

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen
Faculté des sciences de la nature et de la vie, de la terre et de l'univers
Département des sciences agronomiques et forestières

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCE

**ÉVOLUTION DU PHENOMENE DE DESERTIFICATION DANS
LE SUD ORANAIS (ALGÉRIE)**

Présentée par

BENGUERAI Abdelkader

Soutenu le 14 mars 2011

Devant le jury

Président :	Pr. BOUHRAOUA Rachid tarik	Université de Tlemcen
Directeurs de thèse :	Pr. BENABDELI Khéloufi	Université de Mascara
Co-directeurs de thèse	Pr. LETREUCH-BELAROUCI Nouredine	Université de Tlemcen
Examineur :	Pr. HARRACHE Djamila	Université de Sidi Bel Abbés
Examineur :	Dr. ELHAITOU Ahmed	Université de Tlemcen
Examineur :	Dr. LABANI Abderrahmane	Université de Saida

Année Universitaire, 2010-2011

Dédicace

A

Mes très chers parents,

Ma chère petite fille Hadjer, mon épouse

Mes frères et ma soeur

Remerciements

Au terme de ce travail et à travers ces quelques lignes, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'aboutissement de ce modeste travail.

Je tiens à remercier tous particulièrement mes directeurs de thèse ; monsieur BENABDELI Khéloufi, Professeur à l'université de Mascara, 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. Ainsi, je suis particulièrement reconnaissant à monsieur, LETREUCH BELAROUCI Noureddine, professeur à l'université de Tlemcen, pour l'aide et conseil qu'il m'a fourni pour réaliser ce travail et avoir accepté la charge de co-directeurs de thèse.

Qu'il me soit permis de témoigner ma profonde reconnaissance et ma très haute considération au président de jury: Monsieur BOUHRAOUA Rachid tarik Professeur à l'université de Tlemcen, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant la présidence de mon jury de thèse.

Je voudrais également remercier, Madame HARRACHE Djamila, professeur à l'université de Sidi Bel Abbés, pour avoir bien voulu me faire l'honneur de faire partie de mon jury.

A monsieur ELHAITOU Ahmed, Maître de conférence « A » à l'université de Tlemcen, pour avoir accepté de faire partie de mon jury et de juger ce travail.

A monsieur LABANI Abderrahmane, Maître de conférence « A » à l'université de Saida, qui a bien voulu juger ce travail.

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

Je voudrais aussi témoigner ma reconnaissance à monsieur HAMIMED A, Maître de conférence «B » à l'université de Mascara, pour m'avoir procuré les données dont j'avais besoins. J'adresse mes remerciements sincères à monsieur YEROU H, pour son aide.

Enfin, je témoigne toute ma reconnaissance, pour remercier les personnes des administrations du (HCDS, GCA, DSA et conservation des forêts) de la wilaya Naâma.

الملخص :

الهدف من هذا العمل هو أنجاز خرائط بواسطة منهجيات تستند في جزء منها على استخدام توابع « موديس » ذو قياس فضائي 250 متر لرسم خريطة حساسية التصحر في شمال غرب الجزائر و السهوب العليا لجنوب المنطقة الغربية وذلك بأستعمال بعض المؤشرات الجيوفيزيائية مثل (البياض ، مؤشر النبات و حرارة السطح) لهذا الغرض تم التوفيق بين هذه المؤشرات من خلال المدرج الاحصائي الثنائي الاتجاه و من جهة أخرى تم استخدام توابع « لاندسات» لرسم خريطة التغيرات الدينامكية للنظام الإيكولوجي السهبي التي تغطي المدة ما بين 1987 و 2007. أن دراسة فرق صور القمر الصناعي من خلال أستخدام مؤشر واحد (مؤشر النبات) مكن من وضع خريطة حالة الغطاء النباتي ورصد ظاهرة التصحر وتدهور الأراضي في منطقة النعامة. كما أن تطوير الخرائط الموضوعية بواسطة النظم المعلومات الجغرافية قد يساهم في معرفة جيدة لخصائص النظام الإيكولوجي السهبي و يقدم وثيقة قيمة من الخرائط من أجل تطوير خطط الرصد ومكافحة التصحر.

الكلمات المفتاحية: التصحر ، الأستشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية ، موديس ، لاندسات ، النعامة ، الجزائر.

Résumé

L'objectif du présent travail est l'élaboration d'une cartographie par des méthodologies basées d'une part sur l'utilisation des capteurs MODIS à 250 m de résolution spatiale pour la cartographie de la sensibilité à la désertification du nord ouest de l'Algérie et les hautes plaines steppiques du sud oranais, en utilisant des paramètres géophysiques tels que (l'albédo, l'indice de végétation et la température de surface), à cet effet, ces paramètres sont combinés entre eux grâce aux histogrammes bidirectionnels et d'autre part l'utilisation des capteurs LANDSAT, afin d'établir la carte des changements de l'écosystème steppique et couvre la période de 1987 à 2007. L'étude de différence d'image basée sur l'exploitation d'un seul paramètre géophysique (NDVI) a permis de caractériser la dynamique spatio-temporelle de l'état de la végétation de la région de Naâma. L'élaboration des cartes thématiques, par les systèmes d'information géographiques, va contribuer à une bonne visualisation des caractéristiques de l'écosystème steppique et constitue un document cartographique précieux pour l'élaboration des plans de suivi et de lutte contre la désertification.

Mots clés : Désertification, Télédétection, SIG, Modis, Landsat, Naâma, Algérie.

Summary

The objective of the present work is the elaboration of a mapping by methodologies based on one hand on the use of the sensors MODIS in 250 m of spatial resolution for the mapping of the sensibility in the desertification of the northwest of Algeria and high plains steppe of the from Oran South, By using parameters geophysics such as (the albedo, index of vegetation and the temperature of surface), For that purpose, these parameters are combined between them thanks to the bidirectional histograms and on the other hand the use of the sensors LANDSAT, To establish the map of the changes of the steppique ecosystem and cover the period from 1987 to 2007. The study of difference of image based on the exploitation of single parameter geophysics (NDVI) allowed characterizing the spatiotemporal dynamics of the state of the vegetation of the region of Naâma. The elaboration of the thematic maps, by the geographical information systems, is going to contribute to a good display of the characteristics of the Steppique ecosystem and constitute a precious cartographic document for the elaboration of the shots of follow-up and fight against the desertification.

Keywords: Desertification, Remote Sensing, GIS, Modis, Landsat, Naâma, Algeria.

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AFD : Agence Française de Développement.
CCD : Convention Internationale de Lutte Contre la Désertification
CNOA : Comité National des Organisation Non Gouvernementale
CNUED : Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement
CREAD : Centre de Recherche de l'Economie Appliqué et développement
CSFD : Conseil Scientifique Français de la Désertification.
CRSTRA : Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides.
DGF : Direction Générale des Forêts
DAPT : Direction de l' Aménagement et la planification du territoire
E.S.R : Earth and Space Research
FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FNRA : Fonds National de la révolution agraire
GLASOD : Evaluation mondiale de la dégradation des sols
HELIOSYNCHRONE : le satellite passe à une latitude donnée toujours à la même heure.
KSOURS : Ksar (pl. ksour): village traditionnel, se situant au niveau de l'Atlas Saharien.
LCD : Lutte contre la Désertification
LRSBG : Laboratoire de recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique
MADR : Ministère de l'agriculture et du Développement durable
MARA : Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire.
MATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.
MM : Mécanisme Mondial
MNT : Modèle Numérique de Terrain
MODIS : Moderate resolution Imaging Spectroradiometer
MS : Matières sèches
NASA : National Aeronautical and Space Administration (Etats-Unis).
OCDE : Organisation pour la coopération et le développement économique
OMC : Organisation Mondiale de Commercialisation
ONU : Organisation des Nations Unies
OSS: Observatoire du Sahara et du Sahel
PAN : Programme d' Action National de lutte contre la désertification
PNDA : Plan national du développement de l' agriculture.
PNAE-DD : Plan National d' Action pour l' Environnement et de Développement Durable
PNUD – UNSO : Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE : Programme des Nations Unies pour l' environnement.
PIB : Produit Intérieur brut
PPDRI : Projet de Proximité de Développement Rural Intégré
PSRE : Programme de soutien à la relance économique.
SADDR : Système d' Aide à la Décision pour le Développement Rural
SQL : Structured Query Language
ROSELT : Réseau d'observatoires et de surveillance écologique à long terme
TISIE: Temperature Independent Spectral Indices of Emissivity
TM : Thematic Mapper
UTM: Universal Transverse Mercator (projection)
UF : Unité fourragère
UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
UMA : Union du Maghreb Arabe
WCED : Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement

Table des matières

PARTIE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE	1
CHAPITRE I : ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LA DÉSERTIFICATION	5
1.1 Définition de La désertification	5
1.2 Les principales causes de la désertification	5
1.2.1. Facteurs anthropiques	5
1.2.1.1. Les activités humaines	5
1.2.1.2. Les coûts économiques de la désertification	5
1.2.1.3. Évaluation des coûts économiques	5
1.2.1.4. Exploitation économique des ressources naturelles	6
1.2.2. Facteurs naturels	6
1.2.2.1. Les sécheresses	6
1.2.2.2. Dégradation des terres arides	6
1.2.2.3. La salinisation	7
1.3 Les conséquences de la désertification	7
1.4 État de la désertification en Algérie	7
1.4.1. État des écosystèmes forestiers	9
1.4.2. État des écosystèmes steppiques	9
1.4.3. État des écosystèmes Sahariens	10
1.4.4. État des écosystèmes Oasiens	10
1.5 Les causes de la désertification en milieu steppique	11
1.5.1. Croissance de la population steppique	11
1.5.2. La densité du cheptel steppique	11
1.5.3. Extension des surfaces cultivées	11
1.5.4. L'éradication des plantes ligneuses	11
1.5.5 Régime juridique des terres	13
1.5.6. La sécheresse	13
1.6 Lutte contre la désertification	13
1.7 Évaluation et suivi de La désertification	14
1.7.1. Les indicateurs	15

1.7.2. Les observatoires	15
1.7.3. Les outils spatiaux pour le suivi de la désertification	16
1.7.4. Dégradation des terres et changements climatiques	17
CHAPITRE II : CARACTÉRISATION ÉCOLOGIQUE ET SOCIOÉCONOMIQUE DES HAUTES PLAINES STÉPPIQUES	19
2.1 Introduction	19
2.2 Présentation de la région steppique	19
2.2.1 Caractéristiques physiques	19
2.2.1.1 Le climat	19
2.2.1.2 Les sols	22
2.2.1.3 Les ressources en eau	22
2.2.1.4 Les ressources végétales	22
2.2.2 Caractéristiques socio-économiques	23
2.2.2.1 La population	23
2.2.2.2 Les activités socio-économiques	23
2.3 Principales actions menées dans les hautes plaines steppiques	25
2.3.1 Le Barrage vert	26
2.3.2 Création de coopératives pastorales	26
2.3.3 Le dossier steppe	27
2.3.4 Le programme national de mise en valeur	28
2.4 Principales projets pastorales réalisés en milieu steppique.....	28
2.5 Études menées dans le cadre de lutte contre la désertification.....	29
2.5.1 Étude de la carte nationale de sensibilité à la désertification	29
2.5.2 Travaux d'inventaire des ressources naturelles	29
2.5.3 Autres études dans le milieu steppique	29
CHAPITRE III : CADRE INSTITUTIONNEL DE LA LUTTE CONTRE LA DÉSERTIFICATION EN ALGÉRIE	32
3.1 Introduction	32
3.2 Convention des nations unies sur la lutte contre la désertification.....	32
3.3 Les regroupements régionaux	33
3.4 Cadre institutionnel régional et local	34

3.5 Les plans d'actions nationaux, sous-régionaux et régionaux	34
3.5.1 Profil institutionnel	34
3.6 Stratégies et priorités établies dans le cadre des plans et politiques de développement durable	35
3.6.1 Stratégies et priorités établies	36
3.6.2 Plans et politiques établis	36
3.7 Mesures institutionnelles et leurs mécanismes	37
3.7.1 Les organes d'intermédiation	37
3.7.2 Principales mesures financières nationales relatives au développement durable	38
3.8 Historique des politiques et actions menées en Algérie dans la lutte contre la désertification	39
3.9 Échecs des principales stratégies mises en œuvre dans la zone steppique	40
3.9.1 Sur le plan technique	40
3.9.2 Sur le plan socio-économique	41
3.9.3 Sur le plan recherche scientifique	42
CHAPITRE IV : APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION AU SUIVI DE LA DÉSSERTIFICATION	44
4.1 Introduction	44
4.2 Présentation de la Télédétection	44
4.2.1 Définition	44
4.2.2 Processus de télédétection	45
4.2.3 Principes physiques de la télédétection	45
4.2.3.1 Le rayonnement électromagnétique (REM)	45
4.2.3.2 Interaction rayonnement électromagnétique et la matière	47
4.2.3.3 Production de REM	48
4.2.3.4 Éléments de base de la télédétection	48
4.2.3.5 Éléments de radiométrie	48
4.3 Les satellites	49
4.3.1 Caractéristiques d'un satellite : l'orbite et sa fauchée	49
4.3.2 Les capteurs utilisés	51
4.4 Traitements et exploitation des documents de télédétection	51
4.4.1 Traitements préalables des données : corrections radiométriques et redressements géométriques	51
4.4.1.1 Corrections radiométriques	52
4.4.1.2 Redressements géométriques	52
4.4.2 Exploitation des documents	52
4.4.2.1 Traitements automatiques par classification numérique des pixels	52

4.5 Adéquation entre type de capteur et échelle de résolution géographique	52
4.5.1 Seuils de détection	52
4.5.2 Seuils d'identification	53
4.5.3 Seuils de cartographie	53
4.6 Notion de signatures spectrales	53
4.6.1 Caractéristiques spectrales des couverts végétaux	53
4.6.2 Comportement spectral du sol	54
4.7 Les différents indices de végétation utilisés en télédétection	54
4.7.1 Les indicateurs de suivi de la désertification	55
4.7.1.1 La rugosité	55
4.7.1.2 L'humidité du sol	55
4.7.1.3 La température de surface	56
4.7.1.4 L'albédo	56
4.7.1.5 L'indice de végétation	56
4.8 Les traitements numériques d'images	57
4.8.1 Rehaussement des données (amélioration du contraste)	57
4.8.2 Composition colorée	57
4.8.3 Les notions de texture et de structure	57
4.8.3.1 La texture	57
4.8.3.2 La structure	57
4.9 Méthodes d'analyse numérique d'image	57
4.9.1 Statistiques spatiales et Analyse en Composantes Principales (ACP)	57
 PARTIE II : EXPERIMENTATION	
CHAPITRE V : CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE LA RÉGION D'ÉTUDE	59
5.1 Introduction	59
5.2 Caractéristiques physiques de la zone	59
5.2.1 Présentation de la zone d'étude	59
5.2.2 Cadre géologique	60
5.2.3 Cadre pédologique	60
5.2.4 Caractéristiques géomorphologiques et occupation du sol	61
5.3 Les ressources végétales	63
5.3.1 Végétations steppiques	63

5.3.2 Végétations non steppiques	65
5.4 Caractéristiques climatiques	67
5.4.1 Les précipitations	67
5.4.2 Les régimes pluviométriques	68
5.4.3 Précipitations mensuelles moyennes	68
5.4.4 Les vents	70
5.4.5 La gelée	71
5.5 Synthèse climatique	72
5.6 Caractéristiques du milieu socio-économiques	74
5.6.1 Population	74
5.6.2 Les activités socio-économiques	75
5.6.2.1. L'agriculture	75
5.6.2.2 La céréaliculture et fourrage	75
5.6.2.3 L'élevage	75
5.7 Les potentialités hydriques	76
CHAPITRE VI : ÉLABORATION DE LA CARTE DE SENSIBILITÉ À LA DÉSERTIFICATION DE L'ALGÉRIE OCCIDENTALE	78
6.1 Introduction	78
6.2 Caractéristiques des données satellitaires	79
6.2.1 Les images satellites	79
6.2.2 Le capteur MODIS	79
6.2.3 Les prétraitements des images satellitaires	80
6.2.3.1 Correction atmosphérique	80
6.2.3.2 Estimation de la température de surface (Ts)	80
6.2.3.3 Estimation de l'émissivité et la température de surface	81
6.2.3.4 La température de surface dans l'infrarouge thermique	81
6.2.3.5 Elaboration de la carte de température de surface par l'algorithme de TISIE	82
6.3 Matériel et Méthode	82
6.3.1 Les outils utilisés	82
6.3.2 La méthodologie	83
6.4 Cartographie des paramètres géophysiques	85
6.4.1 Cartographie de l'indice de végétation normalisé (NDVI)	85
6.4.2 Cartographie de l'albédo dans le domaine du Visible et du Proche Infrarouge	86

6.4.3 Cartographie de la température de surface	88
6.5 Caractérisation de l'état de surface par la combinaison des paramètres géophysiques	89
6.5.1 Relation entre l'albédo et la température de surface	89
6.5.2 Relation entre l'indice de végétation et la température de surface	90
6.5.3 Relation entre l'indice de végétation et l'albédo	91
6.6 Résultats et discussion	92
6.6.1 Carte de sensibilité à la désertification de l'Ouest Algérien	92
6.6.2 Carte de sensibilité à la désertification des hautes plaines steppiques du Sud Oranais	94
6.7 Conclusion	95
 CHAPITRE VII : CARTOGRAPHIE DES MODIFICATIONS SPATIALES DE L'ECOSYSTEME STEPPIQUE	 97
7.1 Introduction	97
7.2 Application de la télédétection spatiale dans les régions arides	97
7.3 Limites de l'application de la télédétection spatiale dans les régions arides	98
7.4 Les données utilisées	98
7.5 Méthodologie	99
7.5.1 Choix des données	99
7.5.2 Correction géométrique et radiométrique des images	99
7.5.3 La technique de détection du changement	100
7.5.4 Cartographie de l'indice de végétation (NDVI)	101
7.5.4.1 Indice de végétation de l'image satellitaire Landsat de 1987	101
7.5.4.2 Indice de végétation de l'image satellitaire Landsat de 2007	102
7.6 Résultats et interprétations	103
7.7 Conclusion	105
 CHAPITRE VIII : APPORT DES SYSTEMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUES DANS LES AMÉNAGEMENTS POUR LA LUTTE CONTRE LA DÉSSERTIFICATION	 108
8.1 Les aménagements pastoraux dans l'écosystème steppique	108
8.1.1 Introduction	108
8.1.2 Origine et formes de l'ensablement	108

8.1.3 Effets de l'érosion éolienne sur le sol et la végétation	109
8.1.4 Érosion éolienne	109
8.1.5 Formes des voiles éoliennes	110
8.1.5.1 Les nebkas	110
8.1.5.2 Les barkhanes	111
8.1.5.3 Les dunes linéaires ou sifs	111
8.1.5.4 Le cordon longitudinal	112
8.1.6 Identification des sites ensablés par l'observation sur le terrain	112
8.1.7 Principales techniques de fixation des dunes	112
8.1.7.1 La fixation mécanique des dunes (les palissades)	113
8.1.7.2 Fixation biologique	113
8.1.8 Coûts des principales techniques de lutte contre l'érosion éolienne	114
8.2 Mise en place d'un système d'information géographique (SIG) de la région d'étude	114
8.2.1 Définition	114
8.2.2 Structure de l'information géographique	115
8.2.2.1 Les données rasters	115
8.2.2.2 Les données vecteurs	116
8.2.3 Fonctionnalités des SIG	116
8.2.3.1 Acquisition des données	116
8.2.3.2 Analyse et transformation des données	116
8.2.3.3 Dessin et édition cartographique	116
8.2.3.4 Les interfaces utilisateur	116
8.3 Matériel et méthode	116
8.4 Approche retenue	117
8.5 Résultats et discussions	117
8.5.1 Carte d'occupation du sol	117
8.5.2 Les ressources hydriques	119
8.5.3 Le relief	120
8.5.4 Cartographie et système d'information géographique des données intéressantes	121
8.5.4.1 Principales cartes thématiques obtenues	121
8.5.4.2 Cartographie des investissements engagés	125
8.6 CONCLUSION	126
CONCLUSION GÉNÉRALE	127
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	130

Liste des figures

Figure 1.1	Rotation de contiguïté entre les principaux groupements steppiques des hautes plaines Algériennes	12
Figure 2.1	Localisation de la région des hautes plaines steppiques de l'Algérie	19
Figure 2.2	Carte bioclimatique de l'Algérie	20
Figure 2.3	Carte pluviométrique de l'Algérie	21
Figure 2.4	Évolution de la population steppique par rapport à la population totale.....	23
Figure 2.5	Évolution du cheptel ovin des zones steppiques	25
Figure 4.1	La réflexion et l'émission du rayonnement	45
Figure 4.2	Représentation schématique d'une onde électromagnétique	46
Figure 4.3	Le spectre électromagnétique	46
Figure 4.4	Absorption, réflexion et transmission	47
Figure 4.5	Représentation de la direction des repères spatiaux	49
Figure 4.6	Orbite géostationnaire	50
Figure 4.7	Caractéristiques orbitales des satellites	50
Figure 4.8	Les capteurs en télédétection	51
Figure 4.9	Quelques signatures spectrales typiques	53
Figure 5.1	Situation géographique de la région d'étude	60
Figure 5.2	Carton pédologique de la zone d'étude	61
Figure 5.3	Carte géomorphologique de la région d'étude	62
Figure 5.4	Part de chaque classe d'occupation du sol	63
Figure 5.5	Évolution des principaux peuplements forestiers de la wilaya de Naâma	65
Figure 5.6	Pluviométrie moyenne annuelle de la période (1966 à 2006) des stations de (Mécheria et Ain-Sefra)	67
Figure 5.7	Précipitations saisonnières (1966-2007)	68
Figure 5.8	Précipitations mensuelles moyenne de la période (1970-2004)	69
Figure 5.9	Températures moyennes mensuelles de la station de Ain-Sefra de la période (1978-2006)...	70
Figure 5.10	Direction des vents de la station de Ain sefra (1980-2005)	71
Figure 5.11	Diagramme Ombrothermique Bagnouls et Gaussens (1953) de la station de Ain Sefra de la période (1978-2007)	72
Figure 5.12	Diagramme Ombrothermique Bagnouls et Gaussens (1953) de la station de Mécheria période (1978-2007)	73
Figure 6.1	Composition colorée de l'image MODIS acquise en mois de Mai 2008 du Nord Ouest d'Algérie	84
Figure 6.2	Organigramme méthodologique	85
Figure 6.3	Cartographie de l'indice de végétation de l'Algérie occidentale à partir des deux canaux (proche infrarouge et rouge) de l'image Modis/Terra.	86
Figure 6.4	Géométrie des acquisitions de réflectance	87
Figure 6.5	Cartographie de l'albédo du nord ouest de l'Algérie	88
Figure 6.6	Cartographie de la température de surface	89
Figure 6.7	Variation de la température de surface (Ts) en fonction de l'albédo de surface	90
Figure 6.8	Variation de la température de surface (Ts) en fonction de l'albédo de surface	90
Figure 6.9	Variation de l'indice de végétation en fonction de la température de surface	91
Figure 6.10	Histogramme de l'indice de végétation et de l'albédo	91
Figure 6.11	Carte de sensibilité à la dégradation du nord ouest Algérien	93
Figure 6.12	Carte de sensibilité à la désertification de la région steppique du Sud Oranais	94
Figure 7.1	Organigramme méthodologique de la cartographie des changements	99
Figure 7.2	Relation linéaire des images (NDVI) 1987 et 2007	100
Figure 7.3	Etablissement des seuils pour déterminer les changements	101
Figure 7.4	Image satellitaire de l'indice de végétation normalisé (NDVI) du 25-Avril-1987	102
Figure 7.5	Image satellitaire de l'indice de végétation normalisé (NDVI) du 27-Février-2007	103
Figure 7.6	Carte des changements entre 1987 et 2007	105

Liste des figures

Figure 8.1	Nebkas à flèche de sable et buissonnante	110
Figure 8.2	Formation des Barkhanes par l'action du vent.....	111
Figure 8.3	Les dunes linéaires	111
Figure 8.4	Dynamique de l'avancée du sable	112
Figure 8.5	Exemple d'une structure de l'information géographique en couches superposables	115
Figure 8.6	Carte d'occupation du sol par la classification dirigée de l'image satellitaire Landsat TM de 2007	118
Figure 8.7	Carte des ressources hydriques de la zone d'étude	119
Figure 8.8	Présentation du Modèle numérique de terrain (MNT) de la Wilaya de Naâma	120
Figure 8.9	Evolution de la population occupée par commune de la W. de Naâma	121
Figure 8.10	La densité de la population occupée par commune de la wilaya de Naâma	122
Figure 8.11	Evolution du cheptel ovin de la W. de Naâma	122
Figure 8.12	Concentration du cheptel ovin de la W. de Naâma 2006	123
Figure 8.13	Répartition de la charge pastorale et effectif ovin par éleveur et par commune de la	124
Figure 8.14	Valeur énergétique en UF/Kg.Ms de la région d'étude	125
Figure 8.15	Les investissements réalisés en 2004 dans le cadre de (FNRDA) de la W. de Naâma.....	125

Liste Des Tableaux

Tableau 1.1	Utilisation des terres en Algérie	8
Tableau 2.1	Fluctuation des précipitations (P) en Oranie méridionale	21
Tableau 2.2	Évolution de la population steppique	24
Tableau 2.3	Evolution de la structure de l'occupation du sol de la steppe	24
Tableau 2.4	Superficies affectées par la désertification	29
Tableau 3.1	Programmes et plans de 1962 à 1990	39
Tableau 4.1	Types de plates-formes	50
Tableau 4.2	Les indices de végétation les plus couramment utilisés	54
Tableau 5.1	Principales Catégories géomorphologiques de la région d'étude	61
Tableau 5.2	Les principales associations végétales dans la région de Naâma	65
Tableau 5.3	Répartition de la superficie forestière en (ha) et par peuplement des communes de la Wilaya de Naâma	66
Tableau 5.4	Répartition de la superficie forestière et alfatière (ha) par commune	66
Tableau 5.5	Moyennes mensuelles de la gelée pour la période (2006-2008)	71
Tableau 5.6	Position bioclimatique de la période (1978-2006) des stations de Mécheria et Ain-sefra	73
Tableau 5.7	Évolution de la population de la Wilaya de Naâma par année (1995-2008)	74
Tableau 5.8	Répartition de la production végétale par communes dans la région de Naâma	75
Tableau 5.9	Situation des ressources mobilisées (eaux souterraines)	76
Tableau 6.1	Caractéristiques du capteur MODIS TERRA	79
Tableau 6.2	Les 7 premières bandes spectrales de Modis/Terra	79
Tableau 6.3	Zones de sensibilités à la dégradation de l'ouest Algérien	93
Tableau 7.1	Moyenne des échantillons des images NDVI de (1987 et 2007)	100
Tableau 7.2	Résultats des changements du couvert végétal entre 2007 et 1987	104
Tableau 8.1	Les coûts des techniques de lutte contre l'érosion éolienne	114
Tableau 8.2	Principales unités d'occupation du sol de la région d'étude	119

Liste des photos

Photos 8.1:	Ensemblement à l'intérieur et à la périphérie de la Sebkhia d'Elnaâma	109
Photos 8.2:	Plantation pastorale (1 et 2) réalisée par la conservation des forêts et mise en défens (3) réalisée par le HCDS à Ain benkheilil	114

**INTRODUCTION
ET
PROBLÉMATIQUE**

INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

Le terme désertification est utilisé pour la première fois par Aubreville, en 1949, pour décrire le processus de changement de végétation menant à des sols dégradés et ou dénudés. Il fut ensuite repris par Tricart (1954) pour désigner la remise en mouvement des dunes dues à la dégradation anthropique suite au surpâturage et à l'extension inconsidérée d'une culture spéculative. Cependant, le terme désertification est malheureusement confondu avec la sécheresse Thomas, (1995). Ainsi, la problématique de la lutte contre la désertification était à l'ordre du jour lors de la conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, lors de la conférence à Rio de Janeiro (Brésil), en 1992. Selon la Convention sur la lutte contre la désertification des Nations Unies, le terme de la désertification signifie « la diminution ou la destruction du potentiel biologique des terres pouvant conduire à son terme ultime à des conditions désertiques » UNCOD, (1977). Selon la FAO (1992), la désertification est la dégradation des terres dans les écosystèmes secs, résultant d'activités humaines mal contrôlées.

Elle englobe tous les processus de dégradation biologique quelque soit leurs causes ou l'endroit où ils apparaissent. La FAO propose que le lien entre la désertification et l'occupation humaine soit clairement exprimé par la définition la plus précise suivante: Ensemble des facteurs géologiques, climatiques, biologiques et humains qui conduisent à la dégradation des qualités physiques, chimiques et biologiques des terres des zones arides et semi-arides et qui mettent en cause la biodiversité et la survie des communautés humaines. En effet, lorsque la dégradation des sols qui s'accélère sans cesse, réduisant les réserves des sols productifs, touche les zones arides, elle crée un environnement similaire à celui des déserts. La désertification ne se contente pas de détruire la base des ressources productives, elle provoque aussi la perte des ressources génétiques, elle augmente la poussière atmosphérique, perturbe le processus de recyclage naturel des eaux et désorganise les économies d'une nation, entraînant des déplacements de population.

Elle est synonyme de perte de productivité et complexité biologique et économique des terres cultivables, des pâturages et des terres boisées. La conséquence la plus importante de la désertification est la misère et la pauvreté des populations qui en sont les victimes Ozer, (2004). La désertification touche aujourd'hui un quart de la superficie du globe. Plus de 70 % des terres arides dans le monde sont touchées par la désertification; 10 millions d'hectares de terres arables se dégradent tous les ans; 130 millions d'hectares sont aujourd'hui gravement touchés dont 70 millions d'hectares en Afrique; un tiers de la superficie des terres émergées du globe, soit 4 milliards d'hectares, est menacé par la désertification; plus de 250 millions de personnes sont directement affectées par ce problème (CSFD et UNESCO, 2005). En Afrique, plus d'un milliard d'hectares sont modérément ou gravement touchés par la désertification.

En Algérie, près de 500.000 hectares de terres en zones steppiques sont en voie de désertification, et plus de 7 millions d'hectares sont directement menacés par le même processus MATE, (2002). La superficie des parcours dégradés, après avoir atteint 5 millions d'ha en 1985, s'est élevée à 7,5 millions d'ha en 1995, alors que les superficies palatables sont passées de 10 millions d'ha à 8,7 millions d'ha sur cette même période Bensouilah, (2003). L'Algérie est l'un des pays les plus touchés par la désertification, près de 20 millions d'hectares de parcours

steppiques et 12 millions d'hectares de parcours présahariens, se trouvant dans l'étage bioclimatique semi-aride à aride, l'Algérie perd ainsi quelques milliers d'hectares chaque année.

Les objectifs de développement du millénaire, insiste sur, la faim, la pauvreté et l'insécurité alimentaire qui persistent, tandis que les principaux écosystèmes qui sous-tendent et entretiennent les ressources naturelles, continuent d'être épuisés et dégradés. Ces défis de développement et la pression sur les ressources naturelles qui en découle sont maintenant reconnus comme des problèmes de niveau mondial. Bien que menées essentiellement par la croissance démographique et économique, ces pressions sont exacerbées par une évolution rapide du contexte environnemental qui comprend, entre autres, la dégradation des terres, la désertification, les changements climatiques, la perte de biodiversité, la pénurie d'eau, la libéralisation des régimes commerciaux. Ces facteurs, en outre, sont reliés entre eux et se renforcent souvent mutuellement FAO, (2008).

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^{ème} siècle World Bank, (2002). Par désertification, on entend une situation de dégradation des terres, liée au contexte socio-économique de l'exploitation des ressources naturelles au-delà de leur capacité de régénération, aggravée souvent par les fluctuations des conditions climatiques. Elle conduit à un déclin permanent des activités économiques, entraînant les populations locales les plus vulnérables dans la pauvreté et les poussant à un exode massif. La désertification touche aujourd'hui un quart de la superficie du globe. En Afrique, plus d'un milliard d'hectares sont modérément ou gravement touchés par la désertification Thomas, (1995).

Les enjeux et défis qui se présentent à l'Algérie, face au problème de la désertification montre clairement que la dégradation écologique du pays, notamment en ce qui concerne le capital naturel, a atteint un niveau de gravité qui risque non seulement de compromettre une bonne partie des acquis économiques et sociaux des trois dernières décennies, mais également de limiter les possibilités de gains de bien-être des générations futures.

Devant ces risques préoccupants, l'Algérie, soutenue par des programmes internationaux, a mis en place de nombreuses actions de lutte contre la désertification en prenant des mesures correctives et préventives MADR, (2004). Pour suivre l'évolution de ce phénomène et évaluer les résultats des actions de lutte, les outils spatiaux, telle que la télédétection satellitaire, joue un rôle majeur dans l'étude, des phénomènes environnementaux, à des échelles spatiales et temporelles variables, et sur une base objective et permanente, permettent aux politiques et décideurs de définir des stratégies adéquates dans le cadre d'un développement durable.

CHAPITRE I

État des connaissances sur la

désertification

CHAPITRE I : ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LA DÉSSERTIFICATION

1.1 Définition de la désertification

Au sens commun du terme et selon les dictionnaires, la désertification c'est la transformation d'une région en désert. Le mot évoque l'avancée du désert aussi bien que la désertion des campagnes, en fait pour les scientifiques et la communauté internationale il s'agit d'un phénomène de grande importance : « Le terme désertification désigne la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines. » Cette dégradation des terres en zones sèches se manifeste par une détérioration de la couverture végétale, des sols et des ressources en eau, et aboutit à l'échelle humaine de temps, à une diminution ou à une destruction du potentiel biologique des terres ou de leur capacité à supporter les populations qui y vivent.

1.2 Les principales causes de la désertification

La désertification est causée par une combinaison de facteurs qui évoluent dans le temps et varient selon le lieu. Ceux-ci comprennent des facteurs indirects, tels que les facteurs socio-économiques et politiques et la pression démographique, ainsi que des facteurs directs, comme les modes et pratiques d'utilisation des terres et certains processus liés au climat.

1.2.1. Facteurs anthropiques

1.2.1.1. Les activités humaines

La désertification est due essentiellement aux activités humaines au travers de ces pratiques (surpâturage, défrichage, éradication des espèces ligneuses). La pratique des cultures à grande échelle, l'utilisation de moyens mécaniques pour l'agriculture et l'abreuvement du cheptel, sur les sols marginaux, et l'absence des règles d'accès aux ressources naturelles conduit à un accroissement de la pression anthropique (Cornet, 2002).

1.2.1.2. Les coûts économiques de la désertification

Depuis plus de 30 ans, les ressources naturelles des régions arides se dégradent en raison des pressions des hommes sur leur milieu naturel et des crises climatiques qui se sont manifestées dans diverses régions du monde. Cette dégradation du capital naturel entraîne un processus de désertification de plusieurs centaines de millions d'hectares sur tous les continents et conduit à des situations de pauvreté pour des centaines de millions de personnes. La dégradation des écosystèmes est dommageable en termes économiques, sociaux et environnementaux. Prévenir leur dégradation et restaurer le capital naturel dégradé devraient figurer au titre des priorités nationales et internationales dans le contexte du respect des objectifs du Millénaire. La question des coûts économiques de la dégradation des terres devient actuellement prioritaire dans les réunions internationales sur le développement des régions sèches (Cornet, 2002).

1.2.1.3. Évaluation des coûts économiques

L'analyse des coûts de la désertification a été jusqu'à présent peu traitée. Ces résultats représentent en fait les coûts économiques de l'inaction dans les régions sèches et une meilleure connaissance de ces coûts déboucherait sur des argumentaires en faveur des investissements en

terres arides. En effet, les quelques résultats existants dans la littérature sont éloquentes bien qu'ils soient sous-estimés (Cornet, 2002). Ils ne prennent en compte, en effet, que les coûts directs de la désertification (les seules pertes agricoles). Ainsi, les pays d'Afrique du Nord ont par exemple des coûts annuels de la désertification compris entre 1,36 % du PIB (Algérie) et 0,47 % (Maroc). Dans les pays sub-sahariens, ils se situent entre 1 et 10 % du PIB agricole.

1.2.1.4. Exploitation économique des ressources naturelles

Les ressources naturelles constituent la base de la productivité des systèmes écologiques et des milieux. Dans les pays en développement, l'exploitation des ressources naturelles renouvelables contribue, de manière déterminante, à la satisfaction des besoins essentiels d'une grande partie de la population. Les économies nationales reposent largement sur ces ressources, qui contribuent encore, à la majeure partie des exportations de ces pays. Ainsi, selon la Banque Mondiale, dans la plupart des pays d'Afrique, la part de l'agriculture et de l'exploitation des ressources naturelles renouvelables dans le PIB était en 1992 supérieure à 30 %. L'abondance et le renouvellement des ressources naturelles sont contrôlés par les fluctuations de l'environnement. Leur devenir est fonction des usages qu'en font les sociétés et de la maîtrise des techniques d'exploitation, et de la manière dont elles sont partagées et appropriées.

1.2.2. Facteurs naturels

1.2.2.1. Les sécheresses

Les sécheresses cycliques qui transforment les paysages tout en accentuant l'action destructrice de l'homme; la dernière sécheresse qui a sévi dans les hautes plaines oranaises, de 1980 à 1990, est exceptionnelle par son ampleur. Les sécheresses, ont été les révélateurs de la désertification dans les zones arides où la pluviosité faible et sa variabilité plus grande, il est devenu plus difficile à l'écosystème et à la société de résister. Cependant, l'impact des sécheresses est faible ou négligeable là où l'impact humain et animal est faible ou nul. En effet, la végétation et les sols des régions arides se sont adaptés à des conditions de sécheresses récurrentes au cours des siècles et des millénaires passés acquérant une capacité à récupérer leurs caractéristiques après perturbation (Le Houérou, 1995). L'accentuation des phénomènes de sécheresse n'est pas à l'origine de la désertification, mais elle constitue un facteur important d'aggravation de l'effet anthropique sur la dégradation des terres en zones sèches (Thomas, 1995).

1.2.2.2. Dégradation des terres arides

En général la dégradation débute par une altération de la végétation, une modification de la composition floristique, les espèces les plus utilisées se raréfient et disparaissent. Ensuite ou parallèlement, le couvert végétal s'éclaircit, la production de biomasse diminue. Les capacités de reproduction et de régénération de la végétation se réduisent de plus en plus. Le sol, moins protégé par la couverture végétale est soumis à l'action mécanique des précipitations qui provoquent une modification des états de surface (érosion). La diminution de la biomasse et de sa restitution au sol entraîne des pertes progressives de matière organique qui constitue un des éléments déterminants des propriétés des sols. L'érosion s'accroît entraînant une destruction progressive du sol. Les conséquences sur la fertilité : chute de la capacité d'échange et des éléments disponibles; et sur le bilan hydrique: augmentation du ruissellement, baisse de la réserve en eau disponible pour les plantes, modification du régime hydrique et des échanges avec l'atmosphère, aridification sont très importantes.

1.2.2.3. La salinisation

La salinisation « est le résultat de l'évaporation et de la remontée par capillarité des eaux de la nappe phréatique ainsi que la présence d'eaux souterraines rendues de plus en plus salines faute d'un drainage approprié. Elle tient également à la pénétration des sels dans les eaux d'irrigation, à l'insuffisance de la quantité d'eau qui serait nécessaire à l'évacuation des sels accumulés dans les zones radiculaires, au fait que les eaux d'irrigation sont appliquées de manière irrationnelle, que les terres irriguées sont mal préparées et que les exploitants utilisent des méthodes de culture inappropriées » (Mabbut et Floret, 1983). En effet, une salinisation définitive des terres par accumulation importante de sels s'installe par suite d'une agriculture en irrigué, provoquant une concentration élevée, atteint des niveaux de saturation insupportable pour les végétaux, ce qui déclenche une dénudation des sol et son appauvrissement en matière organique.

1.3 Les conséquences de la désertification

La principale conséquence de la désertification, concerne la diminution progressive de la productivité des terres ayant pour corollaire une pression démesurée sur les zones non affectées ou légèrement menacées par ce fléau, induisant elle-même à son tour le risque de désertification de ces zones non encore touchées. Dans certains périmètres agricoles irrigués et oasis, la désertification a entraîné l'ensablement des canaux d'irrigation à ciel ouvert.

Les effets de la désertification, combinée à la sécheresse prolongée, ont provoqué des dégâts non seulement à l'environnement lui-même, mais aussi aux infrastructures, aux installations humaines et aux ressources en eau vitales pour la survie dans les zones arides, dont la réhabilitation et la restauration nécessitent d'énormes dépenses que les populations locales ne peuvent pas prendre en charge.

1.4 État de la désertification en Algérie

L'Algérie couvre une superficie de 2.381.741 km² est caractérisée par trois écosystèmes distincts; un écosystème montagneux localisé dans la zone tellienne, steppique compris entre l'isohyète 400 mm au Nord et 100 mm au Sud, s'étend sur 20 millions d'hectares et saharien représentant 80 % de la superficie totale (Tableau 1.1) partagé par de grandes unités morphologiques, les ergs sableux, les hamadas (plateaux caillouteux) et le Hoggar.

Le processus de désertification affecte de grandes étendues et est d'autant plus prononcé que le climat est aride et saharien. Selon le rapport annuel de 2004 du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, l'Algérie connaît actuellement des problèmes environnementaux majeurs dus à plusieurs facteurs; plus de 12 millions d'hectares soumis à l'érosion hydrique qui provoque des pertes en sol importantes entraînant l'envasement des barrages, 20 millions d'hectares que constitue la zone steppique, sont menacés par la désertification par conséquent, perte des éléments fins du sol (120 millions de tonnes de sédiments par An), glissements de terrain (16,6 m³ érodés/ An).

La superficie totale menacée par l'érosion hydrique est estimée à près de 10 millions d'ha. La précarité des conditions de vie des populations rurales les pousse à surexploiter les ressources naturelles pour satisfaire leurs besoins croissants, ce qui accentue davantage la dégradation des milieux. La perte des ressources en eau provoquée par l'insuffisance d'alimentation des nappes phréatiques, suite à la diminution de l'infiltration, l'envasement des barrages dont certains a atteint un taux de sédimentation avoisine les 100 % (Ghazi, 2004).

Des résultats inquiétants de l'érosion éolienne sont obtenus grâce à l'élaboration par télédétection d'une carte de sensibilité à la désertification par le Centre national des Techniques spatiales (CNTS, 2004); près de 600.000 ha de terres en zone steppique sont totalement désertifiées sans possibilité de remontée biologique et que près de 6 millions d'ha sont très menacés par le phénomène de désertification. Près de 1,2 millions ha de terre labourée annuellement sont soumises à la désertification suite aux pratiques culturales inadaptées en milieu steppique.

La superficie reboisée ne représente que 10 % de la superficie totale des bassins versants à protéger, alors que le taux nécessaire pour protéger un barrage contre l'envasement est de 25 %. Avec 4.150.000 ha de forêts, le taux de boisement n'est que de 1,5 %. Au niveau steppique, les écosystèmes pastoraux subissent une dégradation persistante et continue. Outre, la sécheresse persistante et cyclique, la végétation pastorale malgré sa variété et sa richesse, est soumise à une exploitation de type "minier" qui, à moyen terme, si cette situation persiste, verrait sa disparition totale. L'alfa, avec 3 millions d'ha, reste la végétation homogène dominante avec l'armoise blanche (4 millions d'ha), le sparte ainsi que le pistachier et le jujubier au niveau des dayas. La flore du Sahara est dans la plupart des cas au stade relique comme le *Cupressus Dupreziana* (cyprès du Tassili), l'*Acacia radiana*, la flore herbacée évaluée à 500 espèces de plantes vasculaires et 700 espèces de cryptogames. La faune domestique est surtout caractérisée par son patrimoine génétique bien adapté aux conditions climatiques du pays particulièrement pour le cheptel ovin. Ce dernier est évalué à 17 millions de têtes dont 50 % constitué de race locale *Ouled Djellal*, 30 % de race *Hamra*, 15 à 20 % de race *Rembi*. La race *D'mina*, très prolifique se concentre notamment au niveau du sud-ouest (Ghazi, 2004).

Le déficit en eau d'irrigation et la faible capacité d'entretien et d'exploitation des ouvrages hydrauliques, des digues, des puits et autres points d'eau, retardent et freinent les possibilités d'intensification agricole et de l'irrigation. Des cas de remontée de sels sont apparus suite à de mauvaises irrigations, notamment, en zone saharienne, steppique et l'Oranie. Certaines industries qui se sont développées à un rythme accéléré déversent, souvent sans traitement, leurs déchets solides, liquides, gazeux stérilisant ainsi beaucoup de terres agricoles (Moulai, 2008).

Tableau 1.1 : Utilisation des terres en Algérie

	Superficie Agricole Utile (SAU)	Pacages et parcours (Pâturages)	Terres improductives des exploitations agricoles	Superficie Agricole totale (SAT)
Superficie en ha	8228690	31624770	882460	40735920
Pourcentage	3,5	13,3	0,4	17,1
	Forêts et terres boisées	Alfa	Terres improductives non affectées à l'agriculture	Totale Superficie Territoriale
Superficie en ha	4280000	2725000	190433180	238174100
Pourcentage	1,8	1,1	80,0	100,0

Source (D.G.F, 2004)

Le libre accès aux parcours, a vu une multitude d'investisseurs dans l'élevage, compte tenu de sa rentabilité et la gratuité de l'unité fourragères. L'Algérie a vécu durant la décennie écoulée une période marquée par un sentiment d'insécurité générale qui a affectée non seulement les populations mais également la physionomie du pays, une bonne partie de son potentiel économique et écologique a été détruit. La lutte antiterroriste a conduit parfois au sacrifice involontaire d'une partie du patrimoine forestier. Au vu de ce constat, si les méthodes d'approche restent les mêmes, la tendance ira vers la persistance de cette dégradation à un rythme qu'il est difficile d'estimer, mais certainement important. Une situation de dégradation continue des ressources naturelles ne fera qu'engendrer la famine qui a son tour engendrera des conflits sociaux et par conséquent l'insécurité pour tout le monde (Ghazi, 2004).

1.4.1. État des écosystèmes forestiers

En Algérie, de 1830 à 1955, la forêt algérienne a perdu 1,815 million d'hectares et de 1955 à 1997, elle en a perdu 1,2153 Cette perte est le résultat, en partie, de la fragilité spécifique aux forêts de type méditerranéen mais elle est aussi le résultat de dégradations d'origine anthropiques: guerres, défrichements, surpâturage, incendies. Ainsi, chaque année, en moyenne, 12 % des superficies forestières (48 000 ha) MATE, (2002) sont parcourus par les incendies. La seconde menace qui pèse sur les écosystèmes forestiers est constituée par l'homme lui-même. En premier lieu, celui-ci est souvent l'auteur, volontaire ou involontaire, de la majorité des départs de feu en forêt. En second lieu, la pression démographique à l'intérieur des forêts ou aux abords immédiats de celles-ci va induire une surexploitation des parcours ainsi que l'accroissement des défrichements et des labours.

Benabdeli (1996), souligne à ce sujet : « En Algérie la déforestation est importante, un aperçu sur l'évolution des surfaces le confirme. La superficie forestière initiale de l'Algérie est estimée par plusieurs auteurs et forestiers à 7 millions d'hectares avant 1800, en 1830 elle n'était que de 4 millions d'hectares, en 1953 seulement 3.298.000 et en 1967 près de 2.233.000 hectares. En prenant en considération les broussailles et les maquis bas dégradés dont la superficie est estimée à 720.000 hectares notre couverture végétale forestière est de l'ordre de 2.953.000 hectares. Cette situation permet les remarques suivantes ; sur les 2.380.000 hectares de forêts (chiffre récent) plus de 780.000 sont considérés comme ruinés et à un stade régressif irréversible, en 1983 la couverture végétale forestière est estimée à 2.400.000 hectares dont 1.800.000 de maquis. Les chiffres ne coïncident pas entre eux, ce qui reflète la dynamique régressive et les agressions constantes que supportent les écosystèmes forestiers. Les pressions qui s'y exercent sont toutes dues aux activités humaines volontaires ou planifiées ».

1.4.2. État des écosystèmes steppiques

L'influence directe du Sahara confère à la steppe un climat sec et chaud, marqué par des fluctuations thermiques importantes. En dehors des lits d'oueds et des dayas, les sols y sont généralement pauvres en matières organiques. La sécheresse, de plus en plus sévère durant les trois dernières décennies (baisse en moyenne de 25 % de la pluviosité) augmente le niveau d'aridité et accroît plus que proportionnellement la sensibilité des sols à la dégradation, levier premier de la diminution de la couverture végétale. L'érosion éolienne, second facteur physique de dégradation de l'écosystème steppique, est accélérée dans un milieu où la végétation est devenue plus éparse (Abdelguerfi, 2003). Son action contribue à l'appauvrissement des sols. Son

action est renforcée par l'érosion hydrique provoquée par des pluies rares mais se présentant toujours sous forme d'orages violents.

Les facteurs anthropiques constituent, cependant, la plus grande menace pour la survie des écosystèmes steppiques. L'élevage, de petits ruminants et de camélins, a constitué pendant des siècles l'activité essentielle d'une société pastorale qui tentait de sauvegarder un équilibre dynamique à l'écosystème steppique sur la base d'une mobilité de grande amplitude des troupeaux. Au cours des dernières décennies, cette société a profondément changé. La croissance démographique a été exceptionnellement forte (moins d'un million d'habitants en 1954, plus de sept millions aujourd'hui) et, en l'absence d'autres sources de revenus, elle a impulsé une croissance non négligeable du cheptel sur la steppe (plus 16 millions de têtes aujourd'hui contre 4 millions en 1954) (Abdelguerfi, 2003). Surpâturage et extension des labours dénudent le sol, augmentent les risques de ruissellement et d'érosion éolienne, accélèrent la disparition des espèces pastorales les plus intéressantes et diminuent la richesse floristique de la steppe.

1.4.3. État des écosystèmes Sahariens

La partie algérienne du Sahara est constituée de plateaux rocheux (les hamadas et les regs), de dépressions salées (les chotts) ou encore d'accumulations sableuses sous forme de dunes inexploitable par l'agriculture même en présence d'eau. Les zones utilisables se trouvent dans les vallées fossiles des oueds, dans les dépressions (dayas) et dans les plaines sableuses (ergs). En dehors des zones sableuses, les sols ont pour constante l'existence d'horizons durs constitués d'argiles compactes, de concrétions calcaires ou d'encroûtement gypso-calcaire rendant difficile leur mise en valeur. Le climat est caractérisé par un hiver froid et un été chaud et sec. Le climat a un effet très marqué sur la physiologie des sols. Ces derniers sont soumis à une forte dégradation due aux grandes amplitudes thermiques, déficiences pluviométriques très longues et souvent pluri-annuelles et à la fréquence de vents intenses.

1.4.4. État des écosystèmes Oasiens

Les oasis constituent des écosystèmes très particuliers, elles sont formées par la superposition de deux systèmes, l'un naturel en limite d'amplitude bioécologique et l'autre artificialisé; tous deux sont fortement conditionnés par les ressources hydriques. Selon MATE, (2002) les facteurs contribuant à la dégradation des oasis sont les suivants:

- les oasis subissent un phénomène de salinisation dû aux eaux d'irrigation, généralement situées au niveau des dépressions (problème du drainage) et au manque d'entretien du réseau de drainage.
- L'augmentation du volume des eaux usées dans les centres urbains menace la productivité de certaines palmeraies (phénomène de remontée des eaux).
- Les oasis sont également confrontées à d'autres problèmes comme des difficultés nouvelles liées à l'accession à la propriété foncière agricole; un puisage trop important; une exploitation directe des parcelles en monoculture et l'abandon des terres à la suite de baisses de rendements; un manque de technicité au niveau des exploitations et une urbanisation anarchique menaçant la qualité esthétique de certains Ksour.
- Les foggaras, système d'irrigation original, ancestral et patrimoine unique, sont menacées par le pompage excessif des grands exploitants et le manque d'entretien.

1.5 Les causes de la désertification en milieu steppique

1.5.1. Croissance de la population steppique

La population steppique est passée de 1.255.000 habitants en 1968 à près de 4 millions en 1996. Durant la même période, la population nomade a régressé de 540.000 à 200.000 personnes. Cette régression est due au fait que la transhumance diminue au profit de déplacements de très courte durée (augmentation du surpâturage) (Moulai, 2008).

1.5.2. La densité du cheptel steppique

L'étude menée en 1996 qui visait à déterminer l'évolution du taux de charge des parcours, fait apparaître qu'en 1968, les parcours steppiques avec leurs 1,6 milliards d'UF nourrissaient 7.890.103 équivalents-ovins, ce qui donnait une charge de 1,9 ha/équivalent ovin (Chellig, 1969). En 1996, le cheptel steppique équivaut à 19.170.103 équivalents ovins, et la charge réelle des 15 millions d'hectares, correspondrait à 0,78 hectares pour 1 équivalent ovin. Les différentes études Le Houèrou, (1985) a montré que les parcours se sont fortement dégradés et que la production fourragère est équivalente à environ 1/3 de ce qu'elle était en 1968, c'est à dire 533 millions d'UF. La charge pastorale potentielle serait d'environ 8 ha par un équivalent ovin et donc 10 fois supérieure à la charge réelle des parcours ce qui donne lieu à un surpâturage intense qui se manifeste par le maintien trop prolongé du troupeau sur les aires pâturées prélevant une quantité de végétation largement supérieure à la production annuelle.

La dégradation des parcours et de la steppe en général est la résultante de cette surexploitation des ressources essentiellement à travers le surpâturage, mais aussi par le défrichement de milliers d'hectares en faveur des cultures céréalières.

Le cheptel a connu des fluctuations importantes que différentes raisons écologiques ou socio-économiques peuvent expliquer Boukhobza, (1982); le facteur primordial demeure toutefois la variabilité pluviométrique directement corrélée aux disponibilités fourragères naturelles; durant les années 1940, les sécheresses pouvaient avoir des effets dévastateurs sur le cheptel mais à partir de la fin des années 1960, l'évolution du cheptel semble s'affranchir des conditions climatiques alors que la steppe vit la période sèche la plus longue à l'échelle du siècle. Les sécheresses récurrentes semblent avoir ainsi perdu leur caractère régulateur naturel du cheptel (Aidoud, 1989).

1.5.3. Extension des surfaces cultivées

Les surfaces cultivées sont passées de 1,1 million d'hectares en 1968 à 2,1 millions d'hectares en 1990 à la suite de défrichements sur des sols fragiles situés en dehors des terres fertiles des fonds d'oueds ou de dayates (dépressions).

1.5.4. L'éradication des plantes ligneuses

Cette pratique demeure toujours en vigueur chez les nomades, mais tend de plus en plus à diminuer Boughani, (1995). L'état actuel de la dégradation des peuplements forestiers montre que la végétation ligneuse a été surexploitée. Ceci s'explique par les besoins en combustible pour la cuisson et le chauffage, amenant les populations à déraciner les espèces ligneuses (*Armoise blanche*, *Noaea mucronata*, *Salsola vermiculata* et *Tetrenda*, *Hammada scorpia*, etc...) où à couper les arbres ou arbuste qui subsistent (*Juniperus phoenica*, *Tamarix*, *Jujubier*, etc...).

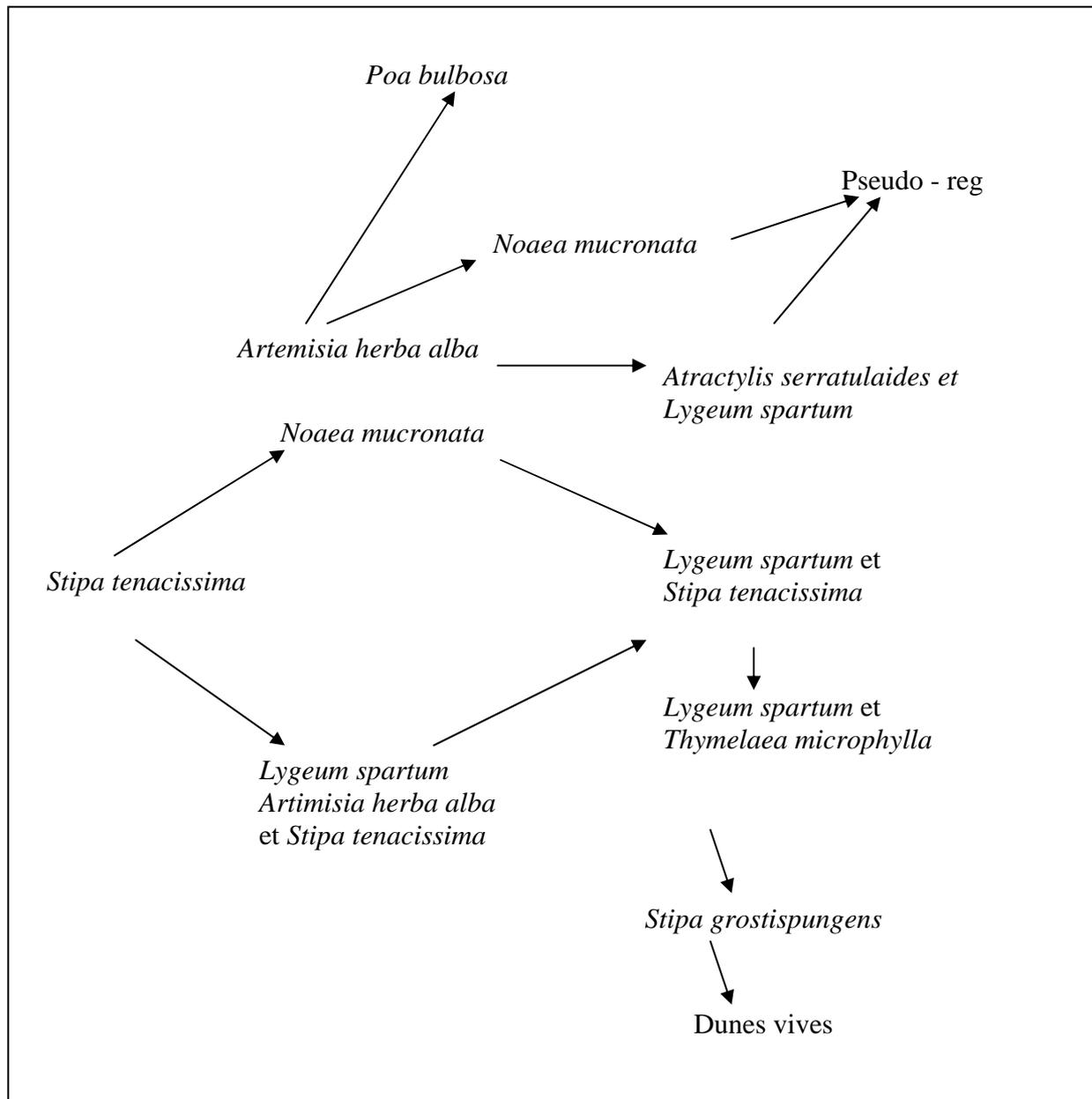


Figure 1.1 : Rotation de contiguïté entre les principaux groupements steppiques des hautes plaines Algériennes Aidoud et Aidoud, (1991).

D'après Bedrani, (1995), l'effectif ovin a triplé entre 1960 et 1990, cette augmentation a entraînée un surpâturage à l'hectare, ce qui provoque un surpâturage généralisé.

Selon Aidoud, (1989), l'impact du surpâturage sur la végétation se traduit par :

- le développement dominant des espèces indésirables, refusées ou très peu consommées par les ovins ;
- la régression du couvert végétal en général, et particulièrement les pérennes ;
- le développement d'une flore post-pastorale riche en thérophytes, favorisée par la concentration des animaux (plantes nitrophiles).

Ainsi, en mauvaise année, l'animal manquant de fourrage est orienté vers les espèces pérennes se trouvant alors au minimum de leurs réserves, ces espèces représentent en fait l'essentiel du potentiel productif des parcours.

Par ailleurs, Aidoud et Aidoud, (1997), ont schématisé l'évolution des groupements steppiques des hautes plaines steppiques Algériennes selon le schéma donné dans la (figure 1.1).

L'analyse de cette représentation schématique reflète qu'à partir des *Stipa tenacissima* pur, la dégradation semble suivre deux voies essentielles qui aboutissent aux groupements à armoise blanche par érosion et aux groupements à sparte par dépôt sableux.

Le remplacement des groupements d'alfa est assuré par celui à *Artemisia herba alba* et *Noaea mucronata*. Il peut évoluer avec une intensification de la pression pastorale, vers un groupement à *Atractylis serratuloides* et *Lygeum spartum* ou vers une pelouse à *Poa bulbosa*, comme dans le Sud Algérois.

L'évolution vers un groupement à *Noaea mucronata* a été constatée dans le sud algérois. D'une manière globale, la dégradation s'accompagne d'un appauvrissement du cortège floristique et d'une baisse du couvert végétal global, celui des plantes pérennes plus particulièrement.

1.5.5 Régime juridique des terres

Les terres steppiques ont été considérées pendant longtemps comme des terres « arche » et étaient perçues comme propriété privée par les groupes et personnes qui les exploitaient.

Lorsqu'en 1975, suite au remaniement du Code pastoral, les terres steppiques furent reversées au domaine de l'État et que celui-ci conféra un droit d'usage aux éleveurs, ce statut ambigu de « terre sans maître » entraîna un désinvestissement tant de la part de l'État que des éleveurs, avec des conséquences néfastes comme la dégradation des parcours et la non-régénération des ressources (MATE, 2002). Le statut juridique ambigu du foncier dans la steppe encourage cette exploitation irrationnelle des ressources. En effet, les parcours steppiques dont les terres « arche » intégrées au domaine privé de l'Etat, font que les agro-pasteurs les exploitent de manière abusive sans se soucier de la régénération de la flore pastorale. « L'état actuel de dégradation atteint dans les zones arides steppiques représentant plus de 20 millions d'hectares est un problème majeur pour l'Algérie du 3ème millénaire » (Benabdeli, 1992).

1.5.6. La sécheresse

La sécheresse contribue à la dégradation des ressources naturelles telles que la végétation, les parcours pastoraux et les sols, accentuant ainsi le processus d'érosion et de désertification. En effet, la sécheresse et la désertification sont des phénomènes très liés. Au cours du siècle précédent, l'Algérie a vécu plusieurs périodes de sécheresse dont les plus intenses ont été ressenties en 1910 et en 1940 et de manière plus persistante dans les années 1975-80 ainsi qu'au début du siècle, ce qui donne une idée de l'ampleur de cette sécheresse et de la dégradation climatique qui en est la cause (OSS, 2009).

1.6 Lutte contre la désertification

Les techniques de lutte contre la désertification ont fait l'objet de nombreuses recherches. Il n'existe malheureusement aucune solution scientifique toute faite pour contrôler la désertification, et personne n'est en mesure de fournir une réponse simple. Il existe cependant de nombreuses solutions partielles mises au point pour des conditions particulières dans des régions précises. Les solutions sont spécifiques de chaque lieu et de chaque situation. Elles reposent sur

le contrôle des causes de la dégradation des terres. D'une manière générale, les techniques et les méthodes de lutte contre la désertification peuvent être réparties en quatre catégories correspondant à des stratégies différentes et complémentaires (CNUED, CCD 1992):

- Les méthodes correctives qui visent à arrêter un phénomène, et à réparer les dégradations subies. On peut citer, la fixation des dunes, la lutte contre l'ensablement, les techniques anti-érosives et de conservation des eaux et des sols, les reboisements, mais aussi les techniques de réhabilitation des écosystèmes.
- Les techniques permettant de mieux exploiter les ressources, d'en accroître la productivité, d'améliorer leur régénération. Elles correspondent à la formulation de pratiques améliorées et adaptées pour l'agriculture, l'élevage, l'usage de la biomasse et des sols.
- La mise au point de modèles de gestion intégrée des ressources. Cela porte sur la résolution des conflits, la création de lieux de négociation et de décision, l'établissement de règles de gestion, et de sécurisation de l'accès aux ressources.
- La mise en place de mécanismes institutionnels et politiques propices au développement économique et à la préservation des ressources naturelles. Parmi ceux-ci l'établissement de législations et de réglementations, la mise en place d'incitations économiques et fiscales, le développement d'infrastructures, le renforcement des ressources humaines. La lutte contre la désertification et la dégradation des terres s'inscrivent dans une approche globale des problèmes d'environnement et de développement. La viabilité des actions entreprises pour lutter contre la dégradation des terres est souvent conditionnée par l'accroissement et la diversification des ressources permettant une élévation du niveau de vie des populations. Une stratégie efficace visant à réduire ou à arrêter la dégradation des terres devra prendre en compte les critères de développement durable.

1.7 Évaluation et suivi de la désertification

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

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

Selon ces auteurs, les critères d'évaluation de la dégradation des terres et des tendances de la désertification devraient être clairs, pertinents et spécifiques, tant en termes d'environnement que d'échelle, ce qui suppose une connaissance préalable des processus fondamentaux. Les objectifs poursuivis dans les études de suivi évaluation de la désertification sont doubles : il s'agit d'une part d'évaluer et de mesurer l'état de dégradation des terres afin de diagnostiquer la gravité du problème, de caractériser son étendue et d'en déceler les changements et les évolutions. D'autre part de mesurer les performances des actions de lutte entreprises et l'effet des politiques nationales dans ce domaine.

Deux ensembles principaux de données mondiales ont servi de source pour les données relatives à la désertification: D'une part, le programme d'évaluation mondiale de la dégradation des sols

(Global assessment of soil degradation (GLASOD) de la FAO. D'autre part, les données du Centre international d'étude des zones arides et semi-arides (International Center for Arid and Semi-Arid Land Studies (ICASALS) de l'Université Technique du Texas, dont les chiffres portent sur la dégradation des sols et/ou sur les zones souffrant de dégradation de la végétation.

Par ailleurs, un certain nombre d'études de cas détaillées permettent d'arriver à une compréhension valable des modifications de l'environnement et de la façon dont les populations y réagissent en un lieu donné. Ces études au niveau local, menées souvent durant de nombreuses années, démontrent la résilience des systèmes pastoraux et agricoles, face aux variabilités de grande ampleur de la pluviosité (Toulmin, 1993).

La désertification et la dégradation des sols résultent de mécanismes et processus complexes et interactifs, pilotés par un ensemble de facteurs agissant à différentes échelles spatiales et temporelles. Leur suivi exige d'une part la description des conditions biophysiques et socio-économiques des milieux subissant ces phénomènes, et d'autre part la compréhension des mécanismes et processus résultant de ces conditions.

Ce suivi repose tout d'abord sur l'acquisition de paramètres de base permettant de décrire les états du milieu et leur dynamique aux échelles spatio-temporelles pertinentes, puis sur l'analyse, et le cas échéant la modélisation, des interactions entre facteurs induisant des processus contribuant à la désertification. Sans développer tous les aspects qui donnent lieu à de nombreuses recherches, nous aborderons sommairement trois aspects : les indicateurs, les observatoires et contribution des outils spatiaux.

1.7.1. Les indicateurs

Les indicateurs sont traditionnellement employés dans l'évaluation, le suivi et la prévision. Ils ont selon l'OCDE, (1993) deux fonctions principales :

- réduire le nombre de mesures et de paramètres qui seraient normalement nécessaires pour rendre compte d'une situation avec exactitude,
- simplifier le processus de communication des résultats de mesures aux utilisateurs. Leur objet consiste à condenser un grand nombre d'informations en quelques mesures compréhensibles, puis à nous aider à décider quelle action déclencher. Pour ce faire les indicateurs doivent être corrélés aux buts et objectifs et exprimés en des termes compatibles avec ces buts et objectifs. Un bon indicateur doit être pertinent par rapport au problème, fondé sur des données et analyses fiables et répondre aux besoins de l'utilisateur. Il doit être suffisamment sensible pour donner précocement des indications sur les changements (Rubio et Bochet 1998).

Dans le contexte de la Convention, on doit considérer différents types d'indicateurs; d'une part des indicateurs concernant la mise en place des dispositifs et des actions de la Convention au niveau national ou régional. Ils sont désignés sous le nom d'indicateurs de mise en oeuvre. D'autre part les indicateurs concernant l'impact des actions entreprises sur le phénomène de désertification.

1.7.2. Les observatoires

Le développement de méthodes d'évaluation et de suivi de l'état de l'environnement et de l'impact des actions de lutte contre la dégradation des terres repose sur la mise en place de réseaux d'observation à long terme utilisant des méthodologies de collecte et de transfert de données compatibles. L'intérêt de ces observatoires est de collecter les données nécessaires, sur

une base harmonisée, de suivre dans le temps l'évolution de processus et de permettre la définition de situations de références. Ils permettent de développer des indicateurs et de les tester, d'élaborer des outils d'aide à la décision intégrant ces indicateurs. Ils constituent également des sites privilégiés de recherche sur l'étude des mécanismes et des processus, ainsi que sur les facteurs déterminant les évolutions.

L'Observatoire du Sahara et du Sahel a mis en place un Réseau d'Observatoires pour la Surveillance Ecologique à Long Terme (ROSELT/OSS, 1995). Ce dispositif a été conçu avec et au service des pays africains pour assurer le suivi à long terme de la désertification et développer les activités de recherche associées. Il est constitué par un ensemble d'observatoires fonctionnant en réseau à l'échelon régional de la zone géographique de l'OSS sur le continent africain. Le projet ROSELT a été bâti sur une démarche ascendante partant de la demande des Etats qui ont proposé des sites candidats et des équipes de recherche et de suivi. Un mécanisme d'expertise et de labellisation a été mené conduisant à la sélection de 23 observatoires labellisés ROSELT. Un ensemble restreint de 12 sites pilotes a été sélectionné pour la première phase du projet. Le projet est supporté financièrement par divers bailleurs de fonds dont le Fonds Français pour l'Environnement Mondial, la Coopération française et la Coopération suisse.

La stratégie de ROSELT s'inscrit délibérément comme une contribution essentielle à la compréhension des phénomènes d'environnement en liaison avec la problématique des changements globaux et du développement durable, et de la lutte contre la désertification, c'est un outil à la fois au service de la recherche et au service du développement.

Dans le cadre de la recherche scientifique et technique, l'Algérie s'est dotée d'un réseau de recherche scientifique et de développement technologique chargé de la mise en oeuvre et de l'exécution des programmes nationaux de recherche (PNR) en aménagement du territoire et de développement de la zone steppique prévu par la loi de 1998. Il comprend un domaine réservé à la lutte contre la désertification et au développement des régions arides et semi-arides.

L'Algérie participe actuellement, au coté des autres pays de la région, au Programme du Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme (ROSELT) de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) visant à améliorer les connaissances sur les mécanismes, les causes, les conséquences et l'étendue de la désertification. Une démarche partenariale est initiée et associe l'Unité de Recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres (URBT) de l'Université des Sciences et de la Technologie d'Alger (USTHB), le Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (CRSTRA), l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA), l'Institut National de Recherche Forestière (INRF), la Direction Générale des Forêts (DGF), l'Office National de la Météorologie (ONM) et l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH).

La mise en place d'observatoires dans les régions touchées par la désertification vise le suivi à long terme des facteurs du milieu (paramètres climatiques, édaphiques, hydriques, etc.), l'occupation des terres et des états de la surface des sols, la végétation et les ressources végétales, la faune, les ressources en eau, la gestion foncière, les facteurs socio-économiques et le suivi des usages.

1.7.3. Les outils spatiaux pour le suivi de la désertification

La cartographie et le suivi de l'extension spatiale de la dégradation constitue une des bases de la connaissance du phénomène de désertification et est indispensable à l'établissement de plans de

lutte et de programmes d'utilisation durable des ressources naturelles en zones arides et notamment en méditerranée.

Si de nombreuses études de terrain sur les processus de dégradation et la dynamique des écosystèmes ont été conduites, il demeure difficile et incertain de généraliser les résultats obtenus à des échelles plus vastes et à des ensembles régionaux. Une information détaillée sur l'état actuel de la végétation et des sols à une échelle régionale n'est souvent pas disponible. Les études de terrains précises et irremplaçables ne permettent pas d'établir des cartographies régionales détaillées en raison de leur coût élevé, de leur standardisation insuffisante et des difficultés d'accès à certains terrains. La télédétection à partir des satellites constitue une source d'informations alternatives. Cependant les données radiométriques recueillies ne correspondent pas directement à l'information souhaitée et doivent être interprétées pour obtenir ces informations (Bonn et Escadafal, 1996).

Le programme VSD (Veille Satellitaire de la Désertification, 1993-1996) a souligné que les techniques de télédétection, combinées avec une très bonne connaissance du terrain, permettaient de détecter la progression de la dégradation des zones arides mais également leur restauration sous l'effet bénéfique des actions de protection et de lutte. Au-delà de ces acquis, il est apparu que la diversité des méthodes utilisées pour surveiller les milieux arides rendait difficilement comparables d'un endroit à l'autre, voire d'une équipe scientifique à l'autre. Ce constat a mis en évidence la nécessité de donner une dimension régionale à la mise au point d'outil de surveillance.

1.7.4. Dégradation des terres et changements climatiques

Un questionnement et un débat permanent existent sur les interactions réciproques entre désertification et changements climatiques. La difficulté provient du fait que nos connaissances sur les processus de dégradation des terres et sur les mécanismes des changements climatiques, sont encore bien incomplètes.

Suite à la période de sécheresse prolongée qui a sévi en Afrique sahélienne, on constate que cette pluviosité moindre et sa variabilité plus grande. Cependant, l'impact de ces sécheresses est faible ou négligeable là où l'impact humain et animal est faible ou nul. Pour l'ensemble des auteurs, l'accentuation des phénomènes de sécheresse n'est pas à l'origine de la désertification mais elle constitue un facteur important d'aggravation de l'effet anthropique sur la dégradation des terres en zones sèches (Cornet, 2002).

CHAPITRE II

Caractérisation écologique et
socioéconomique des hautes
plaines steppiques

CHAPITRE II : CARACTÉRISATION ÉCOLOGIQUE ET SOCIOÉCONOMIQUE DES HAUTES PLAINES STÉPPIQUES

2.1 Introduction

La Steppe algérienne constitue une vaste région qui s'étend du Sud de l'Atlas saharien, formant un ruban de 1000 km de long sur 300 km de large, réduite à moins de 150 km à l'Est (Figure 2.1). Elle s'étend sur une superficie de 20 millions d'hectares mais compte 15 millions d'hectares de parcours et sa limite Nord commence avec le tracé de la limite des précipitations moyennes annuelles de 400 mm, qui coïncide avec l'extension des cultures céréalières en sec pour se limiter au Sud de l'Atlas saharien à 100 mm de précipitations. D'énormes potentialités en termes de ressources naturelles risquent d'être irréversiblement compromises par l'évolution du climat et les mutations socio-économiques dans le milieu steppique qui reste l'ultime barrière naturelle contre le désert. Cet espace est sérieusement menacé par le processus de désertification.

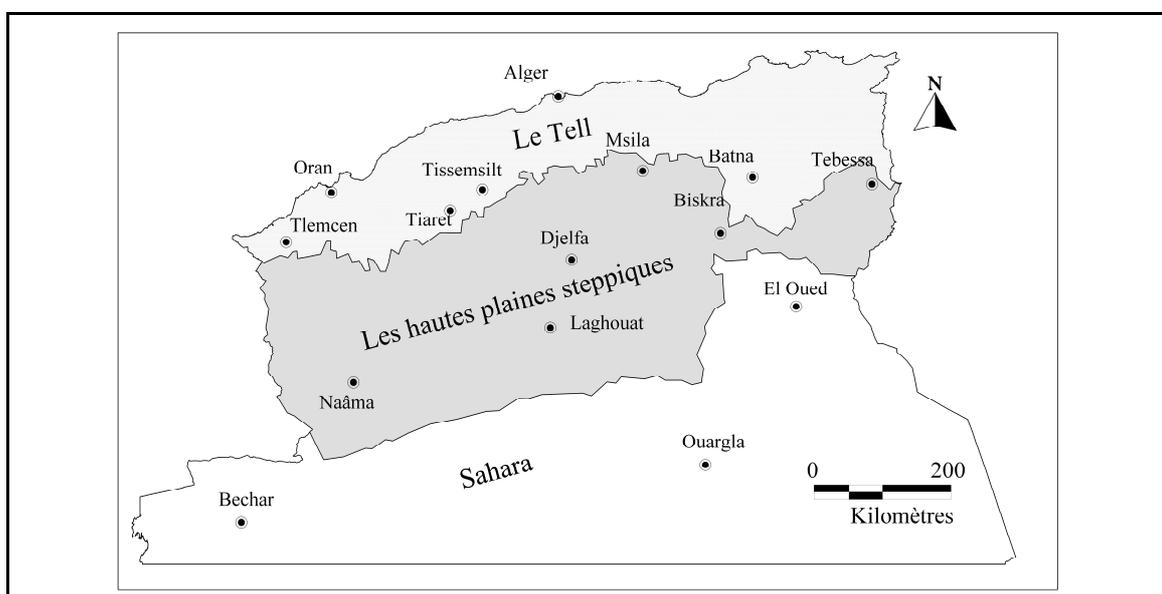


Figure 2.1: Localisation de la région des hautes plaines steppiques de l'Algérie.
(Source : ANAT, 2004)

2.2 Présentation de la région steppique

2.2.1 Caractéristiques physiques

2.2.1.1 Le climat

La tranche pluviométrique constitue un référentiel significatif en matière de sensibilité au phénomène de désertification puisqu'elle conditionne l'état de la végétation pérenne. Dans la région d'étude on observe la répartition suivante :

- 300 - 400 mm, correspond à la zone sub-steppique du semi-aride, caractérisée par la disparition des espèces forestières et l'apparition des espèces steppiques telles que l'armoise (*Artemisia herba alba*), l'alfa (*Stipa tenacissima*) et le sparte (*Lygeum spartum*). Ces terrains considérés comme de bons parcours sont situés au Nord des Hautes Plainnes algéro-oranaises et sur le versant Sud des Aurès, des Monts des Ouleds Naïls et des Nememchas. Dans cet étage bioclimatique, les parcours sont en compétition avec la céréaliculture au niveau des dépressions.

- **100 - 300 mm**, cette tranche pluviométrique correspond à la région des steppes méridionales arides et présahariennes qui sont caractérisées par une réduction importante du couvert végétal donnant lieu à des parcours médiocres sur des sols squelettiques et ayant atteint un seuil de dégradation très avancé.
- **< 100 mm** correspond à la zone Sud de l'Atlas saharien. La végétation est contractée et localisée dans les lits d'oueds. C'est une végétation hygrophile et psamophile fortement adaptée aux conditions xériques et qui présente un très fort taux d'endémisme. On retrouve des pâturages à base d'espèces graminéennes à *Aristida pungens* et *Panicum turgidum* et d'arbustes fourragers tels que les nombreux acacias.

Les Hautes Plainnes steppiques sont caractérisées par une longue période de sécheresse estivale variant de 5 à 6 mois au niveau des Hautes Plainnes steppiques, l'influence du Sahara confère à ces régions un climat sec et chaud avec une amplitude thermique très importante. La moyenne des températures minimales du mois le plus froid "m" comprise entre 0 et 9°C dans les régions littorales et entre - 2 et + 4°C dans les régions semi-arides et arides. Une moyenne des températures maximales du mois le plus chaud "M" varie avec la continentalité, de 28°C à 31°C sur le littoral, de 33°C à 38°C dans les Hautes Plainnes steppiques et supérieure à 40°C dans les régions sahariennes. Les zones steppiques sont localisées dans les étages bioclimatiques semi-arides, aride et même présaharien (Figure 2.2).

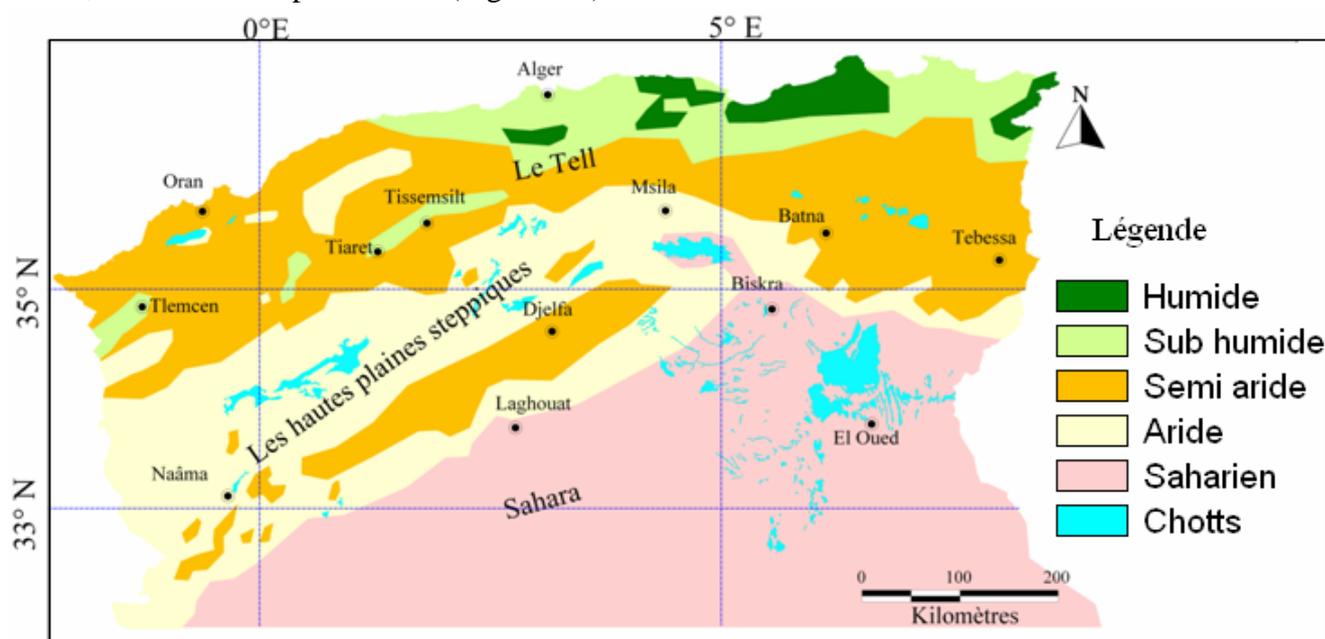


Figure 2.2 : Carte bioclimatique de l'Algérie. (Source : ANAT, 2004).

L'écosystème steppique est marqué par une grande variabilité interannuelle des précipitations; les dernières décennies ont connu une diminution notable de la pluviosité moyenne issue d'annuelle, avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante. La diminution des précipitations moyenne calculée sur une période (1913-38) est de l'ordre de 18 à 27 %, particulièrement du Sud-Ouest Oranais, les pluviosités annuelles n'ont pas dépassé 25 % de la moyenne, et la durée de la saison sèche aurait augmenté de 2 mois entre 1913-1938 et 1978-1990 (Djellouli et Nedjraoui 1995). Les précipitations varient sont entre 100 et 400 mm/an (figure 2.3) dans la zone steppique selon un gradient Sud-Nord.

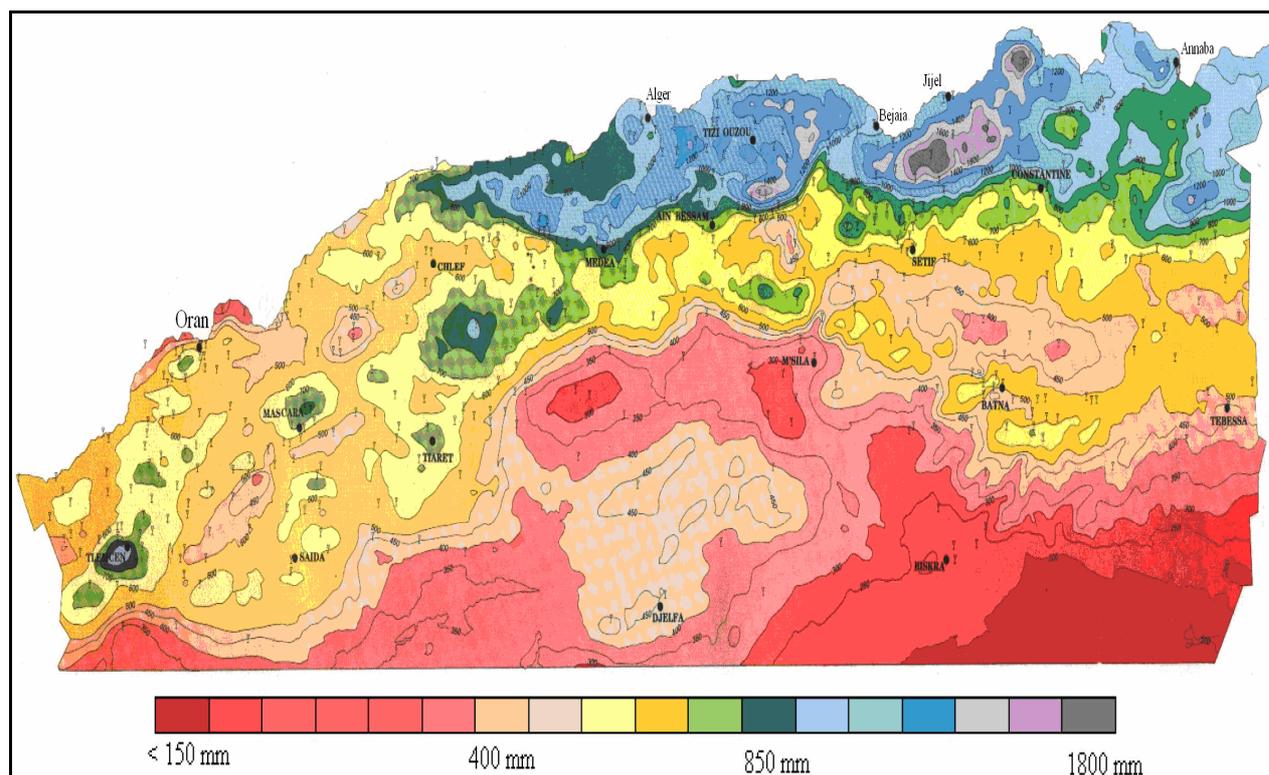


Figure 2.3 : Carte pluviométrique de l'Algérie. Source : (ANAT, 2004)

Selon Benabdeli (2007), une synthèse sur les fluctuations des précipitations en Oranie méridionale fait apparaître un déficit oscillant entre 12 et 32 mm (Tableau 2.1).

Tableau 2.1 : Fluctuation des précipitations (P) en Oranie méridionale

Stations	P en 1985-1990	P en 2000-2005	Ecart en mm	%
Saida	382	350	32	8,38
El Bayadh	323	309	14	4,33
Djelfa	308	284	24	7,79
Tebessa	340	328	28	8,24
Mécheria	276	264	12	4,35
Ain Oussera	250	238	12	4,80
Laghouat	170	157	13	7,65
Moyenne	292	275	19	6,51

Le vent est l'aspect climatique le plus important dans l'étude d'une région aride, il est malheureusement souvent délaissé ou mal évalué dans les stations météorologique (où il se compte en nombre de jour) alors qu'il joue un rôle déterminant dans sa capacité de transport d'éléments solides si sa vitesse était bien appréciée.

A ce sujet Bensaid (2006) note : « Le vent est non seulement, un agent érosif spécifique au façonnement des paysages désertiques, mais aussi responsable de l'ensablement et de leur origine ». Le vent est donc capable d'éroder des roches tendres et cela par le frottement exercé par les grains de sable transportés. La zone steppique est un champ de remous pour les masses d'air, en raison des immenses étendues et des couloirs qu'elle comporte.

2.2.1.2 Les sols

Selon Halitim (1988), les principaux types de sols peuvent être définis par unité géologique et géomorphologique, au niveau des massifs montagneux se rencontrent, selon la roche mère, deux grandes catégories de sols : d'une part, sur substrat dur (calcaire, grés), des lithosols (durs) et rendzines; d'autre part, sur substrat tendre (marne, marno-calcaire), des régosols et des sols bruns calcaires. Sur les glacis à encroûtement calcaire-gypseux se développent des sols à texture limono-sableuse, peu évolués. Les systèmes dunaires, correspondent à des sols minéraux bruts, d'apport éolien et au niveau des sebkhas la nappe phréatique saline conditionne la formation de sols halomorphes.

Deux ensembles de facteurs édaphiques ont une influence déterminante sur la végétation :

- les facteurs du bilan hydrique, en particulier la capacité de rétention en eau du sol (liée à la texture, à la teneur en matière organique et au type de substrat) ainsi que la valeur des apports complémentaires (ruissellement, nappe phréatique).
- les facteurs chimiques, principalement le rôle des horizons d'accumulation des sels.

La géomorphologie dans les zones arides chaudes est constituée par trois à quatre glacis d'érosion emboîtés, hérités du Quaternaire; ces glacis sont plus ou moins remaniés par l'érosion actuelle résultant de processus hydriques et éoliens. Les deux séries de processus sont généralement juxtaposées, la dominance de l'une ou de l'autre dépendant des conditions locales notamment des matériaux disponibles et de la pression anthropozoïque. Ces sols sont pauvres en matière organique de 0.1 à 1 % et peu évolués et les sols azonaux comprennent d'importantes superficies de sols halomorphes, hydromorphes (Le Houérou, 1995).

2.2.1.3 Les ressources en eau

Le potentiel des ressources en eau est localisé dans le Nord de l'Algérie qui englobe les bassins tributaires de la Méditerranée et les dépressions fermées (Chotts) des Hauts Plateaux. Les potentialités en eau du pays s'élèvent à environ 16,8 milliards m³, dont 80 % sont renouvelables (70 % pour les eaux de surfaces et 10 % pour les eaux souterraines) et sont localisées dans la frange nord du pays. Les ressources non renouvelables concernent les nappes du Sahara septentrional qui seraient exploitées comme un gisement et qui se traduit par un abatement continu du niveau de ces nappes.

Les ressources hydriques sont faibles, peu renouvelables, inégalement réparties et anarchiquement exploitées. Les points d'eau sont au nombre de 6500 dont plus de 50 % ne sont plus fonctionnels (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

2.2.1.4 Les ressources végétales

La végétation naturelle est dominée par des formations basses et claires avec des espèces pérennes ligneuses et herbacées (Le Houérou, 1995). Les formations végétales sont marquées par une steppe graminéenne pérenne représentée par :

- une steppe à *Stipa tenacissima* et *Lygeum spartum*,
- une formation chaméphytique : steppe à *Artemisia herba-alba* parfois liée aux conditions climatiques et édaphiques (steppe aride ou saharienne, steppe psammophile colonisant les substrats sableux, ou steppe halophile à Salsolaceae colonisant les sols à forte teneur en sels.
- un matorral composé de genévrier de Phoenicie (*Juniperus phoenicea* et *Stipa tenacissima*) ou une végétation steppique à structure simplifiée, monostrate et très ouverte, dominée par le remth (*Arthrophytum scoparium*) sur les reliefs

- une formation dominée par les thérophytes (espèces annuelles appelées acheb dans la région) survivant pendant la saison sèche sous forme de graines et apparaissant avec les premières pluies (Kaabèche, 2000).

2.2.2 Caractéristiques socio-économiques

2.2.2.1 La population

Les transformations socio-économiques des zones arides ont fait l'objet de nombreuses analyses, lesquelles font ressortir des mutations profondes caractérisées par le passage d'une utilisation extensive des ressources naturelles, dans le cadre d'un mode de vie nomade et semi-nomade, à une occupation et une utilisation relativement intensives de l'espace suite à la sédentarisation des populations locales, la privatisation des terres, le développement de l'arboriculture et une diversification de l'activité économique (Benabdeli, 2000).

Selon (Nedjraoui et Bédrani, 2008), la croissance démographique des zones steppiques est plus forte que celle enregistrée dans le reste du pays et a concerné aussi bien la population agglomérée que la population éparse (Figure 2.4).

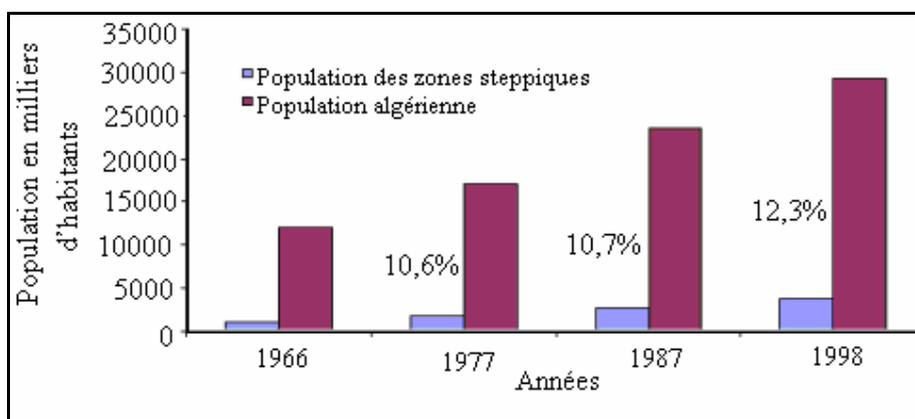


Figure 2.4 : Évolution de la population steppique par rapport à la population totale. (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

Cependant on note une importante régression du nomadisme (Tableau 2.2) qui ne subsiste que de façon marginale, les déplacements de grande amplitude ne concernant plus qu'environ 5 % de la population steppique. L'équilibre social et biologique s'est trouvé fortement perturbé par l'intensification des besoins engendrés par la croissance démographique qui n'a pas été accompagnée par une création d'emplois suffisamment conséquente pour absorber la main-d'œuvre excédentaire par rapport aux besoins d'une exploitation raisonnable des parcours naturels (Bédrani, 1998).

2.2.2.2 Les activités socio-économiques

En 1968, la production céréalière de la steppe est estimée à 4,35 millions de quintaux et 1,1 million d'hectares ont été cultivés. En 1992, elle passe à 2,1 millions d'hectares labourés et cultivés soit 10 % de la steppe. Les faibles rendements obtenus à partir de la culture céréalière steppique (3 à 5 quintaux par ha) sont loin de compenser la dégradation des sols induite. A cet effet les spécialistes du pastoralisme s'accordent à dire que les surfaces pastorales et surtout leur potentiel écologique ont régressé d'une manière spectaculaire ces deux dernières décennies.

Bédrani, (1995) signale cette dégradation des zones fragiles et les conséquences qui en découlent.

Tableau 2.2 : Évolution de la population steppique (milliers d'habitants).

Années	1954	1968	1978	1988	1996
Population totale	925,70	1 255,48	1 700,00	2500	4000
Population nomade	595,42	545,25	500	625	200
Pourcentage population nomade	64	43	29	25	5

Source (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

Au début du 20^{ème} siècle, on a assisté de plus en plus à la mise en culture et à l'appropriation des terres de parcours, à la disparition des complémentarités entre régions et au changement de la forme de déplacement des troupeaux. En Afrique du Nord, le nomadisme était pendant plusieurs siècles le système d'élevage dominant. Le système pastoral a résisté aux changements de dynasties notamment l'empire Ottoman. Les limites frontalières n'existaient pas à l'époque. Ce n'est cependant qu'avec la pénétration des puissances coloniales françaises (pour l'Algérie, le Maroc, la Tunisie et la Mauritanie), que ces sociétés de pasteurs ont connu des changements profonds (Yerou, 1998).

Selon Bensouiah (2003), la diminution de la superficie des parcours palatables (Tableau 2.3) semble se faire également au profit des cultures marginales qui voient leur superficie passer de 1,1 million d'ha en 1985 à 1,6 million d'ha en 1995, soit 500 000 ha supplémentaires au profit des forêts et maquis, qui gagnent 700 000 ha durant cette même période. Parallèlement, l'effectif du troupeau ovin est passé de 7 millions de têtes en 1980 à 11 millions en 1995.

Tableau 2.3. Evolution de la structure de l'occupation du sol de la steppe.

	1985		1995	
	Superficie (millions d'ha)	Part (%)	Superficie (millions d'ha)	Part (%)
Parcours palatables	10	50	8,7	43,5
Parcours dégradés	5	25	7,5	37,5
Terres improductives	2,5	12,5	0,1	0,5
Forêts et maquis	1,4	7	2,1	10,5
Cultures marginales	1,1	5,5	1,6	8
Total	20	100	20	100

Source : (MARA, 1985 et HCDS, 1995, in Bensouiah).

La désertification est essentiellement liée à une surcharge animale et un surpâturage de ces zones sans temps de repos suffisant pour leur permettre de se régénérer. Ce phénomène est essentiellement imputable à une absence de gestion raisonnée des pâturages, notamment des pâturages collectifs, ainsi qu'à l'accroissement des effectifs pouvant être favorisé par certaines politiques d'intervention (transport d'eau par camion ou subvention des aliments) (Jouve et al, 2002).

La steppe se caractérise par une surcharge des parcours dont l'effectif du troupeau, est passé de 7212240 ovins en 1980 à près de 12 millions en 2005 (Figure 2.5), avec un rapport de 0,8 ovin par ha palatable en 1985, la steppe ne pouvait supporter que le quart du troupeau existant.

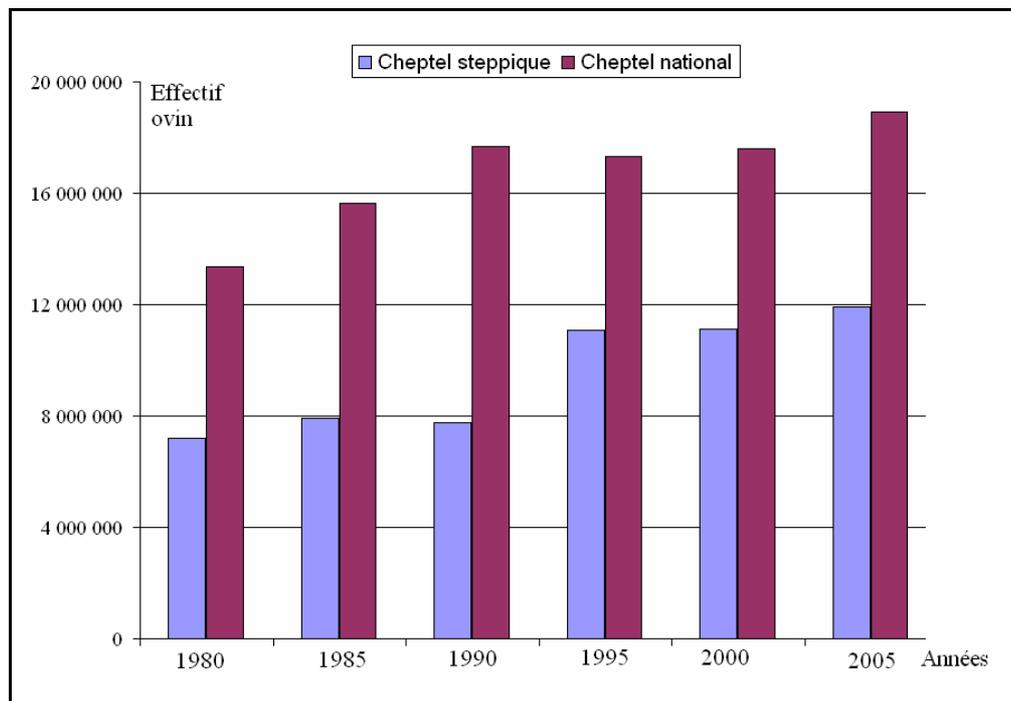


Figure 2.5 : Évolution du cheptel ovin de l'Algérie

Pour faire face à ces phénomènes (surpâturage, culture des terres marginales), il paraît indispensable d'amener les différents utilisateurs de l'espace pastoral à se concerter en vue d'une exploitation raisonnée des ressources du milieu (terres, fourrages, eau) conduisant à la mise en place de règles et d'instances de contrôle de l'utilisation de ces ressources. Il paraît aussi nécessaire de gérer la taille des effectifs en adéquation avec les capacités du milieu et le système agropastoral en place (Jouve et *al*, 2002).

2.3 Principales actions menées dans les hautes plaines steppiques

Les stratégies de « développement pastoral », pendant l'économie dirigée, sont issues de compromis entre les « impératifs » techniques et choix politiques, se fondent le plus souvent sur des schémas modernistes qui ne tiennent compte ni de la logique des pratiques traditionnelles ni de la réalité des rapports de force locaux.

Cette inadéquation des politiques pastorales s'explique sans doute en grande partie par les lacunes de l'information sur le milieu. Mais il importe de s'interroger sur les causes de ces lacunes : n'y a-t-il pas sous-utilisation du potentiel scientifique, manque de coordination entre techniciens et chercheurs et absence de demande précise des autorités concernées? Compte tenu de la complexité des problèmes du pastoralisme en Algérie, du poids des facteurs historiques et de la volonté modernisatrice des pouvoirs publics (Guillermou, 1990).

Les politiques d'amélioration pastorale ont porté essentiellement sur les parcours steppiques et l'élevage ovin. Les mêmes actions sont reprises avec changement des rapports sociaux de production, les moyens de production, cheptel et matériel, devenaient propriétés collectives.

Les tentatives d'organisation de la steppe sont nombreuses et très peu ont donné des résultats positifs dans le sens de l'amélioration des parcours.

2.3.1 Le Barrage vert

Selon Nedjraoui et Bédrani (2008), de 1962 à 1969 il y a eu la mise en place les chantiers populaires de reboisement (CPR). 99.000 ha de plantations forestières ont été réalisés dans le cadre de l'amélioration et l'aménagement des parcours et la lutte contre l'érosion éolienne.

Le « Barrage vert », projet lancé en 1974, couvrant les zones arides et semi-arides comprises entre 200 et 300 mm, reliant les frontières algériennes occidentales aux frontières orientales et s'étalant sur une superficie de 3 millions d'hectares, avait pour objectifs de freiner le processus de désertification et de rétablir l'équilibre écologique. La désertification était perçue à l'époque comme une « avancée des déserts ». Fort coûteux, le "barrage vert" a été une erreur technique : il est difficile de faire pousser des arbres sur des sols souvent inadaptés et sans irrigation prolongée entre les isohyètes 200 et 350 mm. De plus, le choix de l'espèce, le pin d'Alep, très vulnérable à la chenille processionnaire, n'a pas été scientifiquement réfléchi.

D'après Mohammedi et al, (2006), toutes les opérations entamées ont été faites sans études au préalable et les résultats obtenus n'étaient pas satisfaisants dans leur ensemble. Parmi les causes principales de cet échec, il faut noter le mauvais choix des espèces végétales et des techniques de plantation, la transformation d'un espace de parcours en zone boisée, l'absence d'intégration de la population dans le projet et l'inadéquation entre la vocation des terres et l'aménagement réalisé.

Aujourd'hui, à part certaines zones au niveau des piémonts Nord de l'Atlas Saharien où l'espèce a pu se développer correctement, il n'en reste que des traces formées par quelques pins d'Alep rabougris (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

2.3.2 Création de coopératives pastorales

Le lancement de la Révolution Agraire et la promulgation du code pastoral, a pour principal objectif la limitation du cheptel des gros possédants, la création de coopératives pastorales pour les petits éleveurs et une meilleure gestion de la steppe à travers des mises en défens, une interdiction des labours sur les zones pastorales, l'arrachage des espèces ligneuses. Des conflits d'intérêt sont apparus lors de l'application du Code Pastoral et toutes ces dispositions n'ont pu être appliquées. Aujourd'hui, bien qu'il n'ait jamais été abrogé, plus personne n'en parle et les mêmes rapports de force qu'avant son existence subsistent (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

La première et la deuxième phase de la Révolution Agraire ont donné lieu la création des Coopératives Agricoles Polyvalentes Communales de Service (CAPCS) pour l'approvisionnement des éleveurs en biens alimentaires et domestiques. La troisième phase a été réduite à la création de 200 coopératives d'élevage pastoral (CEPRA) et 49 ADEP et le versement des terres au Front National de la Révolution Agraire.

Ainsi, la création de l'association du développement de l'élevage pastoral (ADEP) dont l'objectif était de provoquer un changement dans les systèmes d'élevage ovin traditionnel en agissant sur la sédentarisation des nomades par le biais de l'accroissement de la charge à l'hectare moyennant une mise en défens et l'introduction des techniques de pâturages et de conduite des troupeaux rationnelles.

Cette association était la base de création des ZDIP (zone de développement intégré du pastoralisme), mises en place durant le plan quadriennal 1970 – 1973, dont l'objectif était d'inciter les éleveurs à s'organiser sur les parcours par le biais de l'utilisation et de la rentabilisation en commun des infrastructures et techniques mise a leur disposition.

Chaque commune relevant de ces ZDIP s'est dotée d'une coopérative d'approvisionnement, de commercialisation et de service (CAPCS). L'objectif de l'ADEP au niveau de ces ZDIP était la création de 40 coopératives pastorales. Chaque coopérative est composée de 26 éleveurs ayant chacun 100 brebis et 5 béliers et disposant de 10.000 ha de parcours clôturé. La conduite du troupeau adoptée est fonction des disponibilités alimentaires et la charge supportable est 40 coopératives pastorales organisées regroupant 1500 familles nomades structurées et détribalisées, utilisant 500.000 ha de parcours exploités rationnellement par 150.000 brebis produisant 120.000 agneaux /an (Chellig, 1985 cité par Nouad, 1995).

Le nombre de coopératives créées était très faible par rapport à la population autochtone, les zones délimitées n'étaient pas en adéquation avec les habitudes des éleveurs et le système de vie de ces habitants a été bouleversé. Cela s'est traduit par un abandon de cette politique et une disparition pure et simple de ces coopératives (Mohammedi et al, 2006). Elles furent dissoutes en 1976 n'ayant pas répondu à l'objectif dans le sens de l'amélioration des productions pastorales et de la gestion des parcours.

Selon Yerou (1998), le phénomène de la détribalisation a joué un rôle néfaste pour ce projet de développement. L'organisation sociale (tribale) était tellement bien soudée et ancrée, qu'il ne fallait pas la briser mais au contraire, l'amender, en faire un pilier sociologique, avec une négociation de nouveaux modes de conduite et de gestion.

2.3.3 Le dossier steppe

Le plan quinquennal (1985-1989) est caractérisé par la mise en place de deux plans de développement steppique (dossier viandes rouges et dossiers steppe). Le dossier viandes rouges avait pour objectif l'organisation de la filière viandes rouges, notamment ovines. Cette organisation touchait les fonctions de (production, commercialisation du cheptel vif, abattage et transformation).

La priorité donnée à ce dossier était le délestage de la steppe des animaux improductifs et l'intensification de l'élevage ovin en zone céréalière.

On a assisté à l'inverse de ce qui avait été prévu, les offices des viandes étaient chargés de "délester" et offraient des prix intéressants incitant les agriculteurs-éleveurs de la zone agropastorale à acheter des brebis et à les remettre sur la steppe. La mise en défens appliquée sans aucune vulgarisation au préalable n'a eu, quant à elle, aucun résultat, puisque les éleveurs refusaient cette mise en défens. On a constaté un échec pour organiser en groupe les utilisateurs des parcours afin de faciliter l'introduction de meilleurs systèmes de contrôles des pâturages et de production des droits de pacage des réserves (Benguerai, 2006).

L'adoption du dossier steppe a donné lieu la création du Haut Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS), chargée de mettre en place une politique de développement intégré sur la steppe en tenant compte de tous les aspects économiques et sociaux. Alors que son texte de création le chargeait d'impulser le développement global de la steppe, les réalisations du HCDS se sont limitées à la réhabilitation des parcours dégradés par des mises en défens et des plantations d'atriplex, à la création de quelques zones d'épandage, à la multiplication de points d'eau (les derniers réalisés utilisant l'énergie solaire).

2.3.4 Le programme national de mise en valeur

Les derniers programmes appliqués dans les zones steppiques concernent le programme national de mise en valeur des terres par la concession qui créait des exploitations agricoles sur des terres marginales steppiques après les avoir aménagées (défoncements, épierrage, mobilisation d'eau pour l'irrigation) et 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.

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.

Ainsi, on a souvent obligé les bénéficiaires des terres mises en valeur à faire de l'arboriculture fruitière (alors que la plupart, anciens nomades, n'y connaissaient rien). Par ailleurs, aucune incitation n'a été donnée pour que les agriculteurs produisent des fourrages qui auraient pu limiter la pression sur les parcours. Aussi, la plupart des bénéficiaires du PNDA ont-ils opté principalement pour le maraîchage (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

2.4 Principales projets pastorales réalisés en milieu steppique

Dans le souci d'améliorer la gestion des parcours steppiques et de ralentir leur dégradation, de nombreux projets ont été lancés depuis l'indépendance.

Depuis 1968 et avec la participation du PNUD, des projets avaient pour but l'amélioration des ressources pastorales (cultures fourragères et élevage ovin) dans un but d'aménagement intégré des terrains de parcours à travers des études phytoécologiques et des expérimentations agricoles.

Les applications de ces projets pratiquement inexistantes ne valaient pas les investissements que l'on a concédés. Les documents de synthèse (rapports et cartes) élaborés par les experts servent toujours de référence aux pastoralistes actuels.

Les principales études et réalisations lancées dans les années quatre vingt, sont en général prises en charge par le HCDS. La steppe a bénéficié pour l'ensemble de ses régions de 165 projets relatifs au programme pastoral pour la période 1985-1992. Ce programme concerne la mise en valeur des parcours avec la réalisation de forages, puits pastoraux, séguias, ouvertures de piste, l'amélioration foncière, la création d'unités pastorales et répartition des ressources naturelles.

Depuis 1992, les programmes sur la steppe sont réalisés à travers une approche participative qui donne lieu à une étroite collaboration entre les agropasteurs et les structures chargées de réaliser ces programmes, en l'occurrence le HCDS.

La réalisation de ces Grands Travaux a trouvé l'adhésion des populations pastorales qui ont été impliquées. La mise en défens sur les zones dégradées est souhaitée et approuvée par les pasteurs. Il en est de même pour les plantations pastorales susceptibles de réhabiliter les écosystèmes fortement dégradés.

Les bénéficiaires qui participent au projet sont conscients de l'intérêt de ces plantations et sont prêt à les multiplier et à les préserver. Toutes ces actions ont été développées en partenariat avec les communes steppiques ce qui a permis d'introduire un nouveau type d'exploitation des parcours institutionnalisé en 1997 et qui concerne la location des périmètres aménagés ou mis en défens par les communes.

A partir de l'année 2000, le plan national de développement Agricole, a pour objectif l'amélioration du niveau de la sécurité alimentaire ». Il s'articule autour de l'incitation et le soutien des exploitants agricoles pour :

Développer les productions adaptées aux zones naturelles et aux terroirs, adapter les systèmes d'exploitation des sols dans les régions arides et semi-arides.

Ces actions fondées sur les contraintes agro-climatiques convergent "vers des objectifs de reconstruction du territoire agricole et de conservation des ressources naturelles (eau et sol) aptes à favoriser le développement durable".

La mise en œuvre des programmes est soutenue par le Fonds National de Régulation et Développement Agricole (FNRDA).

Dans le domaine des cultures fourragères, les actions soutenues concernent le développement de la production et de la productivité par l'acquisition d'intrants agricoles (semences, opérations culturales) et de matériel agricole spécialisé (faucheuse, ensileuse, silos...).

2.5 Études menées dans le cadre de lutte contre la désertification

2.5.1 Étude de la carte nationale de sensibilité à la désertification

A l'aide d'images satellites, la Direction Générale des Forêts (DGF) a établi, avec le concours du Centre National des Technologies Spatiales (CNTS), une carte de sensibilité liée à la désertification. Le Tableau 2.4 répertorie ces différentes zones (MATE, 2002).

Tableau 2.4 : Superficies affectées par la désertification

Types de zones	Superficie En hectares
Zones désertifiées	487.902
Zones très sensibles	2.215.035
Zones sensibles	5.061.388
Zones moyennement sensibles	3.677.680
Zones peu/pas sensibles	2.379.170

2.5.2 Travaux d'inventaire des ressources naturelles

La connaissance du fonctionnement des écosystèmes à travers les études sur la biomasse, la minéralomasse, la productivité primaire et les mécanismes d'adaptation aux conditions écologiques a permis de comprendre les phénomènes de désertification, l'un des déséquilibres majeurs de la biosphère, de proposer des solutions pour l'utilisation rationnelle des ressources pastorales de manière à mieux utiliser les ressources fourragères et énergétiques disponibles pour les troupeaux.

Les travaux d'inventaire et d'évaluation des ressources naturelles ont donné lieu à la réalisation de cartes telles que les cartes de l'occupation des terres et pastorale de Méchéria d'El Kreider à l'échelle de 1/200.000 et les cartes pastorales de Mécheria au 1/200.000 (ROSELT/OSS, 2005).

2.5.3 Autres études dans le milieu steppique

De nombreux auteurs ont orienté leurs travaux sur l'évaluation du taux de la dégradation des steppes, citons à titre d'exemple, Aidoud (1989) a poursuivi les observations sur l'évolution saisonnière et les variations interannuelles de la végétation afin de rechercher de façon de plus en plus précise les relations milieu-plante-animal et les modèles adéquats de leur représentation. Kadi Hanifi A et Dahmani en 1995, ont étudié la désertification le long d'un transect Nord-Sud

en Algérie, Aidoud et Aidoud (1997), ont abordé l'étude de la structure dynamique des communautés végétales du complexe alfa-armoise-sparte.

Le fonctionnement des systèmes socio-économiques détermine l'impact des usages et des pratiques sur ces ressources. Ce suivi à long terme dans ces régions qui a débuté dès les années 1970 et se poursuit encore aujourd'hui (CRBT, 1978 ; URBT, 1994 ; Programme ROSELT/OSS/Algérie, 2001-2005) dans des stations installées dans différentes zones steppiques, a permis d'évaluer et de cartographier leur potentialité, de quantifier l'intensité de leur dégradation et d'identifier les facteurs qui en sont responsables. Une synthèse des travaux antérieurs est donnée dans le document final du projet ROSELT disponible en ligne sur le site de l'OSS.

CHAPITRE III

Cadre institutionnel de la lutte

contre la désertification en

Algérie

CHAPITRE III : CADRE INSTITUTIONNEL DE LA LUTTE CONTRE LA DÉSSERTIFICATION EN ALGÉRIE

3.1 Introduction

En ce début de millénaire, les changements géopolitiques de cette dernière décennie ont conduit à une globalisation effective des affaires du monde. Le reflux des économies à planification centralisée, la fin de la guerre froide, les progrès de la démocratie, l'élévation du niveau d'instruction, les innovations technologiques qui permettent la circulation des idées, sont autant de faits marquants des années quatre vingt dix, augurant de nouvelles perspectives dans les relations internationales, particulièrement entre le Nord et le Sud.

La Convention des Nations Unies de Lutte contre la Désertification dans les pays gravement touchés par la sécheresse ou la désertification, en particulier en Afrique, adoptée en 1994 a été signée par l'Algérie en 1994, entrée en vigueur en 1996. Cette convention, premier instrument international juridiquement contraignant, a pour moteur essentiel à l'échelle nationale le PAN (Programme d'Action National) et faire régulièrement le point sur l'état d'avancement des actions qui y sont retenues. En 2003, l'Algérie a réalisé et validé son PAN.

3.2 Convention des nations unies sur la lutte contre la désertification

La question a été discutée pour la première fois à l'échelle planétaire lors de la Conférence des Nations unies sur la désertification organisée en 1977 à Nairobi (Kenya). Toutefois, en raison d'un manque d'appui administratif et financier, les tentatives de s'attaquer efficacement au problème de la désertification ont échoué. C'est pourquoi, en 1992, les participants à la Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement, connue sous l'appellation de sommet « Planète Terre », ont recommandé l'élaboration d'une Convention sur la lutte contre la désertification (CCD).

Selon Cornet (2002), la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification vise à garantir un engagement à long terme des Parties par un document juridiquement contraignant. Elle a pour objectif de lutter contre la désertification et d'atténuer les effets de la sécheresse dans les pays gravement touchés, en particulier en Afrique, grâce à des mesures efficaces à tous les niveaux, appuyées par des arrangements internationaux de coopération et de partenariat, dans le cadre d'une approche intégrée compatible avec le programme Action 21, en vue de contribuer à l'instauration d'un développement durable dans les zones touchées.

Les Organisations internationales et les pays non signataires y assistent comme observateurs ; les décisions sont prises par consensus. Au lieu de créer un nouveau fonds pour lutter contre la désertification, la convention a souligné la nécessité d'améliorer la gestion et de mobiliser et coordonner les fonds existants en créant un *Mécanisme Mondial*. Il est chargé par la conférence des parties d'identifier les ressources financières existantes, de mobiliser et de canaliser les ressources financières des organisations bilatérales et multilatérales à tous les niveaux pour concevoir et exécuter les programmes et projets. Un autre organe subsidiaire de la convention est le Comité de la Science et de la Technologie (CST), formé des représentants des Etats. Il se réunit en même temps que la conférence des parties et il traite des aspects scientifiques, de coopération et de transfert des technologies (Cornet, 2002).

L'approche de la convention repose sur des obligations et sur le principe de solidarité entre pays touchés et pays développés. Elle oblige les pays concernés parties à accorder la priorité à la lutte

contre la désertification et contre les effets de la sécheresse, à s'attaquer aux causes de la désertification, en particulier aux facteurs socio-économiques et à collaborer dans ce sens avec les populations concernées. Parallèlement, les pays développés parties s'engagent à soutenir activement ces efforts et à fournir un concours important à cette fin.

De la Convention découle un certain nombre de principes directeurs qui doivent sous-tendre les stratégies d'application mises en œuvre :

- La lutte contre la désertification et la dégradation des terres s'inscrivent dans une approche plus globale des problèmes d'environnement et de développement.
- L'approche participative est essentielle dans la définition des stratégies, des plans d'action et des projets de lutte.
- La science et la technologie constituent des outils essentiels dans la lutte contre la désertification.
- La mise en place de projets concrets, susceptibles d'apporter des solutions adaptées aux problèmes majeurs rencontrés localement.

Un certain nombre de questions cruciales pour le fonctionnement de la convention, notamment les procédures de mise en œuvre, la stratégie opérationnelle du mécanisme mondial (MM), l'amélioration des travaux du CST, entraînent inévitablement des débats tendus, avec pour résultat un fossé grandissant entre pays développés et en développement. Or un climat de méfiance n'est pas favorable à la création de partenariats durables, et la convention risquerait fort de perdre sa légitimité si ces questions n'étaient pas résolues à la satisfaction de toutes les parties.

Pour faciliter la recherche d'une solution au problème de la désertification, le Mécanisme Mondial a été mis en place sous l'autorité de la Conférence des Parties à la Convention des Nations Unies sur la (CCD) tenue à Rome en 1997. Le Fonds International de Développement Agricole (FIDA) a été choisi comme organisation hôte du MM, après ratification de la Convention par une assemblée au niveau ministériel à laquelle participaient plus de 113 pays.

Le MM est au cœur d'un réseau dynamique de partenaires résolus à concentrer leurs énergies, leurs ressources et leur savoir sur la LCD. La tâche principale du MM est d'accroître l'efficacité et l'efficacité des mécanismes financiers existants et de promouvoir des mesures afin de mobiliser des ressources financières importantes pour la mise en œuvre de la Convention et de les acheminer vers les pays en développement touchés. Le MM ne se contente pas de mobiliser les ressources financières, mais il en canalise le flux, garantissant ainsi une efficacité et une efficacité financières accrues et assurant une approche holistique et équitable de la distribution des ressources. En conséquence, le MM apparaît désormais comme une institution incontournable dans tout scénario de financement des projets de LCD notamment au Maghreb (Derj, 2004).

3.3 Les regroupements régionaux

Il existe formellement cinq regroupements aux Nations unies pour la représentation du monde : l'Afrique, l'Asie, l'Amérique latine et les Caraïbes, l'Europe centrale et orientale et le groupe intitulé « Europe de l'Ouest et autres ». Le groupe régional d'Afrique est le groupe le plus actif dans les négociations. Toutefois vu le grand nombre de pays et la faible structuration interne par manque de moyens, délégations peu importantes, le processus de décision est quelquefois difficile.

3.4 Cadre institutionnel régional et local

Il existe d'autres organisations africaines impliquées dans la mise en oeuvre de la CCD, parmi lesquelles, celles du Maghreb avec l'Union du Maghreb Arabe qui a été créé en 1989 à Marrakech, ce regroupement des pays d'Afrique du Nord comprend l'Algérie, la Lybie, le Maroc, la Mauritanie, et la Tunisie pour la coopération économique, culturelle et scientifique. L'organisation peine à trouver ses modalités de coopération et la mise en oeuvre de la CCD reste avant tout l'affaire des Etats. Sur le plan de l'implication de la société civile, les fortes prérogatives réaffirmées sans cesse par les Etats ne permettent toujours pas au jeune mouvement associatif d'exprimer son fort potentiel basé sur une population jeune et très formée.

Au niveau local, l'application et la mise en oeuvre de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification est coordonnée par l'Organe National de Coordination sur la lutte contre la désertification mis en place par un arrêté du Ministre de l'Agriculture. Cet organe est abrité par la Direction Générale des Forêts et présidé par le Directeur Général des Forêts.

3.5 Les plans d'actions nationaux, sous-régionaux et régionaux

Les plans d'actions nationaux (PAN) sont au coeur de la convention et constituent le cadre conceptuel et légal pour la mise en oeuvre de la convention au niveau national et local. Ces plans d'actions doivent dresser un état des lieux et suggérer une stratégie de lutte (étapes et mesures à prendre en fonction de la spécificité des écosystèmes). Le plan d'action national documente les actions et initiatives qui seront entreprises dans chaque secteur d'activités pour assurer la croissance économique, la protection et la sauvegarde de l'environnement et des ressources.

La convention exige que les pays affectés élaborent et mettent en oeuvre ces plans d'action avec la participation entière des communautés locales et de tous les acteurs intéressés. Ils doivent être élaborés sur la base de consultations entre les pays touchés, les pays donateurs et les organisations inter-gouvernementales et non-gouvernementales et doivent par la suite être intégrés aux autres programmes de développement. Ce processus est sensé améliorer la coordination et canaliser l'aide au développement là où elle sera la plus utile. Il doit conduire à des accords de partenariat qui précisent clairement les contributions respectives des organisations internationales et des pays touchés et donateurs.

L'objectif visé est que les pays développés favorisent la mobilisation d'importantes ressources financières au bénéfice des plans d'actions. Les pays donateurs doivent également promouvoir l'accès à la technologie, aux connaissances et au savoir-faire appropriés.

3.5.1 Profil institutionnel

En Algérie la mission en relation avec la lutte contre la désertification est dévolue à deux ministères : celui de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et celui de l'Agriculture et du développement Rural à travers la Direction Générale des Forêts.

- Le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) a été créé par le décret n° 2000/257 du 26 Août 2000 portant nomination des membres de gouvernement. Le MATE est la structure gouvernementale chargée de la gestion de l'environnement et de la coordination de la politique nationale de protection des différents écosystèmes. Ce rattachement de l'environnement à l'aménagement du territoire dénote une réelle prise de conscience au niveau des décideurs de l'importance des enjeux environnementaux et d'une revalorisation du rôle de l'environnement. Il

comprend la Direction Générale de l'Environnement (DGE) instituée en mars 1995 après la fusion de la Direction de l'Environnement (DDE) et de l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE). L'Inspection Générale de l'Environnement (IGE), créée par décret n° 96-59 du 27 Janvier 1996 portant sur son organisation et son fonctionnement, est également chargée de veiller à l'application de la réglementation en vigueur en matière de protection de l'environnement. Le Conseil National Economique et Social (CNES), est un autre organe consultatif de dialogue et de concertation entre partenaires économiques et sociaux dans les domaines économique, social et culturel. Le Fonds National pour l'Environnement, a été institué par la loi des finances n° 91-25 du 18 Février 1991. Il s'agit de la création d'un compte spécial destiné au ministère chargé de l'environnement pour mener des actions de protection de l'environnement et de sensibilisation. Le Haut Conseil à l'Environnement et au Développement Durable est une structure administrative en charge des problèmes environnementaux en Algérie.

- Le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural à travers la Direction Générale des Forêts qui est structurée en Conservation des forêts au niveau de chaque wilaya assume également les missions de lutte contre la désertification à travers des actions de reboisement.

3.6 Stratégies et priorités établies dans le cadre des plans et politiques de développement durable

L'Algérie qui, au même titre que les autres pays du Maghreb, a ratifié la Convention le 22 mai 1996 et pris un certain nombre de mesures pour mettre en oeuvre la CCD tant au niveau de programmes d'action que de projets. Le rapport national de la mise en oeuvre de la convention édité en 1991, estime que « la politique de LCD et la conservation des ressources naturelles sont à la charge de l'Etat » Un certain nombre d'institutions et d'organismes sont impliqués dans la mise en oeuvre notamment (Derj, 2004) :

- l'Organe National de Coordination créé en juin 1998 et qui a pour missions principales d'assurer la coordination intersectorielle dans l'élaboration et la mise en oeuvre du Plan d'Action National.
- Une sous direction au sein du Ministère de Affaires Etrangères, interface entre les organismes nationaux et institutions internationales chargées de l'environnement, a été créée à cet effet.
- Le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche par le biais de la Direction générale des forêts (point focal de la convention) est l'institution chargée d'élaborer et d'appliquer la politique de prévention de lutte contre toutes formes de dégradation du milieu naturel et mettre en oeuvre des actions de développement durable.

D'autres département et institutions sont impliqués dans cette mise en oeuvre notamment :

- Le Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Environnement.
- Le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.
- Le Ministère des Transports.
- Le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE)
- Des organes d'intermédiations ont été mis en place. Il s'agit de :
- Haut Conseil à l'Environnement et au Développement Durable.
- Conseil National de la Recherche Scientifique.

- Conseil National des Forêts

Des associations ont été créées dans le cadre de la loi 90-31. Elles sont au nombre de 250 versées dans le domaine de l'environnement.

3.6.1 Stratégies et priorités établies

Dans le contexte global de la protection de l'environnement, une stratégie globale a été établie tant au niveau national à travers l'Agenda 21 Algérie et au niveau décentralisé. Les stratégies officielles sont :

- Stratégie nationale du développement durable : elle vise la préservation et l'utilisation rationnelle des ressources naturelles sont intégrées comme axe incontournable de cette stratégie. A ce titre, une charte communale a été établie au niveau décentralisé. Elle a pour objet de déterminer les actions à mener par les autorités communales en matière de conservation des ressources naturelles, notamment la lutte contre la désertification.
- Stratégie Nationale de Lutte Contre la Pauvreté et l'Exclusion : en Algérie, une carte de la pauvreté de l'Algérie a été établie et a permis l'identification spatiale des communes les plus pauvres sur tout le territoire. Dans ce cadre, le Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD) intègre les conditions de durabilité nécessaires à son application.
- Stratégie nationale de développement agricole et durable : depuis l'année 2000, une nouvelle politique du Ministre de l'Agriculture a été mise en place : le PNDA (plan national de développement agricole). Ce dernier vise à l'amélioration du niveau de sécurité alimentaire des populations et à la protection des ressources naturelles.

3.6.2 Plans et politiques établis

En complément des stratégies des plans nationaux spécialisés ont été établies et appliqués; on y distingue :

- Le Plan National de Développement Agricole (PNDA) : c'est un des outils de mise en oeuvre de la stratégie globale visant à la modernisation et à l'accroissement de l'efficacité du secteur de l'agriculture. Le plan national de développement agricole est construit sur une série de programmes spécifiques adaptés aux contraintes agro-climatiques de l'Algérie. L'application des programmes du PNDA est conduite dans le cadre d'une démarche participative avec les acteurs concernés, dans un esprit de partenariat.
- Politique Nationale Forestière et de Conservation de la Nature : consciente de l'importance vitale de son patrimoine forestier du point de vue physique, économique et social, l'Algérie mène depuis l'indépendance une politique soutenue de développement du secteur forestier selon un plan à long terme. Le Plan National de Reboisement (PNR) a été élaboré pour la mise en oeuvre de cette politique d'une manière cohérente (pour les objectifs du PNR). Ce plan constitue de ce fait l'assise de base de la politique forestière.
- Le Rapport National de l'Environnement : il expose l'état et l'avenir de l'environnement expose les facteurs de vulnérabilité d'ordre physique et institutionnel et dresse l'état de l'environnement. Il définit les grandes lignes d'une stratégie nationale de l'environnement en cohérence avec les priorités socioéconomiques du pays, et propose un programme d'urgence.

- Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD, 2002) : il s'appuie sur le rapport national sur l'état de l'environnement a permis de connaître l'état des lieux de l'environnement et les préoccupations de tous les secteurs concernés par l'environnement. Un plan national d'action pour l'environnement et le développement durable a été élaboré.

3.7 Mesures institutionnelles et leurs mécanismes

3.7.1 Les organes d'intermédiation

Ils sont au nombre de six et montre l'intérêt accordés aux organes consultatifs dans notre pays sans toutefois qu'ils aient un impact déterminant dans la lutte contre la désertification :

- Le haut conseil de l'environnement et du développement durable HCEDD : il est placé sous la présidence du Chef du Gouvernement a été institué par décret présidentiel en date du 25/12/1994. Ses missions sont de définir des options stratégiques de protection de l'environnement et du développement durable, d'apprécier périodiquement l'état de l'environnement et l'application des textes y afférant, de lancer toute étude, de se prononcer sur tout dossier relatif aux problèmes écologiques majeurs, et enfin de faire annuellement rapport au Président de la République sur l'état ainsi que sur l'application des décisions ayant trait à l'environnement et au développement durable.
- Le Conseil National de l'Information Géographique (CNIG) : c'est un organe consultatif d'études, d'orientation, de coordination et d'information. Il est composé de plusieurs ministères en charge ainsi que d'institutions nationales produisant des informations géographiques de base.
 - Le Conseil National de l'Aménagement et de Développement Durable du Territoire : créé par la loi 01-20 du 12 décembre 2001 relative à l'aménagement du territoire et au développement durable du territoire, il a pour missions notamment de proposer l'évaluation et l'actualisation périodique du schéma national d'aménagement du territoire, et de contribuer à l'élaboration des schémas directeurs nationaux et régionaux.
- Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable : crée par décret exécutif n° 02-115 du 03 avril 2002, l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable est chargé de la surveillance et du contrôle de l'environnement. Il représente un outil au service des programmes de développement durable. Pour la réalisation de ses missions, l'Observatoire dispose de laboratoires régionaux, de stations et de réseaux de surveillance; il est doté par l'Etat d'un fonds initial.
- Conseil National de l'Eau : c'est un organe de concertation pour la mise en oeuvre de la politique nationale de l'eau, notamment en matière d'aménagement, de mobilisation, de répartition et d'utilisation rationnelle de l'eau.
- Comité National des ONG algériennes pour la lutte contre la désertification : c'est un réseau indépendant d'associations actives dans la mise en oeuvre de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification. Il compte 26 associations, dont certaines sont accréditées auprès du secrétariat de la CCD.

D'autres stratégies qui s'inscrivent dans l'approche stratégique globale sont lancées dès 2001 et de nombreux textes de lois (sur la protection du littoral, la gestion, le contrôle et l'élimination

des déchets et surtout la loi sur l'aménagement du territoire, le développement durable et la nouvelle politique de l'eau) viennent renforcer les quelques 300 textes déjà existants. La mise en oeuvre de ces différentes stratégies est faite par différents programmes et plans (DGF, 2004).

3.7.2 Principales mesures financières nationales relatives au développement durable

La concrétisation des stratégies en matière de protection de l'environnement en général et de la lutte contre la désertification en particulier nécessite des fonds qui ont été institués, on note :

- **Le Fonds de lutte contre la désertification et de développement du pastoralisme et de la steppe** : l'ampleur de la dégradation des zones de parcours suite aux facteurs conjugués de la sécheresse et de l'action anthropique, et l'avancée de la désertification ainsi que les difficultés auxquelles sont confrontés les éleveurs et les agro-pasteurs militent en faveur d'une intervention conséquente, cohérente et harmonieuse des pouvoirs publics, ainsi que d'un soutien financier adéquat et approprié de l'Etat. C'est devant cet état de fait qu'un fonds de lutte contre la désertification et de développement du pastoralisme et de la steppe a été approuvé par le gouvernement, qui a pris la décision de l'étendre au développement des parcours et de la steppe, pour pallier aux problèmes rencontrés au sein de ces zones arides et semi-arides. Ce fonds devient ainsi "Fonds de lutte contre la désertification et du développement du pastoralisme et de la steppe". L'ordonnateur principal de ce compte est le Ministre de l'Agriculture.
- **Le Fonds National de la Régulation et du Développement Agricole** : ce Fonds est un dispositif de soutien, d'accompagnement et de mise en oeuvre du Programme National du Développement Agricole (PNDA). Il vise à l'adoption par l'agriculteur d'une démarche volontaire favorisant un développement durable de son exploitation et une modernisation de ses techniques de production.
- **Le Fonds spécial de développement des régions du Sud** : créé par la loi de finances 1998, complété par la loi de finances complémentaire 2000 et par l'ouverture d'un compte d'affectation spéciale. Il est alimenté par un prélèvement de 1 % sur le montant annuel de la fiscalité pétrolière.
- **Le Haut Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS)** : devant l'aggravation du phénomène de la désertification et la prise de conscience de sa complexité, la steppe a été dotée, en 1983, d'une institution spécialisée, chargée de concevoir et de mettre en place une politique de développement intégré, en tenant compte des aspects naturels et socioéconomiques. Il s'agit du Haut Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS), qui, pour de nombreuses et différentes raisons, n'est pas parvenu à mettre en place une stratégie, une politique et des programmes de développement durables et intégrés de la steppe algérienne. Son intervention s'est surtout limitée à des actions de mobilisation de l'eau pour l'intensification céréalière dans les zones d'épandage de crues et pour l'abreuvement des troupeaux HCDS, (2006) et aussi à des actions de réhabilitation de parcours dégradés, par des mises en défens et des plantations d'arbustes fourragers. Le bilan le plus récent de cette réhabilitation relève 3 millions d'ha pour les mises en défens et 300 000 ha pour les plantations, sur une superficie globale de près de 30 millions d'hectares de parcours (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

3.8 Historique des politiques et actions menées en Algérie dans la lutte contre la désertification

Par sa position géographique, entre les zones telliennes au nord et le Sahara au sud, et son étendue, la steppe algérienne est une zone naturelle tampon qui agit comme rempart contre l'avancée du désert vers le nord de l'Algérie. Outre son rôle capital dans l'équilibre écologique des différentes zones naturelles du pays, elle constitue, par ses richesses naturelles, le support de nombreuses activités économiques, à leur tête, l'élevage pastoral (Daoudi et al, 2010).

Pour remédier à la dégradation des ressources naturelles, l'Algérie a, dès l'indépendance, entrepris un grand nombre d'actions (tableau 3.1). Dans les premières années, seule la dimension reboisement a été retenue à des fins de régénération des terres perdues par les incendies et l'exploitation non contrôlée, la protection des bassins versants contre l'érosion hydrique et le développement de l'activité économique sylvicole (DGF, 2004).

Tableau 3.1 : Programmes et plans de 1962 à 1990

Intitulé	Période	Type d'actions en rapport avec le reboisement et/ou la lutte contre la désertification
Chantiers populaires de reboisement CPR	1962-1967	Reboisement dans les régions à fort taux de chômage
Plan triennal	1967-1969	Relance de l'activité forestière
Premier plan quadriennal	1970-1973	Reboisement productif et « barrage vert » contre la désertification
Deuxième plan quadriennal	1974-1977	Renforcement du plan précédent
Programmes spéciaux	variables	Activités ciblées de DRS et de reboisement
Premier plan quinquennal	1980-1984	Reboisement et aménagements des bassins versants
Deuxième plan quinquennal	1985-1989	Reboisement avec une plus grande diversification des espèces
Le barrage vert	1971-1990	Reboisement systématique puis aménagement intégré agro-sylvo-pastoral des territoires.
Le plan national de lutte contre la désertification	Dès 1987	Intensification et extension du barrage vert avec une approche agro-sylvo-pastorale.
Haut commissariat au développement de la steppe	1987	Développement intégré de la steppe

Source : (DGF, 2004)

De nombreux programmes de lutte contre la désertification ont été lancés à différentes périodes au niveau des steppes algériennes.

Selon (Abaab et al, 1995), il y a quatre grandes périodes pour caractériser l'évolution des politiques de développement des zones steppiques :

- de 1962 à 1975, la politique agricole s'intéresse naturellement beaucoup plus aux riches terres du Nord reprises aux colons. La création dans la steppe sur de bons parcours d'une cinquantaine de coopératives d'élevage (ADEP) fut mal supportée par les populations concernées qui

s'estimaient spoliées et, à leur dissolution en 1976, elles n'avaient toujours pas atteint les objectifs techniques fixés.

L'autre réalisation fut le démarrage du « barrage vert » qui prévoyait la plantation d'une forêt de protection de 15 à 20 km de profondeur aux frontières du désert. Vingt ans plus tard, le bilan fait ressortir des réalisations plus modestes (123000 ha de plantations, 2000 km de pistes, 36 forages...);

- de 1975 à 1980, la révolution agraire produit un code pastoral qui prétend transformer radicalement la gestion de la steppe par une puissante intervention de l'Etat. Elle rencontre l'hostilité des gros éleveurs, et reste lettre morte. Mais un certain nombre de coopératives (CAPCS, CEPRA) voient le jour.

Par ailleurs la rente pétrolière permet la création d'infrastructures (routes, lieux de stockage, écoles, dispensaires...) qui, si elles ne concernent pas directement les problèmes pastoraux, n'en modifient pas moins les modes de vie des agropasteurs ;

- les années 80 consacrent la liquidation des réalisations de la Révolution Agraire et la création du Haut Commissariat au Développement de la Steppe qui met en oeuvre quelques aménagements, des plantations fourragères et des re-semis sur parcours sans effets appréciables. Des études et recherches sérieuses sont certes entreprises sur les ressources et leurs modes de gestion mais il y manque comme toujours l'appréciation de la faisabilité économique, sociale et politique des techniques du développement ;
- les nouvelles réformes des années 90 engagent la libéralisation de l'économie et de la politique.

On reconnaît la nécessité de faire participer de façon plus étroite les agropasteurs et quelques projets comme celui entrepris par une équipe de recherche du CREAD sur les « systèmes pastoraux maghrébins » tentant d'innover en la matière. Mais l'administration en charge du développement renâcle à déléguer ses pouvoirs de décision au niveau des communautés de base. Les derniers programmes appliqués d'après (Nedjraoui et Bédrani, 2008) dans les zones steppiques concernent le programme national de mise en valeur des terres par la concession qui créait des exploitations agricoles sur des terres marginales steppiques après les avoir aménagées (défoncements, épierrage, mobilisation d'eau pour l'irrigation) et 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. 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. Ainsi, on a souvent obligé les bénéficiaires des terres mises en valeur à faire de l'arboriculture fruitière (alors que la plupart – anciens nomades n'y connaissaient rien). Par ailleurs, aucune incitation n'a été donnée pour que les agriculteurs produisent des fourrages qui auraient pu limiter la pression sur les parcours. Aussi, la plupart des bénéficiaires du PNDA ont-ils opté principalement pour le maraîchage.

3.9 Échecs des principales stratégies mises en œuvre dans la zone steppique

3.9.1 Sur le plan technique

Dans un premier temps, tous les efforts consentis dans cet espace ont été trop polarisés sur le pastoralisme, l'élevage du mouton, l'exploitation de l'alfa, alors que ces richesses sont limitées : l'alfa est une matière première aux volumes de production limités, et l'élevage du mouton subit les effets de la sécheresse dévastatrice qui rend toute production aléatoire en milieu aride.

Il était suicidaire de baser toute l'économie de ce vaste territoire naturel de plus de 20 millions d'hectares sur l'exploitation exclusive de ces seules ressources. Même en surestimant le produit de vente de l'alfa, les apports de l'élevage du mouton, il était inconcevable de développer cet espace sans des investissements dans les autres activités économiques tant agricoles qu'industrielles en apport avec la production de la steppe.

Dans un deuxième temps, le secteur agricole avec l'aspect pastoral, agro-pastoral et agro-sylvo-pastoral allait être considéré comme un vecteur de développement devant servir de support économique à la vie des populations locales. Or les terres agricoles dans cet espace n'étaient pas excédentaires et pourtant de nouveaux agriculteurs attirés par la disponibilité des ressources en eau se sont installés. Les réserves en eau souterraines sont estimées à plus de 60 milliards de m³ et leur taux d'exploitation n'est que de 20 % alors qu'il est de 90 % dans le nord du pays. L'activité agricole s'est développée sans relation avec l'activité pastorale, et aucun investissement garantissant un développement durable n'a été réalisé (Mohammedi et *al*, 2006).

Selon les mêmes auteurs, l'élevage ovin était l'activité économique la mieux adaptée aux conditions biophysiques du milieu, et le cheptel ovin représentait 60 % du cheptel national. Actuellement ce taux avoisine les 90 % et pèse de tout son poids sur cet espace. Une autre activité pratiquée en adéquation avec les potentialités de la steppe était l'agriculture. Elle était surtout pratiquée de façon localisée et périodique dans des phases de dépression.

La zone steppique représentait la plaque tournante du fait de son étendue et du fait aussi que les nomades y vivaient; l'activité pastorale se réalisait en grande partie sur d'autres espaces au-delà de la zone steppique qui permettaient de préserver l'écosystème steppique, à travers deux périodes de transhumance, selon les saisons; l'achaba dans le Tell et l'azaba dans le sud. La steppe n'était qu'une zone de transit.

Le "barrage vert" a été une erreur technique : il est difficile de faire pousser des arbres sur des sols souvent inadaptés et sans irrigation prolongée entre les isohyètes 200 et 350 mm. De plus, le choix de l'espèce, le pin d'Alep, très vulnérable à la chenille processionnaire, n'a pas été scientifiquement réfléchi. Aujourd'hui, à part certaines zones au niveau des piémonts Nord de l'Atlas Saharien où l'espèce a pu se développer correctement, il n'en reste que des traces formées par quelques pins d'Alep rabougris (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

3.9.2 Sur le plan socio-économique

Les raisons économiques sont étroitement liées à la faiblesse de création d'emplois dans les zones steppique. En effets, ces zones ont moins profité par rapport aux autres régions du pays des créations d'emploi durant les années soixante dix et, partiellement, quatre vingt.

Les emplois créés dans les zones steppiques ont été principalement dans l'administration. L'agriculture et l'élevage ont sans doute été les principales sources d'emploi grâce aux ressources investies par l'Etat durant les différentes phases de la "Révolution Agraire". A son terme, en 1983, l'Etat a tenté de favoriser l'emploi dans l'agriculture en mettant en place la procédure d'accession à la propriété foncière agricole (APFA), qui consistait à donner en pleine propriété et au dinar symbolique des terres aux investisseurs qui s'engageaient à les mettre en valeur à leurs frais par l'irrigation ou par toute autre technique dans un délai de cinq ans.

Les emplois agricoles dépendent des ressources pastorales, essentiellement les parcours. L'agriculture steppique est devenue aujourd'hui non seulement concurrente de l'élevage (activité traditionnelle de la steppe) mais, en ayant recours aux moyens de production des systèmes

intensifs, elle est entrain de détruire le paysage steppique et de créer les facteurs favorables à l'avancée du désert. La diminution de la pression sur les ressources pastorales doit donc se faire par la création d'emplois dans des secteurs extra-agricoles (Bensouiah, 2003).

3.9.3 Sur le plan recherche scientifique

La steppe n'a pas beaucoup intéressé les décideurs en matière de recherche. A la fin des années soixante dix, un important travail a été réalisé par le ministère de l'agriculture qui a décrit minutieusement l'ensemble des zones steppiques à la fois sur les plans physique, agricole, phytoécologique et humain (Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, 1974).

Cette étude qui reste jusqu'aujourd'hui le seul travail de référence sur la steppe n'a jamais été mise à jour. Depuis le début des années 70, de rares chercheurs se sont penchés sur les problèmes de la dégradation des terres et l'analyse des causes et des conséquences du processus de désertification. Cependant, les résultats des recherches n'ont pas été généralisés ni intégrés dans les actions gouvernementales très larges, car les travaux se sont le plus souvent confinés dans des institutions de recherche (AARDES, CREAD, CRBT, Universités) et surtout limités dans le temps et dans l'espace.

Le HCDS avec ses nombreux ingénieurs, aurait pu combler ces lacunes mais ne l'a pas fait sans doute par absence de stratégie à long terme. De la même façon, le développement accéléré des cultures se heurte à l'absence de références en matière d'itinéraires techniques les plus adaptés au plan agro-économique à ces zones Bensouiah, (2003). Par conséquent le suivi des quelques actions qu'il mène en matière de réalisation de mise en défens et de création de point d'eau au lieu de leur faire produire des connaissances utiles au développement de la steppe (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

CHAPITRE IV

Apport de la télédétection au
suivi de la désertification

CHAPITRE IV : APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION AU SUIVI DE LA DÉSSERTIFICATION

4.1 Introduction

Le besoin croissant d'estimer, de prévoir, de surveiller et de gérer les ressources naturelles, surtout quand les superficies sont très étendues et difficiles d'accès, il est considéré comme un support de cartographie statique et dynamique d'une importance capitale. Les outils d'aide à la décision sont devenus une nécessité pour les gestionnaires de l'espace et contribuent à la sensibilisation aux problèmes d'occupation et d'exploitation des espaces. En matière de lutte contre la désertification, contre les inondations, les incendies, l'urbanisation et la protection des ressources naturelles, ces outils donnent des orientations pour l'aménagement et la gestion des territoires.

L'utilisation des différentes couches d'informations utiles à l'objectif recherché suivi d'un traitement et d'une analyse basée sur la combinaison de ces informations permettra par la suite de cartographier l'état de l'espace étudié, de suivre les phénomènes évolutifs et accéder à certaines zones naturelles ou modifiées difficilement explorables.

Afin d'assurer la gestion environnementale durable des ressources naturelles, de la géodiversité, de la biodiversité et des espaces, en particulier à travers la mise en place de pratiques de mise en valeur, de protection et de conservation de la biodiversité et d'actions de lutte contre la dégradation des terres. Pour tous ces objectifs, il est indispensable de développer des méthodes d'évaluation et de suivi de l'état des milieux, de leur environnement et de l'impact des actions entreprises reposant sur la mise en place et l'utilisation d'un certain nombre d'outils développés par la recherche (Cornet, 2004).

Il s'agit en particulier de développer :

- des indicateurs qui sont traditionnellement employés dans l'évaluation, le suivi et la prévision, car ils traduisent de façon synthétique les effets d'une action, et les évolutions par rapport à une situation donnée ;
- des outils spatiaux qui permettent de mesurer par télédétection des changements de propriétés de la surface des milieux arides étudiés et d'intégrer à ces informations des données connexes.

4.2 Présentation de la Télédétection

4.2.1 Définition

On entend par télédétection « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » (Journal Officiel de la République Française du 17-04-97).

La télédétection est aussi « la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes. Comme son nom l'indique, elle suppose l'acquisition d'informations à distance, sans contact direct avec l'objet détecté » (Bonn et Rochon, 1992).

4.2.2 Processus de télédétection

Lorsqu'une onde de rayonnement entre en contact avec un objet, sa trajectoire est perturbée, car la matière a la triple propriété de pouvoir : Absorber, Réfléchir ou Transmettre la lumière.

Les trois caractéristiques de la lumière lors de son contact avec la matière se mesurent par rapport à la quantité de lumière qui a frappé l'objet (lumière incidente) : L'absorptance (α), la réflectance (τ), et La transmittance (ρ) avec $(\alpha) + (\tau) + (\rho) = 1$

La télédétection spatiale utilise des moyens d'instruments appelés capteurs qui enregistrent le rayonnement électromagnétique réfléchi ou émis par les objets de la surface terrestre ou de l'atmosphère (Figure 4.1).

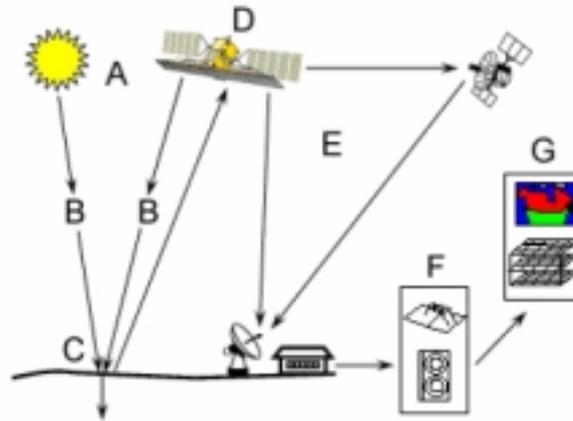


Figure 4.1 : La réflexion et l'émission du rayonnement (Kluser, 2000).

Légende de la figure ci-dessus :

- Source d'énergie ou d'illumination (A).
- Rayonnement et atmosphère (B). Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, et entre la cible et le capteur, le rayonnement interagit avec l'atmosphère.
- Interaction avec la cible (C).
- Enregistrement de l'énergie par le capteur (D). Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible pour être enfin enregistrée.
- Transmission, réception et traitement (E). L'énergie enregistrée par le système d'acquisition est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).
- Interprétation et analyse (F). Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
- Application (G). La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible.

4.2.3 Principes physiques de la télédétection

4.2.3.1 Le rayonnement électromagnétique (REM)

Une énergie qui se propage dans l'espace et qui interagit avec la matière ; cette énergie est constituée d'ondes transversales indissociables (Caloz, 1992).

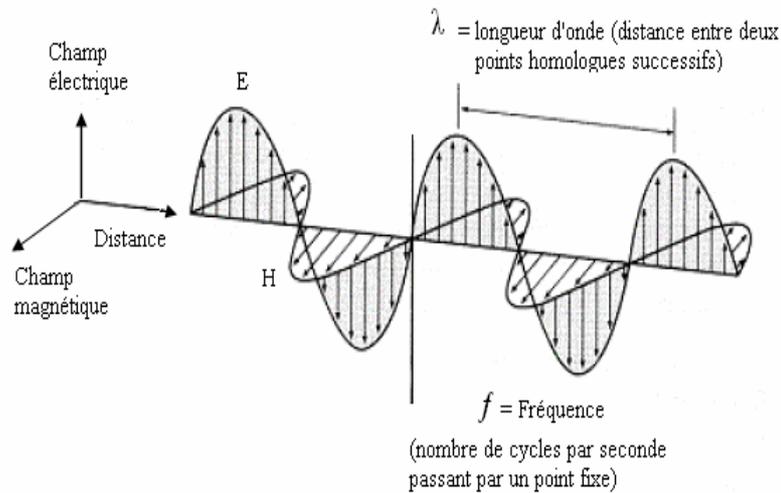


Figure 4.2 : Représentation schématique d'une onde électromagnétique (Bonn et Rochon, 1992).

Le rayonnement électromagnétique se caractérise par :

- La période qui est le temps (T) pendant lequel l'onde effectue une oscillation complète.
- La fréquence ν est l'inverse de la période (1/T).
- La longueur d'onde λ qui est la distance entre deux points homologues sur l'onde.
- La vitesse v de propagation de l'onde dans l'espace : dans le vide, et à peu de chose près, dans l'air, cette vitesse est : $c = 300.10^3 \text{ km/s}$.

La relation entre vitesse, longueur d'onde et fréquence est : $\lambda = \frac{c}{\nu}$ (4.1)

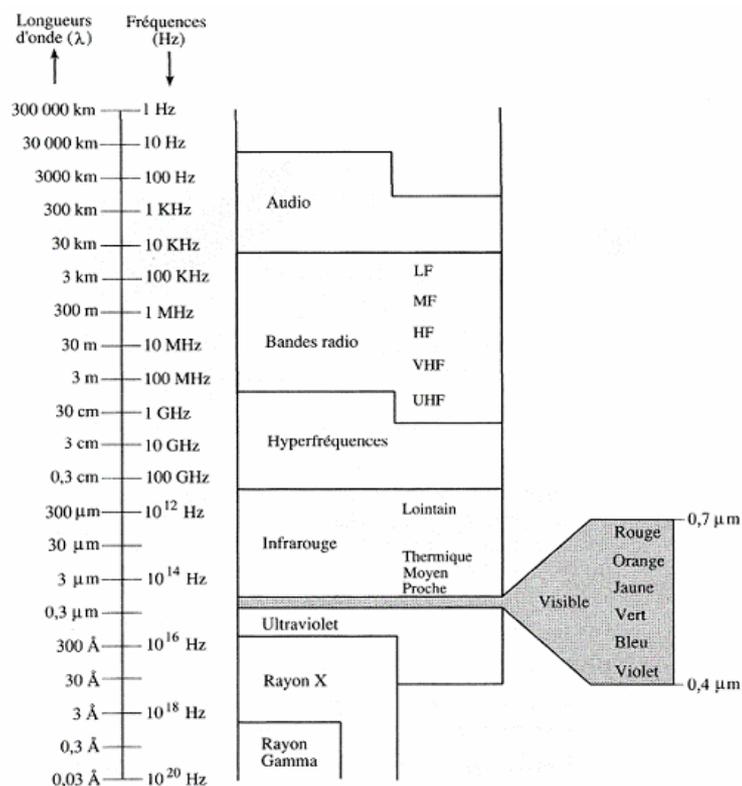


Figure 4.3 : Le spectre électromagnétique (Bonn et Rochon, 1992).

L'amplitude E_0 qui exprime l'intensité de l'onde électromagnétique ; plus l'amplitude est importante, plus le rayonnement est intense. L'énergie transmise par une onde est également proportionnelle à la fréquence ; plus la fréquence est élevée, et donc plus la longueur d'onde est petite, plus l'énergie est importante.

On distingue successivement, en partant des longueurs d'onde inférieures : le rayonnement γ , les rayons X, les rayonnements ultraviolets (UV), les rayonnements visibles (0,4 à 0,7 μm), l'infrarouge (IR), les micro-ondes (domaine radar), les ondes métriques (télévision), les ondes radioélectriques (10 m à quelques kilomètres) (Figure 4.3).

Le rayonnement se manifeste par ses interactions avec la matière. Cette dernière peut, en fonction de son état et de sa nature, produire un rayonnement électromagnétique (émission propre) et/ou interagir avec le rayonnement qui l'atteint, ces propriétés d'absorption, d'émission et de réflexion qui sont à la base de l'interprétation des données enregistrées, par les satellites. Par contre, ces mêmes phénomènes qui occasionnent une perturbation du rayonnement enregistré par le satellite, en provenance de l'objet visé, lors de la traversée de l'atmosphère (Hamimed, 2009).

4.2.3.2 Interaction rayonnement électromagnétique et la matière

Lorsqu'un rayonnement incident entre en contact avec la matière, trois phénomènes peuvent avoir lieu :

L'absorption, qui modifie l'énergie interne de l'objet en question. Cette énergie absorbée est transformée en température qui produit une émission de REM (absorption = émission). L'absorptance α est définie comme le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie reçue.

La réflexion. La réflectance ρ est le rapport entre l'énergie réfléchie et l'énergie reçue. Lorsque l'énergie reçue provient du soleil et irradie des surfaces terrestres ou planétaires, la réflectance est appelée albédo. La transmission. La transmittance τ est le rapport entre l'énergie transmise et l'énergie reçue. L'absorptance, la réflectance et la transmittance ont des valeurs comprises entre 0 et 1, la somme de ces trois indices étant toujours égale à 1 (loi de Kirchhoff).

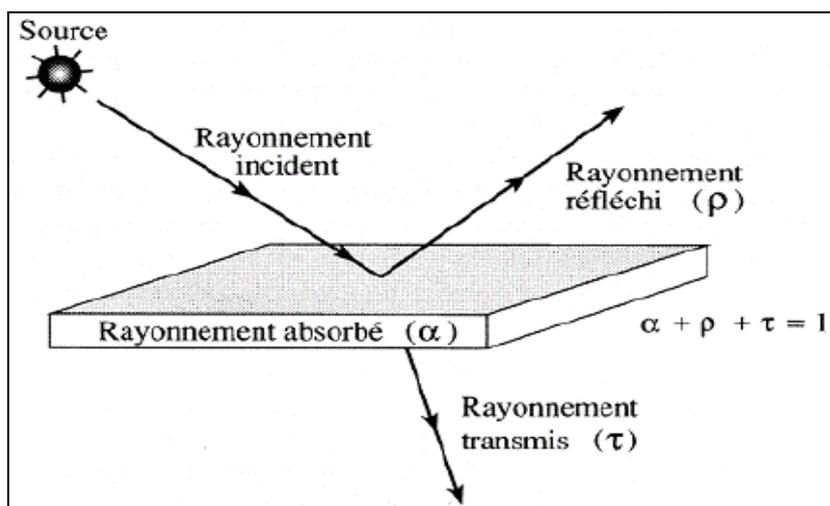


Figure 4.4 : Absorption, réflexion et transmission (Bonn et Rochon, 1992)

Autres interactions ; la diffusion + atténuation (ou extinction) : une partie de l'énergie émise par une source est diffusée dans le milieu de transmission comme l'atmosphère, sous l'influence de microparticules (eau, aérosols, ...).

Dans le domaine du visible, la diffusion est plus importante pour les ondes courtes (bleu) que pour les ondes longues (rouge). La diffusion a pour effet une augmentation du rayonnement dans toutes les directions et une atténuation (ou extinction) dans la direction de propagation de l'onde.

4.2.3.3 Production de REM

L'émission de REM peut provenir de divers mécanismes naturels ou artificiels :

- Émission entretenue par des charges électriques (antennes) ;
- Rayonnement électronique des atomes (lorsque les électrons passent à niveau d'énergie inférieur) ;
- Rayonnement des molécules : tout objet dont la température est supérieure à 0 K émet un rayonnement électromagnétique issu de l'agitation des molécules. Ceci est la principale source naturelle de REM.

Pour modéliser ce dernier type de rayonnement, on utilise la notion de corps noir (Bonn et Rochon 1992) : « Corps théorique qui absorbe la totalité du rayonnement qu'il reçoit. Il ne réfléchit et ne transmet aucune radiation et son émission dépend uniquement de sa température »

Deux caractéristiques essentielles d'un corps noir :

- Pour une température T_2 plus élevée que T_1 , le rayonnement émis sera beaucoup plus important. Loi de Stephan : $M = \sigma \cdot T^4$ (4.2)
- où M est la puissance rayonnée, T est la température et σ est la constante de Stephan-Boltzmann.
- quand la température augmente, la courbe de luminance se déplace vers les courtes longueurs d'onde. Loi de Wien : $\lambda_{\max} = 2898/T$ (λ en μm) (4.3)

Le soleil se comporte de manière similaire à un corps noir de température de 6000 K° ; le maximum d'émission solaire est atteint à la longueur d'onde de 0.48 μm . Un corps gris, à la différence d'un corps noir n'absorbe pas toute l'énergie reçue : il en transmet et/ou réfléchit une partie. C'est le cas des objets observés dans la nature (Bonn et Rochon, 1992).

4.2.3.4 Eléments de base de la télédétection

La télédétection fait intervenir quatre "acteurs" : la source du rayonnement électromagnétique (qui peut être le soleil, l'objet étudié, le capteur dans le cas du radar), l'objet considéré et son voisinage, les éléments perturbateurs (l'atmosphère), les capteurs (Caloz, 1992).

4.2.3.5 Eléments de radiométrie

Les principaux éléments de la radiométrie sont :

- la direction (Figure 4.5) avec l'angle zénithal θ , qui varie dans le plan vertical de 0 à 90° et l'angle azimutal φ , qui varie dans le plan horizontal de 0 à 360°

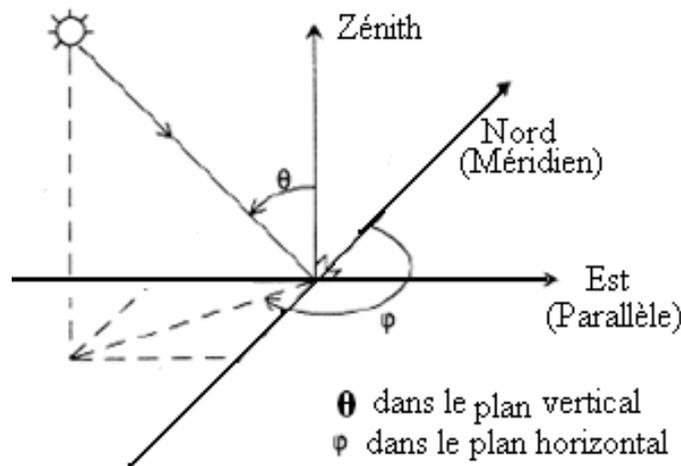


Figure 4.5 : Représentation de la direction des repères spatiaux (Caloz, 1992).

- Sources et cibles de rayonnement : on distingue la puissance ou flux (W) qui est la quantité d'énergie émise par une source ponctuelle, par unité de temps et dans toutes les directions. L'intensité (W/sr) qui est la portion du flux rayonnée dans une direction donnée, à travers un angle solide. Un angle solide se représente comme un cône d'une certaine ouverture et qui se mesure en stéradians.
- Source surfacique : se caractérise par la luminance (angle: radiance) (W/sr /m²) représentant la puissance émise par unité d'angle solide et par unité de surface apparente d'une source dans une direction donnée. L'intensité du flux radiatif émis ou réfléchi par une portion de la surface de la Terre, tel qu'elle est mesurée par un capteur, est une *luminance*, qui se mesure en W.m⁻².sr⁻¹. μm⁻¹ (watt par mètre carré par stéradian et par micron).
- Cibles : c'est l'éclairement, l'irradiance (W/m²) qui est la puissance hémisphérique totale incidente par unité de surface.
- Emissivité spectrale (ε) : c'est le rapport pour une longueur d'onde donnée, entre la luminance d'un corps et la luminance d'un corps noir, pour la même température.

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{L_{\lambda \text{ corps gris}}(T)}{L_{\lambda \text{ corps noir}}(T)} \quad (4.4)$$

- La réflectance (ρ) : c'est le rapport entre la quantité d'énergie réfléchie dans une direction donnée par une surface (luminance) et la quantité d'énergie reçue par cette même surface (irradiance) pour une longueur d'onde donnée.

$$\rho = \pi \cdot L_{\lambda} / E \quad (4.5)$$

4.3 Les satellites

4.3.1 Caractéristiques d'un satellite : l'orbite et sa fauchée

La trajectoire effectuée par un satellite autour de la Terre est appelée orbite. L'orbite d'un satellite est choisie en fonction de la capacité des capteurs qu'il transporte et des objectifs de sa mission (Tableau 4.1). Le choix d'une orbite est déterminé par l'altitude (la hauteur du satellite au-dessus de la surface de la Terre), l'orientation et la rotation du satellite par rapport à la Terre.

Certains satellites ont une altitude très élevée et regardent toujours la même région de la surface de la Terre. Ils ont une orbite géostationnaire dans le plan équatorial de la Terre.

L'orbite géostationnaire (Figure 4.6) est dans le plan équatorial ($i=0$). L'altitude est telle que le satellite accomplit une révolution équivalente au jour sidéral de la Terre de manière à paraître immobile à un observateur situé sur la Terre. L'altitude est d'environ 36.000 Km au-dessus du sol. L'altitude élevée de certains satellites météorologiques leur permet d'observer les nuages et les conditions qui couvrent un hémisphère complet de la Terre (Ximenes et al, 2005).

Tableau 4.1: Types de plates-formes (Caloz, 1992)

Type de plates-formes	Orbite	Altitude
terrestres	-----	quelques mètres
aériennes (avion, ballon)	-----	jusqu'à 6.000 m, voire 12.000 m (40km pour les ballons).
spatiales	<ul style="list-style-type: none"> • Circulaire • Héliosynchrone • Géostationnaire 	<ul style="list-style-type: none"> • en général 700-900 km • obligatoirement 300 – 1.500 km • 36.000 km

Les satellites à défilement ont une orbite d'inclinaison supérieure à 0° et inférieure à 90° . L'orbite est inclinée de manière que le satellite couvre périodiquement la frange de la Terre comprise entre les latitudes maximales nord et sud (environ 60°).

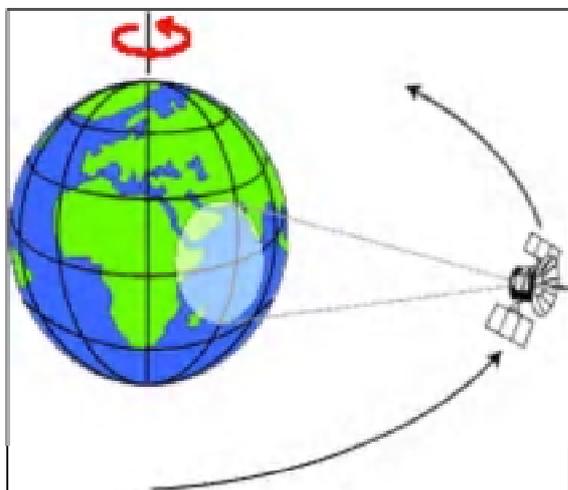


Figure 4.6 : Orbite géostationnaire

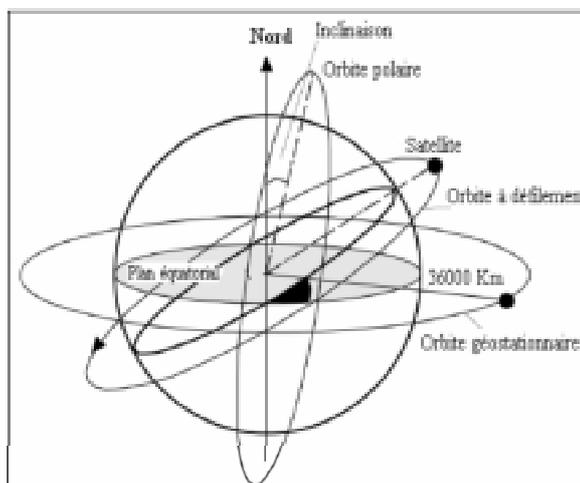


Figure 4.7 : Caractéristiques orbitales des satellites

L'orbite des satellites à défilement polaires (Figure 4.7) est caractérisée par une inclinaison proche de 90° qui est dite en conséquence polaire. En général, les satellites d'observation de la terre décrivent des orbites héliosynchrones c'est-à-dire qu'ils survolent une même région du globe à la même heure. De cette manière, les conditions d'éclairage varient peu au cours de l'année et ne créent pas un handicap pour l'interprétation des images.

4.3.2 Les capteurs utilisés

Les capteurs spécialisés dans la réception des longueurs d'ondes réfléchies ou émises par des objets cibles sont tous désignés par le terme de capteurs passifs. Le principal inconvénient de ce type de capteur est d'être inopérant si le ciel est sombre ou nuageux. Pour pallier à cet inconvénient un autre type de capteur a été mis au point : les capteurs actifs qui mesurent la quantité réfléchi d'un rayonnement qu'ils ont émis. Le capteur actif le plus couramment employé en télédétection (Figure 4.8) est le radar.

Il existe plusieurs types de satellites d'observation suivant les domaines d'application (météorologie, océanographie,...) et suivant les différents systèmes d'acquisition d'images. Les données fournies par les satellites d'observation varient selon le type de capteurs du satellite qui mesurent les radiations électromagnétiques réfléchies par les corps qui composent la surface terrestre. On distingue :

- Pour les ondes électromagnétiques du visible et du proche infrarouge, les capteurs utilisés sont optiques (émulsions photographiques, détecteurs multi spectraux et hyper spectraux), c'est à dire qu'ils reçoivent la réflexion de la lumière provenant de la surface terrestre et n'émettent aucun signal.
- Pour l'infrarouge thermique, des détecteurs thermiques sont utilisés.
- Dans le cas du radar, l'instrument émet un signal vers le sol et détecte l'écho de celui-ci, c'est-à-dire qu'il mesure l'onde qui se reflète sur la surface terrestre (Ximenes et *al*, 2005).

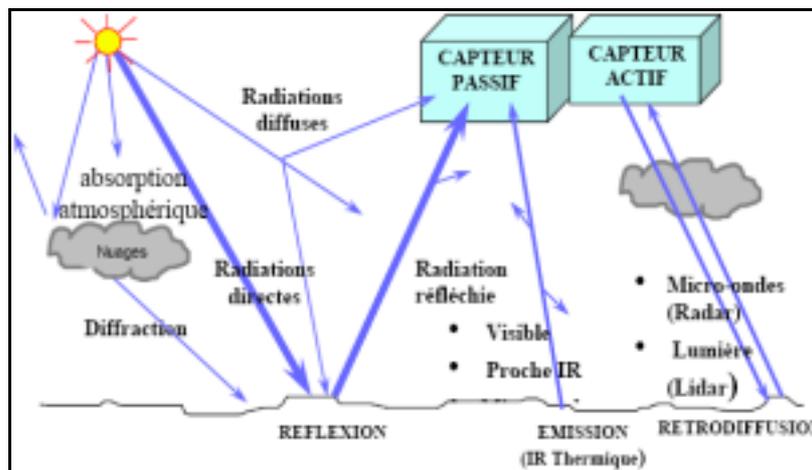


Figure 4.8: Les capteurs en télédétection

Source : <http://www.schenectady.k12.ny.us/putman/gis/tutorial/indexf.html>

4.4 Traitements et exploitation des documents de télédétection

4.4.1 Traitements préalables des données : corrections radiométriques et redressements géométriques

Cette étape concerne autant les données satellitales que les photographies aériennes. Les données satellitales sont stockées sous forme d'un fichier numérique. Les photographies aériennes analogiques sont au départ une donnée sur papier qu'il s'agit de scanner pour la transformer en une donnée numérique.

4.4.1.1 Corrections radiométriques

Ces opérations consistent en une correction radiométrique des données de réflectance du sol qui sont affectées par les effets de l'atmosphère (absorption et diffusion des gaz, aérosols et poussières). Ceci concerne essentiellement les données satellitaires.

4.4.1.2 Redressements géométriques

Les redressements géométriques s'avèrent nécessaires pour intégrer les données spatiales dans des bases de données cartographiques. Les satellites et les avions enregistrent en effet une information d'une surface terrestre sphérique impliquant des déformations de l'image notamment sur les bords. L'opération de superposition de l'image à une projection cartographique donnée se nomme orthorectification.

4.4.2 Exploitation des documents

Deux techniques de base permettent d'effectuer une analyse thématique des données géographiques à partir de photos aériennes ou d'images satellites :

Le traitement automatique par classification numérique des pixels et la photo-interprétation.

4.4.2.1 Traitements automatiques par classification numérique des pixels

Deux types de classification numérique existent : la classification non dirigée et la classification dirigée (ou supervisée).

La classification non dirigée est une méthode probabiliste destinée à obtenir des groupes homogènes de réponses spectrales de pixels d'une image. Son intérêt est d'être une méthode de recherche originale pour détecter certains phénomènes. Mais l'interprétation des groupes constitués est délicate car plusieurs types de variables thématiques interviennent dans la formation des groupes et certaines ne sont pas forcément recherchées. Finalement ce type de classification ne fournit qu'un nombre peu élevé de classes intéressantes pour un thème donné et la cartographie obtenue est à reprendre après interprétation des groupes en fusionnant ou éclatant certaines classes.

La classification dirigée ou supervisée est une méthode déterministe destinée à obtenir des catégories (ou classes) de pixels au moyen d'un traitement interactif des données radiométriques couvrant la zone d'étude à partir de sites témoins identifiés au sol ou sur photos aériennes.

Ce type de classification permet de faire apparaître des phénomènes présentant des particularités radiométriques difficiles à repérer et d'utiliser un nombre de bandes spectrales supérieur à celui figurant sur les compositions colorées. Elle fournit directement une cartographie définitive en couleurs conventionnelles. Le choix des zones témoins reste largement empirique en nombre et en étendue par catégorie. La réalisation d'un compromis entre le nombre de classes et le niveau de fiabilité a priori de la catégorisation est difficile (Ximenes et al ; 2005).

4.5 Adéquation entre type de capteur et échelle de résolution géographique

4.5.1 Seuils de détection

En général, plusieurs pixels sont nécessaires pour détecter un objet : au minimum 4 pixels sont nécessaires sauf pour des objets qui contrastent fortement avec leur environnement immédiat.

4.5.2 Seuils d'identification

L'identification d'un objet nécessite 3 fois plus de pixels que sa détection soit 12 pixels au minimum. Le nombre de 28 pixels est préconisé dans le cas de paysages agricoles complexes (Jobin, et Tournade., 1995).

4.5.3 Seuils de cartographie

En cartographie l'un des éléments importants dont il est nécessaire de tenir compte est la taille de l'objet qui est à cartographier. Le seuil minimal de cartographie d'un objet est généralement de 2 x 2 mm. La superficie correspondante dépend de l'échelle de la carte.

4.6 Notion de signatures spectrales

Pour chaque objet observé dans le spectre électromagnétique à la surface de la terre, la valeur de réflectance correspond au rapport de l'intensité du rayonnement réfléchi au rayonnement incident d'une surface en %. Cette valeur varie en fonction de la longueur d'onde. Il est ainsi possible d'obtenir une courbe de réflectance en fonction des longueurs d'ondes dont l'allure générale constitue la signature spectrale de l'objet (Figure 4.9) tel que le montre la figure suivante :

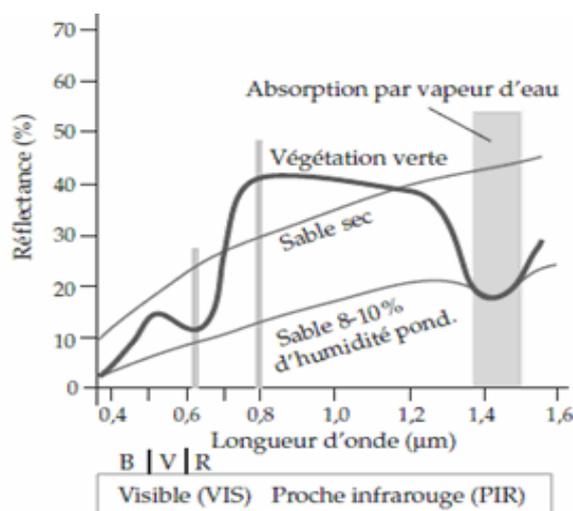


Figure 4.9 : Quelques signatures spectrales typiques. Source : (Caloz, 1992)

4.6.1 Caractéristiques spectrales des couverts végétaux

Les propriétés optiques des couverts végétaux dépendent à la fois de la nature des plantes qui les composent, de leur état physiologique, des organes végétaux notamment les feuilles et leur arrangement spatial ainsi que du sol sous-jacent (Guyot, 1989).

Selon (Guyot, 1995), la réflectance d'un couvert végétal ne dépend pas seulement des propriétés d'absorption et de diffusion de ses feuilles mais aussi de son architecture. Celle-ci varie selon la forme, la dimension, la distribution dans l'espace et la quantité des surfaces végétales du couvert. La distribution spatiale de la végétation sur le sol dépend du type de végétation, de la disposition des plantes (écartement et orientation des rangs) et de leur stade de croissance.

4.6.2 Comportement spectral du sol

Le sol se caractérise par des valeurs de réflectance régulièrement croissantes dans le visible et le proche infrarouge, tandis qu'elles sont généralement faibles dans le moyen infrarouge réflectif. La réflectance est très faible lorsque le sol est humide.

4.7 Les différents indices de végétation utilisés en télédétection

Un indice se définit comme une variable « synthétique, numérique qui caractérise l'intensité ou l'extension d'un phénomène trop complexe pour être décomposé en un nombre maîtrisable de paramètres » (Caloz et al, 1993). Les différents indices de végétation correspondent à une démarche empirique dans la recherche d'une estimation de paramètres concernant la végétation afin d'identifier des couverts végétaux chlorophylliens, d'évaluer l'indice foliaire, le développement de la canopée, les effets de stress, l'évapotranspiration, le rendement... Ils sont plus ou moins sensibles à la contribution spectrale venant du sol ainsi qu'à celle provenant de l'éventuelle matière sèche sur pied mélangée à la matière verte (Girard et Girard, 1999).

Un indice s'exprime selon l'intervalle choisi arbitrairement, de 0 à 1 ou de 0 à 100 ou tout autre intervalle numérique. Issu habituellement d'un rapport de variables, il est fréquemment sans dimension physique. S'il conserve une dimension de luminance, comme ceux résultant de combinaisons linéaires de bandes spectrales, sa signification est néanmoins celle d'une variable thématique. Les indices sont calculés à partir d'une combinaison simple ou complexe de bandes spectrales. L'objectif est d'accorder une valeur quantitative aux résultats et de pouvoir traduire les évolutions de la végétation en termes de variables biophysiques.

Le principal indice utilisé dans l'analyse des images satellitales multi spectrales est l'indice de végétation normalisé (NDVI) qui va traduire la densité du feuillage et la proportion de sol effectivement couverte par la végétation (Ximenes et al, 2005). Il est défini de la manière suivante :

$$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R) \quad (4.6)$$

PIR = Réflectance dans le canal proche infrarouge et R = Réflectance dans le canal rouge.

Tableau 4.2 : Les indices de végétation les plus couramment utilisés (Girard et Girard, 1999)

Dénomination	Formule	Caractéristiques
Indice de végétation	$RVI = PIR/R$	Saturation aux forts indices, sensibilité à la contribution spectrale des sols et aux effets atmosphériques
Indice pigmentaire	$IP = V/R$	
Indice de végétation perpendiculaire	$PVI = a1PIR - a2R + \alpha$ $\alpha = \text{constante}$	Diminution de la contribution spectrale des sols mais sensibilité à diverses caractéristiques des sols
Chapeau à corne « Tasseled Cap »	Formule générale $a1V + a2R + a3PIR + a4PIR$	Transformation orthogonale des 4 canaux pour réduire la sensibilité à la contribution spectrale des sols sans pouvoir l'éliminer complètement
Indice de verdure issue du précédent	$GR4 =$ $b1V - b2R + b3PIR + b4PIR$	
Indice de végétation normalisé corrigé des effets atmosphériques	$ARVI = (PIR - RB)/(PIR + RB)$	Diminue l'effet des aérosols contenus dans l'atmosphère sur le NDVI mais sensible à la contribution spectrale des sols

D'autres indices permettant d'étudier la végétation. Il s'agit par exemple de l'indice de brillance, l'indice pigmentaire, l'indice de transparence ou encore le ratio ou la différence de deux canaux. Le tableau 4.2 précédent présente les indices de végétation les plus couramment utilisés en télédétection (Girard et Girard, 1999).

4.7.1 Les indicateurs de suivi de la désertification

Les indicateurs de suivi de la désertification fournissent des informations sur l'évolution des états de l'environnement, dans ses aspects bio-physiques d'une part et socio-économiques d'autre part. Ils sont destinés à l'identification à la compréhension du phénomène de la désertification dans ses différentes composantes, de ses causes ainsi que de ses effets. Au plan méthodologique, ces indicateurs peuvent aider à choisir les actions de lutttes les plus efficaces et pertinentes contre la désertification selon les situations (Si-Ramdane, 2006).

Les informations radiométriques et numériques recueillies par les satellites permettent de suivre l'évolution de l'environnement en fonction du temps. En particulier l'état de la végétation et des sols peut être déterminé à intervalles réguliers ce qui fait de la télédétection un des outils performants de surveillance écologique pour couvrir de vastes territoires.

Le programme ROSELT, engagé par l'OSS dans les zones du Sahara et du Sahel du continent africain a mis en place des dispositifs d'observation à long terme, qui a initié dès 1994 la mise en place du réseau (Roselt/OSS). 27 observatoires ont été labellisés Roselt/OSS. Lors d'une première étape, 14 sites ont été sélectionnés comme observatoires pilotes afin de tester la pertinence du concept de réseau d'observatoires locaux. Cette phase avait pour objectif la mise au point des techniques et des méthodologies de collecte et de traitement des données ainsi que la production d'outils d'aide à la décision fiables, pertinents et reproductibles (OSS, 2009).

Tout l'art de la télédétection consiste à transformer des mesures physiques obtenues sur des surfaces en information. Les données de télédétection doivent donc être étalonnées et transformées en variables dérivées, utilisées pour évaluer les indicateurs de désertification. Les informations ainsi construites comprennent en particulier la rugosité des surfaces, l'albédo, la température de surface, la couverture végétale et l'humidité du sol.

4.7.1.1 La rugosité

Selon Begni et *al*, (2005), la rugosité est un paramètre permettant de quantifier l'irrégularité d'une surface. Plus une surface est irrégulière, plus elle est dite rugueuse. La mesure de la rugosité se fait en général par télédétection radar. Le radar émet des micro-ondes et mesure la puissance avec laquelle un objet les reflète. Plus la surface de l'objet est irrégulière, plus la rétrodiffusion est forte.

4.7.1.2 L'humidité du sol

L'humidité du sol ou la teneur en eau de surface, est définie par la quantité d'eau contenue dans les dix premiers centimètres du sol. Elle peut être estimée par radar (télédétection active) et elle est liée à la température de surface. Elle conditionne les échanges avec l'atmosphère par l'intermédiaire du bilan d'énergie à la surface du sol (très différent sur une surface sèche ou sur une surface humide), mais également la mise en place du peuplement végétal (germination des semences, émergence, implantation du système racinaire, etc.). Son évaluation est donc importante en hydrologie et en agronomie, et constitue un paramètre d'alerte pour la désertification.

4.7.1.3 La température de surface

La température de surface résulte des échanges d'énergie ayant lieu au-dessus et au-dessous de cette surface. Elle est donc en partie liée à l'albédo, à la température de l'air et à l'efficacité des échanges thermiques. Elle est estimée par la mesure du rayonnement infrarouge thermique émis (longueur d'onde comprise entre 10,5 et 12,5 μm).

Sa valeur dépend de la nature du sol ainsi que de son occupation. En effet, dans les mêmes conditions d'éclairement et de climat, un sol sableux ou rocheux n'a pas la même température d'équilibre toutes choses égales par ailleurs. Il en est de même pour un sol nu ou avec un couvert végétal. Les conditions hydriques observées près de la surface étudiée peuvent aussi la modifier. L'heure d'observation est aussi importante.

En effet, le soleil étant la source principale de réchauffement, une image acquise le matin présente dans l'ensemble des températures de surface moins élevées qu'une image acquise dans l'après midi. Ainsi, grâce aux satellites géostationnaires (de type météorologique), il est possible de suivre l'évolution de la température de surface et de caractériser ainsi l'inertie thermique locale.

4.7.1.4 L'albédo

L'albédo est le rapport de la quantité de lumière réfléchie par un objet sur la quantité de lumière qu'il reçoit. Il est exprimé par un nombre compris entre 0 (aucune lumière réfléchie) et 1 (toute la lumière est réfléchie) ou bien par un pourcentage. L'albédo joue sur les équilibres énergétiques et sur le bilan radiatif dans la mesure où il contrôle la quantité d'énergie solaire renvoyée vers l'atmosphère. L'albédo peut varier durant l'année pour une même aire géographique par suite de phénomènes physiques (ou d'effets indésirables tels que la présence de nuages sur des images à basse résolution).

L'interprétation de cette valeur et de ses variations temporelles et spatiales, conjointement à d'autres variables observables, apporte de l'information sur les processus de désertification. En effet, l'albédo d'un sol nu décroît lorsque sa teneur en eau croît. De même l'albédo d'un sol couvert de végétation dépend du taux de couverture végétale et de son activité chlorophyllienne. De nombreux travaux ont cherché à étudier les relations entre albédo et désertification (essentiellement les relations entre l'albédo et les fluctuations du couvert végétal des régions arides ainsi qu'avec les modèles climatiques). Si ces fluctuations ont été mises en évidence à l'échelle continentale, la nature de leur impact sur le climat est encore discutée.

4.7.1.5 L'indice de végétation

La diminution du couvert végétal joue un rôle important dans le processus de désertification. Le suivi de la végétation verte, facilement entrepris par satellite grâce aux indices de végétation, a fait l'objet de nombreux travaux.

Ainsi des images basses résolutions, acquises quotidiennement par les satellites, permettent de calculer des valeurs moyennes de l'indice de végétation par décade. L'état des ressources végétales et les zones à risque peuvent ainsi être détectées. Il est alors possible, le cas échéant, de provoquer une alerte afin de tenter d'éviter d'atteindre un stade de dégradation avancée de ces ressources (Begni et al, 2005).

4.8 Les traitements numériques d'images

4.8.1 Rehaussement des données (amélioration du contraste)

Le rehaussement d'une image sert à améliorer le contraste des données (valeurs radiométrique) afin d'en faciliter son interprétation, permettant d'éliminer les effets de bordure d'une image.

4.8.2 Composition colorée

C'est la combinaison de trois canaux auxquels on affecte une couleur différente. La création de compositions colorées fait partie des premières démarches d'amélioration visuelle des images. Les couleurs primaires additives sont : bleu, vert, rouge, elles sont combinées pour produire des couleurs secondaires : jaune, magenta et cyan, le noir est constitué par l'absence de couleur (Girard et Girard, 1999).

4.8.3 Les notions de texture et de structure

D'après Renou (2003), les notions de structure et de texture peuvent se révéler très utile lors de la discrimination d'objets sur une image satellite.

4.8.3.1 La texture

La texture est un arrangement local produit sur une image par la juxtaposition d'un grand nombre d'objets de même nature, trop petits pour être identifiés individuellement. Cette notion de texture (disposition des groupes de pixels, le nombre, la taille et la fréquence des éléments), se révèle complémentaire du travail sur la réflectance des pixels pris individuellement. En effet, il est tout à fait possible que deux catégories d'occupation du sol se manifestent par une signature spectrale similaire tout en présentant une texture différente (Calloz et Collet, 2001).

4.8.3.2 La structure

La structure fait apparaître la notion de fréquence des éléments texturaux. Les éléments structuraux sont définis par les relations répétées qui existent entre les éléments texturaux (Girard et al, 1989).

4.9 Méthodes d'analyse numérique d'image

4.9.1 Statistiques spatiales et Analyse en Composantes Principales (ACP)

Tous traitements numériques ou classifications des images peuvent être affichés en tableaux statistiques que se soit des données d'occupation de sol en cas de classification ou de l'image.

Les images optiques de télédétection sont sujettes à des déformations et à des perturbations dues aux effets atmosphériques et aux vibrations des capteurs. Ceci se traduit par un bruit additif qui se rajoute au contenu du pixel. Ces images sont corrélées et donc posent le problème de redondance de l'information. Une ACP se lance sur un tableau individu par variable dont les colonnes sont des variables quantitatives. Cette méthode consiste à trouver un espace de dimension réduite sur lequel on projette ces variables. L'espace réduit est obtenu à partir des composantes principales (axes principaux). Ces composantes principales sont des combinaisons linéaires des variables initiales.

La première composante est celle contenant le plus d'informations alors que la dernière est celle contenant le bruit.

CHAPITRE V

Caractéristiques générales de la région d'étude

CHAPITRE V : CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE LA RÉGION D'ÉTUDE

5.1 Introduction

Les Hautes Plaines Sud Oranaises représentent une région steppique à vocation pastorale et dont le milieu naturel est fragile. Ne permettant pas un peuplement dense, les caractéristiques biogéographiques de la steppe ont permis à l'homme de s'y adapter en adoptant le nomadisme comme mode de vie. Ce dernier est basé sur les déplacements saisonniers des hommes et des troupeaux entre le nord et le sud. Cette forme d'adaptation de l'homme avec son milieu a engendré un certain équilibre écologique qui a duré des siècles (Hadeid, 2008). Actuellement, cet équilibre est rompu. Le phénomène de désertification de la steppe ne cesse de s'étendre et tend à contrarier le processus de développement d'un espace longtemps marginalisé et défavorisé.

Parmi les critères de choix de la région d'étude (Wilaya de Naâma), il y a lieu de mentionner :

- sa représentativité sur le plan phytogéographique ou bioclimatique;
- l'importance des aménagements et les actions menées dans cette région ;
- la tendance pastorale de la région avec l'importance de l'effectif ovin et la superficie des parcours ;
- la région d'étude est fortement touchée par le phénomène de l'ensablement.

5.2 Caractéristiques physiques de la zone

5.2.1 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude appartient à une région à vocation pastorale couvrant une superficie de 29 514 Km² dont 22 034,50 terrains de parcours, 4 362,60 de nappe alfatière, 1 369,90 sous formes de forêts et maquis et 1 747 de terres improductives (D.S.A, 2007).

Elle est située entre l'atlas tellien et saharien dans sa partie occidentale, limitée au Nord par les wilayas (préfecture) de Tlemcen et Sidi bel Abbés, au Sud par la wilaya de Bechar, à l'Est par la wilaya d'El-Bayadh et à l'Ouest par le Royaume du Maroc (Figure 5.1).

Le territoire de la wilaya de Naâma se caractérise par trois grands espaces géographiques :

- Une zone Nord steppique plane représentant 74% de la superficie totale de la wilaya, soit 21.840,46 Km².
- Une zone montagneuse occupant 12% du territoire de la wilaya, soit 3.541,69 Km², et faisant partie de l'Atlas saharien, sa structure est hétérogène. Les piémonts sud de l'atlas tellien : cette partie ou l'altitude varie de 900 à 1200 m est parsemée de chaîne montagneuse isolées s'élevant jusqu' à 1400 m correspond à la zone alfatière.
- L'espace du chott de la wilaya est constitué par les chotts Gharbi à l'ouest et Chergui à l'est.

La zone d'étude s'étend sur deux communes : Mécheria et Naâma occupant la partie Est de la wilaya de Naâma (Figure 5.1) et couvrant une superficie de 4140 Km², l'altitude oscille entre 1128 et 2100 m.

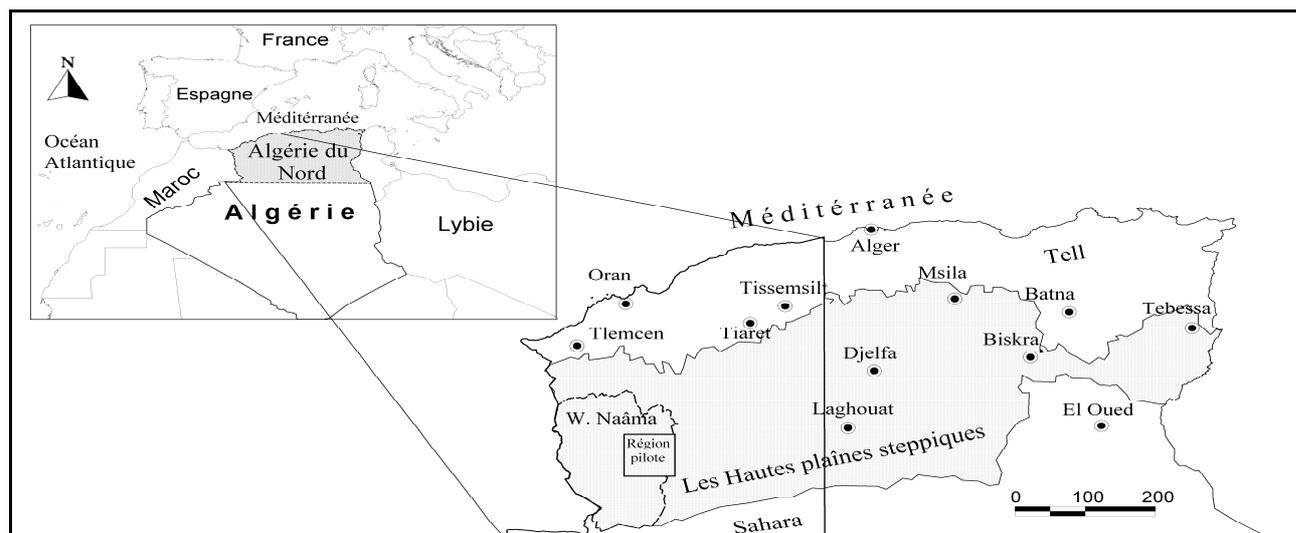


Figure 5.1 : Situation géographique de la région d'étude.

5.2.2 Cadre géologique

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

Cette région est abritée des influences atlantiques par le moyen Atlas Marocain et des influences méditerranéennes par l'Atlas tellien ; mais elle est en contact direct avec les influences sahariennes par la présence de certains passages qu'offre l'Atlas Saharien.

Du point de vue morphologique, le territoire de la wilaya est constitué d'une immense plaine déprimée coincée entre les deux Atlas. Toutefois, cette monotonie paysagère est rompue par quelques chaînons de montagnes orientés sud-ouest, nord-est. Nous citons l'exemple que constitue l'alignement du djebel Gaouloul (1613 m) qui se prolonge au nord par les djebels El Arar (1801m) et Kerrouch dont la continuité au nord-est s'effectue avec le djebel Bou Rhenisa (1594 m) pour se terminer plus au nord par djebel Antar qui culmine à 1721 mètres d'altitude.

5.2.3 Cadre pédologique

Les sols steppiques sont calcaires et calciques caractérisés par une faible profondeur, une teneur en matière organique très faible (inférieure à 1 %) et décroissante selon la profondeur alors que le taux de calcaire croît et constitue une entrave au développement des plantes. La texture est à dominance sableuse d'une faible stabilité structurale et une faible capacité de rétention en eau ne permettant le développement que d'une végétation xérique adaptée aux conditions du milieu (Benabdeli, 2000).

Les sols de la région d'étude s'agencent avec les conditions géomorphologiques (Figure 5.3). Les sols minéraux bruts ou lithosols se localisent au niveau des principaux djebels (Figure 5.2) (Antar, Hafid, Bou Amoud etc...) ainsi que les sols peu évolués des versants de djebels, les sols calcimagnésiques à dalles calcaires occupent la presque totalité des glacis de la région. Par contre au niveau des oueds, daïas et ou dépressions, ce sont les sols peu évolués d'apport alluviaux qui dominent ainsi.

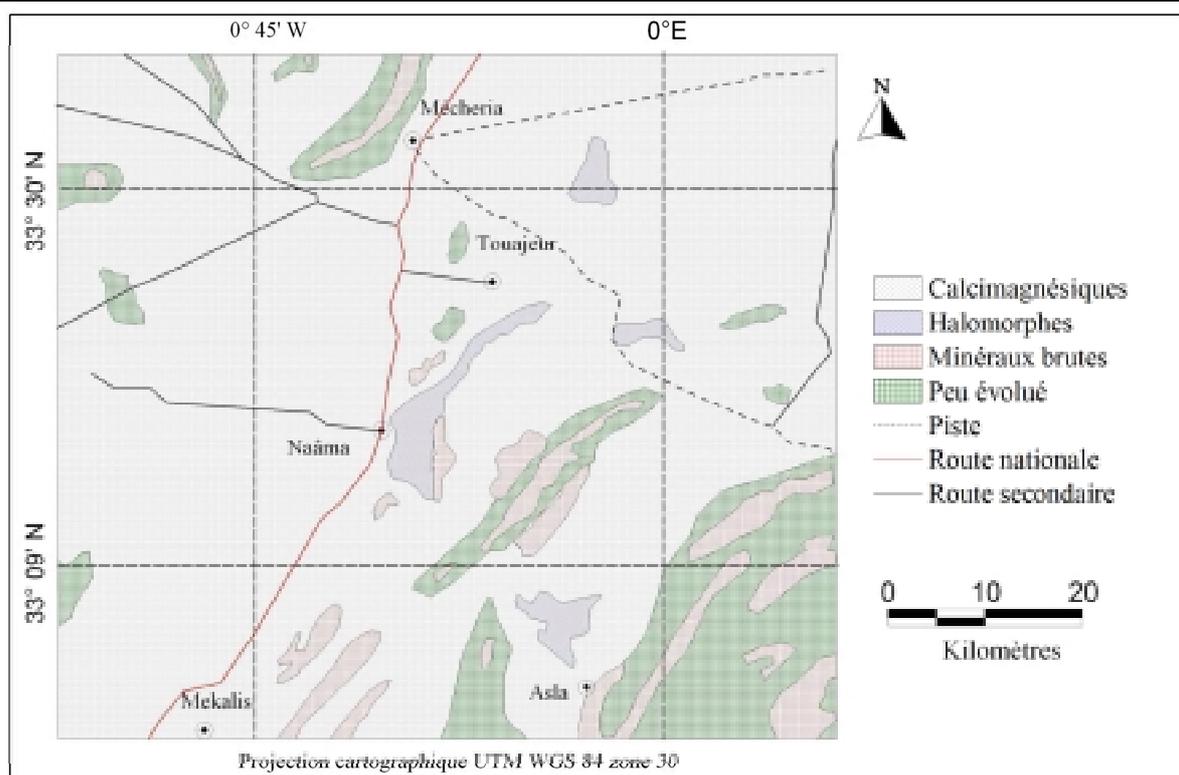


Figure 5.2 : Carton pédologique de la zone d'étude. Source : (CRBT, 1981).

Les sols sont dans leurs quasi-totalités calcaires à complexe absorbant saturé. Il sont en relation avec la nature de la roche mère et, pratiquement toujours, avec le climat. Trois types de sols pouvant caractériser la région ont été définis : les sols peu évolués, les sols calcimagnésiques et les sols halomorphes.

Les principaux types de sols sont :

- Les sols minéraux bruts : représentés par les lithosols et les régosols localisés sur le Djebel Antar.
- Les sols peu évolués : comprennent les sols d'origine colluviale qui se localisent sur les piedmonts des djebels, les cônes de déjections et les glacis de couvertures (glacis d'épandage et d'ennoyage), sols d'origine alluviale qui se situent dans les lits d'oueds, les zones d'épandages et les petites daïas et les sols d'origine éolienne qui constituent les formations sableuses fixées.
- Les sols calcimagnésiques : Ils s'étendent sur la plus grande partie de la zone d'étude. On y distingue les sols calcimorphes (rendzines) et les sols brun-calcaires.
- Les sols halomorphes : ils dominent sur les Sebkhass et les Mekmènes.

5.2.4 Caractéristiques géomorphologiques et occupation du sol

Les formes géomorphologiques caractérisant cette zone sont :

- Les reliefs en massifs (Djebel Antar, ect...).
- les surfaces plus ou moins planes formées par les glacis, les terrasses et les chenaux d'oueds alluvionnés.
- Les dépressions caractérisées par les Sebkhass et les mekmènes.
- Les formes d'accumulation éolienne qui se distinguent par des voiles sableux, des nebkhass pièges, des micro-dunes, des dunes vives et des placages sableux.

La région d'étude est constituée essentiellement par une zone de glacis de nature gréseuse et calcaire et au Sud par l'Atlas Saharien grésocalcaire mais aussi parfois marneux. Les glacis ou versants concaves à pente variable sont parcourus par un réseau hydrographique tantôt hiérarchisé, tantôt anastomosé. Ces versants sont parfois coupés par des microdépressions avec ou sans rupture de pente. Localement les glacis sont incisés linéairement en bordure de «Chotts» ou macro dépressions salées.

Les glacis d'érosion occupent une très grande surface dans l'ensemble de la région. Ils sont parcourus par un réseau hydrographique anastomosé associé à un système de daïas, tandis que les glacis de dénudation sont alignés N.E-S.W.

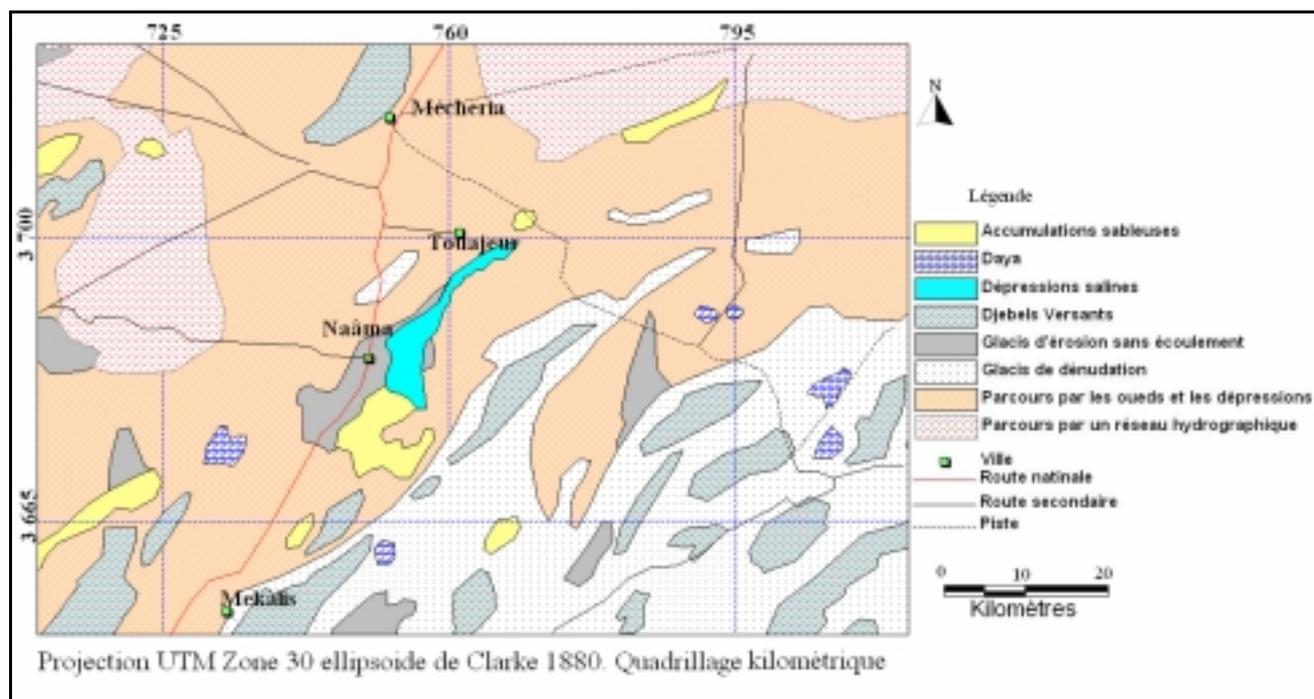


Figure 5.3 : Carte géomorphologique de la région d'étude.

En termes géomorphologique et d'occupation du sol, on constate en premier lieu l'importance que représente la catégorie des parcours soit par les oueds et les dépressions ou par un réseau hydrographique qui occupent successivement 48,35 % et 13,05 % (Tableau 5.1) soit 61,4 % de la superficie de la région, suivie par la catégorie "glacis" qui représente pour sa part 24,49%.

Tableau 5.1 : Principales Catégories géomorphologiques de la région d'étude

Catégories géomorphologiques	Superficie en hectare	%
Parcours par les oueds et les dépressions	379000	48,35
Glacis de dénudation	167600	21,38
Parcours par un réseau hydrographique hiérarchisé	102300	13,05
Djebels Versants	72720	9,28
Accumulations sableuses	26300	3,36
Glacis d'érosion sans écoulement	24410	3,11
Dépressions salines	6410	0,82
Daya	5060	0,65

La combinaison entre les données géomorphologiques et ceux de l'occupation du sol, montre que les parcours et les glacis, sont des terrains de pacage tandis que les terres agricoles se localisent dans les *dayate* (dépressions) et les lits d'oueds.

Pour ce qui est de l'occupation du sol, et d'après les données des services agricoles et de la conservation des forêts, les terrains de parcours occupent 64 % de la superficie totale.

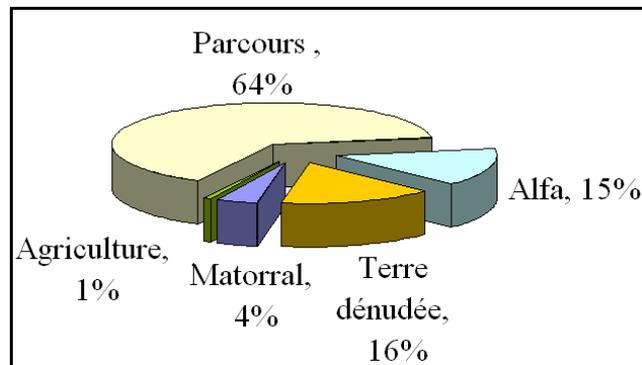


Figure 5.4 : Part de chaque classe d'occupation du sol.

5.3 Les ressources végétales

5.3.1 Végétations steppiées

Dans les hautes plaines sud oranaises, l'aridité du climat ne permet pas le développement d'un couvert végétal capable de protéger la surface du sol. La plus part des espèces, en ce milieu aride, ont acquis des caractéristiques biologiques et morphologiques particulières leurs permettant de surmonter toutes les conditions défavorables du milieu.

Malgré le faible taux de recouvrement, la végétation steppiée constitue une ressource naturelle de grande importance notamment dans la protection du sol contre le phénomène de l'érosion éolienne et dans la structuration des horizons superficiels du sol.

La végétation naturelle de la zone d'étude est caractérisée par une physionomie de steppe sauf dans les montagnes où subsistent les restes des forêts primitives abattues par l'homme à base de *Pinus Halepensis* et *juniperus phoenicea*. En dehors de ces espèces forestières, l'aspect de la steppe change avec le gradient pluviométrique et la nature du sol. La steppe sud Oranaise est dominée par les formations végétales suivantes:

- Steppe à alfa (*Stipa tenacissima*) ;
- Steppe à armoise blanche (*Artemisia herba Alba*) ;
- Steppe à sparte (*Lygeum spartum*) ;
- Steppe halophyte;
- Steppe psammophyte.

La végétation naturelle est dominée par des formations basses et claires avec des espèces pérennes ligneuses et herbacées (Le Houérou, 1995). Les formations végétales sont marquées par une steppe graminéenne pérenne représentée par :

- une steppe à *Stipa tenacissima* et *Lygeum spartum* ;
- une formation chaméphytique : steppe à *Artemisia herba-alba* parfois liée aux conditions climatiques et édaphiques (steppe aride ou saharienne, steppe psammophile colonisant les substrats sableux, ou steppe halophile à *Salsolaceae* colonisant les sols à forte teneur en sels.

- un matorral composé de genévrier de Phoenicie (*Juniperus phoenicea* et *Stipa tenacissima*) ou une végétation steppique à structure simplifiée, monostrate et très ouverte, dominée par le remth (*Arthrophytum scoparium*) sur les reliefs.
- une formation dominée par les thérophytes (espèces annuelles appelées acheb dans la région) survivant pendant la saison sèche sous forme de graines et apparaissant avec les premières pluies (Kaabèche, 2000).

Les principales formations végétales pérennes de la région sont détaillées comme suit :

- Formation à *Stipa tenacissima* (Alfa) : elle occupe une superficie de 436.250 ha (Tableau 5.4), bien qu'ils occupent les hauteurs et les versants des djebels. L'Alfa est omniprésent au niveau de tout le territoire de la région à l'exception des communes de Djenien et Moghrar où l'on constate une nette régression de cette espèce au profil d'une végétation xérophyte. Ces parcours accusent aussi une dégradation très poussée due à l'arrachage des ligneux et le surpâturage. L'alfa est une plante pérenne qui est capable de résister aux aléas climatiques et aux conditions sévères de sécheresse tout en maintenant une activité physiologique même au ralenti (Aidoud et Touffet, 1996). Les steppes à alfa investissent les espaces à bioclimats semi-arides à hiver frais et froid et dans l'étage aride supérieur à hiver froid. Elles colonisent tous les substrats géologiques de 400 à 1800 mètres d'altitude.
- Formation à *Artemisia herba alba* (Chih) : elle a subi une nette régression due à l'effet du surpâturage et la sécheresse. L'armoïse blanche est localisée dans les étages arides supérieurs et moyens à hiver frais et froid avec des précipitations oscillant entre 100 et 300 mm. Elle s'étale dans les zones humides (zone d'épandage) et sur un substrat plus au mois limoneux ou sur un sol argileux dans les fonds des dépressions non salées (Bouabedellah, 1991).
- Formation à *Lygeum spartum* (Sparth) : elle est localisée principalement au niveau du Nord de la région d'étude sur les sols présentant des textures limono sableuses. Cette plante géophyte dont le plateau de régénération se trouve plus au moins profondément enfoui dans le sol semble bien être affecté par l'érosion éolienne conjuguée à la sécheresse (manque de précipitations) d'où la disparition de plage intégrale de cette espèce notamment celle localisée dans des couloirs de vents à soumis de forte érosion. Le sparte est une espèce qualifiée médiocre sur le plan pastoral comme l'alfa. Seules les jeunes pousses et ses inflorescences sont broutées par les ovins. Sa valeur énergétique est (0.3 à 0.4 UF/kg.MS) est assez faible. Par contre, il constitue des parcours d'assez bonne qualité avec un pouvoir de régénération et une productivité relativement élevée. Il produit en moyenne 65% de sa phytomasse sur pied.
- Formations à *Arthrophytum scoparium* : elle est localisée principalement au sud de la région. Ces parcours associés généralement à *Retama raetam* ne semble pas vraiment affectés par la sécheresse d'autant plus qu'ils ne sont pas broutés par les ovins. Le recouvrement global de la végétation est rarement supérieur à 25 %. L'alfa n'est pratiquement qu'une relique qui se réfugie dans les zones accidentées. Elle se régénère difficilement, même en période humide. L'armoïse blanche se trouve dans une situation plus critique. La tendance actuelle de l'évolution vers des formations psammophiles dominées par le sparte ou la passerine (*Thymelea microphylla*) ou de dégradation avec

comme espèces *Atractylis serratuloides*, *Noaea mucronata*, *Peganum harmala* (Hirche et al, 1999).

- Steppe à halophytes : la concentration et la répartition inégale des sels dans l'espace ont donné naissance à une formation particulière de la végétation steppique halophile très appétissante autour des dépressions salées. Les espèces les plus répandues sont : *Atriplex halimus*, *Atriplex glauca*, *Suaeda fruticosa* et *Frankenia Thymifolia*.
- Steppe à psammophytes : ce type de steppe se développe sur des terrains à texture sablonneuse et aux apports d'origine éolienne. Dans la plus part des cas elle suit les couloirs d'ensablement et se répartit également dans les dépressions salées. On distingue des steppes graminéennes à *Aristida Pungens* et *Thymellaea Microphyla* et des steppes arbustives à *Retama raetam*.

Tableau 5.2 : Les principales associations végétales dans la région de Naâma

Communes	Superficie (ha)	Nom commun	Nom scientifique
Naama, Ain benkhellil, El biodh, zone frontalière	75 1016	Alfa	<i>Stippa tenacissima</i>
Mekmen, Kasdir, Ain Benkhellil, Naama, Elbiodh.	70 4326	Sennagh	<i>Lygium spartum</i>
Mekmen, Kasdir, Ain Benkhellil, Naama, Mécheria	69 786	Chih	<i>Artemisia herba alba</i>
Sfissifa, Moghrar, Asla, Djenien, Tiout	35 136	Remth	<i>Arthrophytum scoparium</i>
Mekmen ,Sfissifa.	557 133	Drin	Parcours hétérogène et <i>Aristida pengens</i>

Source : Conservation des Forêts 2008.

5.3.2 Végétations non steppiées

Les formations pré-forestières ou plutôt para-forestière et matorrals occupent une superficie de 136250 ha, elles sont essentiellement à base des séries de végétation pin d'Alep, genévrier oxycèdre, chêne vert, pistachier de l'Atlas.

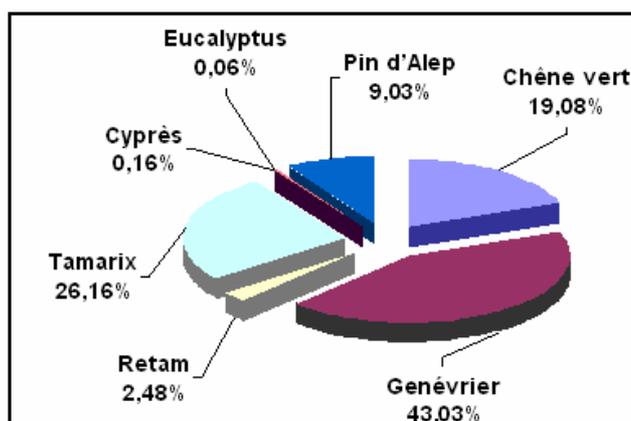


Figure 5.5 : Evolution des principaux peuplements forestiers de la wilaya de Naâma.

Source : (Conservation des Forêts, W. Naâma, 2008).

Les conditions du milieu et la forte pression humaine et animale imposent un stade de dégradation très avancé de ces formations para-forestières.

La mise en exergue des atouts du patrimoine forestier et alfatier jusqu'à présent non encore bien connu et très mal exploité peut constituer une urgence pour amorcer une dynamique de développement des populations occupant l'espace environnant du patrimoine forestier et alfatier. Le tableau qui suit donne un aperçu sur les aspects surtout quantitatif des différentes espèces forestières présentes.

Tableau 5.3 : Répartition de la superficie forestière en (ha) et par peuplement des communes de la Wilaya de Naâma.

Commune	Pin d'Alep	Eucalyptus	Tamarix	Rétama	Genévrier	Chêne vert	Autres (*)
Naâma	210	7	1712	10	250	150	2390
Mecheria	1793	50	75	-	2900	100	2895
Ain sefra	84	-	1095	450	2040	1020	26199
Tiout	100	-	-	-	480	240	7680
Sfissifa	-	-	-	-	1840	920	20040
Dj. Bourezg	-	-	-	-	1500	750	12550
Ain Benkhilil	60	-	2078	228	3800	2500	29872
Mek. Benamar	-	-	250	-	-	-	-
Kasdir	-	-	100	-	-	-	-
El biodh	400	-	1950	50	-	-	5300
Total	2647	57	7260	738	12810	5680	106926

Source : Conservation des Forêts 2008.

(*): Pistachier d'atlas, romarin, sparte, cyprès et l'alfa.

L'accroissement du taux de couverture végétale ne peut se faire qu'à travers l'utilisation des espèces autochtones comme le *Quercus ilex*, *Pistacia atlantica*, *Tamarix africana*, *Cupressus arizonica*, *Cupressus Dupreziana*, Cela peut se faire grâce à une démarche durable impliquant directement les concernés dans l'exploitation et la préservation des ressources dans un cadre réglementaire défini, visant une revitalisation progressive de cet espace dans une dynamique de développement intégré et participatif.

Tableau 5.4 : Répartition de la superficie forestière et alfatière (ha) par commune

Commune	Superficie forestière totale (ha)	Terres dénudées destinées au reboisement +voiles dunaires (ha)	Superficie alfa (ha)
Naâma	4724	6875	37866
Mécheria	8813	3395	19893
Ain sefra	30889	5161	10732
Tiout	8500	100	7198
Sfissifa	22800	200	50857
Mograr	-	500	-
Asla	-	650	17538
Djenien. Bourezg	14800	400	-
A. Ben Khilil	38538	8000	76256
M. Benamar	250	1400	41793
Kasdir	100	300	117874
El Biod	7744	2695	56243
Total	137158	29676	436250

Source : Conservation des Forêts, W. Naâma 2008.

5.4 Caractéristiques climatiques

La position méridionale de l'Oranie par rapport à la zone climatique méditerranéenne, la sécheresse estivale prolongée et l'irrégularité des pluies sont autant de facteurs écologiques limitants, menaçants perpétuellement les régions naturelles. L'Oranie est caractérisé également par une aridité singulière. Les perturbations ne donnent le plus souvent que des précipitations médiocres pour deux raisons majeures:

- Ce sont des perturbations lointaines qui ont traversé l'océan atlantique où les contrastes thermiques sont atténués par le fait du réchauffement de l'air polaire.
- Elles sont bloquées pendant un certain temps par la dorsale du moyen Atlas et du Rif marocain, et sont le plus souvent occultes après ces barrières naturelles (Benabdeli, 1996).

5.4.1 Les précipitations

En générale la pluviosité moyenne annuelle est relativement faible et sa répartition est irrégulière. Les pluies se caractérisent par leur brutalité (averse) et leurs aspects orageux. Elle est de 242,46 mm/an en moyenne dans la station de Mécheria et 192,31 mm/an à Ain sefra de la période (1966 à 2006).

On constate également que les précipitations sont insuffisantes pour permettre une utilisation agricole intensive, cette influence s'aggrave évidemment au fur et à mesure que l'on descend vers le Sud.

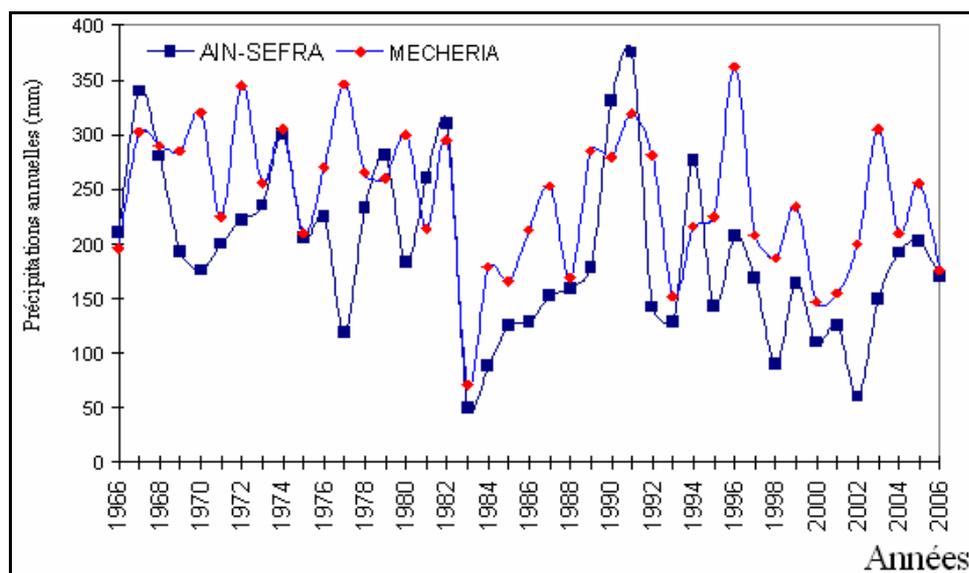


Figure 5.6 : Pluviométrie moyenne annuelle de la période (1966 à 2006) des stations de (Mécheria et Ain-Sefra) Source: (DSA, 2009).

Le régime des précipitations interannuel (Figure 5.6) permet quelques observations ; pour la station d'Ain Sefra deux périodes importantes sont considérées comme sèches (1983 à 1989) et (1997 à 2004). La station de Mécheria est humide depuis 1967 jusqu'au 1980 à l'exception de 1971 et 1975 et depuis 1989 à 1992, le reste elle demeure relativement sèche par rapport à la moyenne de la période considérée.

5.4.2 Les régimes pluviométriques

Le régime pluviométrique de la région d'étude est du type (APHE) ; selon Bensaid (2006), ce n'est pas le total des pluies qui intéresse l'agropasteur, l'agriculteur et l'éleveur, mais surtout, leurs répartitions dans l'année. L'étude du régime des pluies est plus instructive que de comparer des moyennes ou des totaux annuels. Il est préférable que les saisons soient placées dans l'ordre qui intéresse les agropasteurs de la région steppique : Automne commence au premier septembre (Despois, 1955). La (Figure 5.7), présente les volumes des pluies des quatre saisons, dans les stations d'Ain Sefra et de Mécheria de la wilaya de Naâma.

Le pourcentage moyen des pluies d'été pour la station de Mécheria et Ain Sefra est significatif. Il est de l'ordre de 10,38 % (24,41 mm) à Mécheria et de 11,63 % (21,71 mm) à Ain Sefra. Ces pluies d'été tombent assez fréquemment sous forme d'averses diluviennes et parfois elles créent des dégâts considérables sur les cultures ainsi que sur les infrastructures des villes. 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).

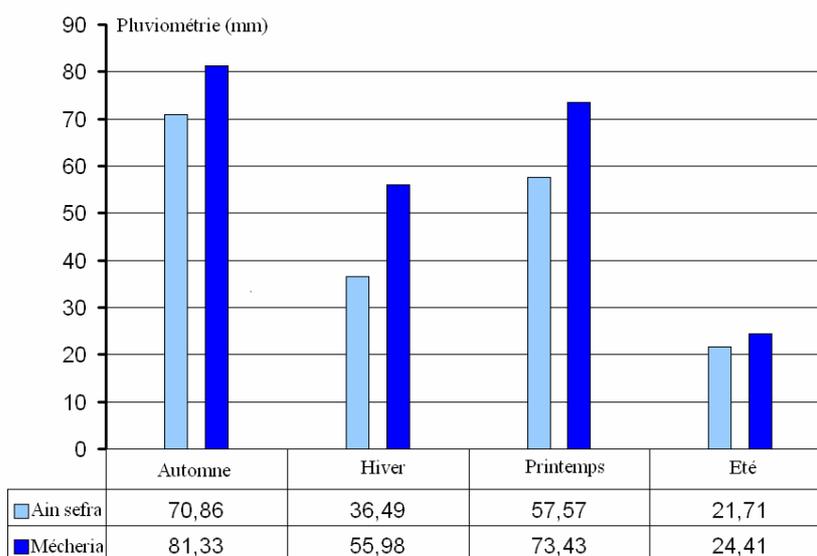


Figure 5.7 : Précipitations saisonnières (1966-2007). Source: (DSA, 2009).

5.4.3 Précipitations mensuelles moyennes

La variation mensuelle des précipitations est très marquée pour les deux stations (Figure 5.8). Pourtant Mécheria se trouve au nord des monts de Ksour par rapport à celle d'Ain Sefra où l'influence des montagnes est très marquée. Les grandes dépressions salées Chott Chergui au nord-est, et Chott Gharbi à l'ouest de Mécheria ont des influences non négligeables sur cette variabilité. Le régime mensuel à Mécheria et Ainsefra présente un maximum au mois de Mars. Le mois de juillet est le moins arrosé pour les deux stations.

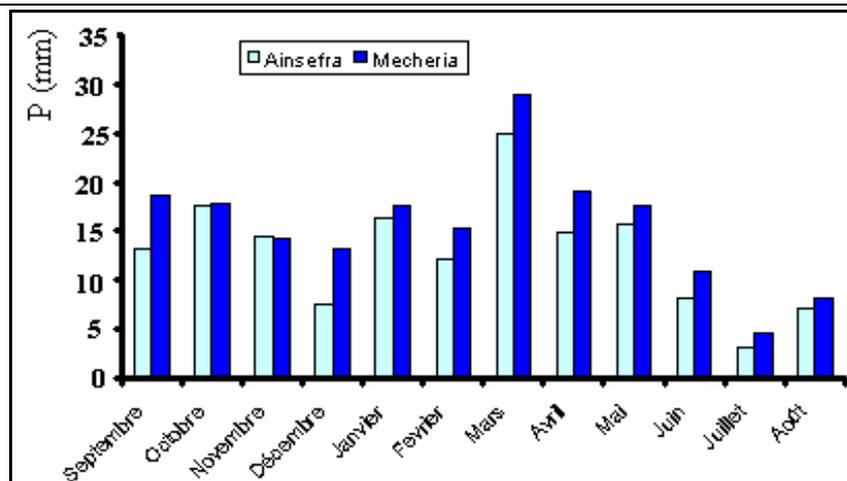


Figure 5.8 : Précipitations mensuelles moyennes de la période (1970-2004). Source: (DSA, 2009)

5.4.4 Les températures

La température est un facteur déterminant dans la pédogenèse et la distribution de la végétation dans le paysage. «La caractérisation de la température en un lieu donné se fait généralement à partir de la connaissance d'au moins cinq variables importantes qui sont les moyennes des minima et maxima, la moyenne mensuelle, le minimum absolu, ainsi que l'amplitude thermique» (Djebaili, 1984).

Pour l'étude des milieux naturels de point de vue végétation, d'après Pouget (1980). «Il s'avère nécessaire de tenir compte de ces deux moyennes, minimum et maximum». En effet, «les paramètres thermiques (en particulier le froid) jouent un rôle déterminant dans la vie végétale; la température intervient dans le déroulement de tous les processus biologiques selon des modalités diverses. Elle contrôle la croissance végétative des espèces, leurs reproductions, leurs survies et par conséquent leur répartition géographique générant les paysages les plus divers.

Les températures moyennes annuelles ont une influence considérable sur l'aridité du climat. La température moyenne maximale est de 35,69 °C en mois de juillet à Ain Sefra et de 36,58 °C à Mécheria. Les températures minimales enregistrées au niveau des deux stations sont successivement 2,5°C pour Mécheria et 1.26 °C pour Ain Sefra au mois de janvier.

La gelée intervient pendant la période hivernale, à Ain Sefra les maximums d'apparition du phénomène sont relevés en décembre et en janvier avec presque 12 jours de gelées. A Mécheria le maximum avoisine 10 jours de gelées. Il est rare que les températures descendent au dessous de - 4 °C. L'amplitude thermique annuelle moyenne (M-m) est très importante puisqu'elle atteint en moyenne 34,08°C à Mécheria et de 35,69°C à Ain Sefra (Figure 5.9).

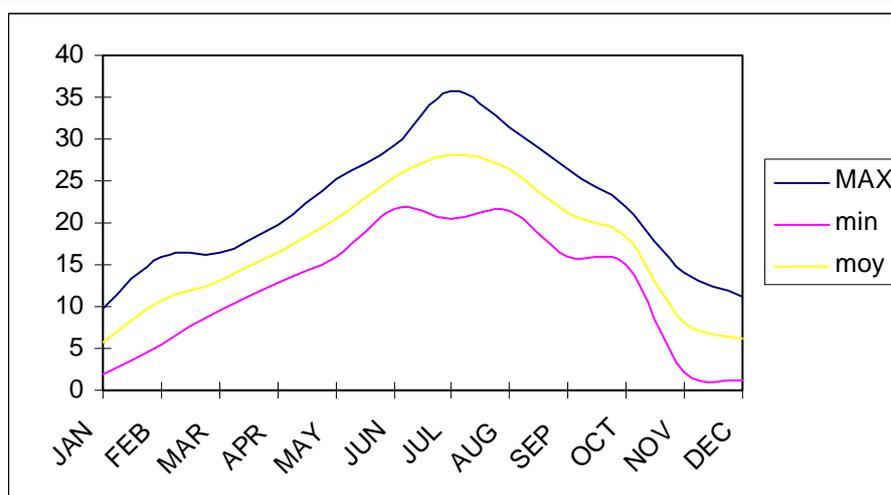


Figure 5.9 : Températures moyennes mensuelles de la station d'Ain-Sefra de la période (1978-2006).

5.4.4 Les vents

Le vent accentue les effets des éléments du climat (température, humidité et précipitations). Il est fortement influencé par les conditions topographiques locales. Le Houèrou (1979), a mis en évidence l'existence d'un écart de 20 % pour les valeurs des précipitations pour les versants exposés ou abrités par rapport aux vents pluviaux. Ainsi un vent dominant peut constituer un élément dévastateur pour la végétation.

Le vent peut être également responsable du façonnement du relief, de l'évapotranspiration et de la formation de la végétation. Il est également connu pour son effet de dessiccation des graines.

Les vents dominants sont souvent secs et sont en provenance du sud - ouest et du sud-est.

Les vents sont dus à des différences de température engendrant des dépressions différentes. Il s'écoule des hautes vers les basses pressions». Pour définir une action mécanique directe sur la végétation (dissémination, destruction, dessèchement " (Bouabdellah, 1991).

En effet, le vent est l'aspect climatique le plus important dans l'étude d'une région aride il est malheureusement souvent délaissé ou mal relevé dans les stations météorologique surtout si l'on recherche leur capacité de transport éolien.

D'après Demangeot (1981) Cité par Benouis (2006) " le vent est non seulement, un agent érosif spécifique au façonnement des paysages désertiques, mais aussi responsable de l'ensablement et de leur origine. Le vent est donc capable d'éroder des roches tendres et cela par le frottement exercé par les grains de sable transportés.

Selon Bensaid (2006), la classe de vitesse des vents varie entre 4 et 8 m/s, un classement des vents en fonction des directions et des fréquences tenant compte des autres classes de vitesses relèguerait les vents de l'Est en septième position derrière les vents du nord, d'Ouest, du Sud-Sud-Ouest, du Nord Nord-Ouest, d'Ouest-sud-ouest et du sud.

De même pour Mécheria où la composante du secteur Nord-Est recule en septième position. Ceci traduit qu'un plus grand pourcentage (10% pour Mécheria et 12% pour Ain Sefra) des vents de l'Est se situe dans le premier pallier des vitesses moyennes (4 à 8 m/s) pour les deux stations.

Donc, c'est plus particulièrement de l'Ouest que soufflent les vents forts (plus de 8m/s). Ainsi, nous avons enregistré 20% des vents d'ouest atteignant des vitesses supérieures à 8m/s à Ain Sefra et 17,3 % à Mécheria.

Selon Bensaid (2006), la période la plus favorable aux vents de sable s'étend de mars à août avec un maximum en juin. C'est de juin à août que le nombre de jours de vent de sable est le plus important (63% de la moyenne annuelle). En effet, la moyenne annuelle est de l'ordre de 9.7 jours par an pour Ain-Sefra (période 1925-1941/1947/1949-1950) et 10,8 jours par an pour Mécheria. Ce nombre de jours peut être dépassé dans un délai d'un mois à deux mois pendant la saison estivale.

La moyenne des vitesses de vent mensuelles de 1980 à 2005 représentée dans la (Figure 5.10) montre que le maximum est enregistré en mois de Mai, les vents jouent un rôle d'inséminateur naturel durant la saison de printemps (Avril, Mai, Juin) pour la végétation naturelle en place, cette distribution se fait selon le critère vent en tant que descripteur climatique. La valeur minimale est enregistrée en mois d'Octobre, Novembre et décembre représentant la saison d'Automne.

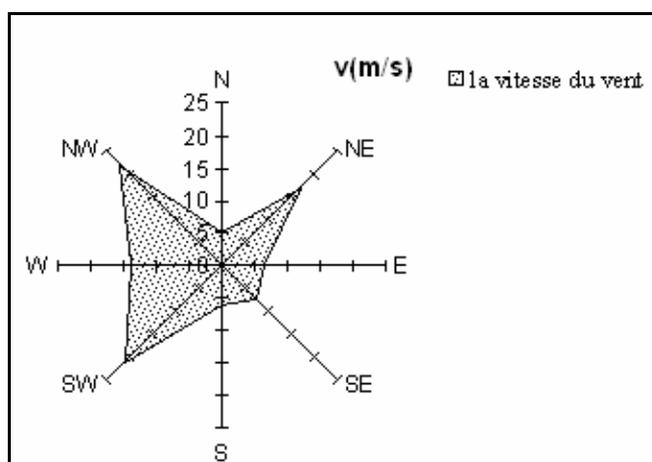


Figure 5.10 : Direction des vents de la station d'Ain Sefra (1980-2005). Source : (ONM 2006 in DSA, 2007).

5.4.5 La gelée

C'est un paramètre climatique intéressant écologiquement, SELTZER (1946) note : «La gelée est un phénomène qui est défini comme un dépôt de cristaux de glace sur une surface, survenant lorsque la température minimale descend en dessous de 0°C». Les gelées sont enregistrées généralement entre novembre et mars. Selon les données disponibles on peut récapituler la moyenne pour la période 2006-2008 : 16 jours/an de gelée au niveau de la station de Mécheria, 34 jours/an de gelée au niveau de la station de Naâma et 46 jours/an de gelée pour la station de Mécheria.

En moyenne, dans la zone d'étude le nombre de jours de gelée oscille entre 16 et 46 jours par an ; chiffre assez inquiétant surtout pour la végétation à la période du débourrement. C'est un paramètre déterminant à prendre en considération pour toute opération de mise en valeur.

Tableau 5.5: Moyennes mensuelles de la gelée pour la période (2006-2008).

Stations	Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Mécheria	Nombre moyen de jour de gelée.	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	7
Naâma	Nombre moyen de jour de gelée.	13	2	3	0	0	0	0	0	0	0	5	11
Ain Sefra	Nombre moyen de jour de gelée.	11	10	4	0	0	0	0	0	0	0	6	15

5.5 Synthèse climatique

Pour rendre les données climatiques plus significatives plusieurs auteurs ont proposé des indices climatiques qui sont des combinaisons des moyennes des différentes composantes du climat notamment la température et les précipitations (Emberger, 1955).

Cette synthèse met en évidence les différentes caractéristiques du climat méditerranéen. En effet ce dernier est caractérisé par un hiver frais et un été sec et chaud. Cette différence chronologique entre l'alimentation en eau par les précipitations et la température est responsable de la période sèche de ce type de climat. Ce décalage est souvent dénommé Xéranthème, c'est à dire long et sec.

- Le diagramme ombrothermique : il est représenté sur un repère où sont portées les courbes pluviométriques des périodes humides et sèches et les courbes thermiques correspondant à la période sèche. Un mois est sec si les précipitations (mm) sont inférieures au double de la température moyenne exprimée en degré Celsius $P \leq 2 T$. Il est représenté par la (Figure 5.11) où sont portées les courbes ombriques des périodes humides et sèche, ainsi que les courbes thermiques correspondant à la période sèche. On note en abscisse les mois de l'année et en ordonnée les précipitations en mm et les températures en ° Celsius avec une échelle double de celle des précipitations. Pour un mois sec la courbe des températures passe au dessus de la courbe des précipitations, par ailleurs pour un mois humide la courbe des précipitations passe au dessous de la courbe des températures, cette période est beaucoup plus marquée au début du mois de novembre jusqu'au janvier pour la station de Ain-Sefra.
- Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle de la période indiquée. Dans notre cas, la courbe des pluies passe au-dessus de la courbe des températures, cette allure permet de constater que la période sèche s'étale le long de l'année avec une intense sécheresse au mois de juin à septembre, sauf les mois de décembre et janvier (Figure 5.11).

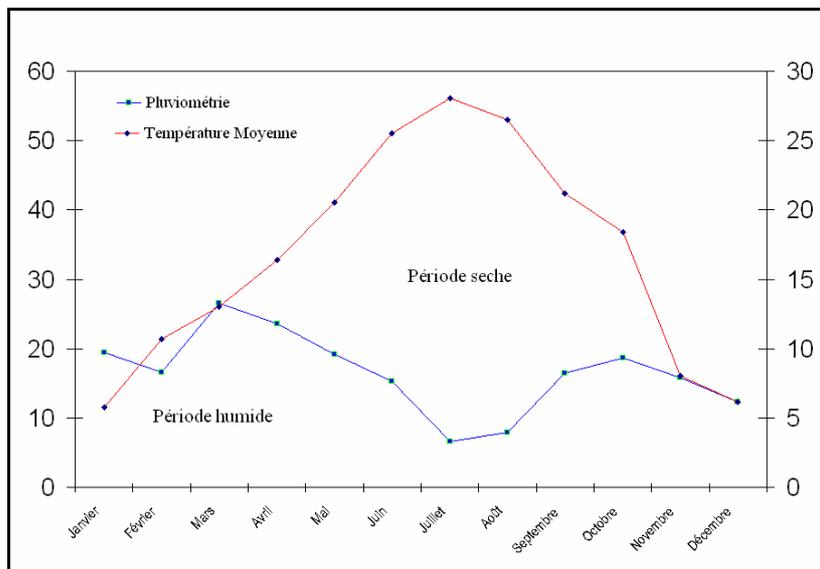


Figure 5.11: Diagramme Ombrothermique Bagnouls et Gaussen (1953) de la station de Ain Sefra de la période (1978-2007).

Pour la station de Mécheria, l'analyse permet de visualiser une période pluvieuse qui s'étend généralement d'octobre à la fin de février et une période sèche pour le reste de l'année. Toutefois

les mois de juin, juillet et août demeurent les mois les plus secs pour la même période des deux stations considérées.

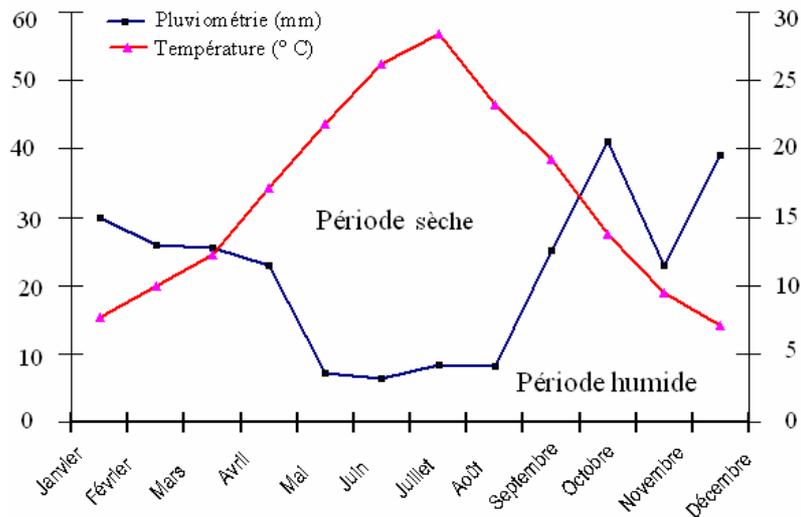


Figure 5.12 : Diagramme Ombrothermique Bagnouls et Gausson (1953) de la station de Mécheria période (1978-2007).

- Le Quotient pluviométrique d'Emberger (Q²): Emberger (1955) s'intéressant aux extrêmes thermiques M et m entre lesquelles se déroule la période végétative et qui peuvent constituer des seuils écologiques pour les différentes espèces végétales a défini la relation :

$$Q = \frac{1000 P}{2 \left(\frac{M + m}{2} \right) (M - m)}$$

Où :

P : Moyenne des précipitations annuelles en mm

M : Moyenne des Maxima du mois le plus chaud en ° K

m : Moyenne des minima du mois le plus froid en ° K

Donc le calcul de la position bioclimatique nous a permis la détermination de l'ambiance bioclimatique (Tableau 5.6) de la station de Ain Sefra est de l'aride inférieur à hivers frais et Aride à hivers frais de la station de Mécheria pour la même période (1978-2007).

Tableau 5.6 : Position bioclimatique de la période (1978-2006) des stations de Mécheria et Ain-Sefra

Station	Q ²	P (mm)	m (°c)	Etage bioclimatique
Mécheria	26,45	262,8	2,5	Aride à hivers frais
Ain Sefra	19,05	198,22	1,26	Aride inférieur à hivers frais

5.6 Caractéristiques du milieu socio-économiques

5.6.1 Population

Les nombreux vestiges préhistoriques de l'Atlas Saharien attestent que le peuplement de la wilaya de Naâma remonte à au moins 10000 ans grâce aux gravures rupestres et à quelques restes de végétations emprisonnées dans des concessions de sources des monts de Ksour, on peut entrevoir ce qu'était la flore et la faune à la fin de l'ère quaternaire.

L'environnement bioclimatique permettait à l'homme et à l'animal d'évoluer au milieu d'une savane à hautes herbes. Les changements " brusques ou lents ", des conditions climatiques ont été à l'origine des migrations des populations certainement du Sahara vers le Nord. Plus tard l'activité pastorale basée sur l'exploitation minière de pâturage devenant de plus en plus rare, ne pouvait qu'induire le mode de vie nomade des populations. De tout temps il était impossible d'évaluer les effectifs réels des populations vivant dans la zone.

La population de la wilaya de Naâma a plus que triplé de 1966 (59600 habitants) à (213501 habitants) en 2008. La répartition de la population dans la wilaya de Naâma se caractérise par une tendance à une bipolarisation dans les deux centres de Mécheria et Ain-Sefra : Près de 58% de la population totale y réside dans une superficie n'excédant pas 7% de la superficie totale de la wilaya.

En termes de volume de population sédentaire, les autres communes se répartissent en deux (02) groupes.

- Le premier composé des communes de Naâma, Elbiodh et Ain-Benkhelil où la population varie fluctue entre 12.000 et 19.000 Habitants.
- Le deuxième groupe composé de Tiout, Sfisifa, Moghrar, Asla, Djenien-Bourezg, Mekmen-Ben-Amar et Kasdir où la population est au dessous de 10.000 Habitants.

Le rythme de croissance de la population locale est caractérisé par une variation à la baisse à travers les différentes périodes intercensitaires.

L'analyse des différents recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) laisse apparaître pour la wilaya de Naâma une population de 82.555 habitants, 165.578 habitants (avec un taux d'accroissement annuel moyen de 3.37 %), 213501 habitants respectivement pour les années 1987, 1998 et 2008. au RGPH 2008 (avec un taux d'accroissement moyen de 2,5 %).

Tableau 5.7 : Evolution de la population de la Wilaya de Naâma par année (1995-2008).

Année	Nombre d'habitant	Année	Nombre d'habitant
1995	144996	2002	181217
1996	148742	2003	184884
1997	152211	2004	188471
1998	167495	2005	192726
1999	170888	2006	197040
2000	174243	2007	202254
2001	177713	2008	213501

Source : DPAT 2009

5.6.2 Les activités socio-économiques

Les activités varient au niveau de la wilaya de Naâma comme à travers toutes les régions d'Algérie, mais la particularité au niveau de cette région est la dominance du secteur agricole (l'agriculture, l'élevage de bétail, en particulier l'élevage ovin).

5.6.2.1. L'agriculture

Le premier secteur économique important est l'agriculture; précisément le pastoralisme, L'agriculture et le pastoralisme considèrent comme les vocation économiques principaux, elles sont passées par plusieurs crises surtout celles liées aux conditions climatiques et le phénomène de l'ensablement.

La production végétale (représentée par 0.8 % de la superficie totale) Dans la wilaya de Naâma est caractérisée par un rôle marginal qu'elle joue en raison des conditions climatiques très défavorables, cette agriculture steppique est composée essentiellement de la céréaliculture et des fourrages (plus de 60 %).

La céréaliculture dans la wilaya de Naâma, est représentée par deux types de cultures qui sont l'orge et l'avoine, parmi les céréales cultivées, c'est l'orge qui prédomine en raison de la place qu'occupe cette céréale dans l'alimentation du cheptel ovin.

En ce qui concerne les fourrages rencontrés par ordre d'importance en trouvent, l'orge en vert, la vesce avoine et la luzerne.

5.6.2.2 La céréaliculture et fourrage

Tableau 5.8 : Répartition de la production végétale par communes dans la région de Naâma.

Communes	Céréales d'hiver		Fourrage artificiel	
	Superficie moissonnée (Ha)	Production (Qx)	Superficie moissonnée (Ha)	Production (Qx)
Naâma	0	0	310	44100
Mécheria	0	0	350	49700
Ain sefra	45	360	64	30555
Tiout	25	200	24	5765
Sfissifa	0	0	203	4200
Moghrar	5	4	5	1100
Asla	118	896	14	2100
Djenien-bourezg	3	24	4	700
Ain benkhilil	130	1040	150	37360
Mekmen ben amar	35	280	0	0
Kasdir	95	760	0	0
El biodh	0	0	450	63000
Total	450	3600	1574	238580

Source : DSA 2009

5.6.2.3 L'élevage

Depuis des siècles, l'élevage est la principale économie de la steppe algérienne qui représente l'adaptation la plus appropriée à l'extrême variabilité des pluies et à la fragilité de la couverture

végétale, toute la vie de l'éleveur est basée sur l'entretien de son troupeau qui lui assure, ainsi qu'à sa famille, la majeure partie de sa fortune et de son prestige (Yerou, 1998).

La richesse animale varie au niveau de la région de Naâma, comme sa variation de répartition au sein de la région; mais en remarque la dominance de l'élevage ovin par rapport au autre élevage.

Selon les données plus récentes en peut prononcer que l'élevage dans la région de Naâma, est représenté par 864000 têtes d'ovins, 57500 têtes de caprins, 37500 têtes bovins, 812 têtes de camelins, et 1160 têtes d'équins. Ces chiffres font ressortir l'importance qu'occupe le cheptel ovin au niveau de la région qui se positionne sur le premier rang.

L'élevage bovin occupe une place négligeable comparativement à l'élevage caprin.

Les effectifs des ruminants varient d'une année à l'autre en raison principalement des transactions commerciales non contrôlées et la transhumance pratiquée par les éleveurs. Ces effectives sont détenues en grande partie par les petits éleveurs. En effet près de 65% du cheptel de la wilaya appartient à la classe inférieur à 200 têtes. La composition raciale des troupeaux ovins est représentée par la race Oued Djellal et Rembi qui prédominent et en deuxième lieu la race Hamra. Quatre communes (El Biodh, Kasdir, Ain Ben Khilil, et Mekmen Ben Amar) possèdent à elles seule presque la moitié du cheptel ovin de la région.

5.7 Les potentialités hydriques

Le sous-sol de la wilaya renferme des grandes potentialités hydriques qui sont toutefois très peu exploitées. La ressource hydrique est répartie entre ressources hydriques souterraines et superficielles, le captage des eaux souterraines est le plus utilisé pour l'alimentation de l'eau potable, à l'irrigation et à l'abreuvement du cheptel, la qualité des eaux diffère d'une zone à l'autre.

Les réserves hydriques souterraines sont localisées sur l'ensemble du territoire de la wilaya, notamment autour de :

- Chott El-Gherbi,
- Chott Echergui,
- Le synclinal de Naâma,
- Les aquifères de la vallée de Ain-sefra et Tiout.

Le secteur de l'hydraulique connaît actuellement une phase de rénovation, de réhabilitation et d'extension destiné à renforcer les infrastructures existantes, et ce par le recours aux différents programmes mis en œuvre (PSD, PCD, FSDRS, Programme d'urgence, ...).

Tableau 5.9: Situation des ressources mobilisées (eaux souterraines)

	Nombre	Débit (L/s)	Destination (L/s)		
			AEP	Irrigation	Autre
Forages en exploitation	265	3104	1229,0	1502	373
Puits	218	323,5	26	278,5	19
Sources	1	2	2	18	0
TOTALE	484	3429.5	1257.0	17.98.5	392

Source : DHW, 2008.

CHAPITRE VI

Élaboration de la carte de
sensibilité à la désertification de
l'Algérie occidentale

CHAPITRE VI : ÉLABORATION DE LA CARTE DE SENSIBILITÉ A LA DÉSERTIFICATION DE L'ALGÉRIE OCCIDENTALE

6.1 Introduction

Le présent travail de recherche a pour objectif de rendre compte d'une méthodologie adaptée pour l'étude et l'évaluation de la désertification au niveau de la partie occidentale de l'Algérie. C'est une zone caractérisée par une sensibilité élevée et nécessitant un suivi permanent à travers l'élaboration d'une cartographie rapide permettant de faire des bilans quantitatifs et qualitatifs. Pour ce faire, des capteurs de moyenne résolution géométrique tel que le capteur MODIS embarqué sur les satellites (Aqua et Terra) ont été utilisés. Il a été fait également appel à certains paramètres géophysiques incontournables dans une telle approche comme : l'albédo, l'indice de végétation et la température de surface ; pour l'élaboration de la carte.

L'analyse et la combinaison de ces informations permettront par la suite de cartographier l'état des paramètres géophysiques, de suivre les phénomènes évolutifs et d'en apprécier facilement les conséquences tant qualitatifs que quantitatifs sur tous les types de milieux.

Depuis plusieurs décennies, les hautes plaines steppiques algériennes sont soumises à de fortes pressions qui conduisent à une réduction des surfaces et de la valeur de ces parcours. Par ailleurs, l'actualisation des données cartographiques dans ce domaine, à l'aide de la télédétection est onéreuse. A ce sujet Benabdeli (2007) note : « La caractérisation écologique de l'espace steppique montre toute son utilité tant écologique qu'économique puisqu'il est défini comme une bande s'étendant de l'est vers l'ouest et séparant le Tell de l'Atlas saharien. Cet espace reste stratégique pour le pays, il occupe plus de 30 millions d'hectares et s'étend sur huit wilayate englobant 354 communes et abrite une population qui connaît une augmentation remarquable puisqu'elle est passée de 2.500.000 habitants en 1977 à près de 12.000.000 d'habitants actuellement. La steppe algérienne s'étend sur 20 millions d'hectares avec une superficie des parcours estimée à 15 millions d'hectare avec des nappes d'alfa qui totalisent seulement 2,1 millions d'hectares ».

Dans cet espace, près de 14 millions d'hectares se trouvent dans un état de dégradation avancé ; 7.5 millions d'hectares dans l'espace steppique sont érodés sous l'effet de la dégradation avancée de la couverture végétale. L'exploitation de la carte de sensibilité à la désertification de cet espace établie par la Direction Générale des Forêt en 1997 montre que 5 % de la superficie est désertifiée, 15 % très sensible, 25 % sensible à la désertification soit un total de 45 % de terres dans un processus de dégradation assez avancé et souvent irréversible.

Ce constat assez alarmant incite à un contrôle et un suivi de l'évolution de la végétation qui constitue l'unique barrière contre l'avancée des cordons dunaires et contre la désertification en général. Pour cela un travail traitant du point de vue cartographique l'état des espaces géographiques s'impose car il permet des projections de gestion sur le long terme.

L'application des techniques de télédétection, doit permettre d'effectuer une quantification des principales catégories de dégradation de l'espace Oranais.

6.2 Caractéristiques des données satellitaires

6.2.1 Les images satellites

Le choix de l'utilisation des images satellites MODIS s'est fait en fonction de l'étendue du terrain d'étude (Oranais), de la résolution temporelle des images (une image par jour) et également de la disponibilité des données. Les données MODIS sont téléchargeables directement depuis le site de MODIS. Des synthèses à 8 et 16 jours sont proposées, qui permettent à l'utilisateur de s'affranchir de certains prétraitements (corrections radiométriques et atmosphériques) et améliorent la qualité des données.

6.2.2 Le capteur MODIS

Le capteur MODIS est un capteur embarqué à bord des satellites Terra et Aqua. Les orbites de Terra et Aqua autour de la Terre sont héliosynchrones (Tableau 6.1), à 705 kilomètres de la Terre. Le satellite Terra est programmé de façon à ce qu'il passe du nord au sud par l'équateur le matin, alors que Aqua passe du sud vers le nord par l'équateur l'après-midi.

MODIS Terra et Aqua permettent de visualiser l'ensemble de la surface de la Terre tous les 1 à 2 jours avec une fauchée de 2330 km, par l'acquisition de données dans 36 bandes spectrales, qui s'étendent de 0,405 à 14,385 μm , à trois résolutions spatiales : 250 m (bande 1 rouge et 2 proche infrarouge), 500m (bande 3 bleu, bande 4 vert, les bandes 5, 6 et 7 Moyen infrarouge) et 1000 m le reste des bandes de (8 à 36 bandes).

Tableau 6.1: Caractéristiques du capteur MODIS TERRA

Lancement	1999
Altitude	705 km
Orbite	Héliosynchrone descendante
Heure de passage à l'équateur	10:30 a.m.
Champ de vue	2330 km
Résolution spatiale au nadir	250 m (bandes 1-2)
Période de revisite	(1 et 2 jours)

Source : (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>)

Ces données fournissent des informations sur la dynamique mondiale et les processus qui se produisent sur la Terre, dans les océans, et dans la basse atmosphère, comme : les températures de surfaces des terres et des océans, la couverture du sol, la végétation, les incendies, les surfaces enneigées et glacées et la couleur des océans ainsi que les nuages, la vapeur d'eau et les aérosols (Benhadj, 2008).

Tableau 6.2 : Les 7 premières bandes spectrales de Modis/Terra

Bande	Bandes spectrales	Longueur d'ondes	Résolution spatiale (m)
1	Rouge	0.62-0.67 μm	250
2	Infrarouge	0.84-0.87 μm	250
3	Bleu	0.45-0.47 μm	500
4	Vert/Jaune	0.54-0.56 μm	500
5	Infrarouge	1.23-1.25 μm	500
6	Infrarouge	1.62-1.65 μm	500
7	Infrarouge	2.10-2.15 μm	500

Source : (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>)

Un produit de synthèse est proposé par MODIS. La taille de pixel est de 500×500 mètres, les dimensions de l'image sont de 2400 lignes par 2400 colonnes, elle recouvre une aire de 10° par 10° (en latitude/longitude). Les pixels ont une valeur correspondant à l'estimation de la réflectance qui pourrait être mesurée en l'absence de diffusion ou d'absorption par l'atmosphère. Plus précisément, chaque pixel contient la meilleure valeur possible observée durant une période de 8 jours.

Le produit contient sept bandes (Tableau 6.2), les bandes 1 à 7 (du rouge à moyen infrarouge), qui ont une résolution de $500\text{m} \times 500\text{m}$ en projection sinusoidale centré en 0° de longitude et des coefficients spéciaux sont utilisés pour aplatir l'ellipsoïde. Cela simplifie les problèmes de traitement des données dus aux différentes résolutions (250, 500 et 1000 m) présentes sur les 36 bandes du capteur.

6.2.3 Les prétraitements des images satellitaires

6.2.3.1 Correction atmosphérique

Les images satellitaires nécessitent d'abord des prétraitements. Plusieurs corrections sont nécessaires. On les divise généralement en deux grandes catégories : les corrections radiométriques et géométriques.

- ♦ Les corrections radiométriques consistent à corriger les perturbations instrumentales et atmosphériques afin de retrouver les signaux de surface ;
- ♦ Les corrections géométriques permettent de modifier la projection selon laquelle l'image a été enregistrée pour la rendre identique à celle d'un autre système usuel de coordonnées (Lambert ou UTM).

Dans notre expérimentation les données satellitaires utilisées ont déjà été corrigées des perturbations instrumentales par le fournisseur. Il convient ensuite de corriger les effets perturbateurs de l'atmosphère dans les domaines du (visible, le proche et le moyen infrarouge) et dans l'infrarouge thermique.

L'atmosphère perturbe le rayonnement électromagnétique qui vient du soleil avant d'illuminer la surface terrestre étudiée et perturbe à nouveau le signal réfléchi par cette surface. Les deux processus couplés qui en sont responsables sont l'absorption et la diffusion. La prise en compte des effets atmosphériques sur le trajet soleil-cible puis sur le retour cible-capteur est appelée modélisation du transfert radiatif atmosphérique. Elle s'appuie à la fois sur la chimie des constituants de l'atmosphère, les molécules de gaz et les particules d'aérosols et sur description de la composition instantanée au moment de l'acquisition (Hamimed, 2009).

Les corrections radiométriques et atmosphériques ont été effectuées à l'aide du modèle FLAASH (*Fast line-of-sight atmospheric analysis of spectral hypercubes*) du logiciel (ENVI). C'est une approche de correction utilisant cinq dimensions Kaufman et al, (1997), à savoir la longueur d'onde, la position du pixel, la vapeur d'eau atmosphérique, l'altitude du terrain et l'épaisseur optique de l'atmosphère à 550 nm. Cette dernière est estimée en fonction de la visibilité.

6.2.3.2 Estimation de la température de surface (Ts)

La température de surface (Ts) dépend du rayonnement total incident, des caractéristiques spectrales de la surface considérée et de la partition de l'énergie disponible à cette même surface.

Aussi, la détermination de la température de surface résulte de la résolution de différents bilans permettant de définir l'énergie disponible et son utilisation par les éléments présents à la surface. La cartographie de la température de surface par télédétection (IRT) aéroportée ou satellitaire nécessite de prendre en considération les perturbations générées par l'instrument (de natures radiométrique et géométrique), de même que celles générées par l'atmosphère (de nature radiométrique). Les corrections appliquées permettent d'accéder à deux sortes de température de surface. L'hypothèse d'une cible se comportant comme un corps noir (émissivité égale à 1 et réflectivité égale à 0) conduit à une estimation de la température de brillance. La prise en compte de l'émissivité de surface (réflectivité différente de 0) conduit à une estimation de la température radiométrique, c'est-à-dire corrigée des effets de réflexion. Le capteur MODIS, effectuée des étalonnages au cours de la mission, avec une précision d'étalonnage de l'ordre de 1 % en luminance (Wan et Li, 1997).

Selon Jacob (1999), la méthode dite « split window » est la plus notoire. Elle consiste à exprimer la température de surface selon une combinaison linéaire de mesures multispectrales en température de brillance en général, on considère deux canaux :

$$T_s = a_1.T_{b1} + a_2.T_{b2} + a_3 \dots\dots\dots(6.1)$$

La détermination des coefficients a_1 , a_2 et a_3 à partir des régressions sur différentes valeurs selon les capteurs considérés (Singh, 1984). Ces résultats sont néanmoins confrontés à la variabilité spatiale de l'atmosphère et à la connaissance de l'émissivité (Becker, 1987).

Sobrino et al. (1994), déterminent ces coefficients par le biais de la méthode « Split Window Variance Ratio », et ont proposé une formulation des coefficients à partir de l'émissivité et du rapport des transmittances atmosphériques dans les deux canaux (b_1 et b_2) considérés. La précision annoncée est de 0.4 °C si l'émissivité est connue.

6.2.3.3 Estimation de l'émissivité et la température de surface

L'évaluation de l'émissivité et la température de surface à partir des données infrarouge thermique ont connu un progrès significatif pendant la décennie passée. Kahle et Goetz (1983) ont développé une technique pour estimer la température de surface basée sur une émissivité constante assumée dans un canal. Cette température a été alors employée pour estimer l'émissivité dans d'autres canaux Kahle et Goetz (1983).

6.2.3.4 La température de surface dans l'infrarouge thermique

La télédétection (IRT) fournit des mesures de température de brillance du système surface-atmosphère dans une direction donnée et sur l'intervalle spectral du capteur considéré (intervalle appartenant au domaine [8 - 14] μm). L'énergie incidente est la somme de trois composantes :

- L'émission de surface : Elle résulte de la propagation à l'intérieur de la cible du rayonnement émis par ses propres éléments (tiges, feuilles, branches et troncs à l'intérieur d'un couvert végétal). Cette composante est atténuée par l'absorption dans la couche d'atmosphère comprise entre la cible et le capteur, absorption caractérisée par la transmittance atmosphérique.
- La réflexion de surface. Elle résulte de la propagation à l'intérieur de la cible du rayonnement atmosphérique incident. Cette composante est aussi atténuée par la couche d'atmosphère.

- L'émission atmosphérique. Elle résulte de la propagation vers le capteur du rayonnement émis par les composants de l'atmosphère. Une fraction de cette énergie incidente est ensuite détectée par le capteur, et convertie en température de brillance (Jacob, 1999).

6.2.3.5 Elaboration de la carte de température de surface par l'algorithme de TISIE

Chaque corps émet un rayonnement électromagnétique qui dépend de sa température; c'est la loi de Stephan Boltzmann. Le bilan radiatif (R_n) net est la somme des flux incidents de courtes et de grandes longueurs d'onde (Becker et Seguin, 1985) absorbés par celle-ci, moins l'émission de grandes longueurs d'onde des surfaces. Il est donné par l'équation suivante:

$$R_n = (K_b + K_d).(1-Alb)-K_1 \uparrow + K_1 \downarrow \dots\dots\dots (6.2)$$

où K_b est le rayonnement solaire (de 0,3 à 3 μm) direct à la surface de la terre, K_d est le rayonnement solaire diffus à la surface de la terre, Alb est l'albedo moyen de la surface, $K_1 \uparrow$ est le rayonnement de grandes longueurs d'onde émis par la surface, $K_1 \downarrow$ est le rayonnement de grandes longueurs d'onde absorbé par la surface.

MODIS possède sept bandes dans l'infrarouge thermique. Trois dans le domaine de 3.5 à 4.2 μm et quatre bandes dans le domaine de 8 à 13.5 μm , l'algorithme de TISIE permet de caractériser les variations d'émissivités à partir de mesures jour / nuit. On obtient un système de 14 équations non linéaires qui permet de déterminer les 14 inconnues : l'émissivités et la température de surface dans les sept canaux (Si-Ramdane, 2006). Dans différentes conditions atmosphériques, la transmittance atmosphérique de la bande (b_{33}) est très basse dans beaucoup de cas, raison pour laquelle nous avons utilisé donc seulement six bandes dans cette étude.

L'émissivité dans les bandes b_{20} , b_{22} , b_{23} , b_{29} , b_{30} , b_{31} , b_{32} est déterminée par l'utilisation de la relation empirique résultante du modèle TISIE dans le domaine [3.5 - 4.2] et [8 - 13.5] correspondant aux six canaux (b_{20} , b_{22} , b_{23} , b_{29} , b_{31} , b_{32}) du capteur MODIS :

$$\epsilon_{\min} = 0.067 + 0.319.\epsilon_{20} + 0.232.\epsilon_{22} + 0.271.\epsilon_{23} + 0.381.\epsilon_{29} + 0.289.\epsilon_{31} + 0.261.\epsilon_{32} - 0.583.\epsilon_{\text{gam}} - 0.822.\epsilon_{\text{med}} \dots\dots\dots (6.3)$$

ϵ_{med} Émissivité médiane et ϵ_{gam} Émissivité de la gamme

La température de surface (T_s) est obtenue par conversion suivant la loi de Planck de la luminance dans l'infrarouge thermique qui est ensuite corrigée des effets de l'émissivité par utilisation du modèle TISIE (*Temperature Independent Spectral Indices of Emissivity*) (Wan et Li, 1997).

6.3 Matériel et Méthode

6.3.1 Les outils utilisés

- **Logiciel ENVI**

ENVI (Environment for Visualizing Images) est un logiciel de traitement d'image développé par la société RSI (Research Systems, Inc). C'est un logiciel haut de gamme qui permet de lire, de visualiser et d'analyser des images numériques et en particulier issues de la télédétection. Le format utilisé par ENVI est un format raster brut associé à un fichier entête ASCII (texte). Le fichier entête (header) contient toutes les informations utiles au logiciel pour lire le fichier.

Son avantage principal qu'il permet de lire des données hyperspectrales de plusieurs images pour gérer et analyser des fichiers multi dates.

- **Logiciel MapInfo** : c'est un outil de type Système d'Information Géographique (SIG) qui sert à créer, traiter et cartographier l'information géographique. Il structure les infirmation en tables et il gère les cartes raster et vecteur. Les logiciels MapInfo et le Vertical Mapper (VM) ont servi à effectuer les différentes étapes d'élaboration du système d'information géographique (SIG) suivent le système de projection Universal Transverse Mercator (UTM), zone 30. Le choix de ces logiciels se justifie par la capacité de leur mémoire de gestion des fichiers et l'échange de format des différents fichiers entre les logiciels utilisés.
- **Les types d'images MODIS utilisées** : ils sont au nombre de 4, à savoir : MOD09 Q1.4 MODIS/TERRA Surface reflectance 8-day L3 Global 250 m ; MOD13 A2.4 MODIS/TERRA Vegetation Indice 16 day L3 Global 250 m ; MOD11 A1.4 MODIS/TERRA Land surface Temperature/emissivite daily L3 Global 1 Km et MOD43 C1.4 MODIS/TERRA Albedo 16 day L3 Global 1 Km.

La région d'étude se trouve au nord ouest de l'Algérie et s'étende sur plus de 4 degrés en longitude et latitude selon la projection géographique UTM (Datum WGS 84), la longitude varie de 2°10' d'Ouest et 2°8' vers l'Est, cependant latitude varie entre 32° et 36° 34' d'une superficie d'environ 172100 Km², alors que la superficie de la région étudiée des hautes plaines steppiques du sud Oranais s'étende sur une superficie de 102500 Km².

L'élaboration d'une composition colorée (Figure 6.1) de l'image satellite MODIS fait partie des premières démarches d'amélioration visuelle de l'image.

6.3.2 La méthodologie

La méthodologie développée se compose de quatre étapes, utilisant la cartographie et la combinaison de trois paramètres géophysiques (Albédo, NDVI et Température de surface):

- combinaison des paramètres Albédo (Alb) et Température de surface (Ts),
- combinaison de l'indice de végétation (NDVI) et Ts,
- combinaison de l'NDVI et Alb,
- élaboration de la carte de désertification par la synthèse des résultats des trois premières étapes.

Pour bien mener notre méthodologie, nous avons procédé à la caractérisation des états de surface pour déterminer la répartition des pixels des images MODIS et l'élaboration d'un seuil pour lequel on distingue les différentes catégories de dégradation des superficies.

La combinaison des indicateurs radiométriques des paramètres géophysiques pour la caractérisation de l'état hydrique et édaphique afin d'obtenir la carte de sensibilité à la désertification.

Enfin, la confrontation des résultats obtenus avec les données pluviométriques pour la validation des résultats obtenus.

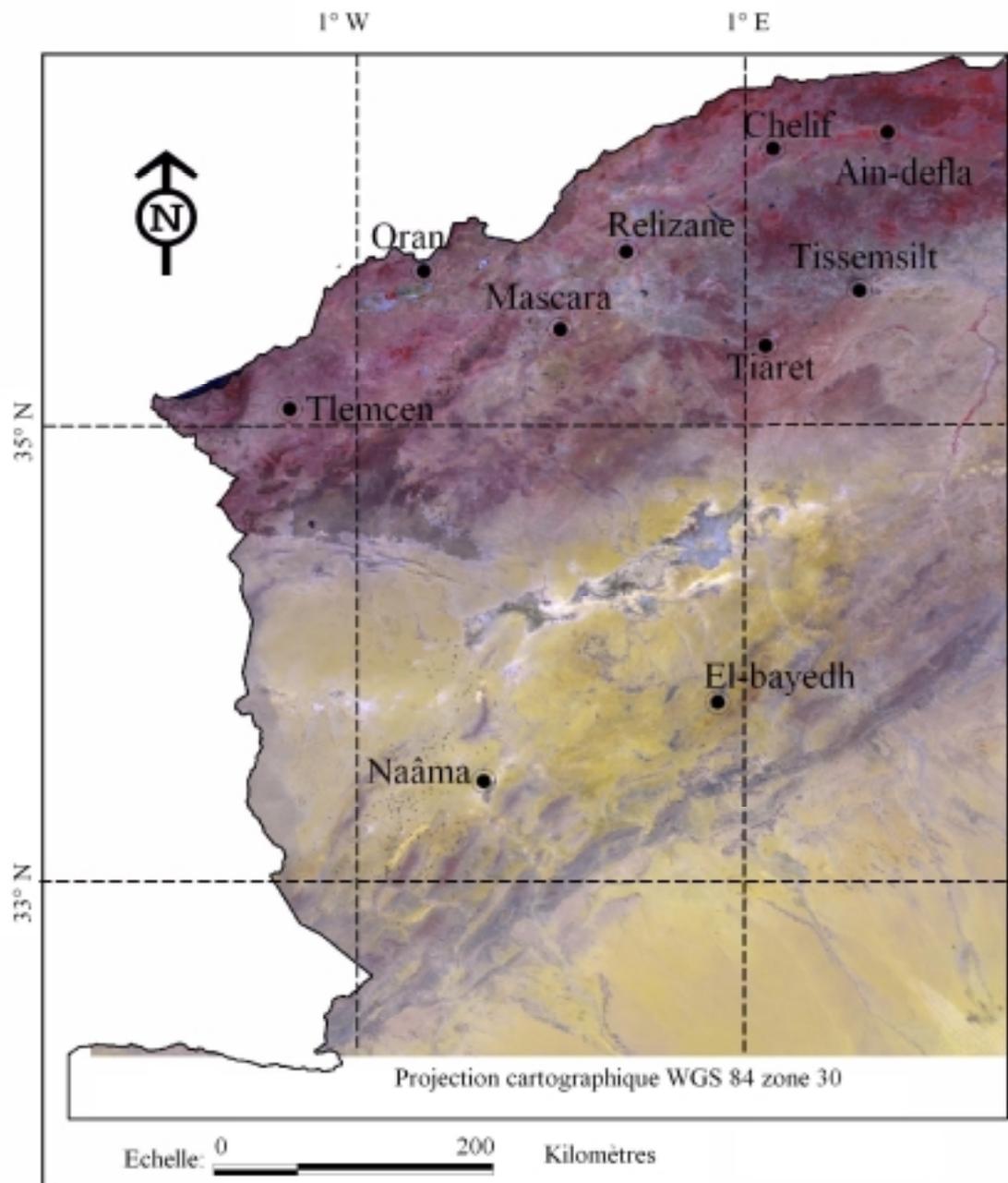


Figure 6.1 : Composition colorée de l'image MODIS acquise en mois de Mai 2008 du Nord Ouest d'Algérie

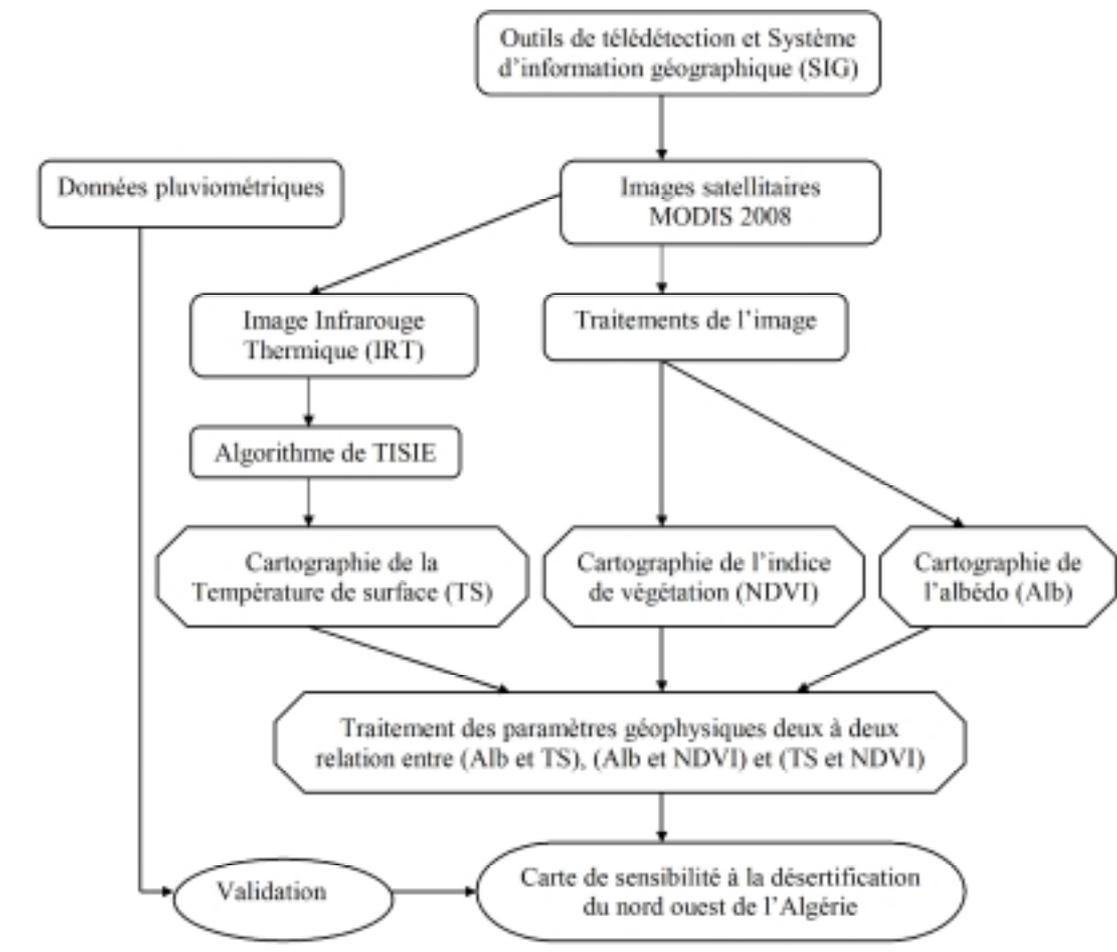


Figure 6.2 : Organigramme méthodologique

6.4 Cartographie des paramètres géophysiques

6.4.1 Cartographie de l'indice de végétation normalisé (NDVI)

Le NDVI est déterminé à partir des réflectances planétaires dans les canaux rouge (autour de 0.45 μm) et proche infrarouge (autour de 0.65 μm) (Girard et Girard, 1999). C'est un indice corrélé à l'activité photosynthétique des couverts végétaux et qui met en valeur le contraste entre le sol et la végétation (Sauxpicart, 2003) :

$$\text{NDVI}(x,y) = \frac{\rho_p(\text{infrarouge})(x,y) - \rho_p(\text{rouge})(x,y)}{\rho_p(\text{infrarouge})(x,y) + \rho_p(\text{rouge})(x,y)} \dots\dots\dots (6.4)$$

Dans notre étude, nous avons utilisés le produit MOD13Q1. Il s'agit des images composites d'indice de végétation NDVI à la résolution spatiale de 250 m. Ce produit est généré à partir des observations instantanées de réflectance MOD09. L'algorithme opère pixel à pixel et utilise les observations collectées sur une période de 16 jours (Benhadj, 2008).

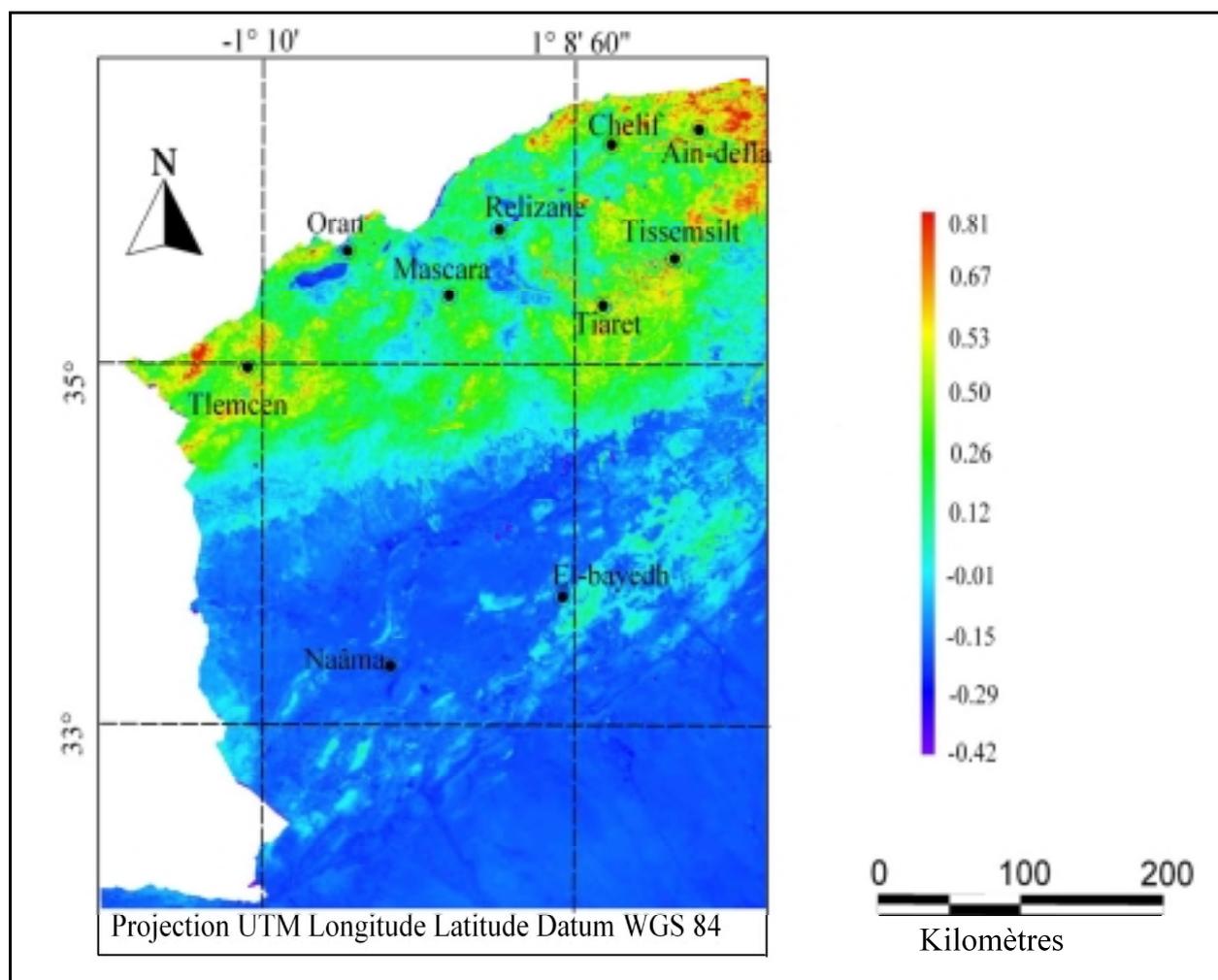


Figure 6.3 : Cartographie de l'indice de végétation de l'Algérie occidentale à partir des deux canaux (proche infrarouge et rouge) de l'image Modis/Terra.

Le NDVI présente la particularité des valeurs élevées en présence de végétation. Cette particularité trouve son origine dans la forme des spectres de réflectance du sol et de la végétation. De fortes valeurs de NDVI pour des sols à recouvrement végétal élevé qui se localisent à l'extrême Nord-Est et Ouest (Tlemcen et Ain Defla).

- Des valeurs de NDVI moyennes pour des sols à recouvrement végétal moyen correspondent aux terrains irrigués.
- Des valeurs de NDVI faible pour des zones dénudées à comportement désertique qui se trouvent généralement en région steppique.

6.4.2 Cartographie de l'albédo dans le domaine du Visible et du Proche Infrarouge

L'albédo est le rapport entre l'énergie solaire réfléchiée par une surface par rapport à l'énergie solaire incidente pour la partie du spectre allant de 0,3 à 3 μm (domaine visible et proche infrarouge). On utilise une échelle graduée de 0 à 1; 0 correspondant au noir sans aucune réflexion, et 1 au miroir parfait sans absorption (E. S. R, 2005. <http://www.esr.org>).

L'albédo est calculé par la formule proposée par (Liang et al, 2002) :

Alb (Albédo) = 0,16b₁ + 0,291b₂ + 0,243b₃ + 0,0116b₄ + 0,112b₅ + 0,081b₇ - 0,0015 ... (6.5) où b_i est la réflectance dans le canal i du capteur MODIS (avec i=1, 2, 3, 4, 5 et 7).

Le système MODIS utilise le modèle BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function), et définie comme:

$$f_r(\theta_s, \varphi_s; \theta_v, \varphi_v) = \frac{L_r(\theta_s, \varphi_s; \theta_v, \varphi_v)}{L_i(\theta_s, \varphi_s) \cos \theta_s d\omega_s} \dots\dots\dots (6.6)$$

où $L_r(\theta_s, \varphi_s; \theta_v, \varphi_v)$ représente la luminance réfléchiée dans la direction (θ_v, φ_v) , $L_i(\theta_s, \varphi_s)$ la luminance incidente contenue dans l'angle solide $d\omega_s$ (Figure 6.4). Cette quantité étant difficilement mesurable, on lui préférera souvent le facteur de réflectance bidirectionnel (BRF), défini comme le rapport du flux effectivement réfléchi par la surface dans la direction (θ_v, φ_v) , $d\Phi_r$, au flux que réfléchirait un diffuseur idéal parfaitement lambertien.

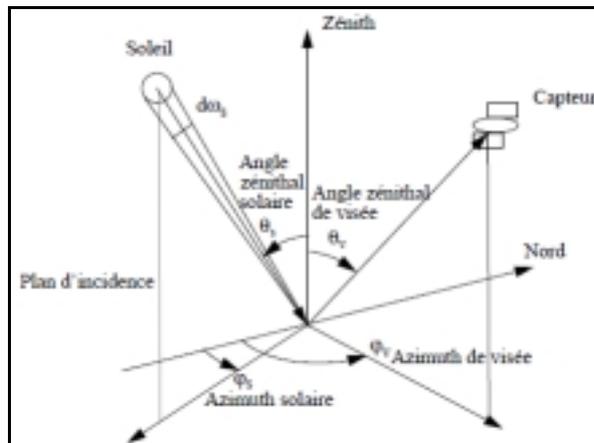


Figure 6.4 : Géométrie des acquisitions de réflectance

Les produits (MOD43) de réflectance de la surface sont obtenus pour chaque période de 16 jours (durée à l'issue de laquelle le satellite repasse exactement sur la même orbite que le premier jour). Les produits s'obtiennent en utilisant le modèle de la (BRDF) par le fournisseur avec des observations de réflectance de surface corrigées des effets de l'atmosphère et en l'absence de nuages.

Les sols secs et les surfaces sombres absorbent de grandes quantités de rayonnement solaire incident en raison d'un faible albédo. Ceux-ci se réchauffent intensément et plus rapidement alors que les surfaces humides ou plus claires conservent une température plus fraîche en raison d'un albédo plus élevé. Toute la région nord présente un albédo faible en raison de la couverture végétale, les sol humides et les terres de l'agriculture, par contre on remarque que la partie sud présente un albédo relativement élevé en raison de présence des surfaces ayant des réflectances spectrales importantes, ce qui nous explique les sols nus secs clairs à faible couverture végétale ou même dénudés.

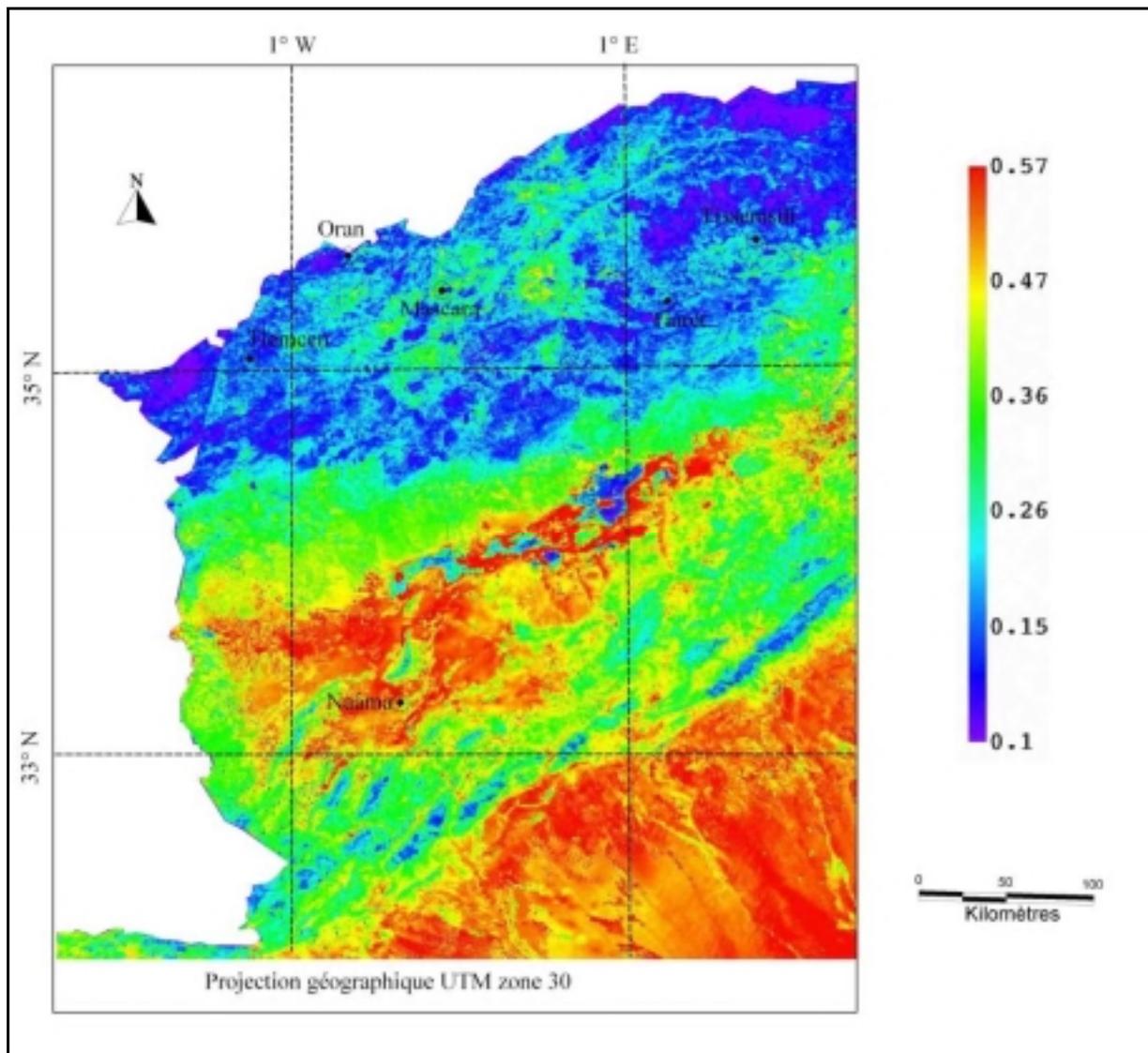


Figure 6.5 : Cartographie de l'albédo du nord ouest de l'Algérie

6.4.3 Cartographie de la température de surface en °C

La mesure de la température de surface est devenue simple avec l'arrivée du thermoradiomètre et l'utilisation de la bande infrarouge thermique des capteurs satellitaires. Les températures de surface dépendent des caractéristiques telles que la couleur (sombre ou claire), la texture, la porosité et l'état de surface (sol nu, plans d'eau, la couverture végétal, le bâti, le sable etc.) qui modifie la conductivité thermique du sol et l'albédo.

Le but de dériver la température de surface est la détermination de l'état de surface contenant ainsi des zones humides, la végétation, les sols secs. Il s'agit notamment de transformer les valeurs des luminances qui sont disponibles sur les images MODIS en température de brillance pour mener cette carte.

Pour les zones caractérisées par une couverture végétale élevée, les températures sont basées grâce à la propriété phénologique des plantes. L'albédo varie aussi de façon significative selon l'espace végétal, la densité et le stade de développement des plantes.

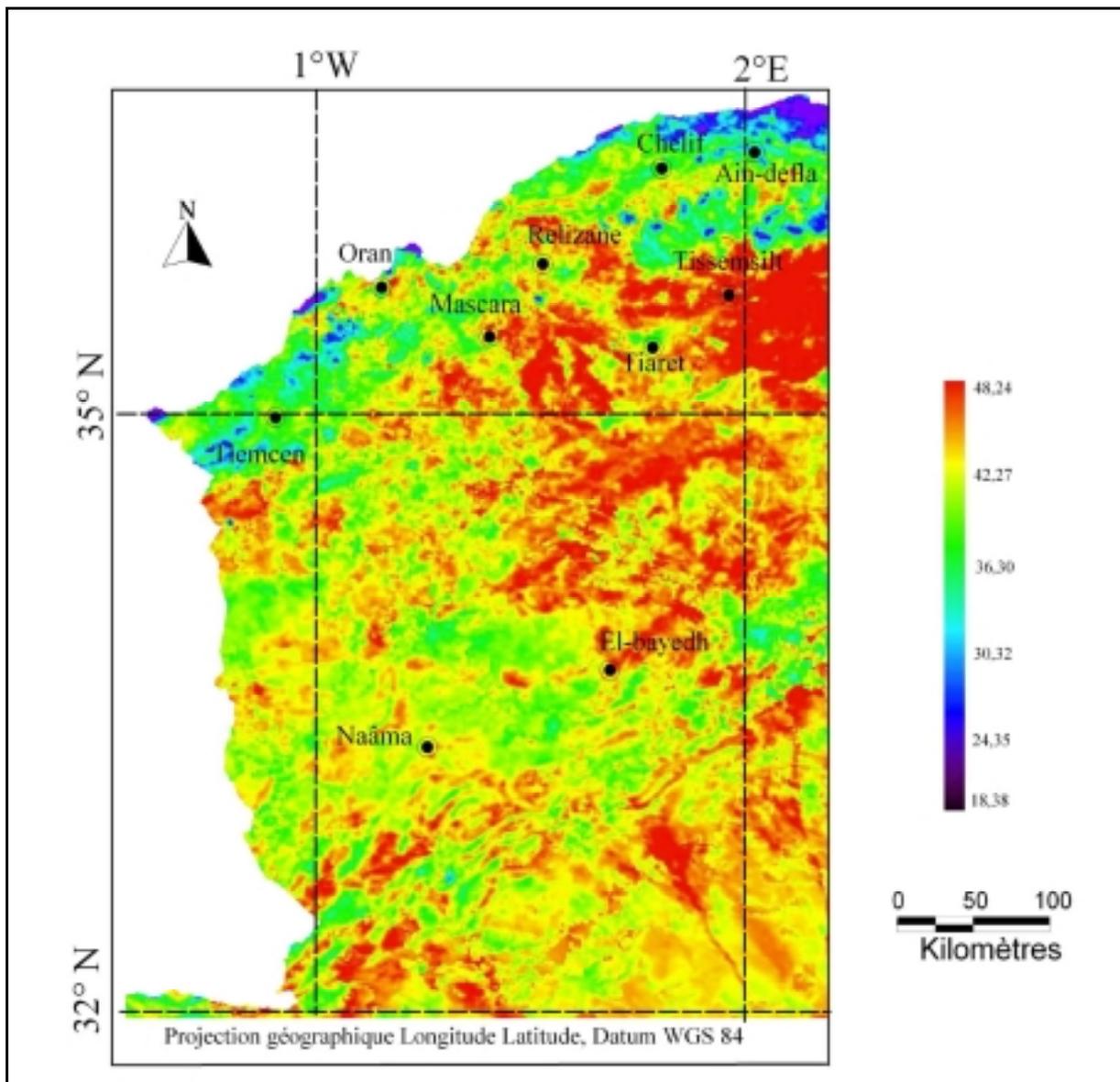


Figure 6.6 : Cartographie de la température de surface en °C

L'évolution de la couverture végétale et la dynamique thermique présente une forte corrélation inverse de dépendance entre température et végétation, mais ce paramètre n'est pas suffisant car on peut même trouver des NDVI nuls ou négatives avec de faibles températures, surtout dans les zones humides et les zones très claires. Le Tell est exposé à des températures élevées, mais on trouve des zones de la partie nord et en particulier les régions de (Ain-Defla et Tlemcen), sont exposées à des températures faibles par la présence de la végétation dense ou irriguée.

6.5 Caractérisation de l'état de surface par la combinaison des paramètres géophysiques

6.5.1 Relation entre l'albédo et la température de surface

La détection des surfaces en conditions hydriques extrêmes est basée sur les liens existants entre les processus radiatifs ou évaporatifs, l'albédo (Alb) et la température de surface (Ts) (Figure 6.7). L'existence de ces liens a été observée pour différents paysages et sous différents climats (Becker et Seguin, 1985).

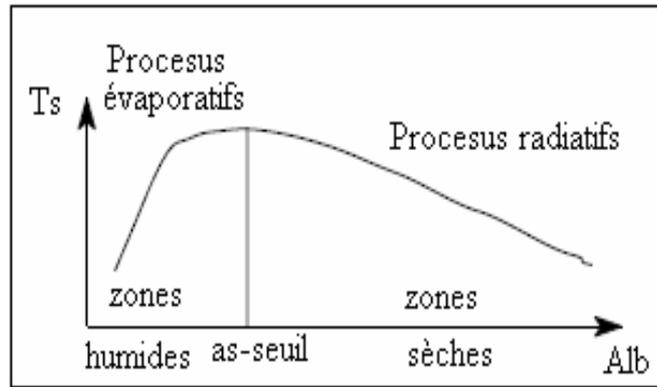


Figure 6.7: Variation de la température de surface (T_s) en fonction de l'albédo de surface (Becker et Seguin, 1985).

Lemsanni et al. (2000), ont abouti à des résultats similaires, l'histogramme bidimensionnel (Alb et T_s) a une forme géométrique en cloche (Figure 6.8) que l'on segmente en trois parties distinctes :

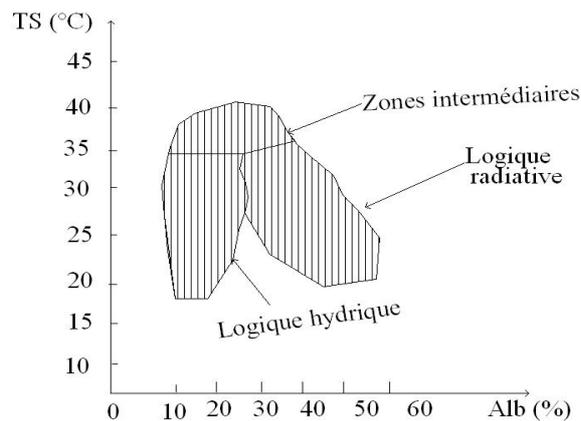


Figure 6.8: Variation de la température de surface (T_s) en fonction de l'albédo de surface (Lemsanni et al, 2000)

- Les zones stables à «logique hydrique », couvertes de végétation et à alimentation en eau;
- Les zones désertiques à « logique radiative », dénudées et à alimentation en eau limitée; «zones intermédiaires », montrant le passage entre les deux logiques, définissent les zones à risque modéré de désertification.

6.5.2 Relation entre l'indice de végétation et la température de surface

La présence ou l'absence de la végétation est reflétée par le comportement thermique des sols, provoquant des différences significatives dans la répartition de la température de surface. La confrontation de l'indice de végétation et de la température de surface, avec la même approche citée ci-dessus permet également d'identifier trois classes suivant leur état végétatif: Recouvrement élevé, recouvrement moyen en zones dénudées à comportement désertique. On en déduit une carte de l'état de la végétation. Sur l'histogramme réalisé (figure 6.9), on note la

variation de la température de surface en fonction de l'indice de végétation. On observe la dispersion des pixels et donc une hétérogénéité de comportement des différents états de surface avec une température comprise entre 18 et 40°C et un indice de végétation entre 0,4 et 0,7.

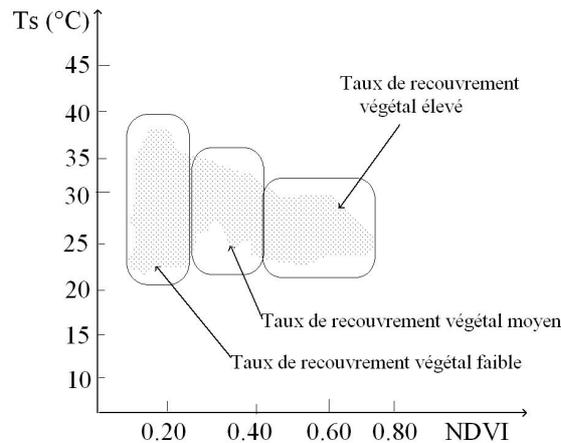


Figure 6.9 : Variation de l'indice de végétation en fonction de la température de surface (Ts)

6.5.3 Relation entre l'indice de végétation et l'albédo

L'allure générale du nuage de points pour la relation de l'NDVI en fonction de l'albédo prend la forme d'un L (Figure 6.10). La base du L traduit une forte amplitude de variation de l'albédo, pour une faible amplitude de variation du NDVI. Dans le cas de la branche verticale du L, c'est l'inverse. Ce constat est évident pour toutes les images.

Lorsque le NDVI affiche une réponse dynamique forte, l'albédo exprime une faible dynamique et vice versa. La combinaison (NDVI et Albédo) nous permet d'avoir une information sur les niveaux de dégradation de surface (Benslimane et al, 2008).

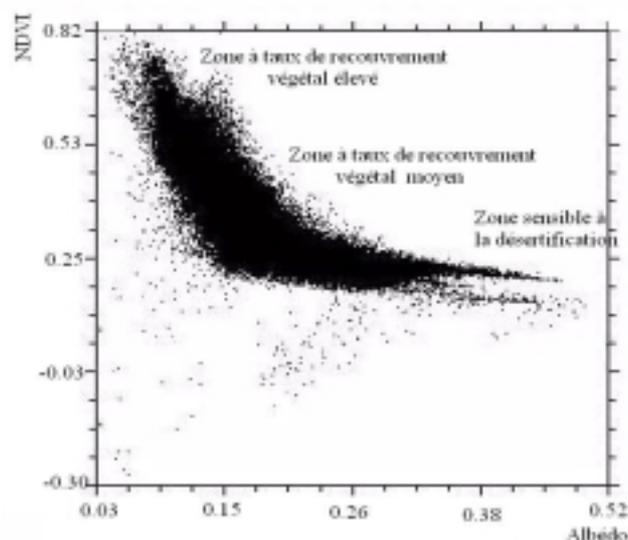


Figure 6.10 : Histogramme de l'indice de végétation et de l'albédo

Pour des valeurs de l'NDVI supérieures à 0,53 avec un albédo inférieur à 0,15. Ceci nous ramène à considérer la zone à taux de recouvrement végétal élevé.

Les valeurs de l'NDVI comprises entre 0,2 et 0,5 avec un albédo compris entre les valeurs de 0,15 et 0,25. C'est une zone à taux de recouvrement végétal moyen.

Pour les zones sensibles à la dégradation, on a des valeurs de l'NDVI inférieures à 0,2 avec un albédo supérieur à 0,26 (Figure 6.10). C'est une zone à recouvrement végétal élevé, cependant les valeurs négatives de l'NDVI représentent les zones humides.

6.6 Résultats et discussion

6.6.1 Carte de sensibilité à la désertification de l'Ouest Algérien

La carte de sensibilité à la désertification a été obtenue grâce aux paramètres géophysiques croisés deux à deux qui a permis d'élaborer des seuils de dégradation et à la désertification. Les indices retenus dans cette étude sont le couvert végétal, le pouvoir de réflectance du sol, et la température de surface.

La caractérisation de l'état hydrique de l'espace s'est fait par la combinaison de deux paramètres qui sont complémentaires de la surface du sol, se sont l'albédo et la température de surface. Par ailleurs, l'état édaphique est caractérisé par l'analyse de la relation entre l'indice de végétation NDVI et la température de surface.

Dans ces deux relations (albédo-température et NDVI-température), nous pouvons définir les seuils de l'état de dégradation liés aux contraintes hydrique et édaphique. Enfin les degrés de sensibilité à la désertification du milieu sont obtenus par combinaison entre l'albédo et le NDVI. La validation des résultats s'est effectuée par la carte bioclimatique de l'Algérie. Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant, dans la caractérisation des conditions hydriques et édaphiques du milieu. Les précipitations diminuent d'Est en Ouest et du nord en sud. La zone steppique est caractérisée par une alternance de périodes chaudes et sèches prolongées par des périodes rudes, froides et des précipitations irrégulières.

On peut constater que les zones sensibles à la dégradation se trouvent tant dans la zone tellienne constituée de massifs montagneux érodés que dans la zone steppiques. Les causes et les conséquences de cette dégradation sont multiples et diversifiées en fonction des composantes naturelles et socio-économiques de chaque région.

Les résultats obtenus sont représentés dans le (tableau 6.3) et les (figures 6.11 et 6.12); Le nord ouest de l'Algérie pour l'année 2008, présente des sols avec un couvert végétal dense, dans sa partie tellienne. Elle est caractérisée par des valeurs faibles d'albédo, alors que la zone steppique présente des sols à recouvrement végétal faible avec des valeurs d'albédo élevées.

Les forêts (couvert végétal très bon) ne représentent que 3,04 % du nord ouest de l'Algérie, la couverture végétale en bon état se localise dans la zone tellienne à 63,42 % et ne représente que 7,41 % dans la région steppique, cela est justifié par la faiblesse des précipitations en déplaçant vers le sud.

La température maximale définit la valeur du seuil d'albédo, qui sépare deux mécanismes physiques (Bastiaanssen, 1995): une régulation hydrique dans les surfaces humides où la température de surface augmente quand l'albédo augmente, puis une régulation radiative caractéristique des surfaces sèches où l'eau est insuffisante pour déclencher le contrôle par l'évaporation.

Le suivi de la méthode détaillée précédemment a permis d'obtenir deux cartes maîtresses à savoir :

- Une carte de sensibilité à la dégradation des espaces
- Une carte de sensibilité à la désertification

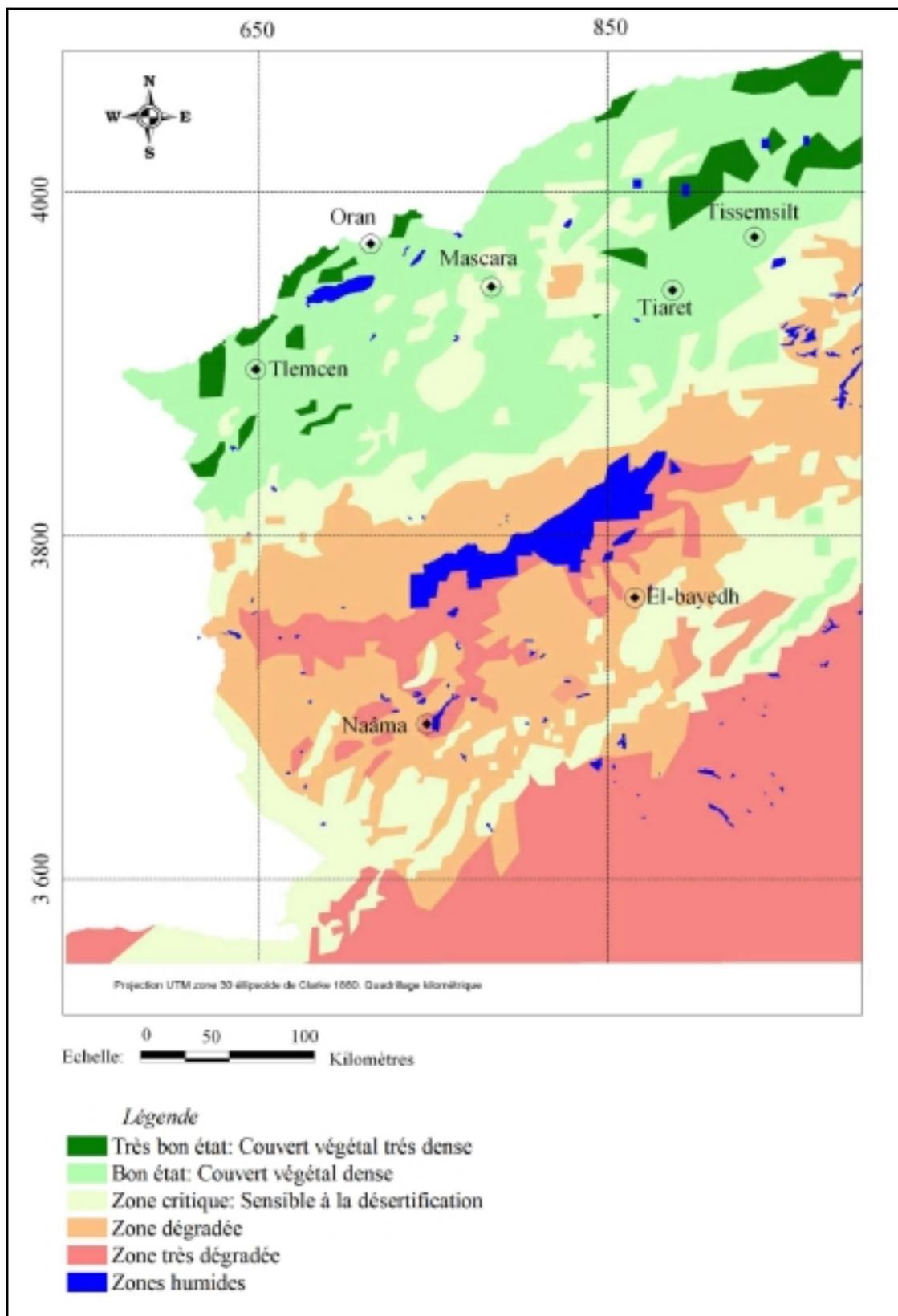


Figure 6.11: Carte de sensibilité à la dégradation du nord ouest Algérien

La température de surface est fortement corrélée à l'activité chlorophyllienne du milieu. Les valeurs supérieures correspondent à des régions où les sols nus sont dominants, tandis que les faibles valeurs caractérisent les régions à couverture végétale dense.

Tableau 6.3 : Zones de sensibilité à la dégradation de l'ouest Algérien

Régions	Tell		Hautes plaines steppiques		Total	
	Superficie en Km ²	%	Superficie en Km ²	%	Superficie en Km ²	%
Très bon état	4920	7,07	320	0,31	5240	3,04
bon état	44140	63,42	7600	7,41	51740	30,06
Zones critiques	19360	27,82	26000	25,37	45360	26,36
Zones dégradées	340	0,49	38000	37,07	38340	22,28
Zones très dégradées	0	0,00	26820	26,17	26820	15,58
Zones humides	840	1,21	3760	3,67	4600	2,67
Total	69600	100	102500	100	172100	100

6.6.2 Carte de sensibilité à la désertification des hautes plaines steppiques du Sud Oranais

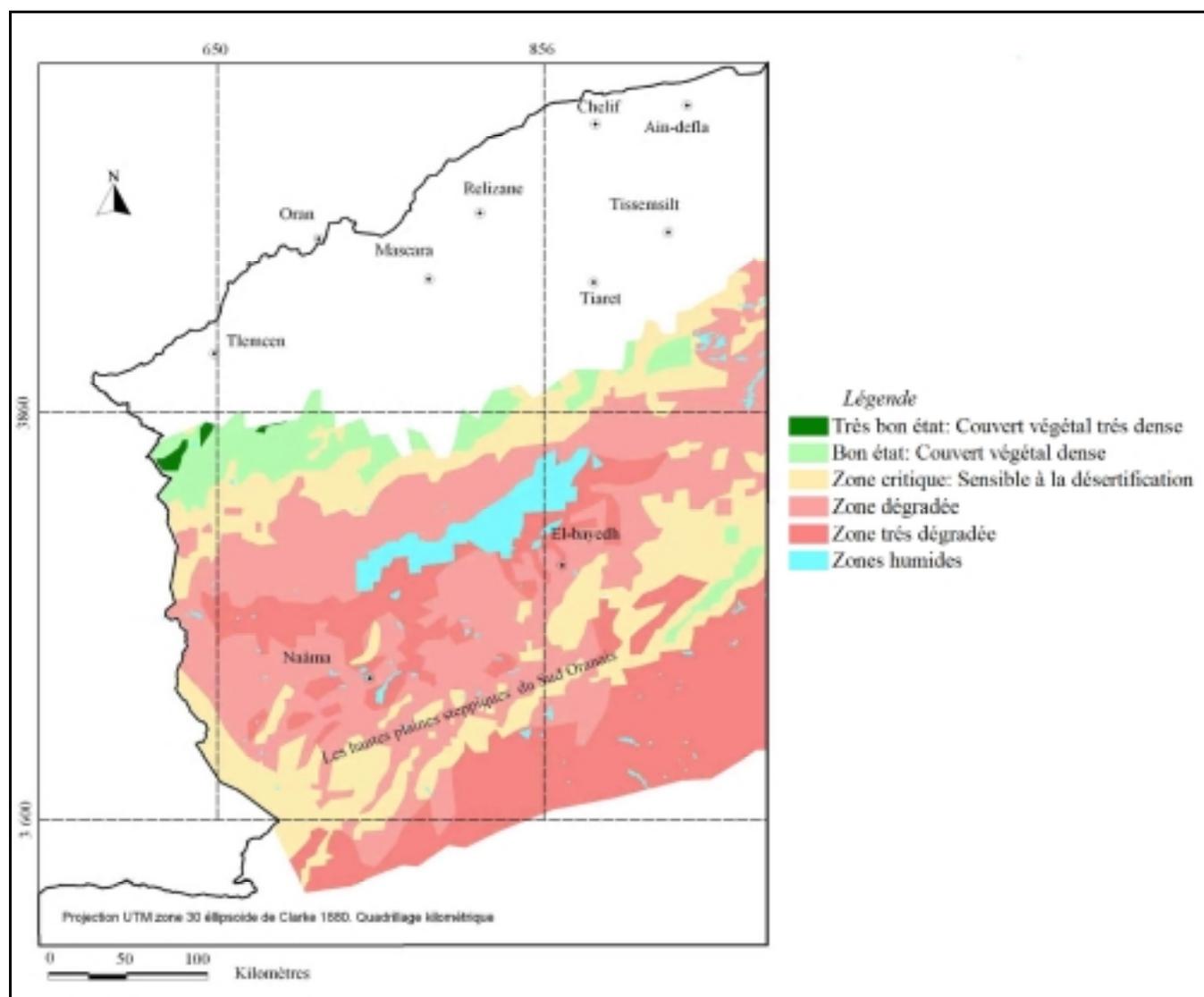


Figure 6.12 : Carte de sensibilité à la désertification de la région steppique du Sud Oranais

L'exploitation des cartes permet de souligner que 37,07 % des zones dégradées sont localisées dans la zone steppique contre seulement 0,49 % au Tell. Les zones très dégradées représentant des valeurs élevées de l'albédo, avec une température de surface et une activité chlorophyllienne nulle, cette zone représente 26,17 % de l'espace steppique, alors qu'elle est nulle en zone tellienne. C'est généralement un sol nu sec très clair dépourvu de couverture végétale qui est prédisposé à se dégrader rapidement et facilité le processus de désertification.

6.7 Conclusion

Le processus de désertification s'explique encore une fois, à travers ce travail de recherche reposant sur la télédétection et la géomatique, par une diminution de la couverture végétale induisant une augmentation de l'albédo, une plus faible quantité d'énergie disponible au sol et une réduction de la température de surface. Il s'ensuit donc une réduction des mouvements convectifs verticaux de l'atmosphère et, par suite, une réduction des précipitations d'origines convectives, s'ajoutant encore au stress hydrique de la végétation et amplifiant le phénomène de désertification progressive.

Dans la zone Tellienne, la cause essentielle réside dans l'érosion hydrique ; ce phénomène est dû à la conjugaison des facteurs climatiques, édaphiques et également anthropiques.

Cependant dans la zone des hauts plateaux steppiques, à vocation agro-pastorale, les deux principales causes de dégradation des sols, donc d'accélération du processus de désertification sont l'érosion éolienne induite par une pression humaine alarmante (défrichement, labours) et un parcours excessif et permanent (éradication des espèces pérennes palatables et piétinement du sol avec destruction de la structure du sol et son émiettement). Cette zone fragilisée par les facteurs naturels (sécheresse, diminution de la matière organique des sols, faiblesse de pluviométrie, grande amplitude thermique, vents chauds etc.) connaît ces dernières décennies des programmes de mise en valeur se traduisant par une sédentarisation des nomades avec toutes les conséquences néfastes qui en découlent comme : le surpâturage, tarissement des points d'eau, le défrichement, l'introduction d'espèces exotiques, l'agriculture de subsistance). Il s'en suit une totale désorganisation des parcours qui disparaissent avec le temps sous la pression d'un cheptel de plus en plus important.

CHAPITRE VII

Cartographie des modifications

spatiales de l'écosystème

steppique

CHAPITRE VII : CARTOGRAPHIE DES MODIFICATIONS SPATIALES DE L'ECOSYSTEME STEPPIQUE

7.1 Introduction

La particularité de l'environnement aride est l'insuffisance en eau, les faibles précipitations, l'érosion du sol par le vent ou l'eau et sa vulnérabilité face à ces facteurs de dégradation. Ces caractéristiques sont présentes dans tous les environnements arides. En raison des différents milieux géographiques, conditions naturelles et activités humaines, ces caractéristiques ont, cependant, des différences dans leurs aspects et leur ampleur d'une région à l'autre. Le problème, fréquemment rencontré dans les différents environnements arides, est une dégradation du sol, qui peut être provoquée par les activités humaines et les changements de climat. (Sheridan, 1981).

La détection de modifications des espaces est le processus qui consiste à identifier des différences dans l'état d'un objet ou d'un phénomène en l'observant à différentes dates. C'est donc une procédure essentielle pour le suivi de l'état et de la dynamique de l'environnement. Les types de modifications qui pourraient être intéressants vont des phénomènes à long terme, tels que le développement de la frange urbaine ou la désertification aux actions de cours terme comme les incendies, les défrichements ou l'installation d'infrastructures importantes. Les procédures de détection de changement ne devraient intégrer que des données acquises par un même capteur (ou un capteur similaire) et être enregistrées par la même résolution spatiale, le même angle de vue, les mêmes bandes spectrales et le même horaire. Des dates anniversaires sont souvent employées pour minimiser l'influence de l'angle solaire et de la différence saisonnière (Lillesand et *al*, 1994).

L'objectif recherché est de cartographier l'état des modifications subies par les parcours steppiques de la région d'étude, par l'utilisation de la télédétection sur une analyse diachronique de 20 ans (entre 1987 et 2007).

7.2 Application de la télédétection spatiale dans les régions arides

Les régions arides sont très sensibles aux actions humaines et aux changements climatiques. La surveillance et le suivi sont des aspects nécessaires pour gérer, modéliser et mettre à jour l'état et la dynamique des écosystèmes. Ces régions fragiles et fragilisées par les pressions naturelles et anthropiques gagneraient à s'appuyer sur l'emploi des données satellitaires. Ces zones par leur climat sont favorables pour la télédétection spatiale (absence de nuages). Cependant, la végétation rencontrée dans ces régions, reste assez éparse conduisant à un signal dominant d'arrière-plan du sol, hétérogène et particulièrement complexe. Les régions arides sont par ailleurs d'un grand intérêt pour le développement d'indices spectraux (NDVI) pour plusieurs raisons (Huete, 1988). D'abord, elles constituent un bon support spatial pour évaluer la précision d'un indice de végétation en matière de discrimination des différences spatiales et temporaires de végétation.

La végétation des terres arides est assez différente de la végétation des régions plus humides. Il y a une tendance vers de plus petites feuilles pour diminuer la perte en eau et entretenir un bilan thermique désirable (Fitter et Hay, 1987). Ces derniers notent que certaines espèces végétales autochtones aux régions arides ont développé des mécanismes d'adaptation pour empêcher l'excès d'absorption des radiations solaires. Parmi ces stratégies nous pouvons citer celles qui

réduisent la lumière tombante sur les feuilles, ce qui fait que les plantes apparaissent plus sombres dans le proche infrarouge que les plantes des régions humides. Ces caractéristiques spectrales de la végétation rencontrée dans les régions arides sont d'ailleurs responsables de certaines difficultés liées à l'utilisation de la télédétection spatiale pour l'inventaire des ressources floristiques dans ces zones. Selon Kahle, (1984), il a été établi que l'abondance du couvert végétal dans les zones arides est souvent sous estimée par rapport à celle relevée dans les régions plus humides, même lorsque cette abondance est similaire pour les deux régions. Des études ont montré que l'emploi des réponses spectrales des plantes et du sol révèlent qu'une couverture végétale donnée d'une région aride donne régulièrement de petites valeurs des indices de végétation communément employés quand on les compare aux résultats des couvertures végétales égales d'une région humide.

7.3 Limites de l'application de la télédétection spatiale dans les régions arides

Les techniques actuelles de la télédétection spatiale et les modèles pour l'estimation de la vigueur et de la biomasse du couvert végétal sont basés sur les caractéristiques de la végétation rencontrée dans les zones humides et qui est dotée d'une large surface foliaire, d'un indice foliaire élevé, d'un contenu élevé de chlorophylle et de feuillage mince et translucide par rapport à la végétation des zones arides (Verstracte et Pinty, 1996). Cette végétation a développé des adaptations spéciales concernant le stress en eau et le stress thermique qui surviennent souvent dans ces régions. L'incapacité de la végétation des zones arides à réguler la température par transpiration entraîne une réduction de la taille des feuilles et de la densité du couvert végétal pour améliorer l'efficacité de refroidissement des feuilles par la circulation de l'air. Les feuilles de petites tailles entraînent en effet une réduction de la surface foliaire de la végétation aride, cette réduction de la densité des végétaux signifie que la majeure partie du sol devient nue (Elvidge et Lyon, 1985).

Une autre forme d'adaptation aux conditions climatiques dans ces régions est la tendance de ces plantes à orienter leurs feuilles verticalement pour éviter leur exposition directe aux rayons solaires en milieu de journée, quand les prises d'images par télédétection spatiale sont généralement effectuées dans le but d'avoir l'éclairage le plus lumineux avec peu d'ombre. Ceci veut dire que seule une petite partie de la surface foliaire des plantes du milieu aride peut être détectée par la télédétection.

Plusieurs plantes des régions arides disposent par ailleurs de feuilles poilues, d'épines ou bien d'autres formes d'adaptation qui altèrent les propriétés spectrales des feuilles. De plus, elles ont souvent une faible concentration de chlorophylle en comparaison aux plantes des zones humides.

7.4 Les données utilisées

L'une des importantes considérations temporelles pour la détection du changement est la période d'acquisition des images. Jensen (1983) a rapporté que les images prises pendant les périodes ensoleillées présentent un très bon contraste pour toutes les entités paysagères. Il a aussi suggéré d'utiliser des images acquises dans la même période de l'année pour la détection du changement et ce, afin de réduire les problèmes dus aux différences des angles solaires, aux changements phénologiques de la végétation et aux différences dans l'humidité des sols. Dans cette étude, les données satellitaires utilisées comprennent deux images du capteur TM (*Thematic Mapper*) multi dates, du système Landsat, datant successivement du 25 avril 1987 et du 27 février 2007.

7.5 Méthodologie

Les étapes de la méthode utilisée sont présentées dans l'organigramme de la figure 7.1.

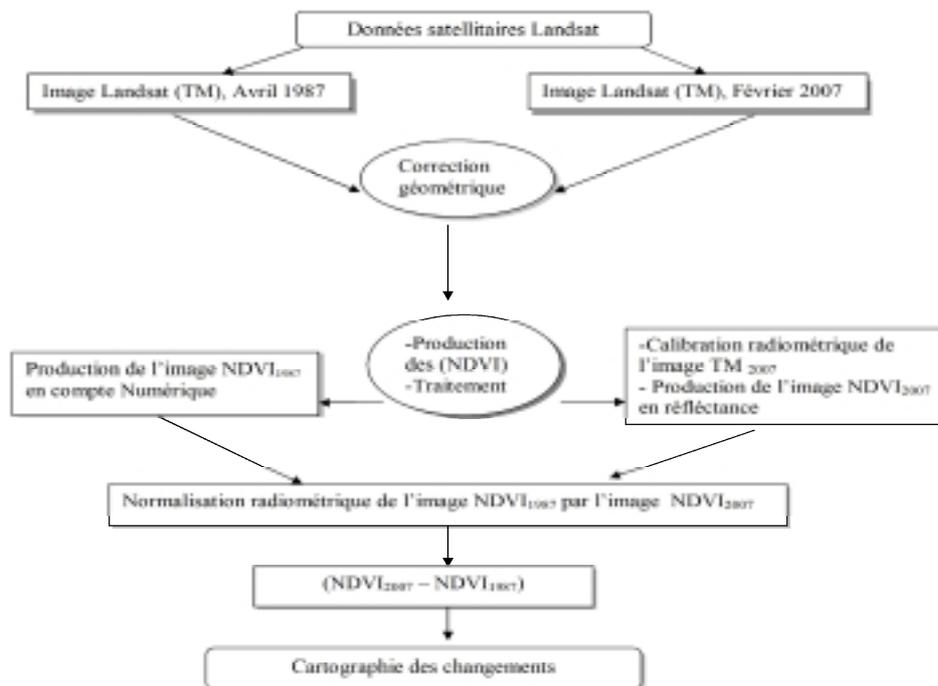


Figure 7.1: Organigramme méthodologique de la cartographie des changements.

7.5.1 Choix des données

Plusieurs approches de traitement sont possibles. Elles sont largement dépendantes du type d'image utilisée, de l'objectif thématique de l'analyste. Pour caractériser la végétation, l'indice de végétation (NDVI) est couramment utilisé car sa corrélation à la biomasse active est prouvée Tucker, (1979). Avant de calculer le (NDVI), les données doivent être transformées en réflectance Markham et Baker, (1987) car, comme le montre Guyot et Gu (1994), les (NDVI) calculés à partir des données brutes ne peuvent qu'être difficilement comparés.

Les corrections géométriques sont utiles pour la superposition des images, une translation des images l'une par rapport à l'autre suffit à obtenir une superposition d'une bonne précision.

7.5.2 Correction géométrique et radiométrique des images

La rectification des images se fait à partir d'un ensemble de points d'appui (points de repère connus en coordonnées et identifiables sur les images). Et, la plupart du temps, une translation et une rotation de l'image sont nécessaires, ce qui implique un ré-échantillonnage des pixels de l'image (Bonn et Rochon, 1992). Les images ont été géoréférencées en utilisant le système WGS84 avec la projection UTM 30 nord. Concernant la correction radiométrique, la technique développée par Hall et *al*, (1991) a été utilisée. L'image de 2007 a été prise comme référence car ses valeurs minimales étaient les plus faibles. Cette méthode vise à rectifier l'image de 1987 par rapport à l'image de référence et à compenser les erreurs de calibration du capteur ainsi que les effets des différences atmosphériques et d'illumination entre les deux images. Pour cela, nous avons sélectionné des pixels en compte numérique dans chacune des zones les plus sombres (voisines de zéro) et les plus brillantes (voisines de 255) dans l'image de référence. Par la suite

nous avons pris un échantillon (Tableau 7.1) des sites invariants dans les deux images afin de normaliser l'image de 1987 par rapport à l'image de 2007.

Tableau 7.1 : Moyenne des échantillons des images NDVI de (1987 et 2007).

Echantillon (Pixel)	Image NDVI 1987 en compte numérique	Image NDVI 2007 en réflectance
Bâti	-0,101	-0,0020
Sable	-0,087	-0,0248
Végétation	0,0364	0,2082
Sebkha	-0,1056	-0,0277

La variation de l'INDVI₁₉₈₇ en comptes numériques des canaux (Rouge et Infrarouge) de l'image Landsat en fonction de l'NDVI₂₀₀₇ en réflectance, donne la droite d'ajustement linéaire suivante: (Figure 7.2)

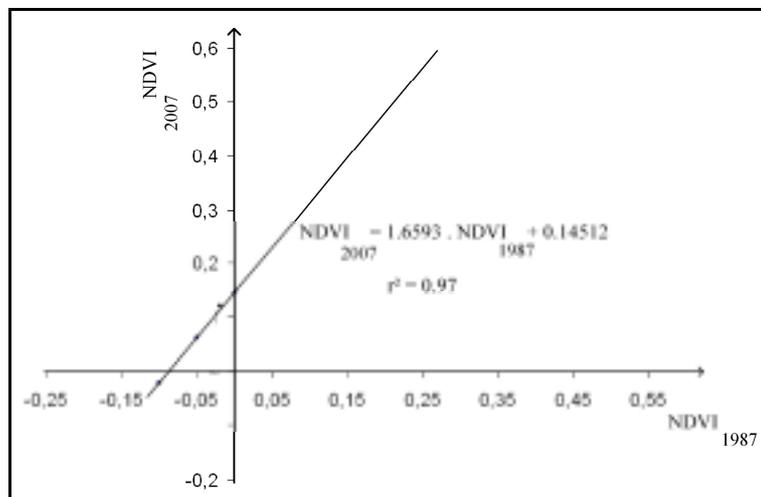


Figure 7.2 : Relation linéaire des images (NDVI) 1987 et 2007.

7.5.3 La technique de détection du changement

La méthode proposée dans cette étude concerne, l'évaluation de la précision de la méthode de détection du changement et son interprétation.

La technique de détection de changement, est très simple, une soustraction des images (NDVI) d'une date à celles d'une autre, pixel par pixel. Les valeurs des deux images (NDVI) sont transformées en valeur positive. Le choix des seuils entre pixels de changement et pixels de non-changement, est démontré dans l'histogramme (Figure 7.3). Nous avons déterminés les seuils en utilisant les données statistiques de l'image soustraite.

Habituellement, les données statistiques de l'image soustraite sont disponibles après avoir exécuté la fonction d'histogramme ou la fonction de statistique dans le système de traitement d'image. Ainsi la valeur moyenne (M), écart type (σ) sont connus pour l'image soustraite. Donc, les seuils potentiels pour les non-changements (NG) ou (pas de changement), toutes les entités paysagères stables ou qui n'ont subi aucun changement et qui peuvent être décrits comme suit :

$$NG = M \pm \sigma \quad \dots\dots\dots (7.1)$$

Cela signifie que les seuils potentiels seront fixés, dans l'histogramme, des valeurs de la moyenne ($M=-0.0332$) aux deux extrêmes (Min = - 0.95 et Max = 0.54) en ajoutant ou en diminuant la valeur de (σ) de la moyenne (M).

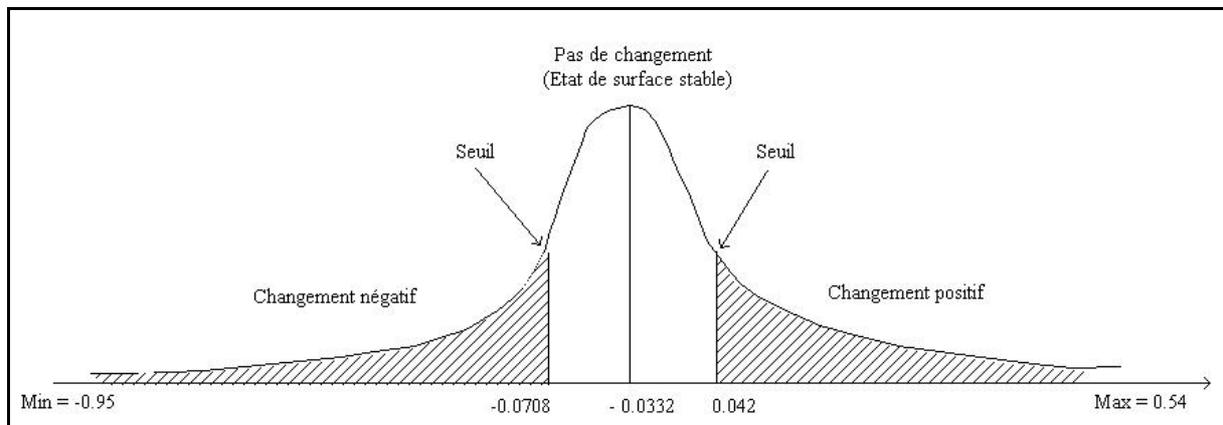


Figure 7. 3 : Etablissement des seuils pour déterminer les changements

7.5.4 Cartographie de l'indice de végétation (NDVI)

Le NDVI traduit la réaction de la végétation à la pluie, ainsi dans le domaine du visible (de 0,4 à 0,7 micromètres), les pigments présents dans les feuilles des végétaux (chlorophylles) absorbent fortement la lumière. Au-delà du visible et dans le domaine du proche infrarouge (de 0,7 à 1,3 micromètres), donne une grande efficacité dans le suivi de l'état de la végétation.

En pratique, si une bande spectrale du satellite couvre le domaine d'absorption maximale (visible) de la végétation, et une autre dans le domaine de réflectance maximale (Proche infrarouge), il est possible d'identifier aisément les zones couvertes par la végétation.

Les parcours méditerranéens sont caractérisés par un effet saisonnier très marqué, qui détermine des durées de végétation plus ou moins courtes, et par voie de conséquence des variations importantes de la quantité et de la qualité des ressources végétales produites. Ainsi, la quantité de pluies et sa répartition dans le temps induit des fluctuations de la production végétale. Il apparaît que la production végétale est liée à plusieurs variantes pluviométriques telle que la date du début et de la fin de la saison des pluies. En effet plus la saison des pluies est précoce, plus l'activité agricole et pastorale démarre tôt. Les premières pluies précoces (Automne, avant 1er Octobre) et pluies tardives (Printemps, avant fin Mai) n'ont une influence notable sur la production que si elles sont abondantes (Intensité supérieure à 10 mm/jour). Certains auteurs (Gutiérrez et Whitford, 1987) fixent un seuil de 25 mm pour les premières pluies pouvant initier la germination des espèces annuelles et le redémarrage de la végétation dans le désert.

7.5.4.1 Indice de végétation de l'image satellitaire Landsat de 1987

L'interprétation de l'image ($NDVI_{1987}$), nous permettent d'identifier facilement la couverture végétale, à partir des valeurs supérieures à 0,5 qui se localisent dans le nord est et généralement sur les monts, de la région d'étude (Figure 7.4). Les bases altitudes montrent une forte diminution de cet indice. Ceci est dû à l'effet de l'érosion éolienne. On observe en même temps une dégradation de la végétation le long des couloirs des vents affectant les sols peu profonds et les couches sableuses. Toutes les valeurs négatives comprises entre (-0,7 et -0,5) de cet indice représentent les sols humides tels que la Sebka.

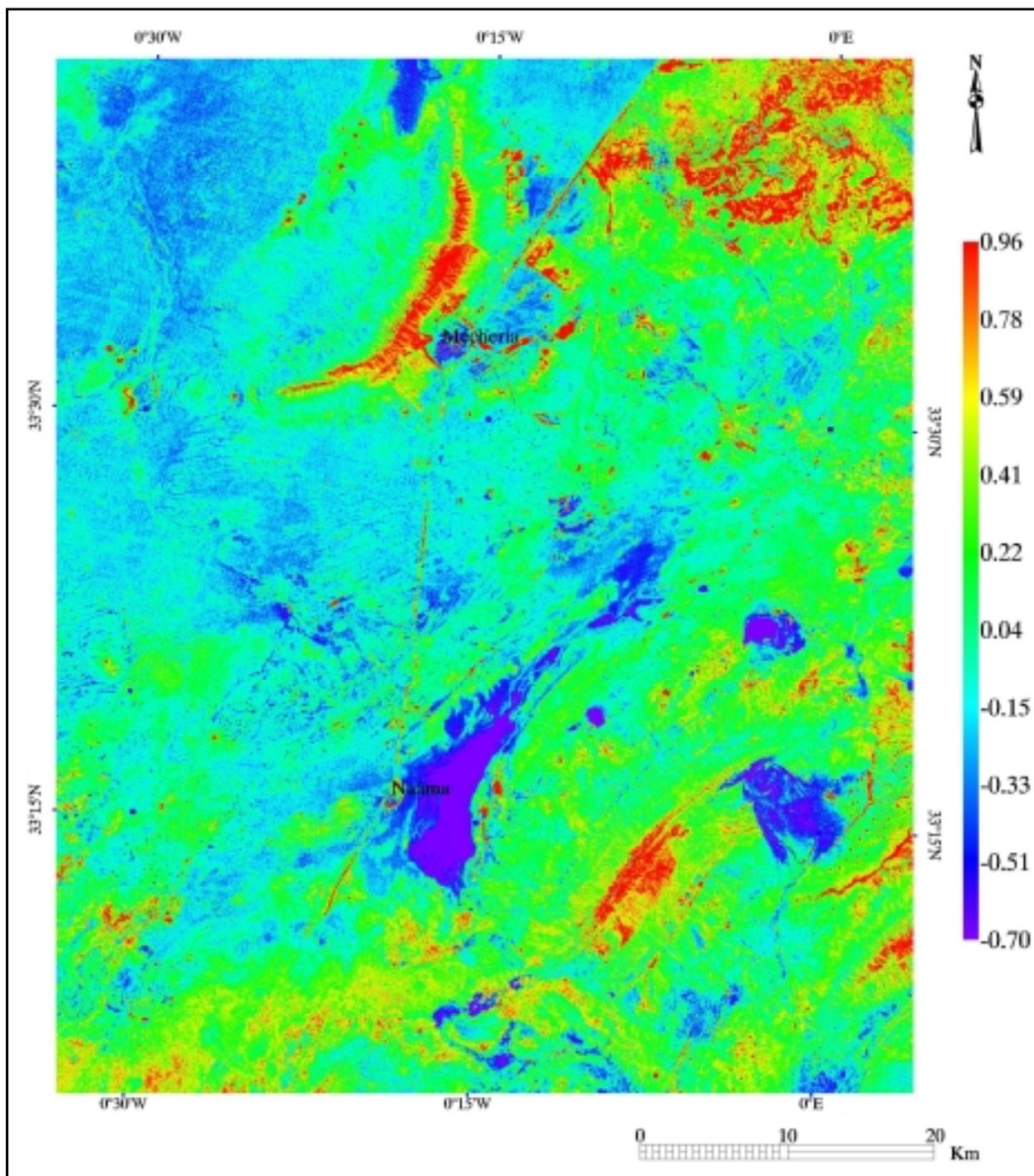


Figure 7.4: Image satellitaire de l'indice de végétation normalisé (NDVI) du 25-Avril-1987.

7.5.4.2 Indice de végétation de l'image satellitaire Landsat de 2007

Les valeurs positives de cet indice représentent en premier lieu les cultures irriguées et la végétation dense telle que les mises en valeurs, les matorrals et enfin les parcours steppiques. Les valeurs nulles ou négatives représentent le sable, le sol nu et les dépressions fermées (Sebkha).

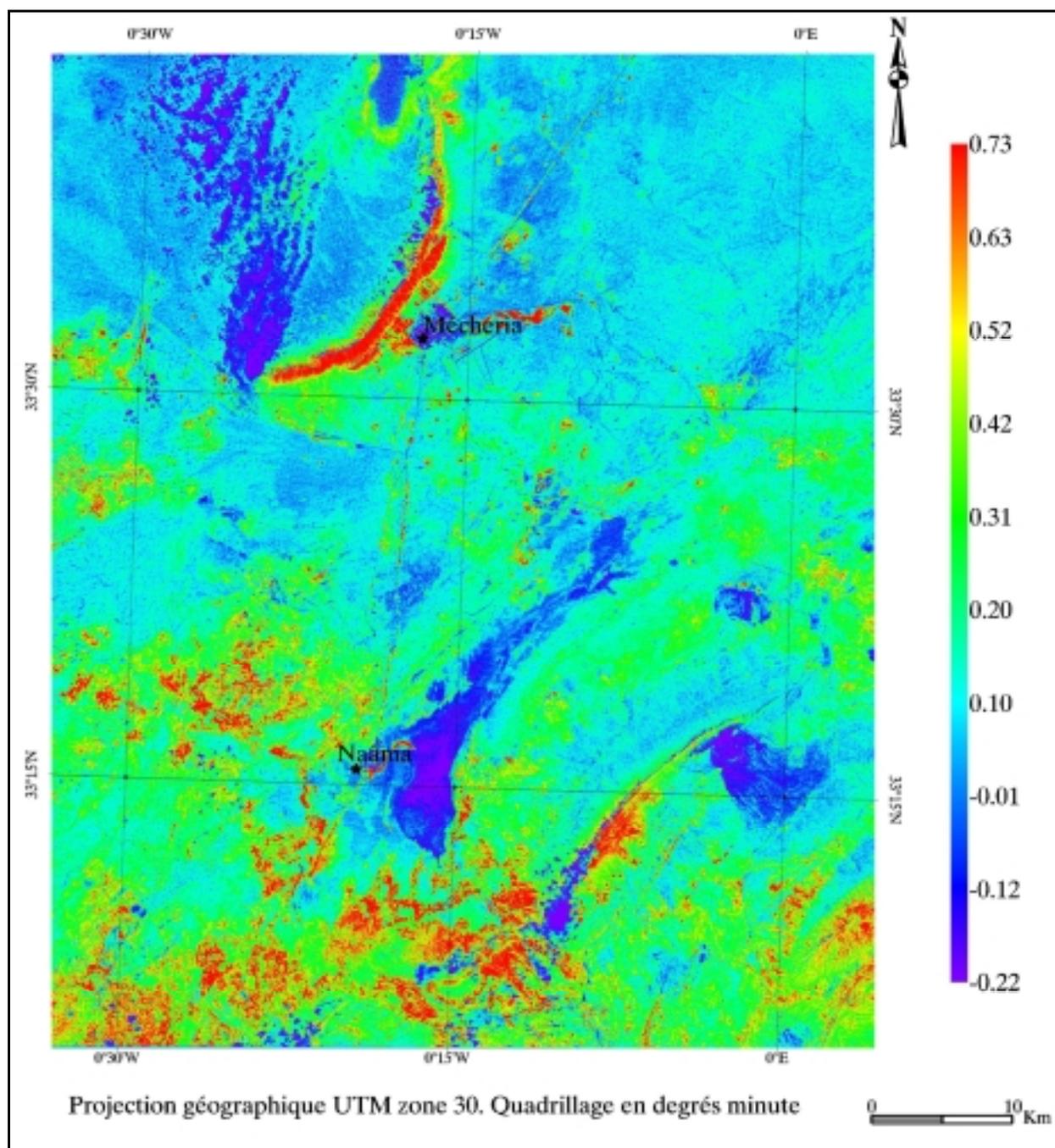


Figure 7.5: Image satellitaire de l'indice de végétation normalisé (NDVI) du 27-Février-2007.

La couverture végétale la plus importante, se trouve dans le sud et sud ouest de la région d'étude, cela peut être expliqué par la réalisation des programmes d'aménagement engagés par la wilaya de Naâma notamment les mises en défens et mises en valeurs. Une caractéristique est observée le nord de la région d'étude est totalement dégradé (Figure 7.5), à l'exception du Djebel Antar.

7.6 Résultats et interprétations

La confrontation de la dynamique spatiale de changement relevée par télédétection entre 1987 et 2007 et les mises en défens qui ont débuté en 2003 ainsi que la carte d'occupation du sol permet d'obtenir deux catégories d'informations sur le changement des unités de paysage et sur son évolution diachronique. Cette analyse permet d'une part d'identifier les défrichements dans la

région d'étude et d'autre part elle facilite la conception d'un modèle spatial de la dynamique des unités paysagères imposées par l'occupation des terres. Mais cette analyse diachronique est peu significative, parce qu'elle utilise seulement la différence de deux images ($NDVI_{2007} - NDVI_{1987}$) sans qu'elle nous permette de nous renseigner ni sur le changement des groupements végétaux ni sur la nature de l'unité paysagère dégradée ou évoluée.

La détection des changements consiste à analyser et comparer des images de la même scène, pour extraire les zones qui ont subi des modifications au cours du temps. Le résultat des changements de l'occupation du sol des deux communes (Naâma et Mècheria) entre 1987 et 2007, est consigné dans une carte découlant de la comparaison de deux images satellites. La lecture de cette carte ou image des changements permet de visualiser l'évolution des modifications durant cette période de 20 ans.

L'évolution des changements est regroupée en 3 classes (Tableau 7.2) de couleurs différentes (Figure 7.6), dont on distingue ; la partie en couleur (rouge) qui reflète la partie de l'occupation du sol qui a subi un changement positif, cette partie est située au sud et nord ouest de la région d'étude. Cette progression de la couverture végétale est due essentiellement aux programmes d'aménagement, de mise en valeur et de mise en défens que la région a connue postérieurement.

Tableau 7.2 : Résultats des changements du couvert végétal entre 2007 et 1987

Type de changement	Intervalle des seuils potentiels	Superficie en Km ²	Pourcentage
Changement négatif	[-0,95, -0,0708]	849	20,51
Pas de changement	[-0,0708, +0,042]	2350	56,76
Changement positif	[0,042, 0,54]	941	22,73
Total	[-0,95, 0,54]	4140	100

La partie en couleurs (vert, bleu-vert et jaune) constitue la partie de l'occupation du sol qui n'a pas subi aucun changement de la végétation, cette partie se trouve dispersée sur la carte, il s'agit des sites stables qui ne changent pas au profil du temps, le sol nu qui n'a pas bénéficié de l'aménagement, les aménagements échoués, les couloirs des vents de sables dominant, les dunes de sable. On remarque que la dépression saline (Sebkha) a subi un changement positif pour la simple raison qu'elle est peu desséchée en 2007, parce que l'indice de végétation est négatif pour l'eau et puisqu'il s'agit d'une soustraction des deux NDVI alors que sa valeur était plus élevée en 2007.

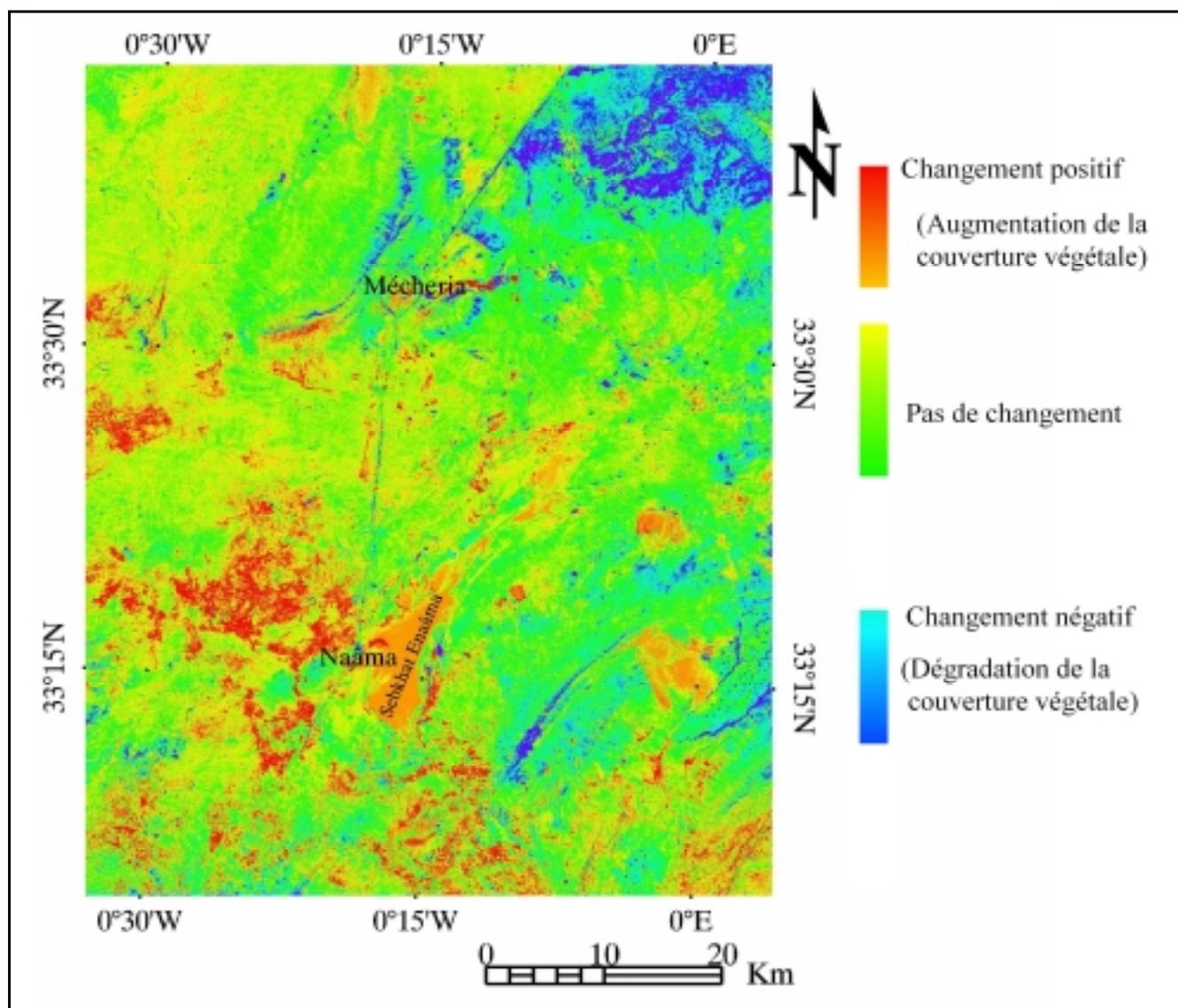


Figure 7.6: Carte des changements entre 1987 et 2007

Les espaces qui se situent aux alentours de la commune de Mécheria ont été affecté par la dynamique de changement négatif la plus intense, cette dégradation est expliquée par l'extension du bâti au détriment de la bande végétale qui protégé la ville (Figure. 7.6).

Dans la région d'étude, les axes de défrichement sont principalement dus à la présence d'agglomérations, de points d'eau et à la diminution de la population nomade.

7.7 Conclusion

Depuis les années soixante, le suivi de la dynamique des espaces est devenu une des applications principales des données spatiales. Plusieurs auteurs ont entrepris ce genre d'études et nombre de documents référentiels pourraient être recensés concernant ce sujet (WU, 2003).

Les steppes algériennes connaissent depuis environ deux décennies une dégradation de plus en plus accentuée dans toutes ces composantes tant physiques que biologiques (flore, couvert végétal, sol et ses éléments, faune, habitat..). Il en découle une dégradation irréversible des terres à travers une désertification qui en est le stade avancé. Cette dernière se traduit par la réduction du potentiel biologique et par la rupture des équilibres écologiques et socio-économique

induisant une accélération de la dégradation des ressources naturelles. Les sources et les causes sont multiples:

- Les causes liées aux activités humaines qui sont, de loin, les plus importantes (surpâturage, défrichage, éradication des espèces ligneuses). La mise en culture est pratiquée à grande échelle par des labours inadaptés aux types de sols de plus en plus médiocres
- Les causes naturelles telles que les sécheresses cycliques qui transforment les paysages tout en accentuant l'action destructrice de l'homme ; la dernière sécheresse qui a sévi dans ces régions, de 1980 à 1990, est exceptionnelle de par son ampleur.

L'étude ainsi que la surveillance de la végétation est aujourd'hui possible grâce aux données satellitaires, elles s'avèrent être un outil indispensable dans la détection et le suivi, de certains phénomènes et aléas environnementaux susceptibles de nuire à l'équilibre des écosystèmes.

Les zones les plus touchées par le changement en termes de dégradation sont localisées dans le nord et le sud est de la région d'étude. Ces changements concernent plus particulièrement les classes « culture défavorable » et « parcours steppiques ».

Au terme de cette dégradation, il est indispensable d'envisager les points suivants en vue d'orienter les gestionnaires de l'espace steppique en matière d'aménagement :

- Améliorer la stratification du paysage (élément de base) tout en donnant un poids important au zonage agro-écologique surtout pour les bases altitudes et autour des points d'eaux et les dépressions fermées, d'autre part.
- Exploiter toute la documentation disponible sur la région pour pouvoir discriminer entre les différentes formes de changements : réversibles et irréversibles.
- Faire une analyse spatio-temporelle par l'utilisation des SIG et la haute résolution, notamment pour les zones les plus sensibles, pour mieux caractériser les changements.

CHAPITRE VIII

Apport des systèmes

d'information géographiques

dans les aménagements pour la

lutte contre la désertification

CHAPITRE VIII : APPORT DES SYSTEMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUES DANS LES AMÉNAGEMENTS POUR LA LUTTE CONTRE LA DÉSSERTIFICATION

8.1 Les aménagements pastoraux dans l'écosystème steppique

8.1.1 Introduction

Selon FAO (1988), le principal objectif des activités d'aménagement et d'exploitation est la pérennisation des plantations, afin de mettre en valeur les effets bénéfiques des travaux de fixation des dunes et éviter la remise en mouvement des sables. Dans les zones arides et semi-arides, la contribution des dunes reboisées à la production de bois et de fourrage est secondaire durant les premières années d'installation des plantations, car le milieu créé reste fragile et instable. De plus, l'objectif principal de ces plantations reste la protection à long terme des infrastructures socio-économiques (routes, canaux d'irrigation, habitations, châteaux d'eau, etc.) et des terres agricoles et pastorales nécessaires à un développement économique et social durable.

L'amélioration des techniques de suivie du phénomène de désertification, constitue depuis plusieurs décennies une préoccupation majeure des pouvoirs publics, les chercheurs et les associations. En effet, la lutte contre l'ensablement et l'amélioration des parcours, dans un milieu aride difficile, la rareté et la vulnérabilité des ressources naturelles (eau, sol, plante), est devenue une réalité socio-économique et écologique qui menace la stabilité de la population et l'équilibre écologiques de cette région. Cependant de grandes superficies de parcours sont dégradées suite à l'accès illégal des réserves naturelles, le labour aléatoire et le surpâturage.

L'avancé du sable vient du coté nord-ouest de la wilaya de Naâma, qui s'allonge depuis le nord-ouest et du coté sud-est ou la région connaît des vents saisonniers secs durant la période allant du mois de février à juin avec une moyenne de 72 jours par an, période dans laquelle les précipitations sont presque nulles ou très faibles. Le phénomène de désertification se forme habituellement depuis l'Atlantique jusqu'aux frontières de l'ouest et puis vers les régions nord de l'Algérie à partir des accès et des couloirs des vents ; ce qui exige la limite et la réduction de la vitesse des vents, on installant des brises de vent. Souvent les plantations de ceintures de protection protégeant les chemins de fer, le réseau routier et les agglomérations restent insuffisants devant l'ampleur de la dynamique des cordons dunaires.

Ce travail a pour objectif de définir une base de données géoréférencée à partir des informations recueillies pour élaborer des cartes thématiques.

8.1.2 Origine et formes de l'ensablement

Selon Berte (2010), il y a ensablement lorsque les grains de sable sont transportés par les vents et s'accumulent sur le littoral, au bord des cours d'eau et sur des terres cultivées ou incultes. En se déplaçant, les accumulations de sable (dunes) ensevelissent les villages, routes, oasis, cultures, jardins maraîchers, canaux d'irrigation et barrages, entraînant ainsi des dégâts matériels et socio-économiques très importants. Des programmes de lutte contre la désertification doivent alors être mis en oeuvre pour endiguer la gravité de cette situation.

Dans la région d'étude, la dynamique des sables se trouve fortement représentée par plusieurs formes (voiles sableux, dunes de sable, des barkhanes, des cordons dunaires ect..) Selon les

déclarations de la population locale la végétation a été régressée en laissant place à l'ensablement ce qui a entraîné un développement important des accumulations sableuses au fur et à mesure que l'on se dirige vers le Sud-Est depuis Mécheria en direction d'El-bayadh. Le chef lieu même de la Wilaya de Naâma, (photos: 8.1) des dunes vives mises en place sur les terrains de parcours, sebkha et les oueds.

Dans le nord-ouest vers le sud-est de la région d'étude, des accumulations sableuses qui débutent de la commune de Naâma et finit à Bougtob d'une distance d'environ 80 km, le sable traverse un ensemble d'unités morphologiques contrastées (terrains de parcours, Djebel Antar, les reboisements etc...).



Photos 8.1 : Ensablement à l'intérieur et à la périphérie de la Sebkhia d'Elnaâma

8.1.3 Effets de l'érosion éolienne sur le sol et la végétation

Le vent entraîne en premier lieu les parties fines du sol, (le limon, le sable fin et la matière organique). Il détériore ainsi la structure du sol, qui devient plus sableuse, donc plus sensible à son action, et il diminue sa capacité de rétention d'eau. Le sol devient progressivement impropre à la culture. L'action du vent sur la végétation est à la fois mécanique et physiologique. Les particules de sol transportées heurtent les tiges et les feuilles avec une force, entraînant l'abrasion de leurs tissus. Dans les zones où les particules sont prélevées, les racines se déchaussent et la végétation risque d'être déracinée.

Le vent augmente l'évaporation et dessèche les plantes, principalement pendant la saison sèche. De plus, la capacité de rétention d'eau du sol est diminuée et conduit à un déficit hydrique. La masse d'air sec ambiant ou en mouvement a tendance à absorber toute l'humidité et à creuser le déficit de saturation. Or c'est ce déficit qui modèle le plus la végétation locale, car cette dernière doit s'adapter au manque d'eau sévère.

8.1.4 Érosion éolienne

Le déplacement des particules du sol est lié à la direction, la vitesse et la durée du vent. Lorsqu'un vent souffle avec plus de fréquence dans une direction privilégiée, on parle de vent dominant. Au niveau du sol, la vitesse du vent est nulle. Le vent est d'autant plus fort qu'on s'éloigne de la surface du sol, et sa vitesse augmente.

Un vent ne peut soulever des particules de sable que lorsque sa vitesse, mesurée avec un anémomètre à 30 cm au-dessus du sol, atteint ou dépasse 6 m par seconde. La vitesse du vent est

un facteur essentiel, car elle détermine la force d'entraînement du sable. Plus cette vitesse augmente, plus la capacité de transport s'accroît. Le second facteur est la taille et la densité des particules de sable. Les particules dont le diamètre avoisine 0,1 mm sont entraînées les premières, tandis que les particules plus grosses ne peuvent être déplacées que par des vents violents Berte (2010).

Dans les espaces steppiques du Sud-ouest oranais, les formes éoliennes rencontrées sont de types variés. Leur importance s'affirme peu à peu vers le sud-est en direction de la plaine de Naâma, de la sebkha, et des couloirs de basses altitudes où le vent fait preuve d'une dynamique incontestée. Sur le terrain, nous avons constaté que les amas éoliens deviennent plus imposants au fur et à mesure que l'on s'éloigne des monts et que l'on se dirige vers la ville de Naâma en direction de la sebkha, au bord des pistes et autour des points d'eaux.

8.1.5 Formes des voiles éoliennes

Les particules de sable sont transportées sur des surfaces dures à topographie plane et uniforme, où elles forment des voiles sableux de plus ou moins grande épaisseur, qui constituent un danger permanent pour les villes, routes, voies ferrées et canaux d'irrigation. Ce type d'accumulation éolienne est à l'origine de l'ensablement superficiel présent un peu partout dans la région d'étude et il prend de l'extension suite aux défrichements, aux piétinement et tassement du sol et au surpâturage. En outre, ils engendrent une diminution des surfaces agricoles, la stérilisation de vastes zones par déflation ou par accumulation de masses sableuses. Cette dégradation entraîne l'exode des populations rurales vers les villes ou vers des zones moins défavorisées.

8.1.5.1 Les nebkas

Les accumulations sableuses sont dues à la présence d'un obstacle rocheux, végétal ou autre sur la trajectoire des particules sableuses en mouvement. On distingue deux types de nebkas: les nebkas à flèche de sable, qui sont des formes dunaires ovoïdes de petites dimensions (50 cm de hauteur, 150 cm de longueur et 40 cm de largeur), allongées dans le sens du vent dominant; et les nebkas buissonnantes, du même genre que les précédentes, mais pouvant atteindre 2 m de hauteur et 3 à 4 m de longueur (Figure 8.1).

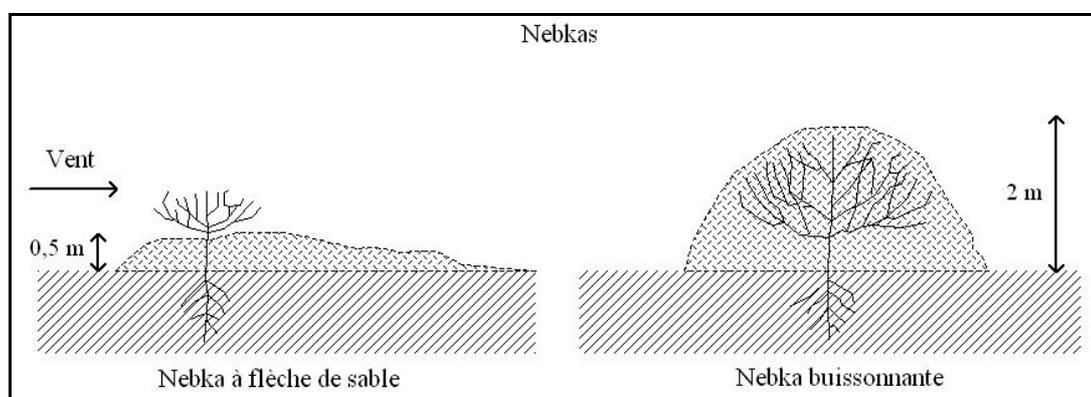


Figure 8.1 : Nebkas à flèche de sable et buissonnante (Source : FAO, 1988)

8.1.5.2 Les barkhanes

Il s'agit de dunes massives en forme de croissant à convexité au vent (Figure 8.2). Leur formation passe par plusieurs stades: le bouclier sableux, puis le bouclier barkhanique, suivi du dièdre barkhanique et enfin l'état de barkhane. En général, les barkhanes ne restent pas isolées; elles peuvent se rejoindre et forme des ensembles complexes, allant des trains barkhaniques à de véritables massifs dunaires. Ce type de formation éolienne se trouve à titre d'exemple dans le site de la sebkha d'Ennama.

La migration des barkhanes requiert trois conditions: un vent constant monodirectionnel, une source de sable importante et de granulométrie allant de 0,12 à 0,25 mm de diamètre, et une surface plane et dure. Les barkhanes étant des constructions instables, mobiles et sans cesse remodelées par le vent, leur vitesse de déplacement peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres par an (Berte, 2010).

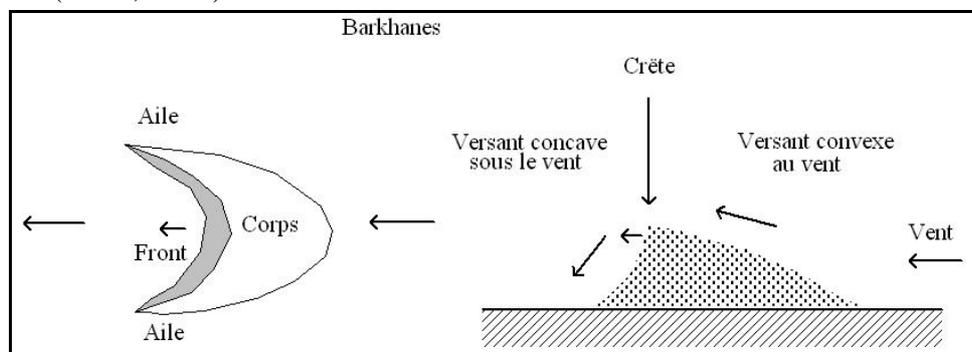


Figure 8.2 : Formation des Barkhanes par l'action du vent. Source (Rochette, 1989)

8.1.5.3 Les dunes linéaires ou sifs

Les dunes linéaires sont des accumulations de sable, de forme allongée. La longueur est toujours de huit à dix fois plus importante que la largeur. En moyenne, ces dunes ont de 1 à 2 km de longueur et de 50 à 200 m de largeur. Elles sont parfois réunies, et leurs formations peuvent mesurer de 20 à 40 km de longueur. Ce type d'accumulation éolienne se produit dans un environnement aride parcouru par deux vents dominants de direction différente. La direction de ces dunes est oblique par rapport à la résultante des vents dominants. Le mouvement d'une dune linéaire se fait par allongement, au fur et à mesure des nouveaux apports de sable par le vent.

Ce type de formation éolienne est très répandu dans la région d'étude surtout dans les terrains nus.

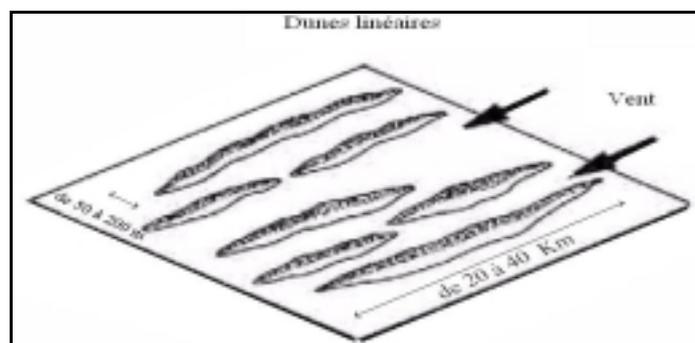


Figure 8.3 : Les dunes linéaires

8.1.5.4 Le cordon longitudinal

Ce sont des dunes d'érosion dont l'axe est parallèle au vent dominant. D'après Jordan (1964), ce sont les dunes les plus représentées de la planète allant même jusqu'à couvrir 72 % du Sahara. Ceci confirme l'hypothèse que le Sahara est un désert qui se vide de son sable depuis, probablement, la fin de l'Holocène.

8.1.6 Identification des sites ensablés par l'observation sur le terrain

Lorsqu'un site est menacé d'ensablement, il est nécessaire d'identifier avec soin les sources de sable, les zones de transport et les secteurs d'accumulation (Figure 8.4). Les sources de sable peuvent être d'origine locale ou mixte (autochtone ou allochtone). Le sable peut également provenir de la dégradation du couvert végétal, d'anciennes dunes remises en mouvement, d'apports actuels provenant des épandages de crues, des terrasses alluviales ou des oueds. Une bonne localisation des étendues de sources de sable permet de bien définir les techniques de stabilisation à adopter.

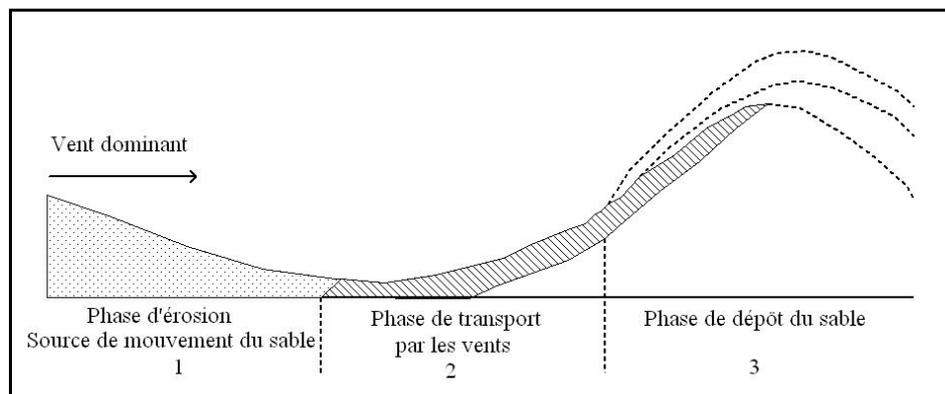


Figure 8.4 : Dynamique de l'avancée du sable. Source (Berte, 2010)

Les zones de transport sont des surfaces sur lesquelles le sable se déplace par saltation et roulage, en laissant sur son passage des traces telles que les voiles éoliens et les nebkas. L'orientation de ces traces indique la direction de déplacement du sable vers les zones de dépôt.

Les secteurs d'accumulation constituent également d'importantes masses de matériel sableux qui, transporté par le vent, risque d'envahir d'autres sites.

8.1.7 Principales techniques de fixation des dunes

Le principe fondamental de la fixation des dunes est d'empêcher le sable de se déplacer pendant un laps de temps suffisant pour permettre à une végétation naturelle ou plantée de s'y établir. Pour maîtriser l'ensablement, il faut réduire le phénomène de saltation, soit en stabilisant le sol, soit en atténuant le gradient de vitesse du vent près de la surface du sol. On peut également utiliser la vitesse du vent dans les techniques de gestion du sable et des masses dunaires; le vent en grande vitesse prend du sable et dégage ainsi les sites ensablés. Au contraire, il se déleste quand sa vitesse diminue, et dépose alors le sable. À partir de ces principes généraux, on distingue deux types de fixation.

La fixation primaire permet soit de stabiliser mécaniquement les masses sableuses en ralentissant leur vitesse et leur déplacement, soit d'empêcher la formation de ces masses sableuses par:

- ♦ la mise en place de palissades et de clayonnages perpendiculaires au vent dominant;
- ♦ l'épandage d'un produit ou matériau pouvant couvrir uniformément le sol (mulching);
- ♦ le profilage de l'obstacle pour maintenir ou augmenter la vitesse du vent; cette technique accroît la capacité de mobilisation et de transport du sable.

La fixation définitive ou biologique se fait par la mise en place et la protection d'une couverture végétale ligneuse permanente (semis direct, plantation, mise en défens, gardiennage).

8.1.7.1 La fixation mécanique des dunes (les palissades)

La technique des palissades est un obstacle linéaire (palmes de dattier, branchages d'épineux, chaume de mil) interposé entre la source de sable et la zone menacée à protéger. Les accumulations de sable piégé aboutissent à la formation d'une dune artificielle qui devient à son tour un obstacle. La palissade placée à 200 ou 300 mètres du site à protéger est alors orientée perpendiculairement à la direction du vent dominant.

8.1.7.2 Fixation biologique

Après la stabilisation des sables par des opérations mécaniques, il est indispensable de fixer les dunes de manière définitive en provoquant leur recolonisation par la végétation. Le but essentiel recherché est de créer l'ambiance du passé, c'est-à-dire la reconquête des espaces nus et des dunes mouvantes en les couvrant d'une végétation aussi dense que possible.

Le choix des espèces forestières, graminéennes locales ou exotiques, pour la fixation biologique des dunes dépend avant tout de la capacité d'adaptation des essences dans le milieu (aridité, structure des sols) et de la finalité du reboisement. Le choix des espèces à planter dans une zone donnée sera guidé nécessairement par les objectifs fixés dans le projet et par la capacité d'adaptations des espèces choisies aux conditions bioclimatiques de la zone en question. Se sont les espèces autochtones, les plus adaptées aux conditions locales seront toujours choisies préférentiellement aux espèces allochtones.

♦ La mise en défens

Les travaux de fixation des dunes sont des réalisations extrêmement délicates, qui nécessitent durant plusieurs années une protection intégrale et constante, la mise en défens consiste à interdire pour une durée définie ou indéfinie toute exploitation et toute éradication de végétaux sur une superficie donnée la durée de la mise en défens dépend du degré de dégradation des parcours et de la conjoncture pluviométrique au cours de la période de protection. Elle peut être d'une à plusieurs saisons.

Un programme de mise en défens a été lancé depuis le (PNDA) dans la région de Naâma, dont les actions seront basées sur la mise en défens de 700.000 ha et la plantation pastorale qui affectera une superficie de 12.000 Ha.

♦ La mise en valeur

L'accession à la propriété foncière par la mise en valeur des terres agricoles a connue un début d'exécution au niveau de la wilaya de Naâma en Octobre 1984. La lutte contre l'ensablement par la réhabilitation et la mise en valeur sur les dunes avoisinantes les villes de (Mécheria, Naâma et Ain benkhelil) (Photos 8.2).

comprenant des modules fonctionnels permettant de construire, de modifier, d'interroger, de représenter la cartographie, la base de données, selon des critères sémantiques et spatiaux. (Gilliot, 2000).

Selon Didier et Bouveyron (1993), un SIG est un ensemble de données représentée dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire des synthèses utiles à la décision.

8.2.2 Structure de l'information géographique

La structuration envisagée de l'information géographique prend en considération les volets suivants : l'habitat et la population, l'élevage, l'occupation du sol, les ressources hydriques, et végétales et l'altitude.

L'élaboration d'un Système d'Informations Géographiques (SIG) permettant la représentation de la région d'étude par une série de cartes thématiques, outils simples et visuels pour une meilleure analyse des données mais également un outil appréciable d'aide à la gestion des parcours steppiques pour la conception des aménagements dans la région d'étude. Le SIG est un support technique permettant une bonne visualisation des données spatiales et de ce fait il présente une bonne perception de l'évolution du milieu. Il permet également aux gestionnaires d'avoir une approche globale et synthétique des problèmes liés à la dégradation du milieu et de proposer des solutions d'aménagement.

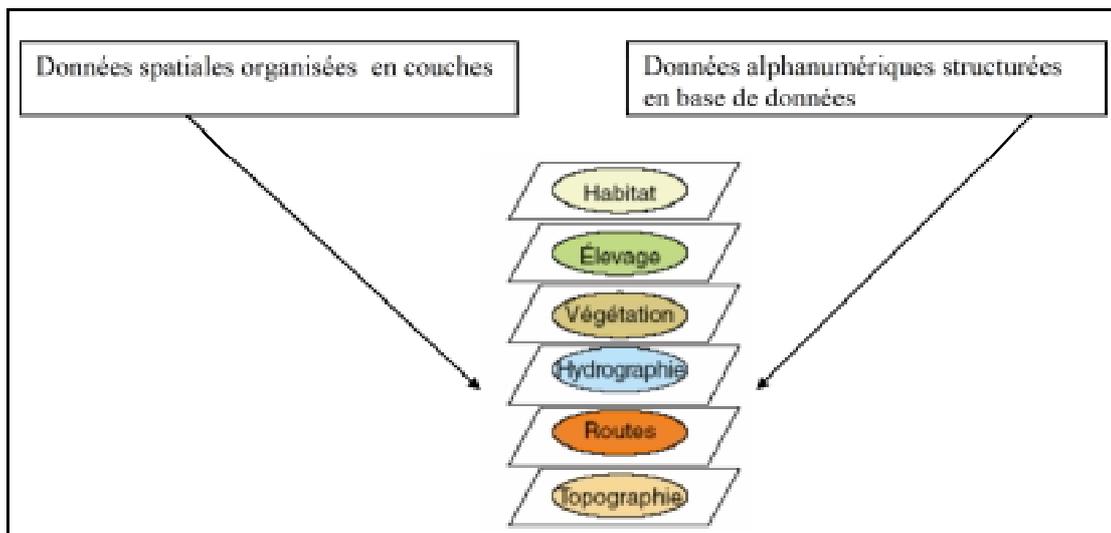


Figure 8.5: Exemple d'une structure de l'information géographique en couches superposables Habert (2000).

8.2.2.1 Les données rasters

Le format « raster » utilise une description matricielle de l'espace géographique sous forme de matrice ou chaque élément de l'image ou (pixel : picture element) contient un niveau donné qui représente une thématique. Ces images sont généralement issues de scanners ou photos aériennes ou satellitaires Gilliot (2000).

8.2.2.2 Les données vecteurs

Les limites des objets spatiaux sont décrites à travers leurs constituants élémentaires, à savoir les points, les arcs, et les polygones. Chaque objet spatial est doté d'un identifiant qui permet de le relier à une table attributaire.

Dans le format vectoriel, les objets sont représentés par des primitives graphiques (point, ligne, polygone etc. ...).

8.2.3 Fonctionnalités des SIG

Les systèmes d'information géographique peuvent être constitués pour répondre à différentes demandes, selon les objectifs fixés. Toutefois ils ont en commun des fonctionnalités que l'on retrouve dans chaque système d'information. Les principaux constituants d'un SIG sont :

8.2.3.1 Acquisition des données

Plusieurs sources de données peuvent être représentées dans un SIG telles que : (les images satellitaires, les cartes photographiques, les photos aériennes, MNT, les données de terrain, import de fichiers, ...etc). L'acquisition des données peuvent être manipulées grâce aux différents outils tels que : le scanner, table de digitalisation et même les logiciels.

8.2.3.2 Analyse et transformation des données

C'est une fonctionnalité très importante d'un SIG, elle concerne les opérations de correction géométriques, les calculs statistiques, les analyses thématiques selon les objectifs fixés. Elle permet des calculs métriques (distances, surfaces), positionnement et projections géographiques.

8.2.3.3 Dessin et édition cartographique

Les SIG ont pour objectif l'édition graphique des données tels que les résultats d'une requête, les cartes ou les statistiques cartographiques.

8.2.3.4 Les interfaces utilisateur

Il y a quatre type d'interface utilisateur : les langages de commandes, les menus, les interfaces graphiques, les langages de requêtes de type SQL (Structured Query Language). L'interface est conçue pour être utilisée par des commandes et un langage de requête (langage naturel) qui permet à l'utilisateur d'élaborer des commandes adaptées à ses propres besoins.

L'outil SIG propose des procédures d'analyse spatiale grâce à des requêtes sur les attributs d'une ou plusieurs tables, il effectue des traitements graphiques (production de cartes thématiques) et statistiques (Benguerai et Benabdeli, 2009).

8.3 Matériel et méthode

La méthode utilisée consiste d'abord à inventorier les données et à évaluer les besoins des gestionnaires de l'espace. Cette phase s'est faite essentiellement en collaboration avec les différents organismes tels que (DSA, Conservation des forêts, HCDS, la concession agricole, ect..), de la bibliographie et l'entretien avec la population locale. Ensuite, les données ont été évaluées qualitativement puis traitées sous Mapinfo (logiciel de SIG).

Les logiciels Map info et le Vertical Mapper (VM) ont servi de base à l'élaboration du système d'information géographique sur toute la région d'étude. Le Logiciel Envi (logiciel de traitement d'image) a été utilisé pour obtenir la carte d'occupation du sol par la classification supervisée de l'image satellitaire Landsat TM du 27 février 2007. Les données spatiales suivent le même le système de projection Universal Transverse Mercator, WGS-84 Nord).

L'intégration des données (sémantiques et spatiales) constitue la première étape de construction du SIG. Les données vecteurs (carte des limites administratives, oueds, talwegs et daïas) et les données Raster (cartes topographiques feuille de Ain Séfra au 1/500.000, images satellites, le MNT, carte pastorale de l'Algérie au 1/200.000 et la carte de l'Algérie au 1/1.000.000) ont été utilisés.

8.4 Approche retenue

Elle repose sur la démarche suivante, assez classique :

- Les données spatiales (données Raster, carte topographique, carte géomorphologique, carte bioclimatique, carte pédologique, MNT).
- Les données thématiques (données alphanumériques, observations sur terrain, données socio-économiques).
- les données bibliographiques
- Scanérisation et vectorisation des cartes

8.5 Résultats et discussions

8.5.1 Carte d'occupation du sol

La carte d'occupation du sol (Figure 8.6), réalisée à partir de l'image satellitaire (Landsat) de 2007, montre que le groupement à *Lygeum spartum* et *Noaoa mucronata* colonise la majorité de la zone d'étude avec 28,56 %. Suivie des groupements psammophiles à *Retama raetam* sur dunes vives d'un taux de 12,17 % et à *Thymelaea microphylla* et *Tamarix africana* pour 5,66 % ; groupements généralement suivis de mouvement de sable. Alors qu'on remarque une diminution importante des groupements à *Stipa tenacissima* et *Lygeum spartum* qui faisait le paysage dominant dans le siècle écoulé, selon plusieurs auteurs. En plus des formations psammophiles, on constate l'évolution d'ensablement d'un taux de 4,76 %, signe de désertification de la région des hautes plaines steppiques.

Les groupements halophites à *Salsola seiberi* et *Atriplex halimus* occupent principalement les sols salés, les dépressions salées, les sebkhas ; ces groupements représentent un taux de 4,58 % (Tableau 8.2). Les Matorrals et steppes arborées à *Juniperus phoenicea* et *stipa tenacissima* ne représentent que 3,14 % ou se localisent généralement dans les montagnes.

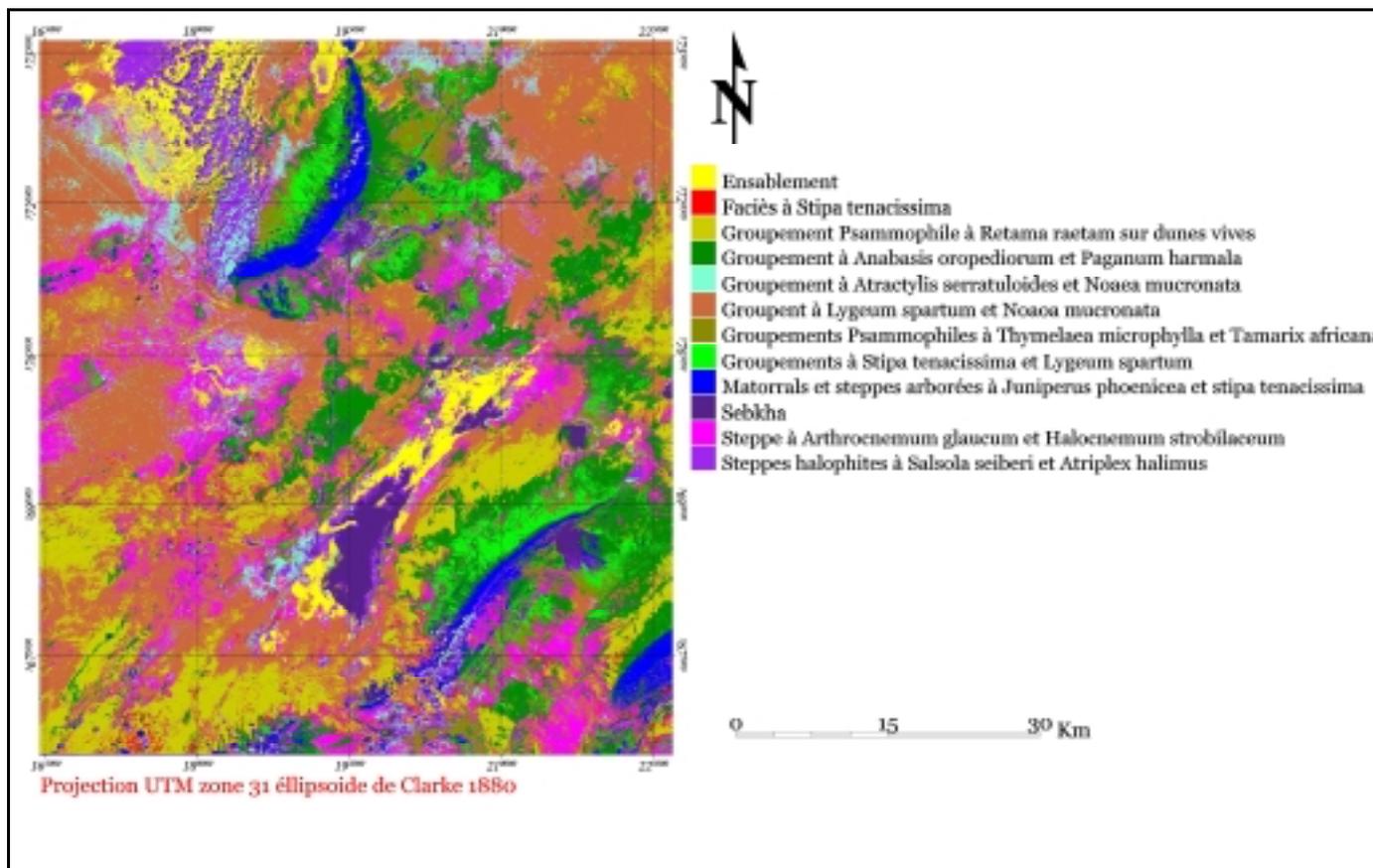


Figure 8.6 : Carte d'occupation du sol par la classification dirigée de l'image satellitaire Landsat TM de 2007.

L'organisation des principales formations végétales de la zone d'étude se détermine par:

- ♦ des formations steppiques liées soient à l'étage bioclimatique aride : steppe à alfa (*Stipa tenacissima*, steppe à *Lygeum spartum*), soit à l'étage bioclimatique saharien: steppe à *Remth* (*Arthrophytum scoparium*).
- ♦ Les steppes à déterminisme édaphique liées à un gradient d'ordre textural telles que les steppes psammophiles (steppe à *Aristida pungens*) caractérisées par des sols sableux à texture grossière à très grossière, ou à un gradient d'ordre chimique telles les steppes halophiles caractérisées par des sols à forte teneur en divers sels Kaabèche, (2000).
- ♦ Les steppes liées à la dégradation suite aux conditions climatiques et anthropozoïques, sont souvent des espèces rudérales, nitrophiles, certaines espèces sont épineuses (*Atractylis serratuloïdes*), et d'autres sont réputées toxiques (*Peganum harmala*, *Thymelaea spp*) Le Houérou, (1995).

Tableau 8.2 : Principales unités d'occupation du sol de la région d'étude.

Principales unités d'occupation du sol	Superficie (Km ²)	%
Ensablement	197,06	4,76
Faciès à <i>Stipa tenacissima</i>	45,13	1,09
Groupe ment Psammophile à <i>Retama raetam</i> sur dunes vives	503,84	12,17
Groupe ment à <i>Anabasis oropediorum</i> et <i>Paganum harmala</i>	605,68	14,63
Groupe ment à <i>Atractylis serratuloides</i> et <i>Noaea mucronata</i>	223,56	5,4
Groupe ment à <i>Lygeum spartum</i> et <i>Noaea mucronata</i>	1182,38	28,56
Groupe ments <i>Psammophiles</i> à <i>Thymelaea microphylla</i> et <i>Tamarix africana</i>	234,32	5,66
Groupe ments à <i>Stipa tenacissima</i> et <i>Lygeum spartum</i>	146,56	3,54
Matorrals et steppes arborées à <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>stipa tenacissima</i>	130,00	3,14
Sebkha	116,75	2,82
Steppe à <i>Arthrocnemum glaucum</i> et <i>Halocnemum strobilaceum</i>	565,11	13,65
Steppes <i>halophites</i> à <i>Salsola seiberi</i> et <i>Atriplex halimus</i>	189,61	4,58
Total	4 140	100

8.5.2 Les ressources hydriques

L'homme de la steppe est particulièrement sensible aux conditions hydrographiques qui conditionnent sa vie et le déplacement de son troupeau ; la région d'étude compte 17 puits dont 12 sont des puits pastoraux, leur profondeur varie entre 12 et 60 m. La totalité des puits se localise au Sud Est de la région d'étude vue la concentration des écoulements des oueds temporaire, le nombre des puits est très faible dont il représente un puit pour 30348 hectares.

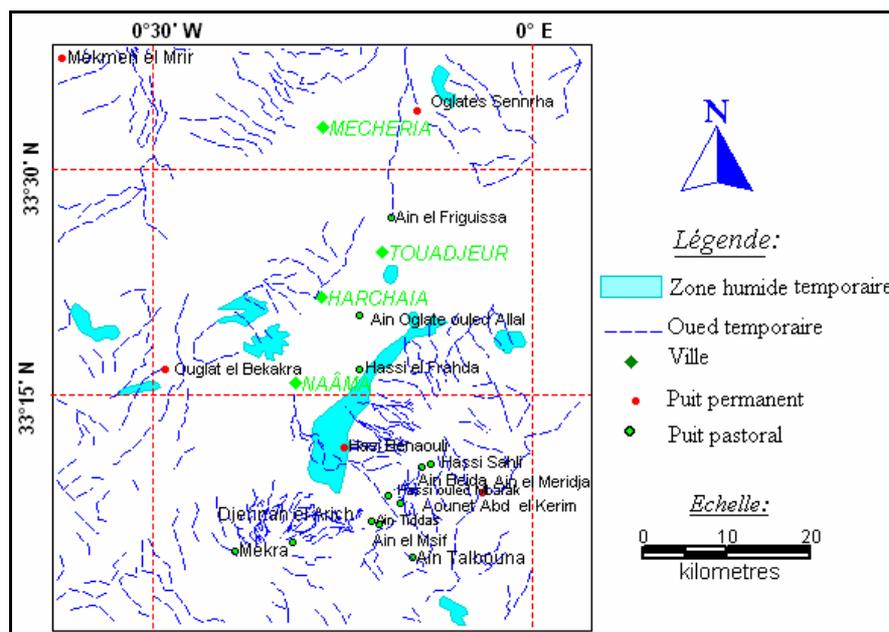


Figure 8.7 : Carte des ressources hydriques de la zone d'étude.

Les hautes plaines steppiques sont caractérisées par un réseau hydrographique faible (Halitim, 1988).

En année sèche, le problème d'eau revêt un caractère dramatique; les troupeaux sont parfois obligés de faire plus de 35 Km pour s'abreuver. Le coût de l'abreuvement est élevé, il varie de 600 à 900 DA par citerne de 3 m³ sur une distance de 15 Km. Les points d'eau ont un rôle déterminant dans l'économie pastorale (Roselt, 2005).

8.5.3 Le relief

La région d'étude appartient à la région géophysique des hauts plateaux du sud-ouest de l'Oranie, d'une altitude comprise entre 755 et 2240 mètres (Figure 8.8).

La carte est réalisée à partir du modèle numérique de terrain (MNT) qui représente un ensemble de données décrivant la topographie de la surface terrestre, il est donc la représentation numérique en terme de données altimétriques. L'obtention d'un (MNT) s'effectue à partir d'une table points des valeurs d'altitude ou par les courbes de niveaux à savoir le traitement envisagé.

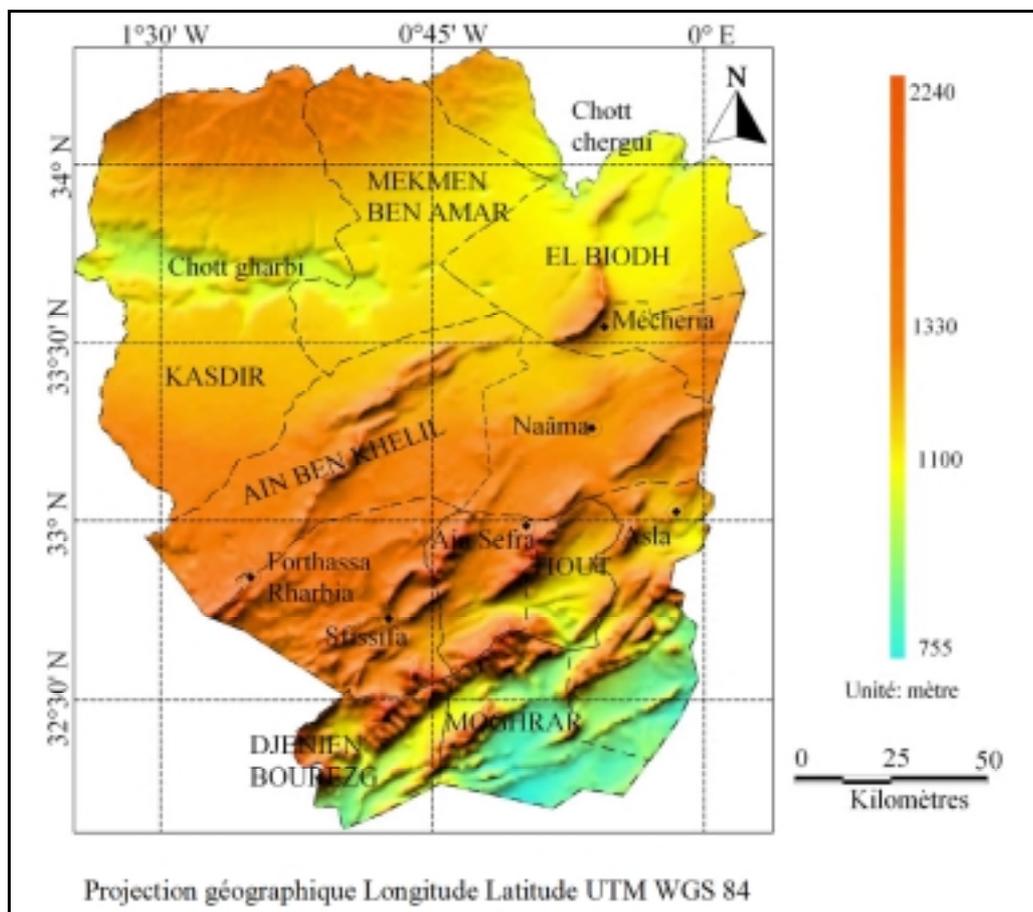


Figure 8.8 : Présentation du Modèle numérique de terrain (MNT) de la Wilaya de Naâma

Cette carte est obtenue par l'interpolation de triangulation irrégulière (TIN) appelée triangulation de Delaunay, qui consiste à l'utilisation d'un réseau de triangles aussi équilatéraux possibles appliqués à l'ensemble du fichier ou la table des points.

8.5.4 Cartographie et système d'information géographique des données intéressantes

La cartographie thématique présente un atout performant comparativement à une description en terme de texte. Elle permet la représentation de tous les ordres de faits biogéographiques, dans l'étude de la végétation et son rapport avec le milieu (Benguerai et Benabdeli, 2009).

La réalisation des cartes thématique a été développée par les données collectées auprès d'organismes comme la direction des services agricoles (DSA, 2008), la direction de la planification et de l'aménagement du territoire (DAPT, 1989), le haut commissariat au développement de la steppe (HCDS, 2004) et la générale de concession agricole (GCA, 2004).

8.5.4.1 Principales cartes thématiques obtenues

♦ Données socio-économiques:

La carte de la population et celle de sa répartition constituent des éléments déterminants pour cerner ces deux paramètres dans le temps et dans l'espace soit entre 1987 et 2006.

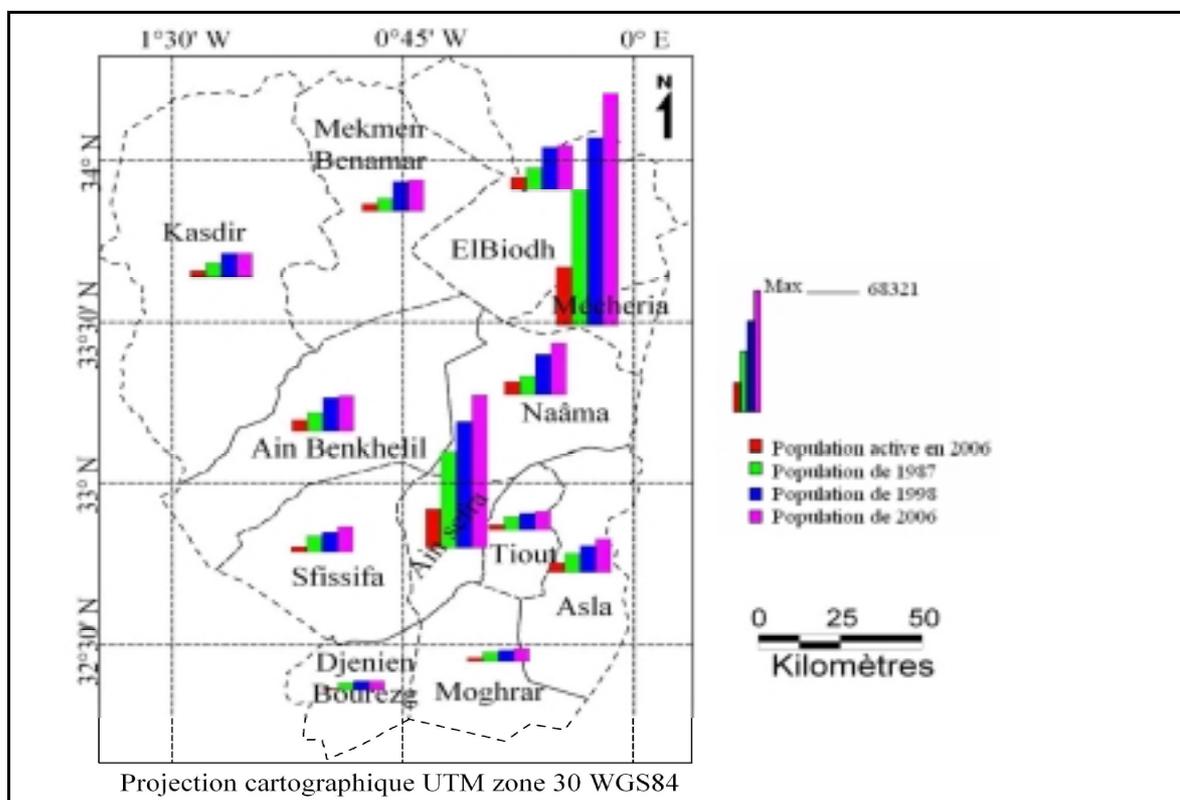


Figure 8.9: Evolution de la population occupée par commune de la W. de Naâma

La population active est proportionnelle à la population totale, c'est la commune de Mécheria qui présente l'effectif le plus élevé.

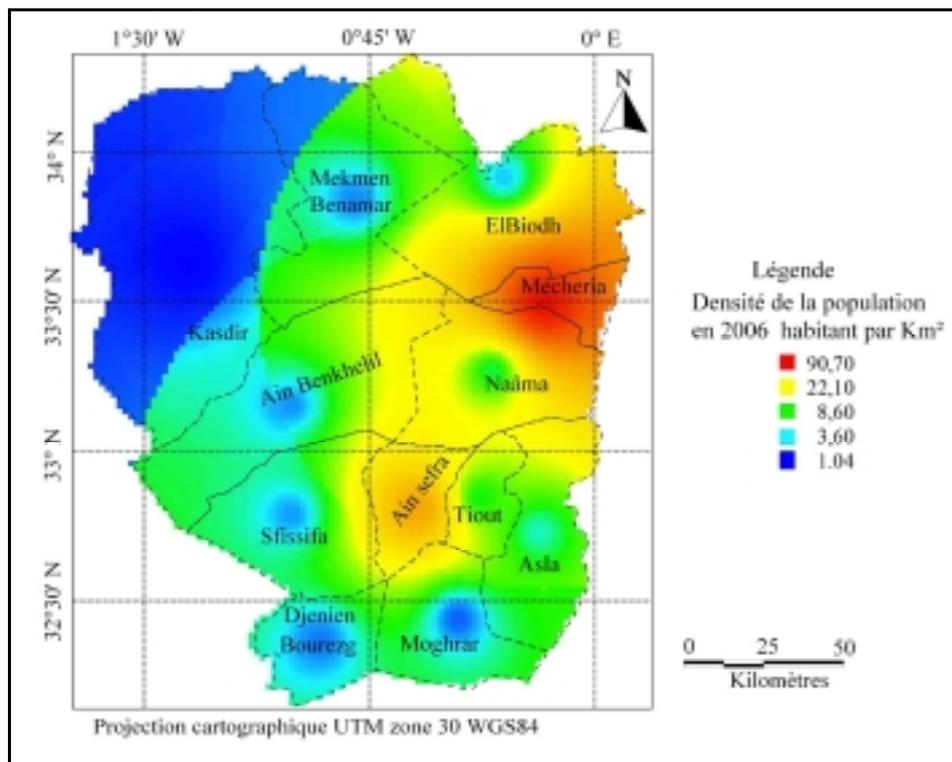


Figure 8.10: La densité de la population occupée par commune de la wilaya de Naâma.

La concentration de la population la plus importante se trouve dans la commune de Mécheria au lieu du chef lieu, grâce aux possibilités offertes dans le marché du travail car l'effectif de la population active est élevé.

Un autre thème déterminant dans la steppe, l'élevage qui peut être cartographié dans son aspect évolution comme le montre les figures 8.11, 8.12 et 8.13.

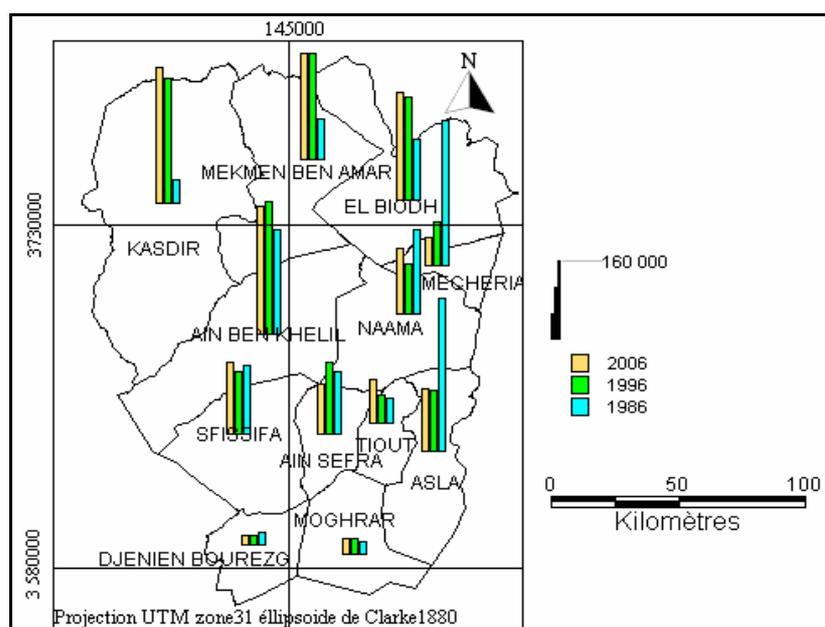


Figure 8.11 : Evolution du cheptel ovin de la W. de Naâma.

La région Sud est caractérisée par des effectifs faibles, les effectifs de 1986 sont aussi faibles sauf à Mécheria et Asla car la région est passée par une sécheresse récurrente dans le années 80. La région de Mécheria a connue une réduction importante de son effectif à cause de la dégradation des parcours et la faible production fourragère.

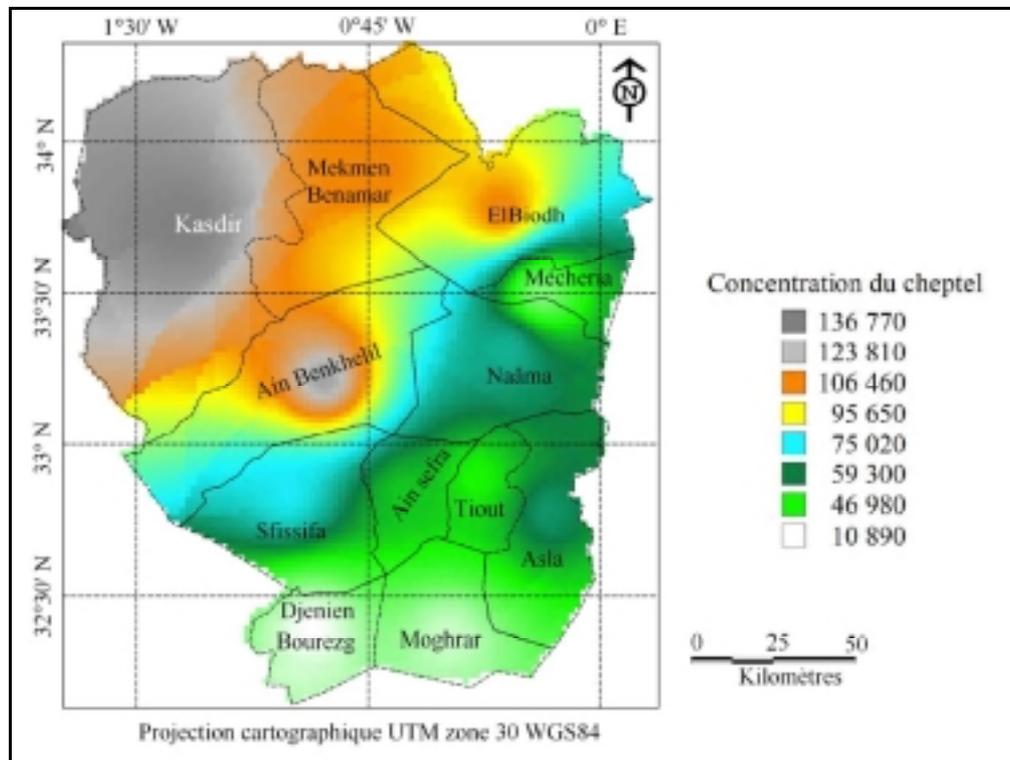


Figure 8.12 : Concentration du cheptel ovin de la W. de Naâma 2006.

Un effectif ovin trop élevé sur les parcours et autour des points d'eau provoque le piétinement et le tassement du sol. Cet effet se traduit par la dénudation du sol, la réduction de sa perméabilité et de ses réserves hydriques et l'augmentation du ruissellement. Ce qui accroît très sensiblement le risque d'érosion et la formation des dunes de sable donnant lieu à des paysages désertiques.

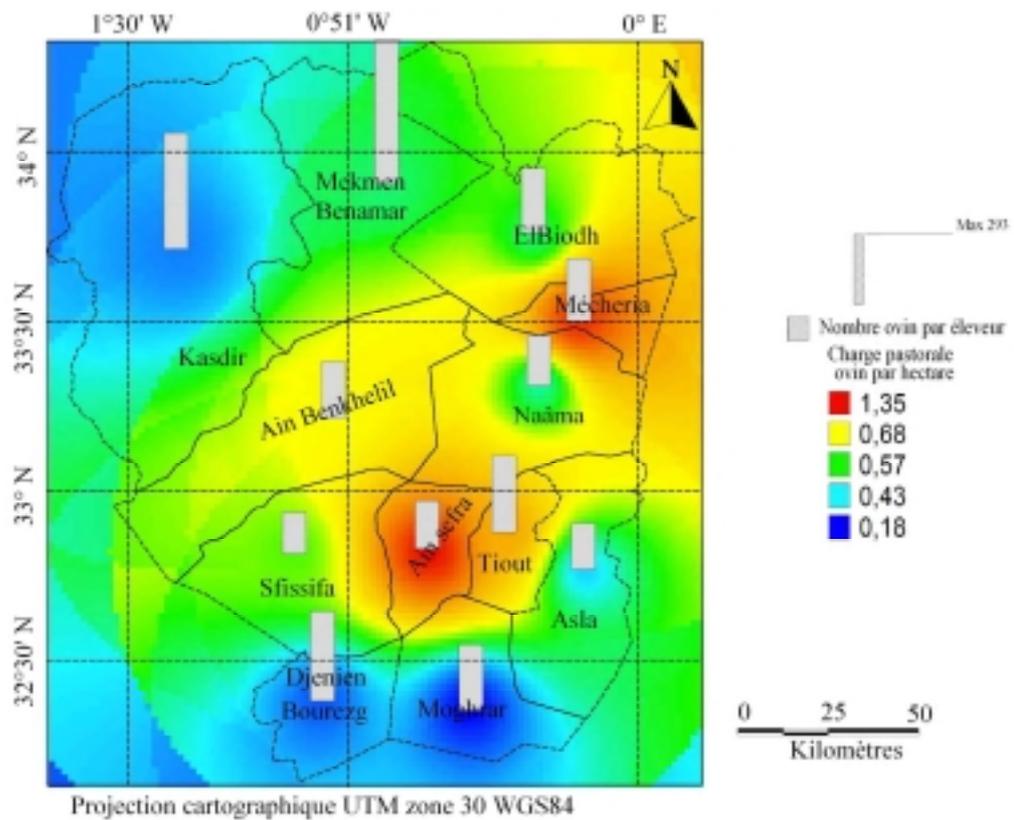


Figure 8.13 : Répartition de la charge pastorale et effectif ovin par éleveur et par commune de la région de Naâma.

La charge pastorale est calculée selon le rapport équivalent ovin de l'effectif occupé par commune par la superficie des parcours steppiques par an.

Selon, Benabdelli (2000), la charge pastorale possible en bioclimat aride en parcours steppique varie entre 0,6 à 0,8 ovin à l'hectare pendant une période de 6 mois allant de Janvier à Mai.

La pression sur les parcours steppique de la région est élevée, malgré l'importance de la superficie des parcours et se traduit par un impact sur les caractéristiques et les potentialités des facteurs écologiques (sol, climat, végétation).

◆ Les ressources pastorales

Les ressources pastorales des parcours steppiques constituent un autre paramètre significatif dans la gestion des terrains de parcours et leur préservation. La cartographie du nombre d'unité fourragère par kilogramme de matière sèche donne la représentation suivante :

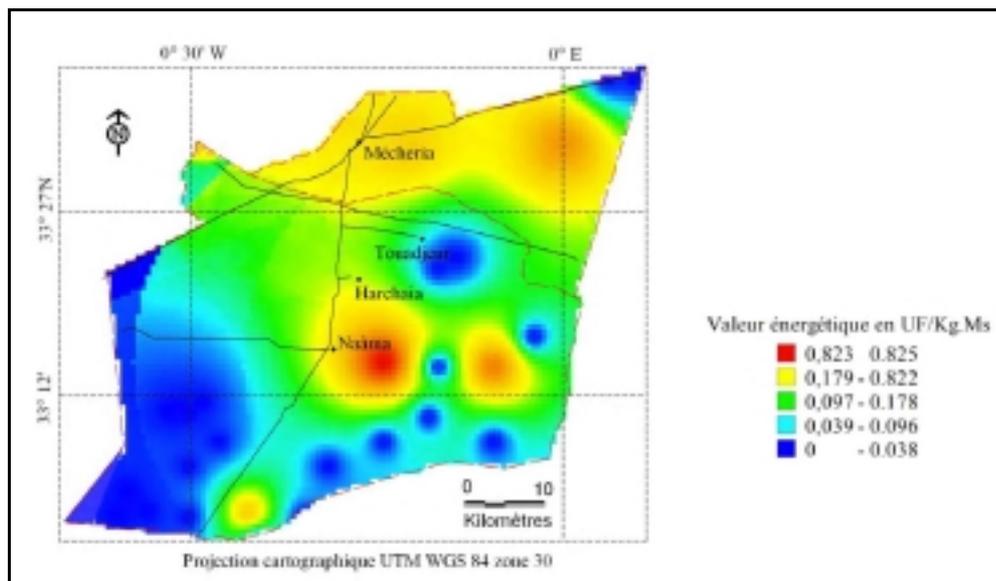


Figure 8.14 : Valeur énergétique en UF/Kg.Ms de la région d'étude.

De nombreux travaux relatifs à l'étude de la végétation et les appréciations faites sur terrain ont permis de faire ressortir les potentialités pastorales des steppes. Djebaili, (1978); Aidoud (1989).

8.5.4.2 Cartographie des investissements engagés

La figure 8.15 reflète l'engagement financier de l'Etat au sein de la zone d'étude par le biais de plusieurs projets de développement ; il en ressort une tendance importante pour la partie Sud - Est de la région inscrite dans le cadre de la mise en valeur des terrains de parcours au détriment de l'amélioration pastorale qui se contente seulement à la plantation d'*Atriplex Canescence* et *Atriplex nummelaria*.

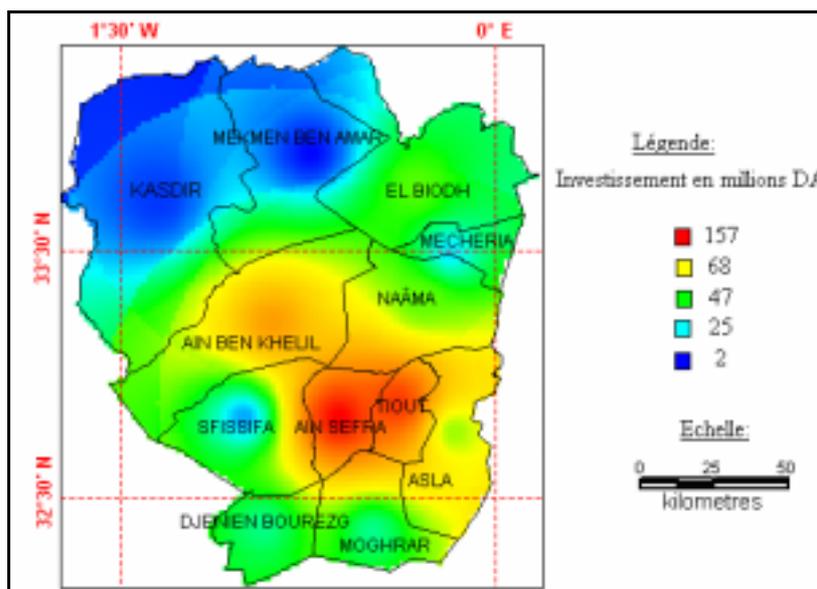


Figure 8.15 : Les investissements réalisés en 2004 dans le cadre de (FNRDA) de la W. de Naâma.

8.6 Conclusion

Le recours au SIG dans un but d'élaborer des cartes thématiques à vocation socio-économique et pastorale constitue un volet important en matière de suivi et d'actualisation des données par zone géographique ou administrative.

C'est un référentiel permettant de maîtriser la dynamique des informations dans le temps et dans l'espace, un outil de planification et de développement déterminant pour des zones fragilisées et soumises à différents impacts notamment la désertification.

Les cartes thématiques réalisées, même si elles ne sont pas très précises, constituent un système d'information géographique pouvant être amélioré. C'est référentiel visuel appréciable pour la synthèse et la clarté de l'information qu'il donne, il faut souligner la possibilité qu'il offre en matière d'actualiser des informations.

Une superposition de ces couches d'information permet de mettre en exergue les zones potentielles ainsi que la classification des interventions selon leur urgence et impact sur l'espace et la population.

CONCLUSION GENERALE

Les satellites d'observation de la Terre et les systèmes d'information géographiques constituent des outils précieux pour la gestion des risques naturels et anthropiques. Les données satellitaires fournissent des informations permettant de surveiller, de cartographier et de gérer les risques telle que la sensibilité à la désertification. Les cartes produites à partir d'images satellitaires sont utilisées pour planifier et appuyer les aménagements possibles pour la réhabilitation de l'espace.

La désertification qui affecte la zone steppique sud oranaise, constitue un risque majeur induisant à la pauvreté des populations et la prise de conscience sur la nécessité de la lutte contre la désertification au niveau régional et national n'est plus à démontrer. Les résultats obtenus à travers l'utilisation de la télédétection à moyenne résolution spatiale (MODIS) permettent de mettre en évidence les zones subissant une dégradation environnementale prononcée. Cette méthode d'investigation, basée sur la relation de trois paramètres géophysiques (albédo, température de surface et l'indice de végétation) a permis de cartographier la carte de sensibilité à la désertification, nous paraisse plus adaptée pour une évaluation quantitative et qualitative de l'espace ouest Algérien d'une part et les hautes plaines steppiques du sud oranais d'autre part.

Les résultats obtenus de la carte de sensibilité à la désertification, montrent que les zones sensibles à la dégradation se trouvent tant dans la partie tellienne constituée de massifs montagneux érodés que dans les parcours steppiques, limités par les isohyètes 100 et 400 mm. Dans la zone Tellienne, la cause essentielle réside dans l'érosion hydrique. Ce phénomène est dû à la conjugaison des facteurs climatiques et édaphiques, des conditions socio-économiques et de l'action anthropique que subissent les sols.

Le taux de la zone critique dans l'ouest du pays représente 27,82 % des terres, soit un taux excessivement élevé. Par ailleurs dans la zone des Hauts Plateaux steppiques, la cause de dégradation des sols est principalement l'érosion éolienne. Celle-ci affecte les parcours arides et semi-arides sous l'action des phénomènes naturels, socio-économiques et juridiques.

A ces facteurs, s'ajoute le mode de vie pastoral, encouragé par les conjonctures diverses, notamment, la disparition quasi-totale du nomadisme, la sédentarisation des éleveurs, le défrichement des parcours par des labours aléatoires, profonds et mécanisés et l'expansion de la céréaliculture à faible rendement sous la couverture de la loi « APFA » (Accession à la Propriété Foncière Agricole). En somme, le déclenchement de cette course à l'exploitation « minière » du sol, sans aucune contrepartie (travaux de restauration et d'amélioration foncière, fertilisation, mise en place de réseau de brise-vent,...), renforcé par la présence de couloirs des vents violent en provenance de l'Atlantique, emportant les fines particules de sables, limon et argiles pour ne laisser sur place qu'un sol caillouteux et stérile Benslimane et *al*, (2008).

Les images satellitaires acquises à des dates différentes et archivées au cours des dernières années permettent d'une part, d'établir des études diachroniques et un suivi des phénomènes naturels ou anthropiques, notamment la dégradation, la désertification et d'autre part de surveiller les modifications subies par l'environnement des régions arides et semi-arides

(ensablement et variation de la couverture végétale). En effet, l'analyse diachronique a permis davantage d'analyser deux images satellitaires Landsat d'un intervalle de 20 ans et mettre en évidence l'état de surface en recouvrement végétal.

Le taux le plus élevé est celui de la classe (pas de changement) avec 56,76 %, supposée être stable représente les sols nus, l'ensablement, le bâti et la végétation irriguée (mise en valeur). La comparaison des valeurs de l'INDVI des images (NDVI₁₉₈₇ et NDVI₂₀₀₇) et l'analyse de la carte des changements montrent clairement que la classe qui n'a pas subi de changement; c'est les sols nus ou l'ensablement à l'exception des zones montagneuses et l'extrême sud est de la région d'étude. Cela s'explique que plus de 50% de la région d'étude est exposée à la dégradation des sols et à la désertification et qu'elle n'est pas bénéficiée de programmes d'aménagement.

Les actions de mise en valeur dans les zones arides et semi-arides, n'ont pas donné les résultats escomptés. La raison des échecs est sûrement liée au manque d'approche d'analyse des systèmes d'élevage et particulièrement leur composante humaine mais aussi au déséquilibre important entre la demande et l'offre fourragère. L'ensemble des études convergent pour montrer que la steppe ne peut supporter au mieux que 4 millions d'ovins alors que sa population dépasse les 15 millions Roselt/OSS, (2005).

Concernant la part du changement positif, exprime l'amélioration des parcours suite aux différents programmes réalisés au cours des dernières années.

Les zones les plus touchées par le changement en terme de dégradation (changement négatif) plus de 20 %, sont localisées surtout dans le nord est de la région d'étude. Ces changements concernent plus particulièrement les parcours steppiques. Il s'agit d'une dynamique régressive importante durant les 20 ans écoulées.

L'utilisation des systèmes d'information géographiques ont contribué à l'élaboration de différentes cartes thématiques, destinées aux décideurs de l'espace steppique, donnant lieu à une bonne visualisation des caractéristiques de l'écosystème steppique, avec sa composante socio-économique, pour des fins d'aménagement. Cependant, cette étude montre son efficacité en couvrant une très grande superficie.

L'outil (SIG) est utilisé pour cartographier, traiter et effectuer des synthèses sur les données thématiques ou pour établir des relations mathématiques fonctionnelles entre l'espace et les thèmes grâce aux requêtes statistiques dans sa propre base de données. Les acteurs de l'écosystème steppique trouvent dans le (SIG) un moyen pertinent des résultats obtenus pour prendre les mesures qui s'imposent et de faire prendre conscience de l'importance du milieu naturel en faisant ressortir les sites caractéristiques à protéger et ceux qui sont menacés.

Les parcours exploités ont atteint un seuil critique de dégradation. Cela nécessite des travaux à la fois sur les pâturages naturels (régénération, reboisement, mise en défens) et sur la modernisation de la gestion des élevages. Il est donc urgent de prendre des mesures pour remédier à ces problèmes et permettre aux éleveurs d'améliorer les performances zootechniques et la productivité de leurs troupeaux en tenant compte de tous les facteurs du milieu.

Parmi les actions à mener sur le plan pratique, les propositions qui se dégagent sont les suivantes:

- ◆ Préservation des espèces végétales et de l'environnement steppique avec contrôle de la charge pastorale.
- ◆ la Lutte contre la salinisation des sols provoquée par l'irrigation gravitaire excessive qui donne lieu à une concentration des sels, ce qui réduit la fertilité des terres, par une irrigation goutte à goutte qui est extrêmement efficace. L'évaporation étant réduite, on économise l'eau, et le sol se trouve moins chargé en sel.
- ◆ Mise en place d'unités expérimentales par la méthode comparative des modes de conduite de la reproduction et d'engraissement des animaux. Ce sera notamment un des rôles des fermes pilotes et des centres de formation professionnels.
- ◆ Amélioration des conditions socio-économiques des éleveurs, pour cela, les services agricoles concernés doivent intervenir en apportant de l'aide adéquate aux éleveurs.
- ◆ Encourager les investissements pour diversifier les activités économiques afin de réduire l'impact sur le parcours et augmenter le niveau de vie des populations steppiques.
- ◆ la sensibilisation soutenue, par le biais de réunions de travail et de visites de terrain, avec le concours des services techniques, des collectivités locales, des associations; ces activités permettent une meilleure prise de conscience et une organisation participative et vue du transfert progressif de responsabilités pour les différentes interventions, garantissant ainsi la réussite de ces interventions, la pérennité et l'extension des plantations forestières existantes.

Il s'avère donc nécessaire, pour le succès des plans d'aménagement et de lutte contre la dégradation de l'environnement, de développer une approche intégrée et participative de tous les acteurs concernés et d'essayer de répondre aux attentes des populations locales et de satisfaire leurs besoins prioritaires. D'où l'intérêt de concilier les besoins du développement et les impératifs de protection de l'environnement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abaab. A, Bédrani. S, Bourbouze. A et Chiche. J, 1995. Les politiques agricoles et la dynamique des systèmes agropastoraux au Maghreb. Options Méditerranéennes, Sér. B/ n°14, 1995 - Les agricultures maghrébines à l'aube de l'an 2000, p37.

Abdelguerfi. A, 2003. Evaluation des besoins en matière de renforcement des capacités nécessaires à l'évaluation et la réduction des risques menaçant les éléments de la diversité biologique en Algérie. Rapport de synthèse. Projet PNUD-MATE. Tome V, p93.

Achour. H, 1983. Etude phytoécologique des formations à alfa (*Stipa tenacissima* L.) du Sud Oranais. Wilaya de Saïda, Thèse 3^{em} cycle, Univ. Sc. Technol. H. Boumédiène, Alger, 216 p.

Aidoud A., 1989. Les écosystèmes steppiques pâturés d'Algérie : fonctionnement, évaluation et dynamique des ressources végétales. Thèse Doct., Univ. Sci. Technol. H. Boumediene, Alger, 250p.

Aidoud. A et Aidoud. L.F, 1997. Le complexe alfa armoise sparte (*Stipa tenacissima* L., *Artemisia herba alba* Asso, *Lygeum spartum* L.) des steppes arides d'Algérie : structure et dynamique des communautés végétales.

Aidoud. A et Touffet. J, 1996. La régression d'alfa (*stipa tinacissima*) graminée pérenne, un indicateur de la désertification des steppes algérienne, cahier sécheresse, vol.7 pp 187-193.

ANAT, 2004. Carte bioclimatique de l'Algérie. (Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire).

Aubreville, A., 1949. Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Société d'Editions Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris, 351 p.

Bastiaanssen W.G.M, 1995. Regionalization of surface fluxes densities and moisture indicators in composite terrain, Ph.D. Thèse, Agricultural University Wageningen, 273p.

Becker. F and Seguin. B, 1985. Determination of surface parameters and fluxes for climate studies from space observation. Methods, results, and problems. Advances in Space Research, 5, 299-317.

Becker. F, 1987. The impact of spectral emissivity on the measurement of land surface temperature from a satellite. International Journal of Remote Sensing, 8, 1509-1522.

Bédrani. S, 1995. Une stratégie pour le développement des parcours en zones arides et semi-aride. Algérie, Document de la banque mondiale, 61 p.

Bédrani S., 1998. Désertification et emploi en Algérie. In les Cahiers du CREAD, n° 4, 1998.

Begni. G, Escadafal. R, Fontannaz. D et 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, p48.

Benabdeli. K, 1992. Aridité et production agricole. Journées scientifiques 1992 Institut des Sciences de la Nature, Université de Sidi Bel Abbés, Algérie.

- Benabdeli. K, 1996. Mise en évidence de l'importance des formations basses dans la sauvegarde des écosystèmes forestiers : cas des monts de Daya (Algérie occidentale). *Eco. Med.*, XXII, p 101– 112.
- Benabdeli. K, 2000. Évaluation de l'impact des nouveaux modes d'élevage sur l'espace et l'environnement steppique. Commune de Ras El Ma (Sidi Bel Abbes-Algérie). *Options Méditerranéennes, Série. A / n°39*.
- Benabdeli. K, 2007. Identification des principales contraintes entravant la conservation de la biodiversité de quelques espaces en Algérie. Conférence Muséum National d'Histoire Naturel. Paris, avril, 2007.
- Benguerai. A, 2006. Utilisation de l'approche systémique et de la géomatique pour la caractérisation du fonctionnement de l'écosystème steppique. Cas de la région de Naâma. Mémoire de Magister, Université de Mascara, p117.
- 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, p143-156
- Benhadj. I, 2008. Observation spatiale de l'irrigation d'agrosystèmes semi-arides et Gestion durable de la ressource en eau en plaine de Marrakech. Thèse doctorat univ. Toulouse, p298.
- Benouis. N, 2006. Contribution à l'étude de l'impact des effets climatiques et anthropiques sur l'avancement du cordon dunaire d'Ain-Sefra, proportion d'aménagement Mémoire Ing. Foresterie Univ. Tlemcen.
- 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 de l'université Joseph Fourier-Grenoble1, p318.
- 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* – la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 8 Numéro 3. URL: <http://vertigo.revues.org/index6782.html>.
- Bensouiah. R, 2003. La lutte contre la désertification dans la steppe algérienne : les raisons de l'échec de la politique environnementale Communication aux 15^{ème} Journée de la Société d'écologie humaine Marseille, décembre 2003, p22.
- Bessaoud. O, 2006. La stratégie de développement rural en Algérie. *Options Méditerranéennes, Série A / n°71*, 2006, p11.
- Berte. C.J, 2010. Lutte contre l'ensablement, l'exemple de La Mauritanie étude FAO Forêts organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome 2010, p89.
- Bonn. F. et Escadafal. R., 1996. La télédétection appliquée aux sols, in : Bonn F., Précis de télédétection, vol.2, PUQ/AUPELF, Québec, pp.92-136.
- Bonn F. et Rochon G., 1992. Précis de télédétection Volume 1 : Principes et Méthodes, Presses de l'Université du Québec/AUPELF
- Benrebihia et Bouabdellah, 1992: Note sur l'état des parcours steppiques en Algérie. *Sem. Inter. Du Réseau parcours* P25-28.

- Boughani. A, 1995. Contribution à l'étude de la flore et des formations végétales au Sud des monts du Zab (Ouled Djellal, wilaya de Biskra). Thèse magister, USTHB, Alger, 226p.
- Boukhobza M., 1982. L'agro-pastoralisme traditionnel en Algérie: de l'ordre tribal au désordre colonial. Off. Publ. Univ., Alger, 458 p.
- Bouabdellah. H, 1991. Dégradation du couvert végétal steppique de la zone sud-ouest oranaise (Le cas d'El Aricha). Université d'Oran, Institut de géographie et de l'aménagement du territoire. Oran, 180 p.
- Caloz. R, 1992. Télédétection satellitaire, Cours Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Département Génie Rural, Lausanne, 136 p.
- Caloz. R., Blaser. T.J et Willemin. G., 1993. « Création d'une orthoimage à l'aide d'un modèle numérique d'altitude : influences des modes de rééchantillonnage radiométrique », Télédétection et cartographie. Ed. AUPELF-UREF. Les presses de l'université du Québec., p. 17-30.
- Caloz. R et Collet. C, 2001. Précis de télédétection, traitements numériques d'images de télédétection, Vol. 3, PUQ, AUF.
- Chellig. R, 1969. La steppe, le pays du mouton. Rapport du MARA, production animale, 9p.
- CNUED, 1992. Rapport sur la Conférence des Nations unies sur l'Environnement et le Développement, Rio de Janeiro, Action 21, 344 p.
- Cornet. A, 2002. La désertification à la croisée de l'environnement. Un problème qui nous concerne. Johannesburg. Sommet Mondial de Développement Durable. Quels enjeux, quelle contribution des scientifiques? Ministère des Affaires Etrangères, A DPF, Paris, p207.
- Cornet A., 2004. Le suivi de la désertification en Afrique. Séance de l'Académie d'agriculture de France du 12 mai 2004, « Surveillance écologique des zones circum-sahariennes », Paris, France. CR Acad Agric, Fr, 2004, 90.
- CRBT, 1981, Carte pastorale de l'Algérie. Feuille de Mécheria au 1/ 200 000.
- CSFD, 2005. La lutte contre la désertification. Un bien public mondial environnemental. Des éléments de réponse. Les dossiers thématiques, n° 1, p32.
- Daoudi. A, Benterki. N et Terranti. S, 2010. La lutte contre la désertification des parcours steppiques en Algérie : l'approche du développement agro-pastoral intégré. ISDA 2010, Montpellier 28-30 Juin 2010, p11.
- Derj. A, 2004. Projet d'étude sur les formes de renforcement de la concertation entre les partenaires au développement dans le cadre de la lutte contre la désertification dans les pays de l'UMA rapport final Septembre 2004, p51.
- Despois. J, 1955. La Tunisie orientale. Sahel et basse steppe étude géographique. PUF Paris, p 554.
- Didier. M et Bouveyron. C, 1993. Guide économique et méthodologique des SIG. Conseil National de l'Information Géographique. Coll Géomatique, Hermès, Paris, p149.

Djebaili. S, 1978. Recherches phytosociologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse doctorat es sciences, université Montpellier, 229 p.

Djebaili. S, 1984. Steppe Algérienne phytosociologie et écologie. Alger, office des publications universitaires, 178 p.

Djellouli. Y et Nedjraoui. D, 1995. Evolution des parcours méditerranéens. In pastoralisme, troupeau, espaces et société. Hatier ed. 440-454.

DGF. Direction Générale des Forêts, 2004, Rapport national de l'Algérie sur la mise en œuvre de la Convention de Lutte contre la Désertification. DGF, Alger, septembre 2004, p35.
[En ligne] <http://www.unccd.int/cop/reports/africa/national/2004/algeria-fre.pdf>

DHW, 2008. Rapport annuel de la Direction de l'hydraulique de la Wilaya de Naâma

DPAT 2009. Rapport annuel de la Direction de la planification et de l'aménagement du territoire de la Wilaya de Naâma.

DSA, 2005, 2007, 2009. Les rapports annuels des statistiques de la Direction des Services Agricoles de la wilaya (département) de Naâma.

Elvidge C.D et Lyon R.J.P, 1985. Influence off rock-soil spectral variation on the assessment of green biomass, remot sens. Environ, p17.

Engelsen. O, Pinty. B, Verstraete. M, And Martonchik J.V, 1996. Parametric bidirectional reflectance factor models: evaluation, improvements and applications. Report, European Commission, Joint Researches Center, Space Application Institute, ISPRA, Italy.

Emberger. L, 1955. Une classification biogéographique des climats. Recherche. Travaux. Lov. Géol. Bot. Zool. Fasc. Sci. Montpellier. p47.

FAO, 1988. Manuel de fixation des dunes. Cahier FAO: Conservation no 18. Rome.

FAO, 1992. Le rôle de la foresterie dans la lutte contre la désertification. pp124-126.

Fitter .A H et Hay .R.K.M, 1987. Environmental Physiology of Plants London, Academic Press, p 423.

G.C.A., 2004. Générale de la Concession Agricole, rapport annuel 2004.

Gilliot. J.M, 2000. Introduction aux systèmes d'information géographique, p46.

Girard M.C. et Girard C.M, 1989. Télédétection appliquée : zones tempérées et intertropicales, Masson, Paris, p.260

Girard M.C. et Girard C.M, 1999. Traitement des données de télédétection, p 530, Dunod.

Guillermou. Y, 1990. Le développement pastoral en Algérie : dirigisme ou laisser-faire? Cah. Sci. Hum. N 26 p: 155-171.

Gutiérrez J.R. et Whitford W.G., 1987. Desert annuals: importance of water and nitrogen. Ecology 68: 2032-2045.

- Guyot. G, 1989. Signatures spectrales des surfaces naturelles, coll « Télédétection satellitaire », Paradigme.
- Guyot, G., 1995. La réflectance des couverts végétaux, Photo-interprétation, p 157-174.
- Guyot G. et GU X.F., 1994. Effect of radiometric correction on NDVI-determined from spot-HRV and Landsat-TM data. *Remote Sensing. Environ.* 49, 169-180.
- Habert É, 2000. Qu'est ce qu'un système d'information géographique? Laboratoire de cartographie appliquée, p82.
- Hadeid. M, 2008. « Approche anthropique du phénomène de désertification dans un espace steppique : le cas des hautes plaines occidentales algériennes. », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 8 Numéro1.
URL:<http://vertigo.revues.org/index5368.html>.
- Hall F.G., Huemmrich K.F., Goetz S.J., Sellers P.J. and Nickeson P.J. 1992. Satellite remote sensing of surface energy balance : success, failures and unresolved issues in FIFE. *Journal of geophysical research*, 97, 19061-19089.
- Halitim A., 1988. Sols des régions arides. OPU, Alger, 384p.
- 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 de doctorat, en sciences hydrauliques, p179.
- HCDS, 2006. Bilan des réalisations du HCDS, Document interne, Djelfa, 35p.
- Hirche. A, Boughani A, Salamani. M, Benarieb. S, 1999. Suivi diachronique des processus de désertification in situ et par télédétection des Hautes Plaines Steppiques du Sud-Ouest Oranais. P28.
- Huete A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, pp295-309.
- Jacob. F, 1999. Utilisation de la télédétection courtes longueurs d'onde et infrarouge thermique à haute résolution spatiale pour l'estimation des flux d'énergie à l'échelle de la parcelle agricole. Doctorat univ. Toulouse III. P268.
- Jensen J.R., 1983. Urban change detection mapping using Landsat digital data, *The American cartographer*, Vol. 8, p.127-147.
- Jobin. E, et Tournade. F, 1995. Vers un système d'information géographique pour la gestion des zones humides, *CNASEA, Structures agricoles*, 9 : 37-43.
- Jordan W.M., 1964. Prevalence of sand-dune type in the Sahara desert. *Geol. Soc. Amer., Spec. P*: 104-105.
- Jouve. P, Corbier-Barthaux. C et Cornet. A, 2002. Lutte contre la désertification dans les projets de développement. (AFD). Un regard scientifique sur l'expérience de l'AFD en Afrique subsaharienne et au Maghreb, p162.

Kaabèche. M, 2000. Conservation de la biodiversité et gestion durable des ressources naturelles. Guide des habitats aride et saharien. Typologie phytosociologique de la végétation d'Algérie. (Setif, Algérie) p.59

Kahle A.B. and Goetz A.F.H., 1983. Mineralogic information from a new airborne Thermal Infrared Multispectral Scanner. *Sciences*, 222, 24-27.

Kahle A.B, 1984. Measuring spectra of arid lands, in deserts and arid lands, Elbas, R.(ed), Martinus Nijhoff publishers, p217.

Kaufmann. Y.J, Wald. A.E, Remer. L.A, Gao. B.C, Li R.R. and Flynn. L, 1997. The MODIS 2 mm Channel-Correlation with Visible Reflectance for Use in Remote Sensing of Aerosols. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, p1286-1298.

Kluser. S, 2000. Elaboration d'une carte de couverture du sol par interprétation semi-automatisée de l'espace colorimétrique d'orthophotos).

Le Houèrou. H.N, 1979. Ecologie et désertisation en Afrique. Travaux. Inst. Géogr. de Reims, p39-40.

Le Houérou. H.N, 1985. La régénération des steppes algériennes. Rapport de mission de consultation et d'évaluation. Ministère de l'agriculture, Alger.

Le Houèrou H.N, 1992. Bioclimatologie et biogéographie de steppes arides du Nord de l'Afrique diversité biologique, développement durable et désertification, Série B n°10, CIHEAM, Montpellier, France, 215 p.

Le Houèrou, H.N. 1995. "Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du nord de l'Afrique". Option Méditerranéennes, série B, études et recherches, n° 10, 396 p.

Lemsanni. A, Ait Belaid. M, Smiej.F, El-Amine. N, 2000. Suivi de la desertification au Maroc à partir d'image AVHRR de NOAA. Ed.AUF p171-176.

Liang. S, C. Shuey.A, Russ. H, Fang. M, Chen. C, Walthall. C and Daughtry. C, 2002. Narrowband to Broadband Conversions of Land Surface Albedo: II. Validation, *Remote Sensing of Environment*, 84, 1, 25-41.

Lillesand. T.M and Kiefer. R. W, 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation* (3rd ed.), John Wiley and Sons, Inc., 1994.

Mabutt J.A. et Floret C. 1983. Etudes de cas sur la désertification, document élaboré par le PNUE, le PNUD et l'UNESCO, coll. Recherches sur les ressources naturelles, France.

MADR, 2004. Rapport national de l'Algérie sur la mise en œuvre de la Convention de Lutte Contre la Désertification, Ministère de l'agriculture et développement rural.

Markham B. et Barker J.L., 1987. Thematic Mapper band pass solar exo-atmospheric irradiances, *International Journal of remote sensing*, vol.15, p1684-1685.

MATE, 2001. Direction générale de l'environnement Projet national ALG/98/G31. Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques. Communication nationale initiale, p155.

MATE, 2002. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Rapport annuel du Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD), 2002. P140.

Mohammedi. H, Labani. A et Benabdeli. K, 2006. « Essai sur le rôle d'une espèce végétale rustique pour un développement durable de la steppe algérienne », Développement durable et territoire, URL : <http://developpementdurable.revues.org/document2925.html>.

Moulai. A, 2008. Développement agricole et rural étude nationale Algérie, volume 1, Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, 44p.

Nedjraoui. D et Bédrani. S, 2008. « La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, V.8 N1. URL : <http://vertigo.revues.org/5375>.

Nouad. M, 1995. Contribution à la définition d'une stratégie de développement de l'élevage ovin en Algérie. Thèse Docteur de l'INA, p221.

OSS, 1995. Process and impact indicators for the convention to combat desertification. A report prepared for the Interim Secretariat of the Convention to Combated Desertification. Second Draft, p12.

OSS, 2009. Indicateurs écologiques du rosel/oss, désertification et biodiversité des écosystèmes circum sahariens. OSS Ed, Collection Synthèse n° 4, Tunis. 54p.

OSS, 2009. Vers un système d'alerte précoce à la sécheresse au Maghreb, Tunis, 2009. Observatoire du Sahara et du Sahel. P86 www.oss-online.org

Ozer. P, 2004. Mise en évidence des zones touchées par la désertification par télédétection a basse résolution au Niger, P18. Cybergeog; revue européenne de géographie, n° 291, 2004.

Pouget. M., 1980. Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-algéroises. Trav. Doc. ORSTOM. : 116 : 1-555 [Thèse Doct. Etat, Univ. Aix-Marseille, 1979].

Renou. B, 2003. La dynamique sol -végétation des zones humides du Sud du Parc National du Banc d'Arguin (Mauritanie) par télédétection satellitaire. Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université de Géographie d'Angers, 94p.

Rochette. R.M, 1989. Le Sahel en lutte contre la désertification: leçons d'expérience. Weikersheim, Allemagne, Verlag Josef Margraf.

ROSELT/OSS, 2005. Observatoire des Hautes plaines steppiques, Bilan final du projet Roselt /OSS (2002-2005), USTHB-CRSTRA, 115 p.

Rubio. J.L. and Bochet. E, 1998. Desertification indicators as diagnostic criteria for desertification risk assessment in Europe. Journal of Arid Environments. pp113-120.

Sheridan. D, 1981. Desertification of the United States, In: Report of Council on Environmental Quality, US Government, Washington DC, 1981.

Singh. S.M, 1984. Removal of atmospheric effects on a pixel by pixel basis from the thermal infrared data from instruments on satellites AVHRR. *International Journal of Remote Sensing*, 5, 161-183.

Si-Ramdane. D, 2006. Utilisation des indicateurs radiométriques issus de la télédétection pour le suivi de la dégradation des écosystèmes au nord de l'Algérie. Mémoire de Magister en Hydraulique, université de Mascara, p121.

Sobrino. J.A., Li Z.-L., Stoll M.-P., and Becker F., 1994. Improvements in the Split-Window technique for land surface temperature determination. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32, 243-253.

Thomas D. S. G., 1995. Desertification: Causes and processes, In: *Encyclopaedia of Environmental Biology*, Vol. 1, ed. W. A. Nierenberg, San Diego, Academic Press, 463-473.

Toulmin. C, 1993. Lutter contre la désertification: réflexion préliminaire à une convention mondiale. *Drylands Programme, IIED, Dossier n°42*, 52 p.

Tricart. J, 1954. Influence des sols salés sur la déflation éolienne en basse Mauritanie et dans le delta du Sénégal. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, n°5 : 124-132.

Tucker C. J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote Sensing of Environment*, Vol.8, p.127-150.

UNCOD, 1977. Convention des Nations Unies sur la Lutte contre la Désertification (CNULD) «United Nations Convention to Combat Desertification » (UNCCD).

UNESCO, 2005. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, « Journée mondiale de lutte contre la désertification et la sécheresse ». http://www.notreplanete.info/actualites/actu_364.php

Verstraete. M.M and Pinty. B, 1996. Designing optimal spectral indices for remote sensing applications. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 34, no 5, p. 1254-1265.

Wan Z., Li Z.-L., 1997, A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35, 980-996.

Warren. A et Agnew. C, 1988. Une analyse de la désertification et dégradation des terres en zones arides et semi-arides. *Drylands Programme, IIED, Document n° 2*, 28 p.

World Bank, 2002. *World development report: Sustainable development in a dynamic world: transforming institutions, growth, and quality of life*. Oxford University Press: World Bank.272p.

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 doctorat univ. Paris 1-pantheon-sorbonne, p 229.

Références bibliographiques

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

Yerou. H, 1998. Essai de caractérisation des systèmes d'élevage ovins en zones steppiques cas de la commune de Maâmora (W Saida) Thèse de Magistère INA Alger P 110.

Site Web

http://www.ga.gov.au/acres/prod_ser/modisdata.htm

<http://modis.gsfc.nasa.gov/>

<http://www.esr.org>

Centre d'Actions et de Réalisations Internationales (CARI)

<http://cari.asso.free.fr/>

Comité permanent Inter-États de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS)

<http://www.cilssnet.org>

Comité Scientifique Français de la Désertification (CSFD)

<http://www.csf-desertification.org/page1.php>

Convention des Nations Unies sur la Lutte contre la Désertification (CNULD) – « United Nations

Convention to Combat Desertification » (UNCCD)

<http://www.unccd.int/>

<http://www.unccd.entico.com/>

Fonds International de Développement Agricole (FIDA) – « International Fund for Agricultural Development » (IFAD)

<http://www.ifad.org/>

Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM) – « Global Environment Facility » (GEF)

<http://www.gefweb.org/French/french.html>

Institut International du Développement Durable (IIDD) – «International Institute for Sustainable Development » (IISD)

<http://www.iisd.org/>

Mécanisme mondial (MM) – « Global Mechanism » (GM)

<http://www.gm-unccd.org>

Programme de l'Environnement des Nations Unies sur les zones sèches – « United Nations Environment Program (UNEP)/Drylands »

<http://www.undp.org/drylands/>