



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



DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences
Option : Aménagement du Territoire

Thème

**Application des techniques de géomatique dans l'analyse de la
vulnérabilité des zones endoréiques (Hauts Plateaux de l'Est
Algérien - Cas de la plaine de Gadaine et ses bordures)**

Présentée et soutenue par:

Bouhata Rabah

Thèse soutenue devant le jury composé de :

Pr. Dridi Hadda	Présidente	Université de Batna
Pr. Guetouche Med. Said	Examineur	USTHB
Pr. Boutiba Makhoulf	Examineur	USTHB
Pr. Hadjab Makhoulfi	Examineur	Université de M'Sila
Dr. Benmessaoud Hassene	Examineur	Université de Batna
Pr. Kalla Mahdi	Rapporteur	Université de Batna

Année Universitaire :2014/2015

Remerciements

Il m'est agréable de remercier toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenue durant ces longues années et qui ont contribué et participé de près ou de loin à l'aboutissement et à la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier particulièrement Monsieur Pr: Kalla Mahdi , mon directeur de thèse, qui a bien voulu diriger ce travail, en me faisant profiter de son expérience et surtout de ses connaissances, ses conseils et remarques qui m'ont été très bénéfiques, je le remercie pour la confiance qu'il m'a témoignée.

Ainsi, je suis particulièrement reconnaissant à Mme Pr : Dridi Hadda, pour l'aide et les conseils qu'elle m'a fourni pour réaliser cette thèse, elle m'a permis de profiter de ses grandes connaissances et ses réflexions pertinentes .

Je voudrais également remercier les membres du jury qui ont accepté de juger mon travail : Mr. Guetouche Med. Saïd, Professeur à (USTHB), Mr. Boutiba Makhlouf, Professeur à (USTHB), Mr. Hadjab Makhloufi, Professeur à l'université de M'Sila et Mr. Benmessaoud Hassene, Maître de conférences à l'université de Batna.

Je voudrais aussi témoigner ma reconnaissance aux personnes qui m'ont aidé de près: Habibi Yahiaoui, Kalla Adel, Yahia Mouloud, Loucif Lotfi, Akakba Ahmed, Mekaoussi Radia.

Merci aussi chaleureusement à mes collègues du laboratoire (LRNAT) et à mes collègues du département des sciences de la terre et de l'univers, université de Batna.

Il est certain que sans le soutien permanent et la tolérance de ma famille, les recherches de ma thèse auraient difficilement progressés. Je remercie particulièrement mon épouse.

Enfin, merci à tous ceux qui ont été oublié de ma mémoire.

A mes très chers parents.

*A mon épouse, qui partage avec moi le bonheur et les difficultés
durant mes recherches.*

A mes enfants, pour le plaisir de les voir grandir sainement.

A mes frères et sœurs.

A ma belle famille d'ami Ahmed Bensekhría.

A tous mes enseignants.

A tous mes amis et à tous ceux qui sont proches et chères.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	01
-----------------------------------	-----------

CHAPITRE 01 : PRESENTATION ET ETUDE PHYSIQUE DE LA PLAINE DE GADAINNE ET SES BORDURES

Introduction

1. Présentation géographique de la région d'étude.....	06
2. Les reliefs.....	08
2.1. La courbe hypsométrique.....	08
2.2. Les altitudes caractéristiques.....	10
3. Traitement du MNT pour produire les cartes hypsométrique ,pentes ,exposition et 3D.....	10
3.1. Modélisation 3D	11
3.2. La pente.....	13
3.3. L'exposition.....	15
4. La Géologie.....	16
4.1. Les caractéristiques lithologiques	16
4.1.1. Les formation du Trias exotique ou extrusif.....	16
4.1.2. Les formations de l'ensemble Parautochtone et autochtone.....	17
4.1.3 Les formations de l'ensemble allochtone sud-sétifien	17
4.1.4. Les formations Mio-Pliocènes.....	18
4.1.5. Les formations Quaternaires.....	18
5. Le réseau hydrographique.....	20
6. L'hydrogéologie.....	21
6.1. Aquifère superficiel d'âge Mio-Plo-Quaternaire.....	21
6.2. Aquifère profond.....	21
7. Le couvert végétal.....	22
8. Etude du climat.....	23

8.1. Les précipitations.....	24
8.1.1. Les variations annuelles	24
8.1.2. Les variations saisonnières	25
8.1.3. Les variations mensuelles	26
8.2. Le régime thermique.....	28
8.2.1. Les températures minimales et maximales	29
8.3. La gelée blanche et la neige.....	30
8.4. Humidité relative.....	30
8.5. Le vent.....	31
8.6. La durée de l'insolation.....	33
8.7. L'évaporation.....	34
8.7.1. Les données expérimentales	34
8.7.2. Les mesures de l'évaporation annuelle sur Sebkhâ Tinsilt	35
8.7.3. Les données récentes de l'évaporation mensuelle	35
8.8. Synthèse climatique.....	37
8.8.1. Courbe ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS.....	37
8.8.2. L'indice d'aridité	38
8.8.3. Climagramme de L. EMBERGER.....	39
8.9. Le bilan hydrique.....	41
8.9.1 L'évapotranspiration.....	41
8.9.2. Evapotranspiration potentielle (ETP.).....	43
8.9.3. Evapotranspiration réelle (ETR)	43
8.9.4. Calcul du ruissellement et de l'infiltration.....	50
8.9.4.1. Le ruissellement.....	50
8.9.4.2 L'infiltration.....	50
Conclusion.....	52

**CHAPITRE 02 : APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION DANS LE SUIVI
DIACHRONIQUE DE LA DYNAMIQUE DES SEBKHAS ET CHOTTS DANS LA
PLAINE DE GADAIN ET SES BORDURES**

Introduction.....	53
1. La télédétection.....	54

1.1. Le spectre électromagnétique : un bref aperçu.....	54
1.2. Interactions au cours de la traversée des couches atmosphériques.....	57
2. Le suivi de l'occupation et l'utilisation du sol par télédétection : La question de la résolution et de l'échelle.....	59
3. Les données images et cartes	61
3.1. Les images.....	61
3.1.1. Critères de choix des images satellitaires.....	61
3.2. Les données supports (les cartes topographiques)	62
3.2.1. Scannage des cartes topographiques.....	62
4. Logiciel utilisé (ENVI)	62
5. Extraction d'une fenêtre de la zone d'étude.....	64
6. La composition colorée	66
7. Missions de reconnaissance et d'échantillonnages sur terrain.....	69
8. Classification des images.....	71
8.1. Choix des parcelles d'entraînement et de validation.....	74
8.2 . Performance et validation de la classification.....	75
9. Résultats et discussions.....	77
Conclusion.....	82

CHAPITRE 03 : LE MILIEU SOCIO-ÉCONOMIQUES ET SON IMPACT SUR LE SOL ET L'ENVIRONNEMENT

Introduction.....	83
1. Situation démographique.....	83
1.1. L'évolution de la population.....	83
2. La spatialisation de l'anthropisation	86
3. Le Réseau Routier	88
3.1. Interprétation de la carte de réseau routier	88
3.2. L'effet des pistes sur le cycle des particules des sels.....	91
4. Type de partage et de délimitation des parcelles	90
5. L'aéroport.....	92
6. L'Agriculture	93
6.1. Répartition de la superficie agricole	93

7. L'irrigation	95
7.1. La salinité des eaux d'irrigation	95
7.1.2. La qualité des eaux d'irrigation utilisée en Algérie.....	96
7.1.3 Méthode d'irrigation.....	97
8. L'élevage	98
9. L'exploitation des ressources naturelles.....	102
9.1. L'exploitation des eaux sous terraines	102
9.2. L'exploitation de gypse	104
9.3. L'exploitation des Argiles.....	105
10. La dégradation des aménagements.....	106
Conclusion.....	109

**CHAPITRE 04 : LA GEOSTATISTIQUE POUR L'ETUDE ET L'ELABORATION DE LA
CARTE DE LA SALINISATION DES SOLS**

Introduction.....	110
1. L'origine des sels.....	111
2. Salinisation primaire	111
2. 1. Salinisation géologique	111
2.2. Salinisation marine et lagunaire	111
3. Salinisation secondaire	112
4. Caractéristiques des sols salés.....	113
5. Matériel et méthode.....	116
5.1. Echantillonnage.....	116
5.2. Analyses au laboratoire.....	118
5.3. Traitements des donnés.....	118
5.4. Analyse de la variabilité spatiale.....	120
6. Résultats.....	122
Conclusion.....	123

**CHAPITRE 05 : CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE ENVIRONNEMENTALE
A LA DESERTIFICATION PAR L'ADAPTATION DE LA METHODE MEDALUS**

Introduction.....	125
1. Définitions et caractéristiques générales de la désertification.....	125
2.Méthodologie.....	128
3. L'organisation des données.....	128
4. L'indice de sensibilité à la désertification ISD.....	129
5. Détermination des quatre indices de qualité.....	129
5.1. Indice de qualité du climat.....	129
5.2. Indice de qualité des sols	131
5.3. Indice du couvert végétal	133
5.4. Indice de Qualité du Système de la Gestion et de l'influence humaine.....	135
6. Résultats et discussions.....	137
6.1. Carte de la vulnérabilité à la désertification	137
Conclusion.....	139
CONCLUSION GENERALE.....	141
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	144

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE
PROBLEMATIQUES ET ETAT ACTUEL DE
LA RECHERCHE

Introduction générale

L'espace Algérien profondément caractérisé par l'endoréisme à savoir un niveau de base local qui ne permet pas au système hydrologique de cheminer vers la mer. Les zones endoréiques des hauts plateaux de l'est Algérien (plus de 9500 km²) par leurs caractères climatique aride et semi-aride et morphologique fermé ou semi fermé localisent des espaces récepteurs et collecteurs des écoulements de surface provenant simultanément de nombreux bassins, elles constituent à ce titre des vastes régions vulnérables à la dégradation environnementale et à la désertification. Par ailleurs la socialisation rapide et contenue de ces espaces endoréiques par des activités diverses et souvent une anthropisation accélérée lui confère une vulnérabilité élevée.

Le phénomène de désertification qui touche les zones arides et semi arides (PNUE, 1991) et du (CNUED, 1992) résulte principalement de l'interaction des facteurs du milieu, de l'activité de l'homme et des variations climatiques. Ce phénomène se manifeste par des processus qui aboutissent aux changements du couvert végétal, des éléments de la surface du sol (litière, sol nu, pellicule de glaçage, salinisation), à l'appauvrissement du sol et à sa disparition. Le stade final de ce processus de dynamique rend la productivité biologique pratiquement nulle, par conséquent une rupture des équilibres écologiques et socio-économiques (Le Houérou, 1979, 1985), (Aidoud, 1996), (Bedrani, 1999).

A ce titre, la préservation de ces zones endoréiques arides et semi arides doit constituer un souci majeur; d'où l'importance que revêt une cartographie précise de la vulnérabilité à la désertification ; sur laquelle les décideurs doivent orienter les actions prioritaires dans la protection du milieu.

La plaine de Gadaine et ces bordures est une partie des hauts plateaux, elle est considérée comme un exemple typique d'un espace en dégradation, en raison d'une part de la dynamique des sebkhas et chotts qui s'installent sur des surfaces étendues et d'autre part de l'importance des enjeux socio-économiques qui s'y localisent notamment sur toutes les zones limitrophes.

Le phénomène de la dégradation et de la désertification par la salinisation des sols dans la plaine de Gadaine présentent souvent une extension spatiale importante. Son étude impose d'une part une description et une analyse fine des conditions biophysiques et socioéconomiques des milieux et d'autre part, par l'analyse de la dynamique des sebkhas et chotts qui occupent le centre de cette plaine et qui restent comme un facteur et un moteur de

dégradation des terres agricoles dans cette région. Face à cette situation, plusieurs problématiques majeures ont émergé, elles correspondent à l'influence de l'anthropisation sur le milieu, aux méthodes de spatialisation et d'évaluation de la dynamique d'occupation des sols en particulier des sebkhas et chotts, à la cartographie de la salinité des sols et à l'analyse et à la cartographie de la vulnérabilité de ces zones endoréiques.

Pour la cartographie de la vulnérabilité de ces zones à la désertification, les méthodes et les moyens conventionnels sont basées sur des modèles discrets, généralisant différents types d'unités d'occupation des sols en les notant sur des photos aériennes pour servir de support cartographique. Les outils de cette procédure de levé et de cartographie sont simples, dont la mise à jour peut durer plusieurs mois, elles permettent de fournir que des visions quasi historiques. Toutefois, elles sont assurées des produits cartographiques de qualité fiable, mais elles nécessitent plus de temps et d'investissement, ce qui rend l'étude et l'analyse titanesque. Évidemment, cette situation représente un handicap majeur pour le choix et la planification des projets d'aménagements durables futurs.

Pour cette raison et vu l'étendu de l'espace endoréique dans cette région, il sera nécessaire d'utiliser des nouvelles techniques et outils de la Géomatique ou géo-informatique ; *une discipline ayant pour objet la gestion des données à référence spatiale par l'intégration des sciences et des technologies reliées à leurs acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion* (Bergeron, 1992), ce terme générique utilisé par les Canadiens ces dernières années pour décrire le système de traitement des géo informations et les techniques associées, dont la télédétection, les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) et le Système de Positionnement Global (GPS) sont les éléments centraux. Le suivi et la modélisation par les techniques de géomatique semble être une approche efficace pour l'étude et l'analyse de la vulnérabilité des zones endoréique de la plaine de Gadaine et ces bordures. Ceux sont donc des méthodes adoptées dans la recherche de cette thèse.

Les interactions entre un milieu déjà fragile, l'irrégularité des précipitations, le caractère endoréique, la platitude des reliefs et les pressions socio-économiques accrues accentuent la dégradation des terres agricoles dans cette région. L'ampleur de la dégradation a engendré une nouvelle situation caractérisée par : la réduction du couvert végétal naturel, la diminution de la production des céréales et l'extension rapide de la salinité des sols sur des zones agricoles.

À son tour, la réduction du couvert végétal et la dynamique des sebkhas et chotts augmentent encore plus la vulnérabilité des sols, ce qui entraîne à moyen et à long terme à la création des néo-sebkhas et chotts sur des grandes surfaces. Ceci pose le problème

d'accumulation et de salinisation des sols. Ces sebkhas et chotts affectent gravement l'équilibre d'écosystème et socio-économique de la région, notamment lorsqu'elles sont situées à proximité des zones agricoles, mais elles sont affectées à leur tour par la présence des axes routiers, les agglomérations ou bien les différents infrastructures socio-économiques.

L'analyse de la dynamique et l'évaluation de l'évolution des différentes occupations des sols, en particulier les sebkhas et chotts imposent aujourd'hui l'utilisation des méthodes et des moyens performants pour la gestion de l'information géographique. En effet la possibilité de la couverture récurrente des systèmes d'observation satellitaires (télédétection) permet à fréquence régulière de cartographier ces phénomènes et leur évolution spatio-temporelle à travers de traitement et d'analyse des images satellitaires à moyenne résolution de Landsat TM 1987 et 2009.

Actuellement, le développement de technologie de l'information, tels que les systèmes d'information géographique (SIG), les systèmes de positionnement global (GPS), et les techniques d'analyse spatiale associés aux analyses au laboratoire permettent de cartographier les paramètres de surface et les types de sols rigoureusement.

La synergie entre le GPS, les SIG et la géostatistique offrent des outils puissants et précis pour la cartographie de la salinité des sols (Escadafal et al, 1988, 1991), (Merzouk *et al*, 1990), (Chikhaoui *et al*, 2004), (Bannari *et al*, 2008 in Benazzouz, 2011) dans cette plaine et ces bordures. Le GPS permet une localisation précise des points d'échantillonnage sur le terrain, alors que les SIG offrent des outils de manipulation des données, de l'analyse spatiale et de la cartographie, Quand la géostatistique constitue un excellent outil pour la modélisation spatiale de la conductivité électrique des sols.

L'idée que s'inscrit dans la réalisation de la carte de la vulnérabilité à la désertification par salinisation des sols dans la plaine Gadaine. A ce titre nous nous sommes inspirés d'une méthodologie du projet européen MEDALUS (Méditerranéen désertification and land use, 1999) sous SIG, obtenu à partir de la moyenne géométrique de quatre autres indices de qualité issus du milieu et de l'action de l'homme ; ces indices sont liés à la qualité du climat (IQC), à la qualité des sols (IQS), à la qualité du couvert végétal (IQV) et à la qualité du Système de Gestion et de l'Influence Humaine (IQSG).

Etat actuel de la recherche

Depuis les années 70, de nombreuses agences, organismes et scientifiques ont effectué des recherches sur les zones endoréiques arides et semi arides en tant qu'écosystèmes hautement vulnérables. La discussion et même la polémique sur la désertification des sols et l'étude des influences des variations de climat et des activités humaines en zones arides sont devenues ces dernières décennies, des sujets brûlants dans les domaines de la recherche de l'environnement écologique et les risques naturels.

Le problème fréquemment rencontré dans les différents environnements arides et semi arides est la dégradation du sol, qui trouve son explication dans les activités humaines et les changements de climat: (Montchause, 1972), (Sheridan, 1981), (Abdelguerfi, 2000), (Glantz et al, 1983), (Dregne, 1983, 1992), (Tucker *et al.*, 1986, 1991), (Mainguet, 1994), (Steinberg, 1996), (Douaoui, 2006), (Allbed, 2013).

Pour l'application des techniques de la géomatique ; la télédétection spatiale par le nombre élevé de données et par la répétitivité de l'acquisition de ces données, trouve une place privilégiée comme outil performant et reste la plus répandue et utilisé dans les travaux de recherche sur l'environnement arides et semi-arides, (Tucker et al, 1984, 1985), (Manière, 1993), (Lemsanni, 2000), (Diouf, 2001), (Begni, 2005), (Bensaid, 2006), (Benmessaoud, 2008), (Lecerf, 2008), (Hamimed, 2009), (Samaali, 2011), (Benguerai, 2011), (Étienne, 2012).

Au cours de ces dernières années s'est imposée une autre tendance basée sur l'application et l'utilisation des SIG et GPS pour traiter et analyser un volume considérable de données, de nature, de source et de formes différentes pour la modélisation de l'interaction homme – environnement :

(Veldkamp, 2001), (Brown, 2000), (Verburg, 2002), (Wu, 2003), (Tissot, 2004), (Douaoui, 2005), (Bensaid, 2007), (Benslimane, 2008), (Siddiqui, 2009), (Benguerai, 2009), (Kundu, 2011), (Fozooni, 2012). Donc, ces techniques de géomatique sont progressivement devenues des méthodes et des démarches essentielles dans les recherches géo-environnementales globales et en particulier dans les environnements arides et semi arides.

Objectifs et hypothèses de la recherche

Cette recherche vise à appliquer les techniques de la Géomatique (télédétection, SIG et GPS) pour analyser et cartographier la vulnérabilité à la désertification de la plaine de

Gadaine et ses bordures, par l'application d'un modèle inspiré d'une méthodologie du projet européen MEDALUS, Nos objectifs sont les suivants :

- Analyse et cartographie de la dynamique d'occupation des sols (sebkhas et chotts) selon le traitement des images LANDSAT TM de deux dates différentes.
- Cartographie et spatialisation de la salinité des sols à l'aide d'une méthode d'interpolation probabiliste (Krigage ordinaire).
- Analyse spatiale à l'aide des SIG et la dérivation de la carte de la vulnérabilité à la désertification (salinisation des sols), en se basant sur un modèle inspiré de celle de MEDALUS.

Dans le cadre de cette recherche, les méthodes et les techniques utilisées peuvent donner des résultats plus représentatifs de la réalité du terrain. La synergie entre les analyses au laboratoire, les missions sur terrain et l'application des nouvelles techniques de l'information et de la Géomatique sont un excellent outil d'analyse de la vulnérabilité des zones endoréiques aride et semi-arides.

Organisation de la thèse

La thèse s'articulera autour de cinq chapitres :

- Le premier chapitre concerne la localisation et l'analyse des caractéristiques physiques de la zone d'étude, qui jouent un rôle très important dans la dégradation du milieu et la dynamique des sebkhas et des chotts.
- Le deuxième chapitre est réservé à l'utilisation de la télédétection par le biais de traitement des images satellitaires pour un suivi diachronique et une analyse de la dynamique et de l'évolution d'occupation des sols en particulier celle des sebkhas et chotts dont la perception est difficile sans l'apport de l'imagerie satellitaire et sa précision.
- Le troisième chapitre s'intéresse à l'étude et l'analyse du milieu socio-économiques et son impact sur le sol et l'environnement.
- Le quatrième chapitre est consacré à la cartographie de la salinité des sols d'après l'interpolation des données des résultats de l'analyse des sols au laboratoire.
- En fin, le dernier chapitre finalise la thèse par la réalisation de la carte de la vulnérabilité à la désertification par salinisation des sols, en appliquant la méthode inspiré du modèle MEDALUS pour une meilleure gestion de cet espace endoréique fragile.

CHAPITRE 01 :

PRESENTATION ET ETUDE PHYSIQUE DE LA PLAINE DE GADAINES ET SES BORDURES

1. Présentation géographique de la région d'étude

La plaine de Gadaine fait partie des hauts plateaux de l'Est algérien, qui constituent un vaste couloir dominé par deux chaînes de montagnes :

- le massif des Aurès au sud.
- Les chaînes des Monts de Constantine au nord.

Elle se trouve à quelques dizaines de kilomètres au nord de la wilaya de Batna, occupé une vaste partie du territoire la wilaya de Batna et le reste appartient au territoire de la wilaya d'Oum El-Bouaghi. La forme fermée des Bassins hydrologique constituent un système endoréique qui limité par les lignes des crêtes suivantes:

Au Nord: par Dj Gademene, Nord - ouest : par Dj Tizourit, Nord - Est: par Dj Anouda.

Au Sud: par Koudiat Tifouda, et Dj Sarif.

Au Ouest: Dj Merezguèn.

A l'est : par les monts d'Ain Yagout, et Dj Tarbanet.

La zone d'étude se situe approximativement dans les fourchettes des coordonnées géographiques suivants :

- Longitude : $6^{\circ}12'15''$ Est et $6^{\circ}29'50''$ Est.
- Latitude : $35^{\circ}55'51''$ Nord et $35^{\circ}40'50''$ Nord

Elle est caractérisée par sa platitude et la présence de l'endoréisme qui est traduit par une multitude des Sebkhass et chotts qui occupent le centre de cette plaine, leur caractère morphologique fermé ou semi fermé constitue un espace récepteur des écoulements de surface qui proviennent de nombreux bassins tels; que le bassin de l'Oued El-Gourzi qui alimente principalement cette dépression.

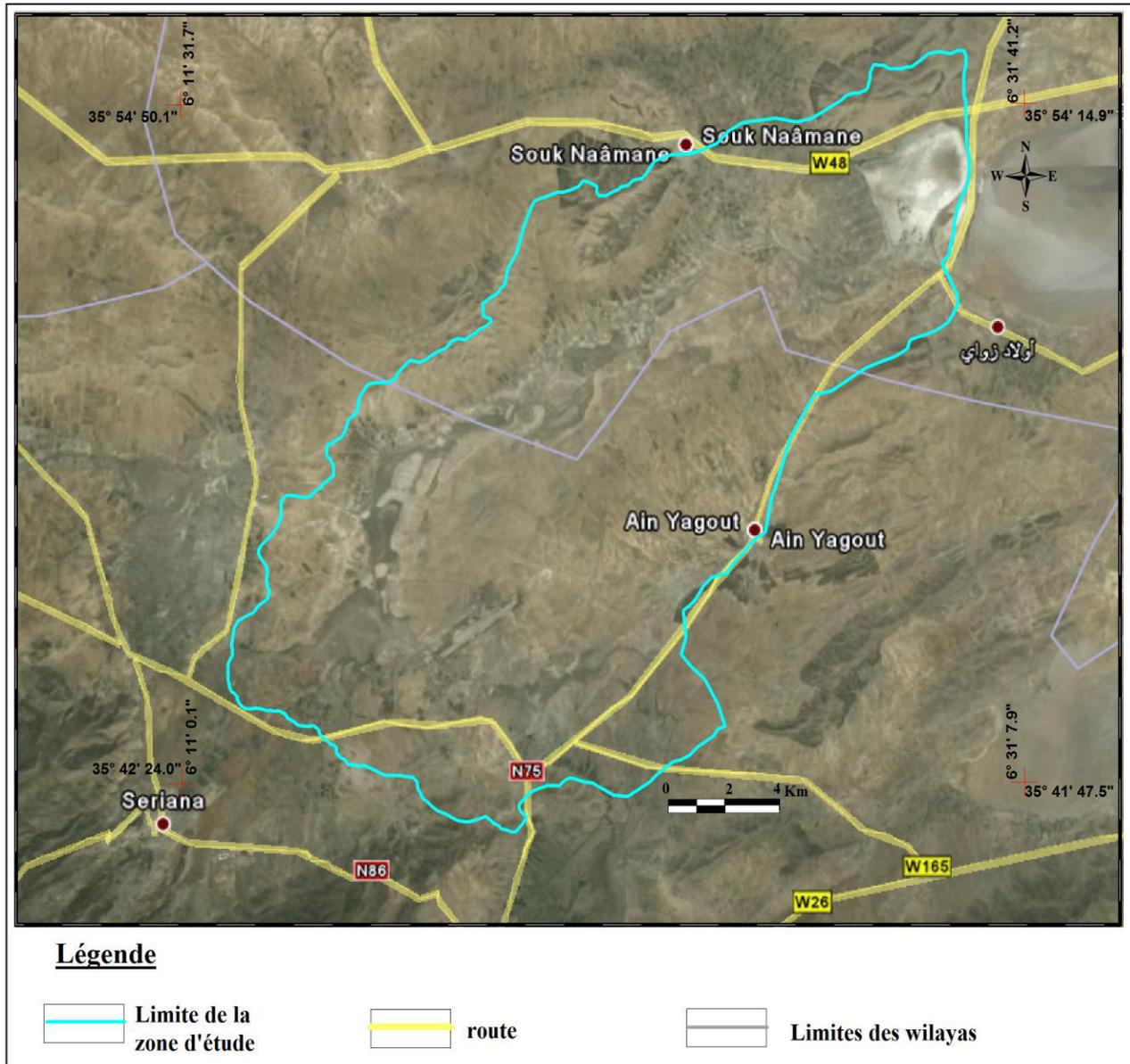


Figure 01 : Situation géographique de la zone d'étude (Google Earth 2013).

La zone d'étude appartient selon la codification de LANRH, au grand bassin versant des Hauts Plateaux constantinois (BV N° 07) et qui est subdivisé en sept sous bassins (Figure 02), elle fait partie du sous bassin (07-03).

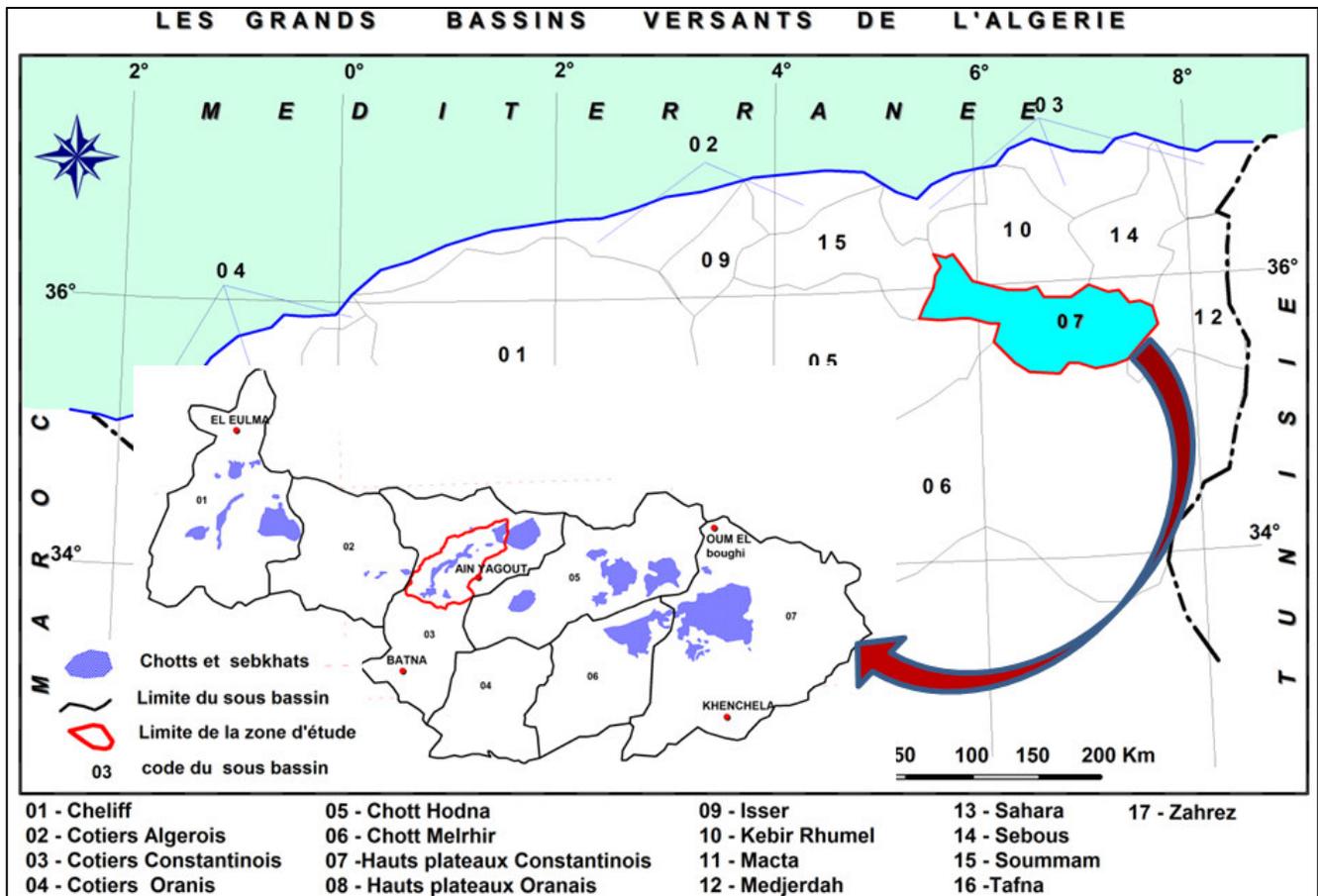


Figure 02 : Localisation de la zone d'étude selon la répartition de l'ANRH.

2. Les reliefs :

L'influence du relief sur les écoulements de surface se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrologiques varient avec l'altitude et la topographie (précipitation, température...etc.). La nature des sols et leur répartition est en étroite relation avec les unités géomorphologiques, la pente influe sur la vitesse d'écoulement et sur la répartition spatiale de différents types des sols et leurs caractéristiques (la texture, la salinité...etc.), le relief se détermine d'après les caractéristiques suivant:

2.1. La courbe hypsométrique:

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique sur la pente du terrain donc du relief, cette courbe représente la répartition des surfaces en km^2 ou en (%) en fonction de ces

altitudes en (m). Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins ou sections entre eux.

Tableau 01 : Répartition altimétrique de la région d'étude :

Altitude	Surfaces-en Km ²	Surface en %	Surface cumulée (Km ²)	Surface cumulée en %
1246-1200	0,05771	0,016	0,057	0,016
1200-1100	0,7435	0,213	0,801	0,23
1100-1000	1,696	0,487	2,497	0,717
1000-900	9,657	2,77	12,154	3,492
900-800	253,9	72,95	266,054	76,45
800-784	81,98	23,56	348	100
Total :	348	100 %		

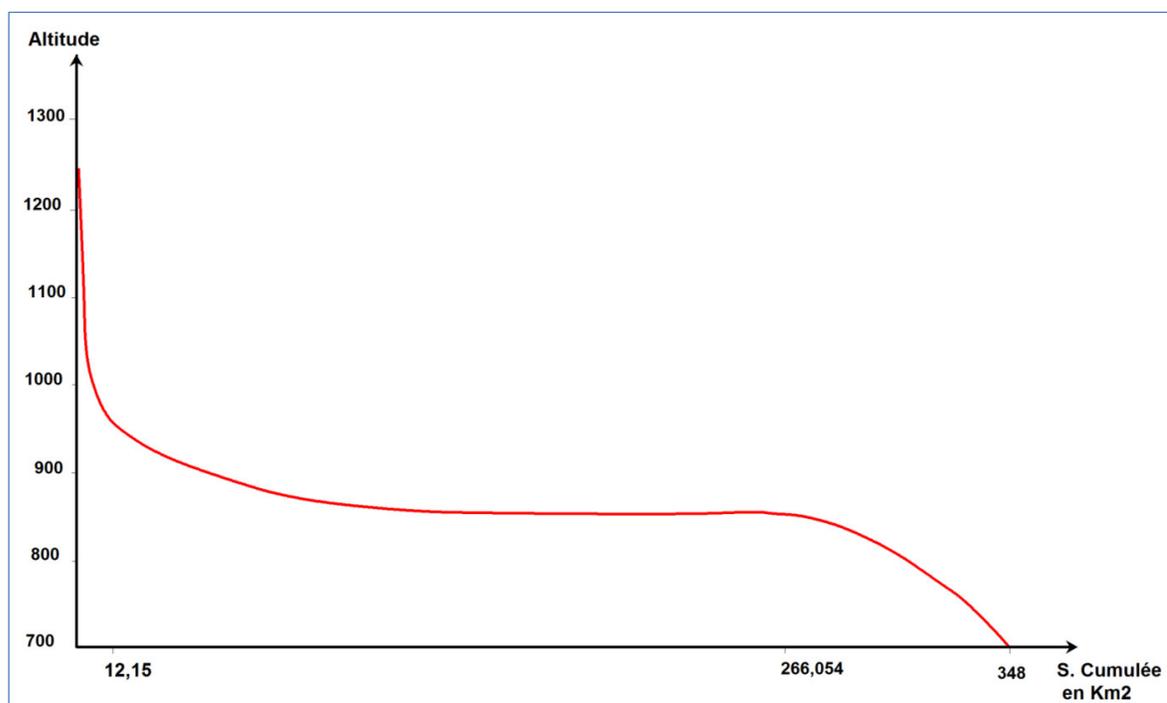


Figure 03 : La courbe hypsométrique

D'après la courbe hypsométrique (Figure 03) on remarque que la tranche d'altitude (800-900) représente (71,5 %) se qui montre le caractère dépressif de la région donc le problème de stagnation des écoulements sur les grandes surface.

2.2. Les altitudes caractéristiques :

a / les altitudes maximales et minimales :

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique, l'altitude maximale représente le point le plus élevé, tandis que l'altitude minimale considérée le point le plus bas.

Après les cartes topographiques:

$$H_{\max} = 1246 \text{ m}$$

$$H_{\min} = 784 \text{ m}$$

b / L'altitude moyenne :

Elle s'obtient en divisant le volume montagneux (V) par la surface totale de la région (S_T).

$$H = \frac{\sum V_i}{S_T}$$

Le volume est la somme des volumes partiels (V_L) de chaque tranche d'altitude entre les isobathes retenues par planimètre ou automatiquement par le logiciel. IL s'obtient en multipliant les surfaces partielles (S_i) par la moyenne arithmétique des altitudes h_1 et h_2 des courbe qui les limitent.

$$V_i = \frac{h_1 + h_2}{2} \times S_i$$

➤ $H_{\text{moy}} = 828.5 \text{ m}$

3. Traitement du MNT pour produire les cartes hypsométrique, pentes, exposition et 3D.

Pour réaliser les différentes cartes de dérivation (hypsométrique, pentes, exposition et 3D), il apparaît nécessaire de s'appuyer sur les données du SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de l'USGS (NASA) traitant sous ARCGIS 10.1.

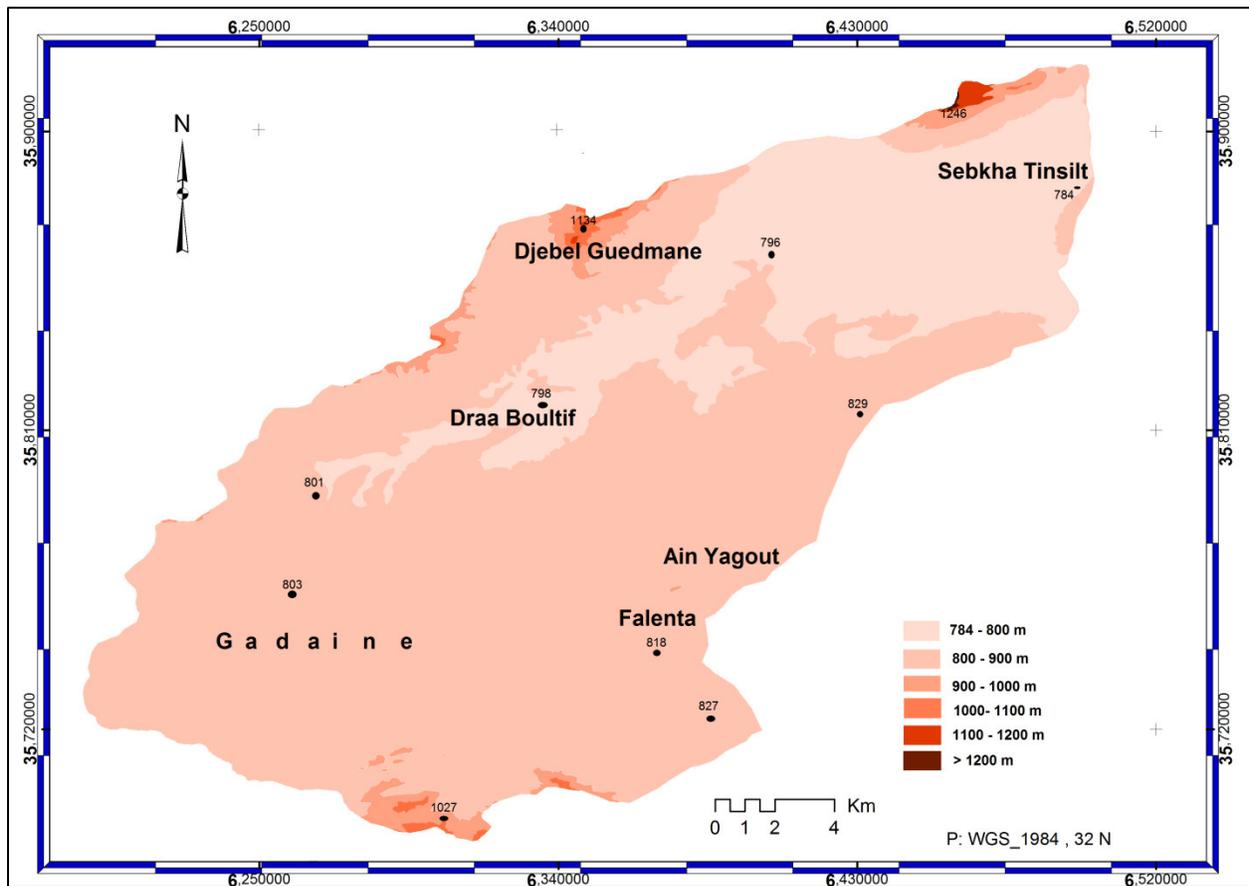


Figure 04 : La carte hypsométrique de la zone d'étude

3.1. Modélisation 3D :

Le MNT (modèle numérique de terrain) et la modélisation en trois dimensions (Figure 05), nous donne une idée sur la morphologie de terrain.

Il y existe une relation globale entre la géomorphologie et la disposition des sebkhias et des chotts, ces unités morphologiques restent comme des niveaux de Base locaux dans les zones endoréiques.

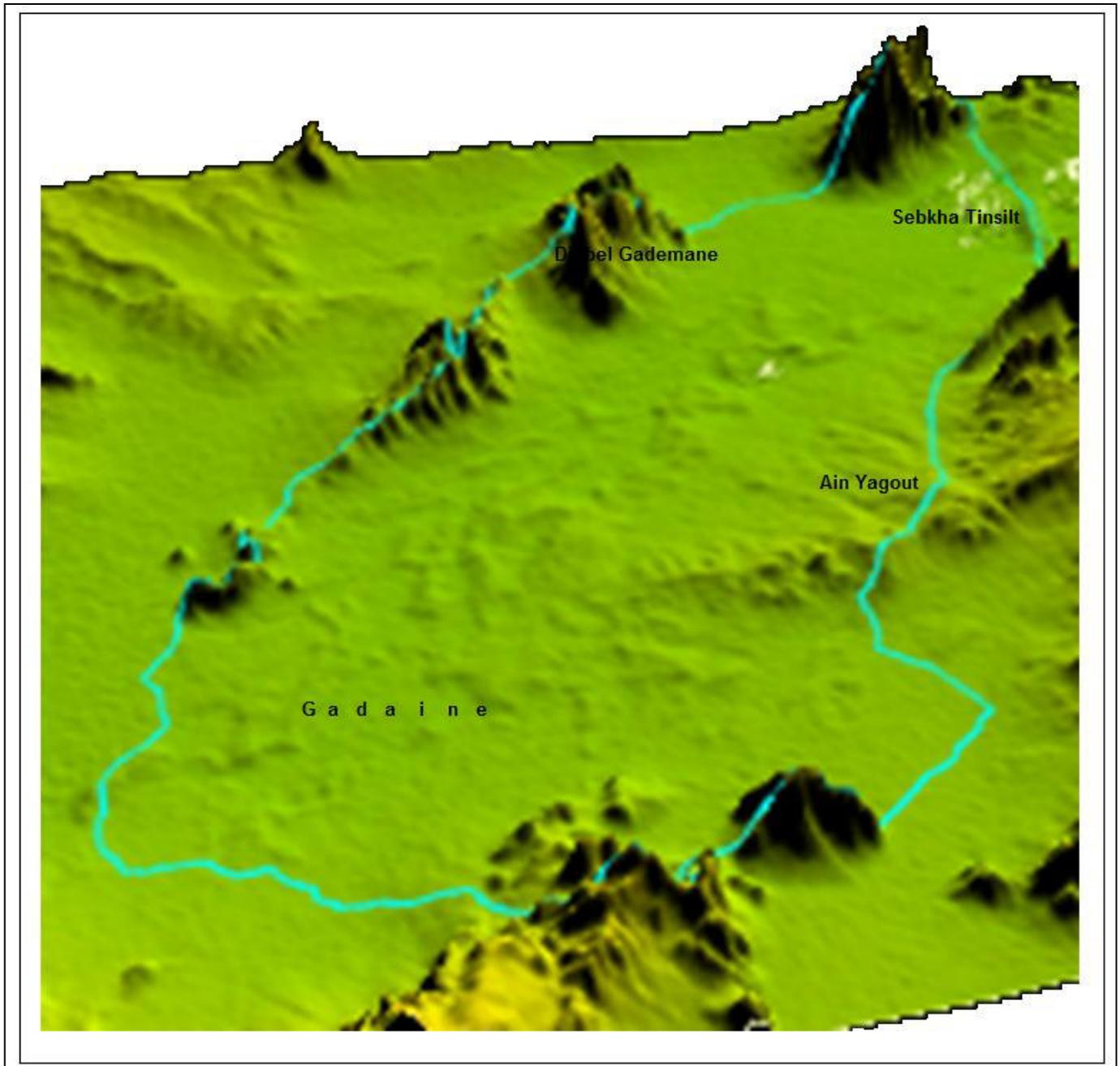


Figure 05 : Vue en trois dimensions pour la zone d'étude.

3.2. La pente :

Tableau 02 : La répartition superficies /pentes de la région km² et %.

Tranche des pentes en %	Surface partielle en km ²
0-5	161,5
5-10	111,06
10-15	37,01
15-20	14,8
20-25	7,6
25-30	4,8
> 30	11,7

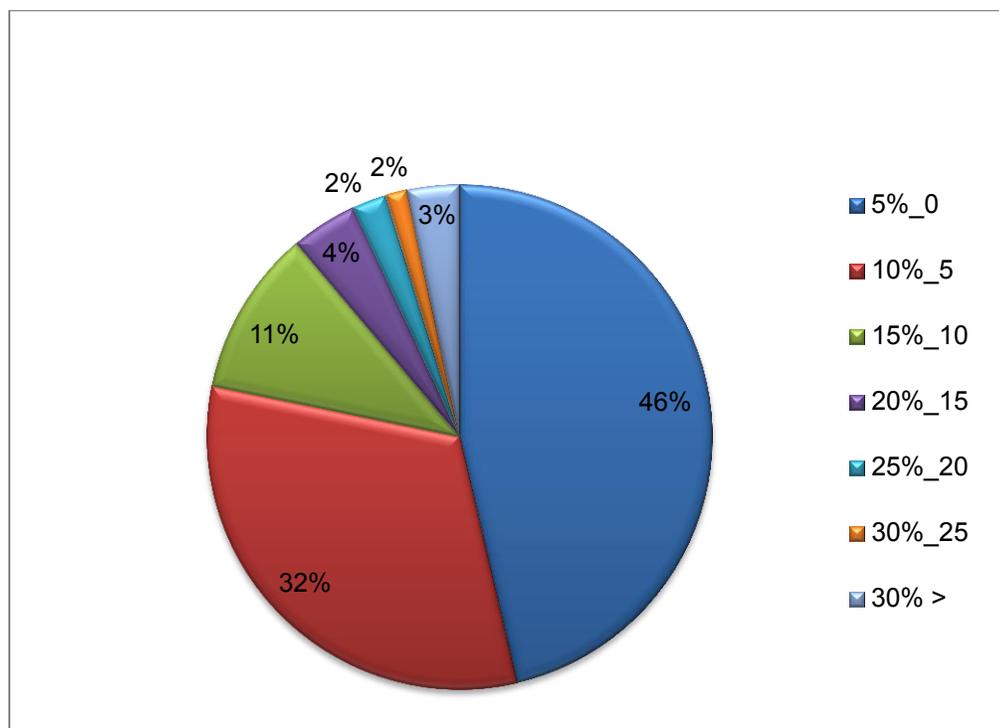


Figure 06 : Répartition superficies /pentes

D'après la (Figure 06), on remarque : la tranche des pentes (0 -5%) est très étalée (46 %) elle est suivie de la tranche (5 - 10%), en revanche les autres tranches des pentes sont très réduites. Ce qui nous montre que notre terrain est caractérisé par une certaine platitude ; facteur qui influe directement sur la dynamique des écoulements et la formation des sebkhas et des chotts (accumulation et stagnation des eaux des surfaces).

La carte des pentes (Figure 07) illustre bien cette répartition et montre clairement le caractère dépressif de la topographie générale.

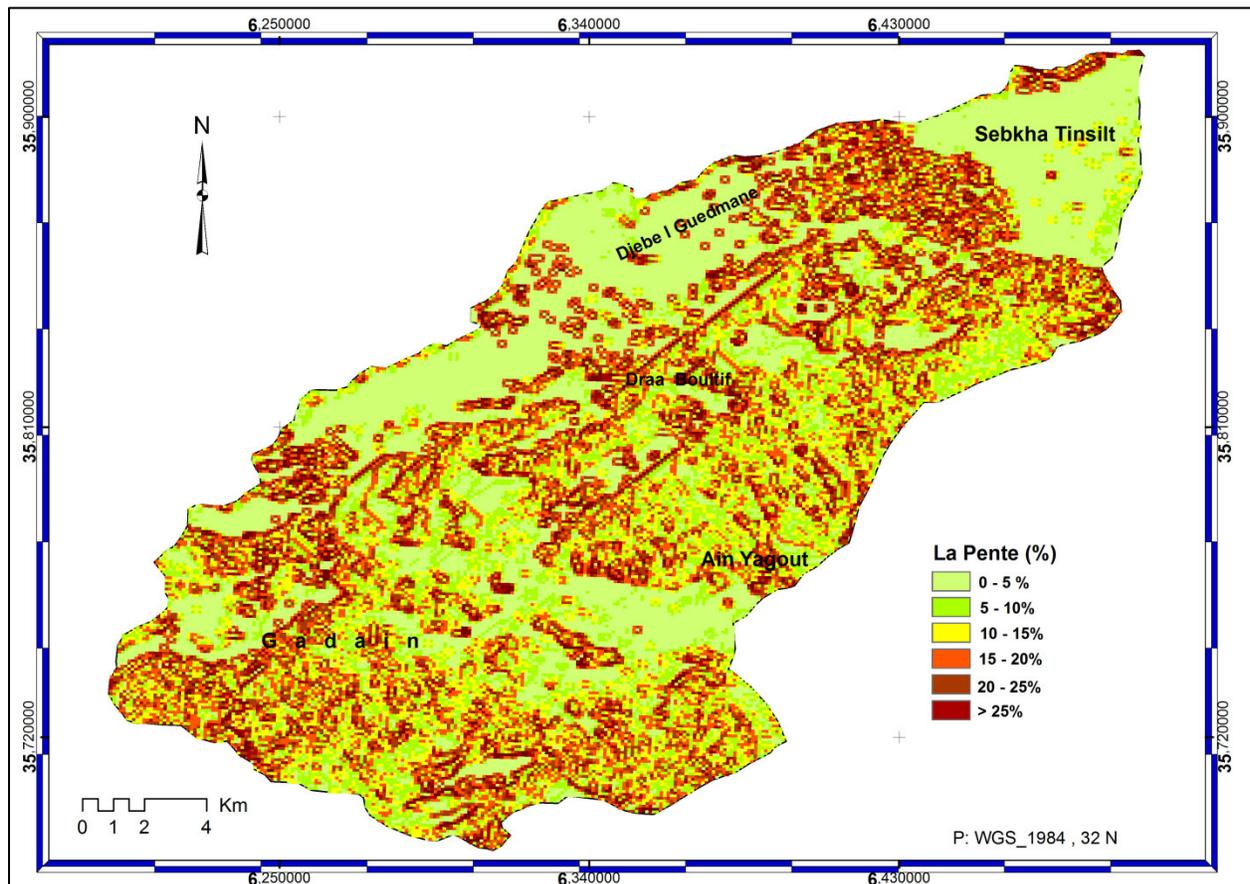


Figure 07 : La carte des pentes de la zone d'étude

Dans les zones aride et semi aride où le couvert végétal a été perturbé et faible, la pente est l'un des facteurs influençant les pertes et la dégradation des sols par le problème de salinisation et par tous les types d'érosions.

3.3. L'exposition:

L'exposition des versants peut aussi avoir un rôle très important dans la formation et la répartition spatiale du couvert végétale et des sols ; on observe en effet sur les versants orientés vers le sud que leur couvert végétal est moins développé et faible sur le plan quantitatif et qualitatif, Ces versants sont moins exposés aux précipitations et plus vulnérables à l'action érosive éolienne.

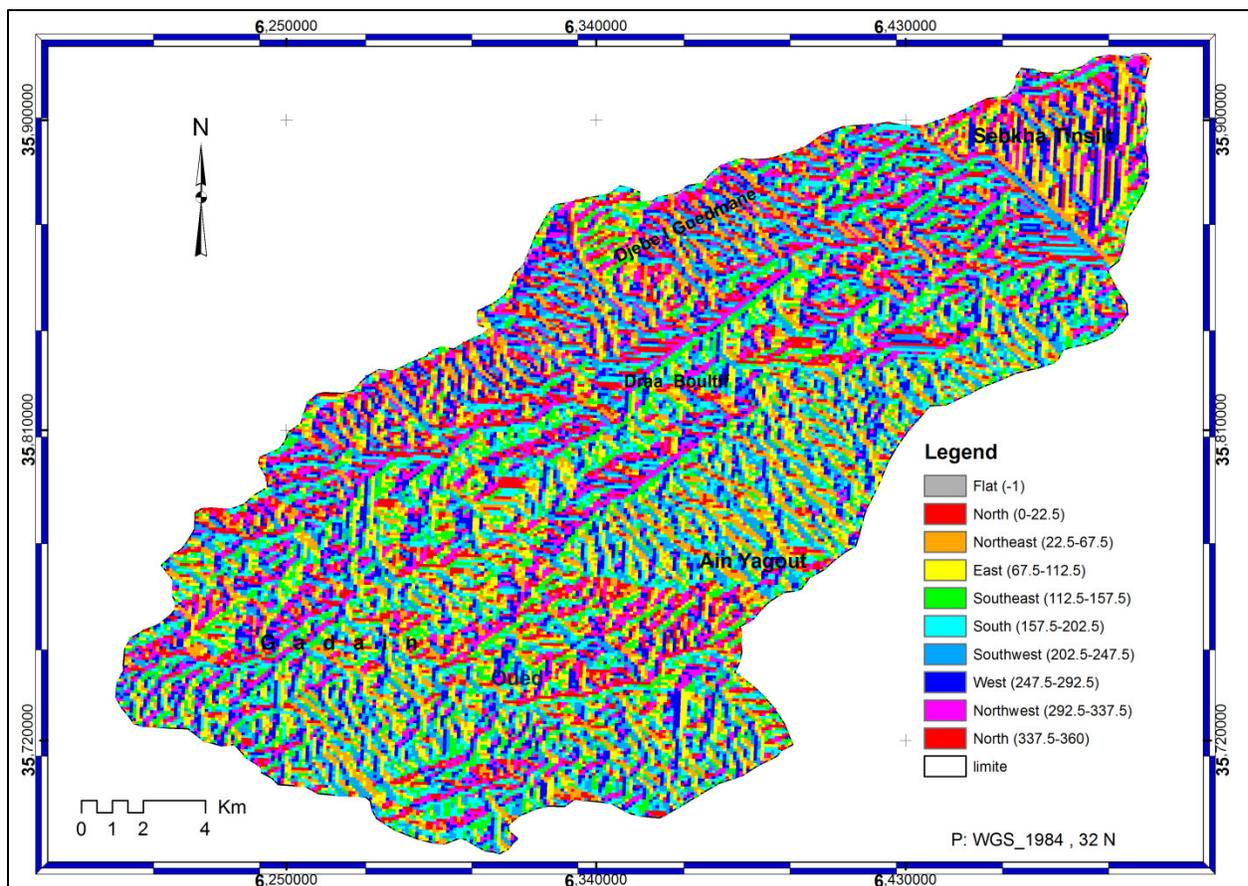


Figure 08 : La carte d'exposition des versants dans la zone d'étude

4. La Géologie:

La région d'étude fait partie des hauts plateaux de l'Est Algérien qui constituent un vaste couloir dominé par deux chaînes de montagnes : le massif des Aurès au sud et les chaînes des monts de Constantine au nord ; leur originalité réside dans la permanence de la marque de l'endoréisme qui est traduit par une multitude de sebkhas occupant le centre de ces plaines. L'idée que se font certains spécialistes géologues, en particulier de ces sebkhas, est interprétée comme un couloir subsident coincé entre les môles de l'Atlas au sud et du Tell au nord (Ben Azzouz, 1986).

4.1. Les caractéristiques lithologiques.

Cette zone est constituées par des formations récentes d'âge Miocène et Plio-Quaternaire, ces formations sont surmontées par des sols salés et sont également encadrées par des massifs d'âge Jurassique et Crétacé.

Selon les cartes géologiques : Ain El-Ksar et Ain Yagout 1/50000 (SONATRACH, 1977) et leurs notices explicatives, le matériel rocheux et ses caractéristiques s'articulent de la manière suivante :

4.1.1. Les formations Triasiques exotiques ou extrusives :

Marnes bariolés et gypses bréchiqes, calcaro-dolomitiques et ophite :

- Le trias occupe un espace important; les affleurements du Djebel Amsid, ce sont des lacs étalés et associés à la zone parautochtone la plus tectonisée.
- Les vastes étendues triasiques d'Ain Yagout sont des formations hétérogènes constituées de marnes bariolées, gypses bréchiqes, calcaire dolomitique et un affleurement d'ophite près des deux lacs (Tinsilit et El Zemoul) .

Ces formations gypsifères contribuent largement au caractère salin des ces espaces endoréiques.

4.1.2. Les formations de l'ensemble Parautochtone et autochtone Auresien :

-c¹_h : Cénomanién

Les affleurements de cet ensemble forment les monts d'Ain Yagout.

-n_H^{4bc} : Barrémien calcaro-dolomitique

C'est une formation complexe, organisée en grosses barres calcaro-dolomitiques, séparées par des zones plus tendres ou apparaissent assez mal des intercalations argileuses ou argilo-siliceuses et de petits niveaux de grés.

4.1.3. Les formations de l'ensemble allochtone sud-sétifien

-n⁵ : Aptien

C'est une série de 150 m de calcaire en petits bancs lités.

-n⁴⁻⁵ : Barrémo-Aptien

C'est une corniche massive des calcaires compacts, à cassure blanche marmoréenne contenant des macrofossiles comme : gros débris de rudistes et lamellibranches (Djebel Anouda).

-n^{4b} : Barrémien

C'est un ensemble formé par une épaisse série de calcaire dolomitique (centaine de mètres d'épaisseur) avec des intercalations marneuses au niveau de Djebel Guedmane.

-n¹⁻⁴ : Néocomien- Barrémien

Représenté par une série de 150-200 m d'épaisseur formée de calcaires massifs Oolithiques graveleux, et de dolomies affleurent aux Djebel Guedmane et Djebel Tizourt.

-j⁶ Jurassique supérieur

Le sommet de la série Jurassique apparaît au Djebel Guedmane sur 80 m environs, près du Teniet Saida.

4.1.4. Les formations Mio-Pliocènes:

mp : Mio-Pliocène continental :

Calcaire lacustre, argile et conglomérats. Les formations attribuées au Mio-Pliocène affleurent dans les monts d'Ain Yagout ; il s'agit de conglomérats souvent mal cimentés, de couleur jaunâtre ou rosâtre, d'argiles sableuses jaunâtres et de calcaires lacustres mal stratifié, rosâtres ou blancs.

4.1.5. Les formations Quaternaires:

Q^t : Glacis polygéniques nappant les reliefs

C'est la forme de relief la plus caractéristique des hauts plateaux. Ces glacis correspondent à des surfaces de pente très faible près des plaines et augmentant progressivement vers la montagne. Ils sont recouverts d'un matériel clastique faiblement calibré et très fragmenté vers le bas devenant plus anguleux et plus grossiers.

En profondeur, les traces d'encroûtement sont fréquentes et présentent habituellement un aspect de croûte feuilletée, classiquement attribuée au Tensiftien. Leur genèse est donc récente. Leur raccord beaucoup plus progressif avec les formations plus récentes pose le problème de leur fonctionnement. En effet, au moment des fortes pluies de printemps où de gros orages d'Août à Septembre, ces glacis sont localement le siège d'un écoulement en nappe avec remise en mouvement des nombreux galets et du limon superficiel.

S : Sols de sebkha

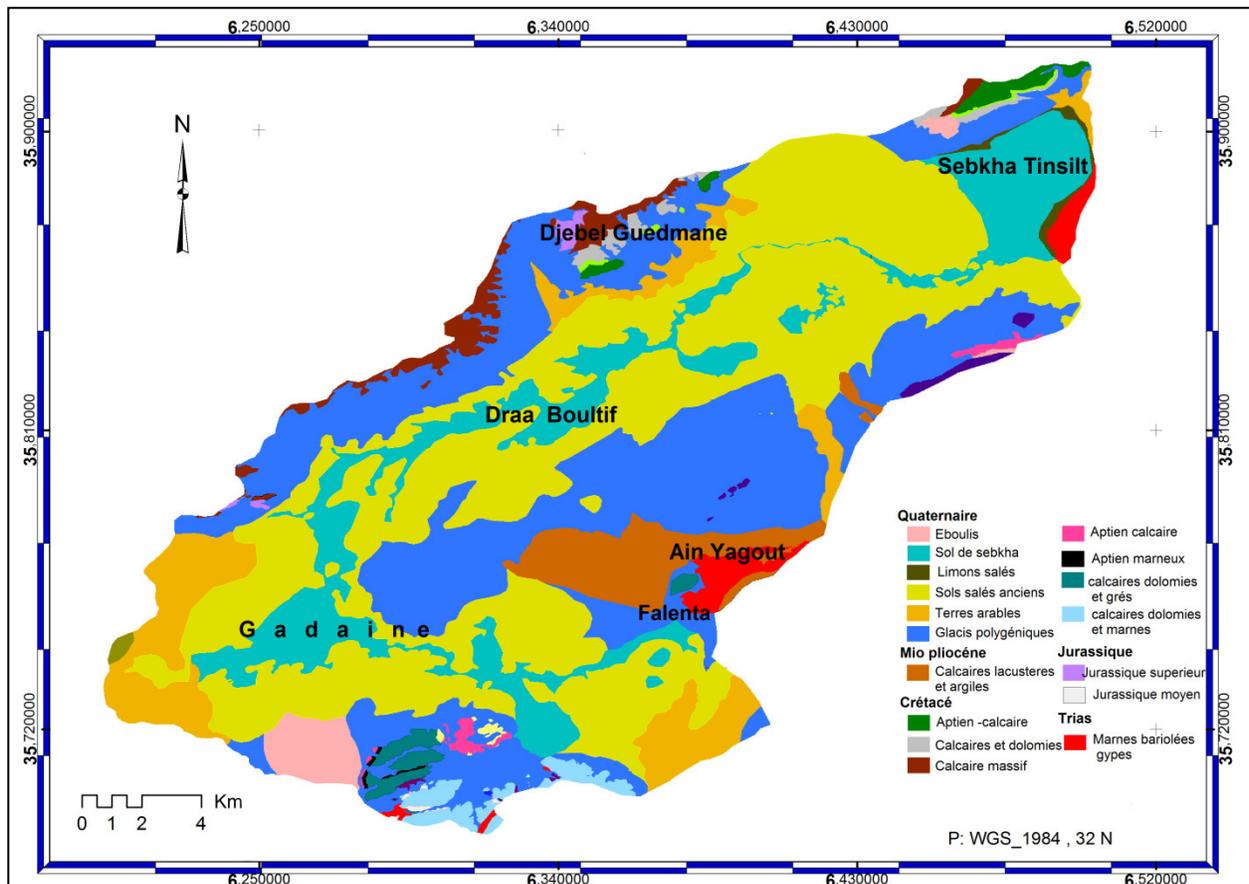
Ce sont des sols salés, régulièrement inondés et dépourvus de toute végétation. Une croûte de sel les recouvre pendant l'été. Il s'agit des sebkhat Tinsilt, chott Taricht Teniet Saida et chott Gadaine.

Q^s : Sols salés anciens

Les chotts et les sebkhas sont de vastes surfaces occupées par des sols salés (limon salés à sols hydro morphes très mal drainés) surélevés de 0.5 à 1 m au-dessous du niveau des chotts.

Q : Alluvions anciennes (Terres arables)

Formation de pentes, alluvions anciennes et quaternaire indéterminé, ont été rapportés à cet ensemble des limons et graviers sur lesquels se sont installés des sols bruns, le plus souvent peu calcaire.



Source : carte géologique d'Ain El kser et Ain yagout 1/50000, 1977

Figure 09 : La carte géologique de la zone d'étude

5. Le réseau hydrographique:

Le réseau hydrographique est lié à l'organisation et à la distribution des reliefs sur le terrain. La région d'étude est caractérisée par une certaine platitude qui influe sur la densité de réseau hydrographique, la plupart des parties de la zone d'étude est marquée par un ensemble de chotts (Tarchit, Teniet Saida, Gadaïne,...etc.) et sebkhas (Tinsilt, Falenta...etc.), c'est-à-dire que l'hydrographie superficielle converge vers les zones basses, les écoulements de surface provenant simultanément de nombreux cours d'eau temporaires (plusieurs bassins) sont drainés vers le centre de la plaine, donc, c'est le système endoréique qui règne dans cette région.

On a remarqué qu'il existe des liens entrent les sous bassins du grand bassin des hauts plateaux reliés par des cours d'eau temporaires lors des crues importantes tel que: Oued Louni;

qui relie notre zone avec Merdja Saboun et Merdja Taga, et Oued Bou Zeghib qui relie entre le bassin de zone d'étude (Sebkha Tinsilt) et Sebkha Ezzamoul. Ce phénomène complique l'étude hydrologique des écoulements de surface de dans cette région.

Cependant, d'après;(Choisel et al, 1974), (Hadeid, (1996), (Bensaid, 1997) « L'écoulement est endoréique et en pente extrêmement faible, les oueds ne coulent que pendant les très courtes périodes qui suivent les pluies. De cet écoulement endoréique et sans réseau, sur un sol à végétation espacée, où l'eau se perd d'avantage par évaporation que par infiltration, résulte une salinité des sols, localement dans les dépressions fermées, comme les sebkhas (résidus des grandes nappes lacustres), chotts (petites cuvettes de dissolution)».

6. L'hydrogéologie:

D'après (Dib, 2010) la plaine de Gadaine est constituée par deux aquifères.

6.1. Aquifère superficiel d'âge Mio-Plio-Quaternaire :

C'est un aquifère hétérogène constitué essentiellement par des calcaires lacustres, des conglomérats et des alluvions. Les formations occupent presque tout le terrain d'étude à l'exception des reliefs. L'alimentation de cette nappe se fait directement par les précipitations sur la plaine, par les écoulements ou par l'aquifère profond au niveau des failles. Son exutoire naturel est sebkha Tinsilt.

6.2. Aquifère profond

Il est constitué par deux types de formations; les formations du Crétacé et les formations du Jurassique. L'alimentation se fait également par l'intermédiaire d'un réseau des fractures acheminant de grandes quantités d'eau. Les exutoires naturels des aquifères profonds sont les sources.

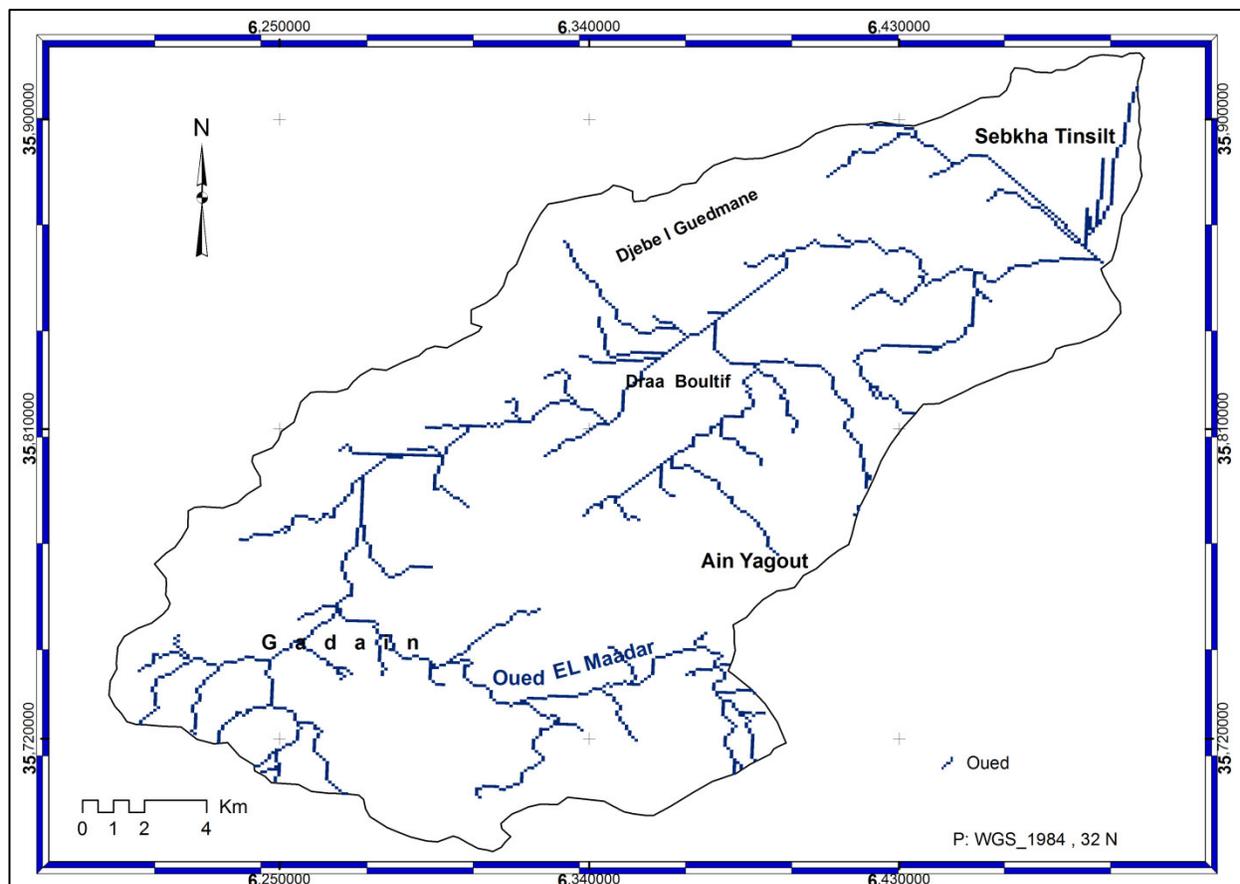


Figure 10 : La carte de réseau hydrographique de la zone d'étude

7. Le couvert végétal

La présence et la distribution des chotts et des sebkhas au niveau de cette région et le caractère climatique ; la faible pluviosité, indiquent une pauvreté en végétation. Généralement, on retrouve des espèces steppiques et halophytes qui résistent à la salinité des terrains, une végétation caractéristique de Grosses touffes (Figure 11) d'Atriplex ou de Salsolacées, Ces espèces steppiques sont souvent associées dans leur état et leur articulation dans l'espace à l'activité socio-économiques et son intensité.

Le couvert végétal dans l'ensemble varie selon le degré de salinité et le taux d'humidité des sols, quant la salure est trop importante la végétation se compose d'espèces hyper-halophytes (*Halocnemum strobilaceum*). Toutefois, lorsque cette salure diminue on

rencontre un couvert végétal halophyte qui se compose de ;Salsola Vermiculata, Attriplex Halimus et Suaeda fruticosa. (Godron et al, 2004). Malgré le taux de recouvrement faible de la végétation dans cette zone endoréique, il constitue une ressource naturelle importante dans la protection du sol contre le phénomène d'érosion.

Selon (FAO ,1960); toutes éliminations ou dégradation du tapis végétal ou des résidus végétaux qui protègent le sol sont la cause principale de l'érosion éolienne.



Photos présent par :Bouhata Rabah en juillet 2013

Figure 11 : Un couvert végétal steppique et halophyte

8. Etude du climat

Pour l'étude des caractéristiques climatiques, nous avons pris en considération les données météorologiques de l'aéroport de Batna (Ain Skhouna), qui est situé à l'intérieur de la zone d'étude. La station enregistre pour la période s'étalant de 1971 à 2006.

Tableau 03 : Les coordonnées de la station de Ain Skhouna

Station	X (Km)	Y (km)	Longitude	Latitude	Altitude
Ain Skhouna	832,50	274,98	6° 22' 30'' E	35° 43' N	827 m

8.1. Les précipitations

Nous englobons sous le terme de « précipitations » toutes les eaux qui tombent à la surface de la terre, tant sous forme liquide que sous forme solide « neige et grêle ». Les mesures se font le plus souvent à l'aide du pluviomètre ou du pluviographe.

Dans les hautes plaines, les pluies sont relativement abondantes, totalisant 300 à plus de 500 mm annuellement. Ces totaux varient cependant d'une station à l'autre, ces valeurs sont inhabituelles sur les hautes plaines, mais elles caractérisent le versant nord du massif des Aurès, qui semble directement soumis à l'influence de l'exposition, c'est la différence dans la répartition spatiale entre les zones de montagnes et celles des plaines, donc, l'influence d'altitude.

8.1.1. Les variations annuelles :

D'après la série pluviométrique d'Ain Skhouna (1971- 2010) (Tableau 04), on a remarqué une variation de précipitation d'une année à une autre.

Le tableau ci-dessous montre la lame d'eau annuelle enregistrée dans la station d'Ain Skhouna (1971-2010).

Années	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
P (mm)	302,5	521,6	330,3	229,1	296,3	480,6	298,7	193,1	242,9	411,4
Années	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
P (mm)	199,2	467,5	155,3	359,7	462,9	355,3	327,8	169,9	234	437,3
Années	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
P (mm)	300,3	445,1	188	215,5	283,4	393,2	379	269,4	308,5	292,8
Années	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
P (mm)	224,1	287	503	596,8	252	351,4	293,8	348,4	349,8	280,6

Source: ONM Station d'Ain Skhouna

**Tableau 04 : La répartition annuelle des précipitations dans la station
D'Ain Skhouna (1971-2010)**

- La moyenne annuelle de la série est de 325,9mm
- Il apparaît clairement qu'il existe une irrégularité dans la répartition annuelle des précipitations.
- En 1983, la précipitation (minimale) est de l'ordre de 155,3 mm par contre, en 2004 (La précipitation maximale), elle est de l'ordre de 596,8 mm, donc, trois fois plus.

8.1.2. Les variations saisonnières :

Tableau 05 : La répartition saisonnière des précipitations. Station d'Ain Skhouna (1988-2010)

Saison	Hivers	Printemps	Eté	Automne
P (mm)	87,4	110,7	44,2	83,7
P %	26,7	33,1	13,23	25,8
Nombre de jour (moyenne)	28	24	10	20

Source :ONM Station d'Ain Skhouna

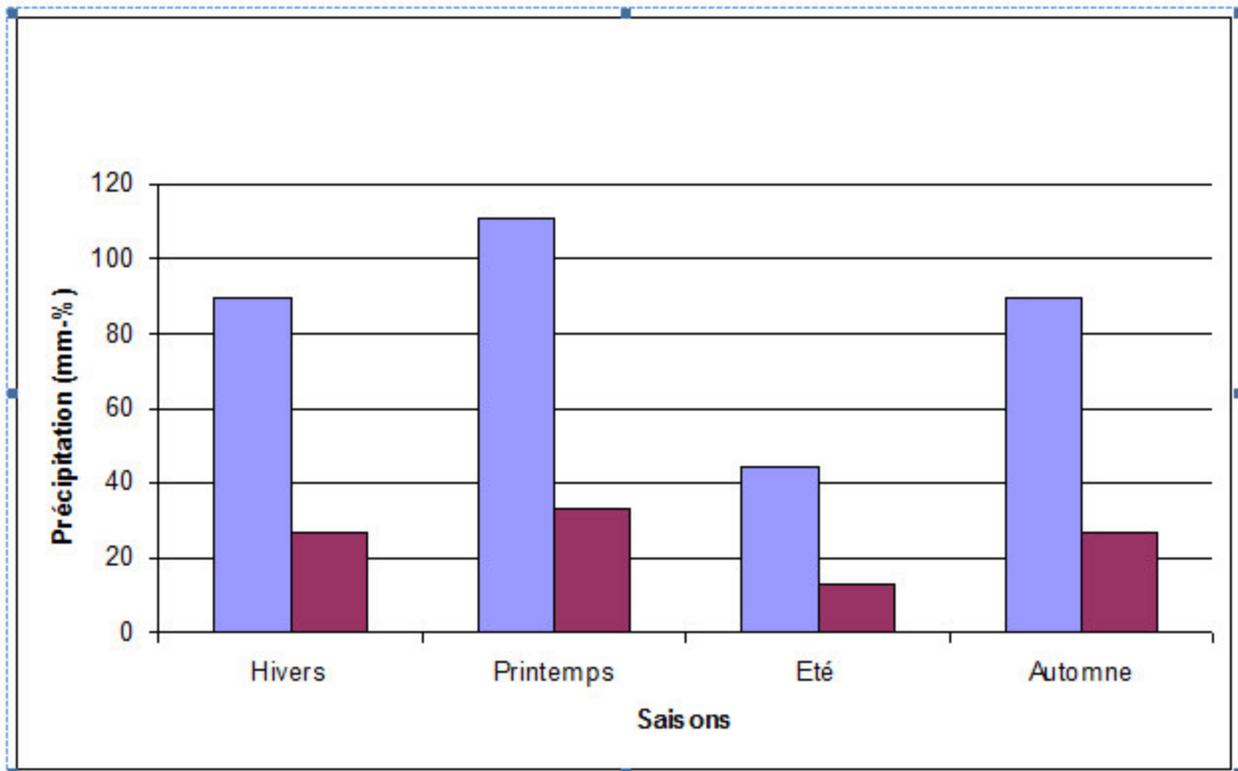


Figure 12 : Diagramme de la répartition pluviométrique saisonnière

D'après le diagramme de la répartition pluviométrique saisonnière (Figure 12), on remarque que :

- La saison la plus pluvieuse est le printemps avec 110,7 mm soit 33,1%. Le nombre de jours moyen est de 24 jours, 49,9 mm sont tombée durant 7 jours.
- Par contre, la saison sèche est l'été avec 44,2 mm soit 13,2%, avec un nombre de jour moyen de 10 jours.
- Les précipitations d'hiver et d'automne sont égales, 89 mm pour chaque saison, mais le nombre de jour moyen des précipitations est différent, 28 jour pour l'hiver et 20 jour pour l'automne.
- Donc, la répartition des précipitations n'est pas régulière pendant toutes les saisons et même le nombre de jours moyen varie de chaque saison à l'autre. Généralement très court, le caractère qui caractérise les régions semi-arides, les précipitations tombent sous forme d'averses ; une dizaine de mm de quelques minutes, ce qui génère des inondations.

Ces pluies d'été tombent assez fréquemment sous forme d'averses diluviennes et créent parfois des dégâts considérables sur les cultures ainsi que sur les infrastructures. Ces dégâts sont causés par l'intensité de la pluie et par la présence d'un sol qui favorise le ruissellement. Après une averse le ruissellement devient très visible sur les glacis notamment. En effet, une longue période de sécheresse permet la formation d'une mince couche limoneuse au niveau de la partie superficielle du sol appelée «pellicule de glaçage» qui empêche l'infiltration de l'eau dans le sol (Djebaili, 1984).

8.1.3. Les variations mensuelles :

Tableau 06 : La répartition mensuelle des précipitations.

Station Ain Skhouna (1971-2010)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm) mensuelles	34,3	24,2	30,3	31,1	27,8	27,7	33,9	33,0	37,9	18,8	9,3	16,5
P (%)	10,9	7,6	9,7	9,4	8,4	8,3	10,2	10,0	11,4	5,7	2,8	4,9

Source: ONM Station d'Ain Skhouna

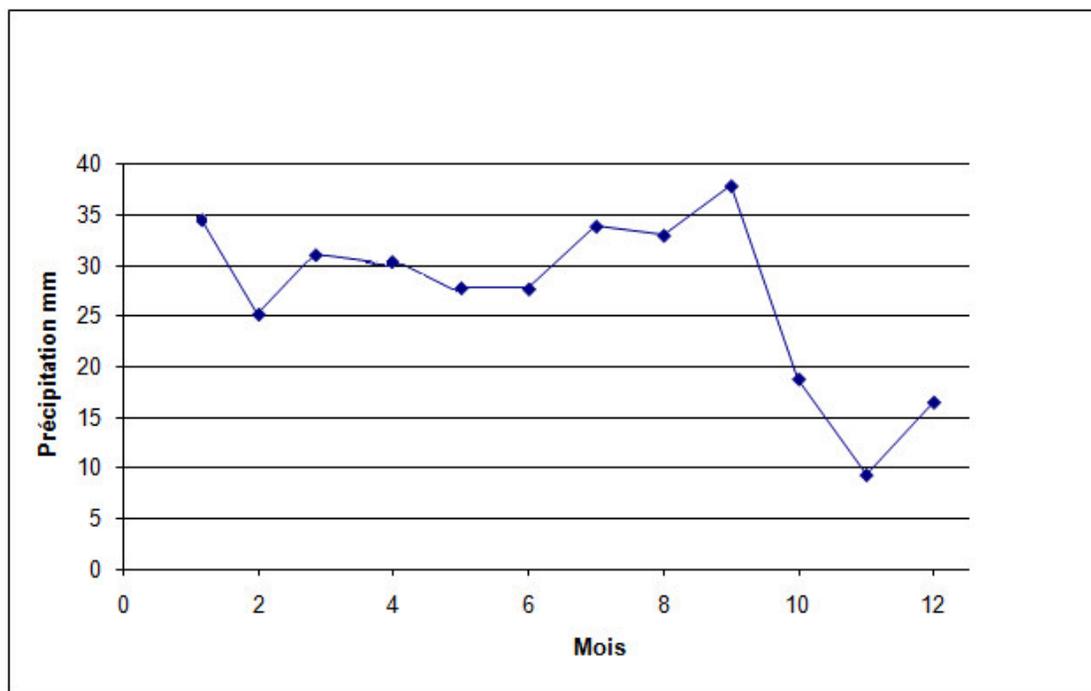


Figure 13 : La répartition mensuelle des précipitations station Ain Skhouna (1988 - 2010).

D'après l'allure de la courbe de la répartition pluviométrique mensuelle (Figure 13) (Station Ain Skhouna 1971-2010) :

Le maximum des précipitations mensuelles est observé au mois de mai, avec une moyenne de 37 mm, soit 11,4%, et le minimum au mois de juillet avec une moyenne de 9,3 mm, soit 2,8%.

Tableau 07 : Nombre des mois où la pluviosité est inférieure à la moyenne mensuelle (Station Ain Skhouna 1971-2010)

Moy. mensuelles de l'année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
27,5 mm		+								+	+	+	4

Source : ONM Station d'Ain Skhouna

Le tableau montre que le nombre des mois où la pluviosité est inférieure à la moyenne mensuelle de l'année est de 4 mois, et se concentre dans la période estivale entre juin et octobre.

8.2. Le régime thermique

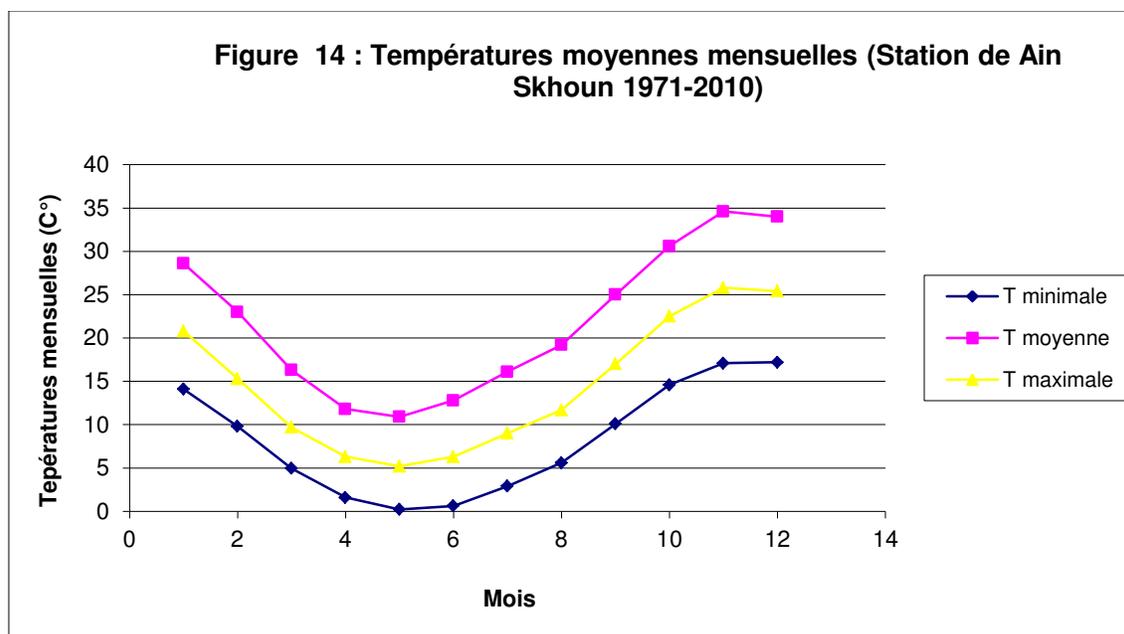
La température joue un rôle essentiel dans la dynamique des sebkhas et en particulier c'est le facteur le plus important qui conditionne les phénomènes du bilan hydrologique.

On dispose des données thermiques de la station d'Ain Skhouna, qui est située à l'intérieur de la région d'étude.

Tableau 08 : Températures moyenne mensuelle (Station d'Ain Skhouna 1971-2010)

Température (T)	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Min	14,1	9,8	4,95	1,6	0,21	0,62	2,9	5,6	10,1	14,6	17,1	17,2
Max	28,6	23,0	16,3	11,8	10,9	12,8	16,1	19,2	25,0	30,6	34,6	34,0
moy	20,8	15,3	9,7	6,3	5,2	6,3	9,0	11,7	17,0	22,5	25,8	25,4

Source : ONM Station d'Ain Skhouna



D'après l'allure des courbes (Figure 14), on remarque que les températures décroissent d'octobre jusqu'à février puis elles augmentent pour atteindre leurs maximums en juillet, avec une valeur moyenne de 25,8 °C ; le minimum des températures moyennes est observé en janvier avec une valeur de 5,2°C.

La saison la plus chaude comporte trois mois juin, juillet et août, avec une moyenne des températures de l'ordre de 24,5°C, cependant, la saison froide s'étale de décembre à février avec une moyenne des températures de 5,9°C.

8.2.1. Les températures minimales et maximales :

La représentation graphique des courbes de la température maximale et minimale (1971-2010), montre que le plus grand écart en valeur des deux courbes s'observe au mois de juillet avec un maximum de 34.6 et un minimum de 17.1, ce qui indique un écart de 17.5, par contre, le plus faible écart s'observe en décembre avec un maximum de 11.8 et un minimum de 1.6, ce qui indique un écart de 10.2.

Ces conditions thermiques influent profondément sur le cycle végétatif des différentes espèces et réduisent le développement végétal à sa plus simple expression d'une part et sur la dynamique et l'extension des sebkhas et chotts d'autre part.

8.3. La gelée blanche et la neige.

La gelée blanche constitue un indice de la rigueur thermique nocturne caractéristique d'un milieu continental. Le nombre des jours de gelée blanche est de l'ordre de 37 jours dans l'année, ses effets sont néfastes sur la végétation et les cultures. Les gelées sont concentrées dans les mois les plus froids de janvier à mars.

Tableau 09 : La gelée blanche. Moyenne mensuelle. Station d'Ain Skhouna (1988-2010).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Gelée (nombre de jours)	0	0	1	1	15	12	6	1	1	0	0	0	37

Source : ONM Station d'Ain Skhouna

Tableau 10 : L'enneigement. Moyenne mensuelle. Station d'Ain Skhouna (1988-2010).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
L'enneigement (moyennes)	0	0	1	1	3	3	1	0	0	0	0	0	9

Source : ONM Station d'Ain Skhouna

Pour la neige, le nombre des jours est de 9 jours par année, concentrés dans les mois de l'hiver.

8.4. Humidité relative:

L'humidité atmosphérique est l'un des éléments essentiels du cycle hydrologique, elle est la source de toutes les précipitations.

L'humidité relative (ε) est le rapport de la tension de vapeur réelle (e) à la tension de vapeur saturée (e_s), à la même température. Elle est exprimée en % :

$$\varepsilon = 100 \times \frac{e}{e_s}$$

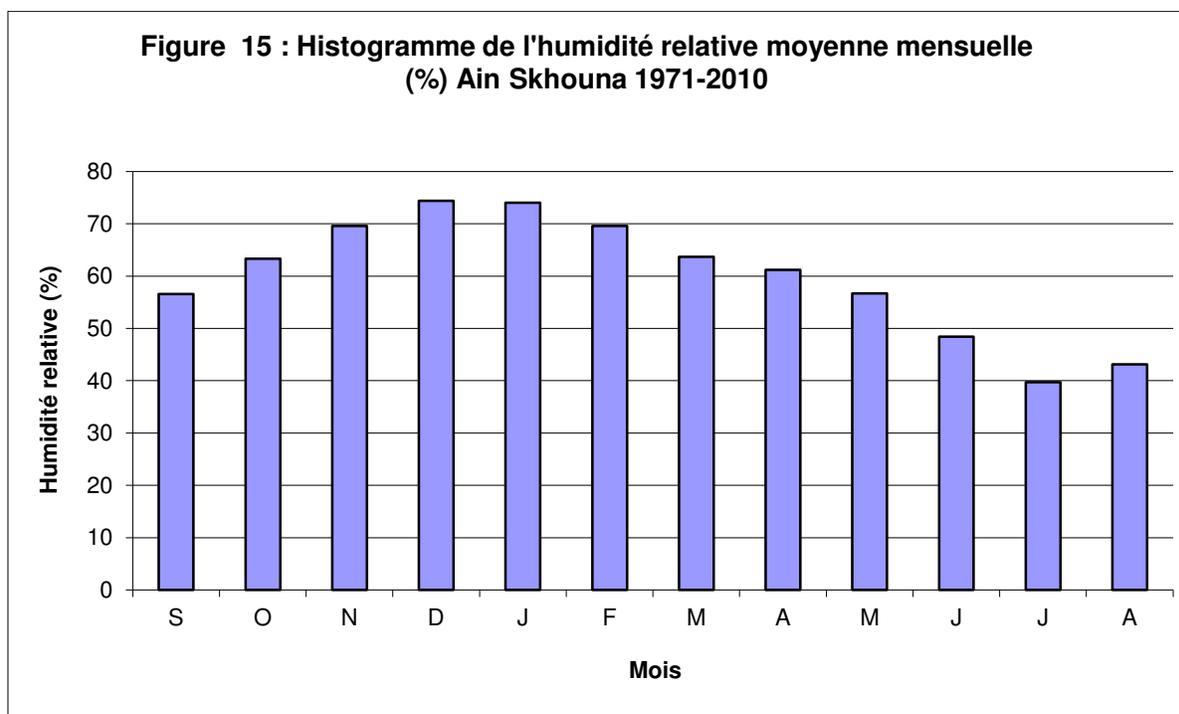
D'après les relevés de la station de Ain Skhouna (1971-2010) (Figure 15), il apparaît que la moyenne mensuelle d'humidité la plus élevée est observée en hiver (74,4%) en décembre, ceci correspond aux mois où les températures sont plus fraîches.

En revanche, nous observons une moyenne relativement faible en été (39,7%) en juillet. La répartition moyenne mensuelle est portée sur le Tableau (11) :

Tableau 11 : La répartition moyenne mensuelle d'humidité

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Humidité relative(%)	56,6	63,3	69,6	74,4	74,0	69,6	63,7	61,2	56,7	48,4	39,7	43,1	60,0

Source :ONM Station d'Ain Skhoun



8.5. Le vent

Un autre facteur météorologique est l'action du vent. C'est un agent morphodynamique important, en zones arides, conduisant à l'érosion du sol et au transport du sable et les particules des sels (Regagba, 2012).

Le vent c'est le mouvement de l'air, il se déplace d'une zone de haute pression vers une zone de basse pression. Il participe beaucoup à l'augmentation de l'évapotranspiration.

Dans les régions arides, les vents jouent un rôle primordial dans la formation des sols, dans la dégradation de la végétation et la destruction des sols par le phénomène de l'érosion éolienne (Halitim, 1988).

L'analyse de la vitesse et la direction des vents à Ain Skhouna confirme la dépendance de cette région de la circulation des masses d'air de la Méditerranée occidentale, avec une prédominance des vents de l'Ouest et du Nord-Ouest. Cependant, la répartition annuelle montre que d'autres directions sont assez bien représentées, en particulier, celles du Nord et du Nord-Est.

- Par leur action thermiques : le sirocco (vent chaud et sec venu du Sahara et soufflant vers le nord) est reste comme le vent qui mérite le plus d'attention en raison de l'action nuisible qu'il peut exercer sur les cultures. Il augmente et accélère l'évaporation .Il diminue l'humidité des sols et rend ses particules sensible à l'érosion (particules des sels et gypses). Il souffle du sud pendant la saison sèche, amenant avec lui des sables et des poussières.

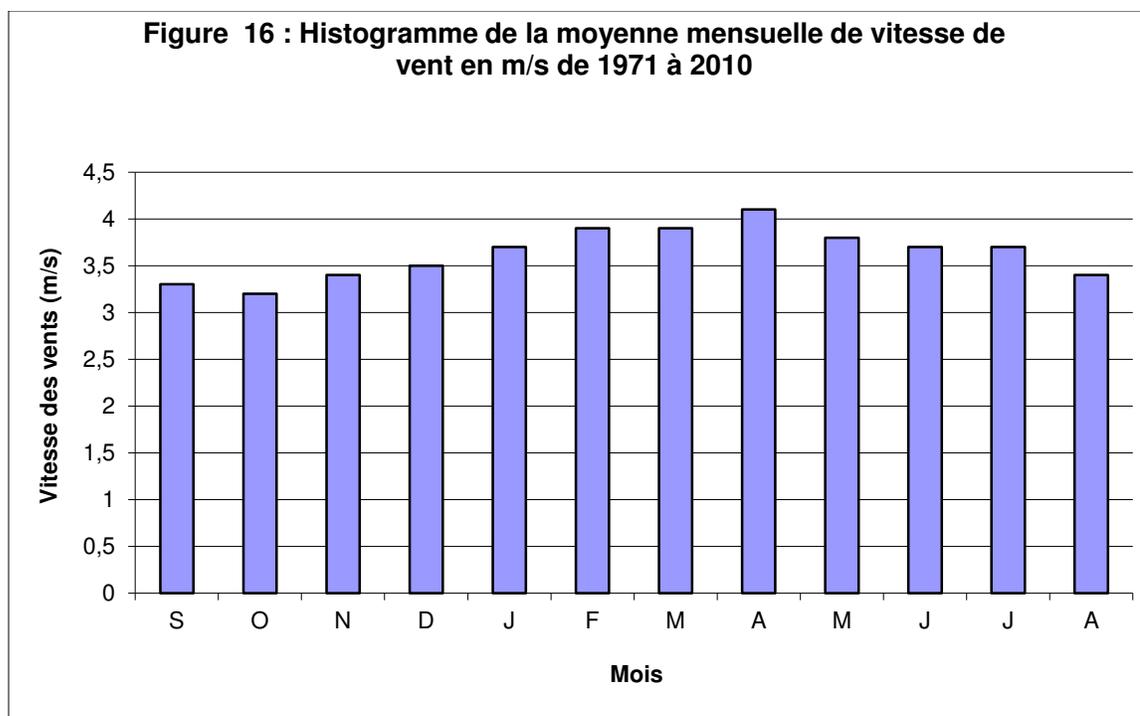
- Par leur intensité et leurs force : soufflant sans rencontrer d'obstacle, ils activent l'évaporation, dessèchent les sols et transportent les particules de sels des zones salés (sebkha et chott) vers d'autres zones.

Selon l'histogramme (Figure 16), on constate que la vitesse moyenne mensuelle maximale est enregistrée aux mois d'Avril (4,1m/s), tandis que le mois d'octobre enregistre une vitesse moyenne mensuelle minimale (3,2m/s). L'influence du vent dans notre zone d'étude se manifeste sur le plan mécanique dans l'apport des particules les plus fines du sol et le transport des Sels.

Tableau 12 : Moyenne mensuelle de vitesse de vent en m/s de 1971 à 2010.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	MM
Vitesse (m/s)	3,3	3,2	3,4	3,5	3,7	3,9	3,9	4,1	3,8	3,7	3,7	3,4	3,6

Source :ONM Station d'Ain Skhoun



8.6. La durée de l'insolation

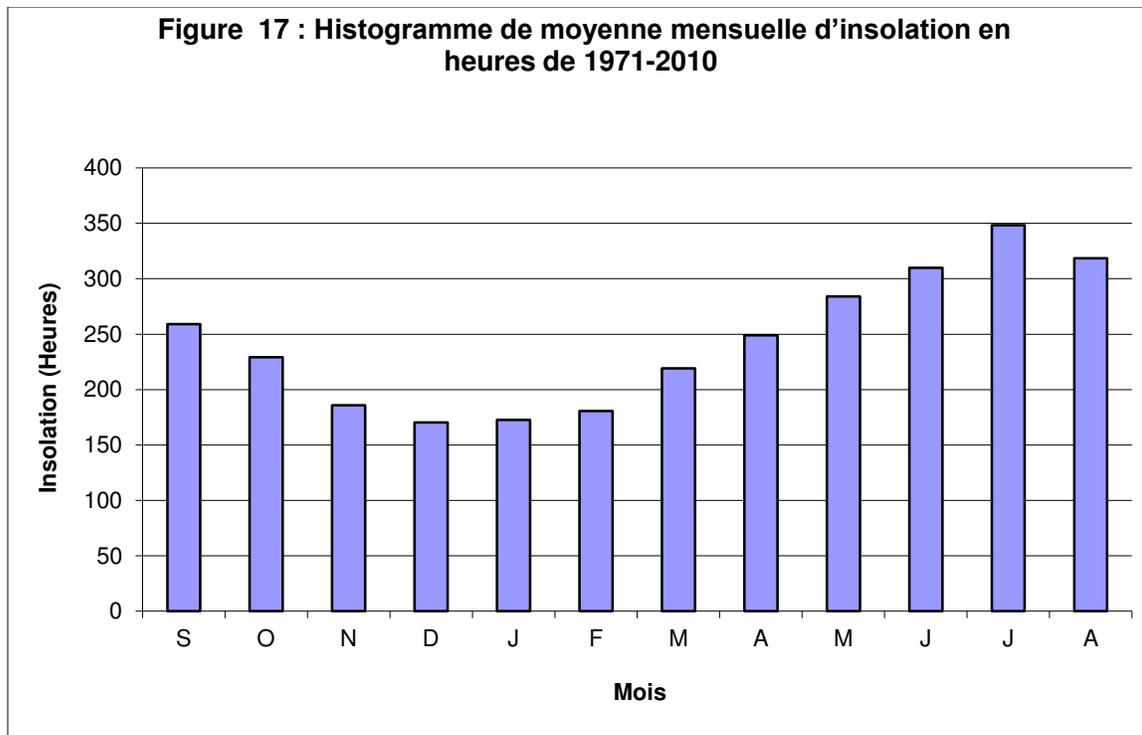
C'est la période durant laquelle le soleil a brillé sur le sud, où les objets naturels opaques donnent lieu à des ombres portées, nettement dessinées sur une surface horizontale.

La région d'étude reçoit une intensité lumineuse importante surtout pendant les périodes les plus chaudes, car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année.

Tableau 13 : Moyenne mensuelle d'insolation en heures de 1971-2010

Mois	S	O	N	D	J	F	MM
Insolation en heures	259	229,3	185,8	170,3	172,5	180,8	243,8
Mois	M	A	M	J	J	A	
Insolation en heures	219,1	249	283,9	309,9	348,4	318,6	

Source : ONM Station d'Ain Skhoun



La valeur minimale d'insolation est de 170,3 heures au mois de décembre, la valeur maximale d'isolation est de 348,4 heures au mois de juillet. Donc ; plus le jour est long plus la durée d'insolation est grande et plus l'évaporation est importante, ce qui influe direct sur l'humidité des sols.

8.7. L'évaporation

L'évaporation est la perte en eau subie par la surface d'eau libre et représente la transformation de l'eau en vapeur. Elle est très important surtout quand elle se trouve renforcée par les vents et notamment ceux qui sont chauds comme le sirocco.

Nous disposons de deux types de données concernant ce paramètre climatique dont la connaissance reste essentielle pour la compréhension de fonctionnement du processus dynamique en milieu de sebkhas.

8.7.1. Les données expérimentales : Au cours d'une campagne de cinq années 1956 à 1960 (P. Dutil) a pu mesurer l'évaporation réelle en sol nu, et ce à partir de cases lysimétriques à la ferme expérimentale de la plaine d'Ain Yagout. (Ben Azzouz, 1986).

- L'évaporation réelle en sol nu représenterait 77 à 88% des précipitations, pendant les cinq années de mesure.
- La pluviométrie moyenne annuelle atteinte 449 mm, l'évaporation réelle s'élève donc à 395 mm sur sol à texture lourde et 348 mm sur sol à texture moyenne.
- L'importance de ces expérimentations traduit le rôle efficace de ce facteur climatique largement sollicité dans les mécanismes de fonctionnement des sebkhas.

8.7.2. Les mesure de l'évaporation annuelle sur Sebkhha Tinsilt :

Il s'agit des valeurs obtenues à partir du bac Colorado (eau douce), au cours de l'année hydrologique 1959-1960.

Sebkhha Tinsilt : 2048 mm annuelle.

Il apparait que la salure du Sebkhha Tinsilt ne provoque pas de diminution de l'évaporation comme il est admis en général, au contraire, elle est estimée à plus de deux mètres annuellement.

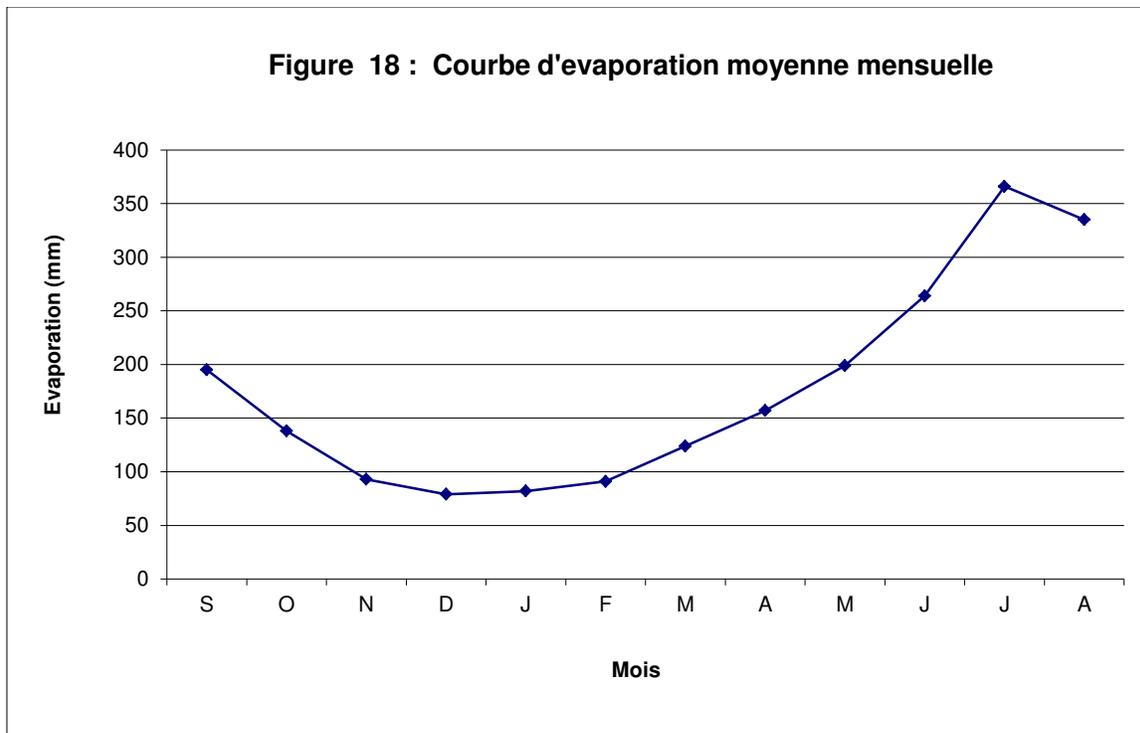
8.7.3. Les données récentes de l'évaporation mensuelle :

D'après les relevés de la station de Ain Skhouana, période de 1988-2010, la moyenne annuelle reste toujours élevée (2143 mm), supérieure à 1500 mm.

Tableau 14 : Evaporation moyenne mensuelle (Ain Skhouana 1988-2010)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Evaporation mm	195	138	93	79	82	91	124	157	199	264	366	335	2143
%	9,0	6,4	4,3	3,6	3,8	4,2	5,7	7,3	9,2	12,3	17,0	16,5	100
	19,7			11,6			22,2			45,8			

Source : ONM Station d'Ain Skhoun



- La courbe (Figure 18) montre que l'évaporation la plus élevée est observée au mois de juillet, avec 366 mm, par contre, l'ETP la plus faible observée au mois de décembre avec 79mm (4 fois plus).
- D'autre part, l'évaporation estivale semble très active car elle dépense près de 50% du total annuel (46%) pour les seuls trois mois d'été.
- A cette augmentation sensible de l'évaporation, correspond d'un coté aux faibles valeurs de l'humidité relative moyenne, et une nette élévation des températures moyennes mensuelles de l'autre. Par conséquent, l'installation de la sécheresse s'effectue facilement au cours de la saison chaude.
- L'accentuation de l'évaporation s'effectue par une montée régulière dont la pente se redresse nettement le mois de mai pour atteindre son maximum en juillet, et on remarque une véritable chute de l'évaporation au cours du mois de septembre, qui n'enregistre qu'un demi de la valeur du mois précédent ; la chute reste pendant tout les mois d'automne et d'hiver jusqu'à la fin des mois de printemps.

8.8. Synthèse climatique

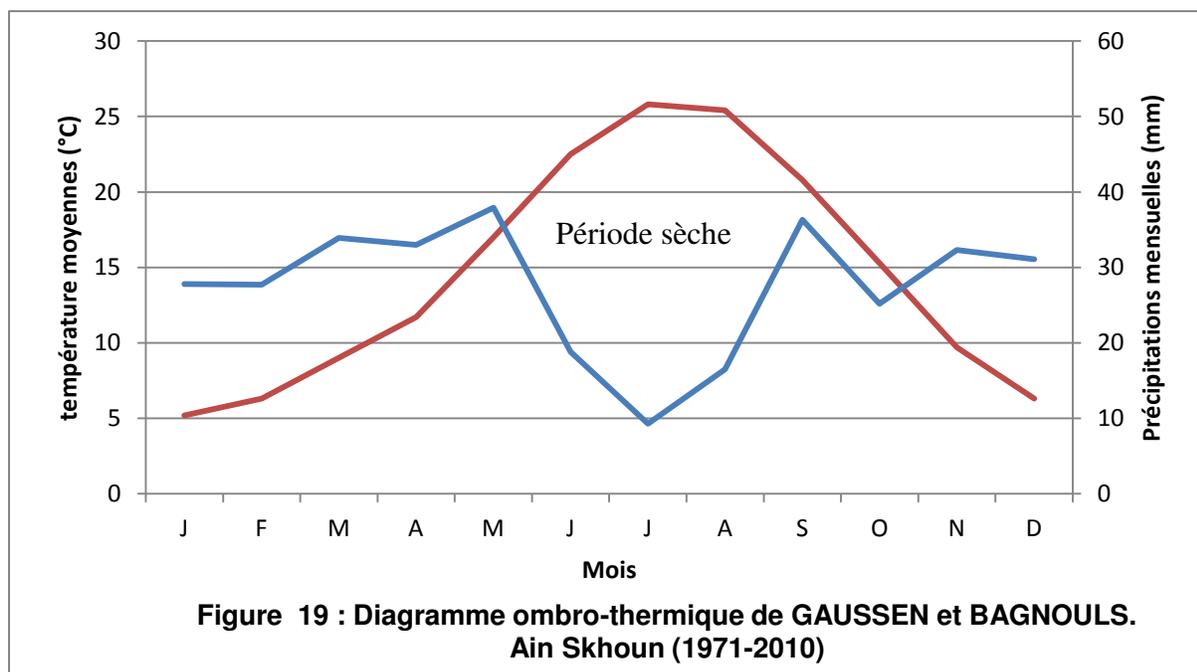
Plusieurs auteurs ont essayé de synthétiser les données climatiques et élaborer une classification des types de climat.

8.8.1. Courbe Ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS :

Il s'agit de la représentation de deux courbes relatives à deux paramètres climatiques principaux qui sont la précipitation et la température.

Il désigné par le terme de « période sèche » lorsque le total moyen des précipitations (en mm), d'une période donnée est inférieure ou égale au double de la température moyenne de la même période ($P \text{ (mm)} \leq 2T^{\circ}\text{C}$).

Cette relation permet d'établir un diagramme pluviométrique sur lequel les précipitations sont portées à une échelle double des températures.



Le graphe montre (Figure 19) une période sèche du mois qui s'étal de mai jusqu'à la fin de octobre et une période humide de novembre jusqu'à la fin d'avril.

Les périodes de sécheresse de plus en plus longues et fréquentes contribuent également à augmenter la vulnérabilité d'écosystème dans ces zones endoréique.

8.8.2. L'indice d'aridité :

De nombreux auteurs ont tenté de démontrer la tendance à l'aridité dans les steppes algériennes parmi lesquels: (Djellouli, 1990), (Djellouli et Daget, 1993), (Rognon 1996), (Tabet, 1998), (Mebarki, 2005), (Labani et al ,2006), (Talia, 2011). L'analyse de leurs résultats a montré:

- Une variabilité interannuelle de la pluviosité moyenne annuelle importante.
- Une sécheresse plus prononcée au niveau des steppes occidentales par rapport aux steppes orientales (hauts plaines).
- Une diminution des précipitations et une augmentation de la saison sèche de 2 mois en un siècle.

- (indice de Martonne)

En 1925, Emmanuel De Martonne a proposé une formule climatologique qui permet de calculer un indice appelé « indice d'aridité », en fonction de la température et de la précipitation ; l'indice est illustré par la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T+10}$$

Avec :

I : L'indice d'aridité de Martonne ;

P : Pluviométrie annuelle en (mm) ;

T : Température annuelle moyenne en (° C).

On obtient :

$$I = 13,2$$

Cette valeur place normalement la zone d'étude parmi les zones à climat semi-aride, entre 10 et 15, c'est un régime de type semi-aride à aride.

8.8.3. Climagramme de L. EMBERGER :

En 1932, L. Emberger proposa une formule permettant le calcul de l'indice d'aridité annuel, en tenant compte des précipitations et de la température.

Cette formule s'écrit :

$$Q = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

Avec :

Q : Quotient pluvio-thermique d'Emberger ;

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

M : La moyenne des maxima du mois le plus chaud en °K $34,6+273,2= 307,8$;

m : La moyenne des minima du mois le plus froids en °K $0,2+273= 273,4$.

$Q = 32,6$ et $T=$ la moyenne des minima de la saison froide (hiver) = 0,8.

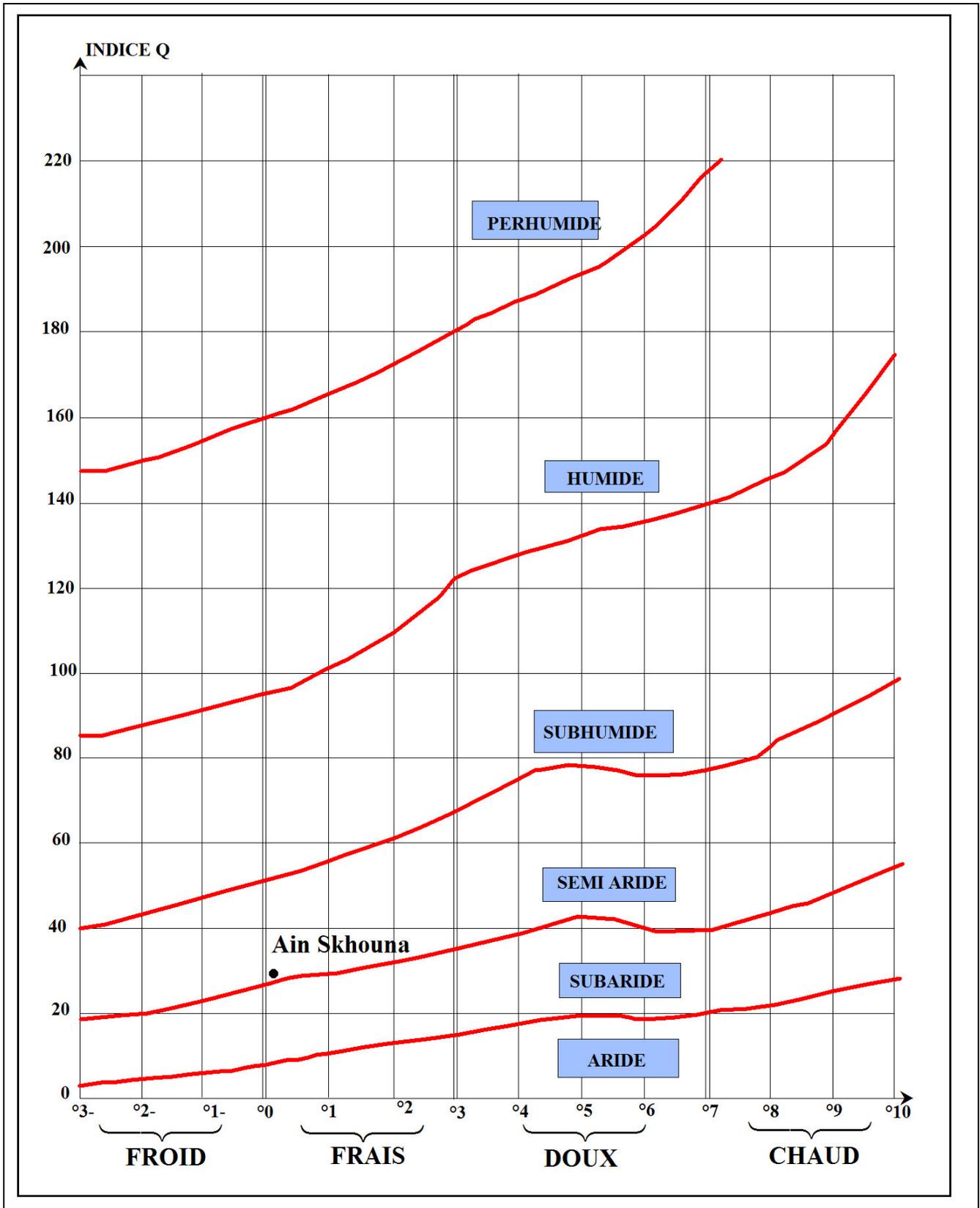


Figure 20 : Climagramme d'Emberger

Le Climagramme d'Emberger (Figure 20) nous permet de situer la zone d'étude dans un étage bioclimatique de type semi-aride.

En définitif, il ressort que la zone d'étude est caractérisé par :

Un climat semi-aride influencé par un régime méditerranéen humide en hiver et sec en été.

Ce qui influé sur la qualité et la quantité des couverts végétales et sur le niveau de développement des sols (Aimé, 1991).

8.9. Le bilan hydrique

Le calcul du bilan d'eau d'une région consiste à quantifier les paramètres suivants

- * l'évaporation.
- * L'écoulement.
- * L'infiltration.

8.9.1 L'évapotranspiration

L'évapotranspiration intervient dans le cycle de l'eau dès le moment où les précipitations atteignent le sol. Ce paramètre est défini comme étant la somme de toutes les pertes (sol, végétation, surface d'eau libre, ...tec.), par transformation de l'eau en vapeur. Il résulte de la combinaison de deux facteurs l'un physique (l'évaporation) et l'autre biologique (la transpiration). C'est un élément principal pour l'établissement du bilan hydrologique.

8.9.2. Evapotranspiration potentielle (ETP.)

Thornthwaite a défini l'évapotranspiration potentielle par la perte en eau qui se produit dans le sol, un déficit dans les besoins de la végétation qui est conditionné par :

- La température de l'air et de l'eau ;
- L'insolation et l'humidité de l'air ;
- La vitesse et la turbulence du vent ;
- La pression barométrique et l'altitude.

Calcul de l'évapotranspiration potentielle selon la formule de Thornthwaite :

Cette formule, utilisée pour les climats subhumides, semi-arides et arides, est la suivante :

$$ETP = 16 \left(\frac{10 T}{I} \right)^a \quad \text{Avec :}$$

ETP: Évapotranspiration potentielle mensuelle en mm, pour un mois ;

T : La température moyenne mensuelle en °C ;

I : Indice thermique annuel égale à la somme des 12 indices mensuels ;

i : Indice thermique mensuel tiré d'abaque et égal à : $i = \left(\frac{T}{r} \right)^{1,514}$

a : Indice calculé à partir de la formule : $a = \frac{1,6}{100} I + 0,5$

Les valeurs de ETP trouvées par cette formule devraient être corrigées à l'aide d'un facteur correctif noté K, celui-ci dépend du temps, du lieu de la station ; on a utilisé les valeurs de ce coefficient par la latitude 35° Nord :

$$ETP_{\text{corrigée}} = ETP \cdot K$$

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
T_m	20,8	15,3	9,7	6,3	5,2	6,3	9,0	11,7	17,0	22,5	25,8	25,4	
i	8,6	5,4	2,7	1,4	1,0	1,4	2,4	3,6	6,3	9,7	11,9	11,7	66,1

Tableau 15 : Calcul l'indice thermique mensuel (Ain Skhouna)

Après les calculs, les valeurs obtenues sont :

$$I = 66,1$$

$$a = 1,55.$$

**Tableau 16 : Calcul de l'ETP selon Thornthwaite à la station d'Ain Skhouna
(1971-2010)**

Mois Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An née
P (mm)	36, 3	25, 2	32, 3	31,1	27, 8	27,7	33, 9	33, 0	37, 9	18,8	9,3	16,5	330, 0
T. M. mensuelle (°C)	20, 8	15, 3	9,7	6,3	5,2	6,3	9,0	11, 7	17, 0	22,5	25,8	25,4	14,6
I	66, 1	66, 1	66, 1	66,1	66, 1	66,1	66, 1	66, 1	66, 1	66,1	66,1	66,1	66,1
ETP (mm)	94, 5	58, 7	28, 9	14,8	11, 0	14,8	25, 8	38, 7	69, 1	106, 8	132, 0	128, 9	724, 0
K	1,0 3	0,9 7	0,8 6	0,85	0,8 7	0,85	1,0 3	1,0 4	1,2 1	1,21	1,23	1,16	
ETP_{corrigée} (mm)	97, 3	65, 9	24, 8	12,5 8	9,5 7	12,5 8	26, 5	40, 2	83, 6	129, 2	162, 3	149, 5	804, 8

8.9.3. Evapotranspiration réelle (ETR) :

C'est la quantité d'eau évaporée ou transpirée réellement par le sol, les végétaux et les surfaces d'eau libres, elle a été définie par plusieurs auteurs : TURC, WUNDT, VERDEIL, COUTAGNE et THORNTHWAITE.

* Formule de TURC :

L. TURC est arrivé à établir une formule après des études faites sur 254 bassins versants, elle est applicable à tous les climats. L'évapotranspiration réelle se détermine d'après l'expression suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{\frac{0,9+P^2}{L^2}}}$$

Où :

$$L = 300 + 25 T + 0,005 T^3$$

ETR : L'évapotranspiration réelle en mm ;

P : La précipitation moyenne annuelle en mm = 325,6 ;

L : un paramètre dépendant de la température = 820,6 ;

T : la température moyenne annuelle en °C = 14,6°C.

$$ETR = 319,2$$

*Formule de COUTAGNE

Cette formule fait intervenir les précipitations moyennes annuelles *P* (mm) et la température moyenne annuelle (*T* °C).

$$ETR = P - \lambda p^2$$

Avec : $\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14T}$

Où :

ETR : L'évapotranspiration réelle en mm ;

P : La précipitation moyenne annuelle en mm = 325,6 ;

λ : Un paramètre dépendant de la température = 0,35 ;

T : la température moyenne annuelle en °C = 14,6 °C

La formule COUTAGNE est appliquée pour les précipitations comprises entre :

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$$

D'après les calculs effectués, les valeurs annuelles des précipitations à Ain Skhouna n'est pas comprise entre l'intervalle $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$, alors, cette formule n'est pas applicable.

*Méthode de WINDT

L'abaque de WINDT modifié par COUTAGNE (Figure 21), permet de déduire directement la valeur de l'ETR en prenant en considération la température moyenne annuelle (*T* = 14,6 °C), et les précipitations moyennes annuelles (*P* = 325,6 mm).

Après la projection graphique, l'ETR est estimée à 315 mm.

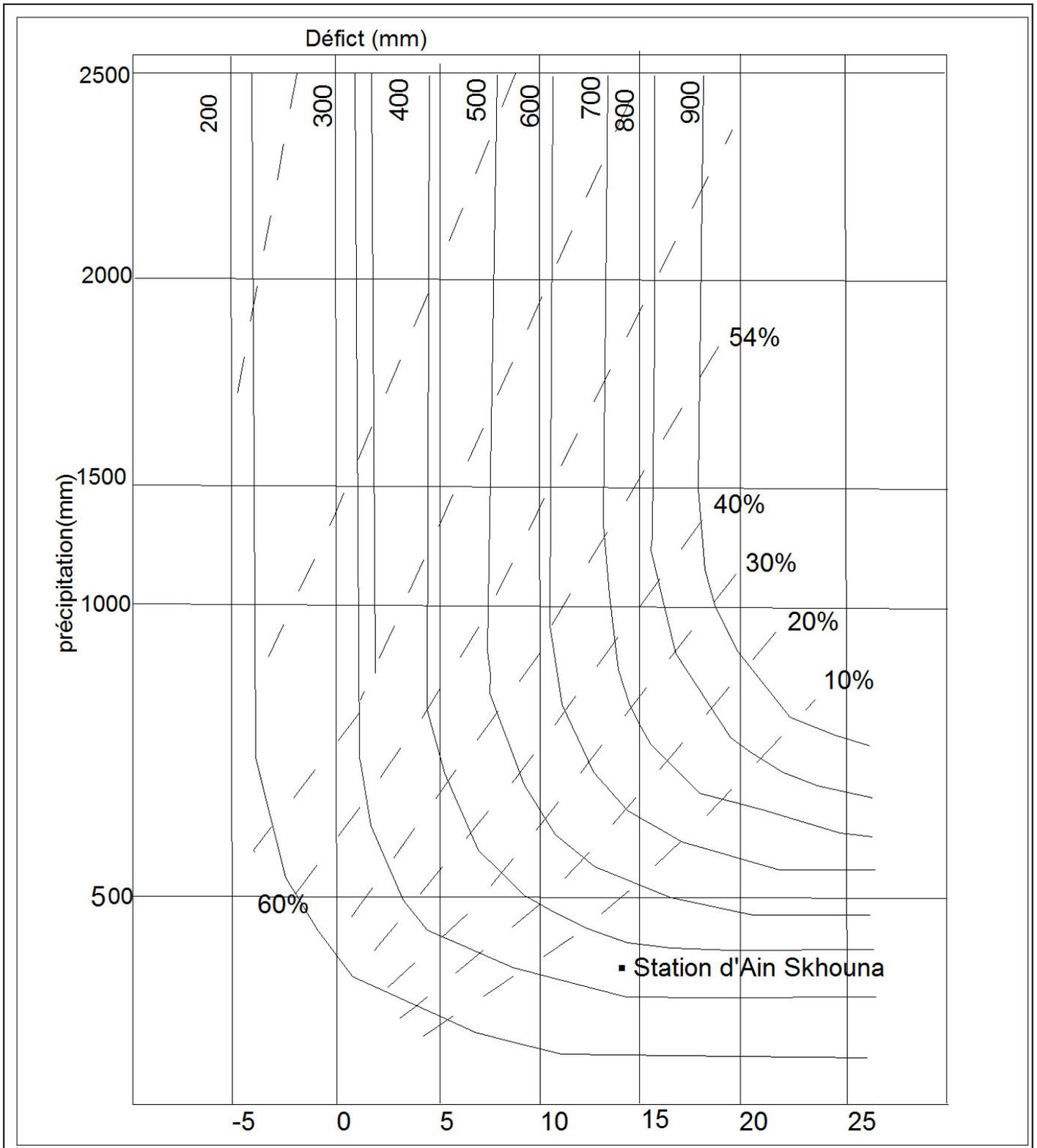


Figure 21 : Abaque de WUNDT modifié par COUTAGNE.

***Méthode de P.VERDEIL**

En 1988, Verdeil a établi un abaque bi logarithmique pour les régimes semi-arides où les précipitations ne dépassant pas les 600mm. L'abaque de Verdeil (Figure 22) Permet de calculer l'ETR en prenant en considération seulement la précipitation.

La projection des précipitations a donné un ETR =313 mm.

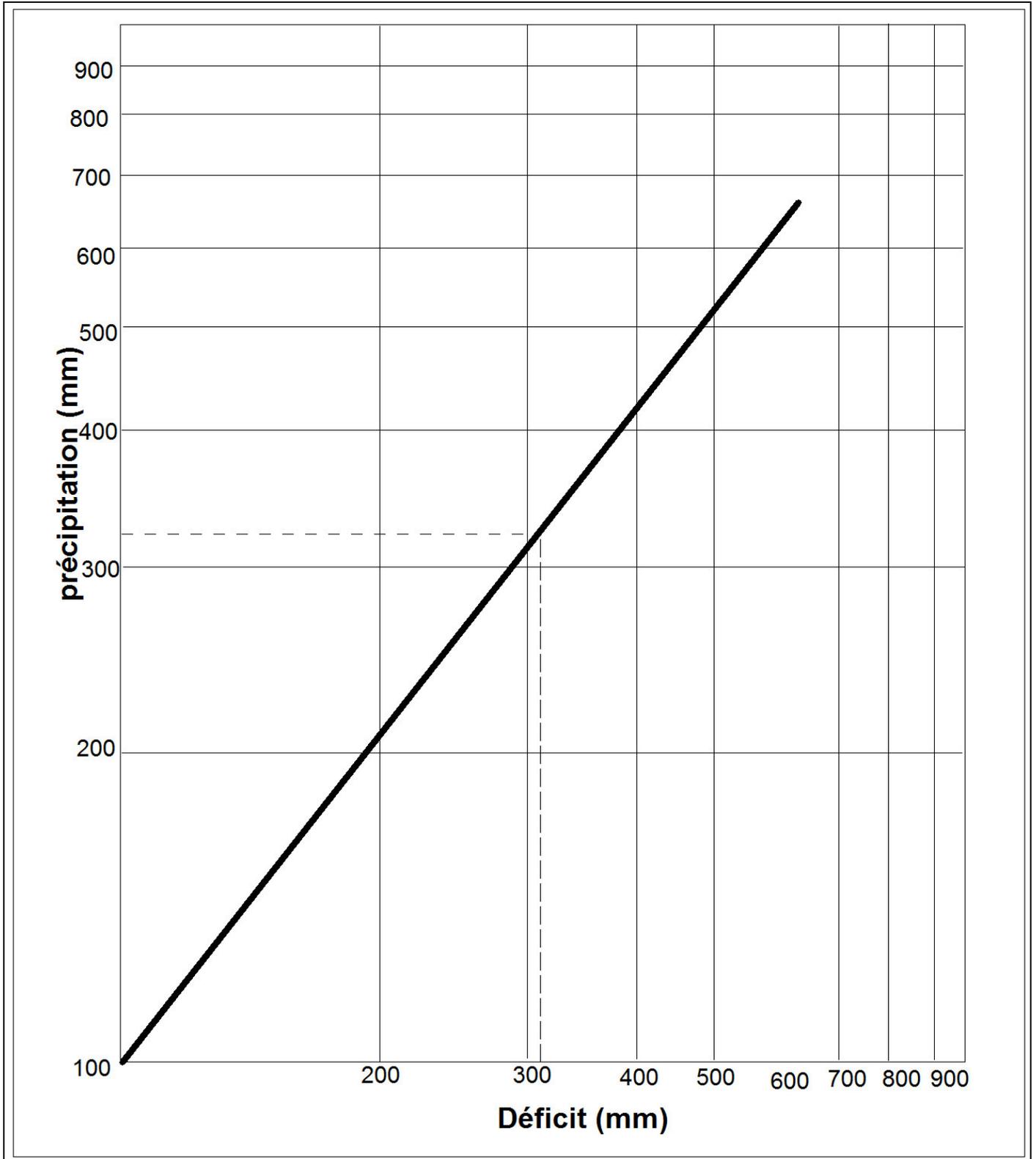


Figure 22 : Abaque de VERDEIL.

*** Méthode de THORNTHWAITE :**

- Bilan hydrique selon THORNTHWAITE

La méthode de THORNTHWAITE donne une estimation de l'évapotranspiration réelle équivalente au déficit d'écoulement. Le bilan peut donner les caractéristiques du sol du point de vue sécheresse ou humidité.

Le bilan prend en considération :

- La précipitation P et l'ETP ;
- La réserve facilement utilisable RFU ;
- Le déficit agricole et l'excès d'eau (water surplus).

Le principe de détermination de ce bilan est le suivant :

-si $P \geq ETP$ pour un mois donné, $ETP=ETR$, il reste alors une quantité d'eau égale à $P-ETP$, qui va alimenter la RFU jusqu'à son maximum, si la RFU est saturée 100 mm, il y aurait un excès, c'est-à-dire, un apport de l'écoulement.

-Si $P < ETP$, donc, ETR est égale à la Précipitation.

-Si malgré l'apport de la RFU. $ETR < ETP$, il existe un déficit agricole.

Les résultats sont portés sur le tableau suivant :

Tableau 17 : Tableau du calcul des paramètres du bilan hydrique selon THORNTHWAITE (Ain Skhouna).

Mois Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Années
P (mm)	36.3	25.2	32.3	31.1	27.8	27.7	33.9	33	37.9	18.8	9.3	16.5	330,0
T. M. mensuelle (°C)	20,8	15,3	9,7	6,3	5,2	6,3	9,0	11,7	17,0	22,5	25,8	25,4	14,6
Indice thermique mensuel	8,6	5,4	2,7	1,4	1,0	1,4	2,4	3,6	6,3	9,7	11,9	11,7	66,1
K coefficient de durée d'insolation	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,04	1,21	1,21	1,23	1,16	
ETP (mm)	94,5	58,7	28,9	14,8	11,0	14,8	25,8	38,7	69,1	106,8	132,0	128,9	724,0
ETP corrigée (mm)	97,3	65,9	24,8	12,58	9,57	12,58	26,5	40,2	83,6	129,2	162,3	149,5	804,8
P-ETR	-61	-31,7	7,5	18,6	18,3	15,2	7,4	-7,2	-45,7	-110,4	-153	-133	-
RFU	0	0	7,5	26,1	44,4	59,6	67	59,8	14,1	0	0	0	-
ETR	36,3	25,2	24,8	12,5	9,5	12,5	26,5	33	37,9	18,8	9,3	16,5	262,8
EXD	0	0	7,5	18,6	18,6	15,2	7,4	0	0	0	0	0	67
DE	61	31,7	0	0	0	0	0	7,2	45,7	110,4	153	133	542

- Formule de vérification

$$P = \sum ETR + \sum EXD = 329,8 \text{ mm} \approx P = 330 \text{ mm}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DE = 804,8 \text{ mm} = ETP_c$$

8.9.4. Calcul du ruissellement et de l'infiltration

8.9.4.1. Le ruissellement

Le ruissellement est calculé d'après la formule de TIXRONT BARKLOFF :

$$R \text{ (mm)} = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

$$P = 330 \text{ mm} : ETP = 804,8$$

$R = 18,49 \text{ mm}$ donc, 56% des précipitations.

8.9.4.2 L'infiltration

Ce paramètre est très important du point de vue hydrologique pour l'estimer, on applique la formule initiale du bilan hydrique.

$$P = ETR + R + I \quad I = [P - (ETR + R)]$$

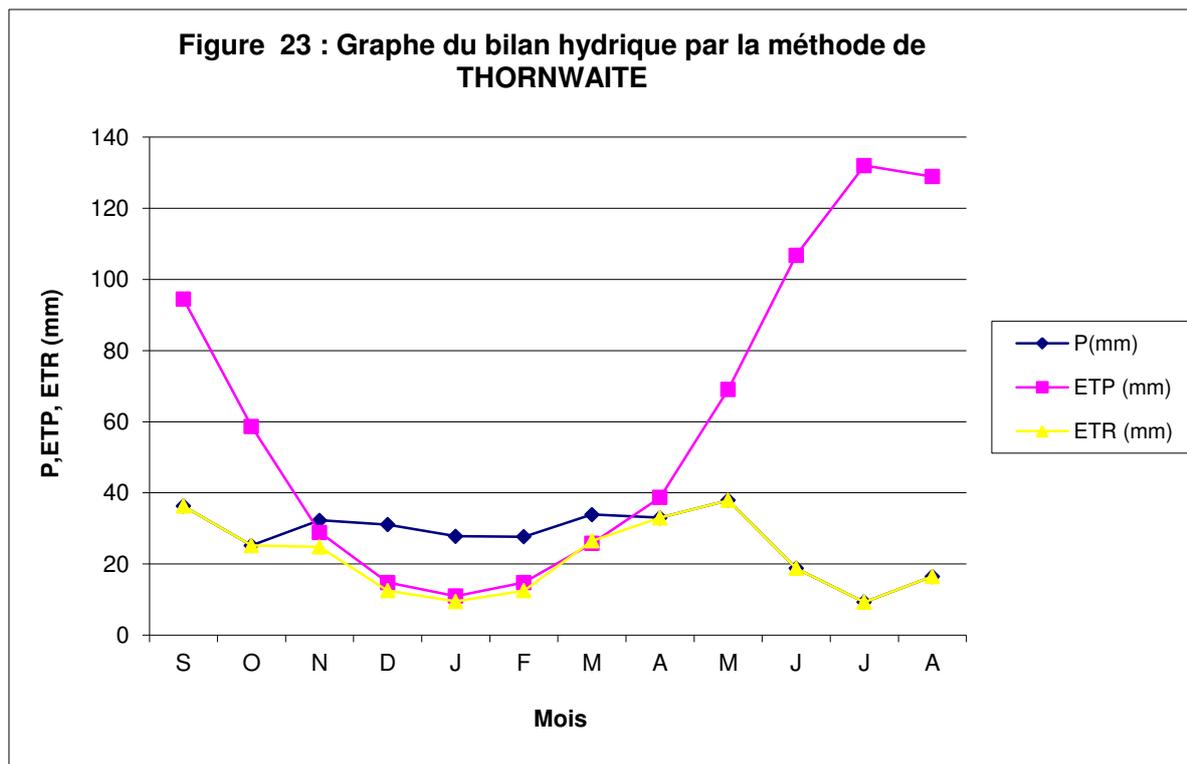
$I = 48,75$ donc, 14,7% des précipitations

Tableau 18 : Tableau récapitulatif du calcul des valeurs de l'évapotranspiration réelle d'après les différentes méthodes :

Station d'Ain Skhoun	THORNTHWAITE		TURC		VERDEIL		WUNDT		CONTAGNE	
	ETR	%	ETR	%	ETR	%	ETR	%	ETR	%
	262,8	79,6	319,2	96,7	313	94,8	315	95	-	-

Tableau 19 : Tableau récapitulatif du calcul des valeurs des paramètres du bilan hydrique THORNTHWAITE pour la station d'Ain Skhouna.

Station Ain Skhouna	P.M. annuelle (mm)	T.M. annuelle (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	RFU	DE	EXD	ETR %	R %	I %
	330	14,6	804,8	262,8	159,8	542	67	79,6	1,6	14,7



D'après le bilan de THORNTHWAITE, il en ressort que la précipitation (P) devient supérieur à l'évapotranspiration (ETP), à partir de novembre jusqu'au mois de mars et son maximum en décembre 18,6.

*L'ETP>P, donc il aurait un déficit qui à son maximum en juillet avec 153 mm.

En conclusion, l'évapotranspiration réelle (ETR) calculée est de l'ordre de 268,8 mm, ce qui correspond à 80% des précipitations.

Le ruissellement représente 5,8% des précipitations et l'infiltration représente 14,7% des précipitations, cette valeur représente la quantité d'eau qui alimente les nappes sous terrains.

Remarque

Quand on évalue le déficit en écoulement au pas annuel ou mensuel dans les zones endoréiques (semi-arides) et Pour un bilan plus précis qui dégage un excédent réel, il est conseillé de travailler au pas journalier et prendre en considération la totalité des bassins versants qui sont diverse dans ces dépressions (le grand bassin des hauts plateaux de l'est Algérien).

Conclusion

Au terme de ce chapitre, on peut dire que :

- La région d'étude correspond à une cuvette d'effondrement entourée par des massifs et occupé par des chotts et sebkhas au centre (un système endoréique).
- La région est caractérisée par la présence des formations lithologique (Sols salés anciens, Sols de sebkha, formations gypsifères...etc.) contribuent largement au phénomène de dégradation des sols.
- L'analyse des principaux facteurs, indices et coefficients climatique montrent que cette zone est caractérisée par un climat semi-aride à faible pluviosité.
- Comme dans toutes les zones arides irriguées du monde, où l'évaporation est très supérieure à la pluviométrie, il y a risque de salinisation des sols (Gonzalez, 2003).
- L'impact de ce climat sur le milieu naturel (la végétation et le sol...Etc.) induit des conséquences plus ou moins considérables. Cette impact se manifeste dans cette région de la manière suivante par :

- + Le processus de la dynamique éolienne par l'action du vent accéléré la dégradation des sols et la régression de la végétation notamment les plantes halophiles (agent morpho dynamique important, en zones arides, conduisant à l'érosion du sol et au transport du sable et des particules des sels.
- + La salinisation des terres agricoles (la couche arable) par la destruction des agrégats constituant le sol.
- + La régression du tapis végétal suite à la diminution et au dessèchement des réserves et la transgression spatiale du phénomène de salinisation de sols.
- + La diminution de la perméabilité du sol suite à la formation au niveau du sol de la pellicule de glaçage (croule salin et gypseux).

CHAPITRE 02 :

APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION DANS LE SUIVI DIACHRONIQUE DE LA DYNAMIQUE DES SEBKHAS ET CHOTTS DANS LA PLAINE DE GADAINÉ ET SES BORDURES

Introduction

La désertification et la dégradation des sols et terres agricoles par le phénomène de salinisation pose un vrai problème pour le développement agricole et pour la protection de l'environnement en Algérie et dans le monde. Il se superpose avec des zones endoréiques des régions arides et semi-arides. Les zones endoréiques de l'Est Algérien sont soumises à des pressions anthropiques importantes dont dépendent fortement les phénomènes, parfois irréversibles, de désertification et de dégradation des terres agricoles et de l'environnement.

Les études spatiales récentes sur les sebkhas et chotts dans zones endoréiques a travers du monde (Douaoui et al, 2007; Hachicha, 2007 ; Benchallal et al, 2009 ; Étienne et al, 2012) montrent une certaine dynamique et extension sous l'effet des causes naturelles (la topographie, le régime climatique, ... etc.) d'une part et sous la pression anthropique d'autre part.

La zone des chotts et sebkhas de la région du Gadaïne fait partie de ces zones, et considérée comme un espace de dégradation des terres (salinisation des sols) en raison de la dynamique des sebkhas et chotts qui s'y localisent et qui s'installent sur des surfaces étendues. Cette dégradation conduit à une nouvelle situation caractérisée par la diminution des terres agricoles d'une manière très rapide où, elle peut atteindre un seuil incontournable et irréversible.

Ces zones vulnérables, nécessitent des études diachroniques de leur occupation des sols qui s'appuient sur l'utilisation des nouvelles techniques d'observation de la terre et sur une bonne connaissance de terrain..

Les techniques de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques ont été utilisées depuis les années « 90 », pour cartographier la dynamique de l'occupation et de l'utilisation du sol et fournir un outil d'aide à la décision surtout en matière d'aménagement du territoire. Dans ce chapitre nous proposons de présenter une approche méthodologique basée sur le traitement des images satellitaires à deux dates différentes, TM (1987-2009) pour la détection de la dynamique et des changements et pour l'établissement des cartes d'occupation-utilisation du sol de ces années.

La télédétection permet l'acquisition à distance de scènes terrestres, à partir desquelles on peut extraire les objets d'intérêt. Ceci exige non seulement la maîtrise du processus de télédétection, mais aussi l'interaction entre le rayonnement électromagnétique incident et les objets. La portion, réfléchi de ce rayonnement et modifiée par l'atmosphère

constitue l'entrée de base des systèmes de télédétection opérant dans les bandes spectrales allant du visible à l'infrarouge (Bensaid, 1997).

La télédétection est un outil puissant pour mettre en place des systèmes d'alerte précoce et la définition par les politiques et décideurs de stratégies adéquates dans le cadre d'un aménagement et un développement durable. En effet, les satellites permettent d'observer la Terre en couvrant à coûts modérés de très grandes surfaces de façon répétitive, homogène et systématique ; ce qui serait impossible à faire sur le terrain. Aujourd'hui, toute une gamme de satellites, permet de surveiller notre environnement, faire des comparaisons dans le temps et dans l'espace et modéliser le fonctionnement des écosystèmes. (Begni, 2007)

L'apport le plus considérable c'est la forme numérique de ces données qui autorise la mise en place d'une banque de données cartographiques susceptibles d'être archivées et gérées par l'utilisateur de manière permanente.

1. La télédétection

Apparu en 1971, le terme « télédétection » provient du grec *tele* qui signifie « loin » et du latin *deteger* qui signifie « découvrir ». La définition élaborée par la Commission Ministérielle de Terminologie de la Télédétection Aérospatiale publiée au Journal Officiel le 11 décembre 1980 est la suivante : « la télédétection regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes (Girard M.C. & Girard C.M. 1999).

Ceci suppose l'acquisition d'informations à distance, sans contact direct avec l'objet détecté ». Les systèmes de télédétection, embarqués à bord des satellites, enregistrent dans des domaines spectraux variés les variations de l'énergie réfléchie ou émise par les objets à la surface de la Terre.

1.1. Le spectre électromagnétique : un bref aperçu

Le spectre électromagnétique est défini par un ensemble de longueur d'onde variant du rayonnement gamma au rayonnement radio (Figure 24). Il inclut les longueurs d'onde du spectre lumineux (Figure 25). Quant à la (Figure 26), elle présente le spectre du visible et le spectre électromagnétique, Plus de 90 % des études en télédétection relatives aux propriétés des sols agricoles ont utilisé principalement les ondes électromagnétiques du VIS et du PIR (Ge et al, 2006).

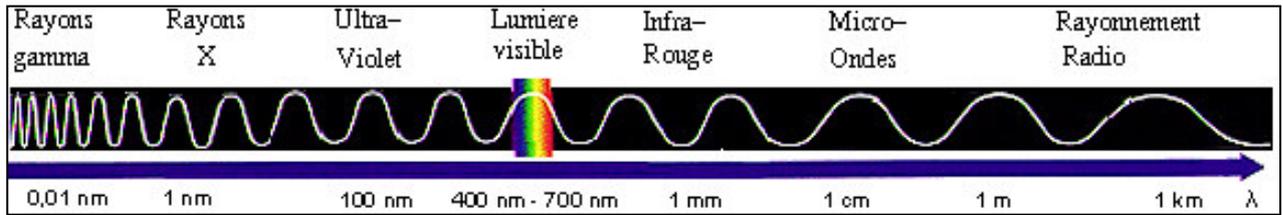


Figure 24 : Le spectre de toutes les ondes électromagnétiques.

Source : <http://www.bioinformatics.org/oeil-couleur/dossier/lumiere.html>.

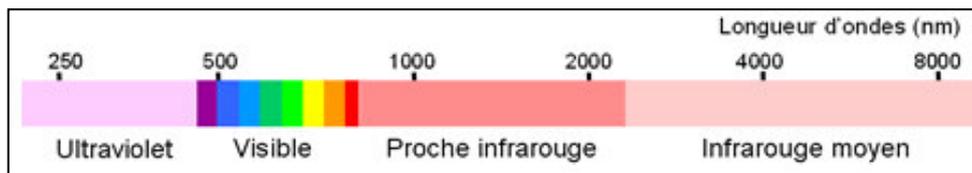


Figure 25 : Les différentes régions du spectre électromagnétique.

Source : <http://www.bioinformatics.org/oeil-couleur/dossier/lumiere.html>.

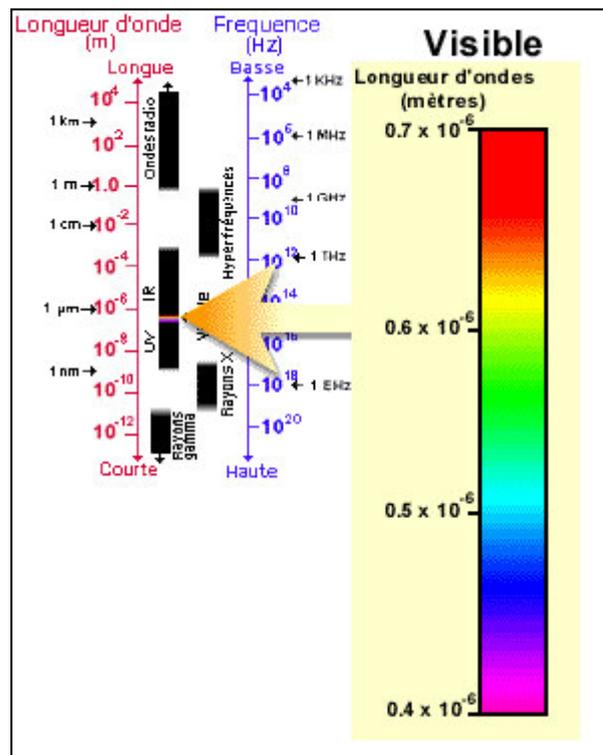


Figure 26 : Représentation détaillée de la région spectrale du visible.

Source : http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/index_f.php.

Le contenu informatif des images de télédétection est conditionné par des variables de types spectral et spatial. D'un point de vue spectral, les variables sont liées à la radiométrie de

l'image et aux longueurs d'onde d'enregistrement. Les variations spectrales enregistrées sont caractérisées par la notion de signature spectrale des objets. Cette signature est définie par la courbe de réflectance d'un objet en fonction de la longueur d'onde. La réflectance est le rapport entre l'énergie réfléchie et l'énergie incidente (Figure 27).

L'aspect spatial indique la localisation des éléments composant l'image. Les variations spatiales induisent les notions de texture, de structure et de résolution. La texture est définie par la distribution spatiale relative des intensités. La structure est caractérisée par la distribution des intensités mettant en évidence les contours des objets au sol. La résolution correspond à la taille du plus petit objet observable.

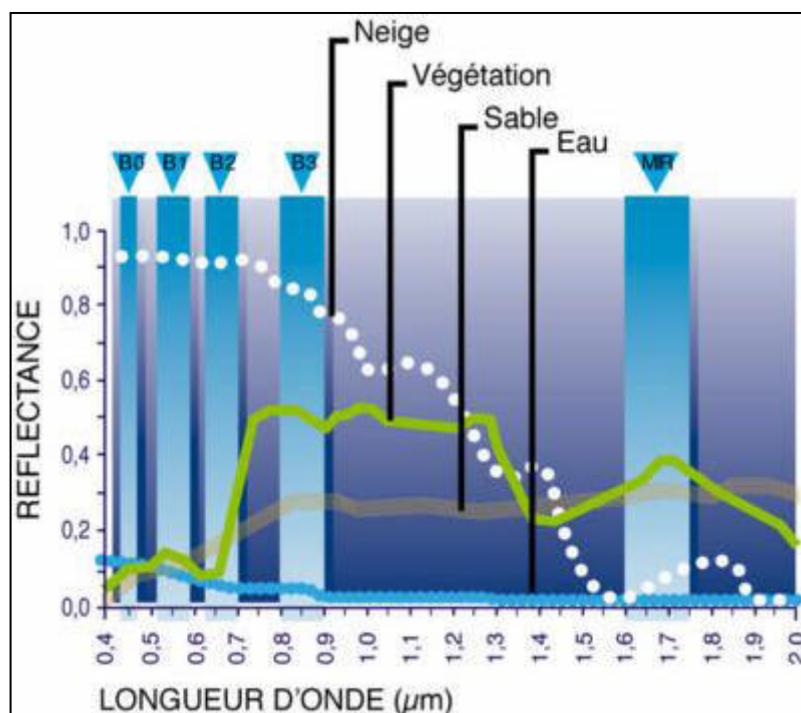


Figure 27: exemples de courbes de réflectances (neige, végétation, sable et eau) en parallèle avec les bandes spectrales du satellite

A l'aide de capteurs embarqués à bord, les satellites enregistrent les propriétés radiométriques des objets observés à la surface de la Terre sous forme d'images numériques. L'angle le plus petit à travers lequel le capteur est sensible au rayonnement s'appelle le champ de visée instantané (Figure 28).

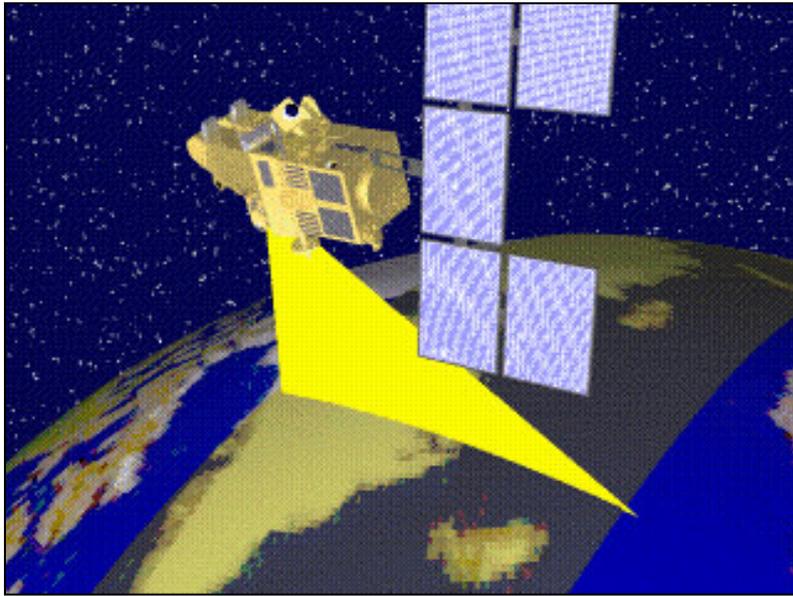


Figure28 : exemple de prise de vue du satellite Spot-4

1.2. Interactions au cours de la traversée des couches atmosphériques

Lors de la traversée de l'atmosphère, le rayonnement électromagnétique subit des interactions avec les différents composés atmosphériques. On distingue deux phénomènes majeurs : la diffusion et l'absorption.

La diffusion correspond à des phénomènes de réflexion multiples entre le rayonnement et les atomes, les molécules et les particules atmosphériques. Selon la longueur d'onde et les dimensions de ces obstacles, on distingue trois types de diffusion : la diffusion de Rayleigh, la diffusion de Mie et une diffusion dite non sélective (Figure 29).

- La diffusion de Rayleigh se produit lorsque les dimensions des composés atmosphériques sont inférieures à la longueur d'onde. Elle concerne principalement les molécules de gaz, se produit particulièrement dans les couches supérieures de l'atmosphère et affecte principalement les courtes longueurs d'ondes particulièrement le visible. Par ciel clair, les longueurs d'ondes situées dans la bande bleue du spectre solaire sont fortement affectées expliquant ainsi la couleur bleue du ciel.

- La diffusion de Mie concerne les composés atmosphériques de tailles presque identiques à la longueur d'onde. Elle est principalement produite par les aérosols et les molécules d'eau, très présents dans les basses couches atmosphériques.

- La diffusion non sélective concerne toutes les longueurs d'onde, courtes et longues, et produite suite aux interactions du rayonnement avec des grosses particules et les gouttelettes d'eau.

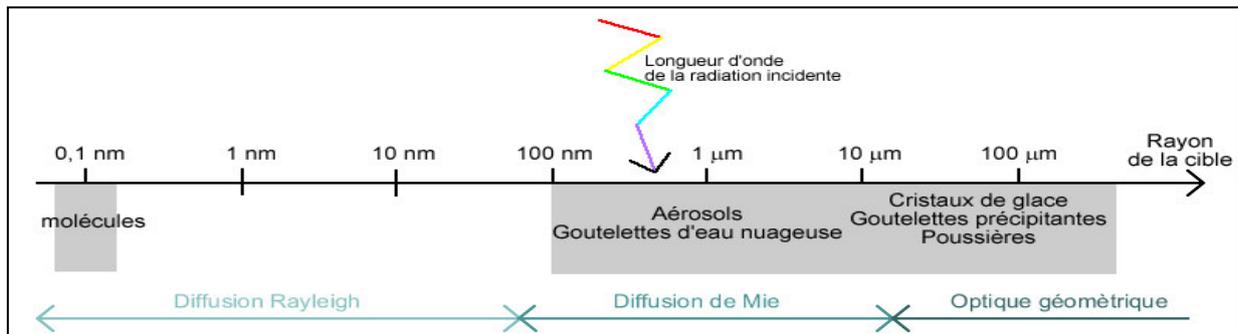
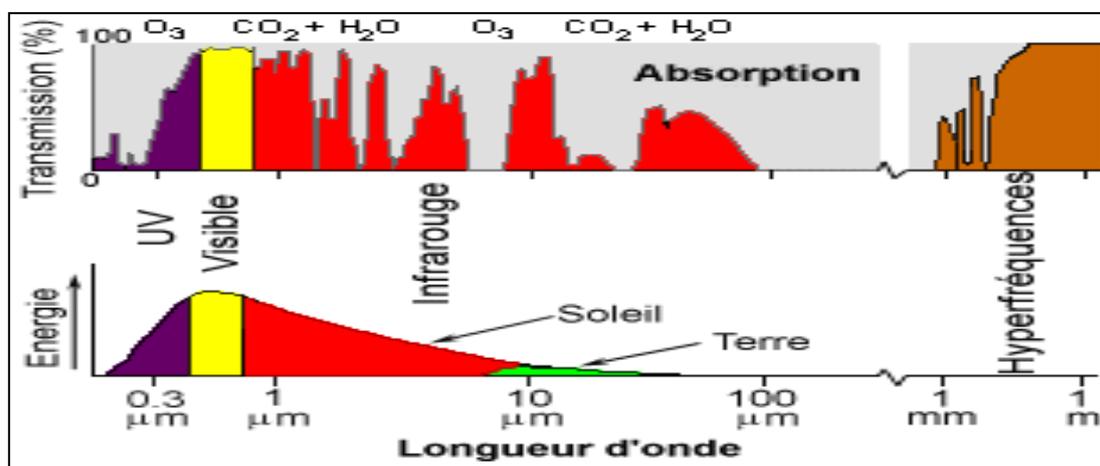


Figure29 : Les trois types de diffusion

Les nuages, chargés de gouttelettes d'eau et d'aérosols, diffusent sans préférences toutes longueurs d'onde du visible et apparaissent dans des teintes blanches.

L'absorption est un phénomène intimement lié aux niveaux énergétiques des composantes de l'objet absorbant. Le rayonnement absorbé modifie l'énergie interne des molécules et se manifeste le plus souvent par une augmentation de leur température. L'absorption atmosphérique est due principalement aux effets de l'ozone, l'oxygène, le gaz carbonique, le méthane et la vapeur d'eau. L'ozone absorbe les longueurs d'ondes inférieures à 290 nm et particulièrement le rayonnement UV, très énergétique et à l'origine des brûlures et cancers cutanés (Figure 30). L'oxygène absorbe principalement dans une bande étroite située autour de 760 nm. La vapeur d'eau, gaz carbonique et méthane, dits gaz à effets de serre absorbent principalement dans l'infrarouge proche, moyen et thermique.



(D'après Lillesand et al, 1994)

Figure 30 : Fenêtres atmosphériques

En effet, les longueurs d'onde employées en télédétection sont essentiellement le visible de 400 à 700 nm, le proche infrarouge de 700 à 1300 nm, l'infrarouge moyen de 1300 à 3000 nm, l'infrarouge thermique de 3000 à 15000 nm et les hyperfréquences ou micro-ondes, passives et actives, de 1 millimètre au mètre:

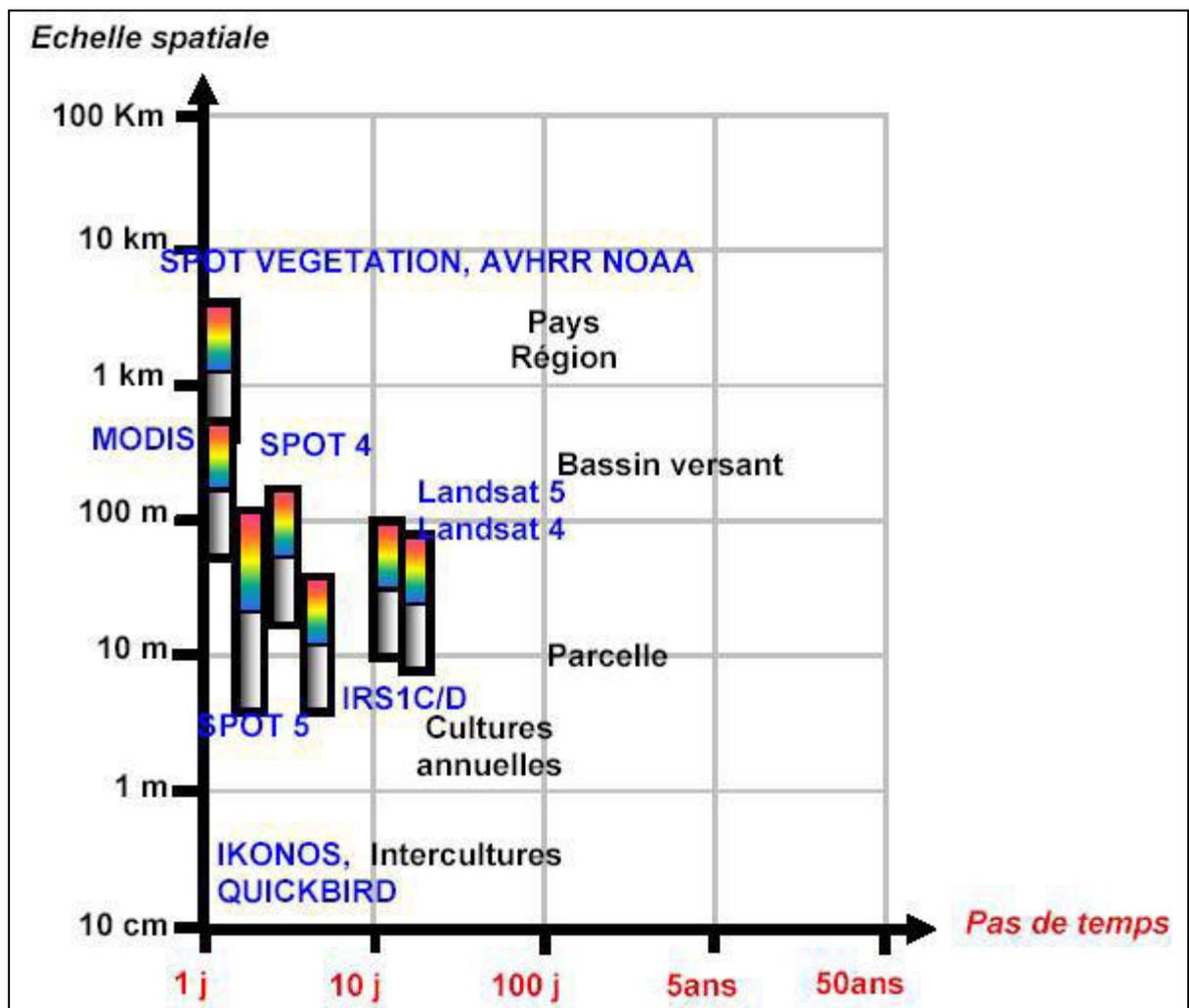
2. Le suivi de l'occupation et l'utilisation du sol par télédétection : La question de la résolution et de l'échelle.

La diversité des échelles d'analyse offertes par les capteurs permet aujourd'hui d'identifier et de suivre plus ou moins finement l'occupation du sol. Le passage d'une échelle à une autre reste cependant très complexe de par la nature même des données. Le suivi du changement de l'occupation des sols est effectué de plus en plus souvent à partir de données de télédétection. Des images de type NOAA-AVHRR ou SPOT, d'une précision kilométrique, et plus récemment des images de moyenne résolution de type MODIS, dont la résolution spatiale peut atteindre 250 mètres, sont utilisées afin de réaliser des cartographies à l'échelle régionale. Elles permettent au mieux de déterminer des îlots parcellaires sans couvert végétal, dont les dynamiques spatio-temporelles doivent être validées par des études effectuées à une échelle plus fine.

Les données à haute résolution de type LANDSAT/TM, SPOT/XS ou RADAR, d'une précision décamétrique, permettent ainsi de réaliser des cartographies de l'occupation des sols à l'échelle de la parcelle, l'analyse des changements étant produite à l'échelle du bassin versant (Hubert-moy, 2001), (Degrandi, 2000).

A cette échelle plus locale, correspondant à des bassins versants dont la superficie varie en général d'une dizaine de km² à plusieurs centaines de km², les images permettent de réaliser, à l'aide de données d'origine diverses (socio-économiques, fonctionnement physique du milieu...), des analyses multi-temporelles des changements observés.

L'illustration suivante (Figure 31), montre les différentes échelles spatio-temporelles d'analyse de l'évolution de l'occupation et de l'utilisation des sols par télédétection.



(D'après Hubert-moy, 2001)

Figure 31 : Représentation schématique des échelles de temps et d'espaces aux quels les modes d'occupation et d'utilisation des sols sont étudiés par la télédétection

Le choix d'un système de télédétection dépend de : (Bardinet ,1994)

- le nombre des bandes spectrales (la richesse spectrale).
- la résolution spatiale au sol du pixel.
- le cycle d'enregistrement de données disponibles diurnes, nocturnes, multi-saisons.
- la superficie couverte par l'image.

3. Les données images et cartes :

3.1. Les images:

Ce n'est qu'à partir du lancement de Landsat-1 en 1972, que les données d'image numérique sont devenues largement disponibles pour l'application de la télédétection à l'étude de la Terre (Lillesand et al. 1979). Le mot "image" acquiert une signification plutôt générale dans ce contexte. Une image n'est plus simplement la reproduction ou la simple photographique, c'est également une rangée bidimensionnelle de nombres, de petits éléments spatialement distincts représentant radiométriquement leur niveau de brillance (Schowengerdt, 1983) (Richards, 1986). Ces petits éléments sont disposés dans une grille rectangulaire et désignés sous le nom de pixel au format de raster.

3.1.1. Critères de choix des images satellitaires

Le choix de type de satellite dépend de plusieurs critères :

- La dimension spatiale de la zone d'étude.
- L'aspect gratuit des images.
- La qualité des images.
- La disponibilité des images (le choix des dates de prises de vue qui devait se faire en fonction les conditions de terrain varient beaucoup au cours d'une année).
- La résolution spatiale et spectrale des images.

Les images satellitaires utilisées ont été téléchargées depuis le site de l'USGS, les bandes TM empilés et ré-projetée automatiquement à la projection WGS 84 Universel Transverse Mercator (UTM) zone 31 Nord.

Le numéro des scènes sont comme suit : Chemin (Path) 194, Ligne (Row) 035.

Les caractéristiques des satellites Landsat sont données dans les (Tableau 20 et Tableau 21).

Deux images satellitaires Landsat Thematic Mapper TM ont été utilisées, dont la période d'acquisition est l'été, l'une prise en été (19 Aout 1987), l'autre en été (06 Aout 2009).

Le choix de cette période coïncide avec une couverture nuageuse minimale, une couverture végétale très faible voire inexistante et une accumulation des sels à la surface du sol après une longue période de sécheresse.

Les images sont de bonne qualité et sont caractérisées par l'absence des nuages et des vents de sable et de tout autre obstacle atmosphérique.

3.2. Les données supports (les cartes topographiques) :

Pour extraire la zone d'étude exacte, nous avons utilisé un ensemble de 04 cartes topographiques nouveau découpage couvrant complètement la zone d'étude.

-Batna Est 1/50000

-Batna Ouest 1/50000

-Souk Naamane Est 1/50000

-Souk Naamane Ouest 1/50000

3.2.1. Scannage des cartes topographiques

Généralement, les logiciels de la cartographie n'acceptent que les fonds vectoriels où une zone est reconnaissable par son contour. Les cartes topographiques précédentes ont été scannées en un format (AO) avec une résolution de 300 DPI (nombre de pixels par inch), le nombre de cellules en lignes et en colonnes est dépendant de la résolution choisie, nous avons choisie une haute résolution, elles deviennent alors de simples images en extension (TIFF ou JPEG), sans attribut géographique, puis elles sont mises dans une projection. L'ensemble de données sont projetées dans la projection UTM WGS 84 zone 31.

Dans un premier lieu, des points remarquables ont été repérés sur chaque carte topographique et les valeurs correspondantes ont été relevées ; ensuite, ces points sont pointés sur ces cartes et leurs valeurs sont introduites manuellement. Nous avons identifié et pointé 04 points, l'erreur enregistrée est acceptable.

Il faut noter que 4 à 5 points d'amers sont suffisants pour rectifier une carte topographique et que l'erreur ne doit pas excéder un pixel. Dans un second lieu, un assemblage des cartes topographiques a été élaboré pour avoir une carte de synthèse (mosaïque) superposables, après calage. La carte mosaïquée a pour but de délimitation de la zone d'étude exacte.

4. Logiciel utilisé (ENVI) :

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

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

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

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

ENVI affiche ces bandes en 8 ou 24 bit. Son groupe de fenêtres d'affichage consiste en 3 niveaux d'agrandissement (Normal image Windows, zoom Windows, et scroll Windows).

Il permet de multiples superpositions facilitant ainsi la composition des images dans les différentes fenêtres d'affichage.

L'extraction et le lien (Link) spatial /spectral des données multi-bandes et hyper Spectrales donnent à l'utilisateur une nouvelle façon de voir les données à haute résolution. ENVI offre aussi des outils interactifs pour visualiser et analyser des données vecteurs et des données attributives des SIG. ENVI inclut toutes les fonctions de base pour le traitement d'image. Comme les outils de l'analyse spectrale, la transformation des données, le filtre, la classification, et la correction géométrique. ENVI ne limite pas le nombre de bandes spectrales à traiter c'est pourquoi ses outils sont utilisés pour les données multi-spectrales et hyper spectrales. Il inclut, également plusieurs fonctions permettant l'analyse des données radar.

En général, le logiciel dispose essentiellement de tous les outils nécessaires au traitement d'images dans différentes disciplines, et permet pour chacun d'implémenter sa propre stratégie d'analyse (Benmessaoud, 2009).

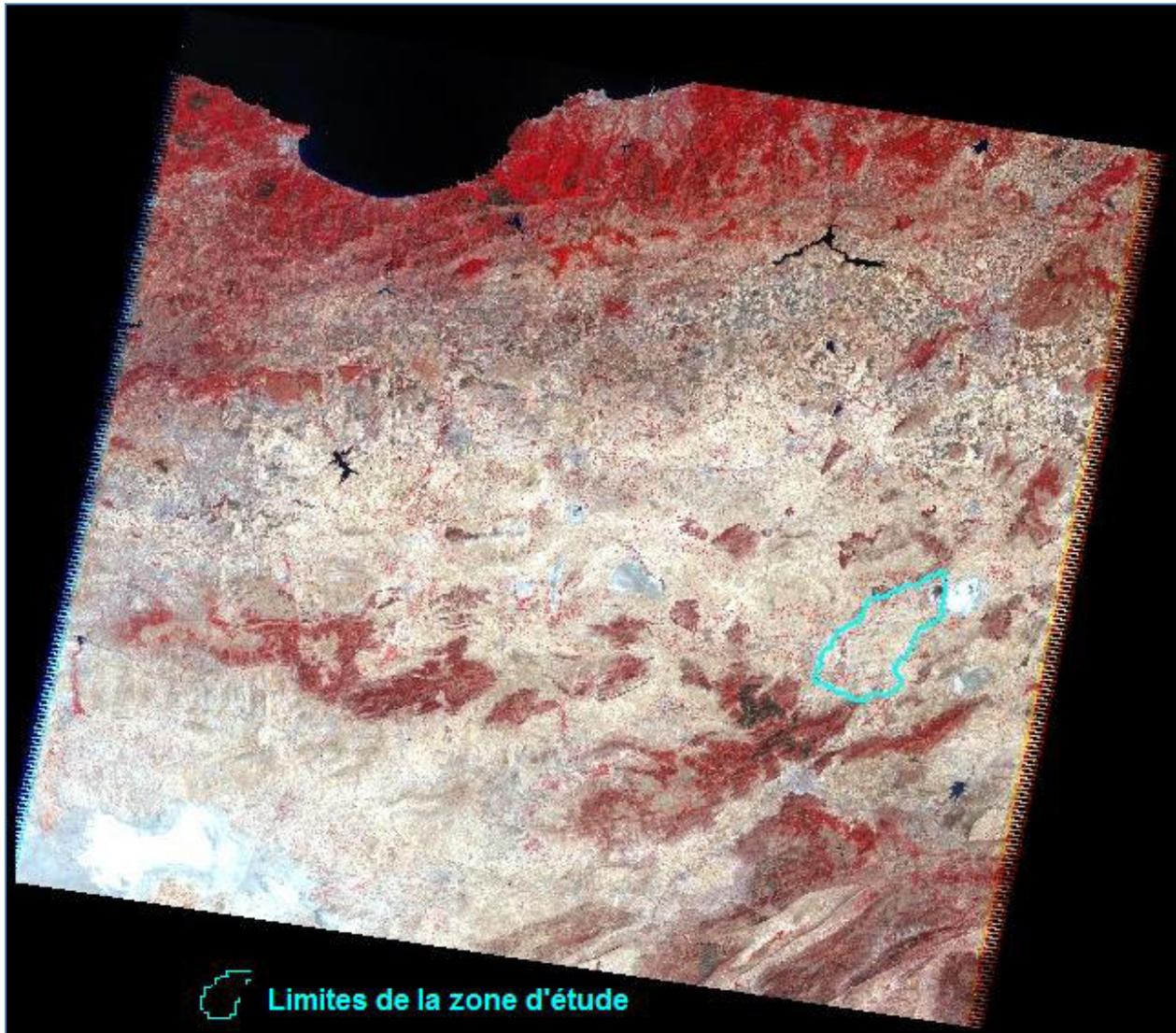


Figure 32 : Localisation de la zone d'étude d'après l'image satellitaire Landsat TM 2009

5. Extraction d'une fenêtre de la zone d'étude

A partir des images prises par le capteur, on extrait une fenêtre d'étude. Cette extraction est spatiale, elle correspond à une fenêtre dont les limites représentent celles de la zone d'étude. Dans une première étape, à découper une portion de la scène multi spectrale couvrant la zone d'étude, sous la projection originale « WGS84 ».

Deux images de dimensions égales (970 x 900 pixels) ont été extraites d'après les images brutes précédentes (Figure 33).

	Landsat (MSS)	Landsat (TM)	Landsat 7 (ETM+)	Landsat 8 (LDCM)
PAYS	USA	USA	USA	USA
DATE DE LANCEMENT	1972	1984	15 Avril 1999	11 février 2013
ALTITUDE		705 km	705 km	705 km
CAPTEURS	MSS	TM	ETM+	LDCM
TYPE	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage
BANDES SPECTRALES	MSS-1 [0.5 – 0.6 µm] MSS-2 [0.6 –0.7 µm] MSS-3 [0.7– 0.8 µm] MSS-4 [0.8–0.11 µm]	1.[0.45-0.52 µm] 2.[0.52-0.60 µm] 3.[0.63-0.69 µm] 4.[0.76-0.90 µm] 5.[1.55-1.75 µm] 6.[10.4-12.5 µm] 7.[2.08-2.35 µm]	1.[0.45-0.52 µm] 2.[0.52-0.60 µm] 3.[0.63-0.69 µm] 4.[0.76-0.90 µm] 5.[1.55-1.75 µm] 6.[10.4-12.5 µm] 7.[2.08-2.35 µm] Pan [0.52-0.90 µm]	1.[0.43- 0.45 µm] 2.[0.45-0.52 µm] 3.[0.52-0.60 µm] 4.[0.63-0.69 µm] 5.[0.84-0.88 µm] 6.[1.56-1.66 µm] 7.[1.36-1.39 µm] 8.[2.1-2.3 µm] 9.[10.3-11.3 µm] 10.[11.5-12.5 µm] Pan [0.5-0.68 µm]
RESOLUTION SPATIALE	80x80 m	30 ×30 m Bande 6 : 120 × 120 m	30 × 30 m Bande 6 : 120 × 120 m Panchro : 15 × 15 m	30 × 30 m Bande 6 : 60 × 60 m Panchro : 15 × 15 m
DIMENSION D'UNE SCENE	185 × 172 km	185 × 172 km	185 × 172 km	185 × 172 km
STEREOSCOPIE	Non	Non	Oui	Oui
FREQUENCE DE PASSAGE	16 jours	16 jours	16 jours	16 jours
VOCATION	Végétation et occupation du sol.	Végétation et occupation du sol.	Végétation, occupation du sol et cartographie.	Végétation, occupation du sol et cartographie.
PARTICULARITE		Grande variété spectrale.	Grande variété spectrale.	Grande variété spectrale.

Tableau 20 : Les caractéristiques des satellites Landsat

Capteur	Application principale
MSS	Cartographie des eaux territoriales, suivi de la pollution et évaluation de la vigueur de la végétation
	Distinction de la transparence et turbidité de l'eau, étude de l'absorption végétale
	Distinction des terres humides et de la végétation
	Différenciation des types de végétation et limites entre terre et eau
TM & ETM+	Pénétration des plans d'eau, cartographie des eaux territoriales
	Distinction de la végétation, évaluation de la vigueur et identification des différents types de cultures
	Absorption de la chlorophylle, et différenciation des espèces végétales
	Détermination des types de végétation et surveillance de la vigueur et de la biomasse, définition des limites de plans d'eau
	Indicateurs de végétation et d'humidité du sol utilisés pour la différenciation de la neige et des nuages
	Analyse des contraintes de végétation, distinction de l'humidité du sol et cartographie thermique
	Identification des types de roches et de minéraux, cartographie hydrothermale et mesure de l'humidité du sol et de la végétation
	Images à la résolution plus élevée

Tableau 21 : Caractéristiques spectrales de Landsat et leurs Application principale

6. La composition colorée :

Nous avons opté pour une composition colorée des canaux 4, 3, 2, qui nous permet d'identifier les différentes unités d'affectation du sol de façon nette par rapport aux autres compositions colorée.

Dans cette composition colorée, les surfaces des sebkhas et les chotts apparaît en bleu plus ou moins sombre, les sols nus en blanc, les surfaces des céréalicultures en vert (gris et cyan), la végétation en rouge et marron foncé, plus ou moins intense, les différents types des routes et les agglomérations en bleu claire et en bleu foncé.

A près avoir superposé et délimité les contours de la zone d'étude sur la composition colorée, nous avons procédé à la création d'un masque afin d'éliminer les zones se trouvant en dehors de ces limites, la zone d'étude exacte est enlevée par l'option "masking" sous ENVI 4.5 (Figure 34, Figure 35).



Figure 33 :L'image de la zone d'étude extraite d'après l'image satellitaire TM 1987.

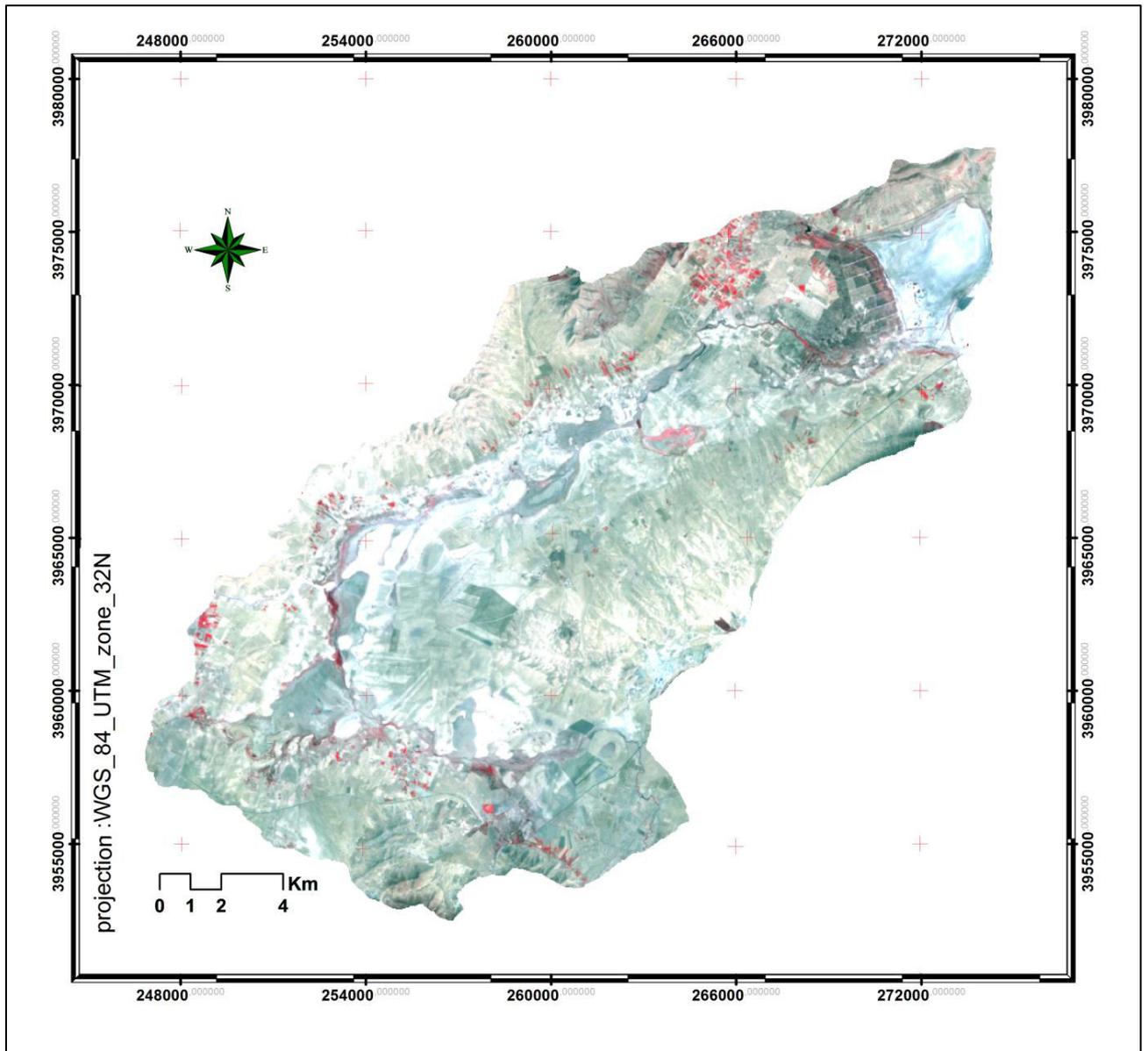


Figure 34 : La zone d'étude extraite après le masque - l'image satellitaire TM 1987-

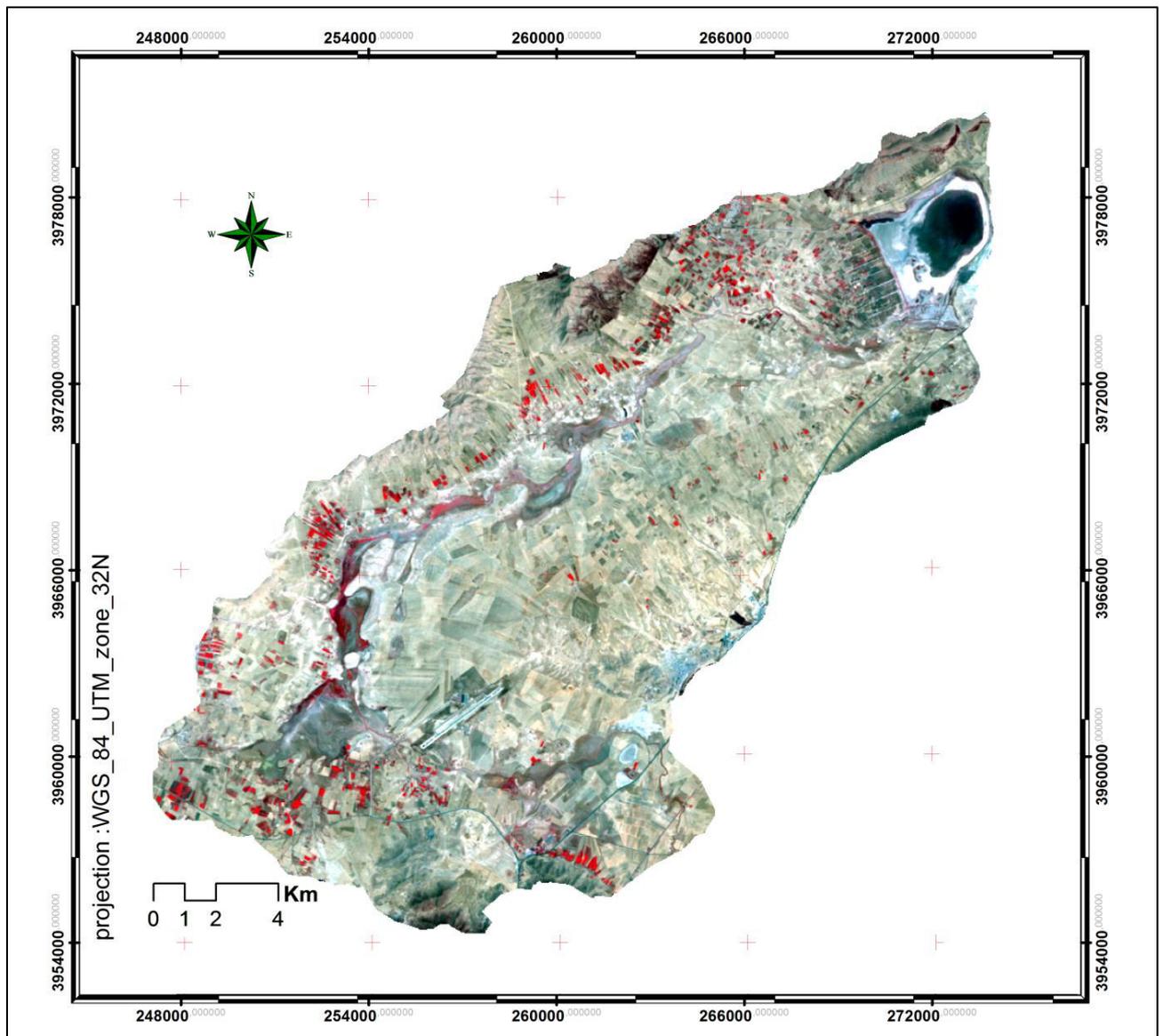


Figure 35 : La zone d'étude extraite après le masque - l'image satellitaire TM 2009-

7. Missions de reconnaissance et d'échantillonnages sur terrain:

Plusieurs missions de reconnaissance et d'échantillonnages ont été effectuées sur le terrain pour le repérage et la connaissance d'un certain nombre de parcelles représentatives des différents types d'occupation du sol à l'aide d'un GPS (Global Positionnement System) de type Garmin (OREGON 550) qui a facilité la collecte des coordonnées des parcelles (Figure 36).

Deux objectifs étaient poursuivis :

- Détermination des zones d'apprentissage ou zones tests.

- Une prise de contact avec le terrain : connaissance des modes d'occupation des sols.

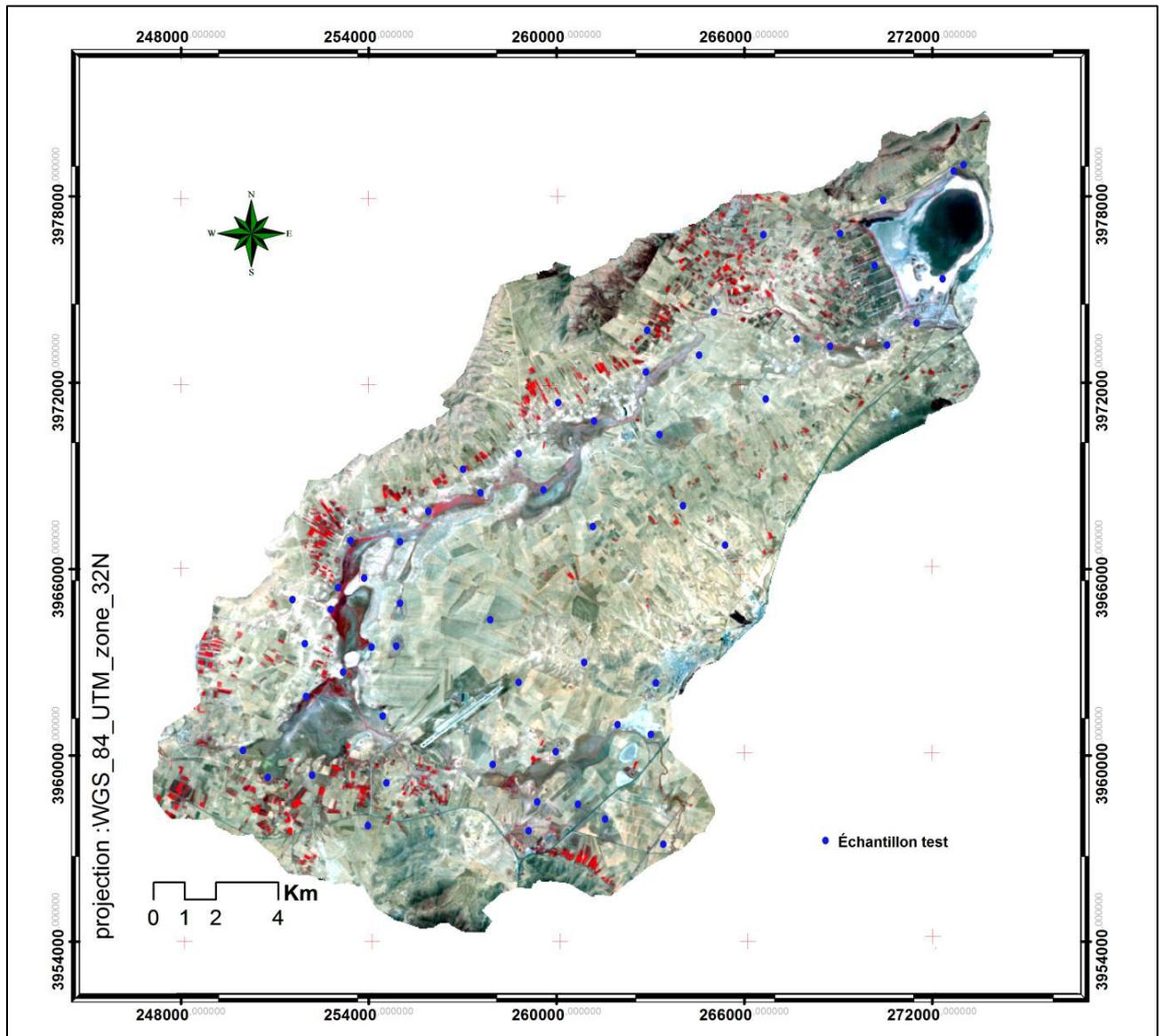


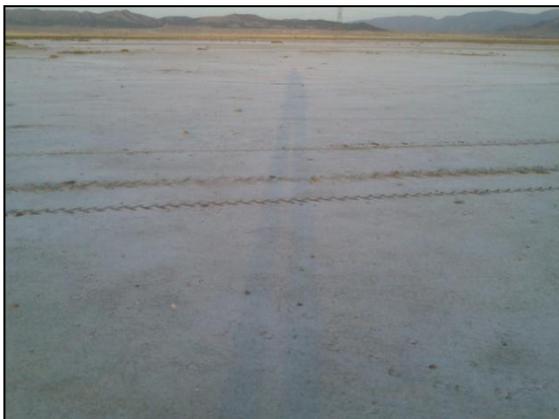
Figure 36 : Carte des relevés GPS et échantillonnage sur image.

D'après les interprétations visuelles et surtout aussi d'une bonne connaissance de la réalité du terrain, l'aspect visuel rend instantanément compte du type d'occupation de sol (végétation, sol nu, agriculture, chott, sebkha, etc.). En effet, sur ces images, plusieurs zones ont été définies à l'intérieur desquelles seront pris les différents échantillons.

Le choix de ces différentes régions est établi selon plusieurs critères tels que la teinte de couleur de la strate, la situation spatiale, la texture et la forme géométrique.

D'après les interprétations visuelles et surtout aussi d'une bonne connaissance de la réalité du terrain et à partir des missions effectuées sur terrain nous avons défini six (06) classes d'occupation du sol :

- sebkha.
- chotts.
- sol nus.
- foret.
- agriculture.
- céréaliculture.



Photos present par :Bouhata Rabah en juillet 2013

Figure 37 : La dégradation des sols et le couvert végétal par l'avancement des sebkhas

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

8. Classification des images

La classification est définie comme « l'opération qui regroupe, au mieux de leur ressemblances spectrales, les divers objet du sol. (Caloz, 1996).

Classifier une image consiste à rassembler l'ensemble des pixels de l'image en un nombre limité de classe correspondant aux grands éléments structuraux de l'image, c'est établir une cartographie de l'image en s'appuyons sur les valeurs radio métriques des pixels.

La classification est l'attribution d'un pixel de l'image à une classe homogène. Le but est de traduire les informations spectrales en classes thématiques, autrement dit, partitionner l'image en classes.

Les méthodes de classification d'image se divisent en deux grands groupes : les méthodes de classification automatique et les méthodes de classification dirigée (Caloz et Collet, 2001), (Mather, 2004).

Dans les méthodes de classification automatique (ou non supervisée), les données sont classées en fonction de leurs caractéristiques spectrales, sans aucune information à priori sur la nature des objets à classer. L'opérateur humain intervient seulement pour fixer le nombre de groupes, ainsi que les valeurs seuils. La méthode la plus courante est la méthode ascendante hiérarchique ou la méthode des centres mobiles (Mather, 2004).

Les méthodes de classification supervisée (ou dirigée) dépendent fortement des connaissances à priori de l'opérateur sur la zone d'étude pour définir des classes. L'opérateur identifie et sélectionne des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types d'occupation de sol (classes thématiques). Ces échantillons forment un ensemble de données ou parcelles d'apprentissage. On demande ensuite à l'algorithme d'extraire la distribution des luminances dans chaque bande à étudier. Et ensuite, l'ordinateur regroupe en classes spectrales tous les pixels ou objet présentant des propriétés spectrales similaires à celle des échantillons (Ximenes , 2005).

Dans le cas de la classification supervisée (Figure 38). La méthode repose alors sur l'hypothèse suivante : la distribution statistique des réponses radiométriques de chaque classe caractérise l'objet physique correspondant. Celle-ci sert donc à établir les plages radiométriques pour lesquelles un pixel donné correspond à une classe donnée. La réalité de terrain est ainsi garante de la relation existante entre le terrain et la classification finale effectuée.

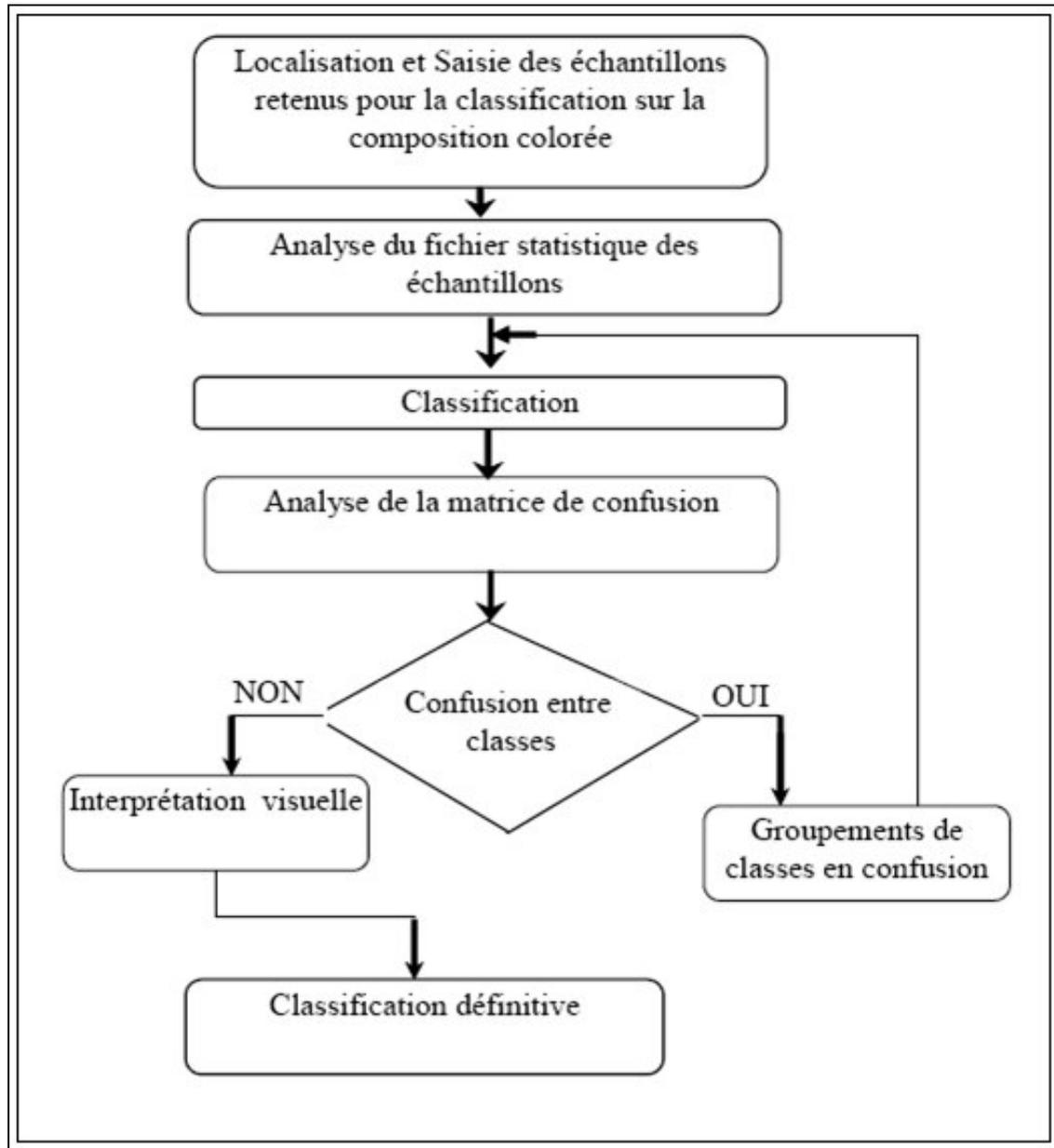


Figure 38 : Les différentes étapes de la classification supervisée (Bensaid ,2006).

Une classification dirigée et basée sur la méthode du maximum de vraisemblance, a été utilisée sur cette image de composition colorée précédente à l'aide du logiciel de traitement d'images (ENVI 4.5). Cette méthode est considérée comme une technique puissante de classification. La règle de la décision de cette méthode est basée sur la probabilité d'un pixel appartenant à une catégorie donnée (Fojstng, 1999). (Khalid Omar ,2014).

Cette approche dirigée et paramétrique pose comme hypothèse une distribution gaussienne des classes constituant les zones d'entraînement. Les paramètres statistiques

nécessaires à la classification sont calculés sur les bases des échantillons des classes contenues dans les zones d'apprentissage. La méthode utilise le principe de Bayes qui consiste à calculer la probabilité à posteriori de chaque pixel puis d'affecter à ce dernier la classe pour laquelle cette probabilité est la plus élevée (Richards, 1999), (Caloz et Collet, 2001).

8.1. Choix des parcelles d'entraînement et de validation

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

Chaque réalité de terrain décrit une occupation du sol précise où sont associés un nom de classe et une couleur qui la différencie des autres thèmes. Les valeurs radiométriques caractérisant cette réalité terrain résulteront de la moyenne des valeurs radiométriques prises par la totalité des pixels contenus dans l'ensemble des parcelles décrivant cette réalité de terrain. Un écart type moyen autour de cette valeur radiométrique est aussi calculé décrivant la variabilité de réponse radiométrique de la réalité considérée (Bensaid 2006).

D'après (Conglaton, 1988 et 1991) et (Caloz, 2001 et 2003), la qualité du résultat de classification dépend du choix de ces parcelles. De plus, ils ont remarqué que la taille et la façon de procéder à la sélection de ces parcelles influent lourdement sur les résultats de la classification.

Des nombreux auteurs suggèrent de choisir un nombre de pixels par classe 30 fois supérieur au nombre de bandes utilisées (Mather, 2004), (Richards et Jia, 1999).

La méthodologie générale du travail est exprimée par l'organigramme ci-dessous (Figure 39) dont découle différentes phases d'analyse.

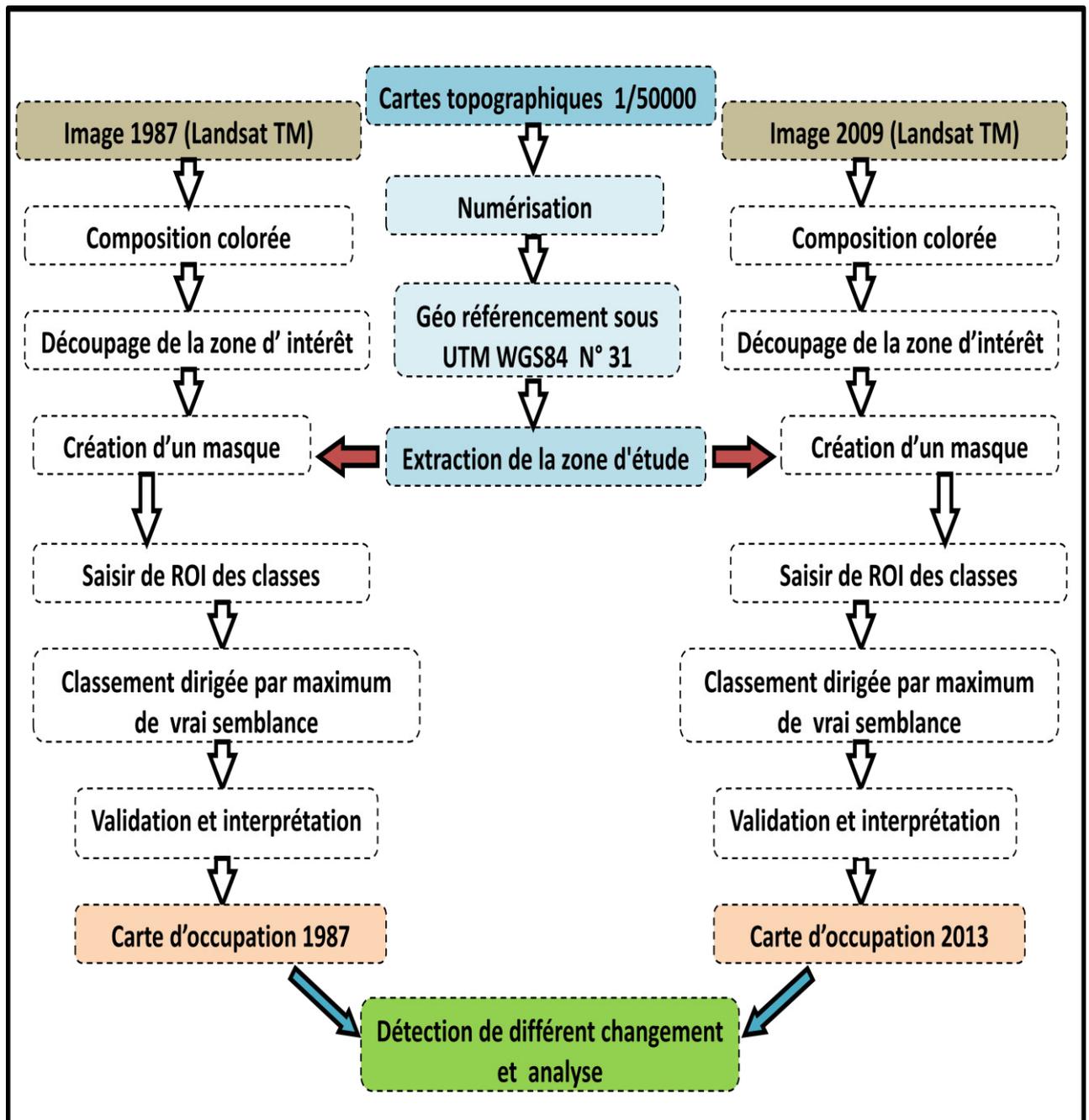


Figure 39 : Schéma méthodologique pour la détection des changements.

8.2. Performance et validation de la classification

Pour évaluer la fiabilité de notre classification, nous avons choisi la méthode basée sur les résultats statistiques de la classification, cette dernière est effectuée sous le logiciel ENVI, le

principe de cette méthode consiste à prélever aléatoirement des points puis les comparer avec des points de référence.

Le résultat est donné sous forme d'une matrice dite matrice de confusion qui contient deux indices qui seront utilisés pour la validation finale :

- La précision globale : Elle est égale au nombre total de pixels correctement classifiés (diagonale de la matrice de confusion) divisé par le nombre total de pixels de vérification.
- L'indice de Kappa : Il indique comment les données à classer s'accordent aux données de référence, il constitue une mesure fiable dans l'évaluation des classifications thématiques car il examine tous les éléments dans la matrice de confusion et prend en compte à la fois des erreurs d'omissions et de commissions. Il permet d'évaluer la grandeur résiduelle de l'erreur obtenue par une classification. La valeur du kappa est comprise entre 0 et 1. Un kappa de 0.75 signifie que 75 % de la classification ne sont pas dus au hasard (Cohen, 1960).

Les matrices de confusion pour valider la pertinence et la qualité de nos classifications illustrent cette performance (Tableau 22 et Tableau 23), la performance moyenne des classifications est de 80.3% pour la classification du TM 1987 et de 85.2% pour la classification du TM 2009.

Nomenclature	sebkha	chotts	sol nus	foret	agriculture	céréaliculture	Total en pixels
sebkha	6378	151	81	0	0	743	7353
chotts	328	2323	2	52	1	463	3169
sol nus	585	1	1044	0	0	202	1832
foret	6	154	4	617	106	14	901
agriculture	0	77	0	22	487	5	591
céréaliculture	5	725	19	70	0	4707	5526
Total en pixels	7302	3431	1150	761	594	6134	19372
Coefficient de précision = 80.3014%							
Coefficient de Kappa = 0.6995							

Tableau 22 : Matrice de confusion de la classification de l'image TM 1987

Nomenclature	sebkha	chotts	sol nus	foret	agriculture	céréaliculture	Total en pixels
sebkha	7085	219	19	11	0	0	7334
chotts	228	2059	145	64	1	179	2676
sol nus	896	49	913	0	0	113	1971
foret	81	67	0	796	3	0	947
agriculture	0	7	0	0	341	0	348
céréaliculture	0	159	62	2	0	2118	2341
Total en pixels	8290	2560	1139	873	345	2410	15617
Coefficient de précision = 85.2404%							
Coefficient de Kappa = 0.7633							

Tableau 23 : Matrice de confusion de la classification de l'image TM 2009

9. Résultats et discussions

Les résultats d'analyse pour déterminer les pourcentages d'occupation pour chaque classe présente sur le tableau (Tableau 24) et la figure (Figure 40) montre la comparaison les pourcentages de chaque unité d'occupation des sols entre les deux dates.

Superficies Types D'occupation des sols	19-8-1987		06-08-2009	
	En %	En km ²	En %	En km ²
Sebkha	37,95	132,06	46,96	163,42
Chotts	16,36	56,93	17,14	59,64
Sol nus	9,45	33,06	14,99	52,16
Foret	4,65	16,18	6,06	21,08
Agriculture	3,07	10,68	2,23	7,76
Céréaliculture	28,52	99,24	12,62	43,91
Total	100,00	348	100,00	348

Tableau 24 : Pourcentage et les surfaces des unités d'occupation des sols

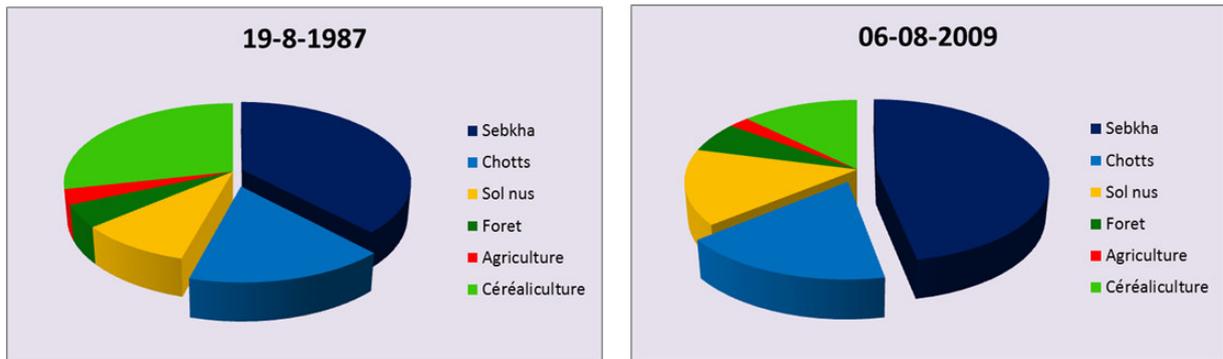


Figure 40 : Comparaison entre les surfaces des unités d'occupation du sol

L'observation et l'analyse des résultats précédents montre une extension des surfaces des sebkhas 9 %, chotts 0,8 % et sols nus 5,5 % et la régression des surfaces d'agricultures et céréalicultures 16,5 % ce qui nous indique le phénomène de la dégradation des terres et la décroissance des activités agricoles dans cette région.

L'analyse des cartes thématiques d'occupation du sol résultantes des deux classifications précédentes (Figure 41 et Figure 42) nous a permis de comparer l'état d'occupations spatiale des surfaces d'une part et d'analyser et spatialiser de la dynamique des sebkhas et chotts d'autre part. On remarque qu'un grand changement visible concerne les surfaces des classes (Sebkhas, sol nus et céréalicultures) qui représentaient la surface la plus importante dans la zone d'étude entre 1987 et 2009. Ces changements résultent de l'interaction entre la péjoration climatique, le caractère endoréique et l'impact de la socialisation rapide de ces zones vénérable.

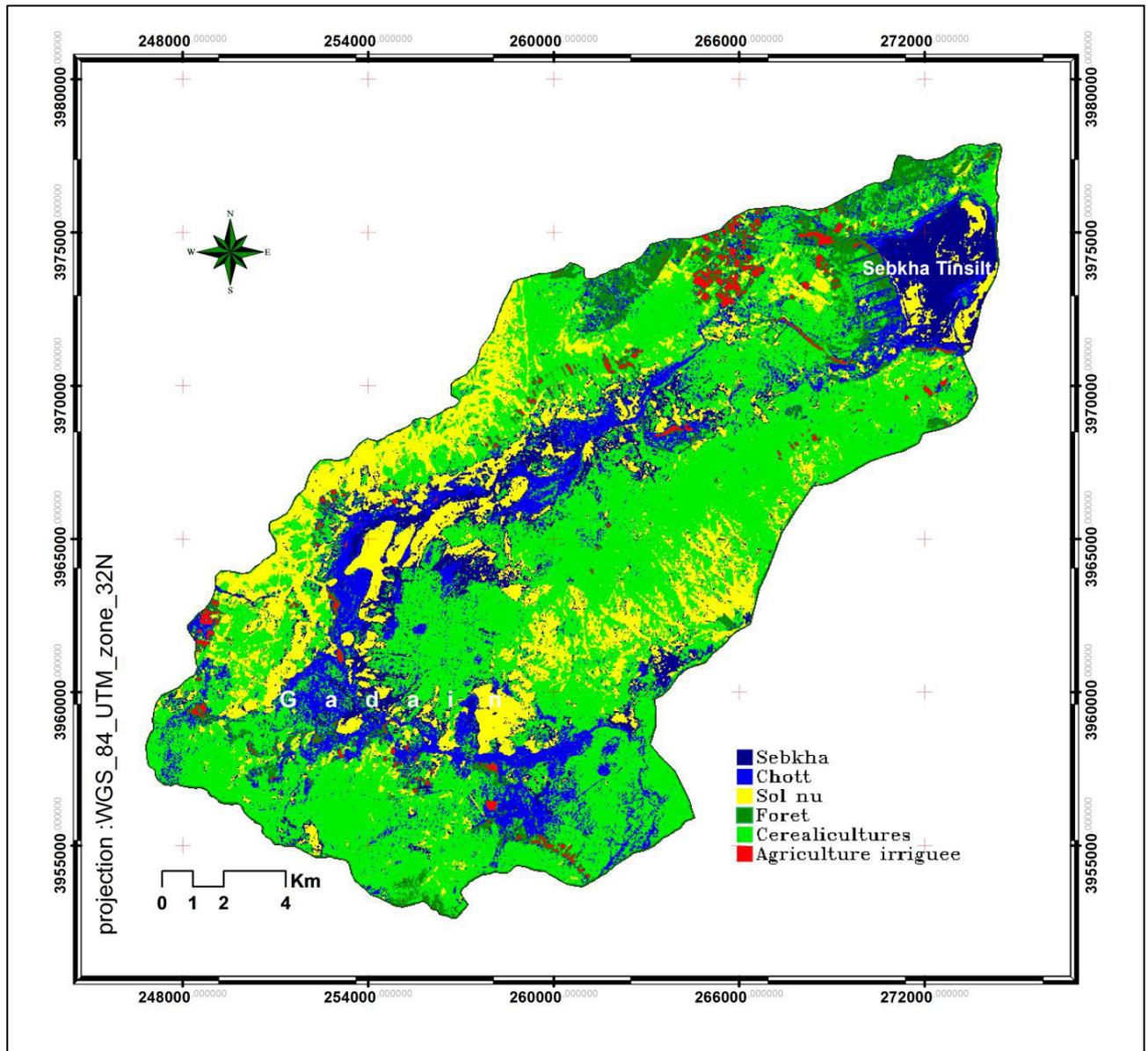


Figure 41 : Carte thématique d'occupation du sol en 1987.

La très forte croissance des surfaces de sebkhas (plus de 30 km² durant 22 ans) s'explique par l'influence de l'anthropisation. Au Nord-est de la zone d'étude, la dégradation de la forêt artificielle à cause des maladies qui attaquent le Pin d'Alep et l'absence d'aménagement indique l'apparition des affleurements rocheux et les formations du trait au niveau de la sebkha Tinsilt ; la dégradation des travaux d'aménagement soit qui sont réalisés durant la période coloniale ou les travaux de la conservation des forêts de la commune de Souk Naamane en 1982 accélèrent l'avancement de cette sebkha et chotts vers les terres agricoles limitrophes. Ce qui change le type d'activité agricole des céréales vers les cultures commerciales résistantes à la salinité des sols telles que le Tabac. Ce changement se traduit par la

réduire des superficies occupée par des céréalicultures (plus de 15 % ou 55 km²), même la politique d'agriculture actuel orienté vers les cultures maraîchères irriguées ou le rendement et les bénéfices sont contribuer largement à la déduction des surfaces de céréalicultures et à l'élévation du pourcentage des sols nus (plus de 5,5% ou 19 km²).

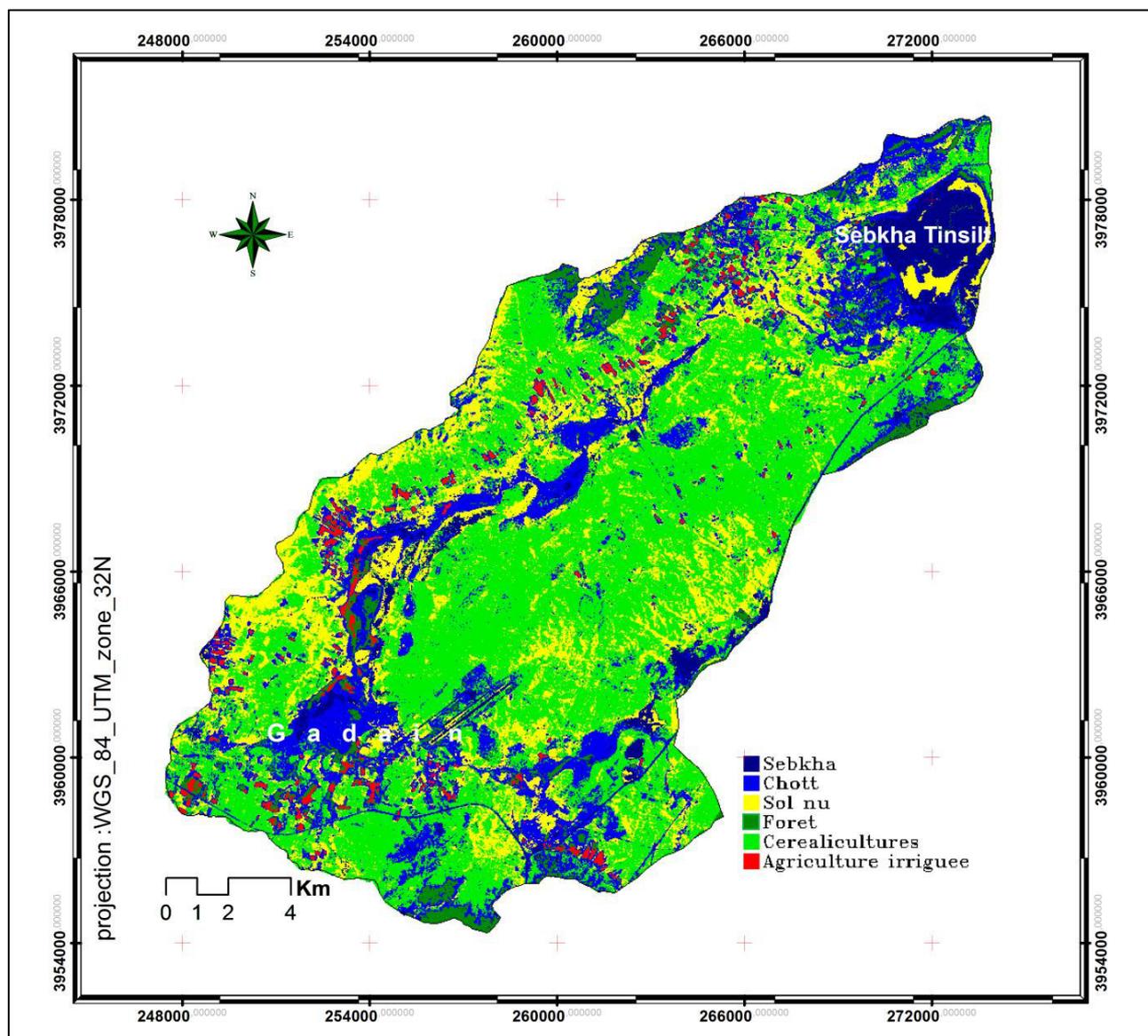


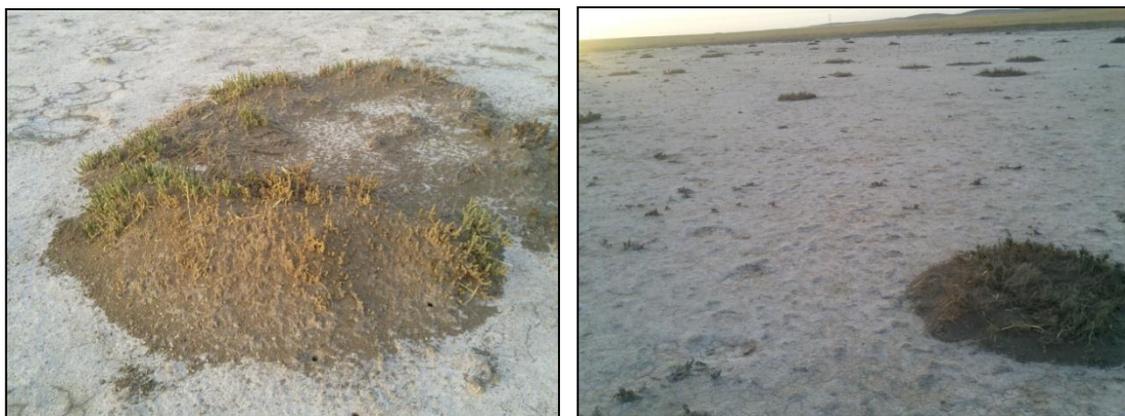
Figure 42 : Carte thématique d'occupation du sol en 2009

Par ailleurs, l'installation de l'aéroport de Batna dans le centre de cette zone et de développer toutes sortes des réseaux routiers, d'autant qu'ils ont mal construite (Figure 43) contribuent à la croissance et à la création des néo-sebkhas tell que sebkha Felenta au Sud – Est de la zone d'étude. L'étalement et la dynamique des surfaces sebkhas et chotts correspond donc à une perte de terres agricoles et a dégradation de la couvertures végétales ; la végétation naturelle de la région laisse place à une végétation halophile qui disparaît elle-même lorsque la proportion de sels augmente trop, augmentant la vulnérabilité de ces zones aux problèmes de désertification d'une manière générale. Les indices sur le terrain (Figure 44, Figure 45) ainsi que les résultats obtenus par le traitement des images satellitaires montrent l'aspect rapide du processus de la dégradation d'écosystème.



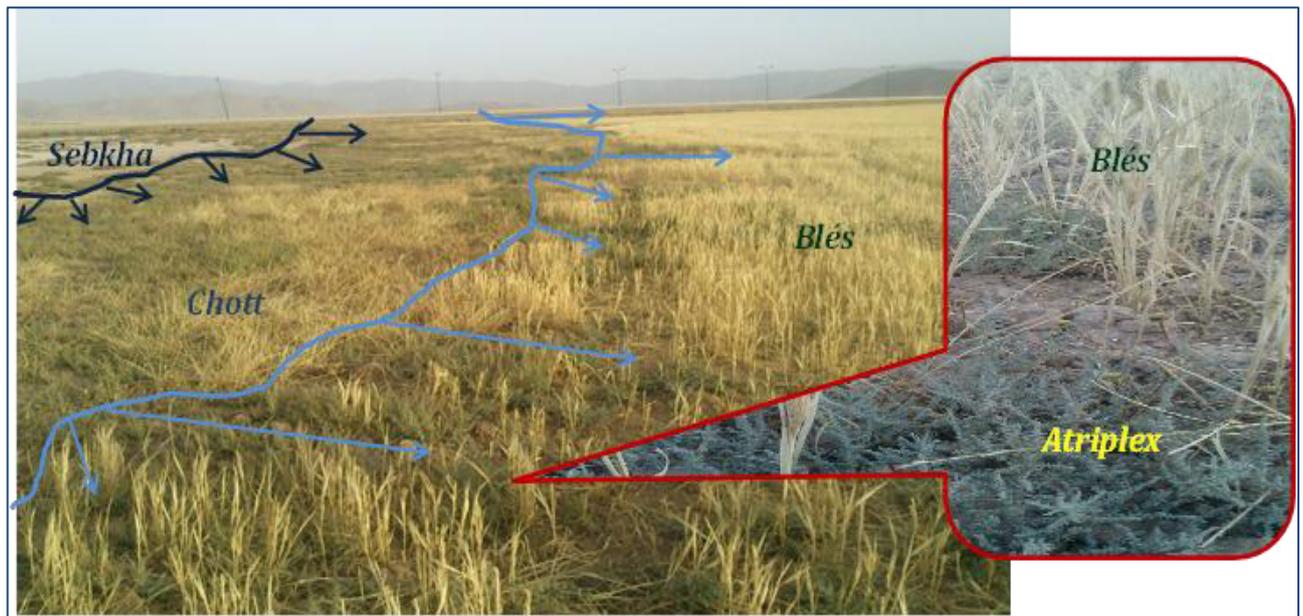
Photo prise par :Bouhata Rabah en mai 2013

Figure 43 : La stagnation des eaux de surface sur les bordures d'une route mal construite



Photos présent par :Bouhata Rabah en juillet 2013

Figure 44 : La disparation des plantes halophytes sous la proportion de sels très élevé



Photos présent par :Bouhata Rabah en juin 2013

Figure 45 : La dynamique latérale des sebkhas et chotts

Conclusion

La dégradation des terres agricoles due a la dynamiques des sebkhas et chotts posé un grand problème au niveau de toute les zones endoréiques des hauts plateaux de l'est algérien, Le suivi de cette dynamique et leur évaluation par des moyennes cartographiques classiques dont la mise à jour peut durer plusieurs mois reste difficile, pour cette raison les capacités cartographiques des systèmes d'observation de la terre par satellites (Landsat) qui fournissent des informations synchroniques et actualisables régulièrement sont devenues indispensables .

L'étude montre que les surfaces des sebkhas et chotts ont augmenté d'une manière catastrophique entre l'été 1987 et l'été 2009 dans la plaine de Gadaine et ces bordures , cette transgression est un indicateur de la dégradation rapide d'écosystème, où il conduire à une situation irréversible, très difficile à la corriger soit sur l'échelle d'aménagement locale ou régionale, s'ils ne prennent pas les dispositions nécessaires et immédiates basées sur la compréhension et l'analyse des déférents facteurs d'écosystème à l'aide des nouvelles techniques de Géomatique.

CHAPITRE 03 :

LES MILIEU SOCIO-ÉCONOMIQUES ET

LEUR IMPACT SUR LE SOL ET

L'ENVIRONNEMENT

1. INTRODUCTION

L'homme est une partie de l'écosystème de la terre. Il influence son environnement et réciproquement il l'utilise et le transforme à travers l'économie, la technique... etc. ainsi il crée son espace vital et assure ses besoins. Entre-temps, l'homme est devenu le facteur déterminant dans l'écosystème. Il a surtout beaucoup intervenu dans l'aménagement de la nature par l'industrialisation et a fortement transformé son environnement (Bliefert et al, 2008).

L'anthropisation de la nature est un mode de la socialisation de l'espace, elle s'inscrit à la fois dans le temps et dans l'espace. Nombreuses études ont fait l'objet sur les zones arides et semi arides en Algérie, de tant sur le plan socioéconomique d'autre sur le plan écologique parmi lesquels on peut citer : (Djebaili, 1978), (Djellouli, 1981, 1990 et 1995), (Boukhobza ,1982), (Aidoud, 1989), (Khaldoun ,1995), (Nedjraoui ,2002 et 2008),(Bédrani, 1994, 1995, 1997, et 2001), (Bensaid, 2006), (Douaoui ,2008), (Hirche et al, 2007 et 2011), (Bencherif , 2011).

Dans ce chapitre, nous avons essayé d'analyser les différents rapports entre l'anthropisation (la croissance de la population, l'utilisation des ressources naturelles ...etc) et la dégradation de l'environnement (sols).

1. Situation démographique

1.1. L'évolution de la population:

A cause de leur caractère endoréique et d'autres contraintes environnementales, la zone d'étude ne présente pas une agglomération dense. Elle est entourée par des agglomérations de moyenne taille appartenant aux communes : d'Aine Yagout, Seriana, Lazrou et Djarma (Wilaya de Batna) et Souk Naamane ,Ouled Zouai et Bir Chouhada (la wilaya de Oum El Bouaghi) (Figure 46).

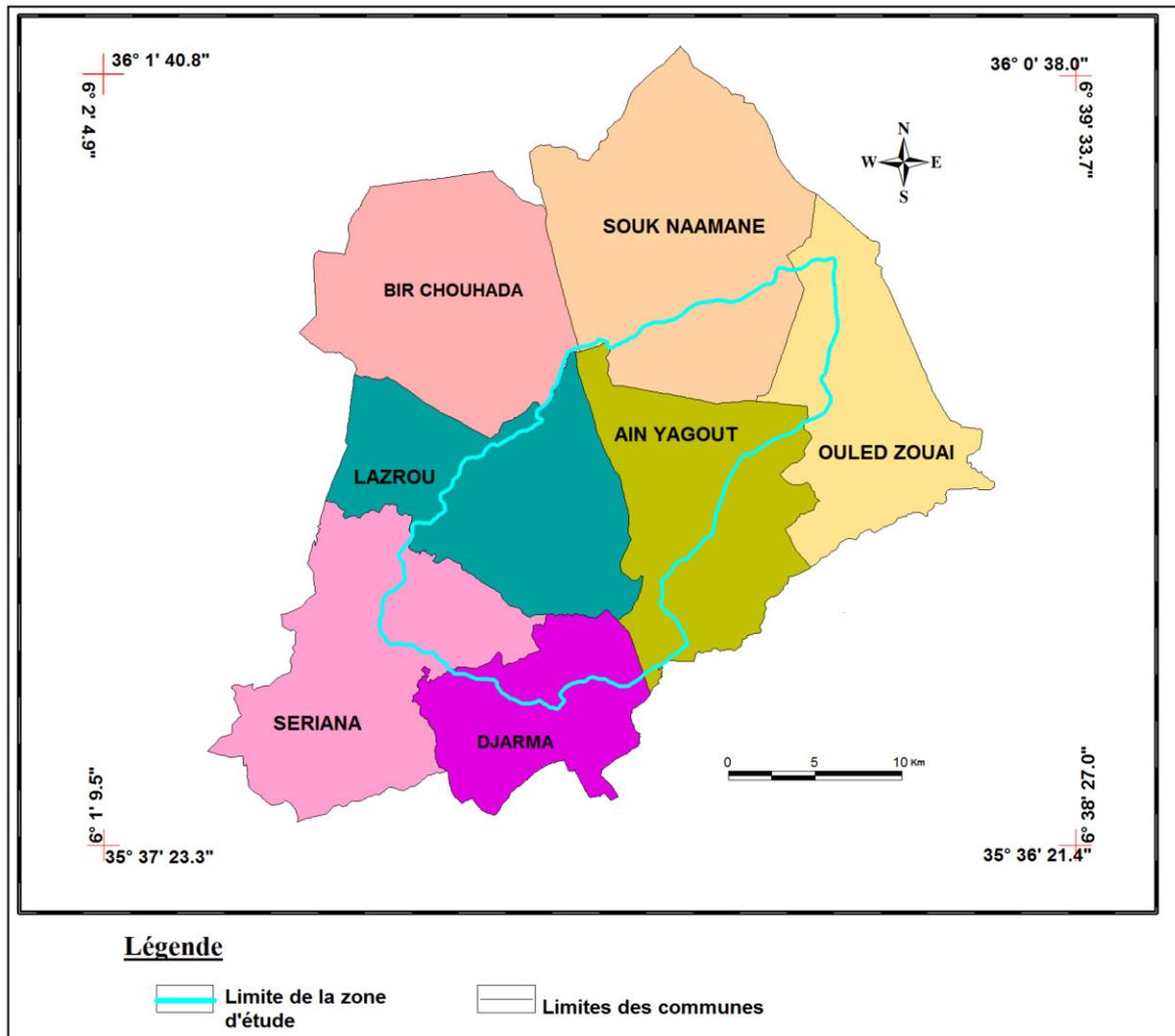


Figure 46 : Les communes appartenant à la zone d'étude.

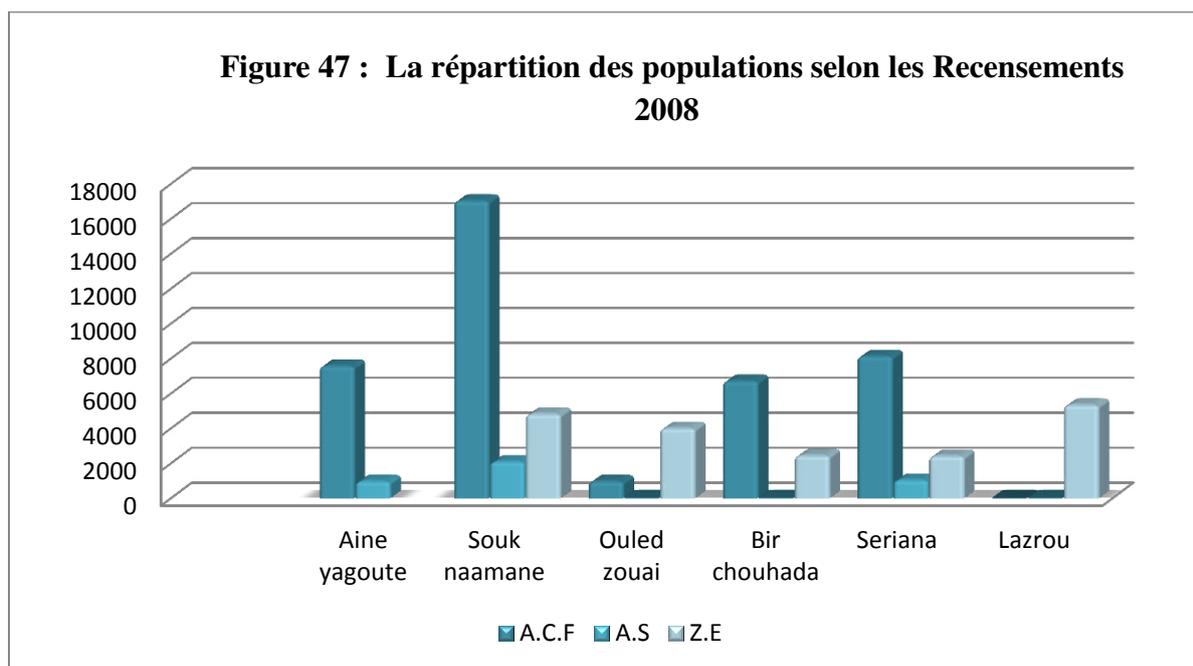
Le tableau ci-dessous (Tableau 25) montre l'évolution de la population entre les recensements 2008 et les estimations de 2011.

Recensements 2008				
Commune	Agglo chef lieu	Agglo secondaires	Zone éparse	Total
Ain Yagout	7588	981	2264	10833
Souk naamane	17046	2106	4836	23988
Ouled zouai	977	00	4020	4998
Bir chouhada	6724	00	2458	9182
Seriana	8144	1056	2430	11630
Lazrou	00	00	5 353	5 353

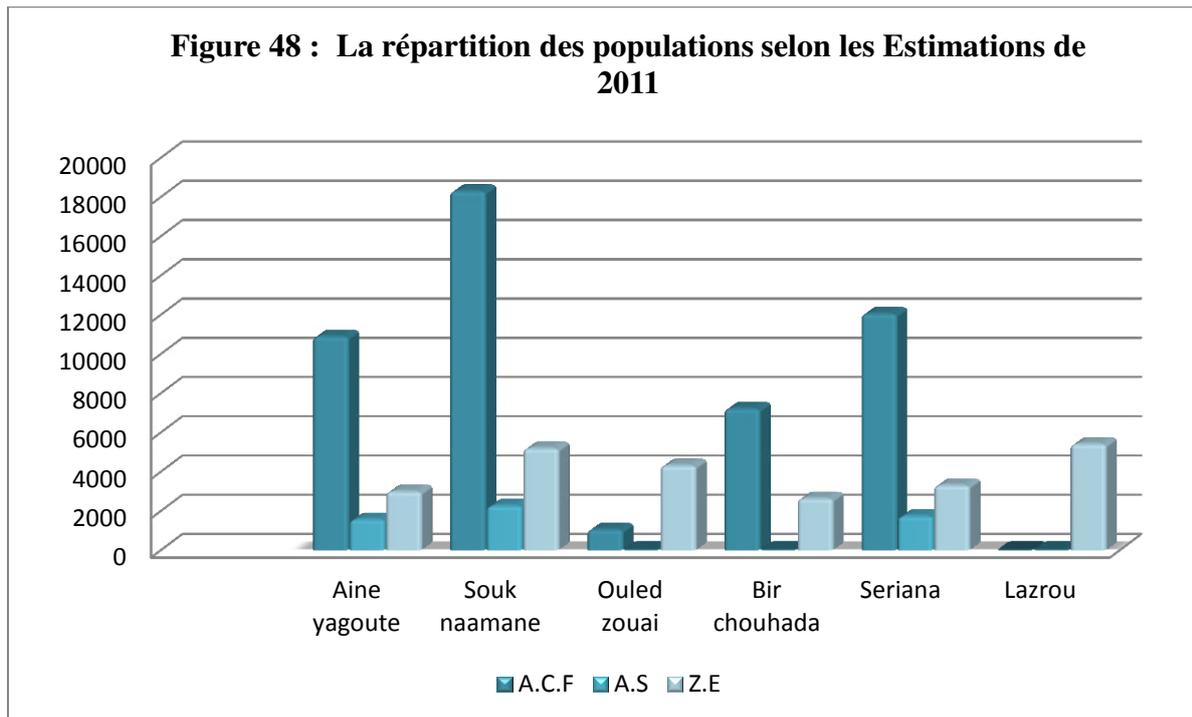
Estimations de 2011				
Commune	Agglo chef lieu	Agglo secondaires	Zone éparse	Total
Ain Yagout	10890	1564	2990	15445
Souk naamane	18298	2260	5190	25743
Ouled zouai	1049	00	4314	5363
Bir chouhada	7216	00	2637	9853
Seriana	12048	1731	3308	17087
Lazrou	00	00	5412	5412

Source: D.P.S.B Wilaya de Batna et D.P Wilaya de Am El Bouaghi.

Tableau 25 : L'évolution de la population entre les recensements 2008 et les estimations de 2011.



Le tableau (Tableau 25) montre une évolution remarquable dans le nombre de la population entre les recensements de 2008 et les estimations 2011; dont la population éparse constitue un nombre considérable de la population totale dans les cinq Communes, et qui constitue la plus part de la population dans notre zone d'étude, ce qui montre l'aspect agricole et rurale de cette région.



Selon (Djenane, 1992), (Kribaa, 1992) in (Lahmar, 1993) ; depuis le début du 21^{ème} siècle, les rendements moyens en céréales dans les Hautes Plaines de l'Est Algérien, en culture pluviale, ont tourné autour de 5-6 q/ha. La croissance démographique et les besoins croissants en céréales poussent à la recherche des moyens d'augmentation de ces rendements; c'est ainsi qu'on a recherché des variétés à haut potentiel, on a introduit la fumure minérale et les produits phytosanitaires, et on a tenté la mécanisation complète de la culture.

Par ailleurs, la croissance démographique dans ces régions a créé de nouveaux besoins et a provoqué de nouveaux rapports avec les ressources naturelles par exemple: la croissance des troupeaux a entraîné une concurrence accrue entre les éleveurs pour l'usage des parcours, suscitant une appropriation privative de facto, par différents moyens et techniques, de superficies de plus en plus importantes.

2. Spatialisation des différents types d'infrastructures:

D'après la carte (Figure 49); les habitations rurales sont dispersées sur toute la zone, il ya aussi certaines constructions urbaines généralement concentrées dans la commune d'Ain Yagout.

On note aussi une forte présence des hangars d'élevages bovins, ovins et surtout la volaille dans la zone entre Draa Boultif et Ain Yagout, des unités de production alimentaire de bétail et une coopérative agricole de volaille à Draa Boultif.

Pour l'infrastructure, on note:

- Un réseau routier important qui relie les différents points d'agglomérations et tous les points d'activités agricoles et économiques.
- La localisation de l'aéroport de Batna - Mostafa Ben Boulaïd au centre de la plaine de Gadaïne.
- Un grand Parc de loisir régional (parc de Lombarkia).
- Une usine de poule pondeuse près du parc de Lombarkia.
- Un projet au cours de la réalisation d'un centre hippique.
- Trois unités de fabrication de gypses.

Donc, nous pouvons dire que l'anthropisation dans cette zone est présente soit par la pression des activités agricoles, soit par l'influence de petites unités industrielles et les différents types d'infrastructures.

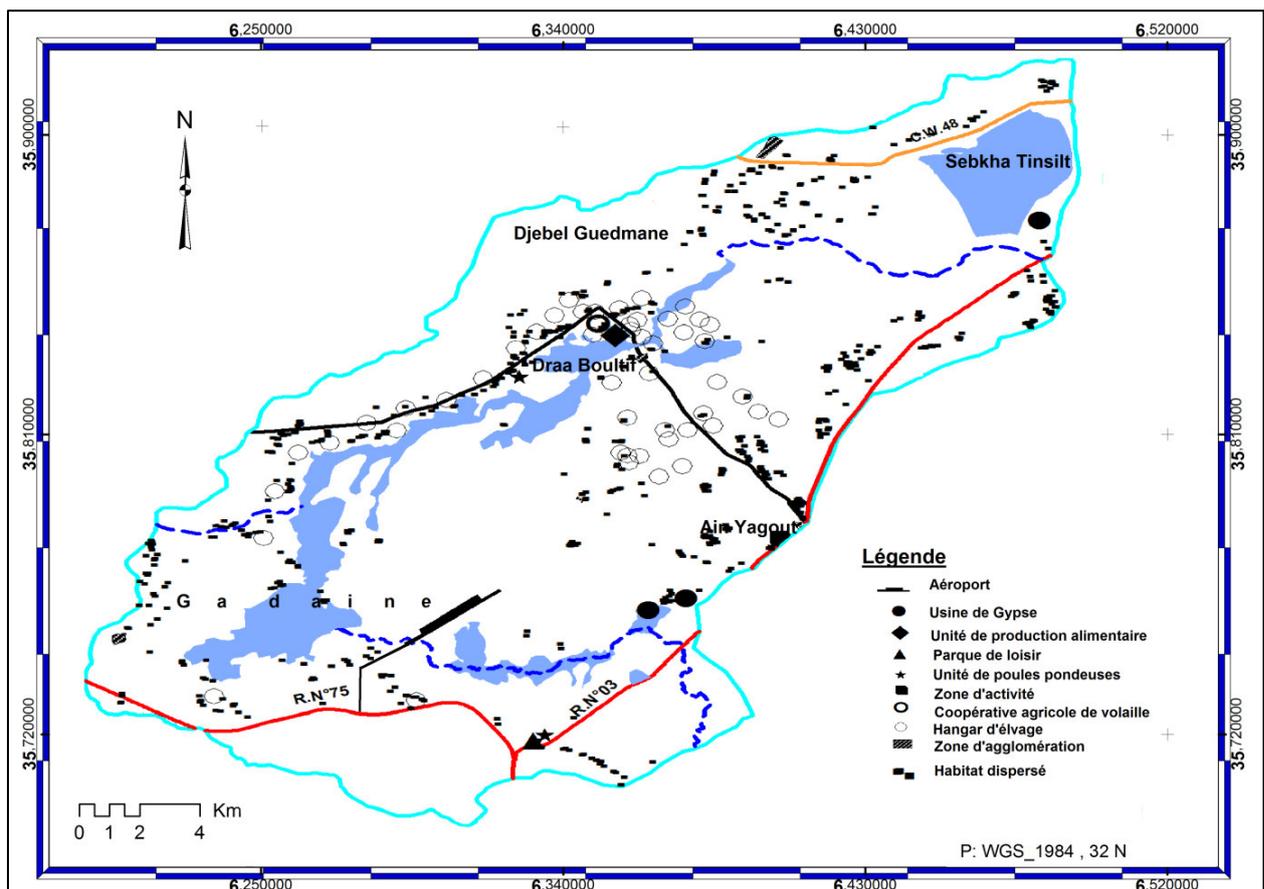


Figure 49 : Carte de spatialisation des différents types d'infrastructures

3. Le Réseau Routier

3.1. Interprétation de la carte du réseau routier :

D'après la carte des réseaux routiers (Figure 51), la région d'étude est traversée par deux routes nationales; la première reliant Batna avec Constantine; (RN n° 03) et la deuxième relie Batna à Sétif; (RN n° 07).

- Deux chemins de wilaya.
- Une route communale reliant Ain Yagout avec Draa Boulouf et les autres points de petites d'agglomérations rurales.
- Un chemin de Fer.
- Plusieurs pistes, avec une densité totale considérable de 2,1 km/km²; (732,6 Km pour 348 Km²).

Route	La longueur (km)	La densité (km/km ²)	Pourcentage %
Route National	33.44 Km	0,096	4.57
Chemin de Wilaya	10.86 Km	0.031	1.47
Route Communale	20.13 Km	0,057	2.71
Chemin de Fère	17.10 Km	0,048	2.33
Piste	646.1 Km	1.85	88.1
R.de l'aéroport	5 Km	0,014	0.6
Total	732,6 Km	2,1	100

Tableau 26 : La longueur, la densité et le pourcentage des types du réseau routier.

D'après le Tableau 26 ; on remarque que les pistes constituent la grande partie du réseau routier presque 88,1 % de la longueur totale. Elles sont réalisées sans aucune étude (normes), se qui les rendent comme des obstacles entraînant à la stagnation des eaux de surface. La même chose pour les autres types des routes où ce phénomène est présent à cause d' études insuffisants et mauvaises construction de la majorité des routes et des ponts au niveau de cette zone .



Photo prise par :Bouhata Rabah en juillet 2013

Figure 50 : Un pont mal construit au niveau de la route de Draa Boultif.

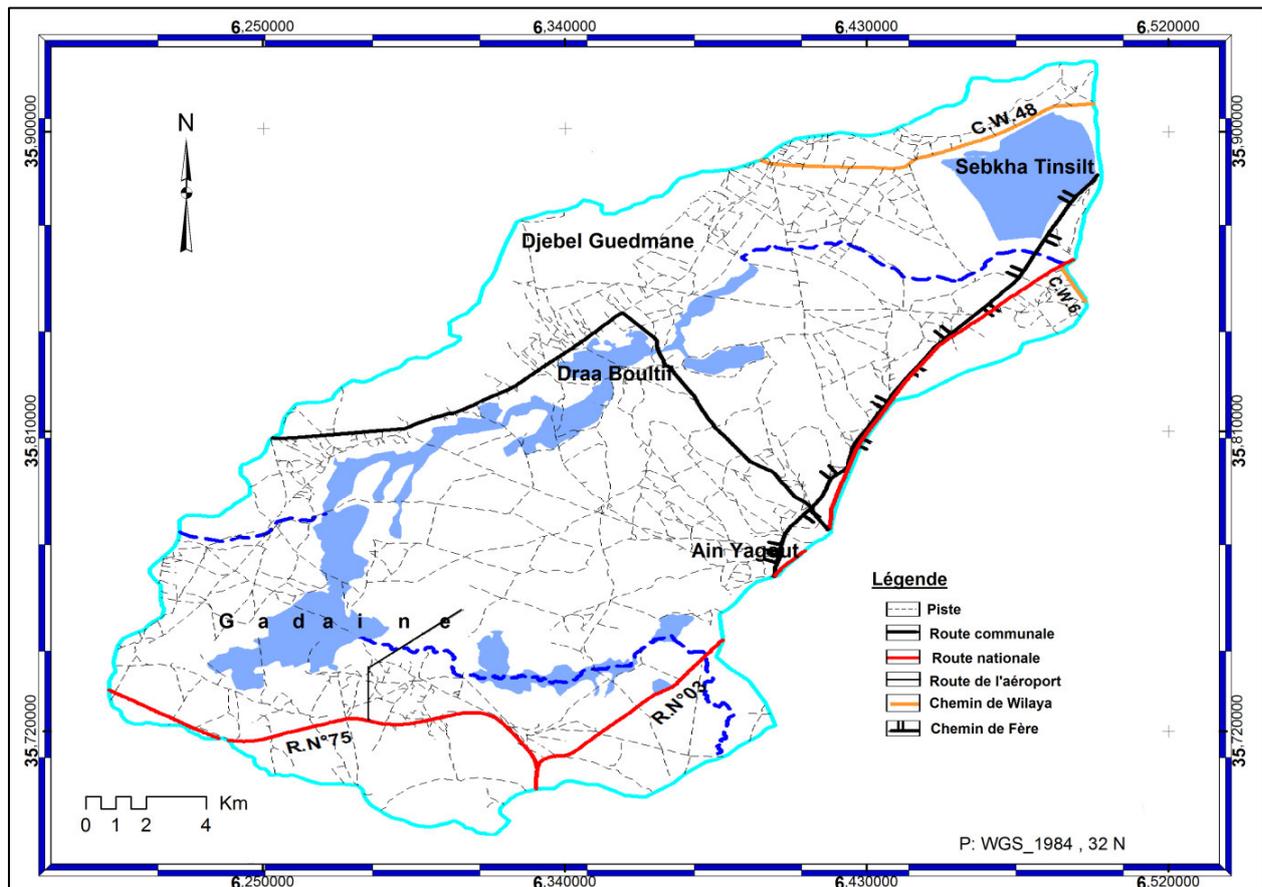


Figure 51 : Carte des réseaux routiers.

3.2. L'effet des routes construites hors normes et les pistes sur le cycle des particules des sels.

La plaine de Gadaine est située dans une zone endoréique à caractère platitude et à climat semi- aride dont la période sèche est très longue qui s'étale de Mai jusqu'à Octobre, où la saison la plus chaude (l'été) se caractérise par une température moyenne de 24.5 C°; donc l'évaporation dans cette période est forte (45.6%) du bilan globale, alors l'humidité du sol est faible, tandis que la vitesse des vents est importante (3,6 m/s), où elle souffle généralement du Sud et du Sud-ouest et elle importe les particules de sel des sebkhas et chotts vers les versants du bassin. Dans la période humide notamment de Novembre à Avril, la quantité des précipitations atteint 110,4 mm. Les ruissellements prennent et transportent les particules de sel précédentes vers l'aval, normalement vers les sebkhas et chotts (les niveaux de bases locales) (Figure 52). Mais la densité des réseaux routiers ($2,1 \frac{Km}{Km^2}$) notamment les pistes qui représentent (88,1%) de la longueur totale sont supérieures de la densité du réseau hydrographique ($1,257 \frac{Km}{Km^2}$), elles constituent des obstacles entraînant à la stagnation des eaux de ruissèlement chargées en particules de sels (Figure 53), ce qui va augmenter la salinité des sols des terres agricoles près des bordures des pistes et des routes. Le schéma suivant montre l'effet des pistes et des routes sur le cycle des particules des sels dans cette région.

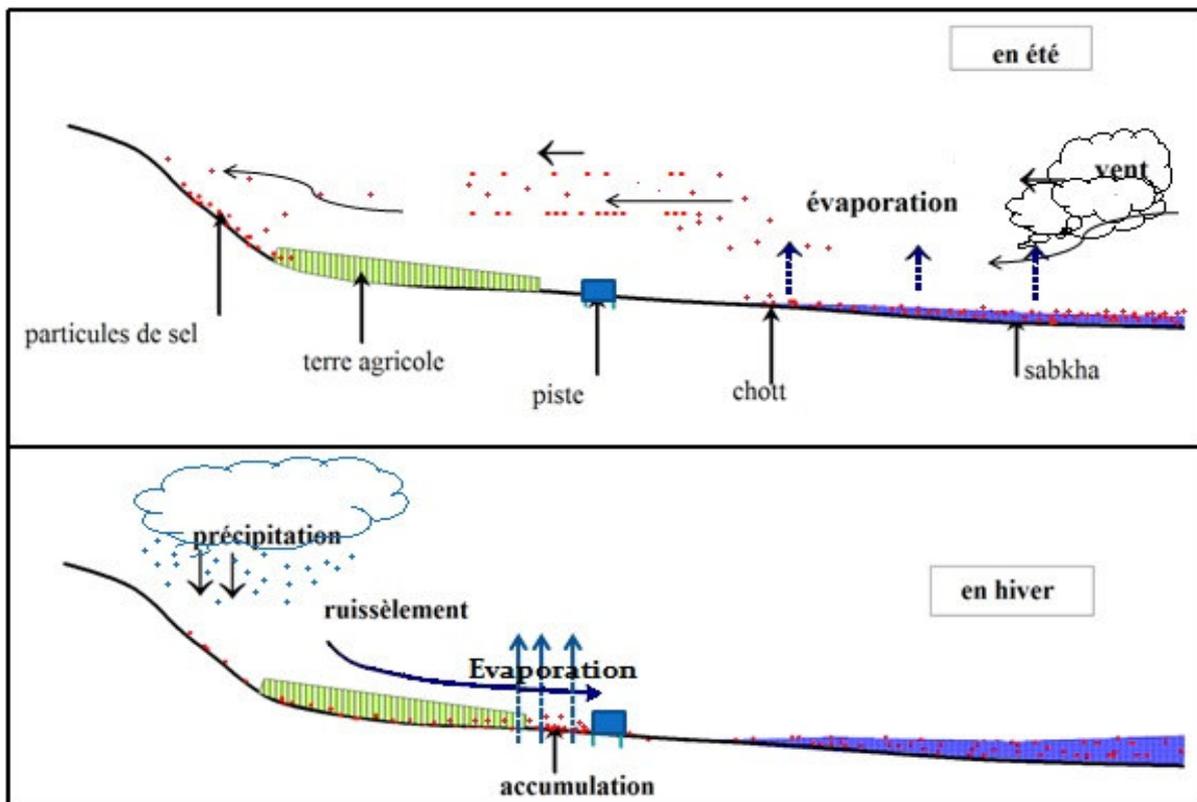


Figure 52 : L'effet des pistes sur le cycle des particules des sels.



Photos présent par :Bouhata Rabah en juin 2013

Figure 53 : La stagnation des eaux de surface sur les bordures des routes mal construites.

4. Type de partage et de délimitation des parcelles

Les propriétaires des parcelles privées actuellement utilisent des clôtures en mur (dure) pour séparer entre eux et pour protéger leurs cultures contre les vents (Figure 54), ces clôtures forment des obstacles pour le ruissèlement vers le niveau bas, donc elles conduisent à la formation des néo chott avec le temps (augmentation de la salinité des sols).

La méthode traditionnelle basée sur le reboisement (haies en arbres) contrairement à la méthode récente, elle a une double fonction: elle assure la circulation normale des eaux de surface et elle protège le sol contre l'érosion (prises vent) (Figure 55).

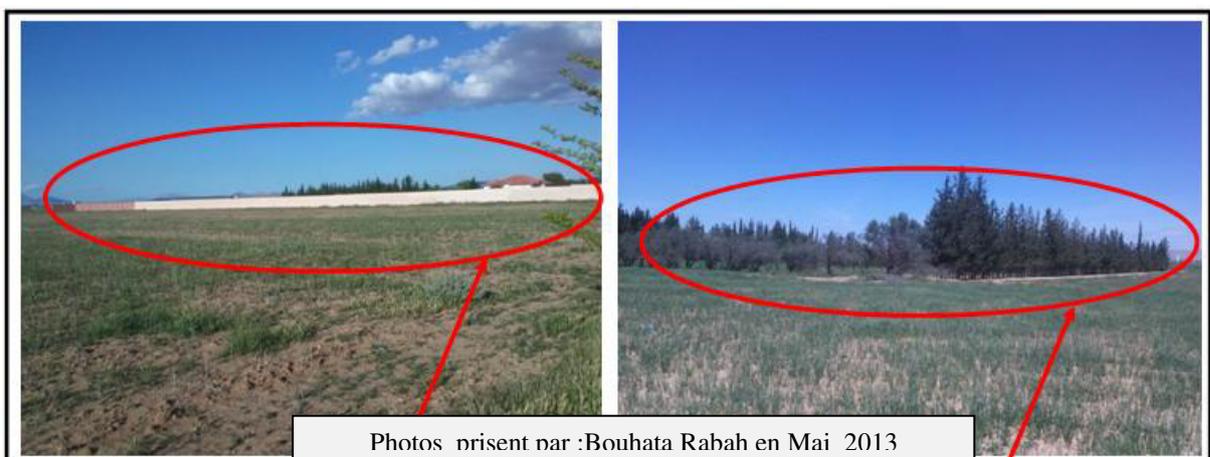


Figure 54 : Clôture en mures.

Figure 55 : Clôture en arbres.

Le schéma suivant montre l'effet de types de clôtures sur le cycle des eaux de surface.

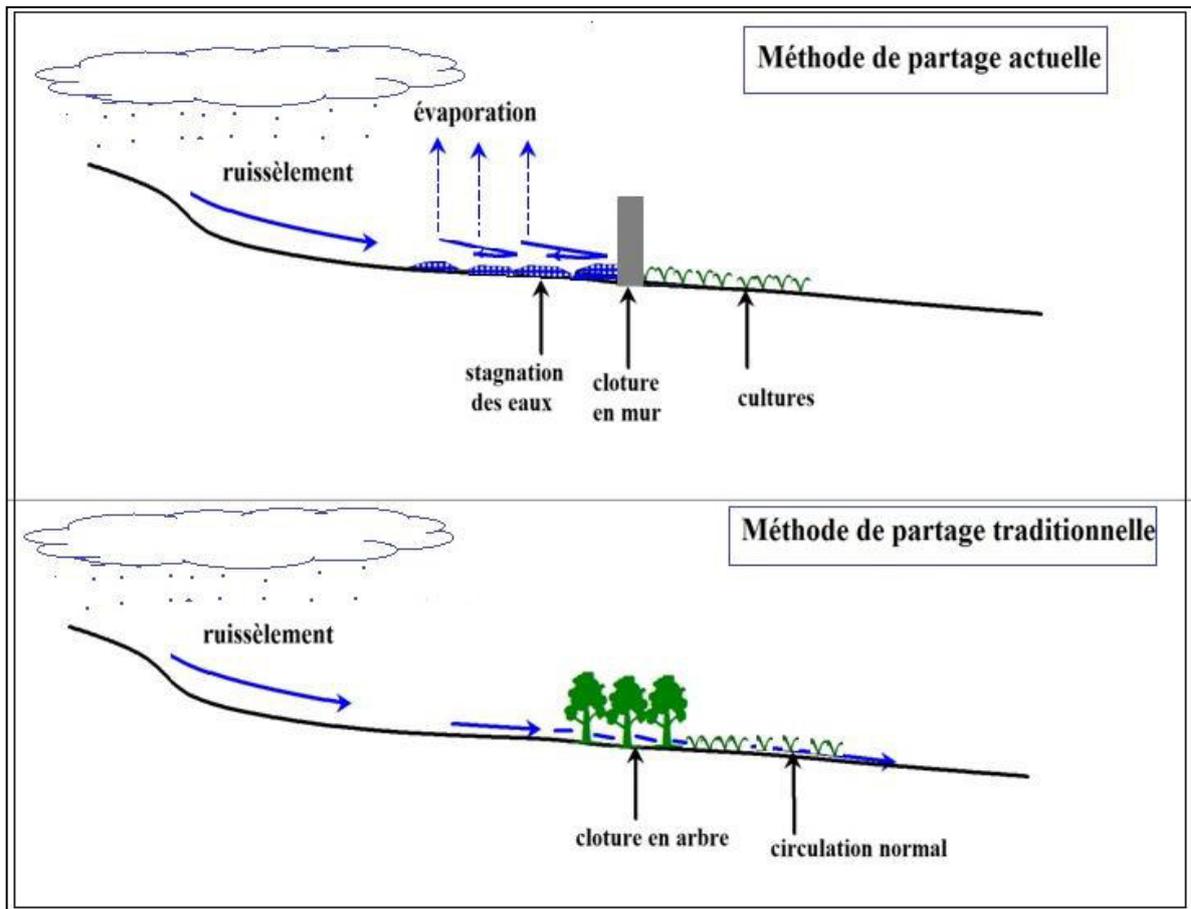


Figure 56 : Types des clôtures et leurs effets sur le cycle des eaux.

5. L'aéroport

L'aéroport Moustafa Ben Boulaide a été réalisé en 1998 dans Aïn Skhouna, à 25 km au Nord de chef-lieu de la wilaya de Batna sur la route nationale n° 75. L'aire de l'influence de l'aéroport de Batna englobe les wilayas suivantes : Batna, Khanchela, Oum El Bouaghi, et quelques daïras de la wilaya de Sétif.

Malgré le côté positif de cet aéroport il a des inconvénients considérables sur la fragilité de cette région. Cet aéroport est considéré comme un point d'attraction des voyageurs et des habitants: des dizaines de tonnes de déchets, des milliers de bouteilles, mouchoirs, matières plastiques sont jetés dans l'environnement par les voyageurs et les véhicules qui traversent cette zone endoréique. Il y a aussi les rejets de déchets (eaux usées des aéroports et des avions) ainsi que les largages de kérosène, donc la pollution par les déchets solides vient dénaturer gravement les sols et les eaux de la région.

L'aéroport permet d'augmenter les activités humaines hors l'agriculture, ce qui change l'aspect environnemental et augmente la pollution dans cette zone considérée comme une zone vulnérable.

6. L'Agriculture

6.1. Répartition de la superficie agricole

Cultures		Superficie utilisée en (ha)	
		Lazrou	Ain Yagout
Céréales		5900	5881
Fourrages	D'hiver	2050	537
	D'été	690	
Cultures Maraichères (Légumes)		775	14
Arboricultures		295,5	151,5
Cultures industrielles (Tabac)		40	20

Tableau 27 : La répartition de la superficie agricole par commune.

Commune	Superficie (ha)				
	S. Totale	S. A. Totale	S.A. Utilisée	S.A.U. Irriguée	Parcours
Lazrou	16230	16 023	10 954	2 090	4 368
Ain Yagout	15405	12000	10731	678	1000

Tableau 28 : La répartition de la superficie agricole par types des cultures.

D'après les deux tableaux précédents (Tableau 27 et Tableau 28); nous pouvons dire que : la vocation de la région d'étude est typiquement agricole, avec une moyenne de 67 % des surfaces, est exploitée par les différentes cultures par rapport à la superficie totale des deux communes (Lazrou et Ain Yagout). En hiver; elles sont exploitées par les céréalicultures (blé, orge...) et en été on trouve les cultures maraichères à auto consommation et les cultures

industrielles; ces cultures exigent beaucoup d'eau pour l'irrigation par la méthode traditionnelle (submersion) ce qui contribue au phénomène de salinisation des sols, où la surface totale irriguée pour les deux communes est de 2768 ha.

Le défrichage inconsidéré des sols fragiles pour les céréales livre les sols dénudés; par les labours à l'action décapante des vents. Cette forte exploitation conduit à la raréfaction du couvert végétal naturel surtout halophile qui résiste la salinité des sols, ce qui nous donne des paysages dégradés (pré désertiques).

En 1992, un rapport du Ministère de l'agriculture montre un faible rendement obtenu de la céréaliculture des zones steppiques comparativement à l'année 1968 (Nedjraoui, 2008). Ces faibles rendements de céréales dans ces régions ont toujours été attribués à l'aridité du climat. Cette dernière est certes un facteur important limitant la production végétale, mais non l'unique. Au plan agronomique, d'autres facteurs limitant liés au sol, à la végétation ou à la manière dont les cultures sont conduites peuvent contribuer à la baisse des rendements, Ainsi, limiter la contrainte en céréaliculture pluviale uniquement au climat, revient à connaître le sol (sa nature, ses fertilités, ses propriétés, et son comportement), la végétation (ses potentialités et ses exigences) et à adopter un mode adéquat de conduite des cultures (itinéraires techniques et fumures) (Lahmar, 1991).

Les programmes appliqués dans les zones steppiques et les zones des hauts plateaux sont:

- Le programme national de mise en valeur des terres par la concession qui créait des exploitations agricoles sur des terres marginales après les avoir aménagées.
- Le programme national de développement agricole (PNDA) qui a débuté en 2000 et qui visait le remplacement de la céréaliculture et de la jachère par des cultures à plus haute valeur ajoutée (Lahmar, 2011).

Ces deux programmes ont permis – grâce à de généreuses subventions – d'accroître les superficies irriguées mais n'ont pas évité de nombreuses erreurs techniques et économiques; remplacer les céréalicultures par l'arboriculture fruitière. (Nedjraoui, 2008).

Même les politiques économiques de ces dernières décennies (ANSEJ, CNAC et ANGEM) (l'achat et la distribution de nombreux matériels agricoles) ont aussi contribué à la surexploitation des ressources naturelles des hauts plateaux de l'Est Algérien. Se qui est traduit par une exploitation intense des parcelles individuelles induisant la stérilisation des sols.



Figure 57 : La céréaliculture dans la zone d'étude.

7. L'irrigation +

D'après les estimations de l'institut des Ressources Mondiales, plus de la moitié des terres irriguées du monde sont devenues salées, sodiques ou sujettes à l'engorgement en raison de l'utilisation de méthodes d'irrigation inadaptées, de mauvais systèmes de drainage et de l'utilisation des eaux salées. Dans les régions méditerranéennes, le problème de salinité, est bien notable en milieu aride (Snoussi ,1998).

En Algérie, plus de 20% des sols irrigués sont concernés par des problèmes de salinité (Douaoui, 2008). Sur les terres irriguées, la mauvaise utilisation des eaux et le mauvais drainage empêchent l'obtention des rendements potentiels, mais ils entraînent aussi une perte de terres productives à cause de l'accroissement de la salinité due à l'irrigation.

La salinisation des sols dans les régions endoréiques arides et semi-arides est non seulement liée aux conditions climatiques (fort ensoleillement et faible pluviométrie) mais également au recours souvent mal contrôlé à l'irrigation, ce qui entraîne une accumulation des sels dissous en surface (Ben Naceur et al, 2001 et 2002).

7.1. La salinité des eaux d'irrigation

La conductivité électrique d'une eau caractérise sa faculté à laisser passer le courant électrique, elle augmente avec la concentration des ions en solution et la température: une eau salée est très conductrice, par contre une eau pure est très résistante.

7.1.2. La qualité des eaux d'irrigation utilisées en Algérie

Conductivité électrique (ds/m)	Concentration (g/l)	Evaluation de Durand pour l'Algérie
CE < 0,25	< 0,2	Non saline
0,25 < CE < 0,75	0,2 - 0,5	Salinité moyenne
0,75 < CE < 2,25	0,5 - 1,5	Forte salinité
2,25 < CE < 5	1,5 - 3	Très forte salinité
5 < CE < 20	3 - 7	Salinité excessive

Source : Daoud et Halitim, (1994)

Tableau 29 : La qualité des eaux d'irrigation utilisées en Algérie

Notre zone d'étude présente un certain nombre de puits et de forages qui sont dispersés dans la plaine et qui sont destinés à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et aux autres usages domestiques.

Nous avons sélectionné 40 points d'eau (30 puits et 10 forages) exploitant l'eau aquifère superficielle effectuée en Juillet- Aout 2012 pour analyser la conductivité électrique des eaux de ces points.

CE en dS/m	Nombres des points d'eau	Pourcentage des échantillons (%)
< 0,75	2	5
0,75 - 2,25	5	12,5
> 2,25	33	82,5

Tableau 30 : La qualité d'eau d'irrigation (salinité) pour la plaine de Gadaine.

Le tableau (Tableau 30) montre que la majorité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine ont une forte conductivité électrique. Les valeurs de la conductivité électrique des eaux de 33 points d'eau échantillonnés (82% des points d'eau) restent supérieures à (2,25 d S/cm).

Quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels; ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture (Ayers ,1988).



Photos présent par :Bouhata Rabah en juin 2012

Figure 58 : Eaux d'une source plus chargées en sels au niveau de Falenta

7.1.3. Méthode d'irrigation

L'irrigation est l'opération qui permet d'apporter aux plantes cultivées l'eau que les précipitations naturelles ne peuvent fournir. Il existe plusieurs systèmes d'irrigation traditionnels ou modernes (par ruissèlement, par submersion, par aspersion ...).

L'irrigation dans la région de Gadaine se fait généralement par la méthode traditionnelle; l'irrigation par submersion (Figure 59) qui est basée sur le système gravitaire; dont l'eau submerge le terrain et s'infiltre complètement. L'irrigation par cette méthode est augmentée en saison d'été, pour satisfaire les besoins des cultures qui exigent d'avantage d'eau (Tabac, luzerne). Dans cette période l'évaporation sera supérieure à (45,6%), les eaux salées d'irrigation conduisent à la salinisation des sols donc à un abaissement du rendement agricole.



Photos présent par :Bouhata Rabah en juin 2013

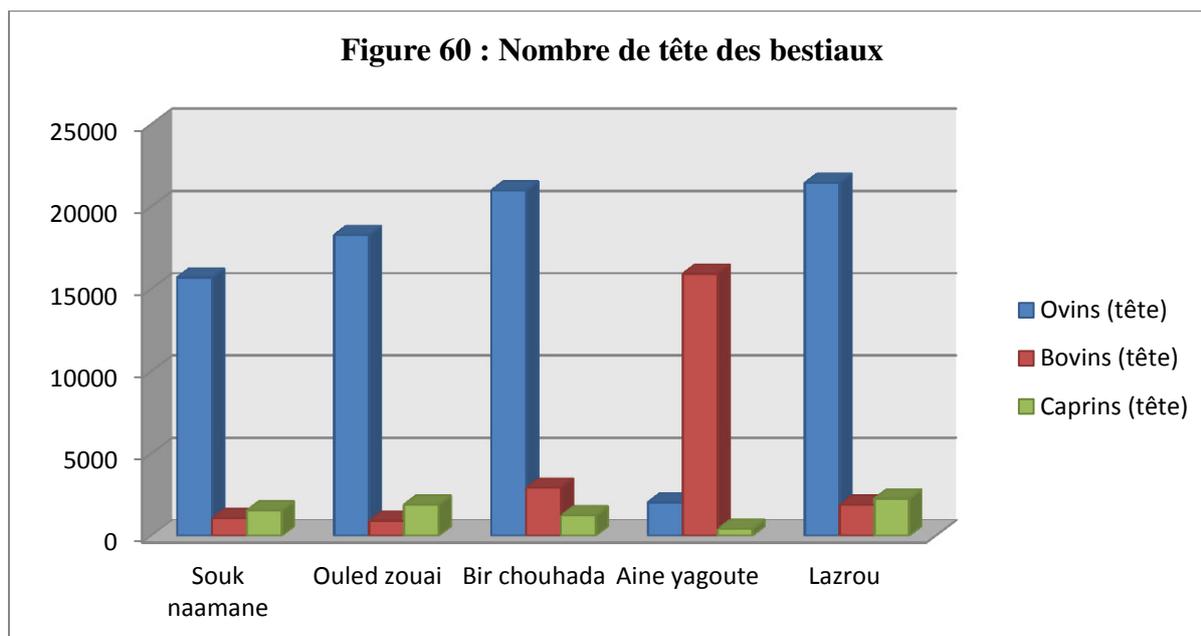
Figure 59 : L'irrigation par submersion**8. L'élevage**

Dans le tableau ci dessous (Tableau 31), représente le recensement du cheptel de l'année 2012 des communes suivantes: Ain Yagout, Souk Naamane, Bir Chouhada, Lazrou et celle d'Ouled Zouai.

Tableau 31: Nombre de tête des bestiaux.

Recensement	Ovins (tête)	Bovins (tête)	Caprins (tête)	Total
Souk Naamane	15694	1079	1544	18317
Ouled Zouai	18280	919	1894	21093
Bir Chouhada	20981	2924	1241	25146
Ain Yagout	2038	15925	425	18388
Lazrou	21440	1886	2260	25586

Source : les directions d'agriculture (Ain Yagout, Souk Naamane, Bir Chouhada, Lazrou et Ouled Zouai), 2012.



Le maintien d'un effectif ovin trop élevé sur les meilleurs pâturages et autour des points d'eau a provoqué le piétinement et le tassement du sol, ce qui accroît très sensiblement le risque d'érosion éolienne.

Tableau 32 : Les constructions agricoles dans la commune d'Ain Yagout.

Types	2011	2012
Etables (Ovins)	63	75
Bergerie (Bovins)	90	90
Hangar de poulets de chaire	13	14
Hangar de poulets pondeurs	75	92

Source : la direction d'agriculture Ain Yagout , 2012.

Tableau 33 : Les constructions agricoles dans la commune de Lazrou.

Types	Bâtiment	Effectif
Aviculture chair	25	100000
Aviculture ponte	08	44400
Aviculture sous serres	08 (serres)	18000
Aviculture Dindes	06	18000

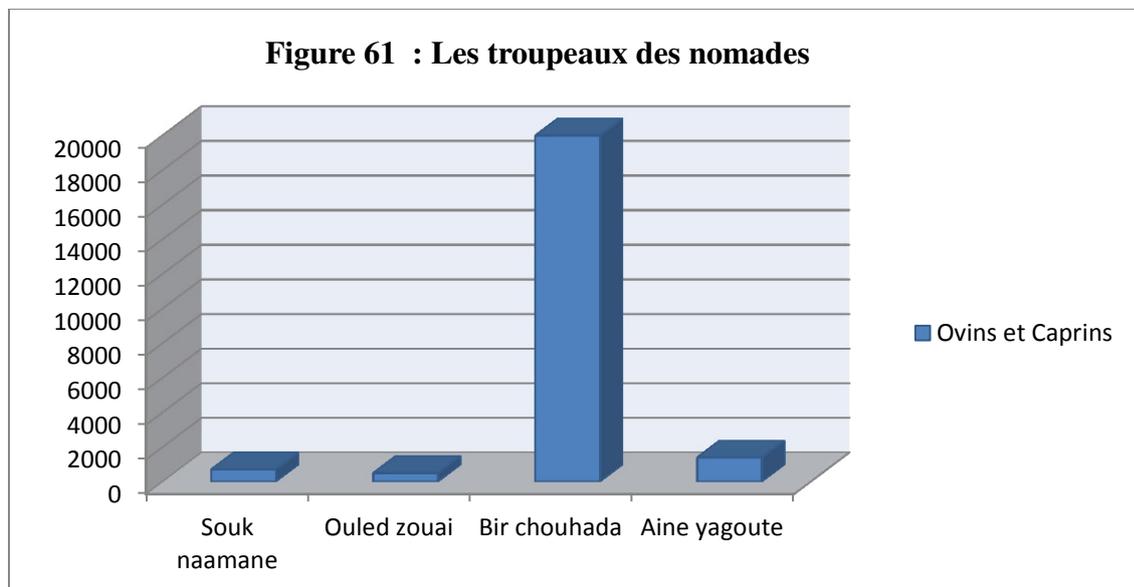
Source : la direction d'agriculture Lazrou, 2012.

Le tableau ci-dessous (Tableau 34) présente le recensement 2008 du cheptel des nomades.

Tableau 34 : Les troupeaux des nomades

Communes	Ovins et Caprins (tête)	Source
Souk Naamane	700	La wilaya de Biskra et oued souf
Ouled Zouai	500	La wilaya de Biskra et oued souf
Bir Chouhada	20000	La wilaya de Biskra et oued souf
Ain Yagout	1400	/
Lazrou	3300	/

Source : les directions d'hygiène des communes S, O, B, A, L.



D'après les tableaux précédents (Tableau 32, 33 et 34); on peut dire que l'élevage dans cette zone est fortement présent soit par le nombre des bestiaux (bovins, ovins et caprins), soit par les constructions agricoles qui sont en évolution continue.

On a trouvé que le nombre des bestiaux atteint des valeurs très élevées dans les cinq communes. Les constructions agricoles dans la commune d'Ain Yagout sont évoluées surtout pour les hangars de poulets pondeuses et les étables (ovins), et que l'aviculture est fortement présente dans la commune de Lazrou. En plus, les nomades qui viennent chaque année durant trois à quatre mois de l'année surtout dans les communes d'Ain Yagout et Lazrou exercent un surpâturage provoquant inévitablement l'érosion du sol et une diminution du couvert végétal.

Le sol dénudé retient moins l'eau nécessaire à la survie de la végétation et est moins efficace pour réduire la vitesse du vent (Warren et al, 1988).

Cette forte exploitation peut influencer par :

- Le déplacement des troupeaux (moutons ou chèvre) d'une zone à une autre provoque des poussières intenses chargées par les particules de sel surtout pendant la période de la sécheresse, ces particules sont transportées par les vents vers d'autres zones ce qui favorise le phénomène de la salinisation.

- Elle conduit aussi à la désertification à cause d'élimination (sur pâturage) de certaines plantes qui résiste à la salinisation.

- Les effets du piétinement sur le sol et la végétation sont graves (tassement, écrasement des végétaux ...etc.)

- La pollution des eaux par les différents déchets d'élevages.

- Des effets négatifs sur l'air et le climat (émissions d'ammoniac et émission de gaz à effet de serre)



Photos présent par :Bouhata Rabah en Mai 2013

Figure 62 : L'élevage des troupeaux au niveau de la zone d'étude.

Cet accroissement des têtes des bestiaux (bovins, ovins et caprins) a conduit en quelques décennies à une régression dramatique et souvent irréversible du couvert végétal.

Actuellement, les pasteurs ont modifié leur système de production en associant culture céréalière et élevage. La sédentarisation qui s'est produite sur des terres qui ne sont pas

aménagées et gérées en fonction des nouvelles conditions, accentue la dégradation des sols et la végétation pérenne.

9. L'exploitation des ressources naturelles

L'homme par son exploitation des ressources naturelles de son environnement sans aucune conscience ou surveillance, contribue à sa dégradation.

9.1. L'exploitation des eaux sous terraines

La zone d'étude est occupée par deux aquifères l'un superficiel avec une profondeur de 100m autorisé pour l'exploitation (puits et forages) par les habitants (selon la direction d'hydraulique Batna) et le deuxième aquifère (profond) avec une profondeur de 400m est sans exploitation (de l'état).

D'après la carte (Figure 63), le nombre des puits paraît très élevé, surtout dans la partie Nord et Nord-ouest de la zone d'étude. Si on prend une zone avec une surface de 21Km² limitée par les coordonnées (Tableau 35).

Tableau 35 : Les coordonnées délimitant la zone prise en charge dans les calculs.

	X	Y
P1	6° 23' 43.7"	35° 53' 22.5"
P2	6° 26' 54.5"	35° 51' 1"

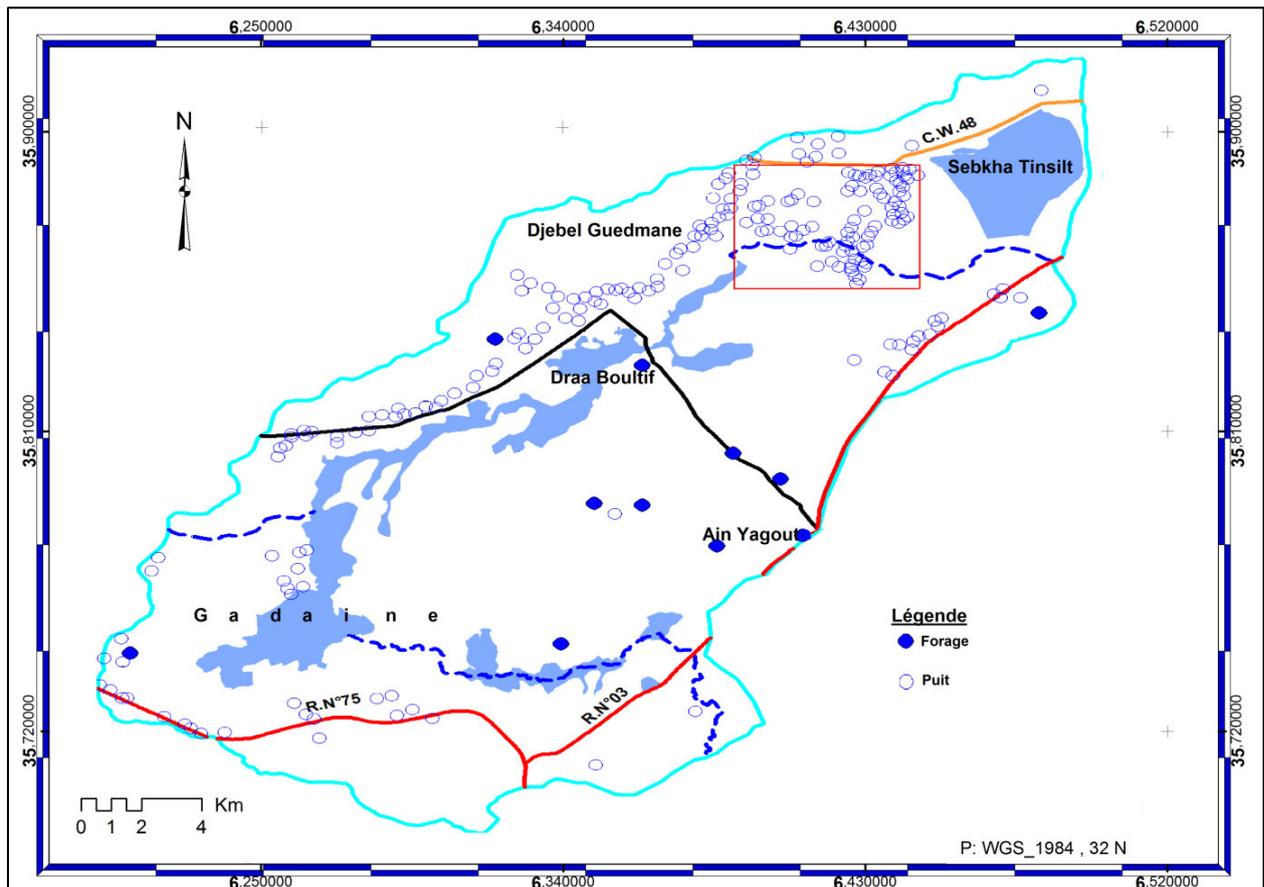


Figure 63 : Carte de la répartition des puits et des forages.

On trouve que le nombre des puits atteint 91 puits avec une densité de 4,33 puits/km. Ces résultats ne sont pas conformes aux normes utilisées par la direction d'hydraulique de la wilaya où la distance entre un puits et un autre est environ 400m (2,5 puits /Km selon les normes de la direction d'hydraulique). A cause de cette sur exploitation, la quantité des eaux dans la nappe phréatique a diminué chaque année. Il apparait que l'implantation des puits est aléatoire sans aucune surveillance.

L'exploitation des forages et des points d'eau sans organisation, provoque de grandes concentrations des troupeaux autour de ces points d'eaux et provoque la formation d'auréoles désertifiées.

A cause de cette surexploitation ou plutôt d'une exploitation anarchique. La partie Nord de la zone d'étude (Figure 64) située dans la commune de Souk Naamane délimitée par les coordonnées (Tableau 36), est classée comme zone rouge (aucune autorisation pour la réalisation d'un puits ou d'un forage) selon la subdivision de l'hydraulique, mais la partie Nord-ouest appartenant à la wilaya de Batna, n'est pas concernée par cette décision malgré la

concentration des puits, ce qui veut dire qu'il n'y a aucune coordination entre les directions des différentes wilayas.

Tableau 36 : les coordonnées de la zone rouge.

	X	Y
P1	6° 18' 54.3"	35° 55' 18.5"
P2	6° 29' 19.2"	35° 50' 52.7"

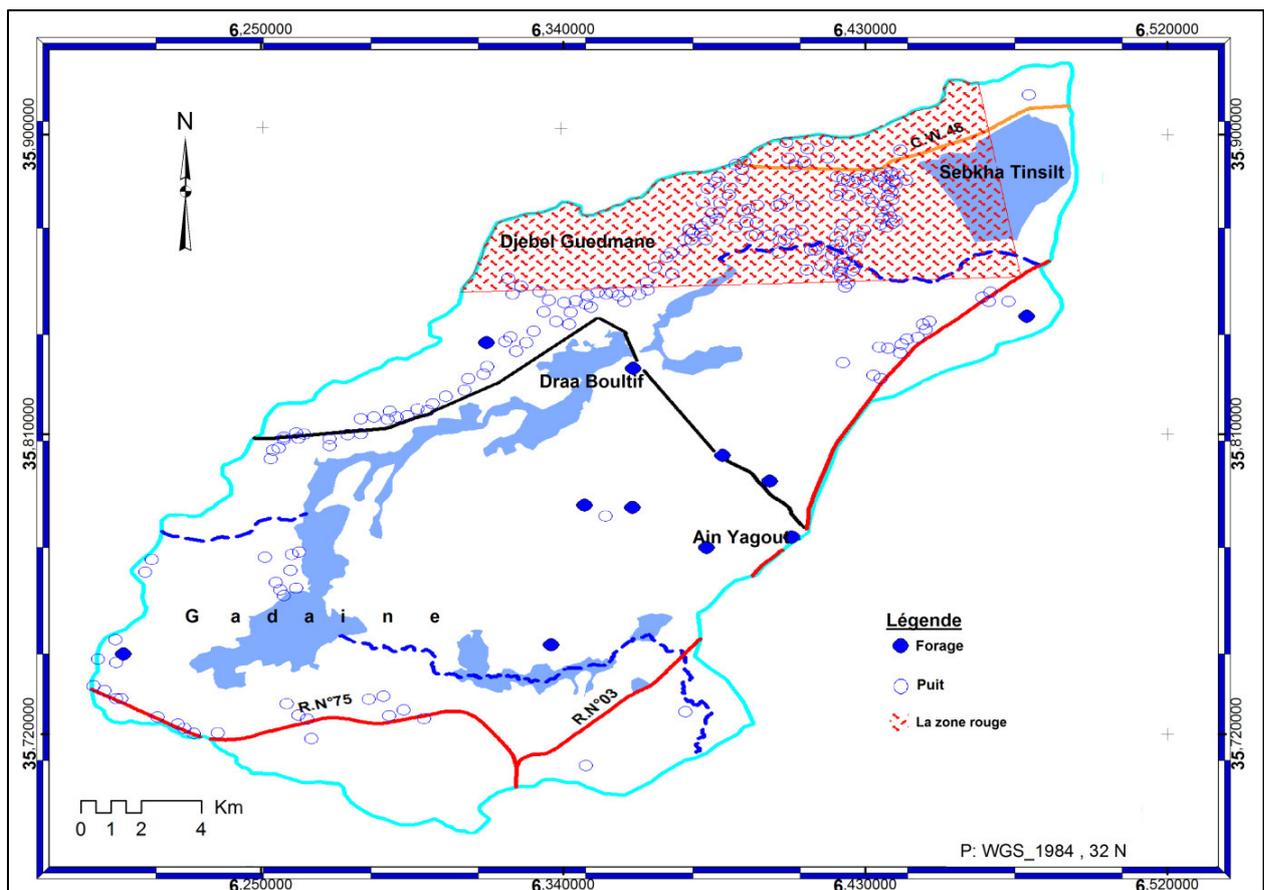


Figure 64 : La localisation de la zone rouge selon la subdivision de l'hydraulique de Souk Naamane.

9.2. L'exploitation de gypse :

Trois usines de gypse sont installées dans cette zone, sur les collines où se trouvent les formations de Trias. Pendant l'exploitation, les vents entraînent les poussières vers les zones approximatives. La présence des teneurs élevées en gypse entraînent :

- La perte d'éléments nutritifs (cation K et anion Mg)

- La formation d'un horizon imperméable qui gêne le développement du système racinaire.
- Les amendements gypseux contribuent à augmenter la conductivité hydraulique des sols.

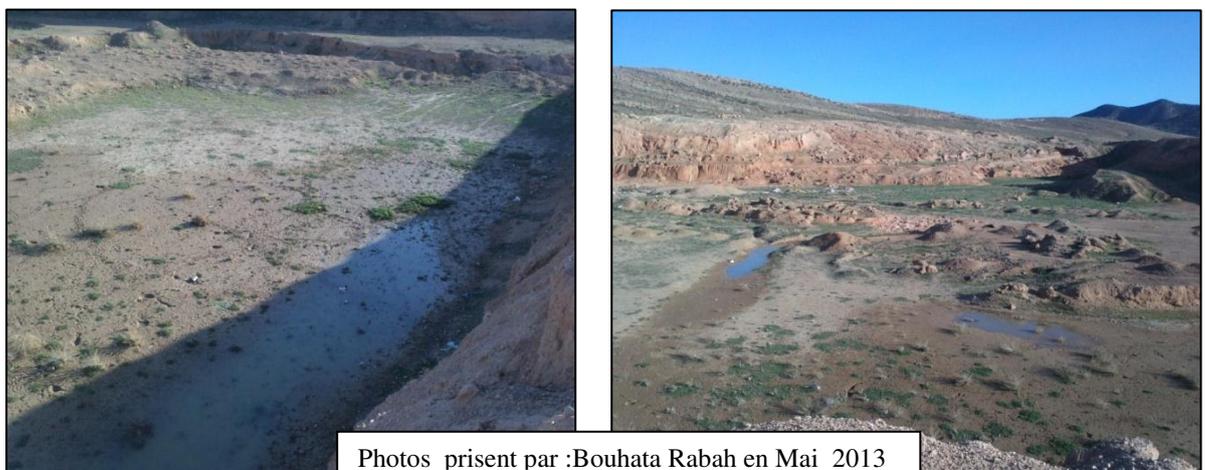


Photo prise par :Bouhata Rabah en juin 2012

Figure 65 : L'exploitation des gypses – Ouled Zaoui – près de sebkhaTinsilt.

9.3. L'exploitation des Argiles

Près de la route nationale RN n° 75, on trouve une grande cuvette d'exploitation des Argiles qui entraîne la stagnation des eaux de surface, ce qui a conduit après l'évaporation de ces eaux de surface dans les périodes sèches à l'accumulation des sels sur surface (salinisation); donc l'apparition de la formation des néo- sebkhas.



Photos present par :Bouhata Rabah en Mai 2013

Figure 66 : La formation des néo-sebkhas après une malle exploitation des Argiles.

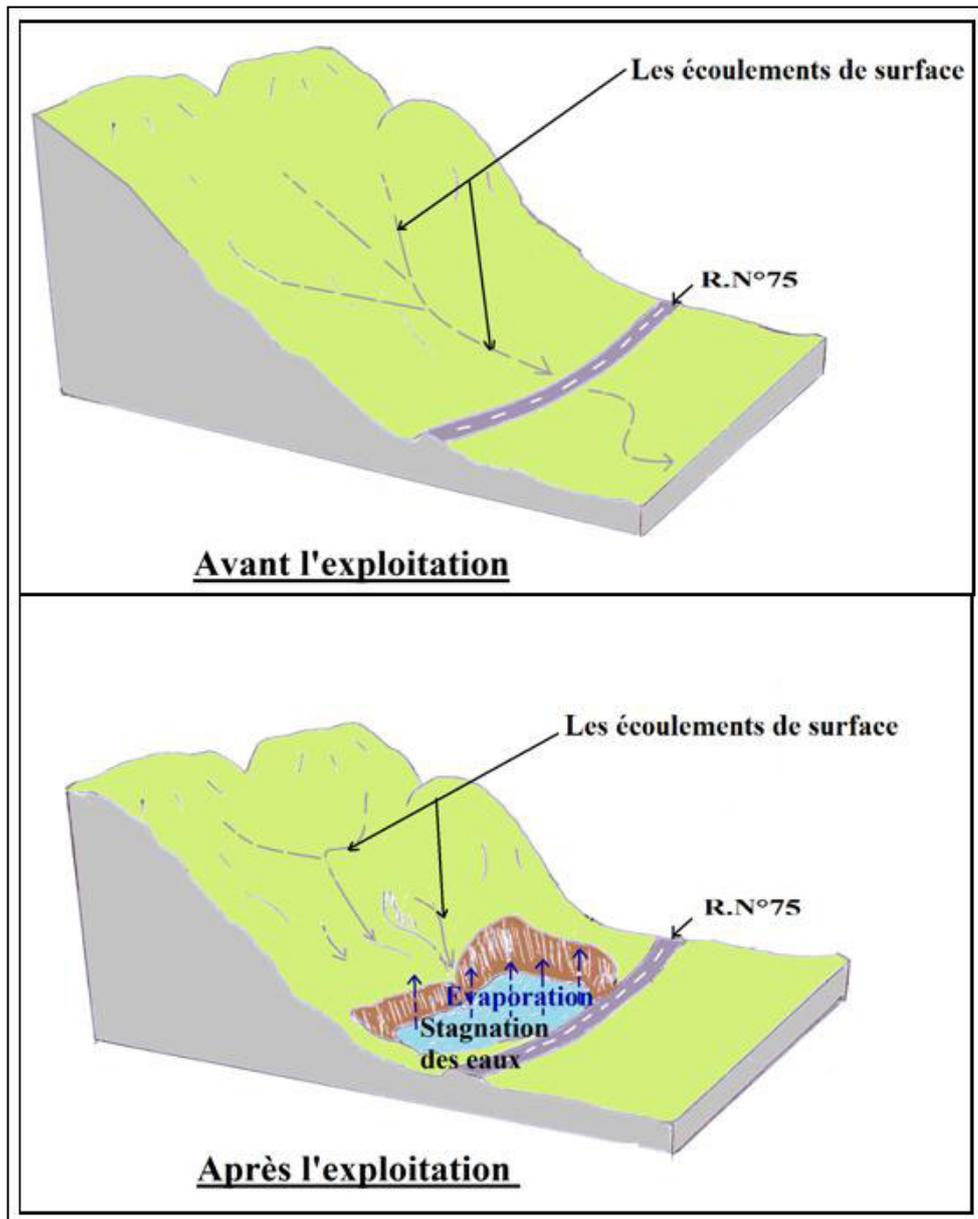


Figure 67 : La formation de néo-sebkha après l'exploitation des Argiles.

10. La dégradation des aménagements

La Sebkhia Tinsilt est située sur le territoire de la Wilaya d'Oum El Bouaghi, près de la daïra de Souk Naamane. A droite de la route nationale n° 3 reliant Aïn M'lila avec Batna. Sa superficie inondable est presque de 1000 ha. Elle est classée comme zone humide d'importance internationale « Site RAMSAR ».

La direction de la conservation des forêts de la commune de Souk Naamane a procédé à des travaux d'aménagement de sebkha Tinsilt en 1982, par la réalisation des canaux de drainages des eaux des surfaces vers la sebkha Tinsilt et pour protéger les terres agricoles de cette région contre la dégradation (salinisation) .

Pendant la période d'occupation un canal a été déjà réalisé pour transférer l'excès d'eau à partir de sebkha Tinsilt vers sebkha EL Zmoule; qui est située à proximité de celle- ci par l'intermédiaire d'Oued Ben Zeghib .

Tous ces aménagements sont dégradés (Figure 68), les canaux sont détruits et bloqué par les différents déchets résultants des activités humaines et aussi par l'absence d'entretien, ce qui les rend inutiles.



Photos présent par :Bouhata Rabah en juillet 2013

Figure 68 : L'état de dégradation des ouvrages d'aménagement hydraulique au niveau de Sebkhat Tinsilt

Actuellement et à cause de l'absence de suivi et d'entretien, les eaux de surface sont diffusées latéralement vers les terres agricoles limitrophes ce qui a engendré l'apparition des nouveaux chotts.

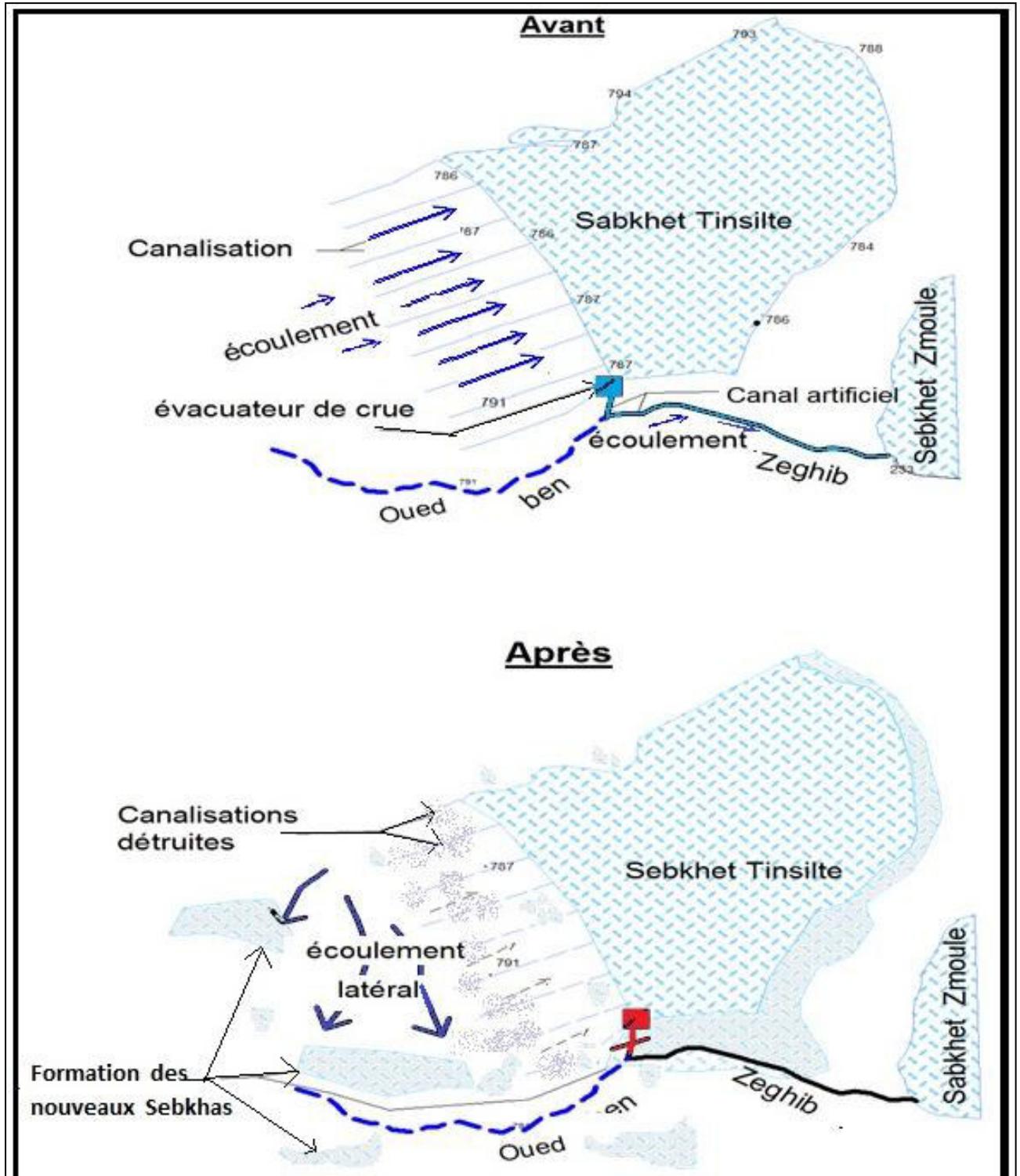


Figure 69 : La dégradation des aménagements réalisés au niveau de Sebkhât Tinsilte.

Conclusion

La croissance démographique dans cette région a créé de nouveaux besoins et a provoqué de nouveaux rapports avec les ressources naturelles.

La gestion irrationnelle de ces zones endoréiques vulnérables, l'introduction de moyens et de techniques de développement inadaptés au milieu, le manque de concertations entre les différents acteurs du développement, la surexploitation des eaux d'irrigation salin et la mauvaise réalisation des infrastructures au niveau de cette région...etc., sont les facteurs qui ont contribué à la dégradation du milieu et ses ressources naturelles ainsi qu'à la rupture des équilibres écologiques, et socioéconomiques .

CHAPITRE 04 :

LA GEOSTATISTIQUE POUR L'ETUDE ET

L'ELABORATION DE LA CARTE DE LA

SALINISATION DES SOLS

Introduction

La salinisation, processus par lequel les sols deviennent salés, correspond à l'accumulation de sels très solubles dans le sol, qui a pour conséquence une baisse de la fertilité des sols. L'alimentation en eau des plantes est rendue plus difficile ; certains éléments peuvent avoir en outre un effet toxique spécifique (Na, Cl, B, Se) ; le sodium enfin peut se fixer sur les argiles et modifier leur comportement en présence d'eau. Les propriétés physiques globales du sol (capacité d'infiltration, conductivité hydraulique) sont alors dégradées (Cheverry, 1974).

La salinisation des sols est un processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire, qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol; il s'ensuit une diminution des rendements et, à terme, une stérilisation du sol. La salinisation se produit généralement lorsque la quantité d'eau perdue par le sol par évapotranspiration dépasse celle provenant de l'infiltration des précipitations (Mermoud, 2006).

Près de 33% des terres arables dans le monde sont affectées par la salinité, soit 7% de la surface terrestre (Gupta et Abrol, 1990). En Algérie, les sols agricoles sont dans leurs majorité affectés par le problème de salinisation ou susceptibles d'être touchées (Durand, 1958). Les sols salins sont très répandus dans les basses plaines de l'Oranie, dans la vallée de Mina près de Relizane, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains chotts. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà (Durant, 1958).

Les sols salés d'Algérie sont caractérisés en général par une conductivité électrique supérieure à 7 ds/m (Aubert, 1975). Les zones arides et semi-arides constituent les espaces géographiques privilégiés de ce phénomène (Halitim, 1988).

Selon (Aubert, 1976) ; de façon générale « les sols sodiques en Afrique du Nord proviennent principalement d'une action de la mer (pas actuelle) ou de la présence de dépôts lagunaires salés et gypseux répartis dans l'échelle stratigraphique depuis le Trias jusqu'au Quaternaire. Elle est due aux conditions arides ou semi-arides d'une grande partie de ce pays où les possibilités d'évaporation sont considérables et les précipitations pluviales limitées; à la présence fréquente de dépôts géologiques salifères, par exemple du Trias, du miocène, du pliocène ou même du quaternaire...et de nappes phréatiques ou artésiennes salées; à la succession des événements, variations climatiques et phénomènes de sédimentation, au cours des Temps quaternaires.

1. L'origine des sels

L'origine des sels peut être variée. Ils proviennent souvent de la décomposition de roches salifères sous l'influence des agents climatiques et des facteurs biologiques.

Très nombreux sont les affleurements de roches salifères en Algérie : gypse triasique; grès du Crétacé moyen; marnes sénoniennes dans le Sud-Constantinois; poudingues, grès et limons rougeâtres de l'Oligocène continental (Aquitainien) ; poudingues et grès; argiles, grès et poudingues helvétiques; gypse, marnes et calcaires du Sahélien; grès du Pliocène continental (bassins fermés des Hautes Plaines); formations quaternaires des plaines littorales, des basses plaines oranaises et des dépressions fermées (Benchetrit , 1956).

D'après (Cherbuy ,1991), la salinisation d'un milieu implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée primaire, et une salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire.

- Types de salinisation:

2. Salinisation primaire :

2. 1. Salinisation géologique :

Les sels solubles peuvent provenir :

- Soit de l'altération des roches contenant des minéraux sodiques potassiques et magnésiques. En région arides et semi-arides, ces sols se concentrent sur place ; dans les dépressions fermées.

- Soit de dissolution des évaporites contenant des chlorures, des sulfates, etc., les évaporites se localisent essentiellement dans les bassins élémentaire (Trias, terrains et quaternaire).

- Soit de l'altération des roches volcanique (Servant, 1975)

2.2. Salinisation marine et lagunaire :

L'origine des sels peut se trouver dans les dépôts lagunaires ou matériaux salés plus ou moins récents qui peuvent être eux-mêmes des roches mères des sols et fournir leurs sels aux oueds qui les transportent jusqu'aux nappes superficielles plus ou moins profondes sous les sols des vallées et basses plaines ou les déposent à leur surface (Gaucher et Burdin , 1974).

La salinisation d'origine géologique, marine ou lagunaire correspond à une salinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches, de dynamique des eaux.

D'après (Szablocs, 1994) et la FAO cité in (Robert, 1996), la superficie totale concernée par cette salinisation naturelle est proche de mille millions d'hectares (995 ha) soit près de 5 % de la surface du globe.

3. Salinisation secondaire :

Dans les zones à climat aride et semi- aride, la pratique de l'irrigation représente l'une des plus importantes causes de la salinisation secondaire. Actuellement il y a environ 350 millions d'hectares irrigués dans le monde (Szablocs, 1994). Ces chiffres sont susceptibles d'être augmentés à l'avenir. En effet, (Hamdy et al, 1995) ont constaté que les terres irriguées affectées par la salinité correspondent à 27% de la surface irriguées dans le monde. Plus de la moitié des terres irriguées du monde sont salées, sodiques ou sujettes à l'engorgement. Cette menace selon (Chevery ,1995) occasionne, chaque année des pertes de terres variables selon les auteurs de 10- 12 millions d'hectares.

Deux causes seront plus particulièrement responsables de la salinisation des sols dans la région aride et semi-aride: l'utilisation d'eau chargée en sels pour l'irrigation et les remontés de nappe par déversement excessif d'eau sur les terres à irriguer :

1 - Utilisation d'eau trop chargée en sel : dans les régions arides, l'eau de pluie ne peut pas être considérée comme étant la source principale pour la plante, ses effets étant aléatoires en raison de l'irrégularité du climat. La réussite des productions végétales dans ces régions dépend de l'eau souterraine (Snoussi, 1998) Lorsque cette dernière est la seule source disponible pour l'irrigation, sa trop grande salinité peut causer une accumulation de sels dans la zone racinaire des cultures. Ce phénomène est généralement accentué lorsque le drainage interne du sol est restreint et que le lessivage (soit par les pluies soit par les doses d'eau appliquées) est inadéquat.

2 - Dans chaque bassin fluvial, avant l'introduction de pratiques d'irrigation, il existe un équilibre entre la pluviométrie d'une part, et le flux du cours d'eau, le niveau de la nappe, l'évaporation et la transpiration d'autre part. Cet équilibre est perturbé quand d'importantes quantités d'eau sont déversées dans la nappe pour l'irrigation: par les pertes et infiltration des canaux d'irrigation, mais également par les quantités d'eau excessives déversées sur les cultures pour satisfaire leur besoin en évapotranspiration et aussi par l'obstruction des voies de drainage naturelles induite par la construction de nouvelles structures dans la région en question (Infrastructures ,routes, etc....) Ces quantités d'eau ajoutées en excès dans la nappe vont élever la hauteur de cette dernière où vont créer une nappe perchée. Dès que la hauteur de la nappe se trouve à un ou deux mètres de la surface du sol, elle peut contribuer activement à l'évaporation de l'eau du sol et ainsi à la salinisation de la zone racinaire des cultures par accumulation de sels. Ces problèmes de salinisation peuvent être encore accentués lorsque la nappe est déjà relativement haute, ce qui est généralement le cas en zone aride (Maillard, 2001).

4. Caractéristiques des sols salés

La formation des sols salés est en relation étroite avec la présence de l'ion sodium Na^+ sous l'une ou l'autre de ses formes: saline (NaCl , Na_2SO_4) ou échangeable, parfois les deux. Les sols salés sont riches en sels solubles (Sols salins) ou en sodium adsorbé (sols sodiques ou alcalins) :

- Les sols salins (Solontchaks) ont pour principales caractéristiques leur richesse en sels de sodium neutres (NaCl chlorure de Sodium, Na_2SO_4 sulfate de sodium), mais contenant également des quantités appréciables d'ions chlorites et de sulfates de sodium, calcium et magnésium. Ces sols sont généralement dominants dans les régions arides et semi - arides.

- Les sols alcalins (Solonetz) sont riches en sodium échangeable et en revanche pauvres en sels solubles (sels alcalins, carbonates et bicarbonates de sodium, Na_2CO_3 principalement).

- Les sols alcalins se trouvent plutôt dans les zones semi - aride et sub - humide.

- Ces deux types de sols ont en fait des propriétés chimiques et physiques distinctes, d'où des effets sur les plantes, des traitements pour leur remise en valeur, une distribution géographique et une qualité des aquifères adjacents différents (Maillard, 2001)

Caractéristiques	Sols salins	Sols sodiques (alcalins)
Chimiques	- Dominés par des sels solubles neutres : chlorures et sulfates de sodium, calcium et magnésium.	- Peu de sels solubles neutres mais généralement des quantités appréciables de sels capables d'hydrolyse alcaline tel que les carbonates de sodium (Na_2CO_3).
	- Le pH de l'extrait de sol saturé généralement de moins de 8,2 (8,7 dans d'autres ouvrages)	- Le pH de l'extrait de sol saturé de plus de 8,2 (ou 8,7) et atteignant souvent 9 ou 10.
	- Conductivité électrique à 25°C ; CE >4Ms/cm.	- Conductivité électrique à 25°C CE <4Ms/cm.
Physiques	- En présence excessive de sels solubles neutres, la fraction argileuse est flocculée et le sol est stable.	- Un excès en sodium échangeable couplé à des valeurs de pH élevées rend l'argile dispersée et une instabilité structurale du sol.
	- La perméabilité à l'eau et à l'air de ces sols est généralement comparable à ceux des sols « normaux ».	- La perméabilité à l'eau et à l'air est restreinte. Les propriétés physiques de ces sols s'aggravent avec l'augmentation du pH et du sodium échangeable.
Distribution Géographique	Les sols salins dominent dans les régions arides à semi- arides.	Les sols alcalins se trouvent principalement dans les régions semi-arides et sub - humides.

Tableau 37 : Caractéristiques principales des sols salins et sodiques (Maillard, 2001)

Malgré en Afrique du Nord plusieurs auteurs ont cartographié et étudié les sols ; (Gaucher ,1947et 1959), (Durand ,1958), (Dresch ,1960), (Boulaine ,1957et 1989), (Ruellan 1967et 1971), (C.P.C.S,1967) , (Aubert, 1975) , (Vogt ,1983), (Alcaraz ,1982), (Pouget, 1980), (Halitim ,1985), (Benabadji et al, 1995et 2004), (Douaoui ,2005et 2006) , mais le déficit en cartographie pédologique et surtout les cartes de salinité des sols sur le territoire algérien, et notamment dans les Haut plateau , avait suscité l'intérêt de mettre en place des techniques et méthodes rapides et rigoureuses pour cartographie des sols.

En effet, Les nouvelles théories et applications liées au développement de la technologie et de l'informatique ont permis des avancées considérables dans les techniques de la cartographie des sols, la caractérisation des pédopaysages, le tracé des limites des types des sols, et l'analyse des variabilités spatiale et temporelle des éléments des sols tel que; la conductivité électrique du sol. Un certain nombre de technologies de l'information; les systèmes d'information géographique (SIG), les systèmes de positionnement global (GPS), associés aux analyses au laboratoire permettent de cartographier les paramètres et les types de sols rigoureusement.

L'élaboration d'une procédure d'analyse spatiale d'un processus avec un SIG implique fréquemment des traitements d'interpolation des données, pour estimer par exemple la valeur d'un paramètre de sol dans un secteur où l'on ne dispose pas de mesures. Selon les logiciels plusieurs outils peuvent être disponibles et adaptés au problème à traiter. Parmi ceux-ci, le krigeage qui est une méthode géostatistique permettant l'estimation de valeurs locales en considérant l'organisation spatiale des variables étudiées. C'est donc une méthode d'interpolation qui peut générer des surfaces estimées à partir d'un échantillon de points géoréférencés.

Le krigeage est une méthode stochastique d'interpolation spatiale qui prévoit la valeur d'un phénomène naturel en des sites non échantillonnées par une combinaison linéaire sans biais et à variance minimale des observations du phénomène en des sites voisins.

L'implémentation des techniques de Krigeage interne à un SIG permet d'exploiter ces méthodes sans transferts multiples de données puis de résultats à chaque traitement entre un SIG et un logiciel spécifique géostatistique. En restant dans un environnement SIG, l'utilisateur bénéficie également d'un accès aux fonctions de représentations et à des outils d'analyses complémentaires.

Durant les trois dernières décennies, la géostatistique a connue des succès importants dans plusieurs domaines scientifiques, tels que : exploration pétrolière et minière, hydrologie,

pédologie, etc. Elle est utile lorsque le caractère à étudier n'est pas visible à la surface du sol ou dans l'environnement (Legros, 1996).

Le couplage entre le GPS, le SIG et la géostatistique offrent des outils puissants et précis pour la cartographie et l'analyse spatiale de la conductivité électrique des sols (FAO, 1989), (Chikhaoui et al, 2004), (Gherina et al, 2009).

Dans le domaine des sciences des sols, Burgess et Webster (1980) ont été les premiers à utiliser cette méthode (KO) pour cartographier les variations spatiales des propriétés des sols et les différentes unités pédologiques. Depuis lors, cette méthode a été largement utilisée pour la cartographie de plusieurs propriétés des sols, telles que : la conductivité, le PH, la pollution et la distribution spatiale des sols (Heuvelink, 2001), (Navarro-Pedreno et al., 2007).

Les variogrammes et les cartes des différentes propriétés de sols obtenues par la géostatistique donnent des informations quantitatives sur les variations spatiales des propriétés analysées. Cet outil s'appuie sur des concepts stochastiques, avec l'hypothèse de base qu'il y a une certaine continuité spatiale des propriétés étudiées.

La mise en valeur du terrain agricole dans les régions à caractère climatique aride et semi-aride par la cartographie de la salinité doit être accompagnée par des études approfondies sur le terrain, au laboratoire et par fois en parcelles expérimentales. Celle-ci d'être nécessite encore développés pour mieux les connaître et les comprendre et mieux les utiliser.

On estime la salinité d'un sol à partir de mesures effectuées sur la conductivité électrique de celui-ci (Corwin, 2005), (Cooper Curtis Allen et al, 2006). Nombreuses sont les méthodes de mesures de la conductivité électrique (CE) Cependant la méthode de l'extrait dilué 1/5 (USSLS, 1954) que nous avons utilisé au laboratoire est généralement considérée comme la plus efficace pour la quantification de la salinité des sols (Mathieu et al, 2003). Selon (Richards, 1954), les sols salins ont une CE supérieure à 4 ds/m à 25°C.

Les sols de la plaine de Gadaine au Nord-est algérien sont formés par des alluvions quaternaires dont une bonne partie est touchée par ce processus. Cette salinisation généralisée des sols est liée aux caractéristiques morpho-climatiques de cette zone, mais aggravée par une salinisation rapide de ces espaces endoréiques.

Le travail est basé sur les données de salinité mesurées sur des échantillons prélevés sur terrain et soumis à l'application de l'analyse géostatistique dans le but de dresser une carte de synthèse sur l'état de la salinité des sols. De tels documents permettent d'orienter les actions d'aménagement et de mise en valeur dans ces zones marginalisées.

5. Matériel et méthode

5.1. Echantillonnage

Les échantillons ont été effectués et géoréférencés à l'aide d'un GPS de type Garmin (OREGON 550). Le GPS (Global Positioning System) est un système de navigation et de positionnement par satellite, qui a été développé par les Etats-Unis pendant les 20 dernières années. Il fonctionne grâce à 24 satellites qui tournent autour du globe sur 6 orbites différentes, avec un récepteur GPS, les signaux des satellites peuvent être reçus partout, gratuitement et à tout moment pour déterminer une position (Vincent, 2005 in Benmessaoud, 2008).

Les informations fournies par le GPS (longitude, latitude) ont été enregistrées sur chaque échantillon enlevé sur terrain, puis sont saisies sur la base de données au niveau de laboratoire.



Figure 70: Trois récepteurs GPS de type OREGON

L'échantillonnage des sols a été effectué avec une densité et une répartition permettant de couvrir toute la variation latérale des thématiques de terrain durant la saison d'été (moi de Juillet) 2013. Le choix de cette période coïncide avec l'accumulation des sels à la surface du sol et une couverture végétale réduite à sa plus simple expression. 259 points ont été échantillonnés et recueillis sur toute la zone d'étude couvrant environ 348 Km².

La (Figure 71) montre la répartition spatiale de nos points d'échantillonnage. Chaque échantillon d'environ 250 grammes a été prélevé à partir de la couche supérieure du sol (0 à 25 cm de profondeur), puis localiser géographiquement à l'aide d'un GPS assurant une précision planimétrique de ± 10 m

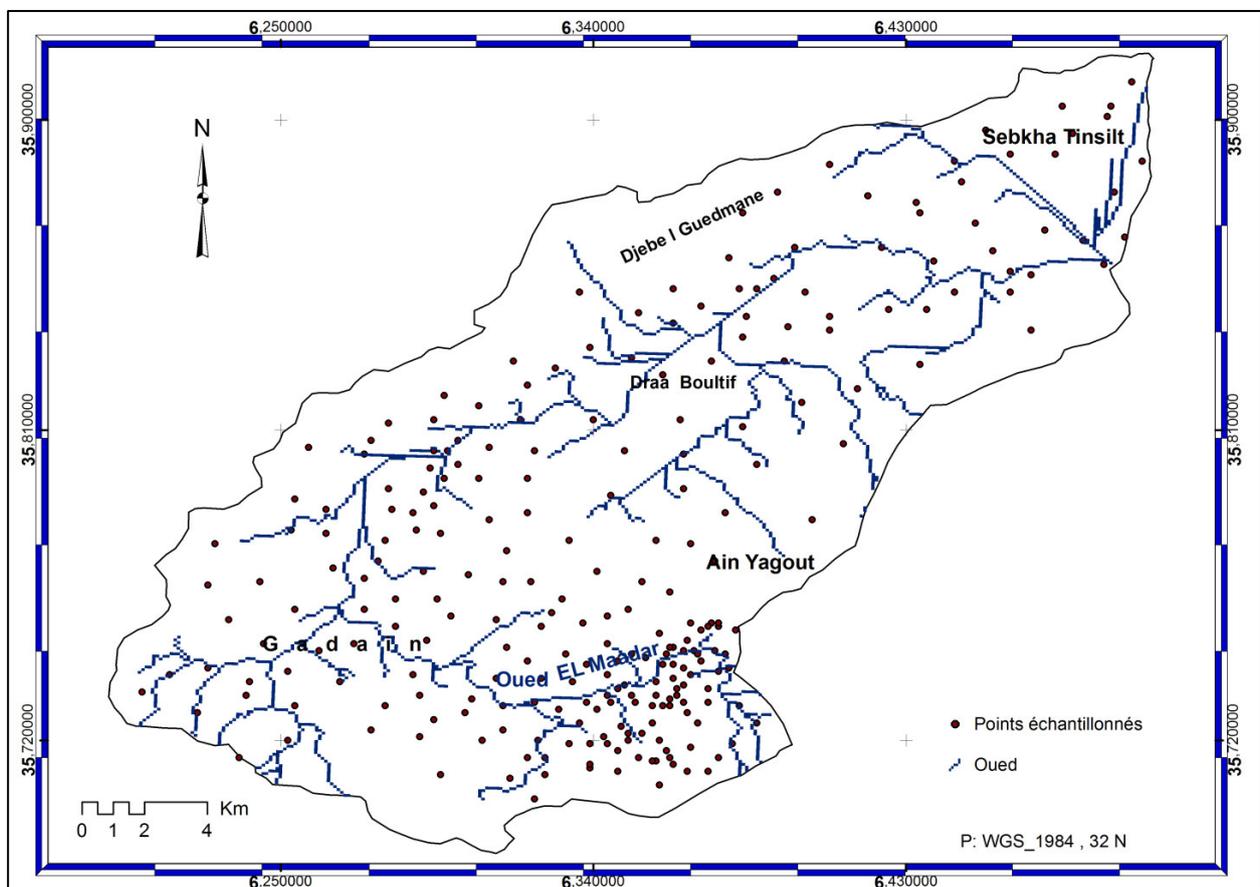


Figure 71 : Carte de la répartition spatiale des échantillons

5.2. Analyses au laboratoire

La salinité des 259 points échantillonnés au GPS (Figure 71), a été mesurée dans le laboratoire par la méthode de l'extrait dilué 1/5 (USSL, 1954).

La conductivité électrique sur extrait 1/5 (CE 1/5) à 25 °C a été déterminée après séchage à l'air, broyage et tamisage de chaque échantillon, selon la norme de l'Association française de normalisation (AFNOR) (la norme NF X02-107) :

Pour 20g de sol, on ajoute 100ml d'eau ultra pure et après agitation pendant 30mn, la conductivité électrique de l'extrait est mesurée à l'aide d'un conductimètre.



Figure 72 : Conductimètre INOLAB740

5.3. Traitements des données

Une fois les analyses des sols terminées, nous avons réalisé la carte de la salinité des sols en utilisant l'interpolation dans l'environnement SIG. Généralement, les méthodes d'interpolation spatiale permettent l'estimation de valeurs de variables inconnues à partir de valeurs observées connues selon certains critères et conditions.

La procédure géostatistique de krigeage (Webster et Oliver, 2001), fondée sur la théorie des variables régionalisées (Matheron, 1963) permet l'interpolation spatiale entre les endroits échantillonnés. Elle permet d'exploiter la corrélation spatiale entre des observations voisines dans l'espace pour prédire aux endroits non échantillonnés.

Dans le domaine de la cartographie pédologique, (Burgess et Webster ,1980) sont considérés les pionniers à avoir exploité cette approche (Krigeage ordinaire - KO) pour cartographier les variations spatiales de propriétés des sols. Depuis lors, cette méthode a été largement utilisée pour la cartographie de plusieurs propriétés des sols, telles que : la salinité,

la fertilité et la distribution spatiale des sols (Navarro-Pedreno et al, 2007), (Gherina et al, 2009).

Le Krigeage ordinaire (KO) est la méthode la plus générale et largement utilisée pour caractériser et cartographier la variation spatiale de la salinité des sols (Nawar, 2011), (Schloeder et al ,2001), (Reza et al, 2010), l'application de cette méthode est réalisée à l'aide d'une Plate-forme ArcGIS ; Geostatistical Analyst (ESRI, États-Unis, 2004),(Johnston et al, 2001).

Avec ArcGIS Geostatistical Analyst, on peut facilement créer une surface continue, ou une carte, à partir des points d'échantillonnage mesurées stockées dans une couche d'entités ponctuelles ou calque ou en utilisant des centres des polygones. Lorsqu'il est utilisé en conjonction avec ArcMap, l'analyse géostatistique fournit un ensemble complet d'outils pour créer des surfaces qui peuvent être utilisés pour visualiser, analyser et comprendre les phénomènes spatiaux.

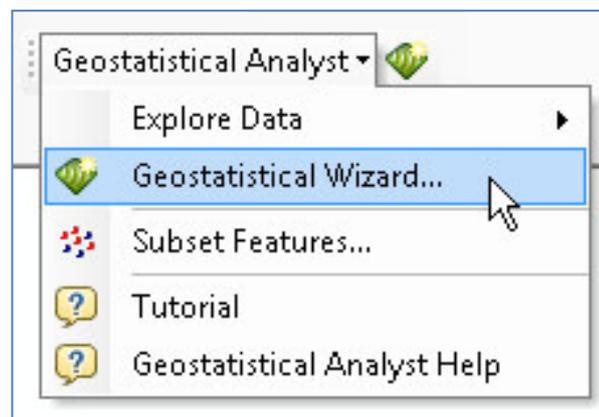


Figure 73 : La boîte de dialogue Assistant géostatistique

Pour cartographier les valeurs de la conductivité électrique, nous avons reparti les 259 données en 5 classes conformément au classement adopté par « Manuel USDA agricole 60 » comme suite:

non salines	Légèrement saline	modérément saline	fortement saline	très fortement saline
0-4 dS/m	4-8 dS/m	8-16 dS/m	16-32 dS/m	> 32 dS/m

Source : Lamond 1992

Tableau 38 : Mode de classement des sols salins

Les paramètres statistiques empiriques descriptifs des données de la CE sont présentés dans le tableau suivant (Tableau 39) :

Taille de l'échantillon	moyenne	Ecart type	maximum	minimum
259	10,71	21,98	98,5	0,17

Tableau 39 : Données Statistiques de la CE

Les données de la conductivité électrique vont être exploitées par l'analyse géostatistique pour que les informations soient spatialisées grâce à l'outil d'interpolation et de la modélisation de la structuration spatiale. Les données ont été interpolées par krigeage ordinaire, le modèle sphérique utilisé, s'ajuste bien à nos échantillons (Figure 74).

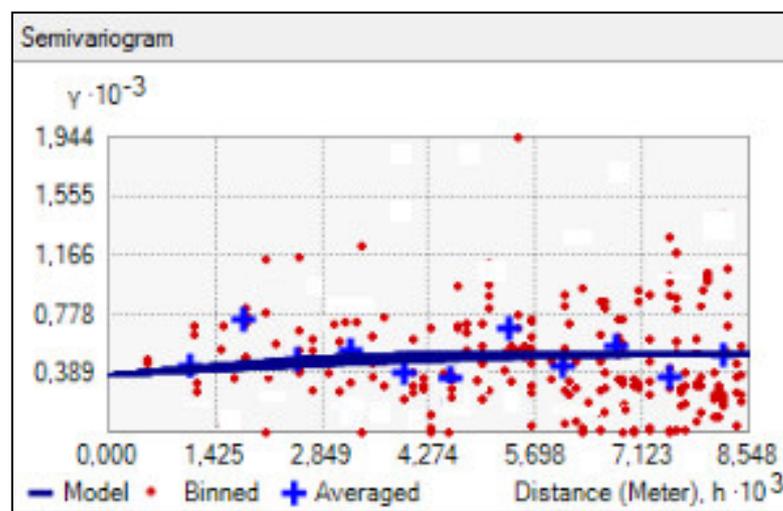


Figure 74 : Le semi-variogramme de la CE

5.4. Analyse de la variabilité spatiale

Le variogramme de CE est représenté sur la figure (Figure 74) et ses paramètres sont reportés dans le tableau (Tableau 40). La portée de la dépendance spatiale est de 2500 m, elle indique que deux observations séparées de moins de cette distance peuvent être considérées

comme spatialement dépendantes alors que celles qui sont séparées par une plus large distance sont indépendantes.

Tableau 40 : Les paramètres caractéristiques

Paramètres	Valeurs
Effet pépité (dS/m)	0,38
Portée (m)	2500
Effet pépité relatif (%)	0,49

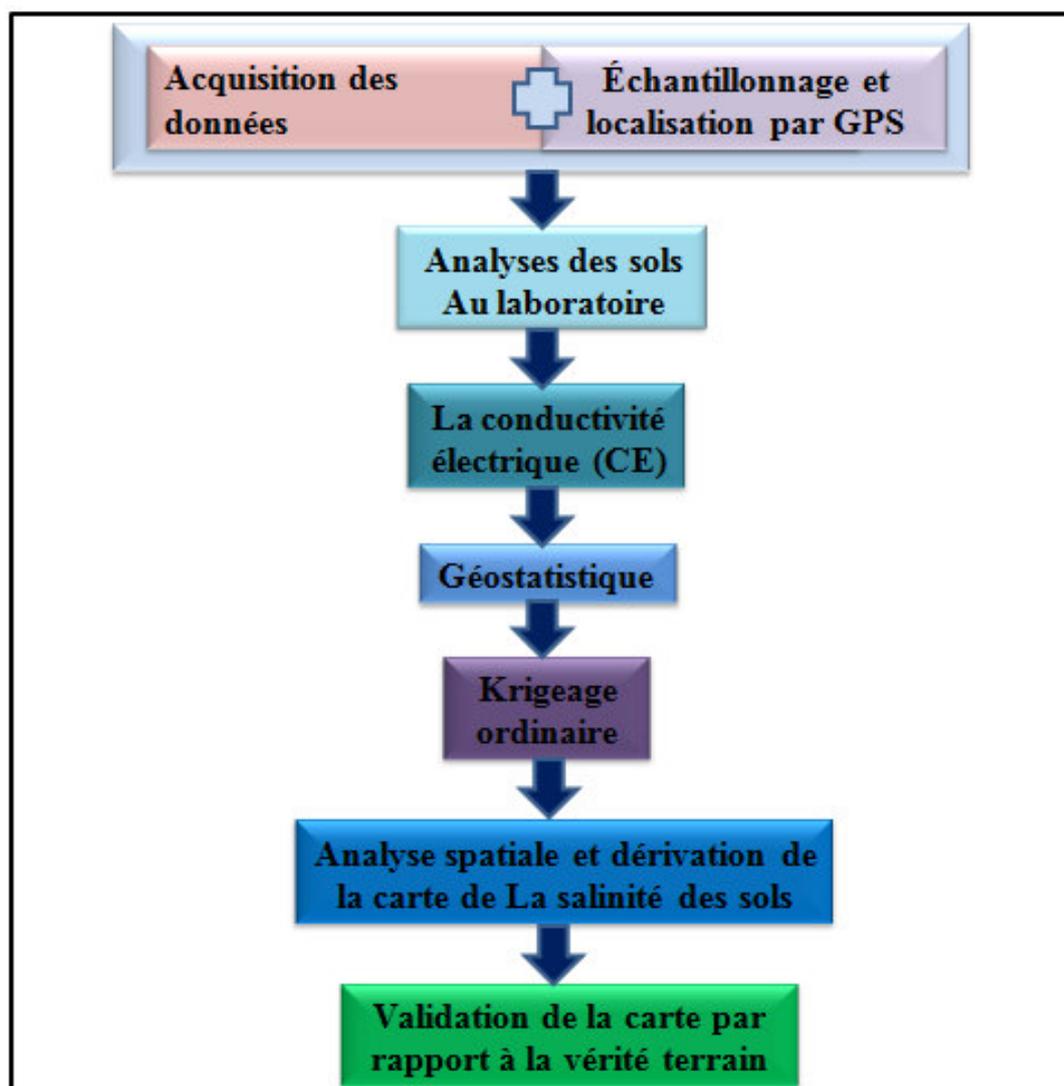


Figure 75 : Organigramme méthodologique pour la cartographie de la salinité des sols.

6. Résultats

La carte de la salinité obtenue par le krigeage (Figure 76) montre une grande variation de la salinité des sols sur le plan spatial, obéissant à de nombreux facteurs tels que : La topographie, le réseau hydrographique, l'intervention anthropique...etc. Cet état de la salinité spatialisée a fait l'objet d'une évaluation surfacique pour chaque classe (Tableau 41). Celle-ci servira à orienter les actions de mise en valeur agricole.

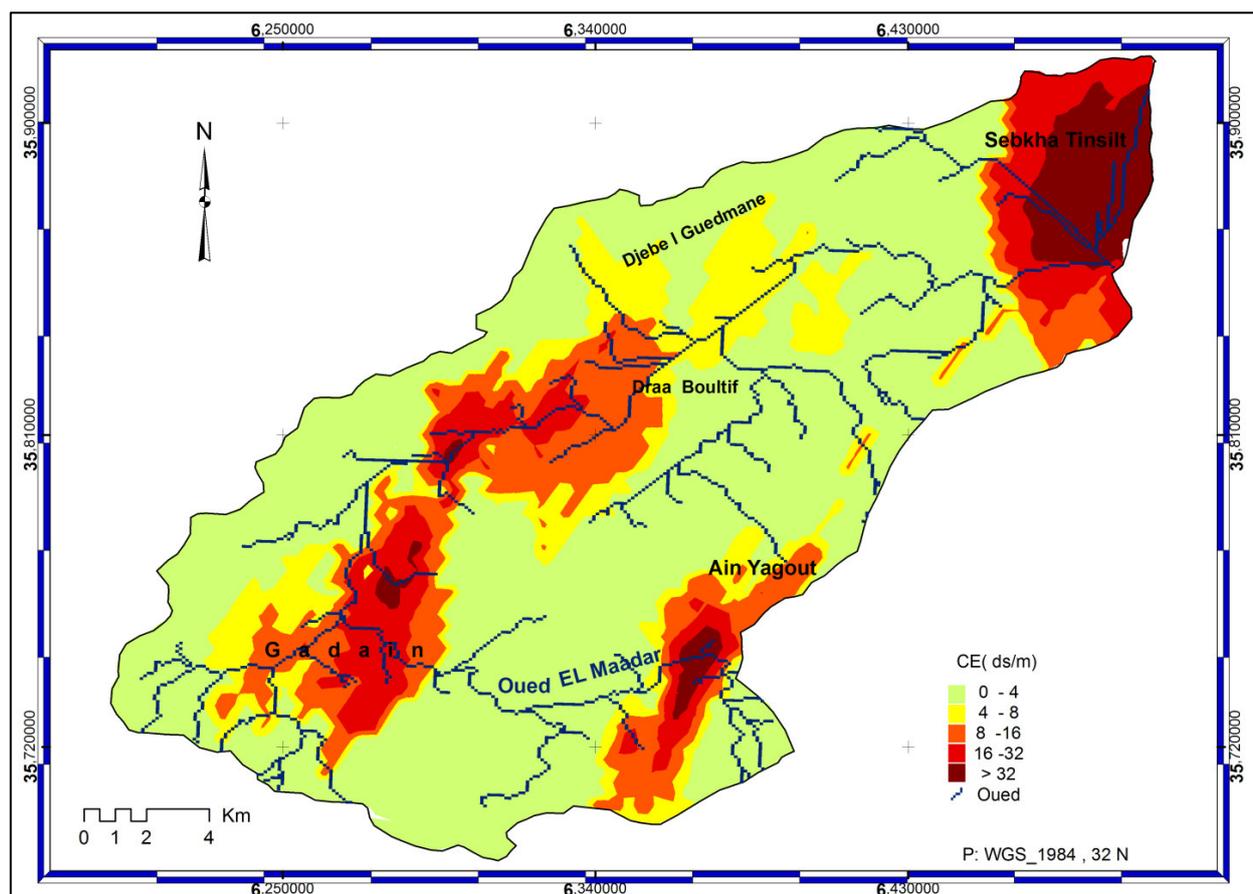


Figure 76 : Carte de la salinité estimée.

Classes de CE (dS /m)	Surface (Km ²)	%
0 - 4	203,67	58,52
4 - 8	48,43	13,91
8 - 16	46,78	13,44
16 - 32	31,68	09,10
> 32	17,44	05,01
	348	100

Tableau 41 : Superficies des classes de CE estimées

En effet, nous pouvons constater que:

- Les sols non salés < 4 ds/m représentent plus de la moitié 58% de la superficie totale de la zone d'étude, elles se localisent sur les bordures de la plaine de Gadain qui se caractérisent par une certaine pente engendrant un drainage naturels vers Oued El Madher, - émissaire principal- ce qui favorise une lixiviation des sels, évitant ainsi leur accumulation dans les profils. Cette catégorie des sols est souvent dédiée à la céréaliculture.

- Les sols légèrement salins (4- 8 ds/m) représentent presque 14% (48,43 km²) de la superficie totale, ils occupent les zones où les eaux de drainage et d'irrigation entraînent un début de salinisation, sous l'effet de l'anthropisation. Les aptitudes de cette classe semblent répondre plutôt aux cultures commerciales en l'occurrence le Tabac.

- Les sols modérément saline (8- 16 ds/m) couvrent une superficie similaire à la classe précédente avec 13,44 % de la superficie totale. Ce type occupe généralement les chotts et les zones de la transition entre ces derniers et les sebkhas.

- La classe des sols fortement salins (16 - 32 ds/m) occupent une superficie de 31,68 km² soit 09,10 %. Ces sols se localisent en auréoles des sebkhas, (sebkha Tinsilt et sebkha Falenta) où la salinité est supérieure à 32 dS / m représentant les espaces hyper salés de la cinquième classe.

Cette articulation spatiale des concentrations salines, prend la forme d'un dégradé des valeurs de la salinité à partir du milieu des sebkhas vers les zones limitrophes (les chotts et les terres semi arable). Cette variabilité spatiale obéie d'une part au niveau et à la durée de submersion des sebkhas et d'autre part à la dynamique éolienne qui assure le déplacement des particules des sels vers les bordures.

Cependant les caractéristiques topographiques des terrains notamment la densité des réseaux hydrographique et le niveau de drainage qu'il assure influent fortement sur les processus de salinisation.

Conclusion

La dégradation des sols est un phénomène généralisé, varié et complexe, n'épargnant aucun milieu bioclimatique. Les recherches menées ces dernières années montrent de manière incontestable le caractère préoccupant de ce fléau. Cette dégradation peut prendre la forme d'une érosion, d'un lessivage, d'une salinisation ou d'une pollution des sols.

Dans ce travail qui se focalise sur l'étude de la salinité et son articulation spatiale en milieu endoréique, nous nous efforçons d'évaluer l'étendue de la dégradation, les disparités spatiales du phénomène de salinité qui en découlent ainsi que les causes et les mécanismes qui en sont responsables.

En effet, les résultats montrent que près de 42% de la superficie totale est plus ou moins touchés par les processus de salinisation ($CE > 4ds/m$). Le risque touchera à terme les sols agricoles limitrophes et on assistera sans doute à des processus de dégradation irréversibles en égard au rythme d'anthropisation de ces espaces et en l'absence d'actions de protection et d'aménagement intégrées.

Il ressort de l'analyse spatiale que cette zone est soumise à une salinisation différentielle. Celle-ci s'accroît au niveau des dépressions occupées par les Sebkhass et diminue de façon progressive vers les bordures. Les concentrations se réduisent à leur plus simple expression dans les secteurs où le réseau hydrographique est le mieux hiérarchisé et le plus dense, assurant un bon drainage.

Enfin, les résultats ont montré la contribution de l'analyse géostatistique et la modélisation spatiale pour générer une cartographie numérique précise pouvant constituer un outil d'aide à la décision pour la gestion et la durabilité des terres agricoles dans les régions arides et semi arides.

CHAPITRE 05 :

CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE

ENVIRONNEMENTALE A LA

DESERTIFICATION PAR L'ADAPTATION DE

LA METHODE MEDALUS

Introduction

La désertification est un problème complexe et difficile à appréhender. Divers facteurs interviennent dans l'apparition et l'aggravation de la désertification dont principalement les fluctuations climatiques et les modes d'exploitation des ressources naturelles. Les méthodes utilisées pour l'évaluation de la vulnérabilité à la désertification sont nombreuses, mais, rares sont ceux qui ont un caractère d'utilisation universelle.

La zone endoréique de Gadaine a connu dernièrement une dégradation rapide et préoccupante des terres agricoles arables et d'autres ressources naturelles, sous l'effet conjugué de la pression anthropique et des changements climatiques de ces dernières décennies. Cette région relie plusieurs critères de vulnérabilité à la désertification, tels que: la dynamique et la progression des sebkhas et chotts (Bouahata, 2008), la salinisation des sols, la pollution (Temagoult, 2013) et la réduction de la production agro- pastorale. La réalisation d'une carte de vulnérabilité à la désertification est une étape indispensable à la protection de la ressource, la mise en valeur pour développement durable de cette région.

L'objectif de ce chapitre est l'élaboration d'une carte de vulnérabilité à la désertification liée à la salinisation des sols dans la zone endoréique de Gadaine, par l'utilisation d'un modèle adapté et ayant fait ses preuves, en l'occurrence, le modèle MEDALUS (Kosmas et al, 1999). Ce modèle a été en effet testé dans la plupart des pays du bassin méditerranéen et a montré de bons résultats (Brandt, 1996), (Geeson et al, 2002), (Basso, 2002), (Sephehr, 2007), il assure la précision, la vitesse de l'évaluation et de la cartographie sous les outils SIG (Kosmas et al, 1999).

1. Définitions et caractéristiques générales de la désertification.

Le terme désertification a été annoncé par un scientifique français, Lavauden en 1927 (Smith et al. 1999), et popularisé par un botaniste français, Aubréville en 1949. Cette expression a représenté un processus de dégradation du sol dû à l'homme en Afrique tropicale (Aubréville, 1949), (Glantz *et al.* 1983).

Depuis le milieu des années 1970, la désertification a bénéficié d'un intérêt considérable tant de la part des scientifiques, que des politiques et du public en général. Elle est actuellement reconnue comme étant une problématique environnementale majeure pour le 21^e siècle (World Bank, 2002) in (Benmessaoud, 2009).

La lutte contre la désertification n'a pas atteint ces objectifs à cause d'un manque d'une définition universelle de ce phénomène (Hellden, 1991). Plus de 130 définitions pour la désertification ont été recensées à l'échelle mondiale (Mainguet, 1991 et 1995), ce qui fait des controverses intellectuelles au-delà des compromis politiques. Chaque école a sa propre définition de la désertification; une école favorable à l'idée d'un changement climatique postglaciaire (dessiccation, l'aridité augmente progressivement) comme une grande force de la désertification affaiblies, d'autres ont souligné l'importance de l'impact humain. L'impact humain a été exprimé en termes de mauvaise gestion des terres, y compris sur la coupe, le surpâturage, sur la culture et l'utilisation abusive de l'eau entraîne la salinisation (Hellden, 2003).

La dégradation et la désertification des sols sont des problèmes historiques. Si le changement de climat peut avoir partiellement mené à de telles modifications environnementales, les activités humaines sont, cependant, les facteurs principaux de ces dégradations. Il n'existe pas à proprement parler d'avancée des déserts, mais plutôt des "éruptions sporadiques" (Thomas et al. 1994).

Les Nations Unies ont organisé plusieurs conférences sur la désertification où les événements internationaux les très importants sont : la Conférence des Nations Unies sur la désertification (UNCOD) à Nairobi 1977, la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED) à Rio de Janeiro en 1992 suivi par la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (UNCCD), adoptée en 1994 et entrée en vigueur en 1996 et en 2003.

Pour cet objet, une définition consensuelle du processus a été proposé par la Convention sur la lutte contre la désertification (UNCCD) : « la désertification désigne la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines».

La désertification concerne donc un processus de dégradation des terres lié à des facteurs naturels exacerbés par l'action de l'homme. La manifestation apparente du phénomène se traduit par une diminution du couvert végétale et des potentialités des systèmes écologiques et une détérioration des sols et des ressources hydriques.

Le phénomène de désertification qui touche les zones arides, semi arides et subhumides sèches (PNUE, 1991) et du (CNUED, 1992) résulte principalement de l'interaction des facteurs du milieu, de l'activité de l'homme et des variations climatiques. Ce phénomène se

manifeste par des processus qui aboutissent aux changements du couvert végétal, des éléments de la surface du sol (litière, sol nu, pellicule de glaçage, ensablement), à l'appauvrissement du sol et à sa disparition. Le stade final de ce processus de la dynamique rend la productivité biologique pratiquement nulle, ce qui crée une rupture des équilibres écologiques et socio-économiques (LeHouérou, 1979 et 1985), (Aidoud, 1996), (Bedrani, 1999). Aujourd'hui la désertification est considérée comme un problème environnemental majeur pour le 21^e siècle (World Bank, 2002).

D'après (UNCCD 2008); la lutte contre la sécheresse, la dégradation des terres et la désertification est une priorité internationale. En outre, la désertification est l'un des plus graves problèmes dans de nombreux pays. En Algérie, ce phénomène est le résultat d'une série de processus en milieux arides et semi-arides. Toutefois, les hauts plateaux et les steppes restent les plus sensibles à la désertification (Le houérou, 1995 et 2004) avec 20 millions hectares (UNCCD, 2002).

Selon (Salamani, 2012) ; les actions de lutte contre la désertification sont multiples et variées ; pour qu'elles soient efficaces, elles doivent agir en synergie. Ces actions qui commencent à prendre forme et à se multiplier doivent s'étendre et continuer sans relâche. À titre d'exemple on peut citer dans le domaine scientifique les projets et les actions suivantes : Suivi écologique à long terme (Roselt/ Oss, 2004 ; Oss, 2008) ; Projets de recherche internationaux pilotés par l'Union Européenne et certains pays européens (Cameleo, Pattern, Pesera, Dismed, Desurvey, etc.) ; Les plans LCD ou plans d'action de lutte contre la désertification des pays signataires de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification.

Une stratégie de suivi et de lutte contre la désertification passe nécessairement par une segmentation à petite et moyenne échelle des territoires afin de localiser et de quantifier l'ampleur des régions sensibles à la désertification. Ce type d'information qui s'inscrit en amont de la chaîne d'actions reste utile tant pour les décideurs que les chercheurs.

La notion de désertification est évaluée sur la base d'une mesure de la vulnérabilité des terres conjuguées avec la pression actuelle et future humaine et/ou animale. Il apparaît que l'utilisation de tels critères conduit à considérer les phénomènes de désertification comme évolutifs en fonction des facteurs climatiques et humains changeants. Une conséquence de cet état de fait a nécessité pour chaque pays de se doter des moyens d'analyser les phénomènes sur la base de critères acceptés mondialement (FAO, 1993).

Aujourd'hui, la désertification comme un défi grave, affecte la plupart des pays et se produit dans des conditions climatiques différentes. Dans de nombreuses régions du monde, en particulier dans les zones arides, des études ont été faites pour évaluer le taux de dégradation des terres et de la cartographie l'état de la dégradation. À cet égard, de nombreuses études ont été menées pour introduire la dégradation des terres par exemple les méthodes d'évaluation FAO-PNUE, modèle Turkménistan, GLASOD, MEDALUS, LADA, etc. Les chercheurs croient que les repères clés applicables sont nécessaires pour évaluer les processus de désertification. Il semble que le modèle MEDALUS institué par la Commission européenne (CE) en 1999 a des avantages apparents par rapport aux autres modèles.

2. Méthodologie

La méthodologie de ce travail est inspirée de celle développée dans le projet MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use), (Kosmas et al., 1999) identifiant la vulnérabilité à la désertification des écosystèmes méditerranéens par un indice de sensibilité à la désertification (ISD), obtenu à partir de la moyenne géométrique de quatre autres indices de qualité issus du milieu et de l'action de l'homme, ces indices sont liés à la qualité du climat (IQC), à la qualité des sols (IQS), à la qualité du couvert végétal (IQV) et à la qualité du Système de Gestion et de l'Influence Humaine (IQSG).

3. L'organisation des données

Chacun de ces indices est regroupé en différentes classes uniformes avec un facteur de pondération attribué à chaque classe, puis, quatre couches sont évaluées. Toutes les données définissant les quatre couches principales sont introduites dans une région géographique sous un système d'information géographique (SIG), (Sepehr, 2007)

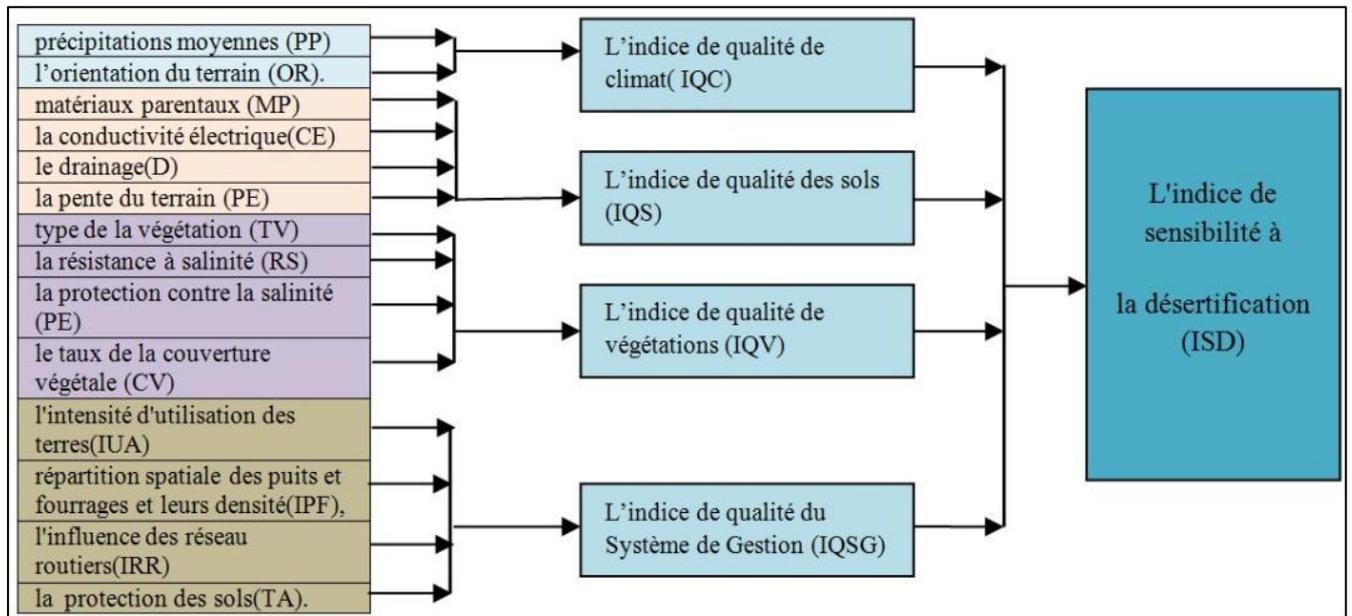


Figure 77 : Diagramme de cartographie des zones vulnérables à la désertification

La commande Overlay (overlay.mbx) permet la fusion des couches; la superposition est faite en combinant les bases de données de couches thématiques, le résultat est la création d'une nouvelle base de données (Benabderrahmane, 2010). Toutes les données géographiques sont intégrées et traitées dans un SIG basé sur MapInfo 9.0.

4 . L'indice de sensibilité à la désertification ISD

L'indice de sensibilité à la désertification ISD est donné par la relation suivante :

$$(ISD) = (IQC * IQS * IQV * IQSG)^{1/4} \dots\dots\dots(1)$$

5. Détermination des quatre indices de qualité:

5.1. Indice de la qualité du climat

L'indice de la qualité du climat sera déterminé en fonction de deux facteurs : l'indice des précipitations annuelles moyennes (PP) et l'indice de l'orientation du terrain (OR) (Tableau 42). Il est donné par la relation suivante : $IQC = (PP * OR)^{1/2}$

La détermination du facteur PP se fait selon la carte des isohyètes établie. Alors que le modèle numérique du terrain (MNT) permettra de générer les expositions du terrain qui serviront de base pour le calcul de l'indice OR.

Tableau 42 : Les classes et les poids affectés correspondant pour le calcul de l'indice de la qualité du climat

Facteurs	Classe	Description	indice
Les précipitations annuelles moyennes (PP)	1	> 350 mm	1
	2	300-350 mm	1.5
	3	< 300 mm	2
L'orientation du terrain (OR)	1	NW - NE	1
	2	SW - SE	2

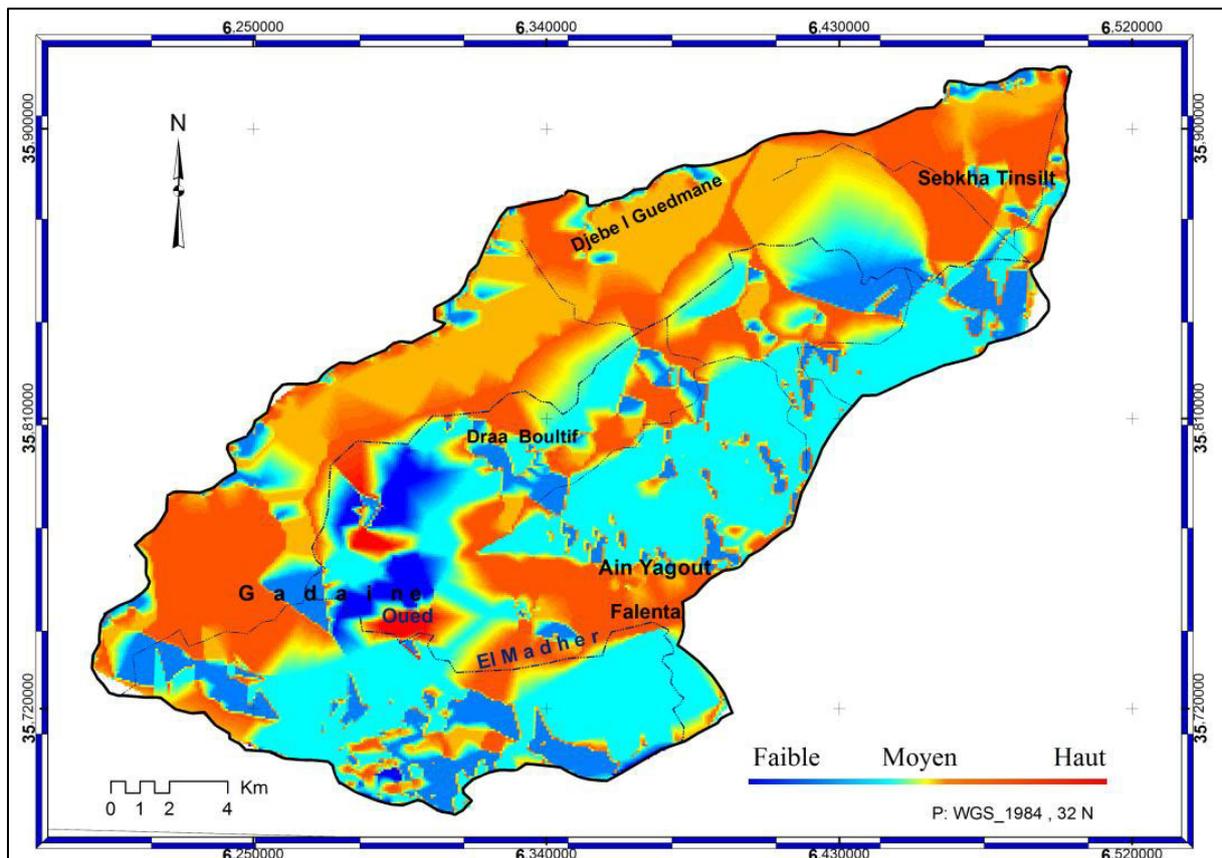


Figure 78 : Carte de l'indice de la qualité du climat

D'après la carte de l'indice de la qualité du climat (Figure 78) ; les zones des climats très vulnérables sont des zones où les versant sont exposés vers sud, inversement les zones des climats à faible vulnérabilité sont des zones exposées vers le nord .Ce qui montre le rôle d'exposition et l'effet de type des vents sur le phénomène de salinisation des sols.

5.2. Indice de la qualité des sols

Cet indice exprime la susceptibilité à l'enlèvement de particules fines du sol sous l'effet mécanique des vents, de la pluie et du ruissellement. Considérant l'homogénéité et l'importance de la répartition relative des sols (Basso et al. 1998). Cet indice sera obtenu en fonction des facteurs afférents aux matériaux parentaux (MP), à la conductivité électrique des sols (CE), au drainage (D) et à la pente du terrain (PE); (Tableau 43). L'indice de la qualité des sols (IQS) est donné par la relation suivante:

$$IQS = (MP * CE * D * PE)^{1/4}$$

Les cartes géologiques de (Ain el Ksar 1/50000 et Ain M'lila 1/50000), la carte de la conductivité électrique des sols et les données SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de l'USGS (NASA) de la zone d'étude sont les documents de base pour la détermination des différents paramètres. En effet, les données SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) sont relativement simples à acquérir et à traiter et demeurent également les plus utilisées.

Tableau 43 : Les classes et les poids affectés correspondant pour le calcul de l'indice de la qualité du sol

Facteurs	Classe	Description	Caractéristiques	Indice
Matériau parental (MP)	1	-Cohérent	- Calcaires, dolomies, ophites	1
	2	-Moyen	- Marnes bariolés et gypses bréchiqes	1.5
	3	-Tendre à friable	- Sols de sebkha, Sols salés anciens, Terres arables	2
La conductivité électrique	1	très faible	< 4	1
	2	faible	4-8	1.2
	3	moyenne	8-16	1.5

(CE) ds/m	4	élevé	16-32	1.7
	5	très élevé	> 32	2
Le drainage (D)	1	bien drainé		1
	2	drainage		1.2
	3	imparfait mal drainé		2
La pente du terrain (PE)	1	Très doux à	< 5%	1
	2	plat		
	3	Douce	5-10%	1.2
	4	Peu rapide	10-20%	1.5
		Très rapide	> 20%	2

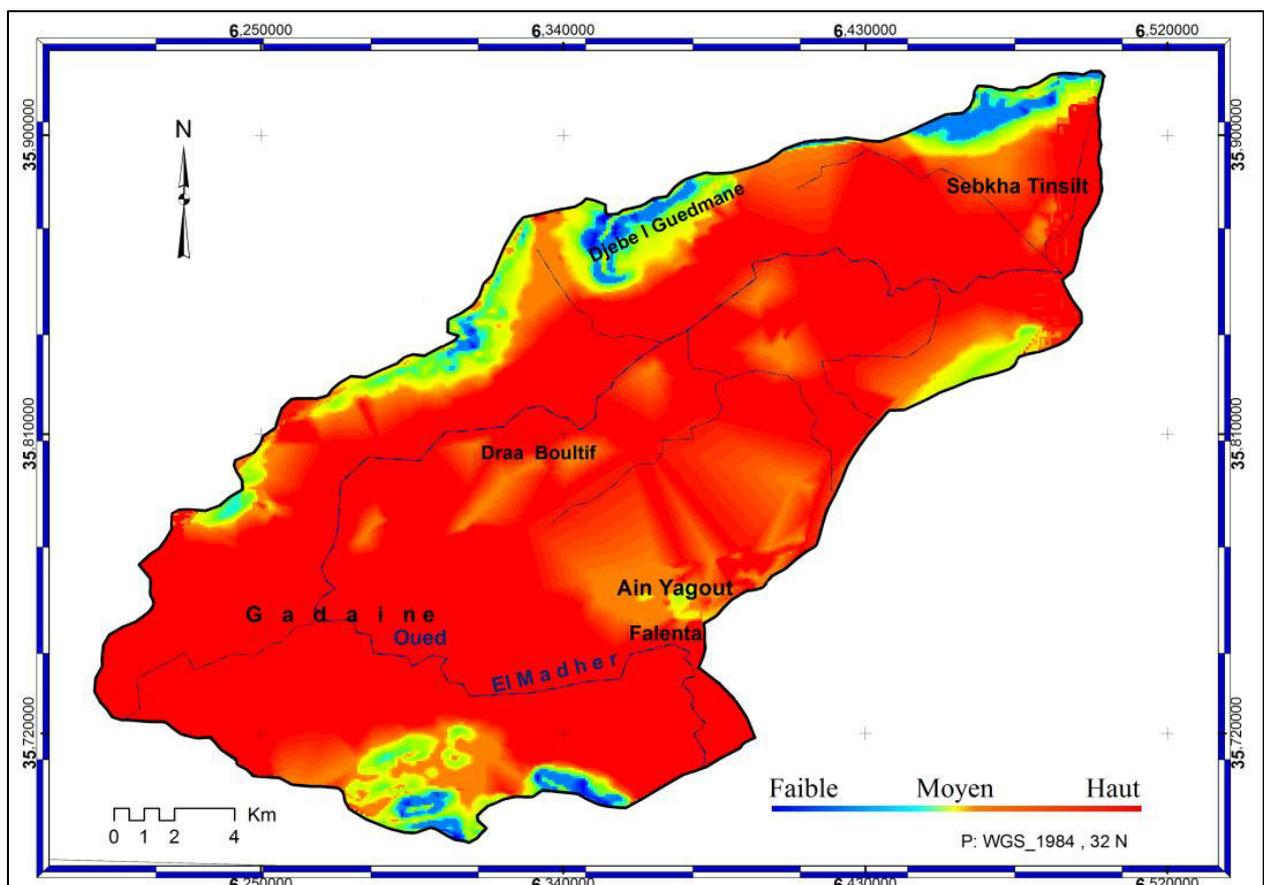


Figure 79 : Carte de l'indice de la qualité des sols.

La carte de l'indice de la qualité des sols (Figure 79) montre que ; la classe des sols à mauvaise qualité (très vénérable) s'étend sur une superficie de 213,8 km² soit un taux de 61,43 % de la surface totale, elle occupe le milieu de la zone d'étude. Elles se superposent avec les sols des sebkhas et chotts et les sols salés anciens et les surfaces en auréoles où la conductivité électrique des terrains est élevé à très élevé et la pente est comprise entre 0-8 %. La classe des sols à faible vulnérabilité, elle occupe les zone ou la pente est considérable ce qui favorise un bon drainage.

5 .3. Indice du couvert végétal

Cet indice est déterminé par la superposition des données cartographiques concernant les facteurs relatifs au type de la végétation (TV), à la résistance à la salinité (RS), à la protection contre la salinité (PE) et au taux du couvert végétal (CV) ;(Tableau 44).

L'indice du couvert végétal (IQV) est donné par la relation suivante:

$$IQV = (TV \times PE \times RS \times CV)^{1/4}$$

En zones arides et semi arides, l'évaluation de la dégradation des milieux et de leur sensibilité à la désertification ne peut se faire qu'au travers de l'inventaire des ressources naturelles. La télédétection en apportant une information et une vue synoptique, actualisée et répétée de ces paysages. Elle est apparue en ses débuts comme une solution prometteuse face à ce besoin (Long et al, 1978), (Escadafal et Pouget, 1989).

L'image satellitaire Landst TM (2009) et la carte d'occupation des sols serviront d'élément de base pour la détermination et l'indexation de ces facteurs.

Tableau 44 : Les classes et les poids affectés correspondant pour le calcul de l'indice de la qualité du couvert végétale

Facteurs	Classe	Description	Caractéristiques	Indice
Type de la végétation (TV)	1	Culture		1.2
	2	irriguée		
	3	Les céréales		1.5
		Halophytes		2

La résistance à salinité (RS)	1	-Elevée	-Halophytes	1
	2	-Moyenne	-Les cultures commerciales (tabac)	1.7
	3	-Faible	-Les céréales et les Culture irriguée	2
La protection contre la salinité (PE)	1	Elevée		1.2
	2	Moyenne		1.8
	3	Faible		2
Le taux du couvert végétal (CV)	1	-Elevée	-Culture irriguée	1
	2	-Moyenne	-Forêt	1.2
	3	-Faible	-Chotts	1.5
	4	-Très faible	-Sols nus et sebkha	2

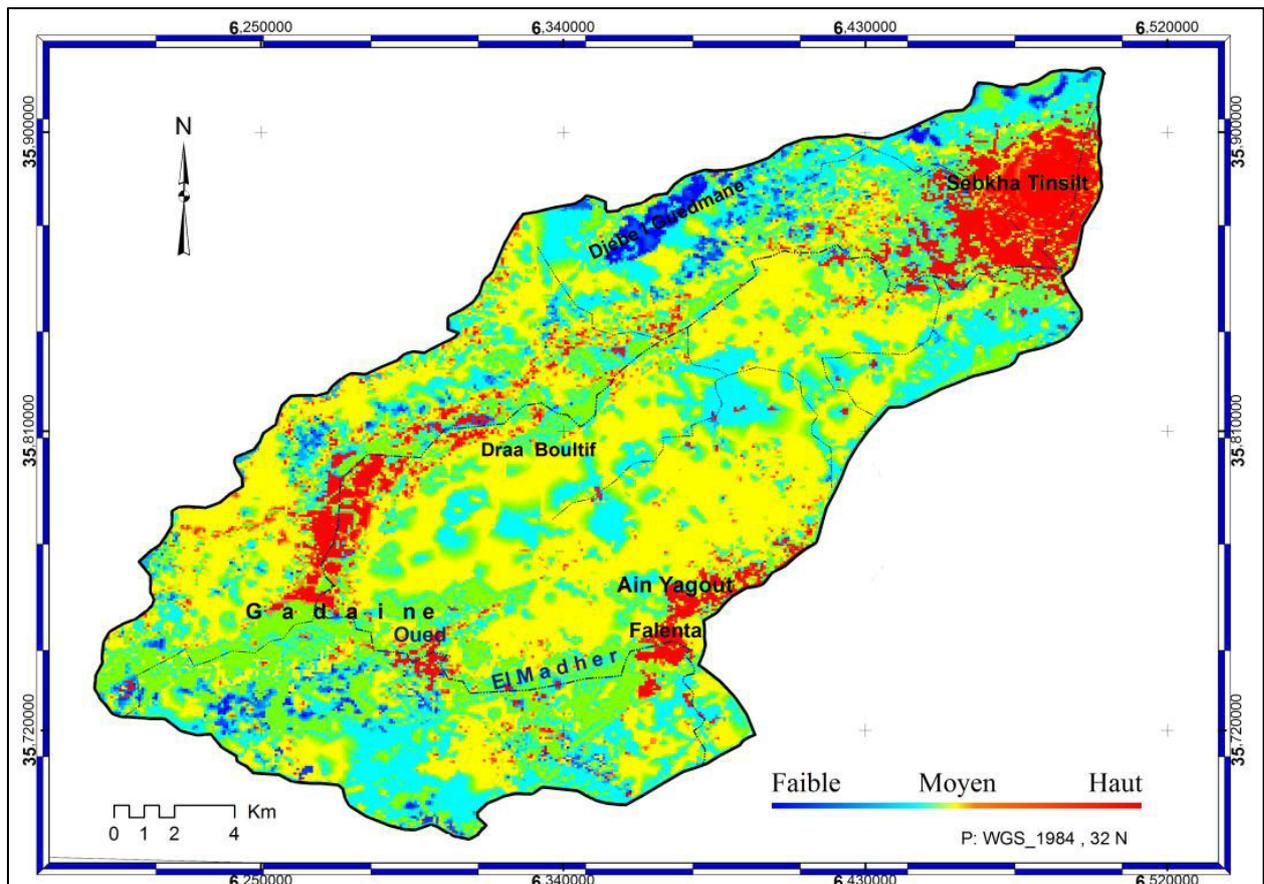


Figure 80 : Carte de l'indice de la qualité du couvert végétale

La carte obtenue pour l'indice de la qualité du couvert végétale (Figure 80) montre bien que; les surfaces de bonne qualité (faible vulnérabilité) occupent 2,68 km²; 0,78 % de la surface totale, cette classe est occupée par une végétation forestière (Pin d'Alep).

La classe à qualité moyen vulnérable. Elles se superposent avec les types de la végétation Halophytes qui ont une résistance à salinité très élevé, cette classe est majoritairement occupe les chotts.

Pour les zones de mauvaise qualité (haute vulnérabilité), elles s'étendent sur une superficie de 3,57 km², soit 1,025 % de la surface totale de la zone d'étude. Elles occupent les zones où le taux du couvert végétal est très faible et superposent avec les sols nus et les sebkhas.

5.4. Indice de la Qualité du Système de la Gestion et de l'Influence Humaine

Compte tenu le caractère endoréique de la zone d'étude, on a pris en considération dans le calcul de cet indice: l'intensité d'utilisation des terres agricoles (IUTA), la répartition spatiale des puits et forages et leurs aires d'influence (IPF), le type et l'influence des réseaux routiers (TRR) ainsi que les travaux d'aménagement et la protection des sols (TA) (Tableau 45). L'indice de qualité du système de gestion et de l'influence humaine sera donc calculé par l'équation suivante : $IQSG = (IUA * IPF * TRR * TA)^{1/4}$

L'intensité d'utilisation des terres agricoles sera classée en fonction des types de cultures utilisées en se basant sur la carte d'occupation des sols.

Les cartes topographiques de la zone d'étude (Batna Est 1/50000, Batna Ouest 1/50000, Souk Naaman Est 1/50000 et Souk Naaman Ouest 1/50000) serviront d'un document de base pour la détermination et l'indexation des données cartographiques et alphanumériques concernant les facteurs relatifs à la répartition spatiale des puits et des forages et leurs densité (IPF), au type et l'influence des réseau routiers (TRR) et aux travaux d'aménagement et la protection des sols (TA).

Tableau 45 : Les classes et les poids affectés correspondant pour le calcul de l'indice de la qualité du système de gestion et de l'influence humaine

Facteurs	Classe	Description	Caractéristiques	Indice
L'intensité d'utilisation des terres agricoles (IUA)	1	-Culture irriguée		1
	2	-Les céréales		1.5
	3	- terres nues		2
La répartition spatiale des puits et forages et leurs aires d'influence (IPF)	1	Faible	< 75 m	1
	2	Moyenne	150 m	1.7
	3	Elevée	> 300m	2
Le type et l'influence des réseaux routiers (TRR)	1	Faible	- pistes	1.2
	2	Moyenne	-Routes communale et de wilaya	1.8
	3	Elevée	-Routes national	2
Les travaux d'aménagement (TA)	1	Bon	-Zones aménagées ou en bon état	1
	2	Moyen	-Zones aménagées nécessitant d'entretien	1.5
	3	mauvais	-Zones nécessitant des travaux d'aménagements	2

seulement le degré du phénomène de la désertification, mais aussi, le risque et la gravité de la dégradation des ressources naturelles.

Tableau 46 : Classes de la vulnérabilité à la désertification

Description	Faible	Moyenne	Haute
Classe	1 - 1.33	1.33 - 1.54	1.54 – 2

L'examen de la carte de la vulnérabilité liée à la désertification (Figure 82), montre qu'une bonne partie des sols de la région de Gadaine sont assez vulnérables à la désertification liée à la salinisation des sols.

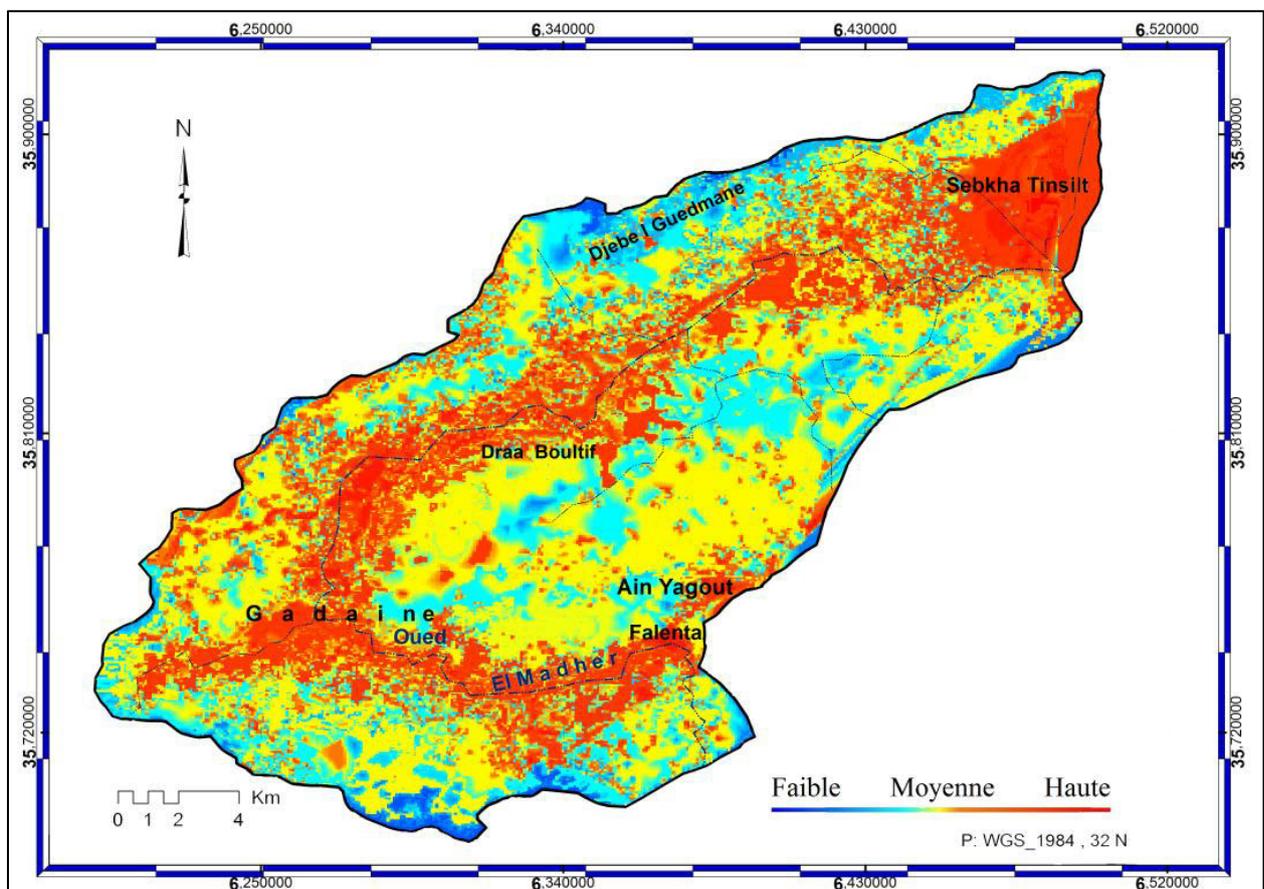


Figure 82 : Carte de la vulnérabilité à la désertification

D'après la carte de la vulnérabilité à la désertification précédente :

- Les zones sérieusement menacées par la désertification et qui sont constituées par les terres très vulnérables (critique) sont localisées généralement au milieu de la zone d'étude. Elles se superposent avec les terrains dont la pente entre 0 et 8% et occupent les superficies des sebkhas et chotts et les surfaces en auréoles de ces dernières où la salinité (CE) est supérieure à 16 ds / m.

- Les zones relativement menacées par la désertification et qui sont constituées par les terres moyennement sensibles occupent les zones où les eaux de drainage et d'irrigation entraînent un début de salinisation, sous l'effet de la pression anthropique. Les aptitudes de cette classe semblent répondre plutôt aux cultures commerciales telles que le Tabac.

- Les zones peu vulnérables à la désertification se localisent sur les bordures de la plaine de Gadaine. Elles se caractérisent par une certaine pente engendrant un drainage naturel vers Oued El Madher (émissaire principal), ce qui favorise une lixiviation des sels en évitant ainsi leur accumulation dans les versants.

- Plus de deux tiers (2/3) des sols de la zone d'étude sont moyennement à très menacés par la désertification, ce qui nécessite la mise en œuvre d'un programme de protection et d'aménagement à court et à long terme pour la lutte contre ce phénomène environnementale. Les résultats ont également montré que la pente, la lithologie, le type des sols, le réseau hydrographique, le drainage et le couvert végétal sont les indicateurs les plus importants affectant le processus de la désertification. Cet indésirable état a été accéléré par l'anthropisation rapide de cette zone.

Conclusion

La désertification par salinisation des sols comme un processus de dégradation des terres agricoles dans les zones arides et semi aride est très répandue dans les zones endoréiques algériennes. Dans la région de Gadaine située à l'Est Algérien, plus de deux tiers de la superficie totale (348) km² sont moyennement à très menacées par le problème de la désertification. Dans cette étude, on a essayé de cartographier la vulnérabilité à la désertification par l'adaptation de la méthode MEDALUS et l'utilisation des outils de SIG.

Les résultats ont montré l'intensité et la gravité des processus de désertification dans cette zone et nous donnent un aperçu sur l'évolution d'écosystèmes, qui peut être utilisé comme un outil essentiel pour aider à la décision et à l'aménagement (c'est à dire la définition des zones prioritaires à l'intervention pour la lutte contre l'évolution de la désertification).

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Les zones endoréiques connaissent une extension importante en Algérie, notamment dans la région des hauts plateaux, elles sont caractérisées par une hydrologie et une morpho dynamique particulières. Ce sont de véritables réceptacles d'apport liquides et solides provenant des reliefs environnants à l'égard de sa situation de niveau de base local. Ces dépressions fermées sont souvent le siège des activités humaines importantes, elles ont libéré une dynamique de socialisation rapide et continue, mais surtout mal contrôlée, raison pour laquelle elles constituent des espaces vulnérables au phénomène de dégradation environnementale et de désertification.

Les processus de désertification sont des phénomènes complexes, évolutifs, résultant de la combinaison de plusieurs facteurs, qui agissent sur toutes les composantes des écosystèmes. La dégradation environnementale est liée directement à la vulnérabilité du milieu, qui est déterminée par le type du climat, la nature des reliefs, l'état du sol et de la végétation, et parfois l'anthropisation qui constitue un élément catalyseur. Le climat par ses divers facteurs régit les phénomènes d'érosions. Le relief influe sur le réseau hydrographique et contribue au phénomène de stagnation des eaux de surface qui relie les processus d'évaporations d'état du sol et de la végétation ainsi que l'intervention humaine contribuant à aggraver et à accélérer ces processus.

C'est dans ce contexte que nous avons choisi d'étudier, les phénomènes de la dynamique des sebkhas et chotts et la salinisation des sols en tant qu'indicateurs de l'état de désertification dans les zones endoréiques de l'Est Algérien. Cette dynamique peut apparaître à la fois comme une cause et/ou une conséquence de la désertification.

Nous nous sommes basé sur la dégradation environnementale par l'étude et l'analyse des différents facteurs et conditions du milieu qui ont contribué à la vulnérabilité de la plaine de Gadaine et ses bordures. Celle-ci s'intègre dans les zones arides et semi-arides des hauts plateaux de l'Est Algérien.

A ce titre, l'utilisation des techniques et des méthodes de la Géomatique est devenue indispensable pour dresser des résultats fiables sur la dégradation du milieu et l'évaluation spatiale de la désertification. L'apport de la télédétection est une excellente source d'information pour étudier, appréhender et cartographier le phénomène de la dynamique d'occupation du sol, notamment celle liée à la dynamique des sebkhas et chotts par le traitement des images satellitaires (Landsat TM) multi-dates. L'étude montre que les surfaces des sebkhas et chotts ont augmenté d'une manière alarmante entre l'été 1987 et l'été 2009

dans la plaine de Gadaine et ses bordures, cette transgression est un indicateur de dégradation rapide des écosystèmes.

Pour la cartographie de la salinité des sols, la synergie entre le GPS, les SIG et la géostatistique offre des outils puissants et précis pour la cartographie et l'analyse spatiale de ce phénomène. Les résultats montrent que près de 42% de la superficie totale est plus ou moins touchée par les processus de salinisation ($CE > 4ds/m$). Le risque touchera à terme les sols agricoles limitrophes. Il ressort de l'analyse spatiale que cette zone est soumise à une salinisation différentielle. Celle-ci s'accroît au niveau des dépressions occupées par les Sebkhass et diminue de façon progressive vers les bordures. Les concentrations se réduisent à leur plus simple expression dans les secteurs où le réseau hydrographique est le mieux hiérarchisé et le plus dense, assurant un bon drainage.

Pour la cartographie et l'évaluation de la vulnérabilité à la désertification par salinisation des sols dans cette zone endoréique, nous nous sommes basés sur un modèle inspiré de celui de la méthode MEDALUS. Celle-ci est basée sur quatre indices composites, chacun comprenant plusieurs sous-indicateurs, leurs analyses par l'utilisation des SIG ont fourni un énorme gain de temps, de précision et de fiabilité des résultats. Par conséquent, le SIG est un outil précieux pour stocker, extraire et manipuler d'énormes quantités de données nécessaires pour cartographier la vulnérabilité à la désertification dans les zones arides et semi-arides. Les résultats ont montré l'intensité et la gravité des processus de désertification dans cette zone et nous donne un aperçu sur l'évolution d'écosystèmes,

L'analyse des résultats obtenus à partir de cette étude montrent l'importance du phénomène de la vulnérabilité à la désertification qui menace pratiquement toute la zone. Plus de deux tiers de la superficie totale (348) km² sont menacés par le problème de la désertification et qui apparaît à travers les différents phénomènes et formes de désertification (la transgression des sebkhass et chotts, la réduction du couvert végétal naturel, l'étendue du phénomène de salinisation des sols et la dégradation des terres agricoles).

Pour une gestion efficace et durable et pour la lutte contre la désertification dans les zones et les milieux endoréiques, il est nécessaire d'impliquer une excellente connaissance des différents facteurs composants ces milieux, leurs interactions entre eux et leurs variations et dynamiques spatio-temporelles. Une connaissance qui doit être fondée sur l'application des différents outils et techniques de la Géomatique pouvant faciliter et réduire les difficultés de gestion inhérentes à la masse d'informations. Cela doit viser à améliorer la préservation et la protection des ressources naturelles dans ces milieux marginalisés pour une exploitation durable, modérée et judicieuse.

Dans cette perspective de lutte contre la désertification dans ces régions, le développement durable des écosystèmes endoréiques doit être soutenu par des actions de développement. Il est bien évidant que toutes ces actions doivent s'inscrivent dans le cadre d'un plan de développement globale des zones endoréiques de l'Est Algérien, impliquant tous les acteurs et décideurs concernés et soutenu par les pouvoirs publics.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Abdelguerfi A., et Laouar M., (2000)** Conséquences des changements sur les ressources génétiques du Maghreb, Options Méditerranéennes, Sér. A, N0 39, pp 77-87.
2. **Aidoud A., (1989)** Contribution de l'étude des écosystèmes pâturés (Hautes plaines Algéro-Oranaises). Thèse Doct., USTHB, Alger.
3. **Aidoud A., (1996)** La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima* L), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. *Sécheresse*, 7, pp 187-93.
4. **Aimé S., (1991)** Etude écologique de la transition entre les bioclimats sub-humides, semi-arides dans l'étage thermo-méd. du Tell oranais (Algérie nord occidentale). Thèse doct. Univ. Aix-Marseille III. 190 p. + annexes.
5. **Alcaraz C., (1982)** La végétation de l'Ouest algérien. Thèse d'état, Univ. Perpignan, 415 p.
6. **Allbed A., and Kumar L., (2013)** Soil Salinity Mapping and Monitoring in Arid and Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Technology, *Advances in Remote Sensing*, Vol. 2 No.4, pp 373-385.
7. **Aubert G., (1975)** Les sols sodiques en Afrique du Nord. *Annales de l'INA Alger*, n° 6, 185-195.
8. **Aubreville A., (1949)** Climats, Forêts et Désertification de l'Afrique Tropicale. Paris, Société d'Editions Géographiques, Maritimes et Coloniales.
9. **Ayers R., S., and Westcott D., W., (1989)** Water quality for agriculture. [FAO] Irrigation and Drainage Paper, n° 29.
10. **Bannari A., El-Harti A., Haboudane D., Bachaoui M., et El-Ghmari A., (2008)** Intégration des variables spectrales et géomorphométriques dans un SIG pour la

Cartographie des Zones Exposées à l'Érosion. Revue Télédétection, Vol. 7, n° 1- 2-3-4, pp. 327-342.

11. **Bardinet C., (1994)** Télédétection de l'aridité et de l'environnement en Afrique du Sahara au Sahel ; Revue de géomorphologie dynamique, Paris, t. XLIII, n° 1, pp 09-22.
12. **Basso F., Bellotti A., Bove E., Faretta S., Ferrara A., Mancino G., Pisante M., Quaranta G., and Taberner M., (1998)** Degradation processes in the Agri Basin: evaluating environmental sensitivity to desertification at basin scale" Proceedings International Seminar on 'Indicator for Assessing Desertification in the Mediterranean" Porto Torres, Italy 18 - 20 September. Supported by ANPA via Brancati 48 - 00144 Roma, pp 131-145.
13. **Basso F., Bove E., Dumontet S., Ferrara A., Pisante M., Quaranta G., and Taberner M., (2002)** Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: an example covering the Agri basin (Southern Italy), Catena,40, pp 19-35.
14. **Bédrani S., et Djenane A., (1997)** Effets des politiques agricoles sur les comportements productifs et les revenus des exploitants agricoles : cas de la zone sud de la wilaya de Mila. In Les Cahiers du CREAD, n° 2, 1997.
15. **Bédrani S., Benadjila S., et Ghazi M., (1995)** Contribution à la connaissance des zones steppiques algériennes : les résultats d'un suivi triennal d'agro-pasteurs de la steppe centrale. In Les Cahiers du CREAD, n° 38, 3ème trimestre.
16. **Bédrani S., Djenane A., et Boukhari N., (1997)** Les politiques de prix, de subvention et de la fiscalité sur l'agriculture en Algérie. In Options Méditerranéennes, Série B : Etudes et Recherches, n° 11, 1997.

17. **Bédrani S., (1994)** Savoirs locaux traditionnels, dégradation des terres et processus de désertification dans les pays du Maghreb. CRDI (Canada). 1994.
18. **Bédrani S., (1994)** La place des zones steppiques dans la politique agricole algérienne, In Paralelo 37°, Revista de Estudios Geographicos, n° 16. Anos 1993/94. (Almeria, Espagne).
19. **Bedrani S., (1998)** Désertification et emploi en Algérie. In les Cahiers du CREAD, n° 4, 1998.
20. **Bédrani S., (2001)** Stratégies et politiques agricoles des pays du Maghreb central. In Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture du France, Vol. 87- n° 2-2001.
21. **Begni G., Escadafal R., Fontannaz D., et Hong-Nga Nguyen A., T., (2005)** La télédétection, un outil pour le suivi et l'évaluation de la désertification. CSFD, Dossier n°2 du Conseil scientifique français de la désertification (CSFD). Montpellier, Agropolis, n° 2, pp 48.
22. **Begni G., Escadafal R., Fontannaz D., et Hong-Nga Nguyen A., T., (2007)** La télédétection un outil pour le suivi et l'évaluation de la désertification, le Comité Scientifique Français de la Désertification (CSFD) ISSN : 1172-6964 février 2007.
23. **Belkhodja M., Bidai Y., (2004)** Réponse des graines d'Atriplexhalimus L à la salinité au stade de la germinat .Sécheresse n° 4, vol. 15, pp 331-5.
24. **Ben Azzouz M., T., (1986)** Recherche géomorphologiques dans les hautes plaines de l'est algérien : la sebkha Tarf (Algérie) ; thèse doctorat, université de paris 1 Sorbonne. France.
25. **Ben Naceur M., Ben Salem M., Rouissi M., El Berji Z., et Rahmoune C., (2002)** Influence du manque d'eau sur le comportement écophysiological de quatre variétés de blé dur. Annales de l'INRGEF. Vol. 5, pp 133-152.

26. **Ben Naceur M., Rahmoune C., Sdiri H., Meddahi M., L., et Selmi, M., (2001)** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse*, 12 : pp 167-174.
27. **Benabadji N., (1995)** Etude phyto-écologique de la steppe à *Artemisia herba-alba* Asso. Et *Salsola vermiculata* L. au sud de Sebdou (Oranie- Algérie). Thèse doct. Es-Sci. Univ. Tlemcen, pp 153.
28. **Benabadji N., Bouazza M., Metge G., et Loisel R., (2004)** Les sols de la steppe à *Artémisia herba –alba* au sud de Sebdou (Oranie, Algérie). *Rev. Sci et Tech. Synthèse*. n° 13. Juin 2004. pp 20-28.
29. **Benabderrahmane M., C., and Chenchouni H., (2010)** Assessing Environmental Sensitivity Areas to Desertification in Eastern Algeria using Mediterranean Desertification and Land Use “MEDALUS” Model. *Int. J. of Sustainable Water & Environmental Systems* Vol. 1, n° 1 (2010) 5-10.
30. **Benazzouz M., S., (2001)** Étude comparative entre la géostatistique et les méthodes déterministes pour la cartographie des types de sols, Thèse de maîtrise, Université d’Ottawa, Canada, pp 91.
31. **Bencherif S., (2011)** L’élevage pastoral et la céréaliculture dans la steppe algérienne, Évolution et possibilités de développement, Thèse de Doctorat, L’Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l’Environnement, Paris, pp 294.
32. **Benchetrit M., (1956)** Les sols d'Algérie. In: *Revue de géographie alpine*, Tome 44 N° 4.
33. **Benguerai A., et Benabdeli K., (2009)** Contribution à l’élaboration d’un SIG pour une région steppique: wilaya de Naâma (Algérie). Université d’Alicante, série *Mediterranea* n° 20, pp 143- 156.

34. **Benguerai A., (2011)** évolution du phénomène de désertification dans le sud oranais (Algérie), thèse de doctorat en science, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, pp 152.
35. **Benmessaoud H., Kalla M., et Driddi H., (2009)** Évolution de l'occupation des sols et désertification dans le sud des Aurès (Algérie) .Mappemonde.
36. **Benmessaoud H., (2009)** étude de la vulnérabilité à la désertification par des méthodes quantitatives numériques dans le massif des Aurès (Algérie). Thèse doctorat, université Hadj Lakhder Batna, pp 220.
37. **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 Naâma en Algérie, Télédétection, Vol. 7, pp 359-371.
38. **Bensaid A., Smahib Z., Iftene T., et Benzined S., (2003)** Utilisation de la télédétection et des sig pour l'aide à la surveillance du risque de dégradation des parcours steppiques. Télédétection, Vol. 3, n° 5, pp 387–402.
39. **Bensaid A., (1997)** Traitement des données multi-sources et conception d'une base de données dans un SIG en vue de la caractérisation d'un milieu physique, application à une zone steppique au nord de Laghouat. Centre National des Techniques Spatiales, Arzew, Algérie, Mémoire de magister, 122 pp.
40. **Bensaid A., (2006)** SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie). Thèse de doctorat en géographie, Université Es.Senia, Oran -Algérie-, 325 pp.
41. **Benslimane M., Hamimed A., El Zerey W., Khaldi A., et Mederbal K., (2008)** Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord, VertigO, Vol. 8 n° 3.

42. **Bergeron M., (1992)** Vocabulaire de la géomatique .Québec, Office de la langue française. pp 41.
43. **Bliefert C., et Perraud R., (2008)** Chimie de l'environnement, Air, eau, sols, déchets. 2e édition, De Boeck, ISBN 2804159450, pp 477.
44. **Bonn F., et Rochon G., (1992)** Précis de télédétection Vol. 1 Principes et méthodes. AUPELF-UREF, Collection Presses Universitaires du Québec, Montréal.
45. **Bouhata, R., (2008)** Analyse de la dynamique des sebkhas et son impact sur la vulnérabilité au risque d'inondation dans les dépressions endoréiques situées entre Zana et Madghassen à l'aide de l'imagerie satellitaire LANDSAT. Mémoire de magister, Université Hadj Lakhdar Batna, pp 160.
46. **Boukhobza M., (1982)** L'agropastoralisme traditionnel en Algérie: de l'ordre tribal au désordre colonial. OPU; Alger, pp 458.
47. **Boulaine J., (1957)** Etude des sols des plaines du Chélif. Ed. S.E.S.T.S.A.P. Alger, pp 388.
48. **Boulaine J., (1989)** Histoire des pédologues et de la science des sols. INRA, Paris, pp 297.
49. **Brandt J., C., and Thornes J., B., (1996)** Mediterranean Desertification and Land Use, John Wiley & Sons, London.
50. **Brown D., G., Pijanowski B., C., and Duh J., D., (2000)** Modeling the relationship between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA, Journal of Environmental Management, Vol. 59.
51. **Burgess T., M., and Wesbster R., (1980)** Optimal Interpolation and isarithmic mapping of **C.P.C.S. (1967)** Classification des sols. Commission de Pédologie et de Cartographie des sols, INRA, pp 87.

52. **Caloz R., et Pointet A., (2003)** Analyse comparative de la classification contextuelle et du maximum de vraisemblance : synthèse et cas d'étude, *Télédétection*, Vol. 3, n° 2-3-4, pp 311-322.
53. **Caloz R., et Collet C., (2001)** Précis de Télédétection, Traitements numériques d'images de télédétection, Presses de l'Université de Québec, Agence Universitaire de la Francophonie, vol. 3 pp 386.
54. **Caloz R., et Puech C., (1996)** Hydrologie et imagerie satellitaire, in « Précis de Télédétection, Vol. 2, Applications thématiques », UREF/AUPELF.
55. **Calvet R., (2003)** Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole, pp 511.
56. **Cherbuy B., (1991)** Les sols salés et leur réhabilitation étude bibliographique, Cemagraf, école, Nat Renne, pp 170.
57. **Cheverry C., (1974)** Contribution à l'étude pédologique des polders du lac Tchad, Dynamique des sels en milieu continental subaride dans les sédiments argileux et organiques, Thèse de doctorat, Strasbourg, pp 275.
58. **Chevry C., (1995)** Comportement des plantes en milieu salé compte rendu de l'acad d'agric, De France, Action n° 04, Revue Bimestrielle Vol. 81 (2), Paris, pp 42-46.
59. **Chikhaoui M., Bonn F., et Merzouk A., (2004)** Cartographie de la fraction argileuse du sol dans le Rif marocain à l'aide du capteur ASTER et de l'analyse géostatistique. Revue internationale de géomatique, Vol. 14, n°. 3-4, pp 359-37.
60. **Choisel M., D. (1974)** Adaptation du nomadisme pastoral à des structures modernes, Etude de deux communes des hauts plateaux sud-oranais: Mecheria et El Abiod, Mémoire de maîtrise Géographie, Paris VIII.
61. **CNUED., (1992)** Rapport sur la conférence des Nations-Unies sur l'environnement et le développement. Agenda 21, Rio.

62. **Cohen J., (1960)** A coefficient of agreement for nominal scales, Educational and Psychological Measurement, Vol. 20, n°1, pp 37-46.
63. **Congalton R., G., (1988)** A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 54, n° 5, pp 593-600.
64. **Congalton R., G., (1991)** A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data, Remote Sensing of Environment, Vol. 37, pp 35-46.
65. **Corwin D., L., and Lesch S., M., (2005)** Characterizing soil spatial variability with apparent
66. **Curtis Allen C., Cardon G., E., and Jessica D., (2006)** Salt chemistry effects on salinity assessment in the Arkansas River Basin, Colorado. Colorado Water Resources Research Institute, pp 49.
67. **Dakak H., (2011)** Prospection de la salinité des sols par induction électromagnétique sur la plaine du Tadla (Maroc) : tentative d'optimisation par analyse géostatistique. Sécheresse vol. 22, n° 83.
68. **Daoud Y., and Halitim A., (1994)** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresse Vol. 5, n° 3, pp 60-151.
69. **Degrandi G., F., Mayaux P., Malingreau J., P., Rosenqvist A., Saatchi S., and Simard M., (2000)** New perspectives on global ecosystems from widearea radar mosaics flooded forest mapping in the tropics, International Journal of Remote Sensing, n°21, pp 1093-1114.
70. **Dib I., (2010)** L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine - Ain Yaghout (Est Algérien), Mémoire de Magister en Hydraulique, Université El Hadj Lakhdar – Batna, pp 144.

71. **Dibi N'Da H., N'Guessane K., Wadja M., E., et Affian K., (2008)** Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le parc national de la marahoué (côte d'ivoire) .Revue Télédétection, vol. 8, n° 1, pp 17-34.
72. **Diouf A., and Lambin E., (2001)** Monitoring land cover changes in semiarid regions: Remote Sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal”, Journal of Arid Environments, 48, pp 129–148.
73. **Djebaili S., (1978)** Recherches phytosociologiques et phytoécologique sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse Doct., Montpellier, pp 229.
74. **Djebaili S., (1984)** Steppe Algérienne phytosociologie et écologie, Alger, office des publications universitaires, pp 178.
75. **Djellouli et Daget (1989)** Le climat méditerranéen, change-t-il? Précipitations de quelques stations algériennes", Publications de l'AIC, vol. 2, pp 227-232.
76. **Djellouli Y., et Nedjraoui D., (1995)** Evolution des parcours méditerranéens. In pastoralisme, troupeau, espaces et société, ed. Hatier, pp 440-454.
77. **Djellouli Y., (1981)** Etude climatique et bioclimatique des hautes plaines du sur-oranais Wilaya de Saïda, comportement des espèces vis-à-vis du climat, Thèse Doct. 3ème Cycle, Univ. Sci. Tech. H. Boumediene, Alger, pp 178.
78. **Djellouli Y., (1990)** Flores et climats en Algérie septentrionale : Déterminismes climatiques de la répartition des plantes, Thèse Doct. Sciences, Univ. Sciences et Technologies Houari Boumedienne, Alger, pp 210.
79. **Djenane A., M., (1992)** Quelques résultats du programme de la vulgarisation de l'intensification céréalière dans la région des Hautes Plaines Sétifiennes, séminaire maghrébin : la vulgarisation agricole au Maghreb : théorie et pratique, avril 1992. Alger.

80. **Douaoui A., (2005)** Variabilité spatiale de la salinité et sa relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chélif. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse de doctorat d'État, INA Alger, pp 233.
81. **Douaoui A., Nicolas H., and Walter C., (2006)** Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. *Geoderma*, 134 (1-2), pp 217-230.
82. **Douaoui A, Hartani T. (2007)** Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chélif. Actes du troisième atelier régional SIRMA (Nabeul, Tunis), CD-Rom, Édité. CIRAD, Montpellier, 5 p.
83. **Dregne, H., E., (1983)** Desertification of Arid Lands, Harwood Academic Publishers, New York.
84. **Dregne, H., E., and Chou, N., T., (1992)** Global Desertification Dimensions and Costs, In: Degradation and resource and restoration of arid lands, Lubbock, Texas Tech. University.
85. **Dresch J., et Rougerie G., (1960)** Observations morphologiques dans le Sahel du Niger. *Revue de Géomorphologie dynamique*, 4-5-6, pp 49-57.
86. **Durand J.H. (1958)** Les sols irrigables. Etude pédologique .E. D. Imbert, Alger, pp 190.
87. **Escadafal R., Girard M., C., et Courault D., (1988)** La couleur des sols : Appréciation, et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, pp 34.
88. **Escadafal R., et Pouget M., (1989)** Comparaison des données Landsat MSS et TM pour la cartographie des formations superficielles en zone aride (Tunisie méridionale). Actes de l'atelier de travail « Earthnet Pilot Project on Landsat Thematic Mapper Applications », déc. 1987, Frascati, Italy: pp 301-307.

89. **Escadafal R., (1991)** Remote Sensing of Soil Color: Principles and Applications, Remote Sensing Reviews, Vol. 7, pp 261-279.
90. **Étienne L., Dahech S., Beltrando G., et Daoud A., (2012)** dynamiques récentes des sebkhas littorales de l'archipel des kerkennah (Tunisie centroméridionale): apport de la télédétection, Télédétection, Vol. 11, n° 1, pp 273-281.
91. **FAO., (1960)** La défense contre l'érosion éolienne, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, pp 99.
92. **FAO., (1989)** Le Système d'Information Géographique de la FAO. Centre d'investissement, Rome (Italie), 21 pages.
93. **FAO. (1993)** Développement durable des terres arides et lutte contre la désertification, Position de la FAO 1993.
94. **Fojstng E., (1999)** Contribution de la Morphologie mathématique à la cartographie de l'occupation du sol a partir d'image SPOT (Région de l'extrême Nord-Cameroun). Rapport de doctoral en télédétection, Réseau télédétection, AUPELF - UREF, p. 91.
95. **Fozooni L., Fakhireh A., and Ektesasi M., R., (2012)** Assessment of desertification using of modify MEDALUS model in Sistan plain (The east of IRAN), Elixir Geoscience 47, pp 8950-8955.
96. **Gauchér G., (1947)** Sur l'âge des sols rouges Nord-Africains. Conf, de Pédologie Méditerranéenne, Alger, Montpellier, pp 373-376.
97. **Gaucher G., et Burdins S., (1974)** Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés, ed p.u.f.paris, pp 231
98. **Gaucher G., (1959)** Les conditions géologiques de la Pédogénèse Nord-Africaine. Bull. de l'A.F.E.S., 12, pp 564-576.
99. **Ge Y, Thomasson J., A., and Ruixiu S., (2006)** Remote sensing of soil properties in precision agriculture, A review written for presentation at the 2006 ASABE annual

International meeting , Portland Convention Center, Portland, Oregon 9-12 July, 2006,7 p.

100. **Ge Y., and Thomasson J., A., (2006)** Wavelet incorporated spectral analysis for soil property determination, Trans, ASABE, 49(6), pp 1193-1201, 172.
101. **Geeson N., A., Brandt C., J., and Thornes J., B., (2002)**, Mediterranean desertification: a mosaic of processes and responses, Edition John Wiley & Sons, pp.247-268.
102. **Gherina S., A., Douaoui A., Hartani T., et Vincent B., (2009)** Application de la télédétection dans la connaissance de la salinité des sols de la plaine du Bas-Chélif. Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb. Actes du quatrième atelier régional du projet Sirma, Mostaganem, Algérie, 26-28 mai 2008. Cirad, Montpellier, France, colloques-cédérom.
103. **Girard M., C., et Girard C., M., (1999)** Traitement des données de télédétection, Dunod, pp 530.
104. **Glantz M., H., Betsill M., and Crandall K., (1997)** Food security in southern Africa. Assessing the use and value of ENSO information. National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA.
105. **Glantz M., H., and Orlovsky N., S., (1983)** Desertification: A review of the concept. Desertification Control Bulletin, Vol. 9, pp 15-22.
106. **Godron M., Daget Ph. Emberger, L. Long, G. leFloc'h, E. Poisson, J. Sauvage, C. et Larafa M., (2004)** Dynamique de la végétation halophile en milieu aride et semi-aride au niveau des Chotts (Melghir, Merouane et Bendjelloul et Oued Djeddi en fonction des conditions du milieu. Thèse. Doct. Sci. Nat. Opt. Biol. Végét. Univ. Annaba: 149p+annexes.

107. **Gonzalez Barrios J., L., JOB J., O., and AHLERS R., (2003)** Irrigation and soil salinity in the lower and arid land of the Nazas-Aguanaval watershed: the district of the Comarca Lagunera (Northern Mexico), *Sécheresse*, Vol. 13, n° 4, pp 244-50.
108. **Gupta R., K., and Abrol I., P., (1990)** Salt-affected soil: Their reclamation and management for crop production. *Advances in Soil Science*, Vol. 11. Springer-Verlag, New York, pp 288.
109. **Hachicha M., (2007)** Les sols salés et leur mise en valeur en Tunisie, *Sécheresse* Vol. 18, n° 1, pp 45-50.
110. **HADEID M., (1996)** Croissance et développement de petites agglomérations et leur rôle dans l'organisation de l'espace de la steppe sud oranaise Algérie. Université d'Essenia, Oran, Mmoire de Magister, 159 pp.
111. **Halitim A., et Robert M., (1987)** Interaction du gypse avec les autres constituants du sol, analyse microscopique de sols gypseux en zone aride (Algérie) et études expérimentations. In fedor off et al (Ed): soil micro morphology. Afes, pp 179 - 186.
112. **Halitim A., (1988)** Sols des régions arides d'Algérie. Ed. OPU, Alger, pp 384.
113. **Halitim A., (1985)** Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes Plaines Steppiques d'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la gènèse et le comportement des sols. Thèse Doct. D'Etat, Université de Rennes, pp 383.
114. **Hamdy A., Lasram M., et Lacirgnoda C., (1995)** Les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne compte rendue Acad, D'agri de France action (1), vol 81 (2), Paris, Séance spécialisée du 22 Mars 95, pp 47- 60.
115. **Hamimed A., (2009)** Suivi de l'état hydrique d'une région semi-aride dans l'ouest Algérien à partir des images de télédétection haute et faible résolution, Thèse doctorat en sciences hydrauliques, Université de Mascara, pp 179.

116. **Helldén U., (1991)** Desertification - Time for an assessment - *Ambio*, Vol. 20, n°. 8: pp 372-383.
117. **Helldén U., (2003)** Desertification and Theories of Desertification Control: A discussion of Chinese and European concepts, China-EU Workshop on Integrated Approach to Combat Desertification 15-17 October 2003, Beijing, China.
118. **Heuvelink G., B., M., and Webster R., (2001)** Modeling soil variation: Past, Present and Future, *Geoderma*, Vol. 100, n° 3-4, pp 269-301.
119. **Hirche A, Boughani A., et Salamani M., (2007)** Evolution de la pluviosité dans quelques stations arides algériennes, *Science et changement planétaire/Sécheresse*, Vol.18, n°4 .
120. **Hirche A., Salamani M., Abdellaoui A., Benhouhou S., and Valderrama J., (2011)** Landscape changes of desertification in arid areas: the case of south-west Algeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 179, pp 403-420.
121. **Hoang K., H., Bernier M., et Villeneuve J., P., (2008)** Les changements de l'occupation du sol dans le bassin versant de la rivière câu (viêt-nam). Essai sur une approche diachronique .*Téledétection*, vol. 8, n° 4, pp 227-236.
122. **Hubert-Moy I., Cotonnec A., Le du L., Chardin A., and Perez P., (2001)** Comparaison of classification procedures of remotely sensed data applied on different landscape units , *Remote Sensing of Environnement*, Elsevier, vol. 75, n°2, pp 174-187.
123. **Johnston K., Ver Hoef J., M., Krivoruchko K., and Lucas N., (2001)** Using ArcGIS® Geostatistical Analyst, ESRI, 380 New York Street, Redlands, CA 92373-8100, USA.
124. **Kalla M., Dridi H., Benmessaoud H., et Bouhata R., (2007)** Analyse de la vulnérabilité des zones endoréique à l'aide des outils de la géomatique .cas de la zone

aéroportuaire de Batna-Est (Algérie). Actes du colloque Geotuis 2007, Tunis, 18-17 novembre 2007.

125. **Khaldoun A., (1995)** Les mutations récentes de la région steppique d'El Aricha, Réseau Parcours, 59-54.
126. **Khalid Omar Murtaza and Shakil A., Romshoo (2014)** Determining the Suitability and Accuracy of Various Statistical Algorithms for Satellite Data Classification. International journal of geomatics and geosciences, Vol. 4, n° 4, pp 585-599.
127. **Kosmas C., Ferrara A., Briasouli H., and Imeson A., (1999)** Methodology for mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to Desertification In: Kosmas C, Kirkby M, Geeson N, (Ed), The Medalus project: Mediterranean desertification and land use, Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. European Union, 1999, pp 31-47.
128. **Kosmas C., Kirkby M., and Geeson N., (1999)** Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. The Medalus project on Mediterranean desertification and land use. Directorate-General Science, Research and Development, EUR 18882.
129. **Kribaa M., (1992)** Etude de l'irrigation d'appoint et de la fertilisation azotée d'un blé dur en conditions semi-arides : cas des Hautes Plaines Sétifiennes. Thèse Mag. INA .Alger.
130. **Kundu A., et Dutta D., (2011)** Monitoring desertification risk through climate change and human interference using Remote sensing and GIS techniques, international journal of geomatics and geosciences, Vol. 2, n° 1, pp 21-33.
131. **Labani A., Benabdeli K., and Kefifa A., (2006)** Fluctuations climatiques et dynamique de l'occupation de l'espace dans la commune d'Ain El Hadjar (Saïda, Algérie), Sécheresse 17 (3), pp 391-398.

132. **Lahmar R., et Bouzerzour H., (2011)** Du mulch terreux au mulch organique. Revisiter le dry-farming pour assurer une transition vers l'agriculture durable dans les Hautes Plaines Sétifiennes. CIHEAM, Cahiers Options Méditerranéennes, Zaragoza : CIHEAM / ATU-PAM / INRAA / ITGC / FERT n° 96, Paris, pp 99- 106.
133. **Lahmar R. (1991)** Pour une relance agronomique dans les Hautes Plaines Sétifiennes, Horizons, pp 8.
134. **Lahmar R., (1993)** Intensification céréalière dans Hautes Plaines Sétifiennes, Quelques résultats, Cahiers Options Méditerranéennes, vol. 2, n° 1, pp 93-97.
135. **Lamond R., and Whitney D., A., (1992)** Management of saline and sodic soils. Kansas State University, Department of Agronomy MF-1022.
136. **Le Houerou H., N., (2004)** An agro-bioclimatic classification of arid and semi-arid land in isoclimatic Mediterranean zones. Arid land research and management. 18, pp 301-346.
137. **Le Houerou H., N., (1995)** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Options méditerranéennes, Série B, études et recherches, 10, pp 396.
138. **LE HOUEROU H., N., (1979)** La désertification des régions arides. Rev. La recherche 99: pp 336-334.
139. **Le Houerou H., N., (1985)** La régénération des steppes algériennes. Rapport de mission de consultation et d'évaluation. Ministère de l'agriculture, Alger.
140. **Lecerf R., (2008)** Suivi des changements d'occupation et d'utilisation des sols d'origine anthropique et climatique à l'échelle régionale par télédétection moyenne résolution (application à la Bretagne), Thèse de doctorat en géographie, Université Rennes 2, pp 326.

141. **Legros J., P., (1996)** Cartographie des sols : De l'analyse spatiale à la gestion des territoires, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne (Suisse), pp 321.
142. **Lemsanni A., Ait Belaid M., Smiej F., et El-Amine N., (2000)** Suivi de la désertification au Maroc à partir d'image AVHRR de NOAA. Ed.AUF pp 171-176.
143. **Lillesand T., M., and Kiefer R., W., (1994)** Remote Sensing and Image Interpretation (3rd ed), John Wiley & Sons, Inc, 1994.
144. **Lillesand T., M., and Kiefer R., W., (1979)** Remote Sensing and Image Interpretation (1st ed), John Wiley & Sons, Inc, 1979.
145. **Long G., Le Floc'H E., Pontanier R., Debussche G. et Lacaze B., (1978)** Contribution à l'analyse écologique des zones arides de Tunisie avec l'aide des données de la télédétection spatiale. Expérience ARZOTU, rapport final 1975-1978. CEPE/CNRS Montpellier, CNES, INRAT Tunis et ORSTOM – Paris, pp 222.
146. **Maillard J., (2001)** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne, Risques et recommandations, Handicap International, Novembre 2001, pp 34.
147. **Mainguet M., (1991)** Desertification Natural Background and Human Mismanagement.-Springer Series in Physical Environment, ISBN0937-3047, pp 306.
148. **Mainguet M., (1994)** Desertification (2nd ed.), Springer-Verlag.
149. **Mainguet M., (1995)** L'homme est la sécheresse. Edition Masson, Paris,
150. **Maniere R., Bassisty E., Celles J., C., 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 : exemple d'Aïn Oussera (Algérie). Cahier ORSTOM, série pédologique, vol. xxviii, n° 1, pp. 67-80.
151. **Matheron G., (1963)** Principles of geostatistics. Economic Geology.vol. 58 n°.8, pp 1246-1266.

152. **Mathieu C., et Pieltain F., (2003)** Analyse chimique des sols, Ed Tec et doc, Lavoisier, Paris, pp 292.
153. **Mebarki A., (2005).** hydrologie des bassins de l'est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement, thèse de doctorat d'état, Université Mentouri - Constantine, Alger, pp 360.
154. **Mermoud, A., (2006)** Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, pp 23.
155. **Merzouk A., Badraoui M., Fassi D., Bonn F., Gwyn Q., H., J., et Hinse M., (1990)** Essai méthodologique pour le classement et la cartographie des Terres en vue de la conservation des sols et des eaux en zones arides : Apport de la télédétection, In J.M. Dubois et P. La France éditeurs, Apport de la télédétection à la lutte contre la sécheresse, publications d'AUPELF-UREF, pp 163-171.
156. **Montchaussé G., (1972)** La steppe Algérienne, cadre d'interactions entre l'homme et son milieu''. Option Méditerranéenne n° 13, pp. 55-60.
157. **Navarro- Pedreno J., Jordan M., M., Melendez-Partor I., Gomez I., Juan P., and Mateu, J., (2007)** Estimation of soil salinity in semi-arid land using a geostatistical model. Land Degradation and development, Vol. 18, pp 339-353.
158. **Nawar S., Reda M., Farag F., and El-Nahry A., (2011)** Mapping soil salinity in El-Tina plain in Egypt using geostatistical approach, Proceeding (11) of GI_Forum 2011- Geoinformatics Forum, Conference, Salzburg, Austria, 5-8 July 2011, pp 81-90.
159. **Nawar S., (2009)** Mapping Units of Some Soil of El-Salm Canal Basin Using Geographic Information Systems (GIS). M.Sc. Thesis, Fac. of Agric. Suez Canal Univ., Egypt.
160. **Nedjraoui D., et Bedrani S., (2008)** La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. VertigO, Vol. 8 n° 1.

161. **Nedjraoui. D., (2002)** Les ressources pastorales en Algérie. Document FAO, [en ligne] www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/Algeria/Algerie.htm.
162. **Oss (2008)** La surveillance à long terme en réseau circum-saharien : l'expérience Roselt/Oss, Collection Synthèse, OS, Tunis.
163. **PNUE (1991)** Situation en ce qui concerne la désertification et la mise en œuvre du plan d'action des Nations-Unies pour lutter contre la désertification. Rapport du Directeur Exécutif, UNEP/GCSS.III/S. Nairobi, Kenya.
164. **Pouget M., (1980)** Les sols à croûte calcaire dans les steppes algériennes : Quelques aspects morphologiques et esquisse d'une Evolution actuelle Pédologue, O.R.S.T.O.M. Bureau de Télédétection, Services Scientifiques Centraux, 70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy publications universitaires, pp 178.
165. **Regagba Z., (2012)** dynamique des populations végétales halophytes dans la région sud-est de Tlemcen. Aspects phytoécologiques et cartographiques. Thèse de doctorat en biologie. Université de Tlemcen, pp 170.
166. **Reza S., K., Sarkari D., Daruah U., and Das T., H., (2010)** Evaluation and comparison of ordinary kriging and inverse distance weighting methods for prediction of spatial variability of some chemical parameters of Dhalai district, Tripura. Agropedology, 20(1), pp 38-48.
167. **Richards J., A., (1986)** Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction, Springer Verlag, New York.
168. **Richards L., A., (1954)** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Department of Agriculture, Agricultural Handbook n° 60, Washington (USA), pp 160.
169. **Robert M., (1996)** le sol interface dans l'environnement ressource pour le développement Ed, Masson, Paris, pp 243.

170. **Rognon P., (1996)** Sécheresse et aridité : leur impact sur la désertification au Maghreb, Sécheresse 1996 ; 7 : pp 287-297.
171. **Ruellan A., (1971)** Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes: les sols à profil calcaire différencié des plaines de la basse Moulouya (Maroc oriental), Mémoire ORSTOM n° 54, Paris, pp 302.
172. **Ruellan A., (1967)** Individualisation et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts quaternaires du Maroc. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., XVI (1), pp 8-21.
173. **Salamani M., Kadi Hanifi H., Hirche A., et Nedjraoui D., (2012)** Évaluation de la sensibilité À la désertification en Algérie, Rev. Écol, (Terre Vie), vol. 67.
174. **Samaali H., (2011)** Etude de l'évolution de l'occupation et de l'utilisation du sol dans le delta de Medjerda par télédétection et systèmes d'informations géographiques, Thèse de Doctorat, Université de Tunis, pp 390.
175. **Schloeder C., A., Zimmerman N., E., and Jacobs M., J., (2001)** Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties Using Limited Data. Soil Science Society of America Journal, Vol. 65 n° 2, pp 470-479.
176. **Schowengerdt R., A., (1983)** Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing, Academic Press, Inc, London.
177. **Sepehr A., Hassanli A., M., Ekhtesasi M., R., and Jamali J., B., (2007)** Quantitative assessment of desertification A M in south of Iran ,using MEDALUS method, Environ Monit Assess, DOI 10.1007/s10661-007-9613-6, Springer Science + Business Media 2007.
178. **Servant J., M., (1975)** Etude pédologique des sols halomorphes, Thèse Doc, Uni. Montpellier, pp 194.
179. **Sheridan D., (1981)** Desertification of the United States, In: Report of Council on Environmental Quality, US Government, Washington.

180. **Siddiqui A., R., (2009)** Integrating Environmental Indicators to diagnose desertification risk zone using geospatial approach: A case study of Churu district in arid lands of western Rajasthan”, ITC, University of Twente, Post Graduate Diploma Thesis.
181. **Smith O., B., and Koala S., (1999)** Desertification Myth and realities, Canadian Science Writer’s Annual General Meeting, May 27-29, 1999 (http://www.idrc.ca/media/DesertMyths_e.html).
182. **Snoussi S., A., et Halitim A., (1998)** Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Etudes et gestion des sols, 5, 4, 1998
183. **Steinberg J., (1996)** Cartographie : pratique pour la géographie et l’aménagement, Editions SEDES, pp 130.
184. **Szablocs I., (1994)** Prospects of soil salinity for the 21st century Trans, International congress of soil sc, pp 123- 141.
185. **Talia A., Meddi M., et Bekkoussa B., S., (2011)** Étude de la variabilité de la pluviométrie dans les hauts plateaux et le Sahara algériens, Sécheresse, Vol. 22, n°3, pp 149-158.
186. **Temagoult I., (2013)** Etude d'impact de l'anthropisation sur l'environnement dans la zone endoréique de Gadaine -Batna- mémoire de Master II - Université Hadj Lakhdar Batna. Algérie, pp 115.
187. **Thomas D., S., G., et Middleton N., J., (1994)** Desertification. Exploding the Myth- John Wiley & Sons, ISBN 0-471- 94815-2, pp 194.
188. **Tissot C., et Cuq F., (2004)** Apport des SIG pour la modélisation spatio-temporelle d'activités humaines", Revue Internationale de Géomatique, n° 14, pp 83-96.

189. **Tucker C. J, Holben B.N, and Goff T. E.(1984)** Intensive forest clearing in Rondonia, Brazil, as detected by satellite remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 15, pp 255-261.
190. **Tucker C., J., Justice C., O., and Prince S., D., (1986)** Monitoring the grasslands in the Sahel 1984-1985, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 7, pp 1571-1581.
191. **Tucker C., J., Townshend J., R., G., and Goff T., E., (1985)** African land cover classification using satellite data, *Science*, Vol.227, pp 369-375.
192. **Tucker C., J., Dregne H., E., and Newcomb, W., W., (1991)** Expansion and contraction of Sahara Desert from 1980 to1990, *Science*, 253, pp 299-301.
193. **TYAGI N., (1996)** Salinity management in irrigated agriculture: Sustainability of irrigated agriculture/ Pereira, L. S. (réd.), pp 345–358.
194. **UNCCD., (2002)** Rapport national sur la mise en œuvre de la convention des nations unies sur la lutte contre la désertification. UNCCD National Reports.
195. **UNCCD., (2008)** Desertification Coping with Today's Global Challenges in the Context of the Strategy of the United Nations Convention to Combat Desertification. Unites Nations Convention to Combat Desertification, Report on the High-Level Policy Dialogue, Bonn, Germany.
196. **UNEP. (1992)** United Nations Environmental Program. World Atlas of Desertification (editorial commentary by N. Middleton and D.S.G. Thomas). Arnold, London. United Nations, Rome, pp 99.
197. **USSLS., (1954)** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United State Salinity Laboratory Staff, US Department of Agriculture, Handbook n° 60, U. S. Gov. Print. Office, Washington DC.
198. **Veldkamp A., Verburg P., H., Kok K., De koning G., H., J., Priess J., and Bergsma A.,R., (2001)** The need for scale sensitive approaches in spatially explicit

- land use change modeling, *Environmental Modeling and Assessment*, Vol. 6, pp 111-121.
199. **Verburg P., H., and Veldkamp W., S., A., (2002)** Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUES model, *Environmental Management*, Vol.30, n°3, pp 391-405.
200. **Vincent M., Stephanie P., et Annabel G., (2005)** Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines en région nord-pas-de-calais, Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2004 - PSP04NPC35.
201. **Vogt T., (1983)** Types et genèse de croûtes calcaires: France méditerranéenne, Afrique du Nord. Thèse Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, pp 253.
202. **Walter C., McBratney A., B., Douaoui A., Minasny B., (2001)** Spatial prediction of topsoil salinity in the Chelif Valley Algeria, using local ordinary kriging with local variograms versus whole-area variogram. *Australian Journal of Soil Research* 39, pp 259-72.
203. **Warren A., and Agnew C., (1988)** An assessment of desertification and land degradation in arid and semi-arid area, International Institute for Environment and Development, Dry lands Program, Paper 2, London, Ecology and Conservation Unit, University College.
204. **Webster R., Oliver M., L., (2001)** Geostatistics for environmental scientists. New York: John Wiley & Sons, pp 271.
205. **World Bank, (2002)** World development report 2003; Sustainable development in a dynamic world: transforming institutions, growth, and quality of life. Oxford University Press, World Bank.
206. **WU W., (2003)** Application de la géomatique au suivi de la dynamique environnementale en zones arides - exemple de la région de Nouakchott en

Mauritanie, du Ningxia nord et du Shaanxi nord en Chine du nord-ouest, Thèse de doctorat en géographie, Université Paris1, France.

207. **Ximenes M., C., Duhautois L., Fouque C., et Broyer J., (2005)** Application de la télédétection à l'étude des zones humides, Identification des prairies, des roselières, des peupleraies et des gravières, pp 134.

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Figure 01: Situation géographique de la zone d'étude (Google Earth 2013).....	7
Figure 02: Localisation de la zone d'étude selon la répartition de l'ANRH.....	8
Figure 03: La courbe hypsométrique.....	9
Figure 04: La carte hypsométrique de la zone d'étude.....	11
Figure 05: Vue en trois dimension pour la zone d'étude.....	12
Figure 06: Répartition superficies /pentes.....	13
Figure 07: La carte des pentes de la zone d'étude.....	14
Figure 08: La carte d'exposition des versants dans la zone d'étude.....	15
Figure 09: La carte géologique de la zone d'étude.....	20
Figure 10: La carte de réseau hydrographique de la zone d'étude.....	22
Figure 11: Un couvert végétal steppique et halophyte.....	23
Figure 12: Diagramme de la répartition pluviométrique saisonnière.....	26
Figure 13: La répartition mensuelle des précipitations station Ain Skhouna (1988 - 2010).....	27
Figure 14: Température moyenne mensuelle (Station de Ain Skhoun 1971-2010).....	29
Figure 15: Histogramme de l'humidité relative moyenne mensuelle (%) Ain Skhouna (1971-2010).....	31
Figure 16: Histogramme de la moyenne mensuelle de vitesse de vent en m/s de (1971 à 2010).....	33
Figure 17: Histogramme de moyenne mensuelle d'insolation en heures de (1971-2010)...	34
Figure 18: Courbe d'évaporation moyenne mensuelle.....	36
Figure 19: Diagramme ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS. Ain Skhoun (1971-2010).....	37

Figure 20: Climagramme d'Emberger.....	40
Figure 21: Abaque de WUNDT modifié par COUTAGNE.....	46
Figure 22: Abaque de VERDEIL.....	47
Figure 23: Graphe du bilan hydrique par la méthode de THORNWAITE.....	51
Figure 24: Le spectre de toutes les ondes électromagnétiques.....	55
Figure 25: Les différentes régions du spectre électromagnétique.....	55
Figure 26: Représentation détaillée de la région spectrale du visible.....	55
Figure 27: exemples de courbes de réflectances (neige, végétation, sable et eau) en parallèle avec les bandes spectrales du satellite.....	56
Figure 28: Exemple de prise de vue du satellite Spot-4.....	57
Figure 29: Les trois types de diffusion.....	58
Figure 30: Fenêtres atmosphériques.....	58
Figure 31: Représentation schématique des échelles de temps et d'espaces auxquels les modes d'occupation et d'utilisation des sols sont étudiés par la télédétection...60	60
Figure 32: Localisation de la zone d'étude d'après l'image satellitaire Landsat TM 2009..	64
Figure 33: L'image de la zone d'étude extraite d'après l'image satellitaire TM 1987.....	67
Figure 34: La zone d'étude extraite après le masque - l'image satellitaire TM 1987.....	68
Figure 35: La zone d'étude extraite après le masque - l'image satellitaire TM 2009.....	69
Figure 36: Carte des relevés GPS et échantillonnage sur image.....	70
Figure 37: La dégradation des sols et le couvert végétal par l'avancement des sebkhas.....	71
Figure 38: Les différentes étapes de la classification supervisée (Bensaid , 2006).....	73
Figure 39: Schéma méthodologique pour la détection des changements.....	75
Figure 40: Comparaison entre les surfaces des unités d'occupation du sol.....	78
Figure 41: Carte thématique d'occupation du sol en 1987.....	79
Figure 42: Carte thématique d'occupation du sol en 2009.....	80

Figure 43: La stagnation des eaux de surface sur les bordures d'une route mal construite.	81
Figure 44: La disparition des plantes halophytes sous la proportion de sels très élevé.	81
Figure 45: La dynamique latérale des sebkhas et chotts.	82
Figure 46: Les communes appartenant à la zone d'étude.	84
Figure 47: La répartition des populations selon les Recensements 2008.	85
Figure 48: La répartition des populations selon les Estimations de 2011.	85
Figure 49: Carte de spatialisation des différents types d'infrastructures.	87
Figure 50: Un pont mal construit au niveau de la route de Draa Boultif.	89
Figure 51: Carte des réseaux routiers.	89
Figure 52: L'effet des pistes sur le cycle des particules des sels.	90
Figure 53: La stagnation des eaux de surface sur les bordures des routes mal construites.	91
Figure 54: Clôture en mures.	91
Figure 55: Clôture en arbres.	91
Figure 56: Types des clôtures et leurs effets sur le cycle des eaux.	92
Figure 57: La céréaliculture dans la zone d'étude.	95
Figure 58: Eaux d'une source plus chargées en sels au niveau de Falenta.	97
Figure 59: L'irrigation par submersion.	98
Figure 60: Nombre de tête des bestiaux.	99
Figure 61: Les troupeaux des nomades.	100
Figure 62: L'élevage des troupeaux au niveau de la zone d'étude.	101
Figure 63: Carte de la répartition des puits et des forages.	103
Figure 64: La localisation de la zone rouge selon la subdivision de l'hydraulique de Souk Naamane.	104
Figure 65: L'exploitation des gypses – Ouled Zaoui – près de sebkhaTinsilt.	105
Figure 66: La formation des néo-sebkhas après une malle exploitation des Argiles.	105

Figure 67: La formation de néo-sebkha après l'exploitation des Argiles.....	106
Figure 68: Le degré de dégradation des ouvrages d'aménagement hydraulique au niveau de Sebkhât Tinsilt.....	107
Figure 69: La dégradation des aménagements réalisés au niveau de Sebkhât Tinsilt.....	108
Figure 70: Trois récepteurs GPS de type OREGON.....	116
Figure 71: Carte de la répartition spatiale des échantillons.....	117
Figure 72: Conductimètre INOLAB740.....	118
Figure 73: La boîte de dialogue Assistant géostatistique.....	119
Figure 74: Le semi-variogramme de la CE.....	120
Figure 75: Organigramme méthodologique pour la cartographie de la salinité des sols...	121
Figure 76: Carte de la salinité estimée.....	122
Figure 77: Diagramme de cartographie des zones vulnérables à la désertification.....	129
Figure 78: Carte de l'indice de la qualité du climat.....	130
Figure 79: Carte de l'indice de la qualité des sols.....	132
Figure 80: Carte de l'indice de la qualité du couvert végétale.....	134
Figure 81: Carte de l'indice de la qualité du système de gestion et de l'influence humaine.....	137
Figure 82: Carte de la vulnérabilité à la désertification.....	138

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01: Répartition altimétrique de la région d'étude.....	9
Tableau 02: La répartition superficies /pentes de la région km ² et %.....	13
Tableau 03: Les coordonnées de la station de Ain Skhoua.....	23
Tableau 04: La répartition annuelle des précipitations dans la station d'Ain Skhoua (1971-2010).....	24
Tableau 05: La répartition saisonnière des précipitations. Station d'Ain Skhoua (1988-2010).....	25
Tableau 06: La répartition mensuelle des précipitations. Station Ain Skhoua (1971-2010).....	27
Tableau 07: Nombre des mois où la pluviosité est inférieure à la moyenne mensuelle (Station Ain skhoua 1971-2010).....	28
Tableau 08: Températures moyenne mensuelle (Station d'Ain Skhoua 1971-2010).....	28
Tableau 09: La gelée blanche. Moyenne mensuelle. Station d'Ain Skhoua (1988-2010)....	30
Tableau 10: La neige. Moyenne mensuelle. Station d'Ain Skhoua (1988-2010).....	30
Tableau 11: La répartition moyenne mensuelle d'humidité.....	31
Tableau 12: Moyenne mensuelle de vitesse de vent en m/s de 1971 - 2010.....	32
Tableau 13: Moyenne mensuelle d'insolation en heures de 1971-2010.....	33
Tableau 14: Evaporation moyenne mensuelle (Ain Skhoua 1988-2010).....	35
Tableau 15: Calcul l'indice thermique mensuel (Ain Skhoua).....	42
Tableau 16: Calcul de l'ETP selon Thornthwaite à la station d'Ain Skhoua (1971-2010).....	43
Tableau 17: Tableau du calcul des paramètres du bilan hydrique selon THORNTHWAITE(Ain Skhoua).....	49

Tableau 18: Tableau récapitulatif du calcul des valeurs de l'évapotranspiration réelle d'après les différentes méthodes.....	50
Tableau 19: Tableau récapitulatif du calcul des valeurs des paramètres du bilan hydrique THORNTHWAITE pour la station d'Ain Skhouna.....	50
Tableau 20: Les caractéristiques des satellites Landsat.....	65
Tableau 21: Caractéristiques spectrales de Landsat et leurs Application principale.....	66
Tableau 22: Matrice de confusion de la classification de l'image TM 1987.....	76
Tableau 23: Matrice de confusion de la classification de l'image TM 2009.....	77
Tableau 24: Pourcentage et les surfaces des unités d'occupation des sols.....	77
Tableau 25: L'évolution de la population entre les recensements 2008 et les estimations de 2011.....	84
Tableau 26: La longueur ,la densité et le Pourcentage des types du réseau routier.....	88
Tableau 27: La répartition de la superficie agricole par commune.....	93
Tableau 28: La répartition de la superficie agricole par types des cultures.....	93
Tableau 29: La qualité des eaux d'irrigation utilisée en Algérie.....	96
Tableau 30: La qualité d'eau d'irrigation (salinité) pour la plaine de Gadaine.....	96
Tableau 31: Nombre de tête des bestiaux.....	98
Tableau 32: Les constructions agricole dans la commune d'Ain Yagout.....	99
Tableau 33: Les constructions agricole dans la commune de Lazrou.....	99
Tableau 34: Les troupeaux des nomades.....	100
Tableau 35: Les coordonnées délimitant la zone prise en charge dans les calculs.....	102
Tableau 36: les coordonnées de la zone rouge.....	104
Tableau 37: Caractéristiques principales des sols salins et sodiques (Maillard, 2001).....	113
Tableau 38: Mode de classement des sols salins.....	119
Tableau 39: Données Statistiques de la CE.....	120

Tableau 40: Les paramètres caractéristiques.....	121
Tableau 41: Superficies des classes de CE estimées.....	122
Tableau 42: Les classes et les poids affectés correspondant pour le calcul de l'indice de la qualité du climat.....	130
Tableau 43: Les classes et les poids affectés correspondant pour le calcul de l'indice de la qualité du sol.....	131
Tableau 44: Les classes et les poids affectés correspondant pour le calcul de l'indice de la qualité du couvert végétale.....	133
Tableau 45: Les classes et les poids affectés correspondant pour le calcul de l'indice de la qualité du système de gestion et de l'influence humaine.....	136
Tableau 46: Classes de la vulnérabilité à la désertification.....	138

ABBREVIATIONS

ABBREVIATIONS

ACF: Agglomération Chef lieu Fondamentale

AS: Agglomération Secondaire.

ANSEJ: Agence Nationale de Soutien a l'Emploi des Jeunes.

ANGEM: Agence Nationale de Gestion du Microcrédit.

AFNOR: Association française de normalisation.

BV: Bassin Versant

dS: Deci Siemens

CNAC: Caisse Nationale d'Assurance Chômage.

CE: Conductivité Electrique.

DE: Déficit en Eau

DPI: Dots Per Inch

ETP: Evapotranspiration potentielle.

ETR: Evapotranspiration réelle.

EXD: Excès D'eau

ETM: Enhanced Thematic Mapper

ENVI: Environment for visualising image

FAO: Food and Agriculture Organization

GPS: Global Positionnement System

LANRH: L'agence National des Ressource Hydrique

LDCM: Landsat Data Continuity Mission

MEDALUS: Mediterranean Desertification and Land Use

MNT: Modèle Numérique de Terrain

MSS: Multispectral Scanner

NASA: National Aeronautics and Space Administration

P: Précipitation

3D : Trois Dimensions

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

USGS: United States Geological Survey

I: Infiltration

R: Ruissellement

RFU: Réserve Fissile à Utilisé

TM: Thematic Mapper

TIFF: Tagged Image File Format

UTM: Universel Transverse Mercator

WGS: World Geodetic System

JPEG: Joint Photographic Experts Group

SIG: Système d'Information Géographique

USA: United States of America

ZE: Zone Eparse

RN : Route Nationale

USSL: United States Salinity Laboratory

KO: Krigeage Ordinaire

UNCOD: United Nations Conference On Desertification

CNUED: Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement

UNCCD: United Nations Convention to Combat Desertification

PNUE: Programme des Nations Unies pour l'environnement

ISD: Indice de sensibilité à la désertification

IQC: Indice de qualité du climat

IQS: Indice de qualité des sols

IQV): Indice de qualité du couvert végétal

IQSG: Indice de qualité du Système de Gestion et de l'Influence Humaine

PP: précipitations annuelles moyennes

Résumé:

La plaine de Gadaine et ces bordures est une partie des hauts plateaux de l'Est Algérien, qui correspond à une dépression fermée occupée par de nombreuses sebkhas et chotts, c'est un réceptacle de l'ensemble des écoulements de la région. Par ailleurs l'anthropisation rapide et contenue de ces espaces endoréiques par des activités diverses de sorte que les enjeux socio-économiques sont devenus considérables.

Cette situation contribue à développer sensiblement la vulnérabilité de cette région à la dégradation environnementale et à la désertification par salinisation des sols.

Pour appréhender, l'étude et spatialiser la vulnérabilité de cette plaine et ces bordures, nous avons fait appel aux techniques de Géomatique (télédétection, SIG et GPS..), qui sont actuellement d'excellents outils d'analyse, de traitement et d'aide à la décision pour la gestion des phénomènes naturels, et plus particulièrement la dégradation des sols et la salinisation des terres dans les zones endoréiques.

Dans cette étude, nous avons essayé de montrer d'une part, le rôle et le potentiel de l'utilisation des techniques de Géomatique pour l'étude et l'analyse du phénomène de la vulnérabilité environnementale, d'autre part, de déclarer le niveau et l'état de la désertification dans ces régions endoréiques marginalisées.

Mots-clés : Géomatique, Vulnérabilité, plaine de Gadaine, hauts plateaux, désertification.

المخلص:

سهل قداين وضواحيه هو جزء من مرتفعات شرق الجزائر، تتعلق بالمنخفضات المغلقة و المحتلة من قبل العديد من الشطوط والسبخا، بل هو وعاء لجميع التدفقات السطحية في المنطقة، كما أن التدخل البشري السريع والمستمر لهذه المساحات المنخفضة بمختلف الأنشطة بحيث أصبحت الرهانات الاجتماعية والاقتصادية معتبرة.

هذه الوضعية تساهم بشكل كبير في تطوير حساسية المنطقة إلى التدهور البيئي والتصحر عبر تملح التربة. لفهم دراسة و التوزيع المكاني لحساسية هذا السهل وضواحيه. قمنا باعتماد وسائل الجيوماتكس (الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية ونظام تحديد المواقع ..)، والتي هي حاليا تقنيات جد ممتاز في التحليل، والمعالجة وفي دعم اتخاذ القرار في إدارة الظواهر الطبيعية، وخاصة تدهور الأراضي و تملح التربة في المناطق المنخفضة.

في هذه الدراسة، حاولنا أن نظهر من جهة، دور وإمكانات استخدام تقنيات الجيوماتكس لدراسة وتحليل ظاهرة الضعف البيئي، و من جهة أخرى، الإعلان عن مستوى وحالة التصحر في هذه المناطق المنخفضة المهمشة.

الكلمات المفتاح : الجيوماتكس، حساسية، سهل قداين، الهضاب العليا، التصحر

Abstract:

The plain of Gadaine and its borders are part of the highlands of eastern Algeria, which correspond to a closed depression occupied by many sebkhas and chotts. It is a receptacle of all flows of the region. Besides, the rapid and continued anthropisation of these endoreic areas through various activities the socio-economic issues have become considerable. This situation significantly contributes to develop the vulnerability of this region to environmental degradation and desertification through soil salinization.

To understand the study and spatialize the vulnerability of this plain and its borders, we used the techniques of Geomatics (remote sensing, GIS and GPS...), which currently are an excellent analysis tools, processing and decision support for the management of natural phenomena, in particular soil degradation and soil salinization in endorheic areas.

In this study, firstly we have tried to show the role and the potential of the use of geomatics techniques for the study and the analysis of the environmental vulnerability phenomenon. On the other hand, to declare the level and the desertification condition in these marginalized endorheic areas.

Key words: Geomatics, vulnerability, Gadain plain, highlands, desertification.