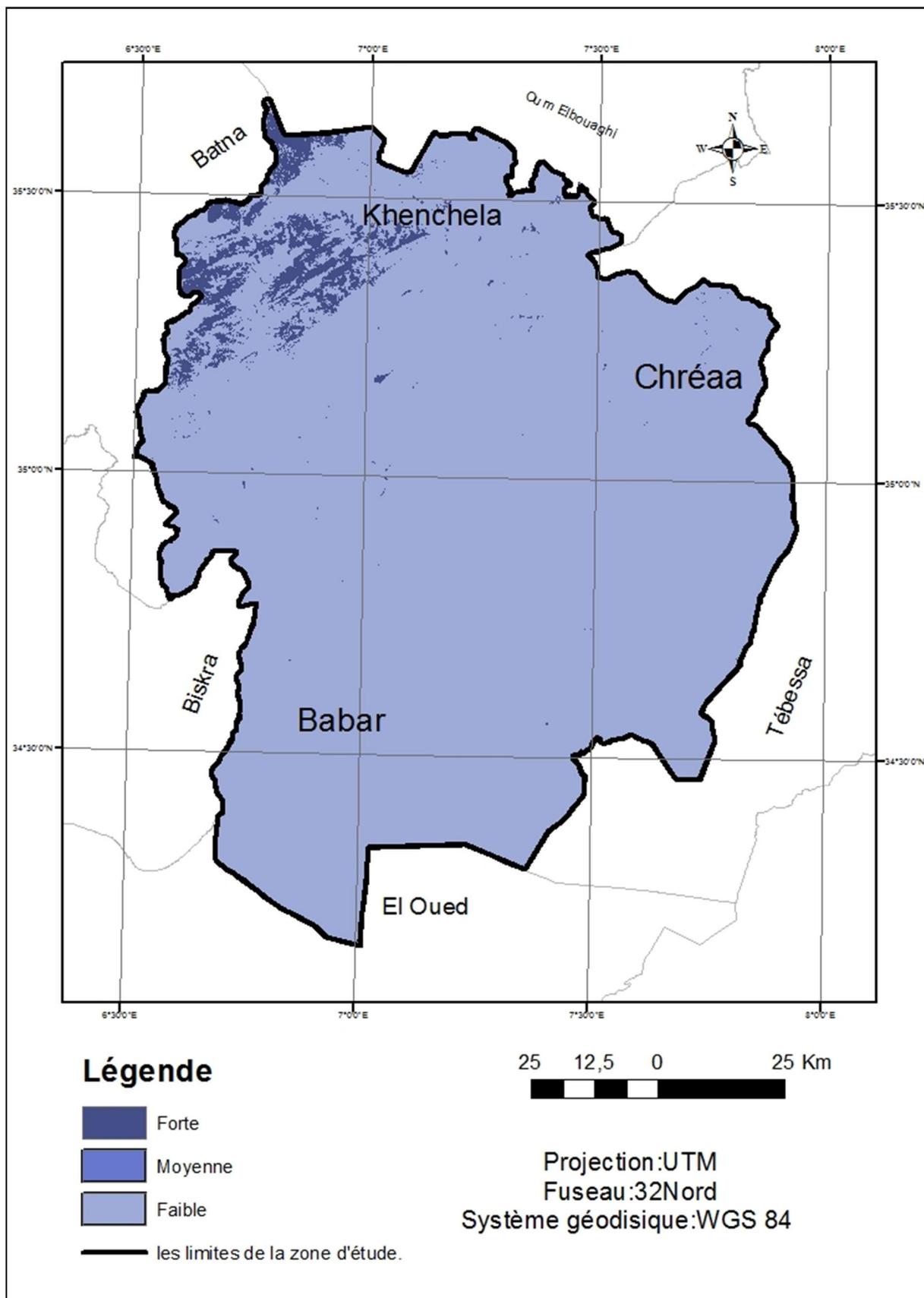


Figure 66 : Carte de l'MSI pour l'année 2013.

L'étendue des classes de l'MSI en 2013 a connu un changement spatiale par rapport à l'étendue des classe la carte de l'MSI de 2007 et enregistrée une diminution de la classe moyenne presque diminution totale de cette classe allant de 23 % en 2007 à 1 % en 2013, cette diminution a été observé dans plusieurs localité surtout à la vallée de Oued Alarab. et la classe forte enregistré une augmentation allant de 4 % en 2007 à 12 % en 2013 soit une augmentation de 113742 ha localisée sur le massif des Aurès et la pleine de Remila, la classe faible connu une augmentation allant de 73 % en 2007 à 87 % en 2013 récupérer la surface perdues par la classe moyenne.

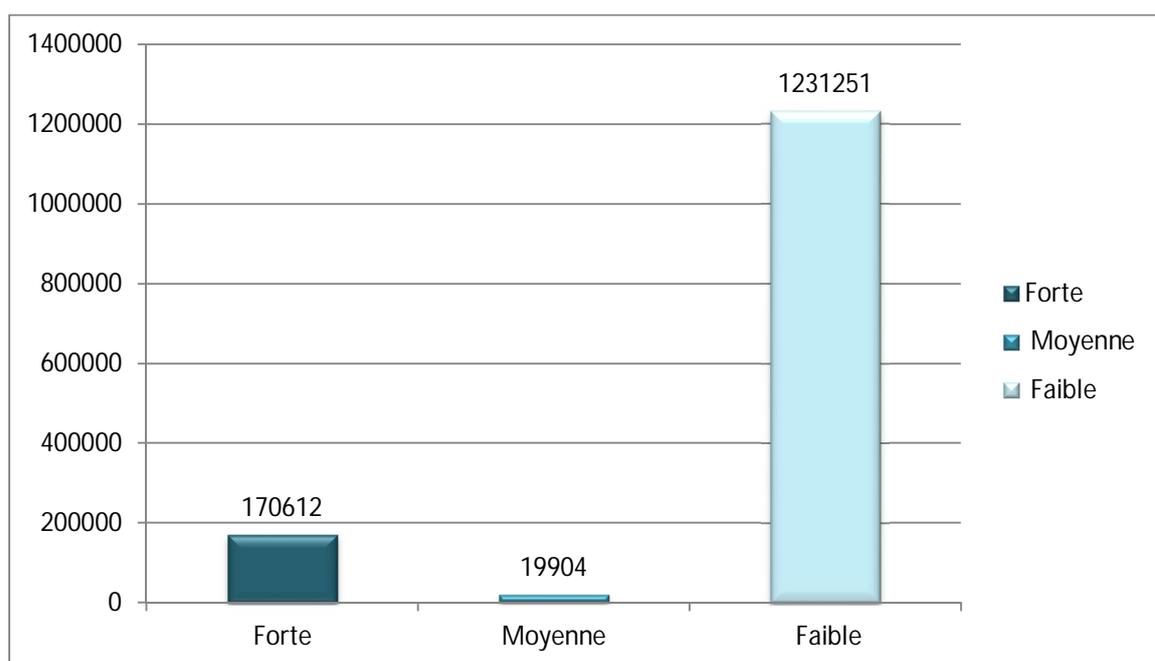


Figure 67 : Histogramme représenté les classes de l'MSI pour l'année 2013.

1.2.3. Les changements détectés de l'MSI entre 2007 et 2013 :

L'image de différence élaborée entre les deux dates 2007 et 2013, nous donne la carte des changements et le tableau (25) qui présente le pourcentage des surfaces qui enregistré une augmentation, une diminution et les surface reste sans changement.

Tableau 25: Les changements détectés pour l'MSI entre 2007 et 2013.

Type des changements	Superficie en hectare	Superficie en %
Augmentation	113741 ha	08%
Pas de changement	995237 ha	70 %
Diminution	312788 ha	22 %

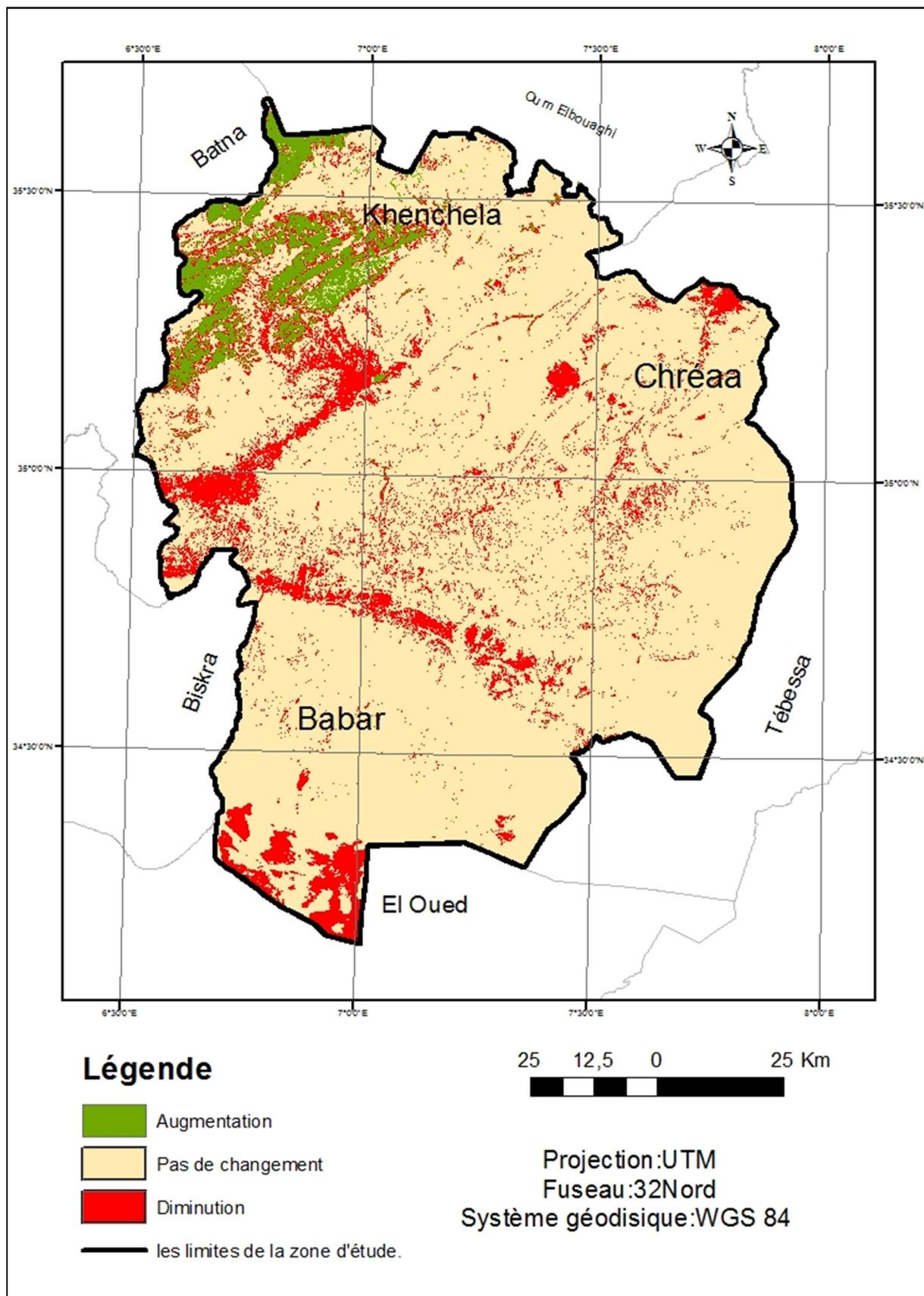


Figure 68 : Carte de changement détecté de l'MSI entre 2007 et 2013.

Le changement établi à travers les deux cartes de l'MSI de 2007 et 2013 connu les modifications suivantes :

L'augmentation a touché 8 % de la surface de la zone d'étude soit une surface de 113741 ha localisée au niveau de djebel Aourès et le massif de Chélia.

La diminution de l'MSI a touché 22 % de la surface totale de la zone d'étude soit une surface de 312788 ha au niveau de la vallée d'oued Al Arab, et le sud de la commune de Babar.

Les surfaces restes sont changement représentent 70 % de la surface totale de la zone d'étude soit une surface de 995237 ha dominée sur l'état de changement entre les deux dates.

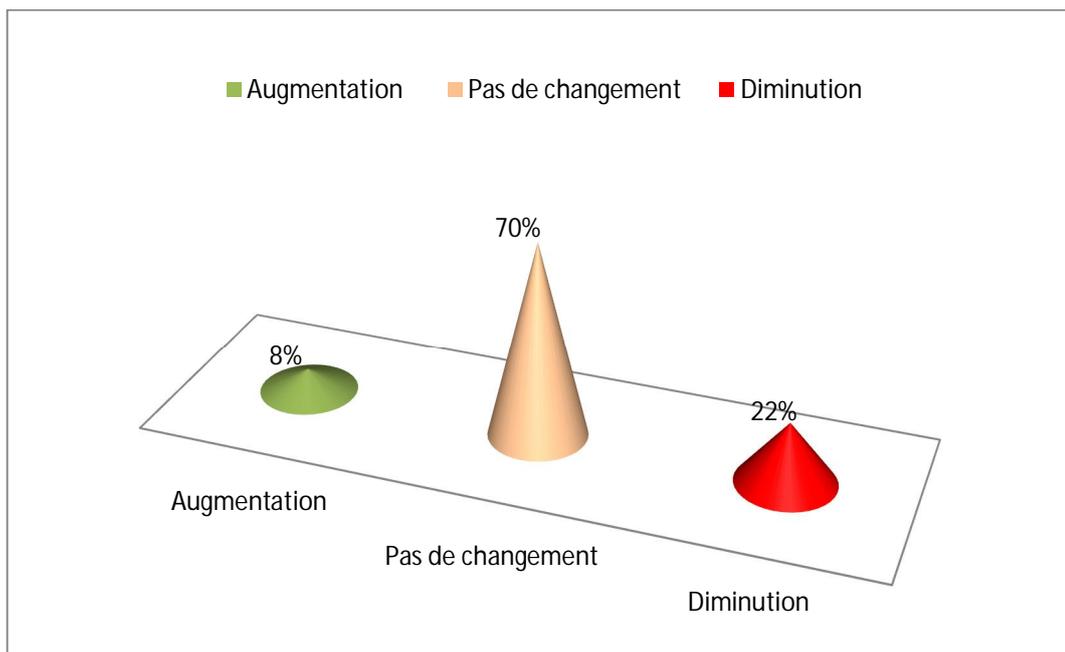


Figure 69 : Le changement de l'MSI entre 2007 et 2013.

1.3. L'indice normalisé de différence en eau (NDWI):

Pour la détection de l'eau contenue dans la végétation. HARDISKY proposé en 1983 un indice appelé Indice normalisé de la différence d'infrarouge (NDII- Normalized Difference Infrared Index) pour Landsat TM (JACKSON et al, 1991).

L'indice normalisé de différence en eau (NDWI: Normalized Water Difference Index) proposé par Gao en 1996, il calculé comme suit :

$$NDWI = \frac{PIR - MIR}{PIR + MIR}$$

MIR: Réflectance spectrale dans le canal moyen Infrarouge.

PIR : Réflectance spectrale dans le canal proche infrarouge.

Les auteurs ont conclu que la bande MIR était critique afin d'estimer le contenu en eau de la végétation et que le proche-infrarouge était nécessaire afin de rendre compte des variations de la structure interne des feuilles et du contenu en matière sèche. Selon JACKSON *et al.* (1991), SECCATO *et al.* (2002a, b).

Plusieurs autres auteurs ont conclu que les indices impliquant les bandes MIR et PIR sont sensibles à la masse volumique de l'eau dans la végétation mais pas à au contenu relatif (pourcentage) d'eau dans la végétation. Cependant, contrairement au NDVI, cet indice ne sature pas, lorsque l'indice de surface foliaire (LAI) atteint un niveau intermédiaire.

1.3.1. NDWI en 2007:

L'NDWI élaboré pour le 17 mars 2007a permis de détecté des valeurs allant de la valeur minimale -0,48 à la valeur maximale 0,91.

Les résultats obtenus à travers la reclassification des valeurs de l'NDWI sont représentés dans le tableau suivant:

Tableau 26 : Les différentes classes de l'NDWI pour l'année 2007.

La valeur des pixels	Types de classe	Superficie en hectare	Superficie en %
-0,48 à 0	Classe Faible	895.713 ha	63 %
0 à 0,30	Classe Moyenne	369.659 ha	26 %
0,30 à 0,91	Classe Forte	156.394 ha	11 %

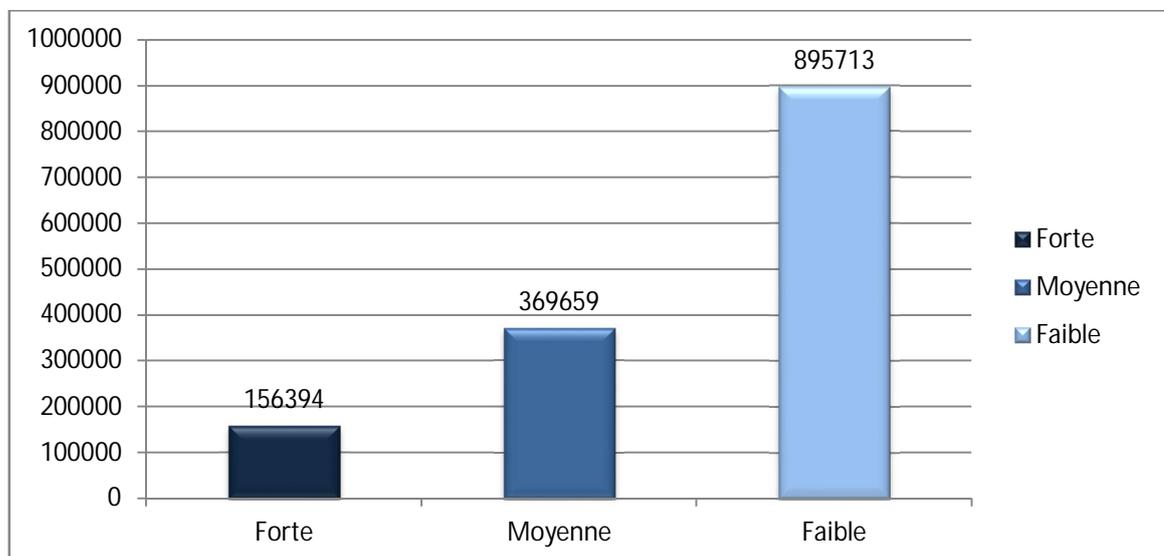


Figure 70 : Histogramme représenté les classes de l'NDWI pour l'année 2013.

1.3.2. NDWI en 2013:

La reclassification des valeurs des pixels étendue entre -0,69 et 0,51 nous permet de dire que les valeurs enregistrées une régression surtout pour la classe faible.

Tableau 27 : Les différentes classes de l'NDWI pour l'année 2013.

La valeur des pixels	Types de classe	Superficie en hectare	Superficie en %
-0,69 à 0	Classe Faible	1.023.672 ha	72 %
0 à 0,30	Classe Moyenne	213.265 ha	15 %
0,30 à 0,51	Classe Forte	184.829 ha	13 %

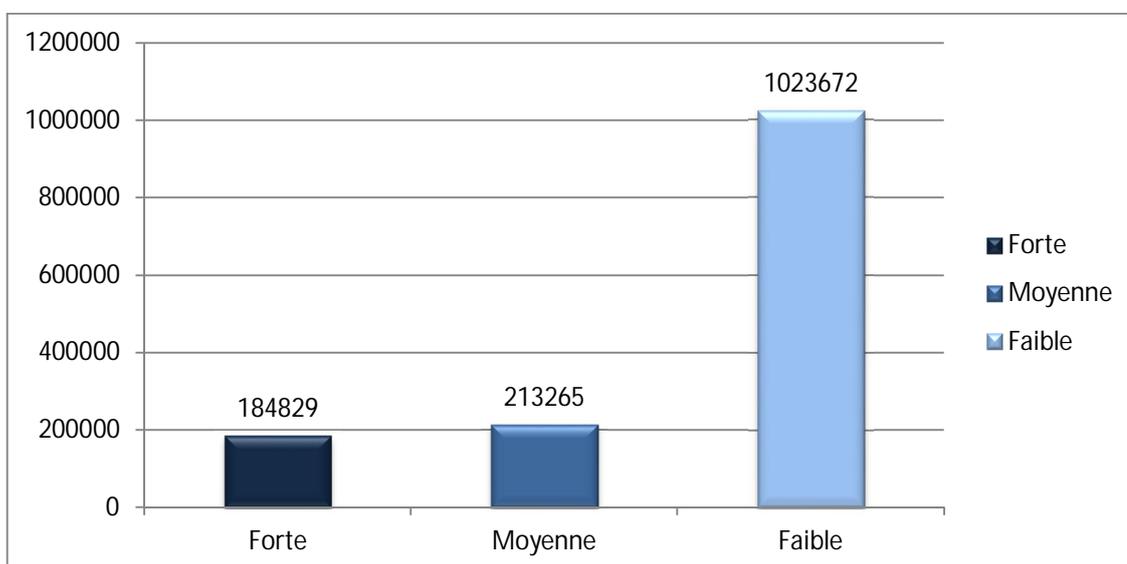


Figure 71 : histogramme représente les classes de l'NDWI pour l'année 2013.

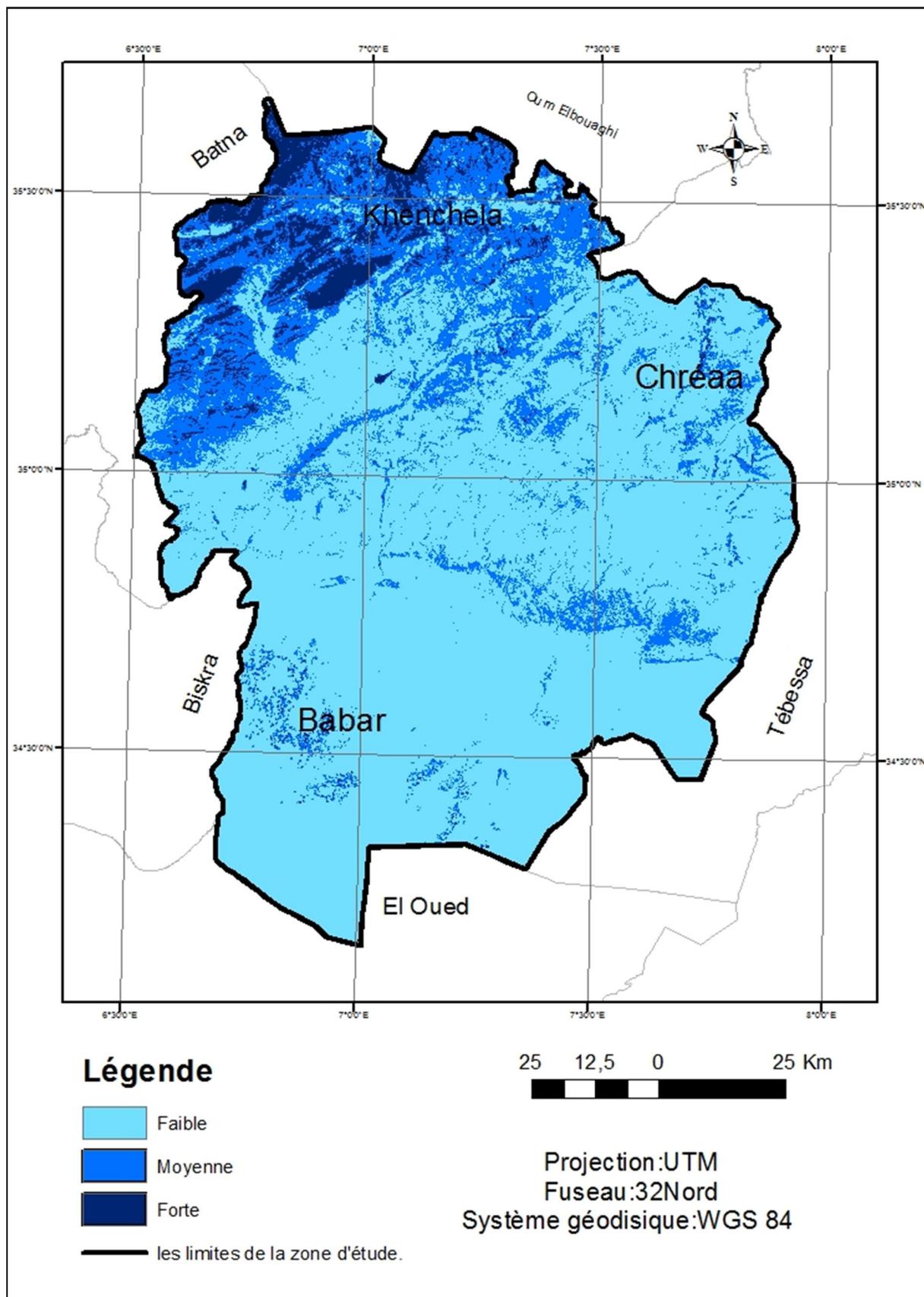


Figure 72 : Carte de l'NDWI pour l'année 2007.

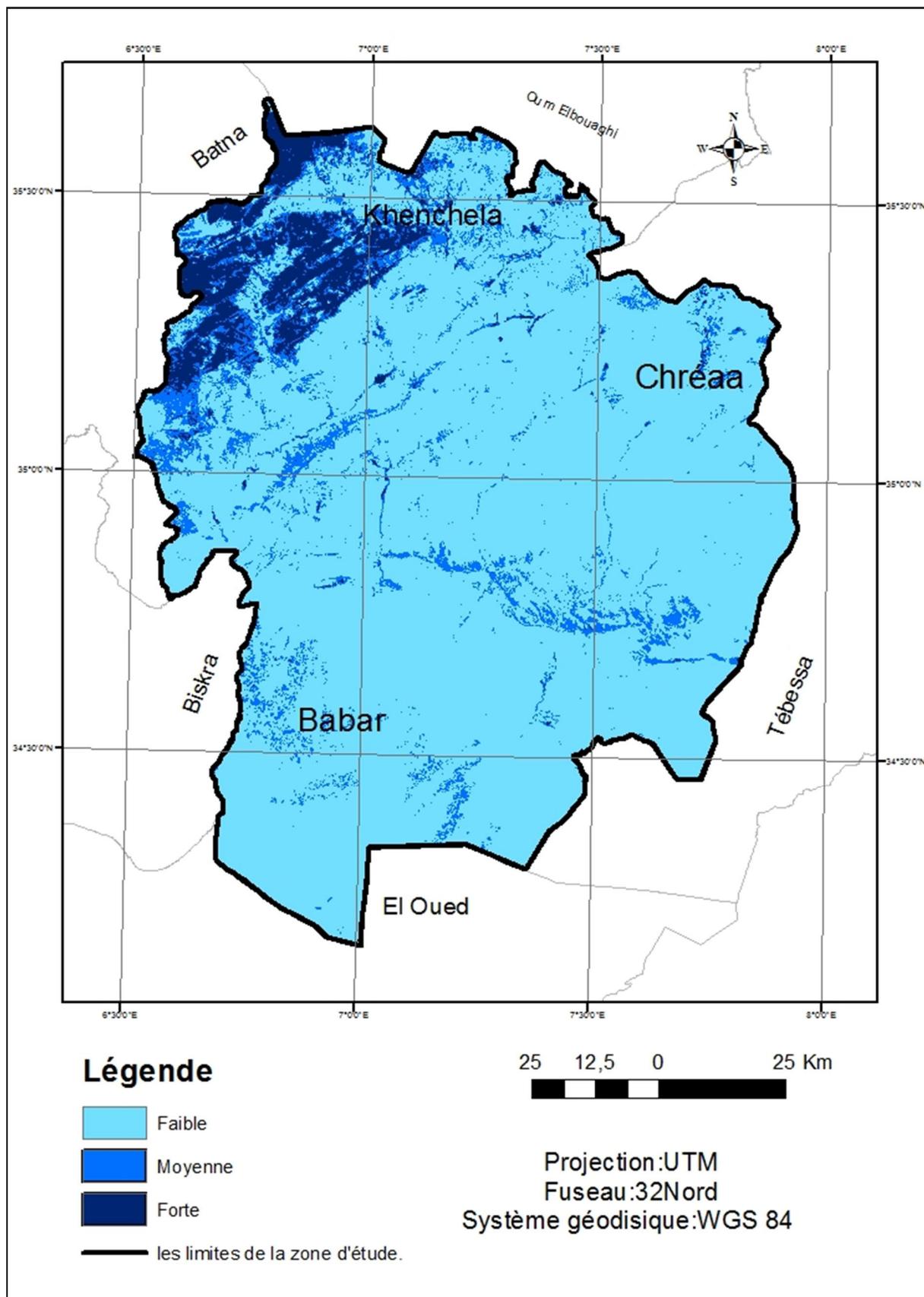


Figure 73 : Carte de l'NDWI pour l'année 2013.

D'après l'analyse diachronique des résultats des valeurs de l'NDWI entre 2007 et 2013 et la répartition spatiales des classes de l'NDWI dans les cartes de l'NDWI en 2007 et 2013, nous pouvons dire que les changements des valeurs de l'NDWI sont semblables à les étendues des valeurs de l'NDVI pour les deux dates, la classe faible connu augmentation allant de 63 % en 2007 à 72 % en 2013, et la classe moyenne perdue une superficie de 156394 ha.

2. Les indices du sol :

2.1. L'indice de Rougeur (IR):

L'indice de rougeur ou Redness index (RI), il constitue un des indices les plus utilisés en télédétection pour analyser les signatures spectrales des sols, cet indice est fonction de la couleur des surfaces, c'est à dire elle plus rouge que verte, il est surtout plus sensible à la présence des matériaux de couleur rouge dans le sol, il traduit la présence d'oxyde de fer dans le sol.

L'indice de rougeur a été appliqué avec succès dans la discrimination de la surface des sols en zone aride (Escadafal et Pouget 1989, il cependant bien qu'il exprime clairement le niveau de dégradation des sols, il est indépendant du type de végétation et de son abondance.

L'indice de rougeur a été récemment développé par Escadafal et Heute (1991), qui s'exprime comme suit :

$$RI = \frac{R - V}{R + V}$$

R : Réflectance spectrale dans le canal rouge.

V : Réflectance spectrale dans le canal vert.

2.1.1. L'indice de rougeur en 2007 :

L'IR comme les indices de végétation comporte des valeurs de pixels qui se situent entre -1 et 1, l'IR pour l'année 2007 a permis de détecter des valeurs variables allant de -0,23 à 0,59, la reclassification de ces valeurs a permis de distinguer quatre classes.

Tableau 28: classification des valeurs de l'IR 2007.

Les valeurs de l'IR	Les classes de l'IR	La superficie en ha	La superficie en %
-0,23 à 0	Faible	127.959 ha	09%
0 à 0,15	Moyenne	327.006ha	23%
0,2 à 0,30	Forte	440.748 ha	31%
0,30 à 0,59	Très Forte	526.054 ha	37%

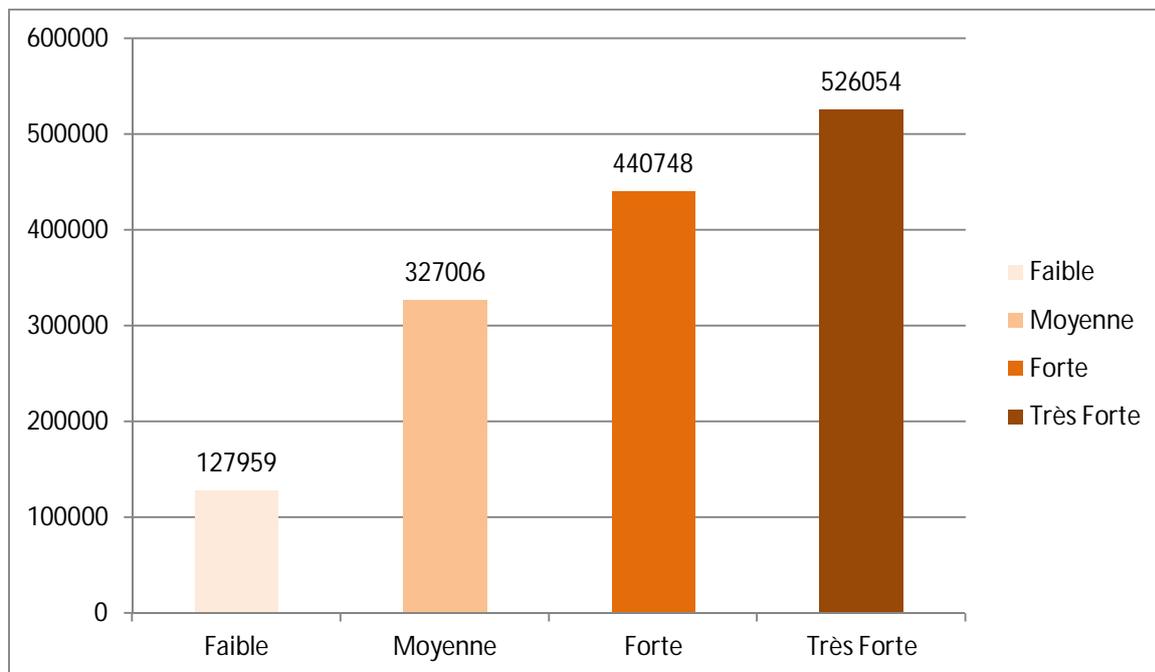


Figure 74 : représentation graphique des classes de l'IR pour l'année 2007.

Le choix de cette classification consiste à démontrer les principaux degrés de dégradation des sols, allant de la classe faible jusqu' à la classe très forte, où les valeurs faibles indiquent la végétation, les eaux, et les valeurs forte indiquent les sols salés et le sable.

Cependant, nous devons signaler que l'humidité du sol peut également favoriser l'augmentation de valeurs des pixels d'autant que l'image de 2007 a été acquise après une bonne saison des pluies alors que l'image de 2013 a été acquise en été.

La classe faible représente les surface où les sols sont conservés au niveau de massif des Aurès, qui caractérisé par une texture cohérente.

La classe moyenne correspondante aux surfaces limitrophes de la classe faible, caractérisés par un sol profond.

La classe forte correspondante les surfaces steppiques qui enregistrées une dégradation des sols causé par le surpâturage.

La classe très forte correspondant aux sols très dégradés distingue par des terres irréversibles dont le sable est dominé sur la composition des sols.

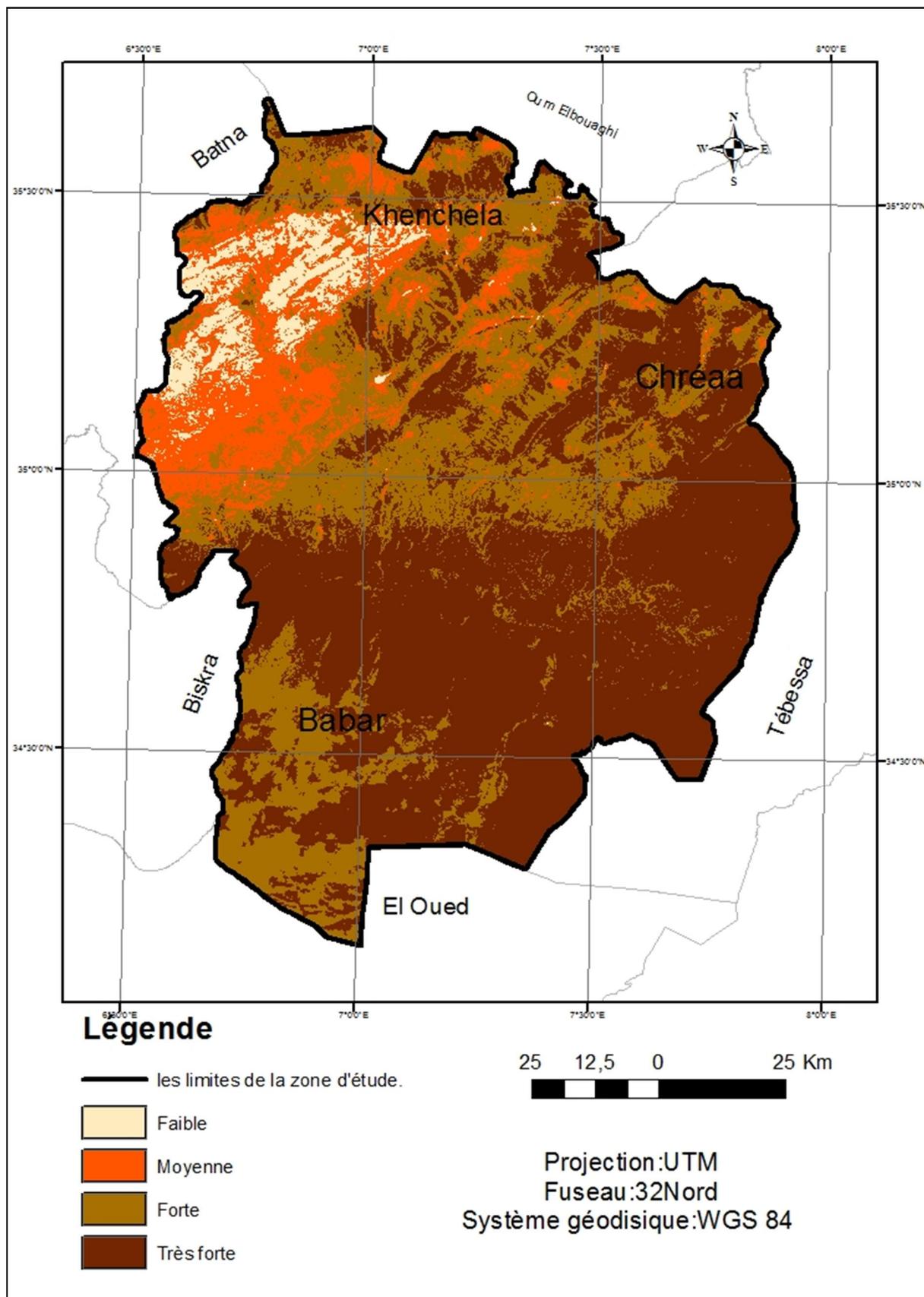


Figure 75 : Carte de l'indice de rougeur pour l'année 2007.

2.1.2. L'indice de rougeur en 2013:

L'indice de rougeur établi pour l'année 2013 a enregistré des valeurs différentes de celles détecté pour la date précédente, à savoir la valeur minimale n'était que -0,11 et la valeur maximale a enregistré une augmentation à 0,64.

Tableau 29 : les différentes classes de l'IR en 2013.

Les valeurs de l'IR	Les classes de l'IR	La superficie en ha	La superficie en %
-0,11 à 0	Faible	113741 ha	8%
0 à 0,15	Moyenne	270135ha	19%
0,2 à 0,30	Forte	426530 ha	30 %
0,35 à 0,64	Très Forte	611360 ha	43%

La reclassification des valeurs de l'indice de rougeur en 2013 nous permet de dire que l'étendue des classes n'ont pas été réparties de la même façon en 2007, où la classe forte connu une extension et gagné du surface de la classe moyenne.

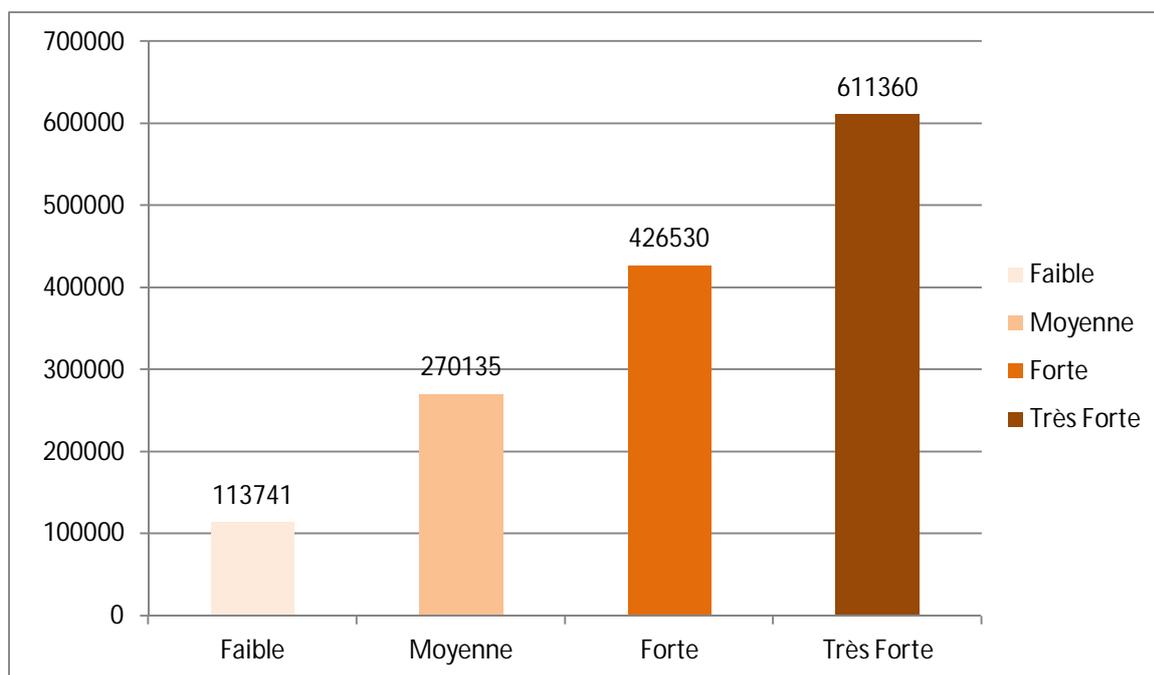


Figure 76 : Histogramme représente les classes de l'IR en 2013.

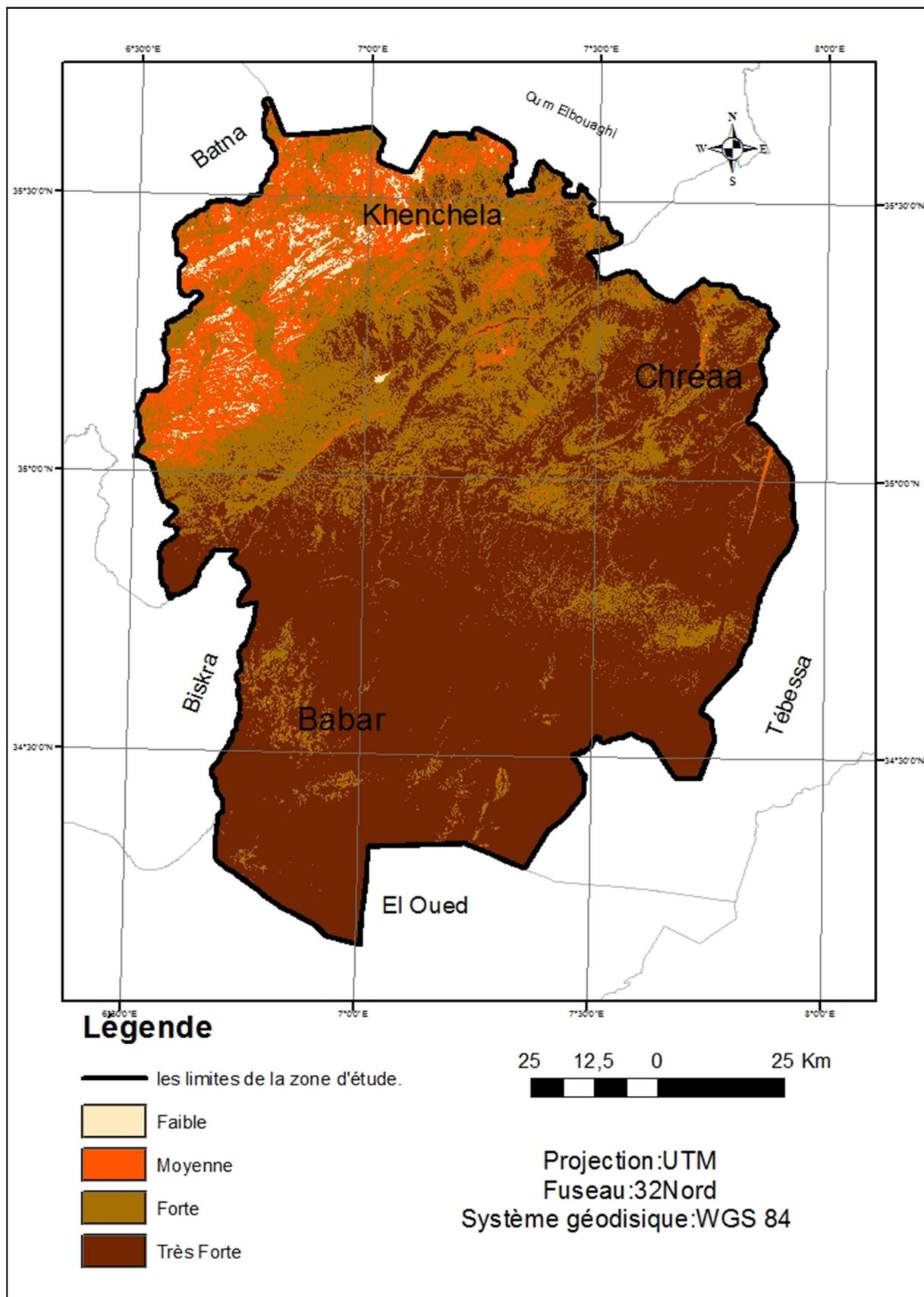


Figure 77 : carte de l'indice de rougeur pour l'année 2013.

Les pixels de l'image de l'indice de rougeurs a enregistré une augmentation dans les valeurs numériques de cet indice cette augmentation qui influe sur l'étendue des classes de l'IR, a savoir que les étendues des classes en 2013 n'ont pas été réparties de la même façon en 2007. La classe faible a connu une diminution allant de 1 % par rapport au Mars 2007, la classe moyenne a subi à de diminution allant 23 % en 2007 à 19 % en 2013 et la classe plus forte qui comprise des valeurs entre 0,2 et 0.3 était la plus dominante qui occupe 43 % de la surface totale de la zone d'étude soit une surface de 611360 ha en 2013.

2.1.3. Détection de changement de l'IR entre 2007 et 2013 :

L'application de l'indice de rougeur différentiel entre les deux dates étudiées a montré l'évolution temporelle et spatiale de cet indice

Tableau 30 : Le changement détecté de l'IR entre 2007 et 2013.

Le changement	Superficie en ha	Superficie en %
Diminution	12.795 ha	01%
Pas de changement	170.612 ha	12%
Augmentation	1.236.938 ha	87 %

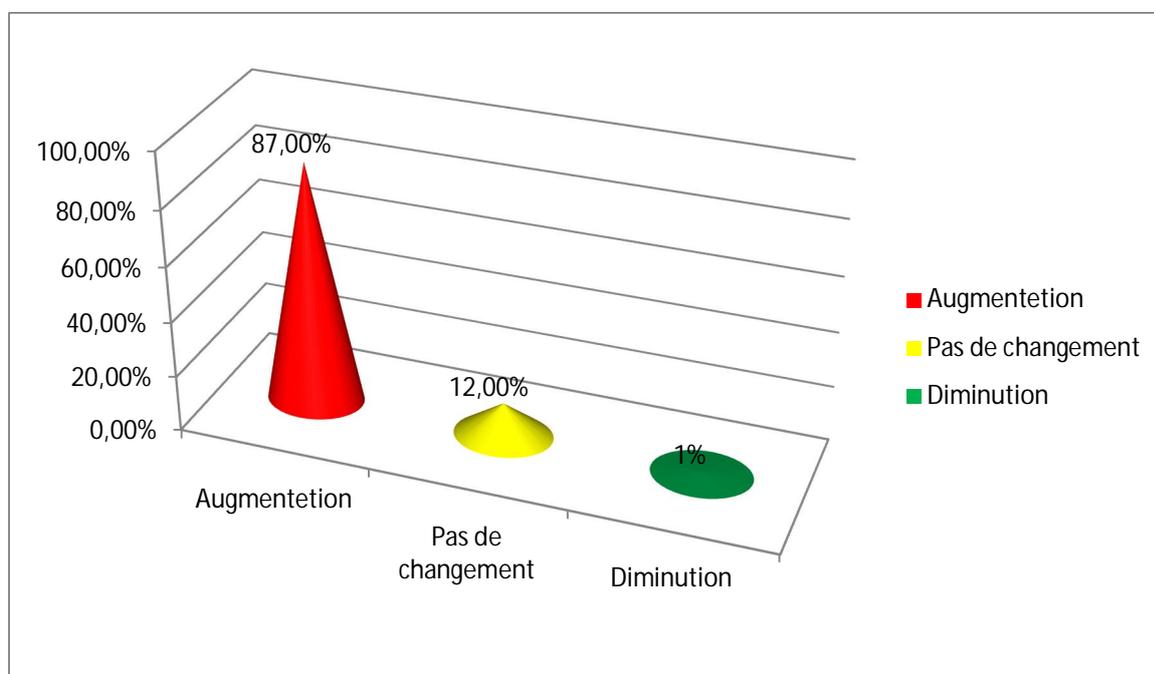


Figure 78 : Le changement de l'IR entre 2007 et 2013.

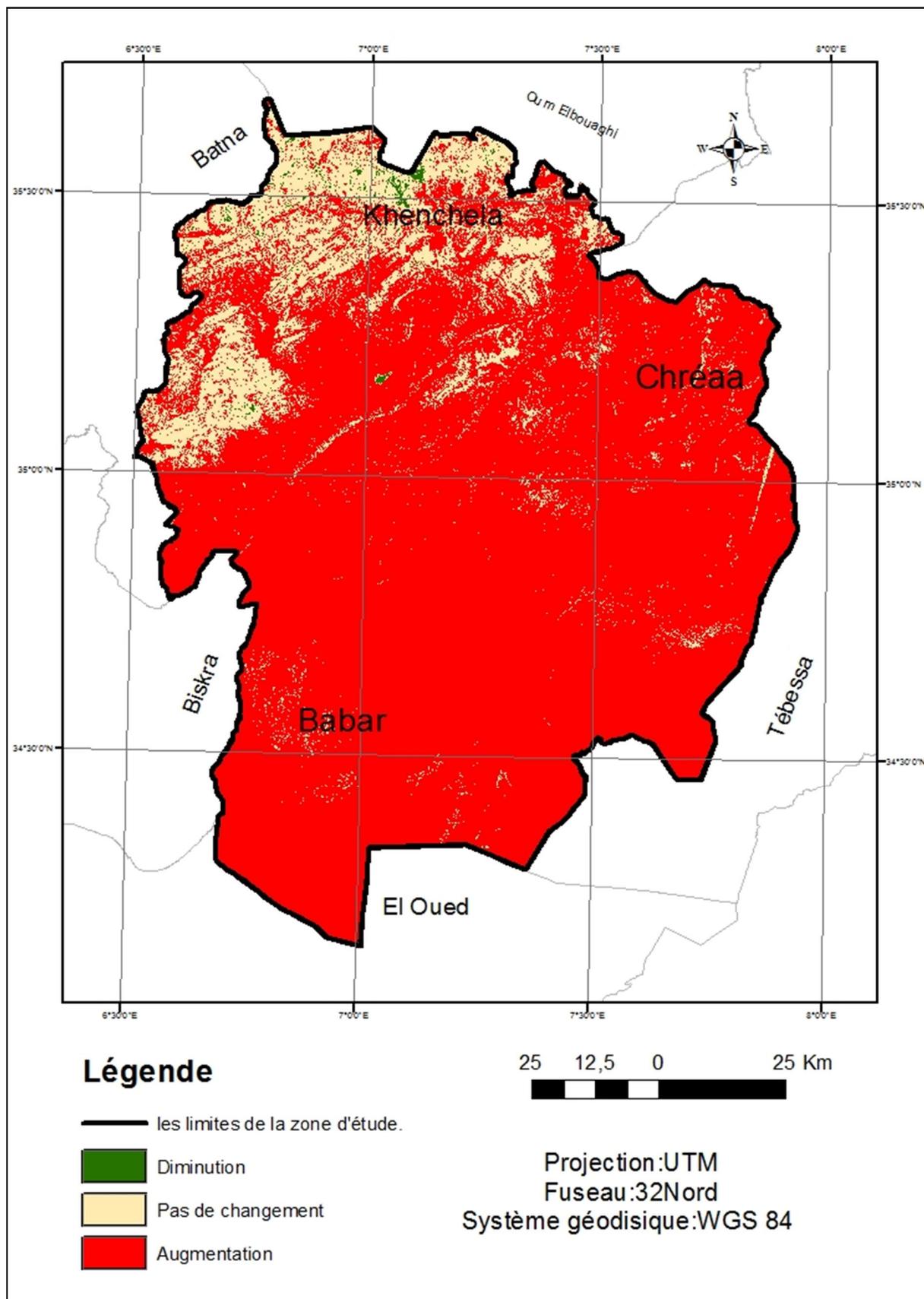


Figure 79 : Carte de changement détecté de l'indice de rougeur entre 2007 et 2013.

Le changement détecté de l'IR entre 2007 et 2013 est distingué par trois types de changement : augmentation, diminution et pas de changement.

L'augmentation a touché la majorité de la surface de la zone d'étude notamment les zones localisées au Sud de la zone d'étude, d'une proportion de 87 %, soit d'une surface de 1236938 ha, et les surfaces recouvertes par la végétation ont connu une stabilité dans les valeurs des pixels, car l'indice de rougeur n'a pas une relation avec la végétation.

2.2. L'indice de brillance (IB) :

L'indice de brillance donne la tendance générale de la courbe de réflectance du sol, si elle a des valeurs fortes ou des valeurs faibles, il est donc sensible au type de sol et à la végétation qui se développe dessus.

Cet indice traduit les changements de teintes des sols nus et des roches, le passage des teintes sombres aux teintes claires s'accompagne d'une augmentation simultanée des valeurs radiométriques dans les canaux rouge et proche infrarouge, cet axe communément appelé droite des sols, sera représenté physiquement par l'indice de brillance suivant la formule suivante:

$$IB = \sqrt{(PIR^2 + R^2)}.$$

PIR : Réflectance spectrale dans le canal Proche Infrarouge.

R : Réflectance spectrale dans le canal Rouge.

2.2.1. L'indice de brillance en 2007:

la reclassification des valeurs de l'indice de brillance du 17 mars 2007 a permis de distinguer quatre classes : faible représente 26 % de la surface totale de la zone d'étude, qui occupe le massif de Chélia et Djebel Fraoun, la classe moyenne occupe 32% et repose sur les zones montagneuses de l'Aurès, et la classe forte au niveau des Monts de Nemamecha, et la classe très forte d'une surface de 156394 (11%) localisée sur la zone saharienne à texture sableuse.

Tableau 31: Les différentes classes de l'indice de brillance pour l'année 2007.

Les valeurs de l'IB	Les classes de l'IB	La superficie en ha	La superficie en %
16 à 80	Faible	369.659 ha	26%
80 à 160	Moyenne	454.965 ha	32%
160 à 240	Forte	440.748 ha	31%
240 à 354	Très Forte	156.394 ha	11%

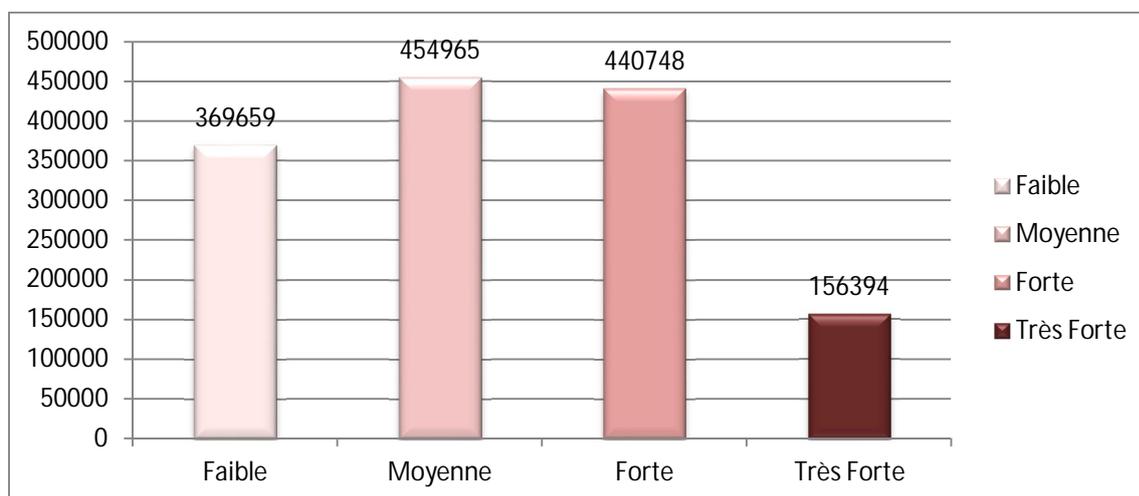


Figure 80 : Histogramme représente les classes de l'IB pour l'année 2007.

2..2. L'indice de brillance en 2013:

A travers de l'analyse de la reclassification des valeurs de l'IB pour l'année 2013, nous pouvons dire que la zone a subi des changements, où la classe forte dans 2007 a été remplacée par la classe très forte en 2013, et la classe moyenne en 2007 a été remplacée par la classe forte en 2013.

Tableau 32 : les différentes classes de l'IB en 2013.

Les valeurs de l'IB	Les classes de l'IB	La superficie en ha	La superficie en %
30 à 80	Faible	142.176 ha	10%
80 à 160	Moyenne	298.571 ha	21%
160 à 240	Forte	398.095 ha	28%
240 à 360	Très Forte	582.924 ha	41%

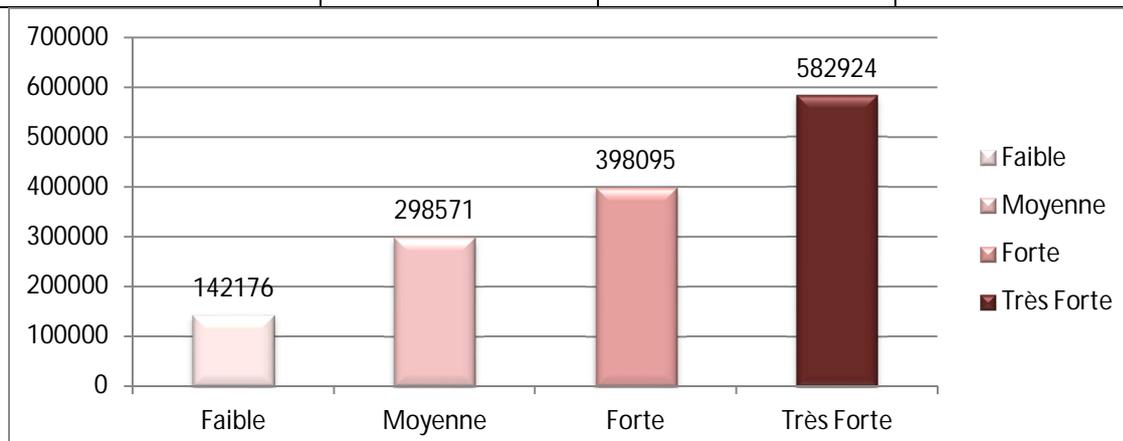


Figure 81 : Histogramme représente les classes de l'IB en 2013.

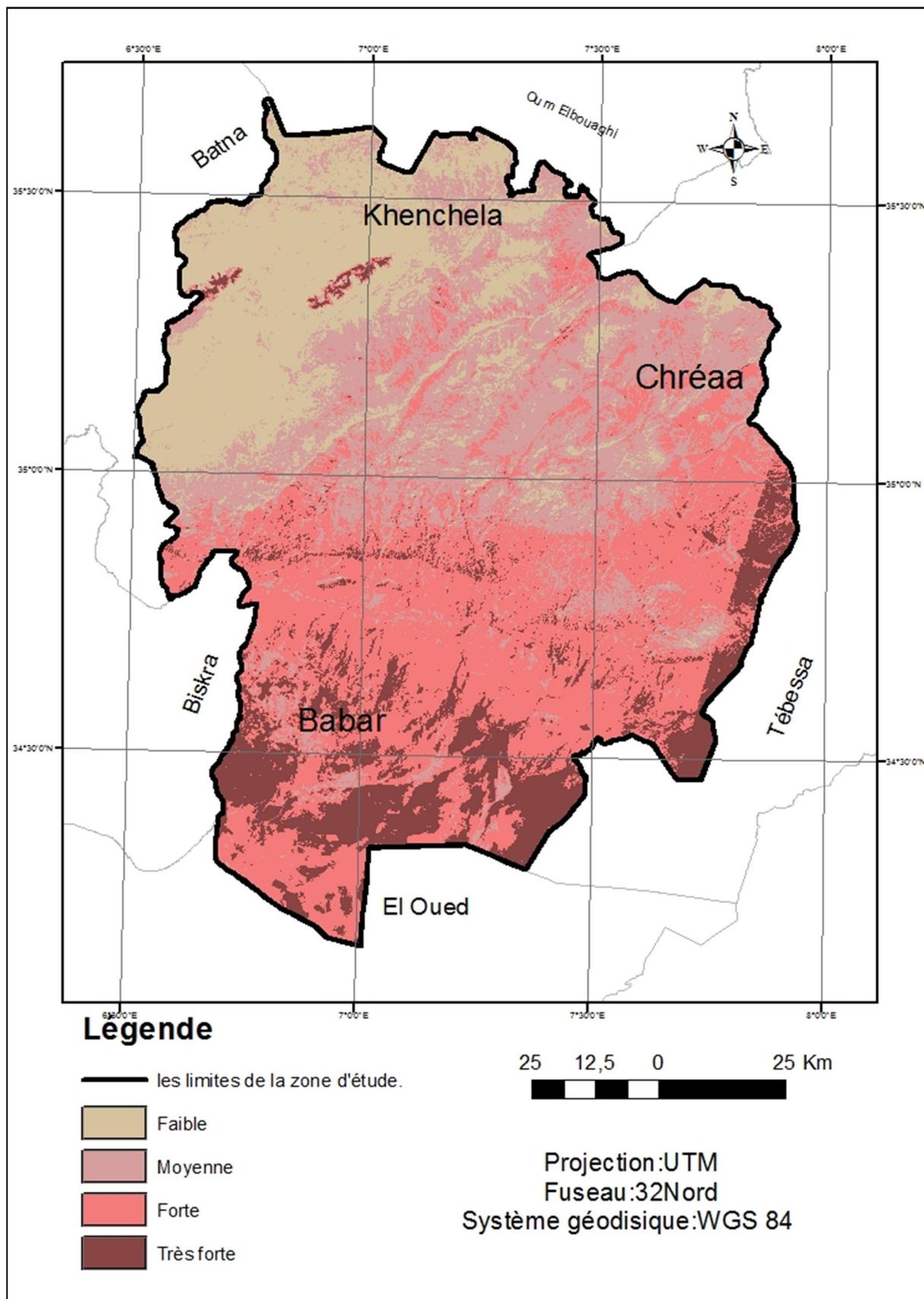


Figure 82 : Carte de l'indice de brillance pour l'année 2007.

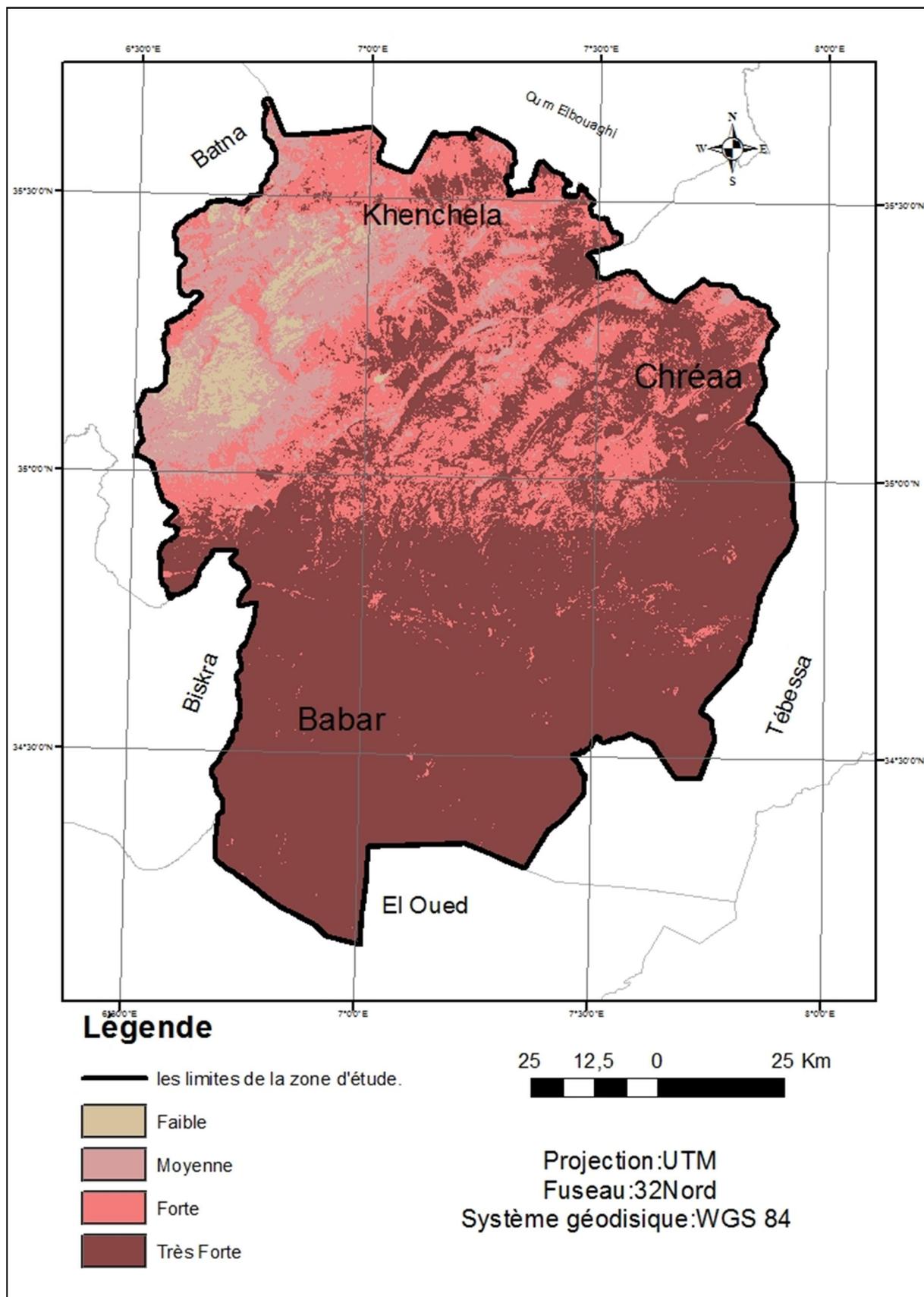


Figure 83: Carte de l'indice de brillance pour l'année 2013.

L'indice de brillance a utilisé comme l'indice de rougeur pour détecter l'évolution des sols, entre 2007 et 2013 le sol de la zone d'étude a subi à des changements importants traduit par l'extension des classes forte et très forte et dominant sur la totalité de la zone d'étude, le Sud de la zone d'étude est la plus touché par ce changement elle couvrait complètement par une classe très forte qui comporte des valeurs numériques des pixels entre 240 et 360, savoir que la classe trrès forte occupe 41 % de la surface totale de la zone d'étude en 2013 et n'occupe seule 11 % en 2007, et la classe faible a enregistré une diminution allant de 26 % en 2007 à 10 % en 2013, et la classe forte perdue des surfaces a gagnée par la classe très forte, tous ces changements sont considérables pour une période de 7 ans.

Conclusion :

L'utilisation des données de la télédétection issue de capteur de Landsat a pour objectif de détecter l'état de dégradation du milieu naturel, en particulièrement : la biomasse, la sécheresse, l'état hydrique et la composition des sols par le sable.

La détection des changements des indices de végétation et des sols, par la soustraction de deux images du Mars 2007 et Juin 2013 a été bénéfique pour suivre l'évolution de la végétation et du sol, cette détection a été cartographie

Les résultats obtenus constituent une contribution à la localisation des zones dégradées de végétation, et les zones touchées par le stress hydrique et bien que l'extension de sable et les sols nu, ces résultats nous donnent une alerte précoce à la désertification et montrent que plus de trois quarts de la zone d'étude sont au seuil de la désertification.

Toutes les cartes des indices de végétation et du sol ont des résultats communs sur la dégradation de la végétation et du sol de la partie Sud de la zone d'étude, cette dégradation donne une particularité à cet écosystème vulnérable au risque de la désertification.

CHAPITRE :06

*INTEGRATION SIG-AMC POUR
L'EVALUATION DES SITUATIONS
CRITIQUES AU RISQUE DE LA
DESERTIFICATION DANS LA REGION
DES AURES*

Introduction :

Le phénomène de la désertification est considéré comme l'un des problèmes environnementaux les plus préoccupants du 21 siècle. Par désertification, on entend une situation de dégradation des terres, liée au contexte socio-économique de l'utilisation des ressources naturelles au-delà de leur capacité de restauration, aggravée souvent par les fluctuations des conditions climatiques (BENSLIMANE et al .2008).

La manifestation apparente du phénomène de la désertification se traduit par une diminution de la couverture végétale et des potentialités des systèmes écologiques et une détérioration des sols et des ressources hydriques (NEDJRAOUI et al.2008).

L'Algérie, à l'instar des pays en voie de développement qui connaît une dégradation des ressources non-renouvelables, ou difficilement renouvelables, comme les forêts, les sols et les eaux à cause de la pauvreté et la croissance démographique (BENMESSAOUD et al .2009,BENMESSAOUD, 2011), la région des Aurès Oriental fait partie des régions arides et semi arides méditerranéennes sensible aux actions humaine et aux changements climatique, ces régions fragiles sont devenues le théâtre de phénomène de la désertification engendrée par la dégradation intense de ce milieu fragile notamment l'ensablement, érosion éolienne, défrichement et la salinisation.

Dans des études antérieures, le risque de la désertification a évalué en utilisant les données de la télédétection par le capteur MODIS de Terra en Algérie du Nord (BENSLIMANE et al, 2008) et l'évaluation numérique par le model MEDALUS dans la région des Aurès (BENMESSAOUD H, 2010) dans le présent recherche en évaluant le risque de la désertification en utilisant l'analyse hiérarchique des processus en prenant quatre critères écologiques et anthropiques dans l'agrégation complète des critères.

Le présent travail de recherche a pour objectif d'adopter une méthodologie pour l'évaluation multicritères des situations critiques au risque de la désertification au niveau de la partie orientale des Aurès, c'est une zone fait partie des régions arides et semi arides méditerranéennes a cause du climat et de la nature très fragile des sols, ces régions fragiles sont très sensible aux actions humaine et aux changements climatique,

L'approche d'intégration des méthodes d'analyse multicritères et les systèmes d'information géographique est utilisée pour évaluer les situations critiques au risque de la désertification, elle constitue un outil d'aide à la décision en permettant la localisation spatiale des zones prioritaires de planification des projets de lutte contre ce risque majeur.

1. Données utilisées :

Plusieurs informations relatives aux critères intervenant dans le phénomène de désertification sont préparées à partir des données disponibles et récoltées sur la zone d'étude, ces données ont été analysées et intégrées dans un SIG pour créer une base des données pour être exploitées dans notre évaluation multicritère.

➤ *Données de télédétection :*

- Deux images satellitaires Landsat (*Capteur Thematic Mapper TM*) prises le 09 Mai 1988 et le 16 Juin 1987.
- Deux images satellitaires Landsat (*Capteur Enhanced Thematic Mapper ETM+*) prises le 07 Mars 2000 et le 24 Avril 2000.
- deux images satellitaires Landsat (*Capteur Operational Land Imager OLI*) prises le 17 Avril 2013 et le 15 Juin 2013.

Toutes ces images sont acquises en saison sèche, où l'on peut distinguer les différents types des objets.

➤ *Données cartographiques :*

Les données cartographiques concernant les données a un référence spatiales sous format Raster ou vecteur.

- Cartes topographiques (1/200.000) dressé par l'institut national de cartographie et de télédétection en 1983:Batna, Oum El Bouaghi, Zeribet el Oued et Negrine.
- Cartes topographiques (1/50 000) dressées et publiées par l'institut national de cartographie et de télédétection en 2004: Babar Est et Ouest, Khenchela Est et Ouest, Kais Est et Ouest et Djebel Toubount Est et Ouest.
- Model Numérique de Terrain de l'Algérie Septentrionale réalisé par le centre des techniques spatiales, Arzio Oran.
- Carte géologique de l'Est d'Algérie Constantine Nord (1/500.000) dressée par R.Laffite en 1939 et éditée en 1951 par le service de la carte géologique de l'Algérie.
- Cartes des sols d'Algérie (1/500.000) : Tébessa N.I.31.Nord-Ouest et Biskra N.I.32.Nord Est, dessinées en 1948 et éditées en 1954 par le service géographique de l'armée français.
- Carte d'étagement bioclimatique du Nord d'Algérie établis par la FAO (1972).
- Découpage administrative de l'Algérie réalisé par le centre des techniques spatiales Arzio, Oran.

- Carte hydraulique et la qualité des eaux de l'Algérie du Nord éditée en 2004 par l'ANRH.

➤ **Données alphanumériques :**

- Données climatiques : Précipitations mensuelles d'une série de 30 ans de trois stations météorologiques d'El Hamma, Foum Elguiss et Ktef Essouda, ces données seront interprétées et analysées par utilisation des méthodes statistiques.
- Données hydrauliques : concernant toutes les informations sur les ressources en eau (coordonnées et positionnement géographique), qui fournissent à partir des directions de l'hydraulique des wilayas de Khenchela et Tébessa.
- Données agricoles et pastorales : représentent les statistiques agricoles pour l'utilisation des engrais, l'irrigation et le nombre de cheptels, ces informations ont été recueillies à partir de la Direction des Services Agricoles (DSA) pour les deux wilayas Khenchela et Tébessa.

➤ **Données de terrain :**

Nous avons effectué plusieurs missions sur le terrain à l'aide d'un GPS (*Global Positioning System*), Les missions de terrain a été effectuée en printemps 2013 (avril et mai 2013), elles comprennent des points d'échantillonnages récoltés sur le terrain et réparties sur la zone d'étude, en se basant sur les observations visuelles de terrain pour créer une base des données, elles comprennent les données descriptives suivantes: Topographie et géomorphologie, Occupation du sol, Végétation et pressions Anthropiques.

2. Méthodologie de travail:

Notre démarche repose sur l'application de l'analyse multicritères intégrées aux systèmes d'information géographique pour réaliser notre évaluation au risque de désertification. Pour cette évaluation nous avons poursuivi les étapes principales suivantes : hiérarchisation des critères, définition et standardisation des critères, pondération et agrégation complète basée sur la somme pondérée a pour but de produire une cartographie précise des zones non affectées, potentielles, fragiles et critiques, l'approche méthodologique est illustrée sur la figure (84).

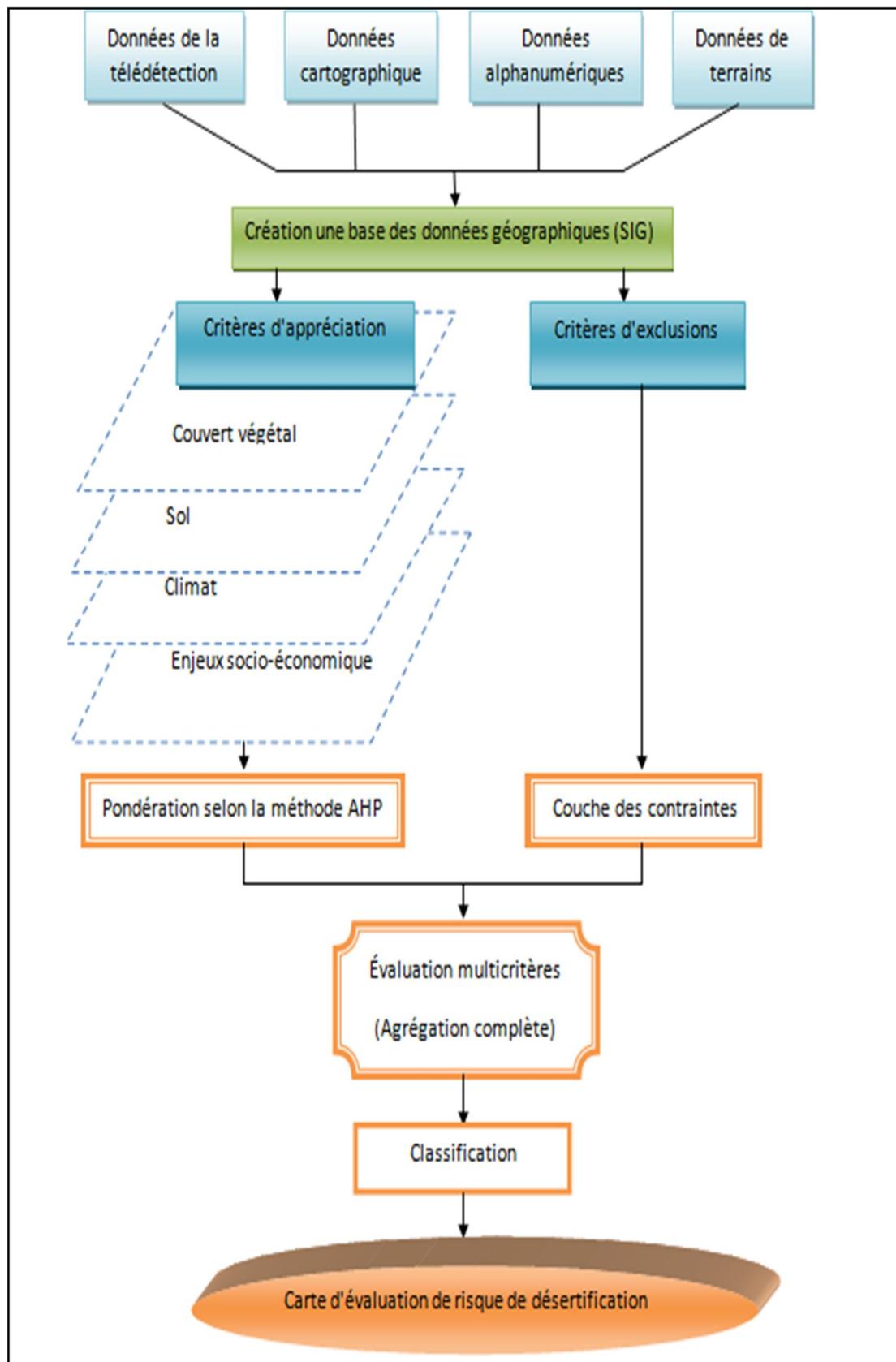


Figure 84 : Organigramme méthodologique.

2.1. Hiérarchisation des critères :

Pour l'évaluation multicritères des situations critiques au risque de la désertification, nous avons adopté la méthode AHP (*Analytic Hierarchy Process*), cette méthode simplifiée notre évaluation selon une structure hiérarchique

- Niveau 0 : Correspond à l'objectif principal à atteindre, l'évaluation multicritère des situations critiques au risque de la désertification dans la région des Aurès.
- niveau 1 : Exprime les critères de décision ou d'analyse, dans le cas de la présente étude, le critère du couvert végétal, le critère du sol, le critère du climat et le critère des enjeux socio-économiques ont été retenus.
- niveau 2 : Traduit les caractéristiques des critères, ces caractéristiques des critères dans cette étude sont les différents sous critères qui ont des valeurs attribués pour déterminer l'échelle numériques de chaque critère prenant dans notre évaluation.

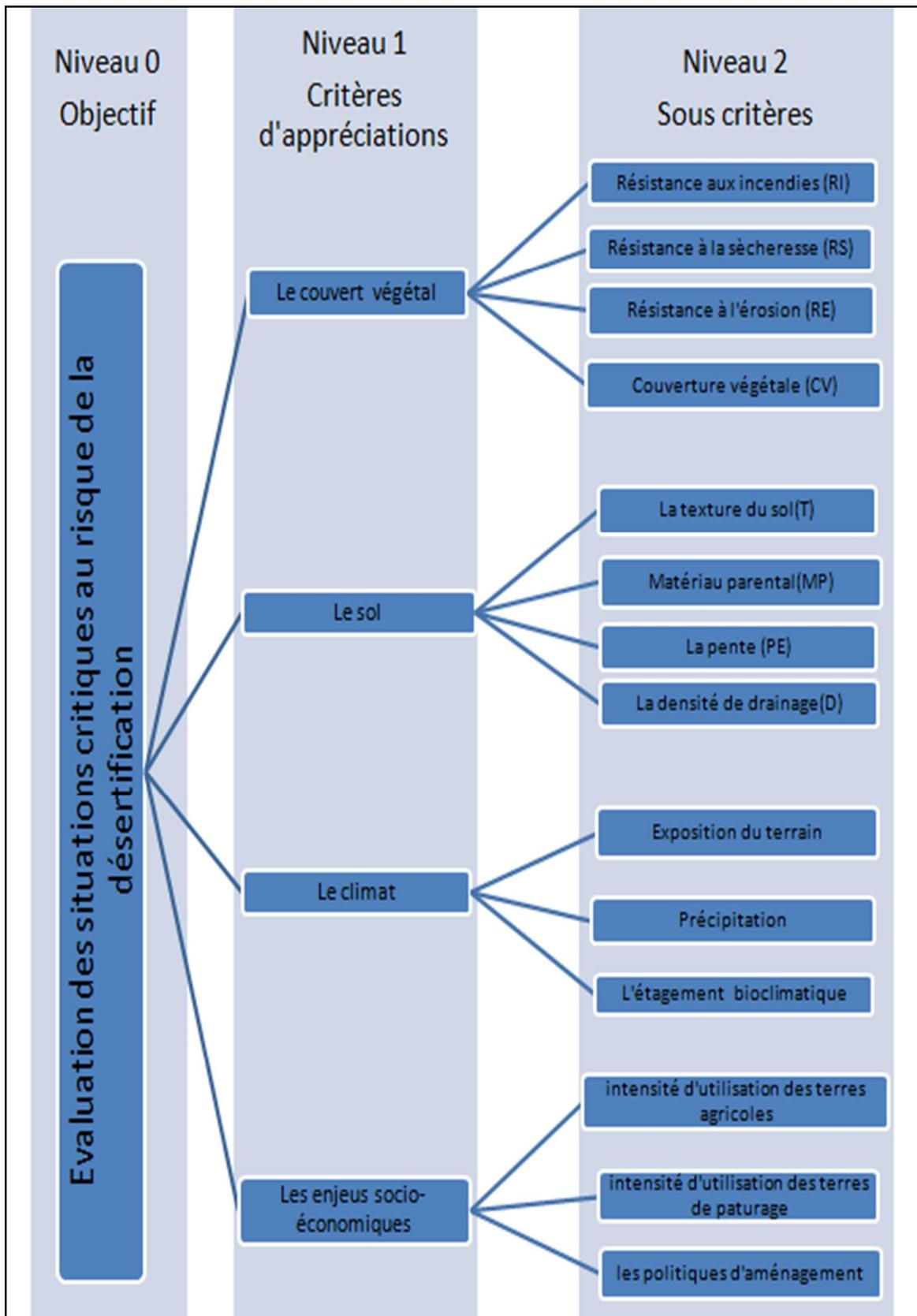


Figure 85: hiérarchisation de critères de décision.

2.2. Standardisation des critères d'appréciation :

2.2.1. Critère du couvert végétal

L'état d'occupation du sol est un critère qui doit être prise en considération dans l'évaluation multicritère des situations critiques au risque de la désertification, il peut être apprécié par l'importance du couvert végétal, qui par son absence, la désertification est accélérée et par sa présence la désertification est freinée.

La carte d'occupation du sol a été établie à partir de la classification supervisée de l'image landsat ETM+ 2013, cette classification a été effectuée par la méthode du maximum de vraisemblance, cette méthode est considérée comme la plus performante dans la production des cartes d'occupation du sol, la composition colorée complétée par les points GPS faite sur le terrain ont permis de discriminer dix classes : Forêt dense , Forêt claire , Steppe à alfa , steppe à armoise , céréaliculture , maraichage , Sol nu, Sol sableux , plan d'eau , Chott et sebkha.

L'indice de télédétection NDVI, calculé à partir des canaux de l'image Landsat utilisé comme information cartographique sur la végétation de la zone d'étude.

Le critère du couvert végétal est évalué par les sous critères suivants : résistance aux incendies, résistance à la sécheresse, résistance à l'érosion, Types de couverture végétale.

Le tableau (36) illustre les poids des indices attribués à différentes classes à partir de la carte d'occupation du sol.

Tableau 33 : Caractéristiques et valeurs attributs pour les sous critères constituant le critère de la végétation.

Critère de décision	Sous -critères	Nature de l'occupation du sol	Valeurs d'attributs
Critère de végétation	Résistance aux incendies (RI)	Sable, chott et sebkha.	1
		Parcours, collines et culture.	1,3
		Le massif forestier.	1,5
	Résistance à la sécheresse (RS)	Chott et sebkha.	1,2
		Culture, colline et parcours.	1,3
		Le massif forestier.	1,7
		Sable.	2
	Résistance à l'érosion (RE)	Relief montagneux.	1,6
		Parcours, colline et culture.	1,8
		Sable, chott et sebkha.	2
	Types de Couverture végétale (CV)	Cultures.	1,3
		Relief montagneux du massif.	1,6
		Parcours, collines.	1,8
		Sable, chott et sebkha.	2

Le critère de la végétation sera déterminé à partir de la superposition des données cartographiques et alphanumériques concernant les sous- critères illustré sur le tableau(33).

$$\text{Critère de la végétation} = (RI * RS * RE * CV) / 4.$$

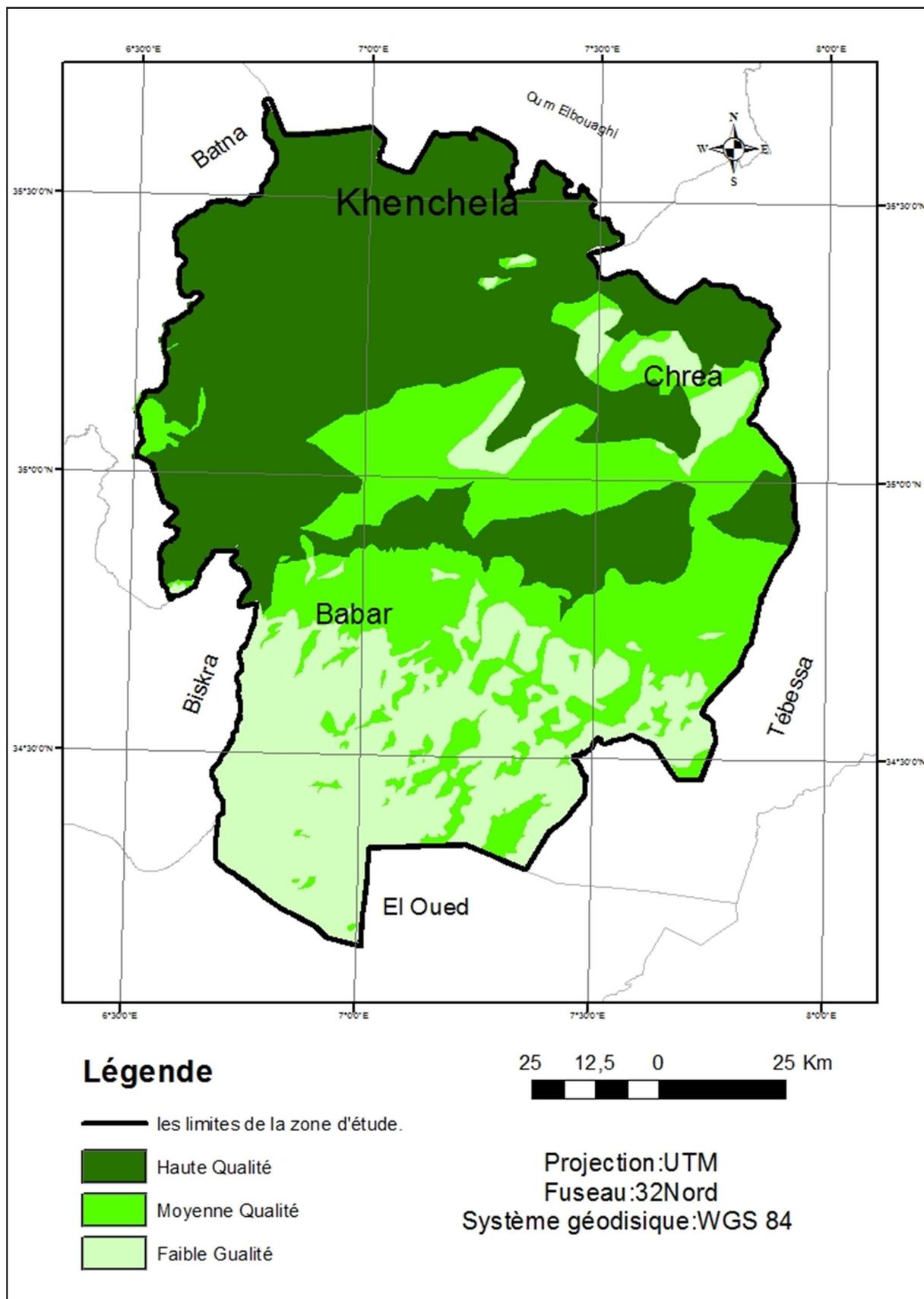


Figure 86 : Carte critère de végétation.

La carte critère de la végétation établie par la superposition des sous critères distingue par trois types de qualité de végétation, une bonne qualité de végétation occupe une surface de 689107,25 ha soit une proportion de 43 % de la surface totale de la zone d'étude avec une valeur attribut inférieur à 1,13, la végétation classée de qualité moyenne comprise entre les valeurs attributs 1,13 et 1,38 et s'étale sur une surface de 512824 ha soit un taux de 32 % de la surface totale de la zone d'étude, et le reste de la surface de la zone occupe par une faible qualité de végétation regroupe la partie Sud et le plateau des Nemamecha dans une surface de 416669, 5 ha.

2.2.2. Critère du sol :

Le sol de la région des Aurès et leur caractéristiques morpho-pédologique constituent une source d'informations très important à prendre en compte lors de l'évaluation multicritères de risque de la désertification car la zone d'étude repose sur des sols peu profond et pauvre qui accélèrent les dynamique de la désertification.

Le critère du sol exprime la susceptibilité au détachement ou à l'enlèvement des particules et sables fins du sol sous l'effet des vents, de la pluies et du ruissellement, ce critère sera obtenu en fonction des sous critères annexes aux la texture du sol (T), la nature de la roche mère (RM), la pente (PE), la densité de drainage (D), ces paramètres de sol en relation directe ou indirecte avec sa sensibilité à la désertification, les valeurs numériques attributs à ces paramètres sont illustrés dans le tableau (34).

La carte lithologique réalisée après la digitalisation sur la carte géologique est de l'Algérie (LAFFITE,1939) permis de distinguer les matériaux (très résistant, résistant et vulnérables) , et les opérations de la digitalisation sur la carte des sols Tébessa et Biskra à échelle (1/500.000) permis de réaliser une carte des sols pour la région d'étude, enfin la carte lithologique et la carte des sols utilisées pour les valeurs numériques de la texture du sol et la nature de la roche mère.

Le paramètre pente est exprimé par une carte des pentes générée à partir du modèle numérique de terrain (MNT), le MNT a été réalisé sous ArcGIS à partir des courbes des niveaux et les points de cotés obtenus par numérisation des cartes topographiques au 1/200.000 de Batna, Zribet EL Oued, Negrine et Khenchela.

La densité de drainage obtenue après un relevé du réseau hydrographie a été déterminée à partir de la mosaïque des 4 cartes topographiques 1/200.000 à partir de cette carte du réseau se drainage et la base des données des services agricole, une carte de densité de drainage a été

réalisée.

Tableau 34 : Caractéristiques et valeurs attribués au sol.

Critère de décision	Sous -critères	Caractéristiques	Valeurs d'attributs
Critères du sol	Texture du sol (T)	L, SCL, SL, LS, CL	1
		SC, SiL, SiCL	1,2
		Si, C, SiC	1,6
		S	2
	Matériau parental (MP)	Calcaires, dolomies, grès non friables, croutes dures	1
		Grès friables, marnes, schiste, encroutements	1,7
		argiles, formations sableuses, alluviaux et colluviaux non consolidés	2
	La pente (PE)	<6%	1
		6%-18%	1,2
		18%-35%	1,5
		>35%	2
	La densité de drainage (D)	Bien drainé	1
		Imparfaitement drainés	1,2
		Mal drainés	2

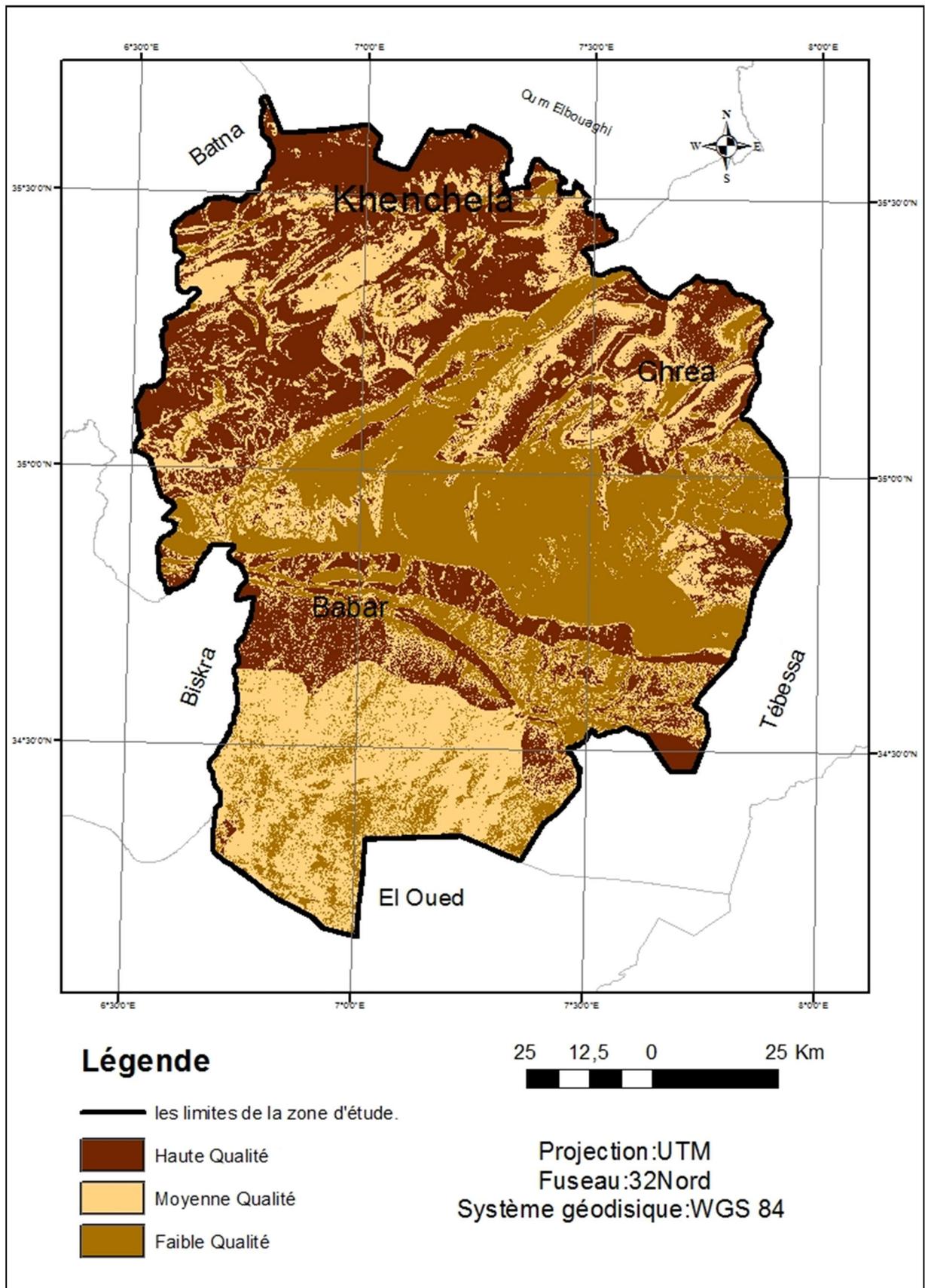


Figure 87 : Carte critère du sol.

la superpositions des couches de sous critères de sol abouti à une carte critère regroupe trois catégories des sols selon la valeurs attribut de ce critère, les valeurs inférieure à 1,13 représentent la bonne qualité de sol qui occupe une surface de 592952,75 ha soit un taux de 37 % de la surface totale de la zone d'étude situé généralement sur les terrasses les pleine au Nord de la zone d'étude , et les valeurs comprise entre 1,13 et 1,45 regroupent une qualité moyenne des sol d'une surface de 560901,25 ha localisée au niveau des Monts des Nemamecha, et les valeurs supérieur à 1,45 représentent la qualité faible des sols par un taux de 28 % de la surface totale de la zone d'étude.

2.2.3. Critère du climat:

Le climat en région méditerranéenne est un facteur déterminant des écosystèmes, et les conditions climatiques dans les zones arides et semi arides agissent sur l'accélération des processus de la désertification.

Dans notre évaluation de risque de la désertification le critère du climat est évalué à l'aide de trois paramètres (sous critère) qui influent sur la dégradation des terres et les langues périodes de sécheresse, Les sous critères influent sur le critère du climat sont les précipitations, l'étage bioclimatique et l'exposition du terrain.

2.2.3.1. Précipitations :

Les précipitations irrégulières et les longues périodes de sècheresse qui distingue la région d'étude exercent une influence sur le climat global et la répartition des précipitations est le principal déterminant de la production de biomasse dans les régions méditerranéennes, c'est pourquoi nous considérons que les précipitations est le paramètre dominant pour évaluer le critère de climat.

L'utilisation des données pluviométriques et leur traitement statistique avec le modèle numérique de terrain à l'aide des systèmes d'information géographique permettront de générer une carte des isohyètes pour déterminer le paramètre des précipitations, les précipitations annuelles sont classés en trois catégories, compte tenu des précipitations annuelles de 280 mm comme une valeur essentielle pour l'érosion des sols et de la croissance des plantes (MEDALUS, 1999).

Tableau 35 : Les valeurs attributs des précipitations.

Critère de décision	Sous critères	Caractéristiques	Valeur attribut
Critère du climat	Précipitations	>650	1
		280-650	2
		<280	3

2.2.3.2. Étages bioclimatiques :

Pour noter les étages bioclimatiques couvrant la zone d'étude, en se basant sur la carte des étages bioclimatiques de l'Algérie Septentrionale, établie par la FAO, nous avons adopté trois classes allant du subhumide jusqu' subaride.

Tableau 36 : Les valeurs attributs d'étagement bioclimatique.

Critère de décision	Sous critères	Caractéristiques	Valeur attribut
Critère du climat	Étages bioclimatiques	Subhumide	1,5
		Semi-aride	1,75
		Sub-aride	2

2.2.3.3. Exposition du terrain :

La carte d'exposition générée à partir du modèle numérique de terrain de la zone d'étude sous le logiciel ARC GIS 9.3 par l'analyse spatial, le paramètre de l'exposition est un facteur important pour les processus de dégradation des terres, la durée et l'angle de les rayons du soleil qui frappent la surface du sol dépend sur l'exposition du terrain, dans les régions méditerranéennes les versants sud et ouest sont plus chauds et présentent des taux plus élevés d'évaporation et la capacité de stockage d'eau est inférieure que les versants Nord et de l'Est, donc une reprise plus lente de la végétation est attendue dans les versants Sud et l'Ouest.

Tableau 37 : Les valeurs attributs d'exposition de terrain.

Critère de décision	Sous critères	Caractéristiques	Valeur attribut
Critère du climat	Exposition du terrain	NW-SE	1
		SE-NW	2

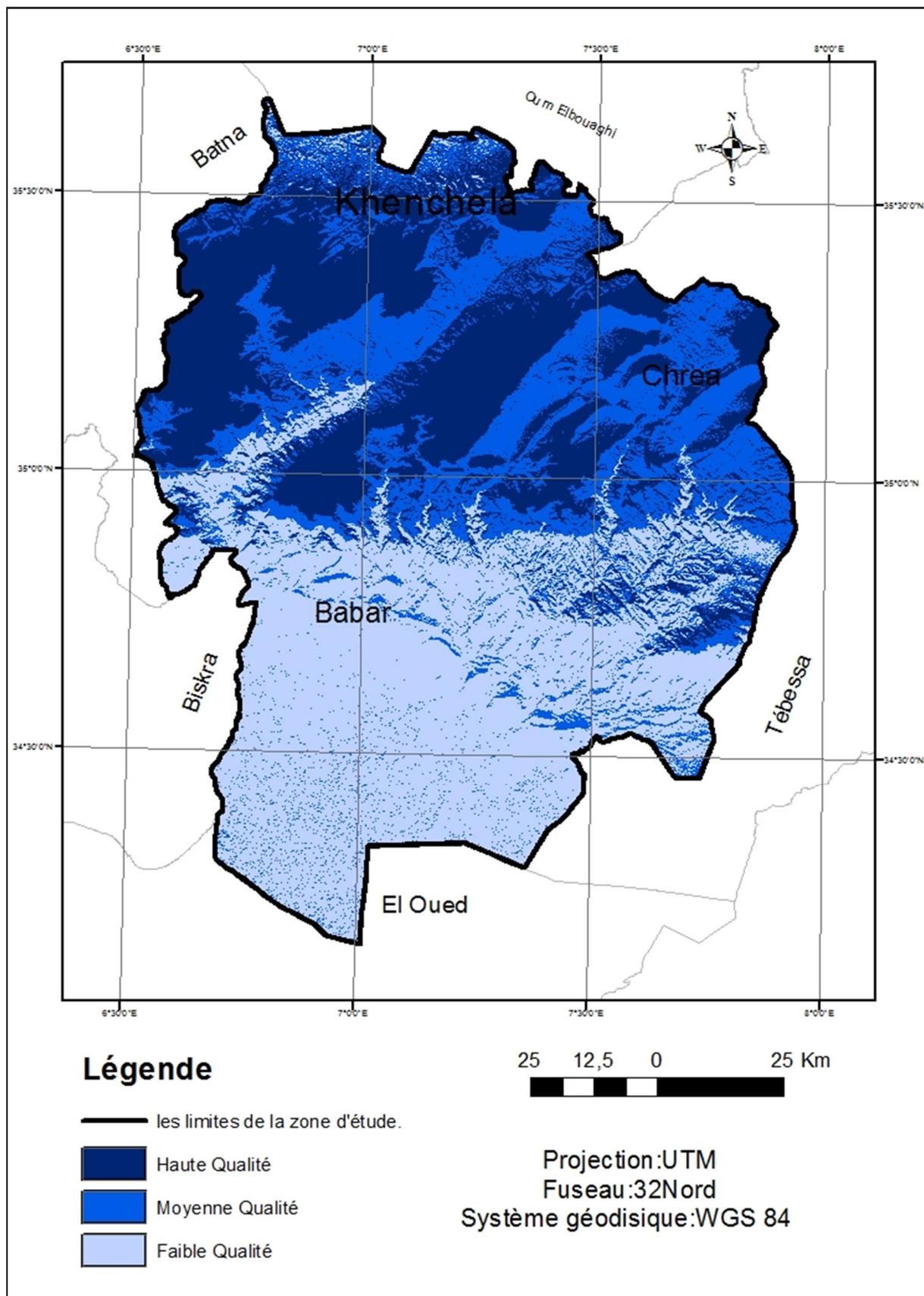


Figure 90 : Carte critère du climat.

Le critère du climat est évalué en fonction des trois paramètres (ou sous critères) cité ci-dessus en utilisant la formule suivante :

$$\text{Critère du climat} = (\text{exposition du terrain} * \text{précipitation} * \text{étage bioclimatique})^{1/3}.$$

L'application de cette équation géométrique abouti à une carte critère montre la zone d'étude est dominée par le climat de qualité faible 53 % de la surface totale de la zone d'étude suivi par le climat de qualité moyenne par un taux de 26 % et le climat de qualité faible 21 % de la surface totale de la zone d'étude.

2.2.4. Critère des enjeux socio-économiques :

Les paramètres utilisés pour définir le critère des enjeux socioéconomiques dans la zone d'étude concernent l'intensité d'utilisation des terres et l'intensité de pâturage et les politiques d'aménagement engagés pour lutter contre le phénomène de désertification.

2.2.4.1. Intensité d'utilisation des terres agricole :

La fertilité des sols, les conditions climatiques favorables, la disponibilité des eaux souterraines ou superficielles de la zone d'étude, a abouti à une forte intensité d'utilisation des terres agricole, l'intensité d'utilisation des terres pour l'agriculture est évaluée selon les trois niveau suivants Faible intensité d'utilisation des terres(LLUI) :(agriculture extensive) variétés des plantes locales sont utilisées, l'utilisation des engrais et le pesticides ne sont pas appliquée, la mécanisation est limitées, dans le cas de culture saisonnière une culture est cultivée par an et la terre reste en jachère.

- Moyenne intensité d'utilisation des terres (MLUI): Les variétés améliorées sont utilisées, les engrais sont insuffisantes appliquées et le contrôle des maladies est insuffisante et la mécanisation est limité.
- Forte intensité d'utilisation des terres (FLUI): (agriculture intensive) les variétés améliorées sont utilisées, l'application d'engrais et le contrôle des maladies sont adéquats et les cultures sont hautement mécanisées.

Tableau 38 : les valeurs attributs d'intensité d'utilisation des terres agricoles.

Critère de décision	Sous critères	caractéristiques	Valeur attribut
Critère des enjeux-socio-économique	Intensité d'utilisation des terres agricole	Faible intensité d'utilisation de terres (LLUI)	1
		Moyenne intensité d'utilisation des terres (MLUI)	1,5
		Forte intensité d'utilisation des terres (FLUI)	2

2.2.4.2. Intensité de l'utilisation des terres de pâturage :

Dans les régions arides et semi arides où la pluviométrie est faible et bien que la productivité soit faible, l'agriculture est aléatoire et laisse la place au pastoralisme qui constitué le principal type économique d'utilisation des terres.

L'intensité d'utilisation des terres pour le pâturage est à définir par la comparaison entre le nombre des cheptels et la densité de la productivité, cette intensité est classée en trois catégories D'après le tableau...

Tableau 39: Les valeurs attributs d'intensité d'utilisation des de pâturage.

critère	Sous critère	caractéristiques	Valeur attribut
Enjeux socio-économiques	Intensité d'utilisation des terres de pâturage	Le nombre des cheptels est inférieur à la productivité	1
		Le nombre de cheptel égale à la productivité	1,5
		Le nombre des cheptels supérieur à la productivité	2

2.2.4.3. Les politiques d'aménagement :

Les politiques d'aménagement engagés pour lutter contre le phénomène de désertification, les superficies aménagées deviennent plus résistantes à la désertification En effet, selon le degré des aménagements réalisés, nous avons évalué les politiques d'aménagement en trois classes, et les valeurs attributs à ces 3 classes sont comme suit:

Tableau 40 : Les valeurs attributs des politiques d'aménagement.

Critère	Sous critère	caractéristiques	Valeur attribut
Enjeux socio-économiques	Les politiques d'aménagement	Complet: >75% de la superficie sous protégée.	1
		Partielle : 25-75% de la superficie sous protégée.	1,5
		Incomplète : <25% de la superficie sous protégée.	2

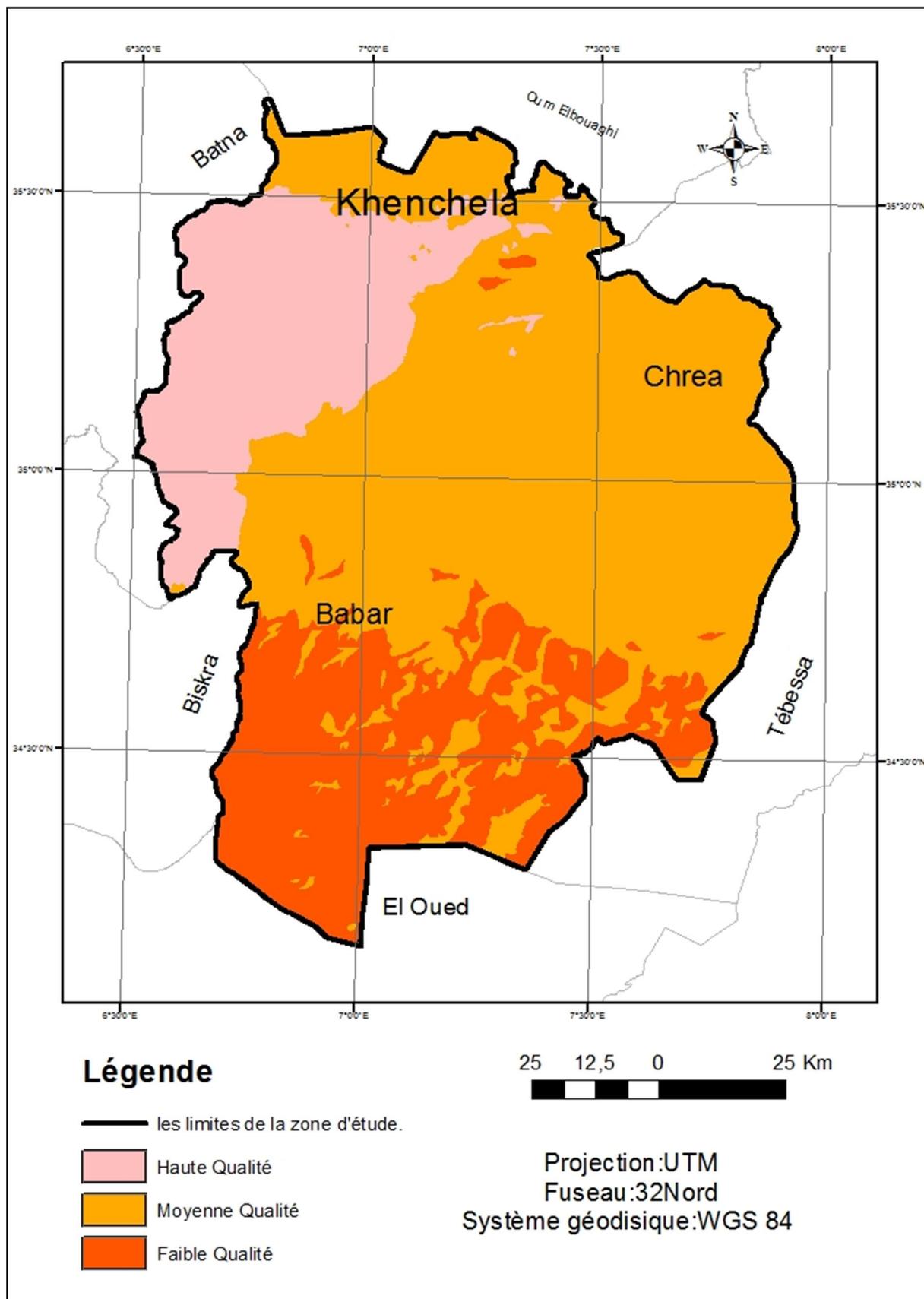


Figure 91: Carte critère des enjeux-socio-économiques.

Sur la carte critère de qualité des enjeux socio-économique on distingue trois classes selon la qualité d'utilisation des terres et les politique d'aménagement les zones dont la qualité est moyenne sont les plus dominantes par un taux de 61 % et la zone à bonne qualité présente 18 % et correspondent aux massif des Aurès, et les zones classées en qualité faible occupent 21 % de la surface totale de la zone d'étude.

2.3. Critère d'exclusion ou contraintes :

Les contraintes sont les bornes, intervalles imposés à la variable ou le critère, elles ont pour effets de limiter les alternatives considérées (CHAABANE, 2002), les contraintes au processus de la désertification sont l'exclusion des zones non favorable avec ces processus, ces contraintes sont exprimées sous forme d'une couche binaire (0 et 1) la valeur 0 est affectée aux zones non concernées par la désertification comme les plan d'eaux et la valeurs 1 est codée pour les zones concernées par les processus de la désertification.

La prise en compte de ces différentes contraintes a conduit à l'obtention d'une carte booléenne qui masque les zones d'exclusion pour l'évaluation de risque de la désertification.

La carte des contraintes ont été intégrée à l'agrégation des critères, ce qui a nourri l'évaluation des situations critiques au risque de la désertification.

2.4. Évaluation multicritère

2.4.1. Pondération des critères d'appréciation :

Avant de la combinaison des différents critères, nous avons établi leur importance relative, car ces critères qui influent sur le risque de la désertification n'ont pas la même importance, par exemple le critère de la végétation est beaucoup plus important que le critère du sol et les critères du sol et du climat ont la même importance, cette importance relative est exprimer par des nombres, souvent appelés poids, le processus d'analyse hiérarchique (Analytical Heirarchy ProcessAHP) a été développée par THOMAS SAATY dans les années 1980, elle permet de produire des coefficient de pondération standardisés dont la somme est égale à 1, les poids des critères sont déterminés à partir d'une série de comparaison par paire de ces critères en fonction de leur importance relative de deux critères à l'aptitude pour le risque de la désertification.

Pour déterminer les importances relatives pour chaque deux critères de la hiérarchie afin d'effectuer les comparaisons par paires, on va comparer deux à deux les déférents critères, en attribuant une note chiffrée, une échelle numérique (Echelle de Saaty 1977), est utilisée avec des valeurs de 1 à 9, ces valeurs de 1 à 9 permettent de remplir une matrice carrée réciproque et positif.

Tableau 41:Échelle numérique de (SAATY, 1977) comparaison par paire des critères.

Expression d'un critère par rapport à un autre	Degrés d'importance
Importance égale des deux critères	1
Un critère est un peu plus important que l'autre	3
Un critère est plus important que l'autre	5
Un critère est beaucoup plus important que l'autre	7
Un critère est absolument plus important que l'autre	9
Un critère est un peu moins important que l'autre	1/3
Un critère est moins important que l'autre	1/5
Un critère est beaucoup moins important que l'autre	1/7
Un critère est absolument moins important que l'autre	1/9

L'étape de la pondération est très délicate et elle exige l'intervention des décideurs ainsi que les spécialistes dans le domaine de l'aménagement du territoire et l'écologie pour l'affectation d'un degré d'importance à chaque comparaison par paire, pour notre étude, nous avons utilisé les valeurs présentées sur la matrice suivante:

Tableau 42: Matrice de pondération par paire des critères.

	Couvert végétal	Enjeux socio-économiques	Sol	Climat
Couvert végétal	1	3	5	5
Enjeux socio-économiques	1/3	1	5	5
Sol	1/5	1/5	1	1
Climat	1/5	1/5	1	1

La détermination des poids pour chaque critère consiste à la comparaison par paire de l'importance relative établie à partir de l'échelle numérique SAATY, qui aboutit à la configuration de La matrice réciproque M de décision, cette matrice produite les coefficients de pondération, ces coefficient est obtenues à partir des calculs complexes du vecteur propre

(Vp) de la matrice de comparaison par paire, les valeurs de ces vecteurs propres (Vp) sont déterminées en calculant leur moyenne géométrique par ligne pour chaque critère, ainsi le coefficient de pondération pour chaque critère est déduit par standardisation du vecteur propre en divisant chaque vecteur propre par leur somme et à condition que la somme des coefficients de pondération doit être égale à 1.

Ces calculs complexes sont généralement effectués par le logiciel Expert Choice qui implémente la méthode de SAATY, les résultats des calculs précédents fournissent le tableau 43 qui présente les poids utilisés dans l'évaluation multicritère des situations critiques au risque de la désertification.

Tableau 43 : valeurs des poids pour les différents critères

Critère	Poids
Couvert végétal	0,5383
Enjeux socio-économiques	0,3051
Climat	0,0783
Sol	0,0783
Total	1

Les résultats obtenus par la méthode AHP doit être vérifiés pour assurer que les jugements de la matrice réciproque de décision sont cohérents, cette vérification est évaluée par l'indice de cohérence, la notion de cohérence dans la comparaison par paire de SAATY (1977-1980) est basée sur le respect de la transitivité de notre jugement, si le critère du couvert végétal est préféré au critère des enjeux socio-économiques et que le critère des enjeux socio-économiques est préféré aux critères des sol et climat, la transitivité exige que le critère du couvert végétal soit préféré aux critères des sol et climat, l'indice de cohérence (IC) est calculé comme suit :

$$CI = (\lambda_{\max} - K) / (K - 1)$$

K : étant le nombre d'éléments comparés.

λ_{\max} : une valeur calculée sur la base de la matrice de SAATY, des vecteurs propres et de K.

SAATY (1990) a défini un indice de cohérence aléatoire (IA) d'une matrice de même dimension, où IA c'est un indice obtenu par un grand nombre de simulation et fixé en fonction du nombre de critères.

Tableau 44 : Indice aléatoire selon SAATY.

N:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Les valeurs de ces simulations définissent comme des valeurs acceptables pour déterminer un ratio de cohérence CR (Consistency Ratio), ce dernier est calculé par le rapport de l'indice de cohérence IC et l'indice aléatoire AI, la formulation de CR est comme suit :

$$CR = CI/AI$$

D'après SAATY, si CR est supérieur à 0,1 la matrice de décision devrait être réévaluée, dans notre cas la comparaison par paire effectuée indique un ratio de cohérence égale à 0,06, ce qui permet d'affirmer que les jugements d'appréciation des critères ont été cohérents.

2.4.2. Agrégation complète des critères :

Une fois que les couches des critères ont été établis en fonction des coefficients de pondération, il aisé de les combiner, ainsi les différents critères étudiés pour l'évaluation des situations critiques au risque de la désertification sont représentés sous format cartographique matriciel (Mode raster), la combinaison de ces critères avec la carte des contraintes a permis d'obtenir une carte décisionnelle pour l'évaluation de risque de la désertification dans la région des Aurès, cette opération s'appelle l'agrégation des critères, la question qui se pose est celle du choix de la méthode de combinaison ou d'agrégation, il existe différentes méthodes d'agrégation des critères, ces méthodes peuvent être classées en deux groupes: les méthodes d'agrégation partielle ou méthode de sur-classement et les méthodes d'agrégation complète.

Dans notre cas nous avons opté pour agréger les critères la méthode d'agrégation complète, cette méthode présente plusieurs avantages :

- Elle permet de résoudre des problèmes complexes ;
- Elle autorise la compensation entre les critères ;
- Elle prend en compte l'interdépendance des critères ;
- Elle impose la transitivité de l'indifférence ;
- Inclusion de l'ensemble des critères dans une formule mathématique en vue de l'obtention d'une valeur unique pour tous les critères ;
- Elle prend en compte l'importance relative des critères.

Dans la superposition du raster chaque cellule de chaque couche référence le même emplacement géographique, en conséquence, elle est apte à l'association des caractéristiques de nombreuses couches dans une seule couche habituellement, les valeurs numériques sont attribuées à chaque caractéristique ce qui permet l'association mathématique des couches et l'attribution d'une nouvelle valeur à chaque cellule dans la couche en sortie.

Selon CHAKHAR (2006), une carte décisionnelle M est un ensemble $\{(S, h(s)) : S \in G\}$, où G est un ensemble d'unités spatiales et h une fonction définie de la façon suivante :

$$h : G \rightarrow E$$

$$S \rightarrow h(S) = \Phi [g_1(S) \dots g_m(S)]$$

Où E : est une échelle ordinale (ici E est l'ensemble des valeurs entières entre 0 et 4).

Φ : est un modèle multicritère d'agrégation (la somme pondérée)

et $g_i(S)$ est la performance de l'unité spatiale S relativement au critère g_i .

Ainsi, contrairement à une carte géographique classique ou conventionnelle, la carte décisionnelle apporte l'information préférentielle spécifiée par la pondération.

Avec le logiciel ARC GIS 9.3 le couplage SIG-AMC est de type complet et la fonction de la somme pondérée (Weighted Sum) dite aussi la méthode des additions linéaires, cette fonction nous permet une agrégation complète, elle consiste à multiplier chaque couche facteur standardisé par son coefficient de pondération respectif issu du logiciel Expert choice par la méthode AHP, puis additionner ces résultats et ensuite les contraintes booléennes sont multipliées par cette somme pour exclure les limite de la désertification, pour produire une carte décisionnelle agrégé et quantifier sur une échelle de 0 à 4.

La principale difficulté d'application des méthodes d'analyse multicritères sur ARC GIS réside dans l'organisation alphabétique et non conceptuelle des fonctionnalités dans la boîte à outil, la procédure déroule plus haut ne trouve pas une traduction ni ergonomique, ni logique et un utilisateur non expérimenté dans son choix d'étapes et des méthodes, une confusion supplémentaire et générée par les outils de superposition vectorielle qui présentent la même terminologie(et en partie les mêmes principes d'analyse multicritère).

La fonction de la somme pondérée représente la procédure de combinaison des cartes critères prenant la forme :

$$C = \sum W_i X_i * P C_j$$

Où C est l'indice composite,

X_i est la valeur du critère i normalisée,

Wi est le poids de chaque critère (coefficient de pondération).

Et C_j est la valeur de la contrainte j, toutes les contraintes agrégées en une seule couche.

La figureillustre l'environnement de l'agrégation des critères dans Analyse Spatiale d'Arc GIS.

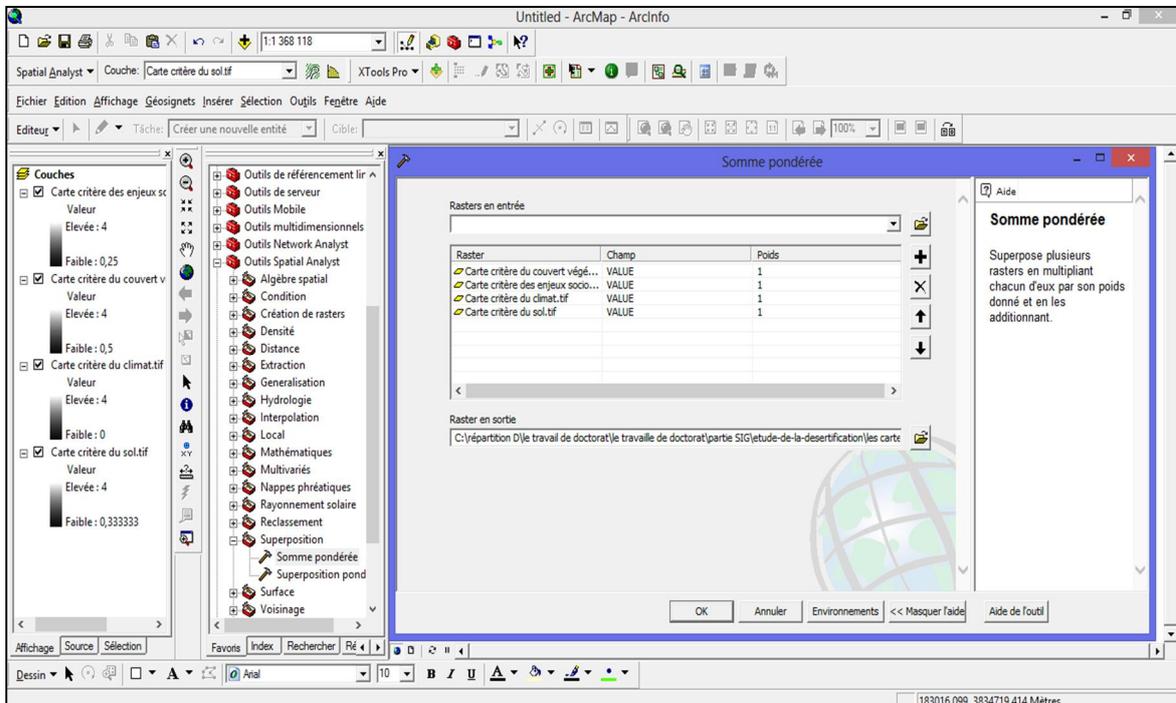


Figure 92 : Fenêtre représente l'évaluation multicritères sur ARC GIS.

L'agrégation par la somme pondérée a permis d'utiliser le potentiel complet de tous les critères comme des surfaces continues, les poids expriment l'importance relative de chaque critère pour l'évaluation de risque de la désertification et déterminer alors comment les critères étaient capable de négocier entre eux, dans notre cas tous les critères ont la possibilité d'être compensé par un autre selon son poids.

3. Résultats et discussions :

L'utilisation des méthodes d'analyse multicritère (AMC) combiné aux systèmes d'information géographique (SIG) a permis d'établir une carte décisionnelle pour l'évaluation de risque de la désertification, cette carte est le résultat d'agrégation basée sur la méthode de la somme pondérée des quatre critères d'appréciation (couvert végétal, enjeux socio-économiques, sol et climat), ainsi que le critère d'exclusion (carte des contraintes), la carte résulte nous a permis de délimiter spatialement la région d'étude dans une échelle de valeur comprise entre 0

et 4, un pixels ayant une valeur élevée indique que ce pixel se trouve dans une situation critique au risque de la désertification, pour faciliter la lecture de cette carte, nous avons défini quatre niveaux de classes qui reflètent l'importance du risque de la désertification.

La classe 1 : Correspond aux zones non affectées, les valeurs attributs entre 0 et 1,17.

La classe 2 : Correspond aux zones potentielles, les valeurs attributs sont entre 1,17 et 1,30.

La classe 3 : Correspond aux zones fragiles, les valeurs sont entre 1,30 et 1,50.

La classe 3: Correspond aux zones critiques, les valeurs sont entre 1,51 et 4.

Tableau 45 : La reclassification des situations de la désertification.

Les classes définies	Types	Les valeurs attributs
Classe 1	Zones Non affectées	0-1,17
Classe 2	Zones potentielles	1,17-1,30
Classe 3	Zones fragiles	1,31-1,50
Classe 4	Zones critiques	1,51-4

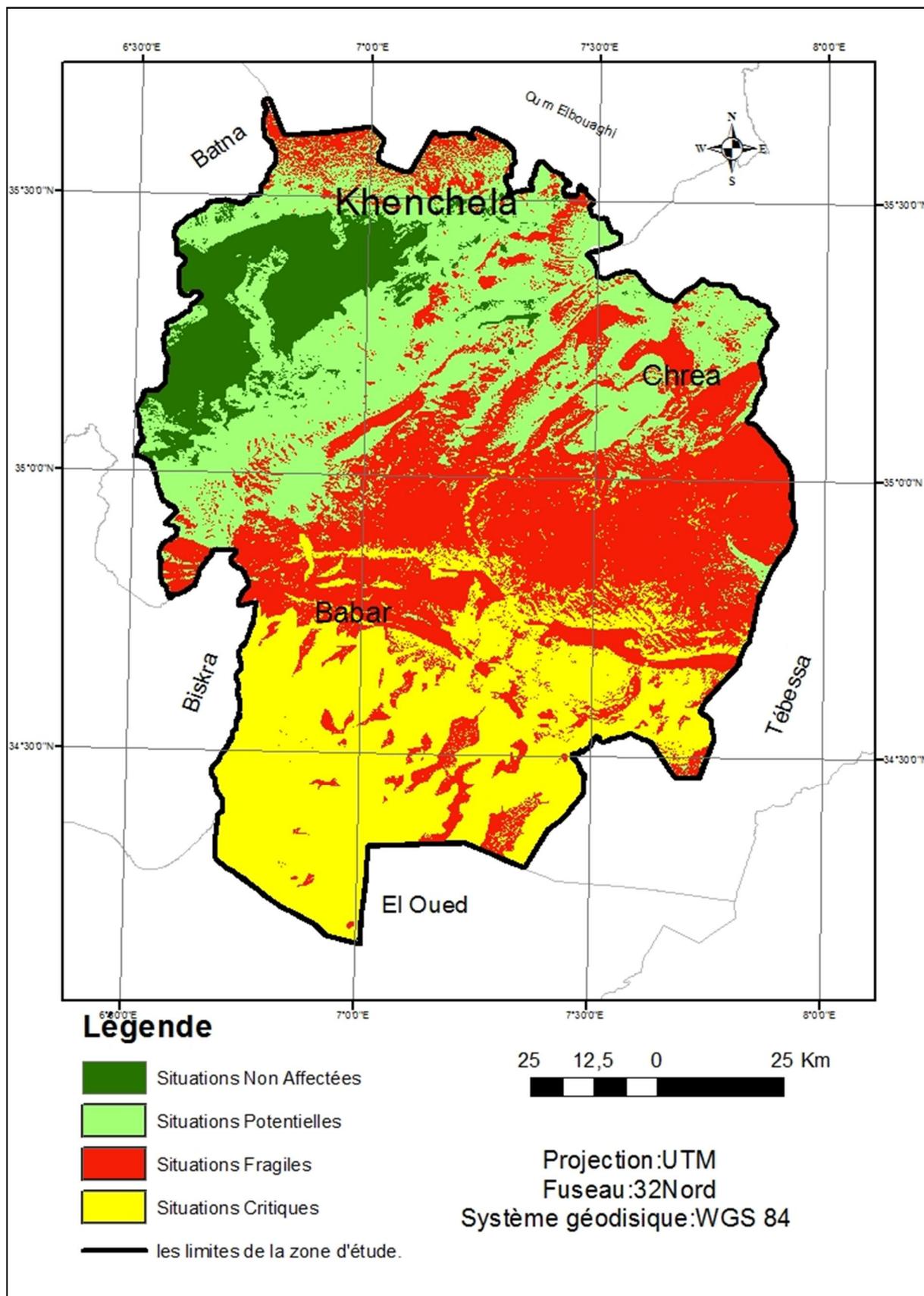


Figure 93: Carte des situations de risque de la désertification.

Dans le tableau suivant nous donnons la superficie en hectare et en % des différentes classes des situations de la désertification qui montrent l'importance de la désertification dans la zone d'étude.

Tableau 46 : Superficie et pourcentage des classes de la désertification.

Classe d'importance de la désertification	Nombre du pixel	La superficie en hectare	La superficie en %
Situation non affectée	195789	17.621,01	12,22
Situation potentielle	502716	45.244,44	31,36
Situation fragile	520464	46.841,76	32,48
Situation critique	383606	34.524,54	23,94
Total	1602575	144231,75	100

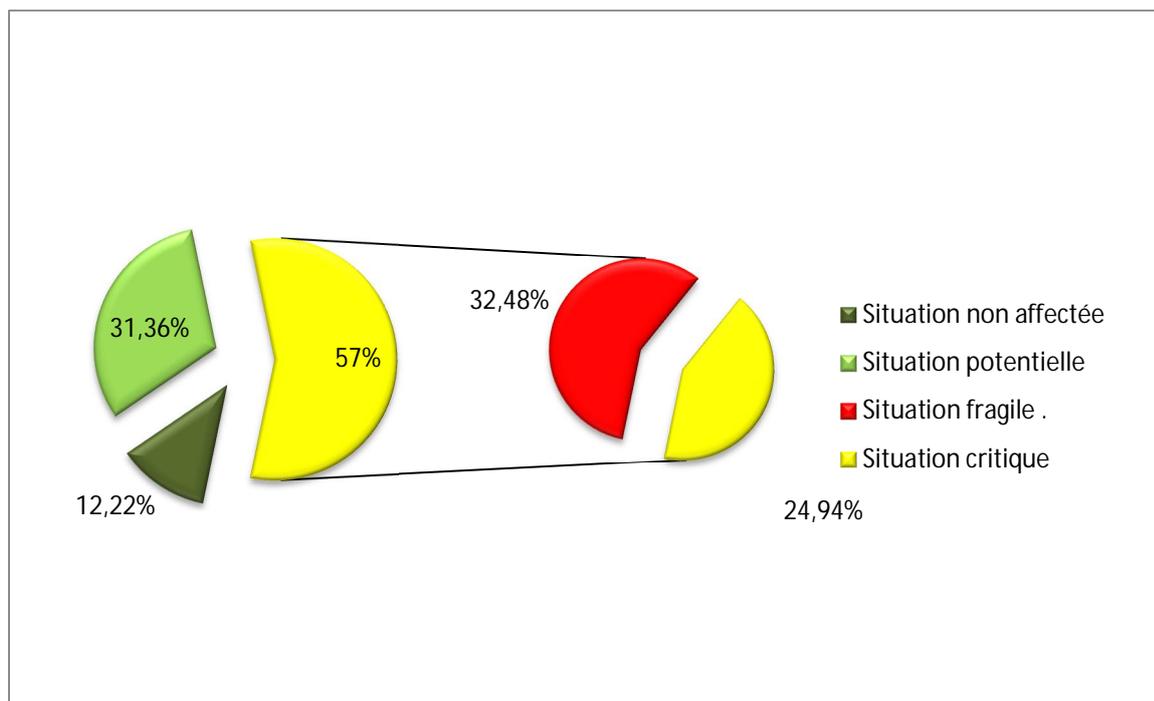


Figure 94: Représentation graphique des différentes situations de la désertification.

L'examen de la carte de désertification et les différentes cartes critères et les données statistiques sur le tableau... montrent que la zone d'étude allant des zones non affectées jusqu'aux zones critiques et nous permet

- **Situations non affectées :** cette situation correspondant aux zones non menacées au risque la désertification, elles occupent 17.621,01 ha soit 12,22% de la superficie totale de la zone d'étude, ces zones se localisent sur les massifs forestiers des Chélias,

Aurès, et Feraoun, ces massifs culminent à des altitudes qui dépassent les 2000 m où le couvert végétal est riche et dense et sont dominées par des sols minéraux bruts d'érosion et des sols peu évolués carbonatés,

- **Situations potentielles** : Cette situation correspondant aux zones menacées potentiellement et ne présentent pas un danger pour le phénomène de la désertification, c'est le cas des zones tapissées par un couvert végétal de densité moyenne (groupement à Armoise, groupement à Alfa et la céréaliculture) reposant sur les sols calcimagnésiques (sur plaines), les sols peu évolués d'érosion (au bas des piémonts) et bien que les sols alluviaux (terrasses, les lits des oueds, les zones d'épandages et les petite daïas), ces zones ont une superficie de 45.244,44 hectares soit 31,36% de la superficie totale de la zone d'étude et bien illustrées dans les communes de Nsigha, Elmahmal, Ain Touilla et le Sud de Tamza.
- **Situations fragiles** : Les zones fragiles représentent la grande partie de la zone d'étude, elles occupent 46.841,76 hectares soit 32,48% de la superficie totale et se localisent surtout dans la région centrale de la zone d'étude s'étendant au Sud des Monts de N'mamecha et sur une importance partie de la plaine de Remila au Nord de la zone d'étude, ces zones fragiles correspondant aux zones colonisées par un couvert végétal dégradé à très dégradé (la végétation steppique Psamophyte en association avec des groupements d'Alfa et des groupement d'Armoises, Sol nu) reposant sur des sols de type peu évolué sur les affleurement de grès ou de calcaires, et de type évolué (calcimagesiques) et des sols peu évolué d'apport alluvial, la pente comprise entre 18% et 35%, les terrain sont mal drainés et le pâturage exercé dans ces zones est plus fort
- **Situations critiques** : les situations critiques au risque de la désertification et bien illustré dans la partie sud pour les quatre communes Babar, Ferkane, Stah Guentis et Thelidjene, l'estimation de la proportion de ces situations critiques par rapport à la surface totale est de 23,94% soit une superficie de 34.524,54 hectares, ces zones critiques distinguent par la dégradation de la végétation et la pauvreté des sols de la matière organique jusqu'à l'irréversibilité des terres qui sont principalement les zones ensablées du Sud de Babar, la gravité des situations critiques expliquée par le couvert végétal steppique (*Artrophitum scoparium*) fortement très dégradé, reposant sur des sols de texture à dominance sableuse, ainsi le climat est principalement caractérisé comme semi-aride avec une précipitation faible et irrégulière inférieure à 280 mm par an et ces zones sont principalement sous intensité forte d'utilisation des terres agricoles et des parcours pâturés où l'application des politiques d'aménagement est incomplète.

4. Impact de la désertification sur l'environnement et la population :

L'impact de la désertification sur les zones arides et semi-arides est très important à cause de la fragilité des écosystèmes, ces impacts se manifestent dans la dégradation de la végétation naturelles, la salinisation des terres et l'immigration de la population.

4.1. Dégradation de la végétation naturelle :

Sous l'effet de la sécheresse et l'intervention anthropique sur la zone d'étude, les végétations naturelles steppiques et forestières s'ont dégradées et subissent à des régressions importantes, cette dégradation représentent dans le dépérissement du cèdre, la déforestation des pinèdes et la dégradation des parcours de l'alfa.

Le dépérissement du cèdre de l'Atlas s'est développé depuis quelques années au niveau des cédraies des Aurès, à des degrés de gravité variables, les premières observations de ce dépérissement remontent à 1982, dans le massif de Chélia le dépérissement est beaucoup plus diffus et concerne des arbres isolés, à Ouled Yakoub le dépérissement est accentué surtout dans les zones sud soumises aux influences sahariennes.



Photo .01: Dépérissement du cèdre dans le massif de Chélia (Cliché : BOUZEKRI 2013)

La dégradation d'Alfa est une conséquence de la désertification de l'environnement qui touche les zones fragiles de notre zone d'étude qui enregistré une régression considérable de la nappe alfatière cette régression est passé de 164.753,46 ha en 1987 à 126.659,34 ha en 2013, cette régression est déclenchée par les facteurs à la fois climatiques et socio-économiques.



Photo.02: parcours d'alfa exposé à l'influence humaine. **Photo.03:** Parcours d'alfa en bonne état.

(Cliché : BOUZEKRI 2014).

(Cliché : BOUZEKRI 2014).

4.2. Activation de l'érosion hydrique et l'érosion éolienne :

La désertification porte une grande responsabilité dans l'activation du phénomène de l'érosion hydrique et éolienne qui affectées notre zone d'étude, la disparition de la matière organique, le recouvrement faible de la végétation et la profondeur faible du sol dans les régions arides et semi arides, elles favorisent l'extension des mouvements de sable vers le Nord qui constituent un risque majeur dans le Sud de la commune de Babar.



Photo.04: l'érosion hydrique au niveau d'Oued Alarab. **Photo.05:** l'érosion éolienne dans le Sud de Babar.

(Cliché : BOUZEKRI 2013). (Cliché : BOUZEKRI 2013).

4.3. La salinisation :

La salinisation considérée comme un indicateur sérieux de la désertification (BENDERRADJI et al.2006), en zones arides et semi-arides, elle touche principalement les plaines agricoles irriguées dans la partie Nord et Sud de la zone d'étude notamment les périmètres de Remila et d'Elmaita, l'irrigation incontrôlée des terres agricoles a provoqué l'accroissement et l'extension de la salinité, qui manifeste au début par une baisse des rendements des cultures, puis par une limite des choix des cultures qui devraient résister au sel, et en définitive par la perte des terres irrigables.

4.4. Immigration de la population

la dégradation des sols qui se répercute sur la productivité des terres et la fertilité des sols, et la sécheresse des points d'eau naturels alimentés par les précipitations obligent les populations qui vivent dans les régions menacées par la désertification de se déplacer vers le Nord de la zone d'étude ou vers le centre de la wilaya de Khenchela pour trouver d'autre moyen de subsistance comme les cas des village de Loufanisse et Garte.



Photo.06 : points d'eau sèche.

(Cliché : BOUZEKRI 2014).



Photo.07: village abandonné Garrate.

(Cliché : BOUZEKRI 2014).

Les photos 6 et 7 montres l'immigration de la population rurale qui habitent les petites agglomérations, vers le centre de la wilaya de Khenchela.

5. Proposition des techniques d'aménagement pour lutter contre le risque de la désertification :

Dans les zones arides, semi-arides et subhumides la lutte contre le phénomène de la désertification exige un programme de prévention plus efficace et moins coûteux de prévenir le risque que de le combattre.

Pour notre zone d'étude il n'existe une solution standard comme la ceinture du barrage vert pour maîtriser les conséquences environnementales de la désertification.

Les techniques d'aménagement se variées selon la situation du risque, chaque lieu et chaque situation requièrent des techniques spécifiques (Figure 95).

5.1. Fixation des dunes :

Cette technique représente la phase initiale de la lutte contre la désertification au niveau des zones à situation critique dans le Sud de la commune de Babar qui considère comme la porte de l'extension du sable vers le Nord.

La fixation des dunes consiste à freiner les mouvements du sable par la construction des obstacles mécaniques (palissades, barrières..) perpendiculaire à la direction des vents dominants afin de diminuer la vitesse des vents et de provoquer à leur niveau une accumulation du sable qui forme des dunes artificielle.

La fixation mécanique est indispensable pour stabiliser le sable sous forme des dunes comme première étape et pour empêcher les dunes de se déplacer il est possible de les fixer définitivement et biologiquement par l'implantation d'une végétation pérenne, les dunes constituent un milieu très difficile pour l'implantation et la croissance des espèces végétales, on doit accorder l'attention au choix des espèces les plus efficaces dans le Sahara septentrionale comme le Tamarix et Retam, ce choix doit tenir compte les critères suivant : faible exigence en élément nutritif, résistance à la variation des températures, résistance aux vents violents, amélioration du sol, régénération naturelle et un système racinaire puissant et résistant à la sécheresse.

5.2. Aménagement de brise-vent :

La réalisation des rideaux du brise-vent contribué à diminuer la vitesse des vents violents et limiter ainsi l'ensablement, cette technique biologique se présente sous forme d'une haie brise-vent protège les exploitations agricoles contre les vents desséchants chargé du sable qui considèrent comme les sites les plus exposées aux risque d'ensablement, à cause d'un

environnement déjà fragile et du non-respect des règles de protection, comme l'agriculture saharienne et l'arboriculture de la plaine de Mtoussa, la réussite de cette technique dépend sur les paramètres techniques : nombre de rangées, la densité, la hauteur, la longueur, l'homogénéité de sa structure et l'espèce végétale utilisé.

5.3. Les plantations pastorales :

Les opérations des plantations pastorales a pour objectif de la réhabilitation des parcours steppiques dégradés au niveau des zones à situation fragiles au risque de la désertification et la vocation pastorale de ces terrains exige une stratégie pour conserver le patrimoine steppique et surtout alfatière, la plantation pastorale à réaliser à base des espèces fourragères exotiques (*Atriplex canescens*) et locales (*Atriplex halimus...*) ces espèces fourragères distinguent par la résistance à la sécheresse et la salinité des sols et la valeur nutritive acceptables dans l'élevage, et une bonne régénération.

5.4. Les Reboisement :

Le reboisement est la solution la plus efficace et urgente dans les actions de lutte contre la dégradation des terres, au niveau des zones montagneux correspondantes à la situation potentielle au risque de la désertification dans notre zone d'étude, les reboisements ont pour objectif de retenir l'humidité, de diminuer la vitesse des vents et renforcer la cohérence des sols, le choix des lieux de reboisement se base sur la nature du sol et l'état de dégradation comme les versant Sud et les forêts dégradées, et pour les espèces utilisée dans les reboisement les terrains montagneux calcaires favorisent le pin d'Alep qui supporte l'étage bioclimatique méditerranéen semi-aride.

5.5. La mise en défend :

En parallèle aux reboisements, au niveau de la zone non affectée par la désertification comme les pinèdes et les cédraies les actions de mise en défends considèrent comme la politique la moins coûteuse dans la lutte contre la dégradation des terres par rapport aux opérations de reboisement, la mise en défend ayant pour but de favoriser la régénération naturelle et se traduit par stopper les exercices anthropiques sur le milieu naturel comme le pâturage excessif et la coupe du bois qui permet dans les terrains dégradées la reconstitution de la végétation préexistante.

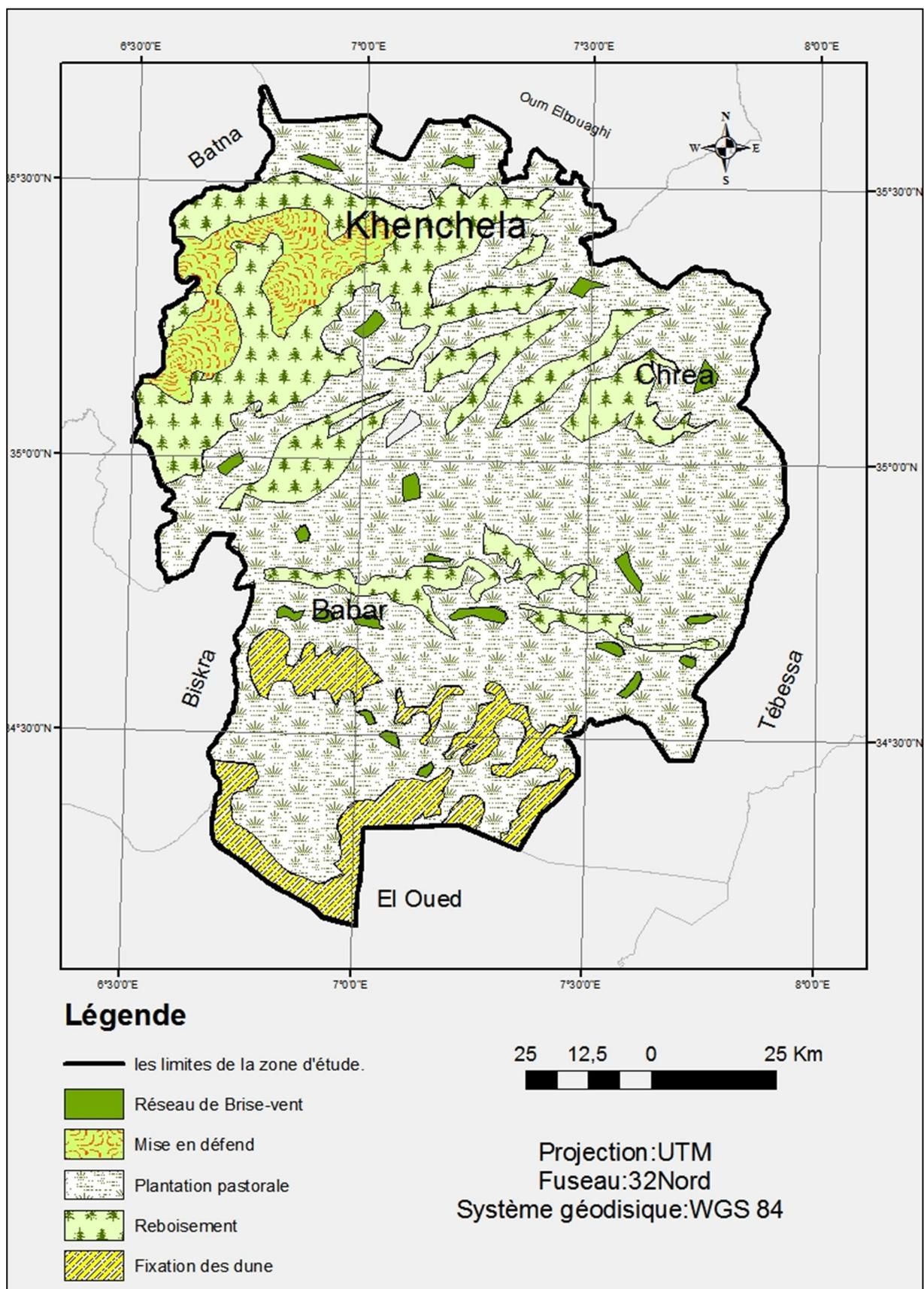


Figure 95: Proposition des travaux de protection contre le risque de la désertification.

Conclusion

L'objectif de cette étude était d'adopter une méthodologie pour évaluer les situations critiques au risque de la désertification dans la région des Aurès, cette évaluation permis d'intégrer les méthodes d'analyses multicritères et les systèmes d'information géographique, nous avons pris en compte les quatre critères dominants (végétation, climat, sol et enjeu socio-économiques) , Ceci nous a permis d'évaluer la gravité des processus désertiques résultantes en affectant un poids spécifiques à chacun des quatre critères en consultant les expert de terrain travaillant sur la zone des Aurès.

L'évaluation de risque de la désertification dans la région des Aurès a permis de mettre en évidence une cartographie décisionnelle a pour objectif de classer la zone d'étude à quatre situations en fonction de l'importance de risque de la désertification, le zonage de cette cartographie a montré que l'évolution de ce fléau naturels majeur est très important car il menace plus de la moitié de la surface de la zone d'étude, 32,48% de cette surface sont fragile et 24% sont en situation critique et irréversibles.

Ces résultats cartographiques destinées et éclairer les décideurs et les aménagistes sur les zones critiques aux risques de désertification afin d'en tenir compte dans le choix des zones prioritaires d'intervention.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

Cette étude a été consacrée pour deux objectifs principaux à savoir le traitement des données de la télédétection pour étudier et analyser l'évolution d'occupation du sol entre 1987,2000 et 2013 dans la région des Aurès, ainsi que l'estimation numérique de risque de la désertification, par l'intégration des méthodes d'analyse multicritère avec les systèmes d'information géographique dans la région des Aurès.

Cette zone d'étude fait partie des régions arides et semi-arides correspond à une zone hétérogène dans sa structure physique et climatique, le système orographique de cette zone détermine la caractérisation dans les formations végétale et les formations des sols, qui partagent la zone d'étude en trois aspects : les montagnes, les plateaux et les steppes.

L'étude climatique et bioclimatique de cette zone à travers une base de données d'un ensemble des stations météorologique, montre que les paramètres climatiques variés en fonction de l'altitude et la latitude, la pluviométrie variée de 950 mm sur le sommet de Chélia à 159 mm sur le Sud de la zone d'étude, ce qui influe sur l'étagement bioclimatique, par l'application de divers indices bioclimatiques confirme que la zone s'étale sur trois étages bioclimatique : subhumide, semi-aride et aride.

Les résultats des calculs par la méthode du diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnauls permettant de déterminer la durée de la période de sécheresse qui variées entre 3 mois au nord et presque toute l'année au Sud.

Les cartes d'occupation du sol établie à partir des images satellitaires TM 1987, ETM+ 2000et OLI 2013de Landsat, à l'aide des propriétés spectrales des pixels qui gérer en fonction de la classification supervisée assisté par la méthode de maximum de vraisemblance qui classe les pixels par leur semblance avec les comptes numériques des objets géographiques déterminer dans les régions d'intérêts.

L'occupation du sol dans la région des Aurès liée aux unités géomorphologiques, tels que les plateaux dominés par les céréalicultures, les massifs dominés par les forêts et les dépressions toujours sont sous forme des Chotts et Sebkhass, les méthodes de classification des images de télédétection a permis d'obtenir des données quantitatives sur les unités d'occupation du sol en 1987, 2000 et 2013 et sur l'évolution spatio-temporelle entre les trois dates de ces unités d'occupation du sol.

L'étude diachronique de l'occupation du sol a permis de caractériser la tendance de l'environnement qui caractérisé par une dégradation des formations végétales forestière et

steppique et l'extension des formations sablonneuses et l'apparition des nouveaux Sebka et des surfaces nues, ce changement touche la deuxième période entre 2000 et 2013 plus que la période initiale entre 1987 et 2000.

Les traitements appliqués aux images satellitaires en se basant sur les caractéristiques radiométriques des objets géographiques entre 2007 et 2013 a permis de déterminer l'impact de la désertification sur la dégradation de la végétation et du sol à travers la détection de changement dans les valeurs des indices de végétation et du sol entre les deux dates, les résultats obtenus montrent que 94 % de la surface totale de la zone d'étude sont marqué par une diminution dans les valeurs de l'NDVI, cette diminution traduit la dégradation remarquable dans le couvert végétal.

Dans les régions arides et semi-arides le risque de la désertification lié à quatre paramètres principaux la végétation, le sol, le climat et les enjeux socio-économiques, pour notre zone d'étude ces paramètres distinguent par une variété dans ses caractéristiques, et pour l'obtention sur des résultats plus fiables et décisives nous avons utilisé les méthodes mathématiques d'analyses multicritères afin de pondérer les critères ou paramètres selon leur importance dans le phénomène de la désertification, et agréger ces critères dans le logiciel SIG ARC GIS.

L'évaluation réalisée montre que 57 % de la surface totale sont touchées par la désertification et 24,94 % de la zone d'étude sont classées dans une situation critique, ces chiffres alarmants montrent l'ampleur de la désertification surtout dans le Sud des Aurès qui considère comme la porte ouverte à face de la désertification qui menace la richesse verte qui couvre le massif des Aurès non affecté par ce fléau majeur.

L'intégration des systèmes d'information géographique et les méthodes d'analyse multicritère dans notre problème spatial a été très efficace pour la localisation des zones critiques au risque de la désertification, à partir de l'augmentation de le poids de la végétation et les enjeux socio-économique à cause de sa responsabilité importante dans l'apparition des conditions désertique.

Cette intégration donne aux décideurs et les aménagistes un outil d'aide à la décision et la carte décisionnelle issu de cette intégration elle va falloir prendre en compte lors de l'aménagement du territoire.

Nous terminons cette conclusion par les perspectives suivant que nous envisageons dans le futur :

- de tester de l'utilisation des images satellitaires à haute résolution (NOAA, AVHR et SPOOT), qui peut donner des résultats plus précisés dans l'accumulation des sables pour définir les zones critiques au risque de la désertification.
- travailler sur une zone homogène de végétation, pendant l'application des indices de végétation comme la forêt de Beni Mloul car sa forte végétation montre les zones de végétation dégradées, et permet de l'obtention des résultats de l'NDWI différents sur les résultats de l'NDVI, et l'utilisation des différentes indices de végétation
- tester plusieurs méthodes de la pondération et d'agrégation tel que ELECTTRE I, II et III.
- l'utilisation des résultats des indices de télédétection telle que l'NDVI, NDWI et l'indice de rougeur comme des critères pour l'évaluation de risque de la désertification car les valeurs attributs de ces critères sont standardisées automatiquement allant de -1 à 1.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

ABDESSEMED K. 1981 : le cèdre de l'Atlas (*Cedrus Atlantica Manetti*) dans le massif de l'Aurès et du Belezma-étude phytosociologique, problème de conservation et d'aménagement. Thèse Doctorat, Université d'Aix-Marseille.

ABDESSEMED K.1984 : les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie), Première partie : la dégradation, ses origines et ses conséquences. Forêts Méditerranéenne, Vol(VI), N°1, PP19-26.

ABDESSEMED K. 1985 : les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie), Deuxième partie : les mesures à prendre. Forêts Méditerranéenne, Vol(VII), N°1, PP43-52.

AKÉ G É, KOUADIO B H, ADJA M G, ETTIEN J-B, EFFEBI K R et BIÉMI J 2012 : Cartographie de la vulnérabilité multifactorielle à l'érosion de Bonoua (Sud Est de la Cote d'Ivoire). *Physio-Géo*, Vol(6), N°2, PP 22-42.

AIDOU D A et TOUFFET J 1996 : La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima*), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes.

ANAT 2008 : Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire.

ANSAR A.2002 : L'Aurès Oriental : un milieu en dégradation. *Journal Algérien Des Régions Arides*, Vol(1), N°1, PP24-32.

AUBERVILLE A 1949 : Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Société d'édition géographique, Maritimes et Coloniales, Paris, France.

AYAD N, DJENNANE A, AYACHE A et HELLAL B 2013 : Contribution à l'étude de l'implantation de l'armoise blanche (*Artemisia herba alba-Asso*) dans la steppe d Sud de Tlemcen. *Revue Écologie- Environnement*, vol9.

BAHRI B 2006 : Contribution à l'étude de l'influence des facteurs édaphiques orographiques et biologiques sur la génération naturelle du cèdre de l'Atlas dans les monts d'Ouled Yagoube. Mémoire de magistère, Université de Batna, 138pp.

BAGNOULS F et GAUSSEN H 1957 : les climats biologiques et leur classification. *Ann, Géog*, Fr355, PP193-220.

BALLAIS J L 1981 : Recherches géomorphologiques dans les Aurès (Algérie). Thèse de doctorat, Université de Paris I, 572p+annexes + cartes.

BALZARNI R 2013 : Approche cognitive pour l'intégration des outils de la géomatique en science de l'environnement : Modélisation et évaluation. Thèse doctorat, Université Grenoble, 325p.

- BANNARI A, HABBOUDANE D et BONN F 2000:** Mid infrared interest for culture residues cartography can. *Remot Sens*, 26, PP384-363.
- BANNARI A, HUETE A R, MORIN D et ZAGOLSKI F 1996 :** Effets de la couleur et de la brillance du sol sur les indices de végétation. *International journal of Remote Sensing*, vol17, N°10, PP1885-1906.
- BENDERRADJI M E H, ALATOU D, ARAFA A M T et BEACHOUR K2006:** Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation Impact du phénomène en Algérie .*New Medit*, Vol5, N°4, PP15-22.
- BELARAOUI K et LIAZID M 2012 :** Impact des facteurs climatiques sur la désertification et l'environnement des zones semi-arides (cas de la région de Saida, Algérie). *COST*, N°10, PP45-56.
- BENCHETRIT M 1956 :** Les sols d'Algérie. *Revue de géographie alpine*. Tome 44, N°4, PP749-761.
- BENCHRIK M, LAKHDARI S 2002 :** Contribution à l'étude de l'entomofaune de la nappe alfatière de la région de Zaafrane(Djelfa).
- BENGUERAI A 2001 :** Évolution du phénomène de désertification dans le Sud oranais (Algérie). Thèse doctorat, Université Tlemcen, 138p.
- BEN MENA S 2000 :** Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. *Biotechnol, Agron, Soc, Environ*, vol(4), N° 2, PP83-93.
- BENMESSAOUD H, KALLA M, DRIDDI H 2009 :** Évolution de l'occupation des sols et désertification dans le Sud des Aurès (Algérie).*M@ppemonde*, vol(94), N°6.
- BENMESSAOUD H 2009 :** Etude de la vulnérabilité à la désertification par des méthodes quantitatives numériques dans le massif des Aurès (Algérie). Thèse de Doctorat, Université de Batna, 220p+ annexes.
- BENSAID A 2006 :** SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naàma (Algérie). Thèse de doctorat en géographie, Université Es Senia Oran Algérie, 325p.
- BENSAID A, BARKI M, TALBI O, BENHANIFIA K et MENDAS A 2007:** l'analyse multicritère comme outil d'aide à la décision pour la localisation spatiale des zones à forte pression anthropique: le cas du département de Naàma en Algérie. *Télédétection*, Vol(7), N°1-2-3-4, PP359-371.

- BENSTITI 1974** : Contribution à l'étude de potentialité d'une nappe alfatière dans la région de Moudjebara (Djelfa).
- BENTOUATI A 2008** : La situation du cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). Forêt Méditerranéenne, vol(29), N°2, PP203-208.
- BERKANE A et YAHIAOU A 2007** : L'érosion dans les Aurès. Sécheresse, vol (18), N° 3, PP213-216.
- BERRY L, ABRAHAM E et ESSAHLI W 2009**: UNCCD recommended minimum set of impact indicators. CCD/COP (9)/CST/4.
- BLAYAC J 1899** : Le pays des Nememchas à l'est des monts Aurès. Annales de géographie, t 8 N° 38, PP141-159.
- BOUDY P 1952** : Guide du forestier en Afrique du Nord. Paris ED, la maison rustique 505p.
- BOUIADJRA S E B, EL ZEREY W et BENABDELI K 2001**: Étude diachronique des changements du couvert végétal dans un écosystème montagneux par télédétection spatiale : cas des monts du Tessala (Algérie occidentale).Physio-Géo, vol(5), N° 12, PP211-225.
- BUREAU D 1986** : Approche sédimentaire de la dynamique structurale: Évolution mésozoïque et devenir orogénique de la partie septentrionale du fossé saharien. (Sud-ouest constantinois et Aurès-Algérie). Thèse Sciences, Université Pierre et Marie Curie, Paris, vol2, 779 p.
- BUSSON H 1990**: Les vallées de l'Aurès. In Annales de géographie, t 9, n°43, PP43-55.
- CECCATO P, GOBRON N, FLASSE S, PINTY B and TARANTOLA S 2002**: Desining a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data. Part1, Theoretical approach. Remote Sensing of Environment, 82, PP188-197.
- 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 3^{ème} cycle.
- CHAKHAR S 2006** : Cartographie décisionnelle multicritère : formalisation et implémentation informatique. Thèse de l'Université Dauphine, DFR Science des organisation265p+ annexe.
- CHAKHAR S and MARTEL J M 2004**: Towards a spatial decision support system: Multi-criteria evaluation functions inside geographical information system. Annales du Lamsade, N°2, PP97-123.

CHAKROUN H, NOURI M, VACCA A et REJEB M N 2006 : Modélisation de la désertification par l'adaptation de la méthode MEDALUS à un bassin versant du centre de la Tunisie. The 14th ISCO, Marrakech, Morocco, May2006.

CORNET A 2002 : La désertification à la croisée de l'environnement et du développement : un problème qui nous concerne. Johannesburg Sommet Mondial du développement durable2002, PP 91-130.

CRISTINA N M, CATHERINE M et MARCO ANTONIO R B 2009 : Évaluation du changement de l'occupation du sol à l'aide des images Landsat et Spot : champ volcanique de la Sierra Chichinautzin (Mexique). International Cartography Conference.

DJEBAILI S 1984 : Steppe algérienne : Phytosociologie et écologie. OPU, Alger177p.

DEKHINAT S 2005 : Étude des potentialités morpho-pédologique des sols Aurassiens. Rapport du laboratoire de recherche APAPEZA, Faculté des sciences, Université de Batna.

DELARTIGUE L.T. 1904 : Monographie de l'Aurès, Constantine ,1904.*

DGF 2004 : Rapport national de l'Algérie sur la mise en œuvre de la convention de lutte contre la désertification.

DREGNE H E et CHOU N 1992: "Global desertification dimension and casts" In DREGNE H E(ed): degradation and restoration of arid lands. Texas Tech University, Lullobock.

DOUIHASNI M 1975 : Décrochant et mouvements inverses dans la région des Aurès.

DUCHAUFOR PH 1977 : Pédologie et classification. Masson & Cie Éditeurs, Paris, T1, 477p et T 2, 495p.

EI GAROUNI A, CHEN H, LEWIS L, TRIBAK A et ABAHROUR M 2007: Apport de la Télédétection et du SIG pour le suivi spatio-temporel de l'occupation du sol et de l'érosion nette dans le bassin de l'Oued Tlata (Maroc).Revue Télédétection, Vol (8), N°3, PP193-201.

EMBERGER L 1955 : Une classification biogéographique des climats, Trav, inst, Bot. Montpellier, vol(7), PP 3-34.

ESCADAFAL R et HUETE A 1991 : Etude des propriétés spectrales des sols arides appliquée à l'alimentation des indices de végétations obtenus par télédétection. CA, Acad, Sci, Paris, T321, série II: 385-1391.

ESCADAFAL R et POUGET M 1989 : Comparaison des données Landsat MSS et TM pour la cartographie des formations superficielles en zone aride (Tunisie méridionale). In : Guyenne , TD(ed); Calabresi, G(ed)- European coordinated effort for monitoring the earth's environment : a pilot project comparing on Landsat Thematic Mapper application (1985-87), PP301-307.

FATTAH H et KARROUK M S 2012 : Le suivi de l'évolution spatio-temporelle de la végétation dans la cédrie d'Azrou par imagerie satellitaire. Géo Observateur, vol20, N°4, PP 45-57.

GUIRAUD R 1990 : Évolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du Bassin du Hodna et des régions voisines. Pub. Office National de la Géologie, Mémoires N°3. 259p.

HALIMI A 1980 : L'Atlas blideen : Climats et étages végétaux. OPU Alger, 523p.

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 en sciences, Université de Rennes, 336p+annexes.

HAMMI S, SIMONNEAUX V, ALFFRIQUI M, AUCLAIR L et MONTES N 2007: - Évolution des recouvrements forestiers et de l'occupation des sols entre 1964 et 2002 dans la haute vallée des Ait Bouguemez (Haut Atlas central, Maroc). Sécheresse, Vol(18), N°4, PP271-277.

HOUHA B : 2007 : Étude du fonctionnement hydrogéologique et salin d'un bassin semi-aride (Remila Khenchela). Thèse de doctorat d'état, Université Badji Mokhtar Annaba, 165p.

HUETE AR 1989: Soil influence in remotely sensed vegetation - canopy spectre in theory and application of optical. Remote Sensing, PP107-141.

HUNT RE, ROCK BN and PARK SN 1987: Measurement of leaf relative water content by infrared reflectance. Remote Sensing of Environment, 22, PP 429-435.

ISHIZAKA A et LABIB A 2009: Analytic hierarchy process and Expert Choice: Benefits and limitations. ORI nsight, vol22, n°4, PP201-220.

JACKSON RD and HEUTE AR 1991: Interpreting vegetation indices. J Presentative Vet, Mmd, n°11, PP185-200.

JASEIX B. 1948 : Carte des sols de l'Algérie Feuille Tébessa, Biskra 1/50.0000.

JAUFFRET S 2001 : Validation et comparaison de divers indicateurs des changements a long terme dans les écosystèmes méditerranéens arides : Application au suivi de la désertification dans le sud Tunisien. Thèse de Doctorat, Université Aix Marseille, 364p+annexes.

JOERIN F 1997 : Décider sur le territoire : proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthodes d'analyse multicritère. Thèse de Doctorat sciences technique, École polytechnique fédérale de Lausanne, département de génie rural, 269p.

JOURDA J.P, SALEY M.B, DJAGOUA ÉV, KOUAMÉ K.J, BIÉMI .J et RAZACK.M 2006: utilisation des données ETM+ de landsat et d'un SIG pour l'évaluation du potentiel en eau souterraine dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo (Nord de la Cote d'Ivoire), approche par analyse multicritère et test de validation. Télédétection Vol(5), N°4, PP339-357.

KAABACH M 1990 : les groupements végétaux de la région de Boussaâda (Algérie) : essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb. Thèse doctorat en sciences, Université de Paris-sud, centre d'ORSAY.

KATYAL J C et VLEK P L G 2000: Desertification- concept, causes and Amelioration. Discussion Papers on development Policy N ° 33, centre for development research, Universidad Bonn, 65p.

KÊDOWIDÉ C M G 2010 : Modélisation géomantique par évaluation multicritère pour la prospection de sites d'agriculture à Ouagadougou. VertigO, vol(10), N° 2,20p.

KÊDOWIDÉ C M G 2011 : SIG et analyse multicritère pour l'aide à la décision en agriculture urbaine dans le pays en développement cas de Ouagadougou au Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université Paris 8, 281p.

KOUAMÉ k J, DEH S K, ANANI A T, JOURBA J P et BIÉMI J 2007 : Gestion des déchets solides dans le district d'Abidjan (Sud de la cote d'ivoire) : Apport d'un SIG et des méthodes d'analyse multicritère. Actes de la conférence SIG 2007(Versailles, France).

KOSMAS C, KIRKBY M ET GEESON N 1999: The MEDALUS PROJECT: Mediterranean desertification and land use, Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. Project ENV 4 CT 950119(EUR 18882).

- LAARBI A 2000:** SIG et analyse multicritère. Paris, Hermès Sciences Publications.
- LAARBI A, CHEVALLIER J J et MARTEL J M 1993 :** Méthodologie d'intégration des SIG et de l'analyse multicritère. Revue Internationale de Géomatique, vol3, N°4, PP415-435.
- LAFFIT R 1939 :** Étude géologique des Aurès. In bulletin du service de la carte géologique de l'Algérie, Alger 484p+ carte hors texte.
- LAVAUDEN L 1927 :** Les forêts du Sahara. Rev, Des Eaux et Forêts, LXV, N°6, PP265-277, N° 7, PP329-341.
- LAYELMAN M 2008 :** Calcul des indicateurs de sécheresse à partir des images NOAA/AVHRR. Projet de mise en place d'un système d'Alerte précoce à la sécheresse, LIFE 05 TCY/TN/000150.
- LE HOUREAU H N 1968 :** La désertification de Sahara septentrional et des steppes limitrophes. Annales algériennes des géographes, N°6, PP2-27.
- LE HOUREAU H N, CLAUDIN J et POUGET M 1977 :** Étude bioclimatique des steppes algériennes. Bull, Soc, Hist, Nat, Afr, Nord, 68, Fasc, 3et 4, PP33-75.
- LE HOUREAU H N 1993 :** Changement climatiques et désertification. Sécheresse, vol (4), N°2, PP95-111.
- LE HOUREAU H N 1995:** Climate change drought and desertification intergovernmental panel on climate change (IPCC) Working group II adaptation et mitigation, 53p.
- LIU W T ET KOGAN F N 1996:** Monitoring regional drought using the vegetation condition index. International Journal of Remote Sensing, vol (17), N°14, PP61-82.
- MAHAMANE A, MAHAMANE S, YACOUBOU B, IASSKA A, ICHAOU A et SALEY K 2007:** Analyse diachronique des terres et caractéristiques de la végétation dans la commune de Gabi (région de Maradi, Niger).Sécheresse, Vol(18), N°4, PP296-304.
- MAIGNUET M 1990 :** La désertification : une crise autant socio-économique que climatique. Sécheresse 1, PP187-193.
- MALZCEWSKI J 1999:** GIS and multicriteria decision analysis. New York, John Wiley and Sons.

MALZCEWSKI J 2004: GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. Progress in planning. 62, PP3-65.

MALZCEWSKI J 2006: GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science, vol20, N°7, PP 703-726.

MAMADOU A, S 2009 : Cartographie des changements de l'occupation du sol entre 1990 et 2002 dans le Nord du Sénégal (Ferlo) à partir des images Landsat. European Journal of Geography en ligne de document 472.

MANIÈRE R, BASSISTY E, CELLES J, et MELZI S 1993 : Utilisation de la télédétection spatiale (données XS de spot) pour la cartographie de l'occupation du sol en zones arides méditerranéennes: exemples d'Ain Oussera (Algérie). Cah, Orstom, sér, Pédol, Vol (XXVIII), N°1, PP67-80.

MAYSTRE L Y, PICTET J et SIMONS J 1994 : Méthodes multicritères Électre, Description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale. Lausanne Suisse, Presse polytechnique et universitaires romandes, 323p.

MEDDOUR R 2010 : Climatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie : exemple des groupements forestières et pré forestières de la Kabylie Djurdjurenne. Thèse de doctorat, Université de Tizi Ouzou, 397p.

MEHARZI M K 1994 : Le rôle de l'orographie dans la répartition spatiale des précipitations dans le massif de l'Aurès. In Méditerranée, Géographie physique de l'Algérie orientale, Tome 80, PP 3-4, 73-78.

MELVIN A 2012: Decision Making using the analytic hierarchy process (AHP) and SAS/IML. SESUG, Paper SD-04.

MOLINES N 2007 : SIG et analyse multicritère : des outils au service de l'amélioration du processus décisionnel des projets autoroutiers. CRENAM U, St-Etienne/ CRG U, Laval(Québec).

NEDJRAOUI D 2004 : Évaluation des ressources pastorales des régions steppiques algériennes et définition des indicateurs de dégradation. Cahier Options Méditerranéennes, N°62, PP239-243.

PAEGELOM M 2004 : Géomatique et géographie de l'environnement de l'analyse spatiale à la modélisation prospective. Habilitation à Diriger des recherches. Université de Toulouse, Le Mirail , 2 tome,de 211 et de 20p.

PUGET M 1980 : Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-Algéroises. Thèse doctorat d'état, Université Aix-Marseille III, 555p.

PUGNET L et MAILLE E 2013 : Analyse multicritère pour l'évaluation de la vulnérabilité des interfaces habitat-forêt. International Conférence on Forest fire risk modeling and mapping, Aix en Provence, France.

QI J, CHEHBOUNI A, HEUTE A.R, KERR Y.H, et SOROOSHIAN S 1994: A Modified soil adjusted vegetation index. Remote Sens. Environ Vol 48(119-126).

RAYMOND HUNT E et BARRETT N 1989: Detection of change in leaf water content using Near-and middle infrared reflectance. Remote Sens Environ, vol30, PP43-54.

RAZAGUI A et BACHARI N, E, I 2014 : Analyse spatio-temporelle de l'indice de végétation NDVI calculé à partir des images satellites NOAA et MSG. Revue des Énergies Renouvelables, vol 17, N °3, PP497-506.

RAZANOV B G 1982: Assessing, monitoring and combating desertification, In desertification and soils policy. Transaction of the 12 th congers of soil science, Symposia Papers III, PP56-66.

REYNOLDS et al 2007: Global desrtification: Building a science for dryland development. Science N°316, PP847-851.

ROSELT/ OSS 2003 : première tentative d'identification d'un "kit" de données a observer ou mesurer pour proposer une batterie d'indicateurs validés des changement écologiques à long terme : Application sur le territoire de l'observatoire ROSELT/OSS de Menzel Habib (Tunisie). Collection ROSELT/OSS, CT N°4, Montpellier, 79p.

ROSELT/OSS 2004 : indicateurs écologiques ROSELR/OSS : Une première approche méthodologique pour la surveillance de la biodiversité et des changements environnementaux. Collection ROSETL/OSS, document scientifique N°4, Montpellier, 50p+annexes.

ROY B 1985 : Méthodologie multicritère d'aide à la décision. Paris, Économica, XXII+423p.

RUBIO J L et BOCHET E 1998: Desertification indicators as diagnostic criteria for desertification risk assessment in Europe. *Journal of Aride Environnement*, N°39, PP 113-120.

SAATY TL 1980: The analytic hierarchy process. Mc Grow-Hill, New York.

SAWADOGO H, ZOMBRE N P, BOCK L et LACROIX D 2008 : évolution de l'occupation du sol de Ziga dans la Yatenga (Burkina Faso) à partir de photos aériennes. *Téledétection*, Vol(8), N°1, PP59-73.

SCHARLING A 1985 : Décider sur plusieurs critères : ponorama de l'aide à la décision multicritère. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, Suisse.

SELTZER P 1946 : Le climat de l'Algérie. Institut de météorologie du globe de l'Algérie, 219p.

S'HABOU R, ZAIRI M, KALLEL a, NEDLI J et BEN DHIA H 2001 : Intégration du SIG et des méthodes d'analyse multicritères pour la gestion de la pollution : cas de stockage des margines. Séminaire international INVACO2, Rabat Maroc, N°50-309.

STEPHEN J et CARVER 1991: integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical information systems*, vol5, n °3, PP321-339.

STEWART PH 1968 : Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique, quelques réflexions. *Bull, Soc, Hist, Nat, Afr, Nord, Alger*.

TABOPDA G, W et FOSTING J, M 2010: Quantification de l'évolution du couvert végétal dans la réserve forestière de Laf-Madjam au Nord du Cameroun par télédétection satellitaire. *Sécheresse*, Vol(21), N°3, PP169-178.

TCHIBOZO E A et TOUNDOH O P 2014 : Détection localisée des zones dégradées de végétation par télédétection : Application à la zone de transition entre le bassin sédimentaires et le socle cristallins (Centre Bénin). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol11, N°2, PP477-493.

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.

VILLA J M 1980 : La chaine alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro -Tunisiens.

Thèse de sciences, Pierre et Marie, Paris VI, 450p.

VINCKE P 1989 : L'aide à la décision. Bruxelles, Edition de l'Université de Bruxelles, 179p.

VINCKE P 1992: Multicriteria decision-aid. Chichester, John Wiley and Sons.

WALSER O, THEVOZ L, JOERIN F, SCHULER M, JOOST S, DEBARBIEUX B et

DOA H 2011 : SIG au service du développement territorial. Communauté d'étude pour l'aménagement du territoire Presse (CEAT), polytechnique et universitaire romande, ISBN : 978-288074-91942011,320p.

WARREN A et AGNEW C 1988 : Une analyse de la désertification et dégradation des terres en zones arides et semi-arides. Drylands Programmes IIED, Document N°2, 28p.

Liste des Tableaux

Tableau01 : Répartition de la superficie forestière par commune (Source : C.F 2013).....	27
Tableau 02 : la densité de la population par commune (Source : DPAT 2012).....	30
Tableau 03 : Répartition de la SAU (Source : DSA 2010).....	33
Tableau 04 : SAU irriguée par spéculation (Source : DSA 2010).	34
Tableau 05 : Les ressources en eau destinée à l'irrigation (Source : DSA 2010).....	34
Tableau.06: Les caractéristiques des stations climatiques.....	37
Tableau. 07 : Précipitations moyennes mensuelles des stations étudiées.....	39
Tableau 08 : Précipitations moyennes saisonnières des Stations étudiées.....	42
Tableau 09 : Températures moyennes mensuelles pour les stations étudiées.....	45
Tableau 10 : Classification du climat selon l'indice de DeMartonne.....	55
Tableau 11 : Valeurs de l'indice d'aridité annuel de DeMartonne pour les stations étudiées.....	56
Tableau 12 : Valeurs du Quotient pluviométrique D'EMBERGER.....	56
Tableau 13 : Les différentes problématiques de décision selon ROY (1985).....	71
Tableau 14 : Analyse comparée des SIG et de l'AMC, Source (MOLINES, 2007).....	77
Tableau 15: Caractéristiques des images satellitaires de Landsat.....	86
Tableau 16 : Caractéristiques des bandes spectrales ETM+ de Landsat.....	88
Tableau 17 : Pourcentage et Superficie des Unités de l'Occupation du Sol	93
Tableau 18 : Superficie des unités d'occupation des sols en 1987.....	96
Tableau 19 : Superficies des unités d'occupation des sols en 2000.....	99
Tableau 20 : Superficie des unités d'occupation des sols en 2013.....	103
Tableau 21: Classification des valeurs de l'NDVI 2007.....	118
Tableau 22 : Classification des valeurs de l'NDVI 2013.....	120
Tableau 23: Les différentes classes de l'MSI en 2007.....	124
Tableau 24: les différentes classes de l'MSI pour l'année 2013.....	126
Tableau 25: Les changements détectés pour l'MSI entre 2007 et 2013.....	128
Tableau 26 : Les différentes classes de l'NDWI pour l'année 2007.....	131
Tableau 27 : Les différentes classes de l'NDWI pour l'année 2013.....	132

Tableau 28 : classification des valeurs de l'IR 2007.....	135
Tableau 29 : les différentes classes de l'IR en 2013.....	138
Tableau 30 : Le changement détecté de l'IR entre 2007 et 2013.....	140
Tableau 31: Les différentes classes de l'indice de brillance pour l'année 2007.....	142
Tableau 32 : les différentes classes de l'IB en 2013.....	143
Tableau 33 : Caractéristiques et valeurs attributs pour les sous critères constituant le critère de la végétation.....	155
Tableau 34 : Caractéristiques et valeurs attributs au sol.....	159
Tableau 35 : Les valeurs attributs des précipitations.....	161
Tableau 36 : Les valeurs attributs d'étagement bioclimatique.....	161
Tableau 37 : Les valeurs attributs d'exposition de terrain.....	161
Tableau 38 : les valeurs attributs d'intensité d'utilisation des terres agricoles.....	163
Tableau 39 : Les valeurs attributs d'intensité d'utilisation des de pâturage.....	164
Tableau 40 : Les valeurs attributs des politiques d'aménagement.....	164
Tableau 41: Echelle numérique de (SAATY, 1977) comparaison par paire des critères.....	169
Tableau 42 : Matrice de pondération par paire des critères.....	167
Tableau 43 : valeurs des poids pour les différents critères.....	168
Tableau 44 : Indice aléatoire selon SAATY.....	169
Tableau 45 : La reclassification des situations de la désertification.....	172
Tableau 46 : Superficie et pourcentage des classes de la désertification.....	174

Liste des figures :

Figure 01 : Situation géographique et limites administratives de la zone d'étude.....	9
Figure.02 : Carte géologique de la zone d'étude (Source: Laffite.1939).....	12
Figure.03 : Carte lithologique de la zone d'étude (Source : carte géologique).....	16
Figure 04 : Réseaux hydrographique de la zone d'étude.....	18
Figure 05 : Carte géomorphologique du Djebel Djahfa. (Source, BALLAIS, 1981).....	20
Figure 06 : Carte géomorphologique du Djebel Chélia (Source, BALLAIS, 1981).....	21
Figure 07 : La légende des Cartes géomorphologiques.....	22
Figure 08: Carte des sols de la zone d'étude (Source : Jaseix Bellonon.1984).....	25
Figure.09 : Carte des communes de la zone d'étude.....	31
Figure 10 : Carte de la densité et de dispersion de la population.....	32
Figure 11 : Variations mensuelles des précipitations à station de Bouhmama.....	39
Figure 12 : Variations mensuelles des précipitations à station d'El Hamma.....	40
Figure 13: Variations mensuelles des précipitations à station de Babar.....	40
Figure 14: Variations mensuelles des précipitations à station de Guentis.....	40
Figure 15: Variations mensuelles des précipitations à station d'El Mita.....	41
Figure 16: Variations mensuelles des précipitations à station de Zribet Hammad.....	42
Figure 17 : Variations saisonnières des précipitations pour les stations étudiées.....	43
Figure 18 : Carte des précipitations moyennes annuelles de la zone d'étude	44
Figure 19 : variation des températures mensuelles de Bouhmama.....	46
Figure 20 : variation des températures mensuelles d'El Hamma.....	47
Figure 21 : variation des températures mensuelles de station de Babar.....	47
Figure 22 : Variations des températures mensuelles de la station de Guentis.....	48
Figure 23 : variation des températures mensuelles de station d'El Mita.....	49
Figure 24 : Variations des températures mensuelles de station de Zribet Hammad.....	49
Figure 25 : Carte des températures mensuelles minimales de la zone d'étude.....	50
Figure 26 : Carte des températures mensuelles maximales de la zone d'étude.....	51
Figure 27 : Diagramme Ombrothermique de station de Bouhmama.....	52

Figure 28 : Diagramme Ombrothermique de station d'El Hamma.....	53
Figure 29 : Diagramme Ombrothermique de station de Babar.....	53
Figure 30 : Diagramme Ombrothermique de station de Guentis.....	54
Figure 31 : Diagramme Ombrothermique de station d'El Mita.....	54
Figure 32 : Diagramme Ombrothermique de station de Zribet Hammad.....	55
Figure 33 : Projection des stations étudiées sur le climagramme d'Emberger.....	57
Figure 34 : Représentation schématique du tableau de performance.....	74
Figure 35 : Schéma conceptuel d'intégration des SIG et AMC (Source Chakhar 2006).....	78
Figure 36 : Mode indirecte d'intégration SIG et AMC (Source : CHAKAR, 2006).....	79
Figure 37 : Mode encastré d'intégration SIG et AMC (Source : CHAKAR, 2006).....	80
Figure 38 : Mode encastré d'intégration SIG et AMC (Source Chakhar 2006).....	81
Figure 39 : Carte d'échantillonnage.....	90
Figure 40 : Organigramme méthodologique.....	92
Figure 41 : Carte d'occupation du sol en 1987.	95
Figure 42 : Occupation du sol de l'année 1987	97
Figure 43 : Carte d'occupation du sol en 2000.....	98
Figure 44 : Occupation du sol de l'année 2000 en pourcentage.....	99
Figure 45 : Carte d'occupation du sol en 2013.....	101
Figure 46 : Occupation du sol de l'année 2013	102
Figure 47 : Graphique des résultats des changements entre la période 1987-2000.....	103
Figure 48 : Graphique des résultats des changements entre la période 2000-2013.....	104
Figure 49 : Graphique des résultats des changements entre la période 1987-2013.....	106
Figure 50 : Carte de changement des unités d'occupation du sol entre 1987 2013.....	107
Figure 51 : présentation de dynamique des changements des forêts claires et denses entre 1987-2013.....	108
Figure 52 : Présentation de dynamique des changements de la steppe à alfa et armoise entre 1987-2013.....	109
Figure 53: présentation de dynamique des changements des sols nue et sols sableux entre 1987-2013.....	110

Figure 54 : Présentation de dynamique des changements de maraichage et de céréaliculture entre 1987-2013.....	111
Figure 55 : Présentation de dynamique des changements de plans d'eau entre 1987-2013.....	112
Figure 56 : présentation de dynamique des changements d'unité de chott et sebkha entre 1987-2013.....	112
Figure 57 : Comportement de l'NDVI avec les feuilles vertes	117
Figure 58 : Histogramme représente les superficies des classes de l'NDVI par hectare pour l'année 2007.....	118
Figure 59 : Carte de l'NDVI pour l'année 2007.....	119
Figure 60 : Histogramme représente la superficie des classes de l'NDVI par hectare pour l'année 2013.....	120
Figure 61 : Carte de l'NDVI pour l'année 2013.....	120
Figure 62 : Le changement de l'NDVI entre 2007 et 2013.....	122
Figure 63 : Carte des changements détectés entre 2007 et 2013.....	123
Figure 64 : Carte de l'MSI pour l'année 2007.....	125
Figure 65: Histogramme représente les classes de l'MSI pour l'année 2007.....	126
Figure 66 : Carte de l'MSI pour l'année 2013.....	127
Figure 67 : Histogramme représenté les classes de l'MSI pour l'année 2013.....	128
Figure 68 : Carte de changement détecté de l'MSI entre 2007 et 2013.....	129
Figure 69 : Le changement de l'MSI entre 2007 et 2013.....	130
Figure 70 : Histogramme représenté les classes de l'NDWI pour l'année 2013.....	131
Figure 71 : histogramme représente les classes de l'NDWI pour l'année 2013.....	132
Figure 72 : Carte de l'NDWI pour l'année 2007.....	133
Figure 73 : Carte de l'NDWI pour l'année 2013.....	134
Figure 74 : représentation graphique des classes de l'IR pour l'année 2007.....	136
Figure 75 : Carte de l'indice de rougeur pour l'année 2007.....	137
Figure 76 : Histogramme représente les classes de l'IR en 2013.....	138
Figure 77 : carte de l'indice de rougeur pour l'année 2013.....	139
Figure 78 : Le changement de l'IR entre 2007 et 2013.....	140
Figure 79 : Carte de changement détecté de l'indice de rougeur entre 2007 et 2013.....	141

Figure 80 : Histogramme représente les classes de l'IB pour l'année 2007.....	142
Figure 81 : Histogramme représente les classes de l'IB en 2013.....	143
Figure 82 : Carte de l'indice de brillance pour l'année 2007.....	144
Figure 83: Carte de l'indice de brillance pour l'année 2013.....	145
Figure 84 : Organigramme méthodologique.....	151
Figure 85: hiérarchisation de critères de décision.....	153
Figure 86 : Carte critère de végétation.....	156
Figure 87 : Carte critère du sol.....	169
Figure 90 : Carte critère du climat.....	162
Figure 91: carte critère des enjeux-socio-économiques.....	165
Figure 92 : Fenêtre représente l'évaluation multicritères sur ARC GIS.....	171
Figure 93: Carte des situations de risque de la désertification.....	173
Figure 94: Représentation graphique des différentes situations de la désertification.....	174
Figure 95: Répartition des techniques d'aménagement à travers les Aurès.....	181

Liste des Photos

Photo 01 : dépression du cèdre dans le massif de Chélia	176
Photo 02 : Parcours d'alfa exposé à l'influence humaine	177
Photo 03 : Parcours d'alfa en bonne état.....	177
Photo 04 : l'érosion hydrique au niveau d'oued Alarab.....	177
Photo 05 : l'érosion éolienne dans le sud de Babar.....	177
Photo 06 : Points d'eau sèche.....	178
Photo 07 : Village abandonné Garrate.....	178

LES ANNEXES

Annexe 1

Communes	Agglomération chef lieu	Agglomération secondaire	Zone Éparse
Khenchela	120710	0	0
Babar	17406	3026	16352
El-Hamma	7150	0	6108
Ensigna	6476	0	3684
Baghai	5110	0	2230
Tamza	2210	0	6975
Ain-Toila	11090	2144	5126
M'Toussa	3844	0	2630
Kais	35952	1348	532
Taouzient	7302	0	4346
Rémila	2388	0	3672
Bouhmama	8332	0	3328
Yabous	5678	0	5668
Chélia	1496	0	3926
M'Sara	3080	0	1415
Cherchare	22505	3948	3622
Djellal	1348	720	1222
Kheirane	706	2690	2894
Ouldja	1910	468	868
Ouled Rechache	21905	1252	4208
Mahmal	30240	2274	8986
Cheria	66160	1514	7671
Stah Guentis	0	2920	769
El Ogla	14789	0	3008
Tlidjane	2579	0	1707
Ferkane	4178	436	757
Bedjane	1430	0	3075
El Mezraa	1263	0	2988

Répartition de la population urbaine et éparse.

Annexe 2

Classes	Forêt dense	Forêt claire	Steppe à Alfa	Steppe à Armoise	Céréaliculture	Maraichage	Sol nu	Sol sableux	Plan d'eau	Chott et Sebkha	Total
Forêt dense	2261	213	0	0	0	0	0	0	0	0	2474
Forêt claire	292	1739	59	3	453	0	0	0	0	4	2550
Steppe à alfa	1	89	1707	92	451	8	0	0	0	0	2348
Steppe à armoise	0	17	58	1593	11	1	9	0	0	0	1689
Céréaliculture	0	195	364	41	1606	0	8	0	2	10	2226
Maraichage	3	3	4	0	0	314	0	0	0	0	324
Sol nu	0	0	1	229	539	0	441	0	0	0	1210
Sol sableux	0	0	0	14	0	0	0	676	0	0	690
Plan d'eau	0	0	0	0	0	0	0	0	276	0	276
Chott et Sebkha	0	0	2	5	135	0	8	0	2	545	697
Total	2557	2256	2195	1977	3195	323	466	676	280	559	14484

Matrice de Confusion de la Classification Supervisée de l'Image Landsat 1987.

Annexe 3 :

Classes	Forêt dense	Forêt claire	Steppe à Alfa	Steppe à Armoise	Céréaliculture	Maraichage	Sol nu	Sol sableux	Plan d'eau	Chott et Sebka	Total
Forêt dense	1672	37	0	0	0	1	0	0	0	0	1710
Forêt claire	43	1329	76	00	2	122	18	0	1	0	1591
Steppe à alfa	0	188	2032	29	67	4	27	0	0	0	2347
Steppe à armoise	0	0	43	1361	24	0	249	8	0	0	1685
Céréaliculture	0	72	65	95	887	29	25	0	0	0	1173
Maraichage	3	221	10	1	136	119	27	0	0	0	517
Sol nu	0	4	51	359	360	0	1495	58	0	7	2334
Sol sableux	0	0	0	6	0	0	18	4576	0	7	4607
Plan d'eau	0	0	0	0	0	0	0	0	505	0	505
Chott et Sebka	0	0	0	55	0	0	52	12	1	626	746
Total	1718	1851	2277	1906	1476	275	1911	4654	507	640	17215

Matrice de Confusion de la Classification Supervisée de l'Image Landsat 2000.

Annexe 4

Classes	Forêt dense	Forêt claire	Steppe à Alfa	Steppe à Armoise	Céréaliculture	Maraichage	Sol nu	Sol sableux	Plan d'eau	Chott et Sebkha	Total
Forêt dense	708	132	0	0	0	0	0	0	0	0	840
Forêt claire	45	1733	0	0	7	4	0	0	0	0	1792
Steppe à Alfa	0	2	975	3	301	12	0	0	0	0	1293
Steppe à Armoise	0	0	0	465	0	0	824	0	0	0	1289
Céréaliculture	0	6	53	0	1273	24	119	0	0	0	1475
Maraichage	2	22	0	0	58	660	0	0	0	0	742
Sol nu	0	0	0	84	31	0	13312	13	0	0	13440
Sol sableux	0	0	0	0	1	0	629	1257	0	45	1932
Plan d'eau	0	0	0	0	0	0	0	0	442	0	442
Chott et Sebkha	0	0	0	0	1	0	3	166	0	798	968
Total	755	1895	1028	552	1672	703	14887	1436	442	843	24213

Matrice de Confusion de la Classification Supervisée de l'Image Landsat 2013.

Annexe 5

Critère	Qualité	Valeur attribut
Végétation	Haute qualité	<1,10
	Moyenne qualité	1,10 à 1,20
	Faible qualité	>1,20
Enjeu socio-économique	Haute qualité	<1,30
	Moyenne qualité	1,30 à 1,60
	Faible qualité	>1,20
Sol	Haute qualité	<1,13
	Moyenne qualité	1,13 à 1,45
	Faible qualité	>1,45
Climat	Haute qualité	<1,15
	Moyenne qualité	1,15 à 1,81
	Faible qualité	>1,81

Classification de la qualité des critères selon leurs valeurs attributs.

Liste des Tableaux

Tableau01 : Répartition de la superficie forestière par commune (Source : C.F 2013).....	27
Tableau 02 : la densité de la population par commune (Source : DPAT 2012).....	30
Tableau 03 : Répartition de la SAU (Source : DSA 2010).....	32
Tableau 04 : SAU irriguée par spéculation (Source : DSA 2010).	34
Tableau 05 : Les ressources en eau destinée à l'irrigation (Source : DSA 2010).....	34
Tableau.06: Les caractéristiques des stations climatiques.....	37
Tableau. 07 : Précipitations moyennes mensuelles des stations étudiées.....	39
Tableau 08 : Précipitations moyennes saisonnières des Stations étudiées.....	42
Tableau 09 : Températures moyennes mensuelles pour les stations étudiées.....	45
Tableau 10 : Classification du climat selon l'indice de DeMartonne.....	55
Tableau 11 : Valeurs de l'indice d'aridité annuel de DeMartonne pour les stations étudiées.....	56
Tableau 12 : Valeurs du Quotient pluviométrique D'EMBERGER.....	56
Tableau 13 : Les différentes problématiques de décision selon ROY (1985).....	71
Tableau 14 : Analyse comparée des SIG et de l'AMC, Source (MOLINES, 2007).....	77
Tableau 15: Caractéristiques des images satellitaires de Landsat.....	86
Tableau 16 : Caractéristiques des bandes spectrales ETM+ de Landsat.....	88
Tableau 17 : Pourcentage et Superficie des Unités de l'Occupation du Sol	93
Tableau 18 : Superficie des unités d'occupation des sols en 1987.....	96
Tableau 19 : Superficies des unités d'occupation des sols en 2000.....	99
Tableau 20 : Superficie des unités d'occupation des sols en 2013.....	103
Tableau 21: Classification des valeurs de l'NDVI 2007.....	118
Tableau 22 : Classification des valeurs de l'NDVI 2013.....	120
Tableau 23: Les différentes classes de l'MSI en 2007.....	124
Tableau 24: les différentes classes de l'MSI pour l'année 2013.....	126
Tableau 25: Les changements détectés pour l'MSI entre 2007 et 2013.....	128
Tableau 26 : Les différentes classes de l'NDWI pour l'année 2007.....	131

Tableau 27 : Les différentes classes de l'NDWI pour l'année 2013.....	132
Tableau 28 : classification des valeurs de l'IR 2007.....	135
Tableau 29 : les différentes classes de l'IR en 2013.....	138
Tableau 30 : Le changement détecté de l'IR entre 2007 et 2013.....	140
Tableau 31: Les différentes classes de l'indice de brillance pour l'année 2007.....	142
Tableau 32 : les différentes classes de l'IB en 2013.....	143
Tableau 33 : Caractéristiques et valeurs attributs pour les sous critères constituant le critère de la végétation.....	155
Tableau 34 : Caractéristiques et valeurs attributs au sol.....	159
Tableau 35 : Les valeurs attributs des précipitations.....	161
Tableau 36 : Les valeurs attributs d'étagement bioclimatique.....	161
Tableau 37 : Les valeurs attributs d'exposition de terrain.....	161
Tableau 38 : les valeurs attributs d'intensité d'utilisation des terres agricoles.....	163
Tableau 39 : Les valeurs attributs d'intensité d'utilisation des de pâturage.....	164
Tableau 40 : Les valeurs attributs des politiques d'aménagement.....	164
Tableau 41: Echelle numérique de (SAATY, 1977) comparaison par paire des critères.....	169
Tableau 42 : Matrice de pondération par paire des critères.....	167
Tableau 43 : valeurs des poids pour les différents critères.....	168
Tableau 44 : Indice aléatoire selon SAATY.....	169
Tableau 45 : La reclassification des situations de la désertification.....	172
Tableau 46 : Superficie et pourcentage des classes de la désertification.....	174

Liste des figures :

Figure 01 : Situation géographique et limites administratives de la zone d'étude.....	9
Figure.02 : Carte géologique de la zone d'étude (Source: Laffite.1939).....	12
Figure.03 : Carte lithologique de la zone d'étude (Source : carte géologique).....	16
Figure 04 : Réseaux hydrographique de la zone d'étude.....	18
Figure 05 : Carte géomorphologique du Djebel Djahfa. (Source, BALLAIS, 1981).....	20
Figure 06 : Carte géomorphologique du Djebel Chélia (Source, BALLAIS, 1981).....	21
Figure 07 : La légende des Cartes géomorphologiques.....	22
Figure 08: Carte des sols de la zone d'étude (Source : Jaseix Bellonon.1984).....	25
Figure.09 : Carte des communes de la zone d'étude.....	31
Figure 10 : Carte de la densité et de dispersion de la population.....	33
Figure 11 : Variations mensuelles des précipitations à station de Bouhmama.....	39
Figure 12 : Variations mensuelles des précipitations à station d'El Hamma.....	40
Figure 13: Variations mensuelles des précipitations à station de Babar.....	40
Figure 14: Variations mensuelles des précipitations à station de Guentis.....	40
Figure 15: Variations mensuelles des précipitations à station d'El Mita.....	41
Figure 16: Variations mensuelles des précipitations à station de Zribet Hammad.....	42
Figure 17 : Variations saisonnières des précipitations pour les stations étudiées.....	43
Figure 18 : Carte des précipitations moyennes annuelles de la zone d'étude	44
Figure 19 : variation des températures mensuelles de Bouhmama.....	46
Figure 20 : variation des températures mensuelles d'El Hamma.....	47
Figure 21 : variation des températures mensuelles d'El station de Babar.....	47
Figure 22 : Variations des températures mensuelles de la station de Guentis.....	48
Figure 23 : variation des températures mensuelles d'El station d'El Mita.....	49
Figure 24 : Variations des températures mensuelles de station de Zribet Hammad.....	49
Figure 25 : Carte des températures mensuelles minimales de la zone d'étude.....	50

Figure 26 : Carte des températures mensuelles maximales de la zone d'étude.....	51
Figure 27 : Diagramme Ombrothermique de station de Bouhmama.....	52
Figure 28 : Diagramme Ombrothermique de station d'El Hamma.....	53
Figure 29 : Diagramme Ombrothermique de station de Babar.....	53
Figure 30 : Diagramme Ombrothermique de station de Guentis.....	54
Figure 31 : Diagramme Ombrothermique de station d'El Mita.....	54
Figure 32 : Diagramme Ombrothermique de station de Zribet Hammad.....	55
Figure 33 : Projection des stations étudiées sur le climagramme d'Emberger.....	57
Figure 34 : Représentation schématique du tableau de performance.....	74
Figure 35 : Schéma conceptuel d'intégration des SIG et AMC (Source Chakhar 2006).....	78
Figure 36 : Mode indirecte d'intégration SIG et AMC (Source : CHAKAR, 2006).....	79
Figure 37 : Mode encastré d'intégration SIG et AMC (Source : CHAKAR, 2006).....	80
Figure 38 : Mode encastré d'intégration SIG et AMC (Source Chakhar 2006).....	81
Figure 39 : Carte d'échantillonnage.....	90
Figure 40 : Organigramme méthodologique.....	92
Figure 41 : Carte d'occupation du sol en 1987.	95
Figure 42 : Occupation du sol de l'année 1987	97
Figure 43 : Carte d'occupation du sol en 2000.....	98
Figure 44 : Occupation du sol de l'année 2000 en pourcentage.....	99
Figure 45 : Carte d'occupation du sol en 2013.....	101
Figure 46 : Occupation du sol de l'année 2013	102
Figure 47 : Graphique des résultats des changements entre la période 1987-2000.....	103
Figure 48 : Graphique des résultats des changements entre la période 2000-2013.....	104
Figure 49 : Graphique des résultats des changements entre la période 1987-2013.....	106
Figure 50 : Carte de changement des unités d'occupation du sol entre 1987 2013.....	107
Figure 51 : présentation de dynamique des changements des forêts claires et denses entre 1987-2013.....	108

Figure 52 : Présentation de dynamique des changements de la steppe à alfa et armoise entre 1987-2013.....	109
Figure 53: présentation de dynamique des changements des sols nue et sols sableux entre 1987-2013.....	110
Figure 54 : Présentation de dynamique des changements de maraichage et de céréaliculture entre 1987-2013.....	111
Figure 55 : Présentation de dynamique des changements de plans d'eau entre 1987-2013.....	112
Figure 56 : présentation de dynamique des changements d'unité de chott et sebkha entre 1987-2013.....	112
Figure 57 : Comportement de l'NDVI avec les feuilles vertes	117
Figure 58 : Histogramme représente les superficies des classes de l'NDVI par hectare pour l'année 2007.....	118
Figure 59 : Carte de l'NDVI pour l'année 2007.....	119
Figure 60 : Histogramme représente la superficie des classes de l'NDVI par hectare pour l'année 2013.....	120
Figure 61 : Carte de l'NDVI pour l'année 2013.....	120
Figure 62 : Le changement de l'NDVI entre 2007 et 2013.....	122
Figure 63 : Carte des changements détectés entre 2007 et 2013.....	123
Figure 64 : Carte de l'MSI pour l'année 2007.....	125
Figure 65: Histogramme représente les classes de l'MSI pour l'année 2007.....	126
Figure 66 : Carte de l'MSI pour l'année 2013.....	127
Figure 67 : Histogramme représenté les classes de l'MSI pour l'année 2013.....	128
Figure 68 : Carte de changement détecté de l'MSI entre 2007 et 2013.....	129
Figure 69 : Le changement de l'MSI entre 2007 et 2013.....	130
Figure 70 : Histogramme représenté les classes de l'NDWI pour l'année 2013.....	131
Figure 71 : histogramme représente les classes de l'NDWI pour l'année 2013.....	132
Figure 72 : Carte de l'NDWI pour l'année 2007.....	133
Figure 73 : Carte de l'NDWI pour l'année 2013.....	134
Figure 74 : représentation graphique des classes de l'IR pour l'année 2007.....	136
Figure 75 : Carte de l'indice de rougeur pour l'année 2007.....	137

Figure 76 : Histogramme représente les classes de l'IR en 2013.....	138
Figure 77 : carte de l'indice de rougeur pour l'année 2013.....	139
Figure 78 : Le changement de l'IR entre 2007 et 2013.....	140
Figure 79 : Carte de changement détecté de l'indice de rougeur entre 2007 et 2013.....	141
Figure 80 : Histogramme représente les classes de l'IB pour l'année 2007.....	142
Figure 81 : Histogramme représente les classes de l'IB en 2013.....	143
Figure 82 : Carte de l'indice de brillance pour l'année 2007.....	144
Figure 83: Carte de l'indice de brillance pour l'année 2013.....	145
Figure 84 : Organigramme méthodologique.....	151
Figure 85: hiérarchisation de critères de décision.....	153
Figure 86 : Carte critère de végétation.....	156
Figure 87 : Carte critère du sol.....	169
Figure 90 : Carte critère du climat.....	162
Figure 91: carte critère des enjeux-socio-économiques.....	165
Figure 92 : Fenêtre représente l'évaluation multicritères sur ARC GIS.....	171
Figure 93: Carte des situations de risque de la désertification.....	173
Figure 94: Représentation graphique des différentes situations de la désertification.....	174
Figure 95 : Répartition des techniques d'aménagement à travers les Aurès.....	181

Liste des Photos

Photo 01 : dépression du cèdre dans le massif de Chélia	176
Photo 02 : Parcours d'alfa exposé à l'influence humaine	177
Photo 03 : Parcours d'alfa en bonne état.....	177
Photo 04 : l'érosion hydrique ai niveau d'oued Alarab.....	177
Photo 05 : l'érosion éolienne dand le sud de Babar.....	177
Photo 06 : Points d'eau sèche.....	178
Photo 07 : Village abandonné Garrate.....	178

Résumé :

Les influences climatiques désertiques au Sud et méditerranéen au nord sur la région des Aurès et la surexploitation des ressources naturelles ont accentué une dégradation du couvert végétal et l'extension des sols nus.

A travers cette étude, nous avons utilisé d'une part les données de la télédétection représentant dans une série des images satellitaires de Landsat prises en 1987, 2000 et 2013, en suivant les différentes étapes de traitement pour l'analyse diachronique de l'occupation du sol et montrer les tendances de dégradation, les caractéristiques radiométriques ainsi utilisées pour l'estimation quantitative des zones dégradées par la désertification.

Les résultats obtenus montrent que la partie Sud des Aurès qui a connu une grande dégradation apparaît dans l'extension des sables et la régression des surfaces forestières.

D'autre part l'évaluation de risque de la désertification est basée sur l'intégration des systèmes d'information géographique et les méthodes mathématiques d'analyse multicritère, la méthode AHP utilisée largement pour pondérer les critères dans les problèmes spatiaux.

Dans notre cas les critères agrégés pour l'extraction des situations critiques au risque de la désertification ont été déterminés selon leur importance dans l'impact sur la désertification par l'ordre suivant la végétation, puis les enjeux socio-économiques et enfin le sol et le climat avec une même importance.

Abstract :

The desert climate influences in the south and Mediterranean north on the Aures region and the overexploitation of natural resources have increased degradation of the vegetation cover and the extension of bare soil.

Through this study, we used the one hand representing the remote sensing data in a series of satellite images from Landsat snuff in 1987, 2000 and following the steps 2013en treatment for diachronic analysis of land use and show trends of degradation, the radiometric characteristics and used for quantitative estimation of areas degraded by desertification.

The results show that the southern part of the Aures experienced great degradation appears in the extension of sands and regression of forest areas.

On the other hand the assessment of risk of desertification is based on the integration of geographic information systems and mathematical methods of multi-criteria analysis, AHP method widely used to weight the criteria in spatial problems.

In our case the criteria for aggregate extraction of critical situations at risk of desertification have been determined according to their importance in the impact on desertification in the following sequence vegetation and socio-economic issues and finally the floor and climate by same importance.

ملخص

التأثيرات المناخية الصحراوية من الجنوب و القارية من الشمال على منطقة الأوراس و الاستغلال المفرط للموارد الطبيعية تؤدي إلى تفاقم تدهور الغطاء النباتي و تمدد التربة العارية.

من خلال هذه الدراسة نستعمل من جهة بيانات الاستشعار عن بعد المتمثلة في سلسلة من صور الأقمار الصناعية لندسات المؤخودة عام 1978 و 2000 و 2013 باتباع مختلف خطوات العلاج لهذه الصور من أجل التحليل التاريخي لاستخدام الأراضي و إظهار اتجاهات التدهور و استعمال الخصائص الإشعاعية لتقدير الكمي المناطق المتدهورة بفعل التصحر. وتظهر النتائج أن الجزء الجنوبي من الأوراس شهد ظهور تدهور كبير من خلال تمديد رمال وتراجع المناطق الغابية.

من ناحية أخرى يستند تقييم مخاطر التصحر على تكامل نظم المعلومات الجغرافية والطرق الرياضية متعددة المعايير تستخدم طريقة AHP على نطاق واسع لموازنة المعايير الواردة في المشاكل المكانية وفي حالتنا المعايير المستعملة لتقييم الحالات الحرجة لخطر التصحر توازن حسب أهميتها في التأثير على التصحر حسب الترتيب التالي الغطاء النباتي ثم الحالة الاجتماعية و الاقتصادية و أخيرا التربة و المناخ بنفس القدر من الأهمية .